**UNIVERSITÉ JEAN MOULIN-LYON III**
UMR 5600 du CNRS
Laboratoire de Géographie Physique
Environnement-Ville-Société
18 rue Chevreul 69362 Lyon Cedex 07
Tél : 0478787403
Fax : 0478787185
**-Septembre 2004-**

# LA DYNAMIQUE DU TEMPS ET DU CLIMAT EN AMERIQUE CENTRALE

**Thèse présentée par Emmanuel BARBIER**
**Sous la direction du Professeur Marcel LEROUX**

**Devant un jury composé de :**

**Monsieur Jean-Pierre VIGNEAU, Professeur à l'Université Paris X - Nanterre**
**Monsieur Yannick LAGEAT, Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale**
**Monsieur Michel MIETTON, Professeur à l'Université Lyon III**
**Monsieur Marcel LEROUX, Professeur émérite à l'Université Lyon III**

**Tome 1**

**Illustration :**

Image GOES 8 est, visible, full, colorée, 18h15 T.U du 9/9/94
(Le domaine apparaît ici très clairement)

# "La dynamique du temps et du climat en Amérique centrale"

**Thèse présentée par Emmanuel Barbier**

**Sous la direction du Professeur Marcel Leroux**

**- Septembre 2004-**



**Université Jean Moulin, LYON III**
**UMR 5600 du CNRS**
**Laboratoire de Géographie Physique**
**Environnement - Ville - Société**
**18, rue Chevreul - 69362 Lyon cedex 07**

**Tél: 04 78 78 74 03 - Fax: 04 78 78 71 85**

# AVANT-PROPOS :

Qu'il me soit d'abord permis de remercier vivement le Professeur Marcel Leroux qui m'a fait prendre goût à la Climatologie voilà plus de 15 ans et qui m'a toujours soutenu et motivé au cours de ces années passées à l'étranger.

Je voudrais également remercier les membres de ce jury de thèse :

Monsieur le Professeur Jean-Pierre Vigneau qui a bien voulu accepter de présider le jury ; Messieurs les Professeurs Yannick Lageat et Michel Mietton pour leur participation à ce jury de soutenance.

Je tiens à remercier Monsieur le Licenciado Leonardo Merlos, responsable de la section Climatologie du ministère de l'Agriculture et de l'élevage salvadorien pour m'avoir reçu, écouté et autorisé à travailler avec les climatologues salvadoriens entre 1998 et 2001.

Je veux également remercier plus particulièrement Monsieur Saúl De La O, climatologue synopticien salvadorien pour m'avoir conseillé et reçu à l'aéroport militaire ainsi que Monsieur Luis Hererra, climatologue synopticien guatémaltèque pour son accueil et son aide à chacune de mes visites à l'aéroport de Guatemala Ciudad.

Merci à Alice, Alexis, membres du laboratoire qui ont quelque part participé à la réalisation de cette thèse.

Un grand merci à tous les altruistes qui se retrouvent sur internet pour offrir une documentation précieuse et sans qui ce travail n'aurait pas été aussi documenté.

Merci enfin aux membres de ma famille passée et actuelle, à mes amis et à tous ceux qui ont su me soutenir de quelque manière que ce soit tout au long de ces années universitaires.

Une pensée particulière pour Bernard et Maïté qui m'ont offert mon premier livre de climatologie…

A Marjorie et Manu.

*Vivamos*

## *¿Quién muere?*

*Muere lentamente quien se transforma en esclavo del hábito, repitiendo todos los días los mismos trayectos, quien no cambia de marca y no arriesga vestir un color nuevo y no le habla a quien no conoce.*

*Muere lentamente quien hace de la televisión su gurú.*

*Muere lentamente quien evita una pasión, quien prefiere el negro sobre blanco y los puntos sobre las "íes" a un remolino de emociones, justamente las que rescatan el brillo de los ojos, sonrisas de los bostezos, corazones a los tropiezos y sentimientos.*

*Muere lentamente quien no voltea la mesa cuando está infeliz en el trabajo, quien no arriesga lo cierto por lo incierto para ir detrás de un sueño, quien no se permite por lo menos una vez en la vida, huir de los consejos sensatos.*

*Muere lentamente quien no viaja, quien no lee, quien no oye música, quien no encuentra gracia en si mismo.*

*Muere lentamente quien destruye su amor propio, quien no se deja ayudar.*

*Muere lentamente, quien pasa los días quejándose de su mala suerte o de la lluvia incesante.*

*Muere lentamente, quien abandona un proyecto antes de iniciarlo, no preguntando de un asunto que desconoce o no respondiendo cuando le indagan sobre algo que sabe.*

*Evitemos la muerte en suaves cuotas, recordando siempre que estar vivo exige un esfuerzo mucho mayor que el simple hecho de respirar.*

*Solamente la ardiente paciencia hará que conquistemos una espléndida felicidad.*

*Depende de cómo vivamos...*

***Pablo Neruda***

*« Planeta trampa »*
*Manu Chao*

# SOMMAIRE :

LA DYNAMIQUE DU TEMPS ET DU CLIMAT EN AMÉRIQUE CENTRALE :

**Tome 1 :**

SOMMAIRE :


INTRODUCTION GÉNÉRALE : ..... 1
PARTIE 1 : LE CADRE DE L'ÉTUDE : ..... 3
Introduction : ..... 3
Chapitre 1 : Description du cadre orographique (cartes n°1 et 2) : ..... 3
1) L'orographie de l'Amérique du Nord (carte n°1) : ..... 3
2) L'orographie de l'Amérique Centrale (carte n°2) : ..... 3
a) L'Amérique Centrale septentrionale : ..... 6
b) L'Amérique Centrale méridionale : ..... 6
3) L'orographie de l'Amérique du Sud (cartes n°1 et 2) : ..... 7
a) En Colombie : ..... 7
b) Au Venezuela : ..... 7
c) Plus au sud : ..... 7
4) Conclusion : ..... 8
Chapitre 2 : Le cadre océanographique ..... 9
1) Les principaux courants marins (cartes n°3, 4 et 5) : ..... 9
a) Dans l'océan Pacifique : ..... 9
b) Dans l'océan Atlantique (Golfe du Mexique, mer des Caraïbes) : ..... 9
2) Les upwellings californien et chilien (cartes n°3, 4 et 5) : ..... 14
3) Les courants marins pendant un épisode « El Niño » (carte n°6) : ..... 14
4) Conclusion : ..... 14
Chapitre 3 : Le cadre bibliographique ..... 15
1) Les grandes zones climatiques en Amérique Centrale : ..... 15
a) Introduction : ..... 15
b) Différenciation climatique en fonction du volume annuel de précipitations : ..... 15
c) Différenciation climatique en fonction des principaux régimes pluviométriques : ..... 17
d) Différenciation climatique en fonction de l'altitude : ..... 17
2) Comment ces différences climatiques sont-elles généralement expliquées par les auteurs ? ..... 19
a) Les « facteurs déterminatifs » du climat : ..... 19
b) Les éléments du climat : ..... 20
c) Des exemples de classifications climatiques (cartes n°21 à 24) : ..... 29
d) Faisons le point : ..... 33
3) Les explications dynamiques : ..... 34
a) Introduction : ..... 34
b) Les « centres d'actions » : les « cellules anticycloniques » de la « ceinture des hautes pressions subtropicales » : ..... 35
c) Les flux tropicaux et leur relation avec la pluie : ..... 38
d) L'équateur météorologique : ..... 48
4) Les perturbations : ..... 51
5) Le phénomène « El Niño » : ..... 51
a) Introduction : ..... 51
b) « El Niño » / « La Niña » : ..... 51
c) Le phénomène « El Niño » dans le Pacifique oriental : ..... 52
d) Le phénomène « El Niño », de multiples définitions ne répondant pas forcément aux véritables questions : ..... 52
e) Accroissement de la fréquence du phénomène « El Niño » : ..... 54
f) Le phénomène « El Niño » et ses conséquences climatiques « supposées » en Amérique Centrale : ... 54
Chapitre 4 : Conclusion/Synthèse de la partie 1 ..... 57
1) La perception actuelle de la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale : ..... 57
2) Les incertitudes, les questions en suspens : ..... 58

PARTIE 2 : LA DYNAMIQUE DE LA CIRCULATION DANS LES BASSES COUCHES DE LA TROPOSPHÈRE EN AMÉRIQUE CENTRALE ..... 61
Introduction : ..... 61
Chapitre 1 : Constat d'observations à l'échelle du continent américain ..... 61
1) Introduction : ..... 61
2) Analyse des cartes de surface et des photos satellites (photos satellite n°1 à 4 ; fig. n°1 à 4) : ..... 61
3) Conclusion : ..... 67
Chapitre 2 : Les anticyclones mobiles polaires (AMP) ..... 70
1) Introduction : ..... 70
2) Analyse des cartes de surface et des photos satellite (photos satellite n°5 à 8 ; fig. n°5 à 8) : ..... 70
3) Définition des AMP : ..... 75
Chapitre 3 : Les agglutinations anticycloniques (AA) ..... 78
1) Introduction : ..... 78
2) La formation des AA : Déplacement des AMP et interférences liées à l'orographie sur le fuseau américain (photos satellite n°9 à 11 ; fig. n°10 à 12) ..... 78
a) Analyse des cartes de surface et des photos satellite : ..... 78
b) Conclusion : ..... 93
3) La formation des AA : Les trajectoires des AMP ..... 93
a) En Asie orientale, sur le Pacifique nord, la côte occidentale de l'Amérique du Nord (photos satellite n°12A à 12F ; fig. n°13A à 13G) : ..... 93
b) En Amérique du Nord, à l'est des Montagnes Rocheuses (photos satellite n°13A à 13F ; fig. n°14A à 14G) : ..... 105
c) Sur le Pacifique sud-est et l'Atlantique sud-ouest (photos satellite n°14A à 14G ; fig. n°15A à 15H) : ..... 115
4) Définition des AA : ..... 125
Chapitre 4 : La circulation tropicale et l'équateur météorologique ..... 128
1) Introduction : ..... 128
2) La circulation tropicale : La circulation d'alizé (photo satellite n°15 ; fig. n°16) ..... 128
a) Analyse de la carte de surface et de la photo satellite : ..... 128
b) Définition de l'alizé : ..... 128
3) La circulation tropicale : La circulation de mousson (photo satellite n°16 ; fig. n°17) ..... 131
a) Analyse de la carte de surface et de la photo satellite : ..... 131
b) Définition de la mousson : ..... 131
4) L'Equateur Météorologique (EM) (photos satellite n°17 et 18 ; fig. n°18, 19 et 20) : ..... 133
a) Analyse des cartes de surface et des photos satellite : ..... 133
b) Définition de l'équateur météorologique : ..... 136
Chapitre 5 : Conclusion/Synthèse de la partie 2, la dynamique de la circulation dans les basses couches de la troposphère en Amérique Centrale (fig. n°21 et fig. n°22) ..... 140
1) Introduction : ..... 140
2) la dynamique de la circulation en hiver boréal : décembre, janvier, février (fig. n°21) : ..... 140
3) La dynamique de la circulation en hiver austral : juin, juillet , août (fig. n°22) : ..... 143
4) Conclusion : ..... 145

PARTIE 3 : L'ÉTUDE DES PERTURBATIONS ..... 146
Introduction : ..... 146
Chapitre 1 : Les lignes de pulsation (LP) ..... 146
1) Introduction : ..... 146
2) Bilan bibliographique : ..... 146
a) Présentation du modèle des « ondes d'est » (Fig. n°23 et 24) : ..... 146
b) Evolution du modèle : ..... 148
c) Les LP dans la mousson panaméenne : ..... 149
3) Etude de cas : analyse de la situation du 28/10 au 1/11/1999 (photos satellite n°20 à 29 ; cartes n°29 à 40 et fig. n°25 et 26) : ..... 149
a) Présentation des documents utilisés : ..... 149
b) Analyse de la situation (fig. n°25 et 26) : ..... 161
4) Conclusion : ..... 162
a) Les LP dans l'alizé maritime (d'après M. Leroux , 2000) : ..... 162
b) Les LP dans la mousson (d'après M.Leroux, 2000) : ..... 163
Chapitre 2 : Les « Nortes »/« Northers » ..... 166
1) Introduction : ..... 166
2) Bilan bibliographique : ..... 166
a) Les « Nortes » centraméricains : ..... 166
b) Les « Northers » californiens : ..... 167
3) Etudes de cas de « Nortes » classiques : ..... 168
a) Etude de cas de « Nortes » n°1 : épisode du 7 au 15/3/1998 : ..... 168
b) Etude de cas de « Nortes » n°2 : épisode du 31/10 au 4/11/1999 ..... 180
4) Conclusion, la dynamique propre aux « Nortes » (fig. n°43) : ..... 188
5) Etude de cas de « Nortes » extrême : « L'Invierno de las Chicharras » ou « Las Lluvias de los Jocotes »[2] : ..... 191
a) Bilan bibliographique : ..... 191
b) Etude de cas n°3 : « l'Invierno de las Chicharras » au Venezuela (du 13 au 18/12/1999) : ..... 193
c) Conclusion : ..... 205
Chapitre 3 : L'équateur météorologique (EM) ..... 206
1) Introduction : ..... 206
2) Bilan bibliographique : l'EM, structure pluviogène fondamentale ..... 206
3) Etudes de cas : ..... 206
a) Etude de cas n°1 : l'épisode pluvieux sur la côte pacifique de l'Amérique centrale (du 23/9 au 1/10/1999) : ..... 206
b) Etude de cas n°2 : l'épisode pluvieux sur la côte pacifique de l'Amérique Centrale (du 19 au 29/5/2002) : ..... 219
c) Etude de cas n°3 : l'épisode pluvieux sur la côte pacifique de l'Amérique centrale (du 26/5 au 1/6/2003) : ..... 234
4) Conclusion : ..... 245

**Tome 2 :**

Chapitre 4 : Les « Temporales » ..... 249
1) Introduction : ..... 249
2) Bilan bibliographique : ..... 249
3) Etudes de cas : ..... 251
a) Etude de cas n°1 : l'épisode du Chiapas (du 7 au 10/9/1998) ..... 251
b) Etude de cas n°2 : étude de l'épisode « Keith » (du 24/9 au 1/10/2000) : ..... 267
4) Conclusion : ..... 288
Chapitre 5 : Les cyclones tropicaux ..... 289
1) Introduction : ..... 289
2) Bilan bibliographique : ..... 289
a) La structure d'un cyclone (M. Leroux, 2000) : ..... 289
b) Les conditions de la cyclogenèse : ..... 290
c) La géographie des cyclones tropicaux dans notre espace d'étude : ..... 292
3) Etudes de cas de cyclone atlantiques : ..... 295
a) Etude de cas n°1 : le cyclone « Michelle » (du 27/10 au 7/11/2001) : ..... 295
b) Etude de cas n°2 : étude du cyclone « Mitch » (du 21/10/98 au 7/11/1998) : ..... 314
c) Etude de cas n°3 : l'étude du cyclone « Lenny » (du 13/11/99 au 23/11/1999) : ..... 343
4) Synthèse sur les cyclones atlantiques : ..... 363

PARTIE 4 : L'ÉVOLUTION CLIMATIQUE RÉCENTE ..... 437
Introduction : ..... 437
Chapitre 1 : Etude des pressions de part et d'autre de l'isthme centraméricain : ..... 437
1) Introduction : ..... 437
a) Origine des données utilisées : ..... 437
b) Présentation des grilles de points utilisées (cartes n°44 et n°45) : ..... 437
c) La méthode : ..... 440
2) Etude de l'évolution climatique récente des pressions dans l'espace du Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et de la mer des Caraïbes (cartes n°46 à 48) : ..... 440
a) Introduction : ..... 440
b) Etude de l'évolution des pressions moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°46) : ..... 440
c) Etude des rythmes saisonniers (cartes n°47 et n°48) : ..... 446
3) Conclusion de l'étude des pressions dans le Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et la mer des Caraïbes : ..... 446
4) Etude de l'évolution climatique récente des pressions dans l'espace du Pacifique est (cartes n°49 à 55): ..... 447
a) Introduction : ..... 447
b) Etude des pressions moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°49) : ..... 447
c) Etude des « pressions moyennes annuelles » dans le sous-ensemble du Pacifique du nord-est 1948-1977 (carte n°50) et 1978-03 (carte n°51) : ..... 457
d) Etude des pressions moyennes annuelles dans le Pacifique centraméricain, 1948-1969 (carte n°52) et 1970-2003 (carte n°53) : ..... 458
e) Etude des « rythmes saisonniers » (carte n°54, pressions moyennes décembre/janvier/février (1949-2003) et n°55, pressions moyennes juin/juillet/août (1948-2003) : ..... 459
5) Conclusion sur l'étude des pressions (1948-2003) dans le Pacifique est : ..... 460
Chapitre 2 : étude des températures de part et d'autre de l'isthme centraméricain ..... 463
1) Introduction : ..... 463
a) Origine des données utilisées : ..... 463
b) Présentation des grilles de points utilisées (cartes n°44 et n°45) : ..... 463
c) La méthode : ..... 463
2) Etude de l'évolution climatique récente des températures dans l'espace du Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et de la mer des Caraïbes (cartes n°56 à 60) : ..... 464
a) Introduction : ..... 464
b) Etude de l'évolution des températures moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°56) : ..... 464
c) Etude des rythmes saisonniers (cartes n°57 et n°58) : ..... 471
d) Etude de l'évolution des températures moyennes annuelles 1948-1969 (carte n°59) et 1970-2003 (carte n°60) : ..... 471
3) Conclusion sur l'étude des températures dans l'espace de l'Atlantique du nord-est, le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes : ..... 472
4) Etude de l'évolution climatique récente des températures dans l'espace du Pacifique est (cartes n°61 à 68) : ..... 472
a) Introduction : ..... 472
b) Etude des températures moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°61) : ..... 483
c) Etude des températures moyennes annuelles dans le sous-espace du Pacifique du nord-est 1948-1977 (carte n°62) et 1978-2003 (carte n°63) : ..... 483
d) Etude des températures moyennes annuelles 1948-1969 (carte n°64) et 1970-2003 (carte n°65) dans le sous-ensemble du Pacifique centraméricain ..... 484
e) Etude des températures moyennes annuelles 1980-2003 (carte n°66) dans le sous-ensemble du Pacifique centraméricain, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale : ..... 484
f) Etude des rythmes saisonniers, les températures moyennes décembre, janvier, février 1949-2003 (carte n°67) et des températures moyennes juin, juillet, août 1948-2003 (carte n°68) : ..... 485
5) Conclusion sur l'étude des températures dans le Pacifique est : ..... 485
Chapitre 3 : Etude des précipitations en Amérique Centrale (1960-1995) ..... 487
1) Introduction : ..... 487
a) origine des données utilisées : ..... 487
b) Présentation du fichier utilisé : ..... 487
c) La méthode : ..... 488
2) Présentation, lecture et analyse de quelques courbes de références 1960-1995 (fig. n°220 à 242) : ..... 488

a) Présentation des courbes de références réalisées : ..... 488
b) Lecture et analyse des courbes de références : ..... 488
3) Présentation, lecture et analyse du tableau récapitulatif n°22 (accompagné des fig. n°220 à 242 et des cartes n°70 à 73) : ..... 488
a) Présentation du tableau réalisé : ..... 488
b) Lecture et analyse du tableau : ..... 500
4) Conclusion sur l'étude des précipitations : ..... 503
Chapitre 4 : Etude de l'évolution historique des cyclones et des tempêtes tropicales (1949-2003) dans l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes et dans l'espace du Pacifique du nord-est ..... 504
1) Introduction : ..... 504
a) Origine des données utilisées : ..... 504
b) Présentation des fichiers utilisés : ..... 504
c) la méthode : ..... 504
2) Présentation, Lecture et analyse des résultats graphiques de l'étude (Graphiques circulaires n°1 et 2 ; Fig. n°243 à 258 ; Tableau n°23) : ..... 504
a) Présentation des résultats graphiques de l'étude : ..... 504
b) Lecture et analyse des graphiques circulaires : ..... 513
c) lecture et analyse des courbes produites : ..... 513
d) Lecture et analyse du tableau récapitulatif : ..... 514
3) Conclusion sur l'évolution historique des cyclones : ..... 514
Chapitre 5 : Conclusion/Synthèse de la partie 4, la dilatation de l'hémisphère météorologique nord et ses conséquences climatiques en Amérique Centrale ..... 516
1) Introduction : ..... 516
2) Les conséquences climatiques : ..... 516
a) L'évolution des pressions de part et d'autre de l'isthme : ..... 516
b) L'évolution des températures de part et d'autre de l'isthme : ..... 516
c) L'évolution des précipitations en Amérique Centrale : ..... 516
d) L'évolution de l'activité cyclonique de part et d'autre de l'isthme : ..... 517
e) Le scénario *effet de serre* et les conséquences climatiques observées de part et d'autre de l'isthme centraméricain : ..... 517
3) Explications : la dilatation de l'hémisphère météorologique nord et un mode de circulation rapide : ... 519
a) La dilatation de l'hémisphère météorologique nord : ..... 519
b) Un mode de circulation générale rapide : ..... 519
4) Le phénomène « El Niño » (voir partie 1, chapitre 2, 3, carte n°6 et partie 1, chapitre 3, 5) : ..... 520
CONCLUSION GÉNÉRALE : ..... 523
BIBLIOGRAPHIE :……..529

5) Les cyclones pacifiques ; les « Cordonazos » : ..... 364
a) Bilan bibliographique : ..... 364
b) Etude de cas d'un « Cordonazo » : le cyclone « Kenna » (du 22 au 26/10/2002) : ..... 364
6) Synthèse sur les cyclones pacifiques (fig. n°161 : La dynamique propre aux « Cordonazos ») : ..... 374
Chapitre 6 : Les cyclones transisthmiques ..... 376
1) Introduction : ..... 376
2) Bilan bibliographique : ..... 376
3) Etudes de cas de cyclones transisthmiques : ..... 376
a) Etude de cas n°1 : la DT n°9 (du 19 au 20/9/2001) puis le cyclone/*Cordonazo* « Juliette » (du 21/9 au 3/10/2001) : ..... 376
b) Etude de cas n°2 : le cyclone « Iris » (du 4 au 10/10/2001 sur l'Atlantique) puis le cyclone « Manuel » (du 10 au 18/10/2001 sur le Pacifique) : ..... 405
4) Synthèse sur les cyclones transisthmiques : ..... 428
Chapitre 7 : Conclusion/Synthèse de la partie 3 ..... 430
1) Introduction : ..... 430
2) Les facteurs de la classification climatique du climat en Amérique Centrale : ..... 430
a) Les AMP : ..... 430
b) Le relief : ..... 431
c) Le critère aérologique : ..... 431
3) Les grands domaines aérologiques de l'isthme centraméricain (cartes n°42) : ..... 432
a) Introduction : Les types climatiques centraméricains ..... 432
b) Les domaines à tonalité climatique unique à proximité de l'Amérique Centrale (carte n°42) : ..... 432
c) Les domaines à tonalités climatiques alternées (ou saisonnières) en Amérique Centrale : ..... 432
4) Les régions climatiques de l'isthme centraméricain (carte n°43) : ..... 432

# INTRODUCTION GÉNÉRALE :

Au cours de deux années passées en Colombie entre 1994 et 1996, j'ai eu l'occasion de travailler en collaboration avec l'organisme des cultivateurs de café (CENICAFE) pour rédiger mon mémoire de DEA sur les précipitations colombiennes (1997). De retour au Salvador en 1997, pays où j'ai vécu et enseigné jusqu'en 2001, j'ai découvert une réalité climatique entrevue nulle part.

Cela a été pour moi une véritable découverte physique. L'isthme centraméricain m'est apparu comme étant un laboratoire bien particulier, qui a immédiatement éveillé ma curiosité. En Amérique Centrale, située au cœur du domaine tropical, les phénomènes climatiques ne semblaient pas connaître de barrière, les découpages en grandes zones compartimentées, notamment tempérées et tropicales, indépendantes les unes des autres paraissaient effacées, l'habituelle séparation des domaines semblant disparaître, tandis qu'ils m'apparaissaient communiquer entre eux. L'isthme centraméricain se révélait être un formidable carrefour climatique où l'interaction des phénomènes rendait l'étude de la dynamique fort passionnante et enrichissante. L'idée de me lancer dans une thèse venait de germer.

Voulant en savoir plus, je me suis donc rapidement rapproché des services climatiques salvadoriens. Entrer en contact avec les climatologues/météorologues n'a pas été facile. Dans ce pays (comme dans de nombreux pays centraméricains), la climatologie relève du « secret défense » ; les infrastructures se trouvent pour la plupart au sein des aéroports militaires (comme au Salvador) ou dans les ministères. J'ai dû redoubler de patience, me présenter souvent, donner avant de recevoir, remplir de nombreux formulaires, être recommandé avant de pouvoir entrouvrir certaines portes. En dépit de toute ma bonne volonté et de toute l'énergie déployée, force est de constater que je ne suis malheureusement pas toujours arrivé à obtenir tout ce que je désirais (notamment des données statistiques de qualité). Lors de mes nombreux voyages dans les pays voisins, à chacune de mes visites, j'allais me présenter, je glanais un mail ou un numéro de téléphone, un nom… Ce travail de terrain m'a permis d'être progressivement introduit auprès des instances locales et de discuter longuement avec des météorologues/climatologues issus de nombreux pays centraméricains. Je me suis ainsi aperçu que leur manière d'envisager la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale ne correspondait pas à la réalité climatique que je pouvais, sur place, entrevoir quotidiennement et qu'il n'y avait ainsi aucune dynamique d'ensemble clairement exposée.

Force est de constater que la plupart des grands climatologues/météorologues théoriciens ont élaboré leurs modèles à la fin du dix-neuvième siècle ou au début du vingtième. Ces modèles furent par la suite revisités mais sans grand changement sur le fond. On comprend dès lors un peu mieux que certaines théories puissent être dépassées d'autant plus qu'avec le temps, de nombreuses réserves émises initialement par les auteurs ont, par simplification progressive, complètement disparu. On dispose pourtant aujourd'hui d'outils informatiques et satellitaires que n'avaient pas les générations précédentes pour effectuer leurs observations et leurs analyses. Comment se fait-il alors qu'un certain immobilisme fige la recherche théorique ?

Quelle est donc la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale ?

Afin de répondre à cette interrogation, dans un premier temps, après la présentation du cadre orographique et océanographique nous ferons le point sur la manière classique d'envisager la dynamique du temps et du climat dans ce secteur. En vivant en Colombie puis

au Salvador, j'ai tout de suite ressenti l'influence primordiale que pouvait exercer le relief sur le temps et le climat. En présentant l'orographie, il s'agit non seulement de délimiter le cadre de notre étude, mais également d'apporter des précisions sur le rôle essentiel qu'exerce le relief sur la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale. Après la présentation de l'orographie, nous nous intéresserons à la circulation océanique ; quels sont les courants marins, comment évoluent-ils au gré des saisons ? Avant d'initier nos recherches personnelles, nous présenterons un bilan bibliographique le plus exhaustif possible des connaissances actuelles sur la climatologie de l'isthme américain, de façon à mettre en évidence les changements nécessaires dans la manière classique d'envisager aujourd'hui la climatologie de ce secteur.

Après avoir rappelé les acquis, le bilan des connaissances sur le sujet et déterminé à partir de ce bilan ce qu'il faut faire, nous montrerons dans une deuxième partie en quoi le modèle de l'AMP conduit à une vision rénovée de la dynamique de la circulation dans les basses couches en Amérique centrale.

Dans une troisième partie, après un bilan bibliographique exposant la perception locale de la dynamique propre à chaque type de perturbation, par des études de cas révélateurs de la dynamique dont certains correspondent à des catastrophes très médiatisées survenues ces dernières années, nous expliquerons « pas à pas » la dynamique des perturbations de l'espace centraméricain. Nous préciserons la dynamique propre à chaque type de perturbation, en passant progressivement de la zone tempérée vers le cœur de la zone tropicale. La dynamique de la circulation dans les basses couches clarifiée, la dynamique propre à chaque perturbation clairement exposée, nous proposerons à la fin de cette troisième partie une classification génétique inédite du temps et du climat en Amérique Centrale, en délimitant les grandes régions climatiques de l'isthme centraméricain.

La quatrième et dernière partie présentera l'évolution climatique récente constatée de part et d'autre de l'isthme centraméricain. Comment évoluent les pressions moyennes, les températures moyennes, les précipitations moyennes et les perturbations reines que sont les cyclones tropicaux. Cela fournira l'occasion de constater si l'évolution s'inscrit en parfaite logique avec ce que les parties précédentes auront mis en lumière.

La conclusion présentera les caractères fondamentaux de la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale.

# PARTIE 1 : LE CADRE DE L'ÉTUDE :

## Introduction :

Dans cette partie, nous présentons, dans un premier temps, le cadre orographique puis, dans un deuxième temps, le cadre océanographique et ensuite, dans un troisième temps le cadre bibliographique.

## Chapitre 1 : Description du cadre orographique (cartes n°1 et 2) :

### 1) L'orographie de l'Amérique du Nord (carte n°1) :

En Amérique du Nord, le relief s'articule autour du creux de la baie d'Hudson et de ses abords ; ce creux se prolonge en se rétrécissant vers le sud, occupé par le déploiement des Grands Lacs et les ramifications du bassin du Mississipi. Encadré par des montagnes tant à l'est qu'à l'ouest, l'ensemble apparaît comme un gigantesque entonnoir orographique.

Du côté de l'océan Atlantique, orientées nord-est/sud-ouest, les Appalaches s'étendent sur 3 600 kilomètres depuis l'île de Terre Neuve jusqu'au nord du Golfe du Mexique. Leur largeur varie de 200 à 400 kilomètres et elles culminent à 2 037 mètres au Mont Mitchell, dans leur partie méridionale.

Du côté de l'océan Pacifique, les Montagnes Rocheuses, depuis l'Alaska (chaîne d'Alaska culminant au Mont McKinley à 6 200 mètres), en passant par le nord de la Colombie britannique où elles prennent le relais des Monts Mackenzie (2 774 mètres au Mont Sir James Mc Brien), jusqu'au sud du Nouveau Mexique, se suivent en une vigoureuse masse de plissements orientée nord-nord-ouest/sud-sud-est culminant à 4 398 mètres au Mont Elbert (4 418 mètres au Mont Withney, dans la Sierra Nevada). Elles se prolongent plus au sud par l'ensemble des montagnes mexicaines qui se décomposent en deux puissantes chaînes : la Sierra Madre occidentale (culminant à plus de 3 000 mètres et longeant la côte pacifique sur 1 250 kilomètres puis se prolongeant par la Sierra Madre méridionale) et la Sierra Madre orientale (s'étendant au-dessus des plaines du Golfe du Mexique sur 1 300 kilomètres, atteignant près de 4 000 mètres), séparées par un triangle de hauts plateaux ayant une altitude moyenne de 1 500-1 700 mètres.

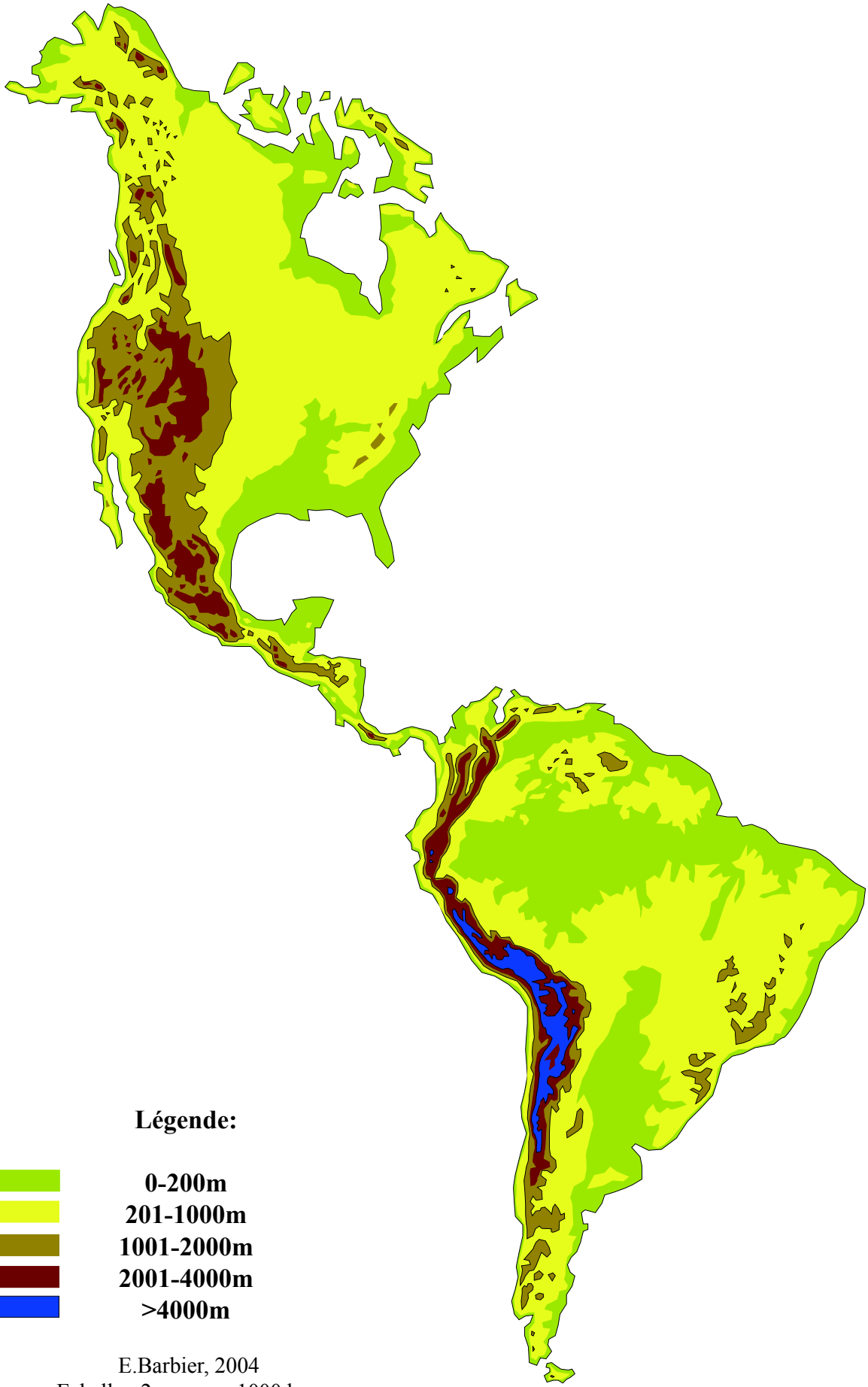
Au niveau de l'isthme de Tehuantepec, une coupure presque complète traverse cette immense et gigantesque zone montagneuse, c'est ici que commence l'Amérique Centrale. Plus à l'est, la zone montagneuse continue avec la Sierra Madre de Chiapas, liée à la cordillère centraméricaine et culminant à 3 142 mètres au Cerro Tres Cruces. A l'extrémité sud-est du Mexique, nous trouvons la péninsule du Yucatán qui se rattache elle aussi à l'Amérique Centrale.

### 2) L'orographie de l'Amérique Centrale (carte n°2) :

L'isthme centraméricain est marqué par une interpénétration de la terre et de la mer. Sur plus de 2 000 kilomètres, depuis l'isthme de Tehuantepec (215 kilomètres de large) dans le sud du Mexique, exception faite de la péninsule du Yucatán, le lien de terre ferme n'excède jamais 500 kilomètres de largeur.

L'Amérique Centrale peut se subdiviser en deux grands ensembles :

**Carte n°1 : L'orographie de l'Amérique**

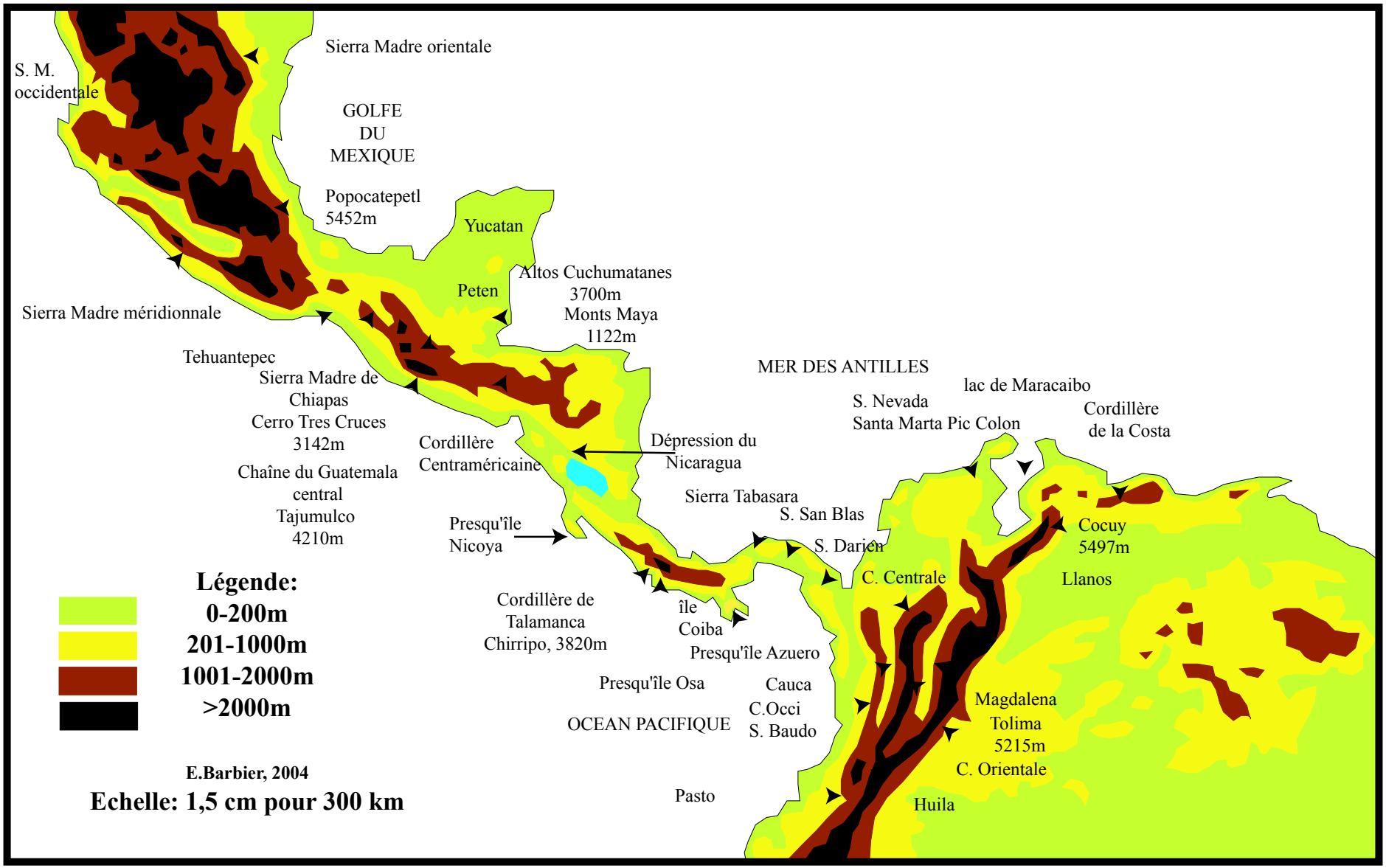


**Légende:**

**0-200m**
**201-1000m**
**1001-2000m**
**2001-4000m**
**>4000m**

E.Barbier, 2004
Echelle : 2 cm pour 1000 km

**Carte n°2 : L'orographie de l'Amérique Centrale**



### a) L'Amérique Centrale septentrionale :

L'Amérique Centrale septentrionale comprend le Guatemala, le Belize, El Salvador, le Honduras et le Nicaragua (sauf dans sa partie sud-ouest qui appartient à l'Amérique Centrale méridionale, la dépression du Nicaragua séparant les deux ensembles). On y inclut par contre toute la presqu'île du Yucatán. Cette Amérique Centrale septentrionale correspond aux prolongements des unités structurales du sud du Mexique. On peut y distinguer :

- Les chaînes du Guatemala central et du département de l'Alta Verapaz, orientées ouest-est, en arc de cercle convexe vers le sud culminent à plus de 4 000 mètres (Talana, 4 092 mètres ; Tajumulco, 4 210 mètres). Elles se prolongent dans la Sierra Madre du Chiapas (culminant à plus de 3 000 mètres) et s'ouvrent en éventail dans le nord et le centre du Honduras et du Nicaragua.

- Les chaînes des Altos Cuchumatanes (culminant à plus de 3 700 mètres) qui bordent au nord les massifs précédents et prolongent la chaîne frontale et les hauts plateaux du Chiapas (altitude moyenne de 1 500 mètres). Elles s'abaissent progressivement vers le nord, dans le Petén, puis vers la presqu'île du Yucatán.

- Les Monts Maya ou Cockscomb (culminant au Pic Victoria à 1 122 mètres au Belize).

- Les chaînes du sud du Guatemala, du Honduras (Monts Las Minas, 2 849 mètres ; Nueva Ocotepeque, 2 730 mètres ; Comayagua, 2 470 mètres) et du centre du Nicaragua (la région volcanique, Mont Kilambé, 1 963 mètres ; Cerro Saslaya, 1 990 mètres).

### b) L'Amérique Centrale méridionale :

Elle est constituée, dans son axe, par une chaîne relativement élevée qui porte le nom de cordillère de Talamanca au Costa-Rica, où elle culmine à 3 820 mètres (Cerro Chirripo), et des Sierras de Tabasara et San-Blas au Panama. Elle se raccorde à la branche occidentale des Andes colombiennes par la Sierra de Darién.

Au Costa-Rica, il existe, d'autre part, une cordillère côtière séparée par une légère dépression de la cordillère de Talamanca.

Une seconde unité structurale, superposée en partie à la première, est constituée par une bande de jeunes volcans. Ce groupe volcanique, partant de l'Amérique Centrale isthmique, se poursuit, en coupant obliquement la dépression du Nicaragua, dans les chaînes axiales de l'isthme jusque dans l'ouest du Panama, la densité des volcans diminuant progressivement.

Une troisième unité est constituée par la chaîne qui émerge dans les presqu'îles de la côte du Pacifique (presqu'île de Santa-Helena, de Nicoya, d'Osa, d'Azuero et de l'île de Coiba). Cette unité est séparée des chaînes axiales par les dépressions parallèles à la côte du Pacifique.

Cette Amérique Centrale méridionale unit l'Amérique Centrale septentrionale, dont elle est séparée par la dépression du Nicaragua, à l'extrémité nord-ouest de l'Amérique du sud.

## 3) L'orographie de l'Amérique du Sud (cartes n°1 et 2) :

La Cordillère des Andes est un élément important, à la fois par sa longueur (8 000 kilomètres), sa continuité et son extension en latitude sur 66° (de 11° de latitude nord à 55° de latitude sud). Ces montagnes, souvent étroites, notamment dans le sud où elles ne dépassent guère 100 à 150 kilomètres de largeur, forment une puissante barrière qui borde l'Amérique du Sud en lisière de l'océan Pacifique.

### a) En Colombie :

Les Andes se divisent en trois puissantes branches au nord du nœud de Pasto, séparées par les vallées du Cauca et de la Magdalena. La Cordillère occidentale, précédée au nord de Buenaventura par la chaîne côtière Serra de Baudo (1 800 mètres), domine l'étroite plaine du littoral pacifique. La cordillère centrale, la plus élevée, est riche en volcans (Nevados de Huila à 5 750 mètres, de Tolima à 5 215 mètres). La Cordillère orientale parfois appelée Cordillère de Bogota, la plus longue (1 200 kilomètres), culmine à la Sierra de Cocuy à 5 497 mètres et domine les plaines orientales (Los Llanos) et le sud du Venezuela. Au nord-est, la Sierra Nevada de Santa Marta (5 774 mètres au pic Cristobal Colon), surplombe la côte des Caraïbes (la mer des Antilles).

### b) Au Venezuela :

Au nord du pays, s'élèvent des montagnes puissantes, la Cordillère de La Costa culmine dans ce secteur à 5 007 mètres au Pico Bolívar. Cette puissante cordillère borde le littoral des Caraïbes et isole au nord-ouest la plaine et le lac de Maracaibo. Au sud de cette puissante barrière orographique s'étend la région des Llanos, immense dépression drainée par l'Orénoque.

### c) Plus au sud :

Entre le nœud de Pasto, en Colombie, et le col du Porcullo dans le nord du Pérou, les Andes qui traversent la république de l'Equateur sont formées par deux axes montagneux couronnés de grands volcans. Ils sont séparés par une dépression centrale, élevée, mais morcelée en une série de bassins ravinés.

Les Andes centrales péruano-boliviennes sont plus larges au sud qu'au nord, plus élevées et massives également. Elles ont leur ampleur maximale en Bolivie (400 à 500 kilomètres de large) et les points les plus bas de l'Altiplano se trouvent encore à 3 600 mètres d'altitude. Au sud du 8ème parallèle austral, aucun col ne permet le franchissement à moins de 4 000 mètres. La barrière andine est ici sans créneau. En revanche, entre le 5ème et le 8ème parallèle, les sommets ne dépassent qu'exceptionnellement 5 000 mètres et des brèches s'ouvrent dans la montagne à moins de 3 000 mètres. Vers l'ouest, les plis se succèdent comme des tuiles sur un toit incliné vers le Pacifique.

Les Andes, à la latitude de Lima, comprennent des hauts plateaux creusés de bassins, des chaînons orientés à l'est, des plis échelonnés à l'ouest, ou des blocs comme la Cordillère Blanche qui aligne sur 150 kilomètres des sommets dont une quinzaine dépassent 6 000 mètres.

Les Andes chiléno-argentines, orientées du nord au sud sur près de 4 000 kilomètres, s'amincissent dans la partie méridionale du continent; elles sont plus étroites,

plus morcelées et plus basses en Patagonie qu'au niveau de Santiago. La barrière est ici particulièrement impressionnante. Les crêtes, aux formes lourdes bien qu'aérées par des criques glaciaires, culminent à près de 7 000 mètres à l'Aconcagua (6 959 mètres). La retombée des montagnes du côté de l'océan Pacifique est brutale ; elle est cependant burinée par des vallées encaissées qui débouchent dans des plaines de piémont allongées parallèlement à la chaîne. Ces dépressions préandines sont séparées de l'océan par une Cordillère de la côte, constituée de plateaux étroits et faillés. L'extrémité méridionale des Andes comporte encore des montagnes aux formes vigoureuses comme le Fitz Roy, qui, bien qu'il ne dépasse guère 3 000 mètres, fait figure de très grande montagne. Cependant, les sommets ne sont plus ici, comme dans les Andes tropicales, posés sur un socle de plateaux élevés. Les Andes se terminent dans l'océan Pacifique par une série de couloirs d'effondrement. Des lacs, mitoyens entre l'Argentine et le Chili, sont situés à des altitudes voisines du niveau de la mer.

En Terre de Feu, les derniers chaînons andins, accolés aux bas plateaux qui les flanquent au nord, ont une direction ouest-est.

## 4) Conclusion :

Cette rapide description du cadre orographique nous permet d'entrevoir la spécificité du relief en Amérique Centrale.

A l'échelle du continent américain, au nord de l'isthme centraméricain, en Amérique du Nord, les Montagnes Rocheuses et leurs prolongements constituent une puissante barrière orographique continue, d'orientation méridienne, jusqu'à l'isthme de Tehuantepec au Mexique.

A l'extrémité sud du Panama, en Amérique du Sud, ce sont les Andes qui prennent le relais constituant elles aussi une puissante barrière orographique continue d'orientation méridienne jusqu'à 40° de latitude sud (les ensellements sont nombreux au sud de cette latitude).

L'isthme centraméricain se caractérise donc par un abaissement marqué du relief entre deux puissantes barrières orographiques d'orientation méridienne. Cet abaissement du relief, associé à l'étroitesse du lien de terre ferme observé entre les deux océans est à même de favoriser la communication aérologique entre le domaine atlantique et le domaine pacifique.

A une échelle plus fine, celle de l'Amérique Centrale, l'abaissement du relief est encore plus prononcé (altitudes inférieures à 250 mètres) au niveau de l'isthme de Tehuantepec au Mexique, de la dépression du Nicaragua et de l'isthme de Panama proprement dit.

Après avoir présenté, dans ce premier chapitre, le cadre orographique de l'étude, nous allons maintenant présenter, dans un deuxième chapitre, le cadre océanographique.

# Chapitre 2 : Le cadre océanographique

## 1) Les principaux courants marins (cartes n°3, 4 et 5) :

### a) Dans l'océan Pacifique :

La circulation océanique superficielle est en partie impulsée par la circulation aérienne.

En situation normale d'hiver boréal, les alizés nord et sud poussent vers l'ouest le courant de Californie froid qui devient le courant nord-équatorial et le courant du Pérou froid (ou de Humboldt) qui devient le courant sud-équatorial. Le courant froid de Colombie prolonge jusqu'au golfe de Panama (en se réchauffant) le courant de Humboldt. Le vide relatif est compensé par le contre-courant équatorial chaud qui revient vers l'est sous la zone des calmes liée à l'équateur météorologique vertical (EMV). Ainsi l'isthme américain est baigné par des eaux chaudes, entre deux courant froids.

Le contre courant équatorial se trouve généralement situé « entre 5° et 10° de latitude nord ». Il « porte vers l'est, depuis les îles Carolines (5° de latitude nord-140° de longitude est), les eaux rebroussées par l'axe Philippines-Moluques-Nouvelle Guinée » (Lamarre, 1991).

Ce courant de surface connaît généralement une très grande variabilité saisonnière : « il est faible et discontinu en février-mars ; au contraire, pendant l'hiver austral, il est renforcé par l'alizé austral dévié (mousson du Pacifique nord-est) » (J.P Pinot, 1968). L'intensité et la position de ce courant « dépendent de la migration saisonnière de la convergence des alizés » (B. Voituriez, 1981). Précisons que la zone de « convergence des alizés » correspond à l'équateur météorologique (EM).

Le Pacifique subéquatorial nord-est présente une curiosité hydrologique : le « dôme thermoclinal » du Costa Rica (Umatani et Yamagata, 1990). En effet, on y observe, de manière permanente, semble-t-il, une remontée de la thermocline au large du littoral pacifique du Costa-Rica. Vers « 5°-12° de latitude nord / 84°-92° de longitude ouest (…), sur 200 à 400 kilomètres de diamètre, la thermocline se trouvant à 10-15 mètres seulement de la surface » (Lamarre, 1991).

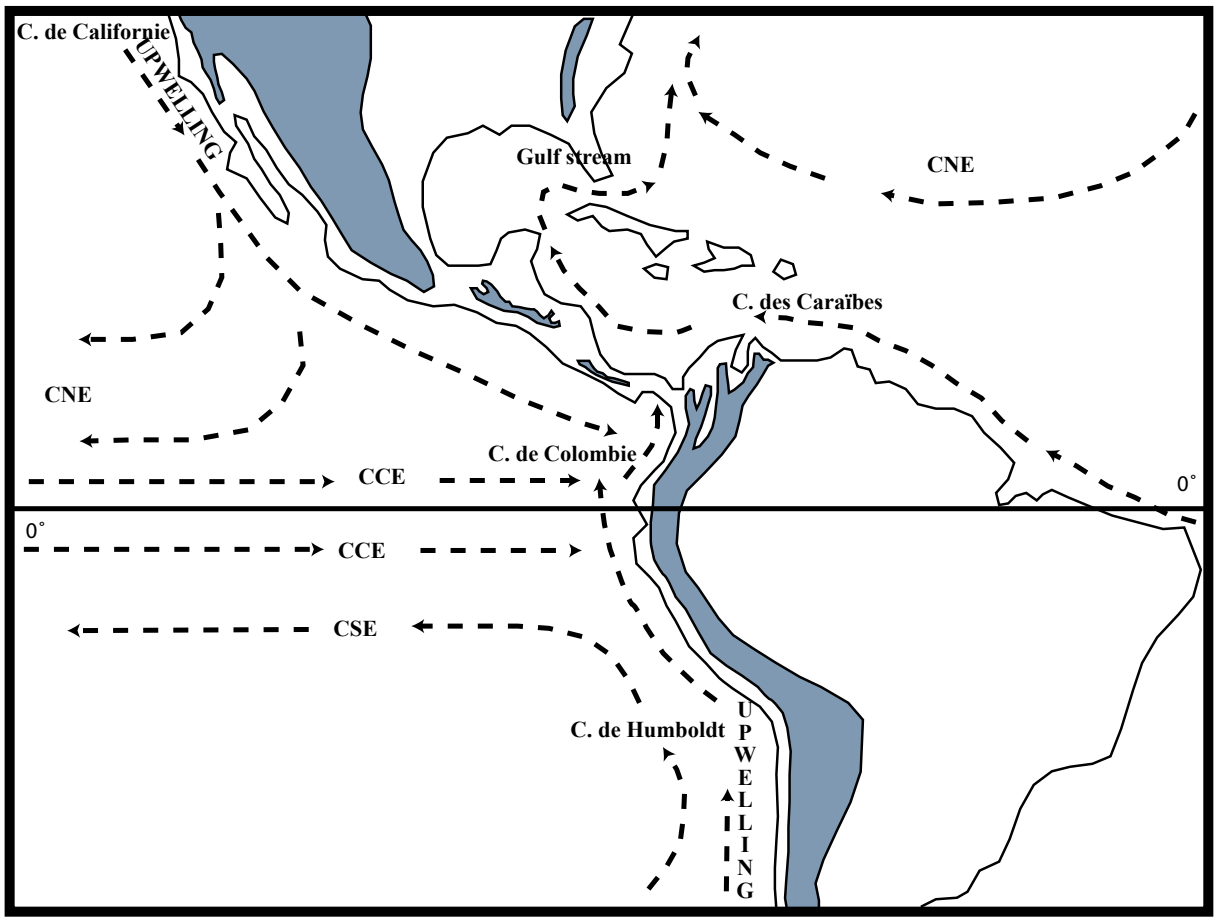
A Panama, Guzman (1971) remarque que pendant la saison sèche, quand l'alizé du nord-est est très bien développé, la température moyenne mensuelle des eaux de surface océanique dans les Caraïbes est jusqu'à 7°C supérieure à celle observée dans l'océan Pacifique et explique cela par l'émergence de « poches d'eau froide » à la surface du Pacifique. Cet auteur constate que pendant des épisodes de « Nortes » (vents du nord) bien marqués, dans ces « poches d'eau froide », la température descend de 28°-27°C à 24°-23°C. Il s'agit en fait de zones d'upwelling momentanés par vent de nord.

Stumpf (1974), Steenburgh et al., (1997), remarquent des « poches d'eaux froides » se formant au large du Golfe de Tehuantepec au Mexique, essentiellement pendant la période hivernale, quand les « Nortes » soufflent violemment. Roden (1971), souligne la présence d'un « upwelling » situé au nord-ouest du Mexique, prolongement de celui observé plus au nord, en Californie (voir ci-dessous partie 1, chapitre 2, 2).

### b) Dans l'océan Atlantique (Golfe du Mexique, mer des Caraïbes) :

La mer des Caraïbes et le Golfe du Mexique sont baignés par un courant marin chaud. C'est ici que prend naissance le Gulf Stream (alimenté par le courant nord équatorial

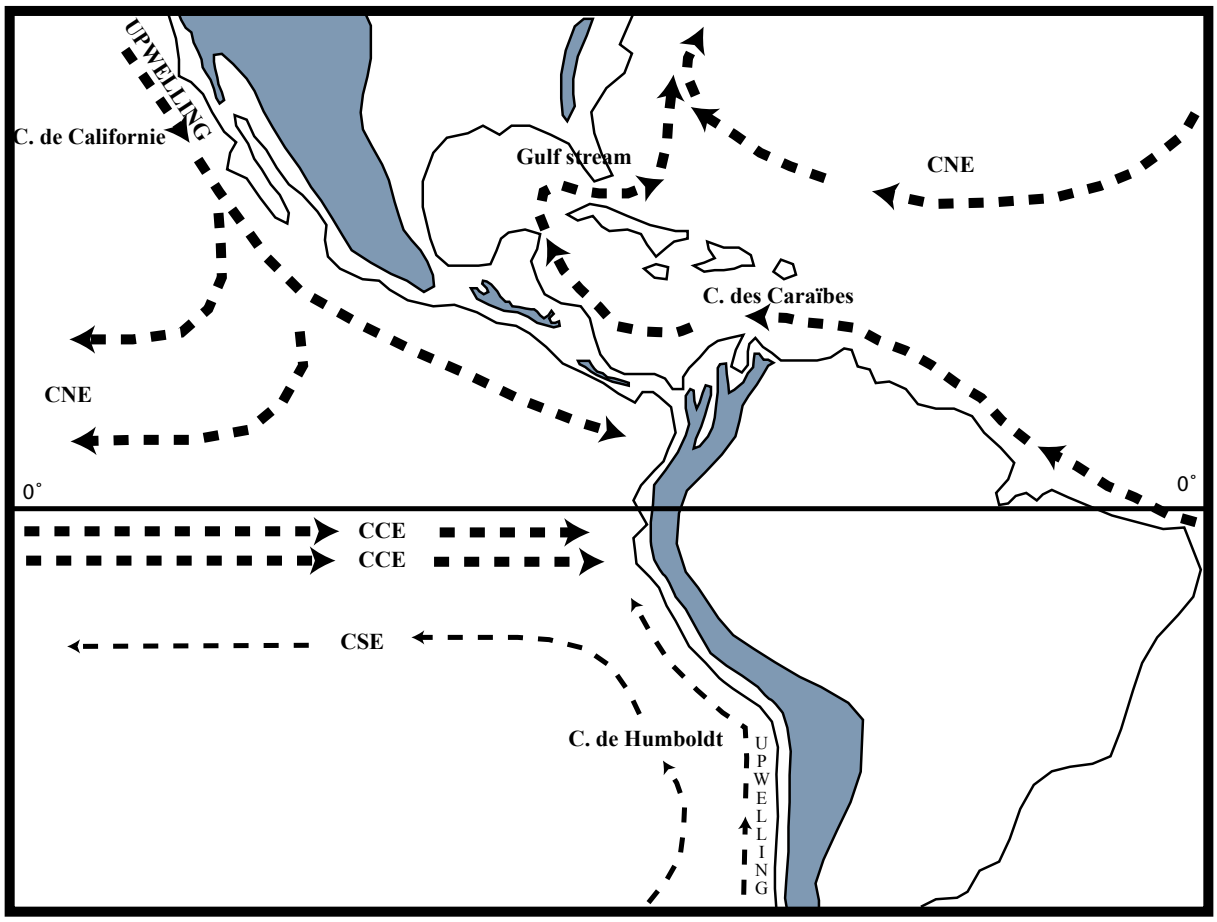
**Carte n°3 : les courants marins (situation moyenne)**




**Légende:**

CCE: contre courant équatorial (chaud)
CNE: courant nord équatorial (froid)
CSE: courant sud équatorial (froid)
Courant de Californie (froid)
Courant de Humboldt (froid)
Courant de Colombie (froid)
Courant des Caraïbes (chaud)
Gulf Stream (chaud)
Emmanuel Barbier, 2004

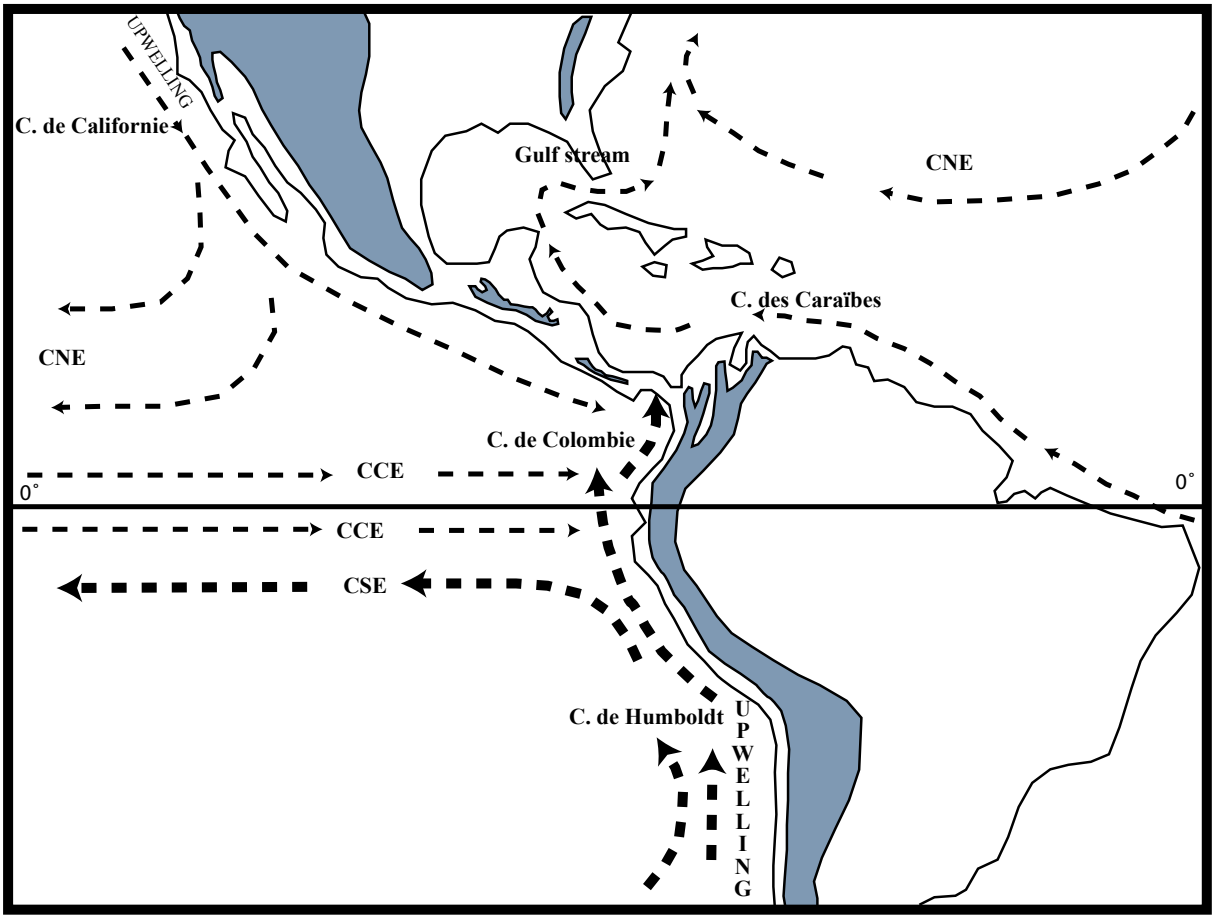
**Carte n°4 : les courants marins (situation en hiver boréal)**




**Légende:**

CCE: contre courant équatorial (chaud)
CNE: courant nord équatorial (froid)
CSE: courant sud équatorial (froid)
Courant de Californie (froid)
Courant de Humboldt (froid)
Courant de Colombie (froid)
Courant des Caraïbes (chaud)
Gulf Stream (chaud)
Emmanuel Barbier, 2004

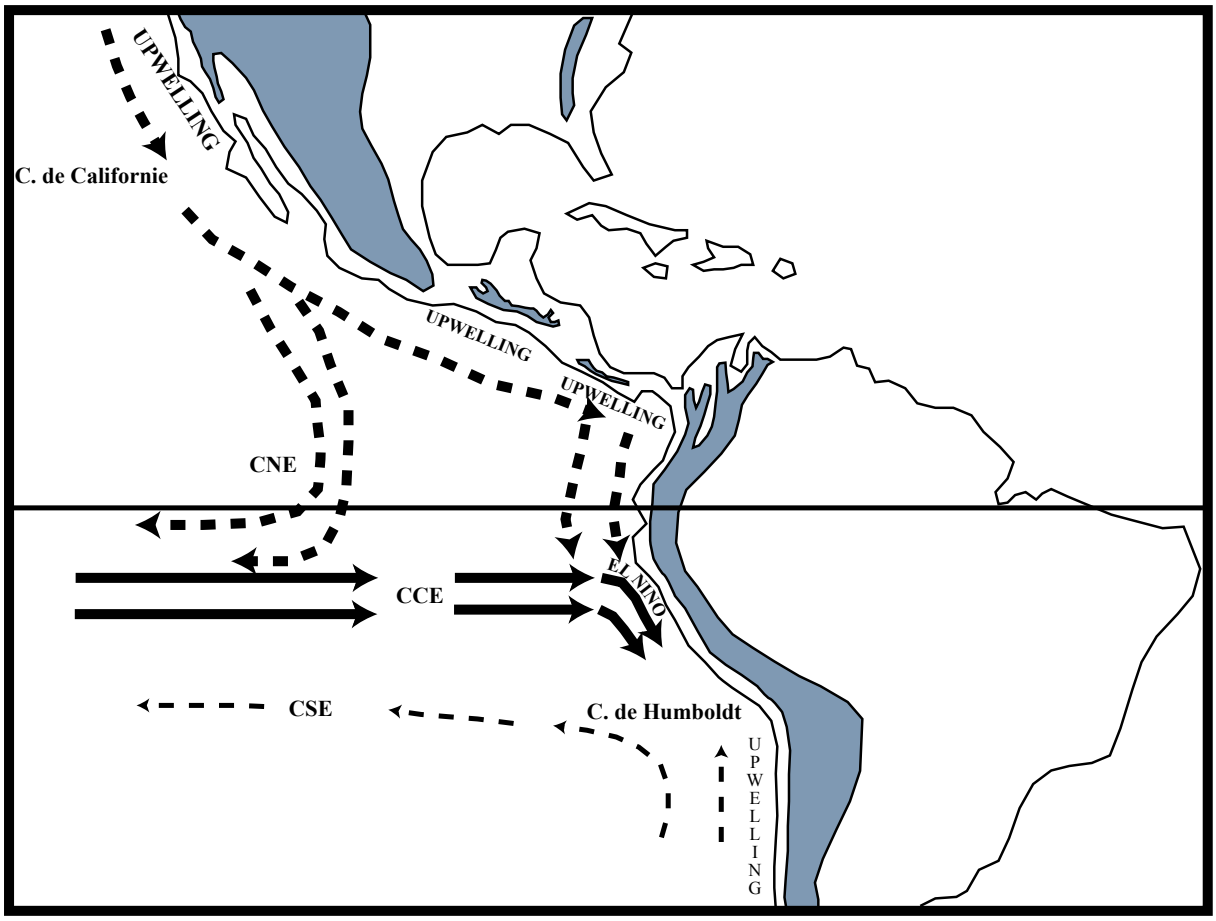
**Carte n°5 : les courants marins (situation en hiver austral)**




**Légende:**

CCE: contre courant équatorial (chaud)
CNE: courant nord équatorial (froid)
CSE: courant sud équatorial (froid)
Courant de Californie (froid)
Courant de Humboldt (froid)
Courant de Colombie (froid)
Courant des Caraïbes (chaud)
Gulf Stream (chaud)
Emmanuel Barbier, 2004

**Carte n°6 : les courants marins sur le Pacifique pendant une situation El Nino**




## Légende:

CNE: courant nord équatorial (froid)
CSE: courant sud équatorial (froid)
CCE: contre courant équatorial (chaud)
Courant de Californie (froid)
Courant de Humboldt (froid)

Emmanuel Barbier, 2004

atlantique et le courant du Brésil qui se prolonge en courant des Guyanes puis en courant des Caraïbes).

Le courant des Caraïbes, « soutenu par l'alizé, est vigoureux jusqu'à 600 mètres de profondeur » (Lamarre, 1991). Cet auteur nous précise qu'en surface, la vitesse de ce courant est « supérieure à 0,6 m/s le long de son axe, qui est plus proche des Grandes Antilles que de l'Amérique du Sud ». Après le resserrement produit par le canal du Yucatán, la plus grande partie des eaux passe entre Cuba et la Floride et constitue ainsi la source majeure (plus du tiers du volume) du Gulf Stream.

## 2) Les upwellings californien et chilien (cartes n°3, 4 et 5) :

Le long des côtes du Chili, du Pérou, de l'Equateur (région des îles Galapagos) et de la côte pacifique de la Colombie, l'alizé maritime, en écartant l'eau de surface (réchauffée) du rivage, provoque un vide relatif et la remontée d'eaux profondes froides (upwelling).

Le même phénomène s'observe au large des côtes californiennes.

L'upwelling est plus marqué en période hivernale à cause du renforcement des alizés.

A ces deux grandes zones d'upwelling, nous pouvons rajouter celle (plus localisée et essentiellement hivernale) où s'observe le dôme du Costa Rica – Panama et celle en face de l'isthme de Tehuantepec au Mexique.

## 3) Les courants marins pendant un épisode « El Niño » (carte n°6) :

Le long des côtes du Chili, du Pérou, de l'Equateur et de la Colombie, l'alizé maritime, en écartant l'eau de surface du rivage, provoque un vide relatif et la remontée d'eaux profondes (upwelling). Mais, tous les ans « un faible courant côtier, à l'époque de Noël, s'écoule en direction du sud » (Wyrtki, 1979) jusqu'au nord du Pérou et se retire en avril (courant « El Niño »). Episodiquement, à intervalles irréguliers, ce courant « El Niño » est plus fort et descend davantage vers le sud. Les eaux fraîches sont alors remplacées par des eaux chaudes aux conséquences économiques désastreuses pour les pêcheurs.

## 4) Conclusion :

En situation normale, l'Amérique Centrale est baignée, de part et d'autre de l'isthme, par des eaux chaudes.

La configuration moyenne, décrite ci-dessus, connaît d'importantes variations saisonnières (voir cartes n°4 et 5). D'une saison à l'autre, le déplacement des courants marins est général, vers le sud en hiver boréal, vers le nord en hiver austral (migration de l'ordre de 15° de latitude). Des variations beaucoup plus importantes sont susceptibles de se produire lors d'un épisode « El Niño ».

Après avoir présenté, dans ce deuxième chapitre, le cadre océanographique de l'étude, nous allons maintenant présenter, dans un troisième chapitre, le cadre bibliographique en proposant un bilan des connaissances actuelles sur la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale.

# Chapitre 3 : Le cadre bibliographique

## 1) Les grandes zones climatiques en Amérique Centrale :

### a) Introduction :

L'Amérique Centrale qui s'étend entre 7° et 22° de latitude nord, se trouve entièrement située à l'intérieur de la zone climatique tropicale.

« Pendant de nombreuses années, on a cru, que sous les Tropiques, à l'exception des cyclones, il n'y avait pas de véritable changement du temps atmosphérique comme on peut l'observer aux latitudes moyennes » (Guzman, 1971). Habituellement, on considérait que les phénomènes atmosphériques étaient déterminés par la marche diurne et annuelle des éléments atmosphériques et qu'une certaine monotonie prédominait sous les Tropiques.

Nous retrouvons cette même idée dans le dictionnaire Larousse : les régions tropicales, « rassemblent des pays qui ont la particularité d'être constamment chauds. La différenciation saisonnière s'effectue en fonction des variations pluviométriques, opposant une période sèche (pendant l'hiver de l'hémisphère nord) à une période humide ».

De manière « un peu trop simpliste » (Guzman, 1971), on pensait que pendant la saison sèche, le soleil brillait de manière ininterrompue toute la journée et que pendant la nuit, à cause du contre rayonnement terrestre, la surface de la Terre connaissait un important refroidissement. Pendant la saison pluvieuse, après une matinée ensoleillée, se produisaient le soir, à une heure bien déterminée, donc prévisible à la minute près, de fortes averses orageuses . Une nuit claire et étoilée prenait ensuite place.

Heureusement, comme le constate Guzman (1971), « avec les progrès de la recherche, on s'est vite aperçu que le temps est, sous les Tropiques, aussi variable que dans les latitudes moyennes ». Pour nous conforter dans cette idée, Portig (1976), remarque que dans cet espace de l'Amérique Centrale, « les variations locales et saisonnières sur de courtes distances sont étonnamment importantes »

Tout ne serait donc pas aussi simple et monotone sous les Tropiques...

### b) Différenciation climatique en fonction du volume annuel de précipitations :

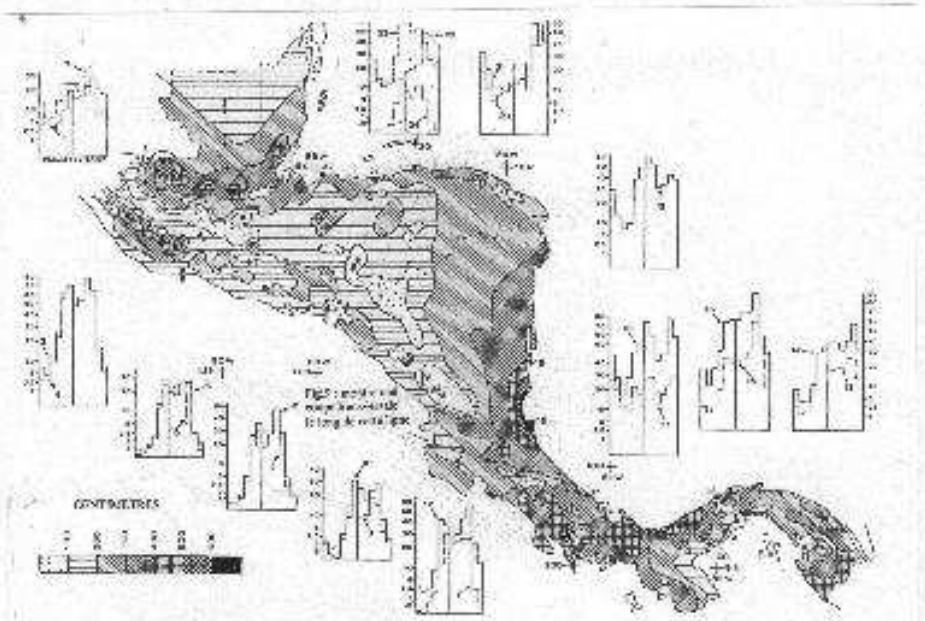
La différenciation saisonnière s'effectue généralement en fonction des variations pluviométriques (une saison sèche, une saison humide).

Selon Guzman (1971), « de manière générale et en accord avec le régime des pluies, l'Amérique Centrale peut être subdivisée en deux grandes régions climatiques : le versant atlantique et le versant pacifique ».

Le versant atlantique se caractérise par le fait qu'il reçoit des précipitations durant presque toute l'année alors que le versant pacifique connaît une période sèche (« epoca seca ») plus ou moins marquée de novembre à avril. Lamarre (1991), qui fait les mêmes constatations parle de « dissymétrie d'ensemble de la pluviométrie ».

Dans le World Survey of Climatology, Portig (1976), nous donne quelques précisions régionales et locales supplémentaires (voir carte n°7, reproduite ci-dessous). Cet auteur constate « des variations étonnamment fortes dans la répartition des précipitations annuelles moyennes ». Des régions où une certaine sécheresse prédomine s'opposent à des régions où les précipitations apparaissent excessives.

**Carte n°7 : Les précipitations annuelles moyennes en Amérique Centrale (Portig, 1976)**



Portig individualise une large bande de steppe qui s'étend depuis le Guatemala et le Honduras jusqu'au nord-ouest du Nicaragua à l'intérieur de laquelle le total annuel des précipitations reste inférieur à 1 000 millimètres.

D'après Hastenrath et Lessmann (1963), certaines zones de la côte du Pacifique, l'ouest de la baie de Fonseca et le sud-ouest de la ville de Panama, recevraient également un total annuel des précipitations très proche de 1 000 millimètres.

Deux types de régions avec des précipitations importantes contrastant avec la faible pluviosité des régions précédentes peuvent être également individualisés.

Le premier type s'observe dans les montagnes nord du Guatemala et sur la côte sud de ce pays ainsi que dans les montagnes situées à la frontière entre le Costa Rica et le Panama.

Le deuxième type s'observe le long de quelques portions de la côte, comme entre le Belize et la ville de Puerto Barrios (Guatemala), à proximité de San Juan del Norte (Greytown) sur la côte atlantique du Panama. A un moindre degré, l'extrémité sud-est du Panama et les côtes sud du Costa-Rica, peuvent s'y rattacher.

Lamarre (1991), nous donne des précisions sur la répartition de la pluviométrie annuelle moyenne. En Amérique Centrale, on observe « la diminution des précipitations du sud vers le nord, et la diminution d'est en ouest, c'est-à-dire de la façade caraïbe à la côte pacifique ».

Cependant, ce même auteur, émet quelques réserves : « l'articulation du relief demeure l'élément le plus pesant dans la répartition spatiale de la pluie ». La topographie étant très variée, les paramètres locaux s'imposent et « dégager des traits pluviométriques communs sur une certaine étendue se présente donc, en ce qui concerne l'isthme, comme un exercice malaisé (...) ».

Force est de constater qu'il est par conséquent très difficile de faire un découpage simple et précis, rendant compte de manière objective de la variété climatique en Amérique Centrale d'après les quantités annuelles moyennes précipitées. De ce fait, la valeur des cartes synthétiques est toute relative…

Chez les auteurs, cette dualité pluviométrique s'exprime également sur le plan des rythmes saisonniers.

### c) Différenciation climatique en fonction des principaux régimes pluviométriques :

Portig (1976), remarque qu'à quelques très rares exceptions (voir carte n°7, régimes 5 et 9), toute l'Amérique Centrale connaît deux maxima pluviométriques.

La saison sèche principale se produit en hiver ou au début du printemps et elle est beaucoup plus marquée dans la partie pacifique de l'Amérique Centrale que dans la partie atlantique (voir ci-dessous, carte n°8).

Portig (1976) met en avant un deuxième minimum des précipitations se produisant au milieu de l'été. Cette interruption de la saison pluvieuse, en juillet et en août, par une « courte période où les précipitations sont déficientes » (Mosiño et Garcia, 1974 ; Reyna, 1990), période où l'on observe une diminution du nombre de jours avec des précipitations supérieures à 0,1 millimètres peut être appelée « Veranillo » (Guzman, 1971 ; Portig, 1976 ; Lamarre, 1991), « Canícula » (M. Cortez-Vasquez, 2000), « mid-summer dry season » (Sánchez-Santillán et De la Lanza-Espino, 1996), « mid-summer drought » (Magaña V. et al., 1998) ou encore « sequía relativa de medio verano », « sequía intraestival » (D. Pereyra-Diaz, Q. Angulo-Cordova, B. E. Palma-Grayeb, 1994 ; M. Cortez-Vasquez, 2000).

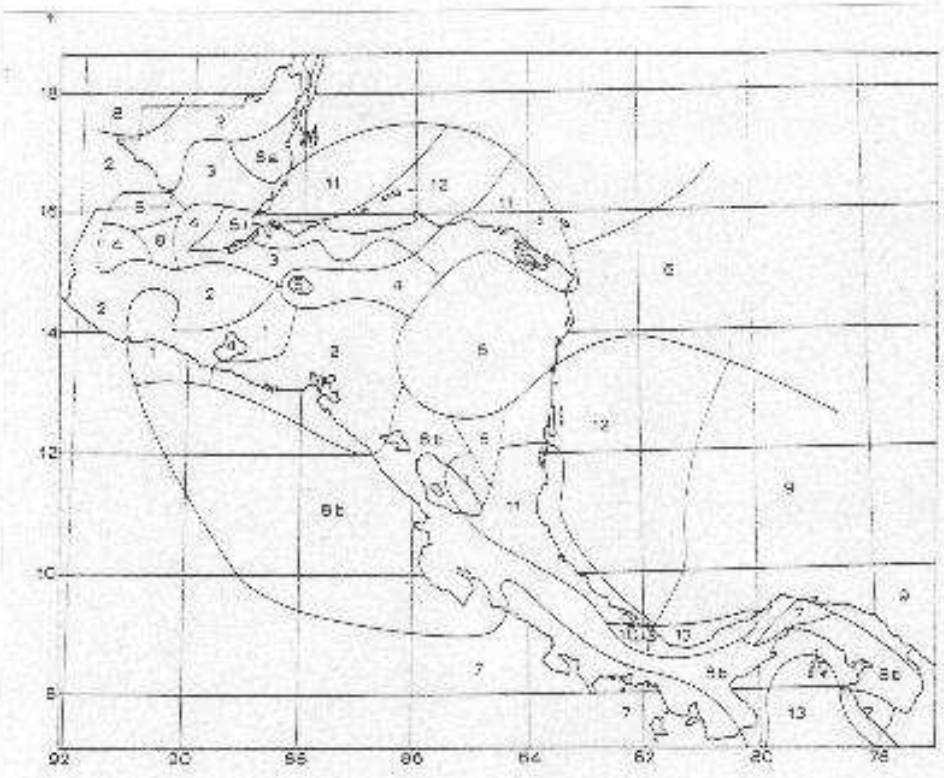
Portig (1976), remarque également que « le début/la fin de la saison des pluies/sèche peut considérablement varier d'un endroit à l'autre, d'une année à l'autre et ce sur de très courtes distances ».

Lamarre (1991) nous donne de plus amples informations : « le régime bimodal comporte donc deux variantes principales en Amérique Centrale : la plus répandue, dans la partie centrale de l'isthme et sur la façade pacifique, avec deux maxima moyens précoces de juin et de septembre ; en second lieu, le type bimodal à maxima plus tardifs (juillet ; novembre ou décembre), localisé sur la façade atlantique, surtout du Honduras au Panama ».

### d) Différenciation climatique en fonction de l'altitude :

Certains auteurs, plus anciens, ont en leur temps proposé une classification climatique d'échelle locale d'après l'altitude du lieu considéré. Guzman (1971), reprend par exemple les travaux de Köppen sur le Salvador. Cette classification, encore très vivace de nos jours en Amérique Centrale puisque reprise dans de nombreux Atlas et dans les manuels scolaires du second degré (voir carte n°9, ci-dessous, tirée de l'atlas censal salvadorien, reprise par Guzman, 1971 et toujours reproduite de nos jours dans les manuels scolaires salvadoriens d'Histoire et Géographie), nous présente un étagement des climats en fonction de l'altitude. Depuis le niveau de la mer jusqu'au sommet des montagnes, la température diminue et on observe successivement : les « terres chaudes », les « terres tempérées » et les « terres froides ». Des subdivisions plus précises, d'échelle locale, étant proposées...

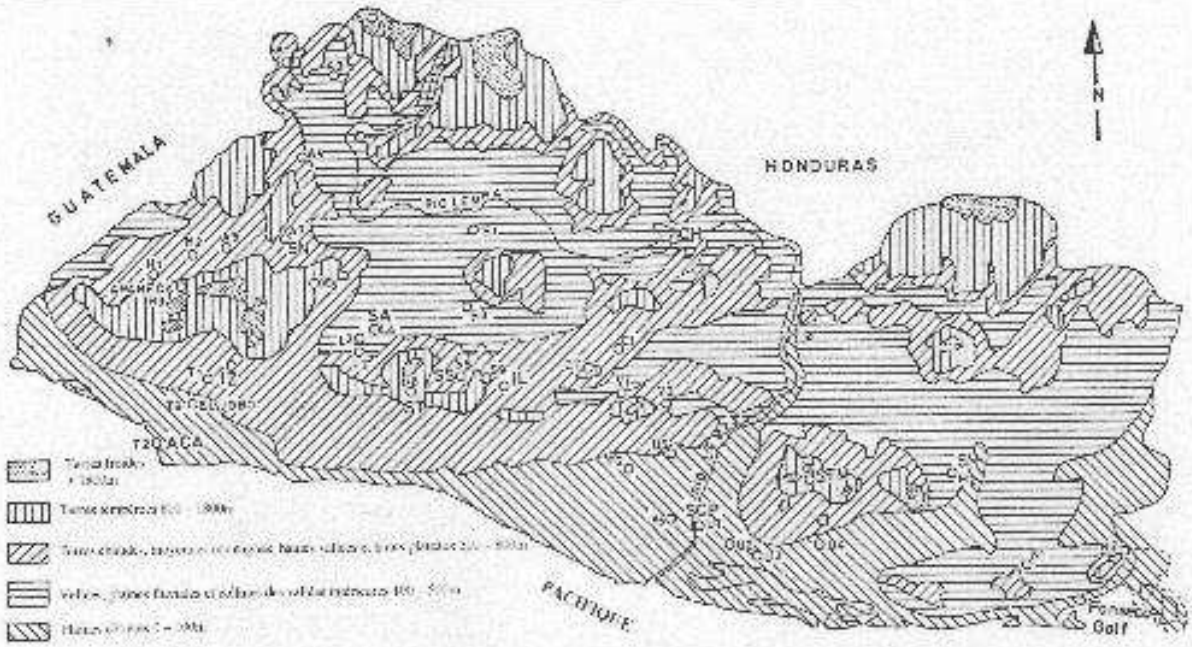
## Carte n°8 : Les régimes pluviométriques en Amérique Centrale (Portig, 1976)




TABLE

| Regimes | J | F | M | A | M | J | JI | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 3 | 26 | 101 | 182 | 174 | 166 | 196 | 126 | 20 | 4 |
| 2 | 13 | 9 | 11 | 22 | 131 | 182 | 133 | 112 | 200 | 134 | 33 | 20 |
| 3 | 52 | 32 | 26 | 29 | 75 | 132 | 113 | 98 | 147 | 130 | 84 | 80 |
| 4 | 12 | 8 | 2 | 22 | 82 | 164 | 183 | 162 | 190 | 113 | 44 | 18 |
| 5 | 35 | 24 | 14 | 26 | 74 | 155 | 177 | 155 | 141 | 94 | 63 | 42 |
| 6 | 52 | 18 | 2 | 32 | 82 | 143 | 170 | 117 | 113 | 125 | 78 | 68 |
| 7 | 16 | 10 | 9 | 31 | 115 | 117 | 103 | 112 | 118 | 205 | 113 | 51 |
| 8a | Honduras britannique (Belize) | | | | | | | | | | | |
| | 54 | 29 | 16 | 37 | 64 | 116 | 104 | 104 | 141 | 149 | 110 | 75 |
| 8b | Ailleurs | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 7 | 6 | 24 | 117 | 141 | 107 | 108 | 138 | 182 | 109 | 47 |
| 9 | 36 | 14 | 10 | 24 | 113 | 118 | 110 | 108 | 131 | 125 | 147 | 64 |
| 10 | 68 | 41 | 52 | 75 | 78 | 121 | 95 | 96 | 94 | 86 | 102 | 102 |
| 11 | 56 | 33 | 11 | 41 | 65 | 155 | 125 | 111 | 78 | 95 | 114 | 116 |
| 12 | 78 | 44 | 28 | 28 | 52 | 64 | 96 | 85 | 78 | 134 | 195 | 120 |
| 13 | 39 | 23 | 38 | 68 | 94 | 94 | 96 | 112 | 83 | 101 | 142 | 112 |
| Pacifique (1) + (2) + (7) + (8b): | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | 7 | 7 | 26 | 115 | 156 | 129 | 125 | 163 | 162 | 69 | 30 |
| Atlantique (6) + (8a) + (9) + (11) + (12): | | | | | | | | | | | | |
| | 47 | 23 | 15 | 40 | 84 | 125 | 121 | 110 | 109 | 119 | 118 | 87 |

**Carte n°9 : Les zones climatiques salvadoriennes en fonction de l'altitude (d'après Rudloff, 1955 et Gierloff Emden, 1958 in Guzman, 1971)**




## 2) Comment ces différences climatiques sont-elles généralement expliquées par les auteurs ?

Pour Guzman (1971), le temps atmosphérique est l'état de l'atmosphère en un lieu donné et à un moment déterminé. Le climat est la séquence annuelle normale des types de temps en un lieu donné, une région ou un pays.

L'état de l'atmosphère à un moment donné et en un lieu donné se caractérise par un ensemble d'éléments parmi lesquels, la température, les précipitations, l'humidité, la pression atmosphérique et le vent jouent un grand rôle. Ces éléments sont appelés « éléments formatifs du temps ou du climat ». La magnitude de ces éléments, leurs moyennes, fréquences et variations sont contrôlés par des « facteurs déterminatifs du climat ».

Ces « facteurs déterminatifs » doivent être appréhendés en premier lieu car ils influent sur les « éléments formatifs » pour donner les différents types de temps et le climat.

### a) Les « facteurs déterminatifs » du climat :

Pour Guzman (1971), les « facteurs déterminatifs » du climat sont :

- La hauteur du soleil ou la latitude.
- La distribution des terres et des mers.
- Les « systèmes barométriques semi-permanents ».
- L'orographie. Notons que si pour Guzman (1971), l'orographie est un « facteur important de la différenciation régionale des climats » ; Portig (1976), tout en admettant que les forts contrastes locaux et saisonniers à l'échelle de l'Amérique Centrale peuvent s'expliquer en partie par les influences de l'orographie, fait remarquer que « les raisons de ces forts contrastes dans la répartition annuelle de précipitations ne sont que partiellement comprises ».

- Les courants marins.
- Les perturbations atmosphériques.

Toujours selon Guzman (1971), pour une description complète du climat, il est nécessaire de disposer de données tant de l'état moyen des éléments atmosphériques et de ses variations que de la description des séquences journalières et annuelles des situations typiques du temps atmosphérique. Portig (1976) partage lui aussi cette façon de penser puisqu'il nous propose également une présentation des éléments du climat puis une énumération des différentes perturbations centraméricaines responsables des différents types de temps.

**b) Les éléments du climat :**

- **Le vent :**

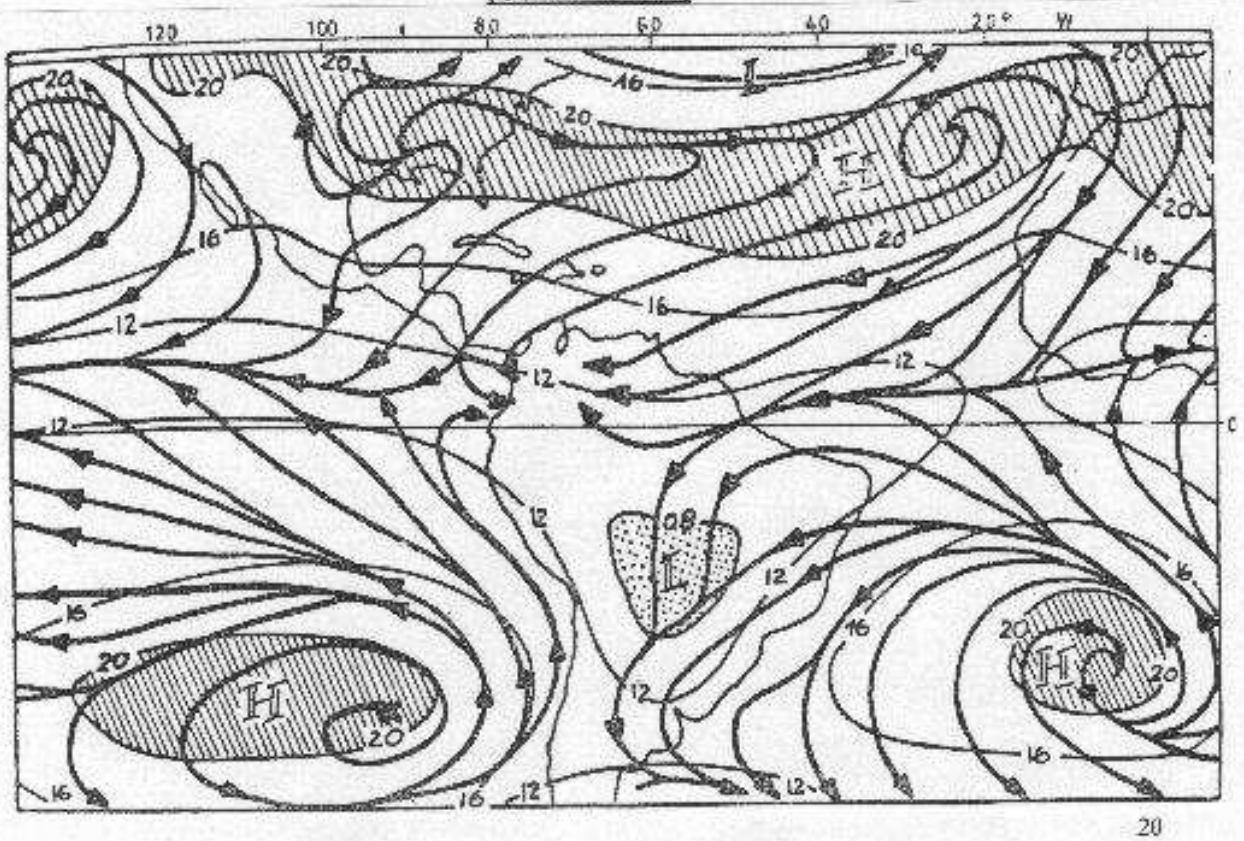
Tous les auteurs présentent le vent comme l'élément climatique le plus sujet aux influences d'échelle locale.

Les auteurs s'accordent également pour dire que les observations trop peu nombreuses et la rareté des données de qualité sur une période de temps suffisamment longue, rendent difficile l'exploitation statistique. « Il est quasi impossible de tenter de restituer avec exactitude les conditions moyennes du vent en Amérique Centrale » (Portig, 1976).

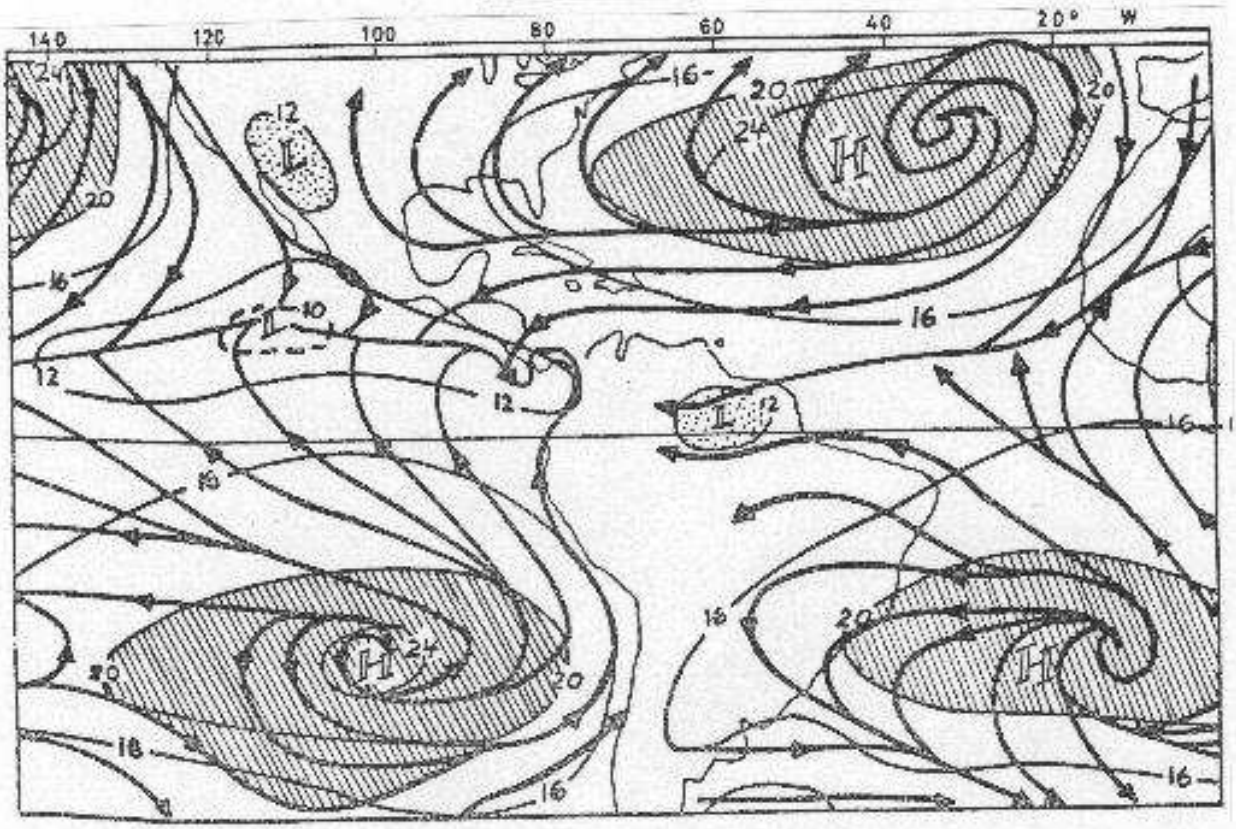
« Les mesures de vent en surface dans les stations terrestres ne sont pas représentatives et par conséquent pas utilisables. Elles souffrent de l'influence des gradients locaux (brise de terre, brise de mer et vents orographiques) » (Guzman, 1971).

Ces deux auteurs nous proposent cependant des cartes présentant les conditions moyennes. A titre d'exemple, nous reproduisons ci-dessous un type de carte (cartes tracées selon la méthode des lignes de flux) associant pression atmosphérique et vent.

**Carte n°10 : Vent et pression atmosphérique au niveau de la mer en janvier (Guzman, 1971)**



**Carte n°11 : Vent et pression atmosphérique au niveau de la mer en juillet (Guzman, 1971)**




Toujours à titre d'exemple, nous reproduisons ci-dessous des cartes moyennes présentant les directions, la régularité et la force du vent en surface pour les mois de février, mai, juillet, octobre et décembre.

**Légende des cartes (Guzman, 1971) :**

**Vents océaniques prédominants**

Les graphiques montrent les directions moyennes en surface, la régularité et la force du vent

Légende des symboles utilisés :

Directions et fréquences

81% ou plus

de 61% à 80%

de 41% à 60%

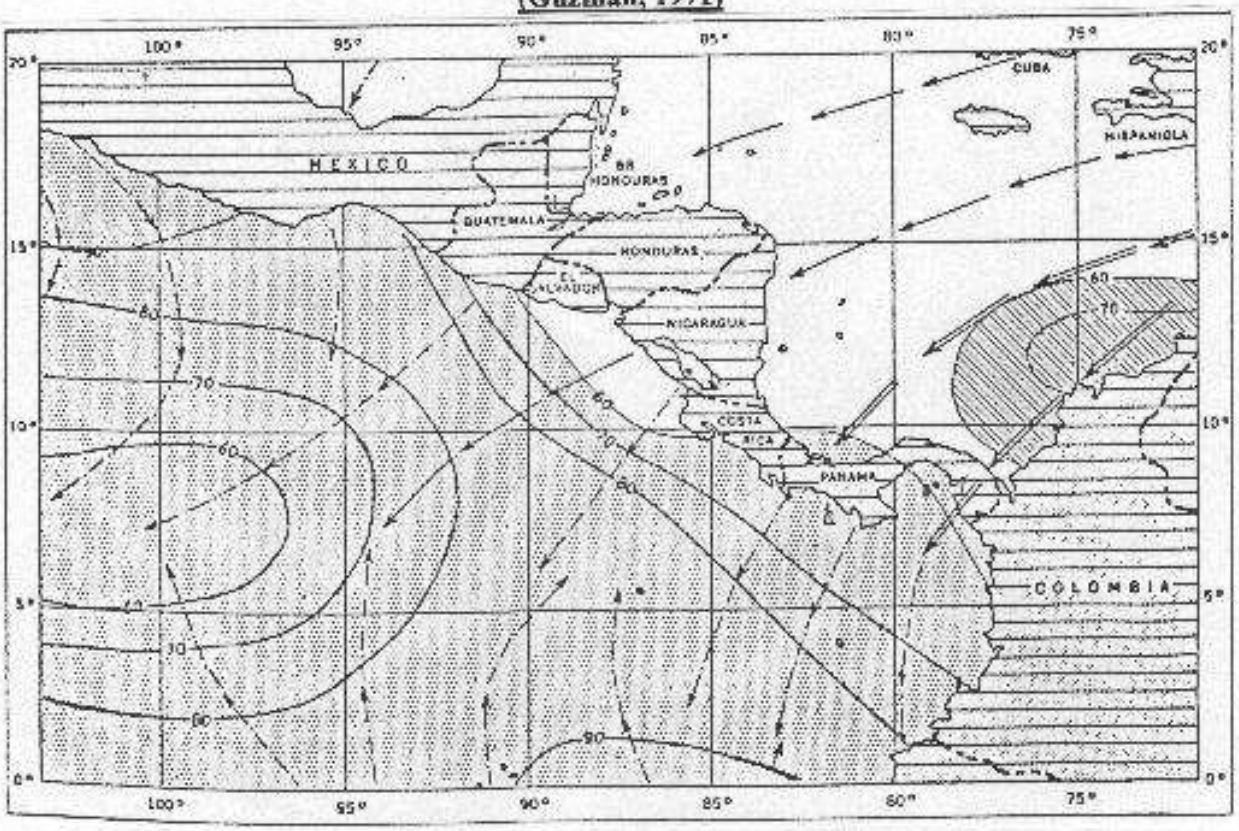
de 25% à 40%

vitesse moyenne

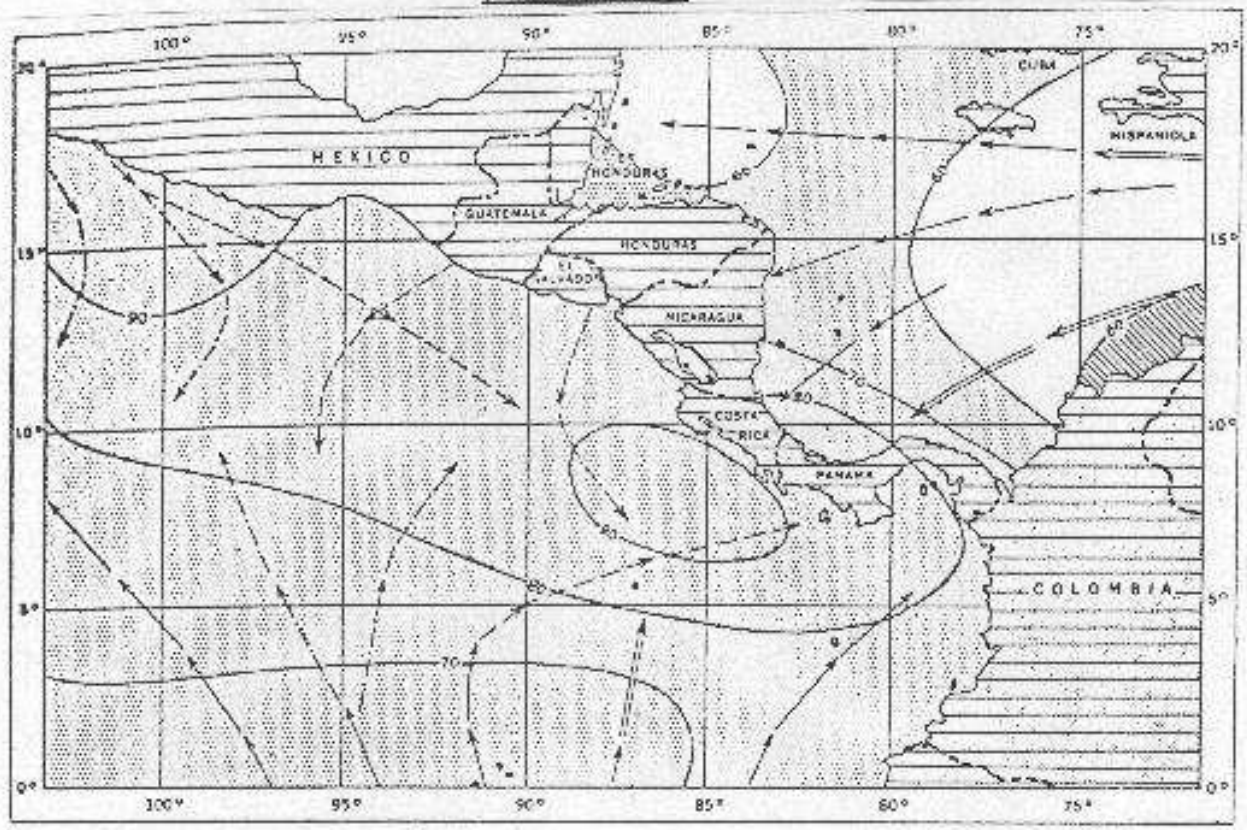
(0 to 10 knots), prédominance Beaufort 0 – 3

Beaufort 4 (11 to 16 knots) vents plus forts, et plus, dominants pendant 60% du temps ou plus

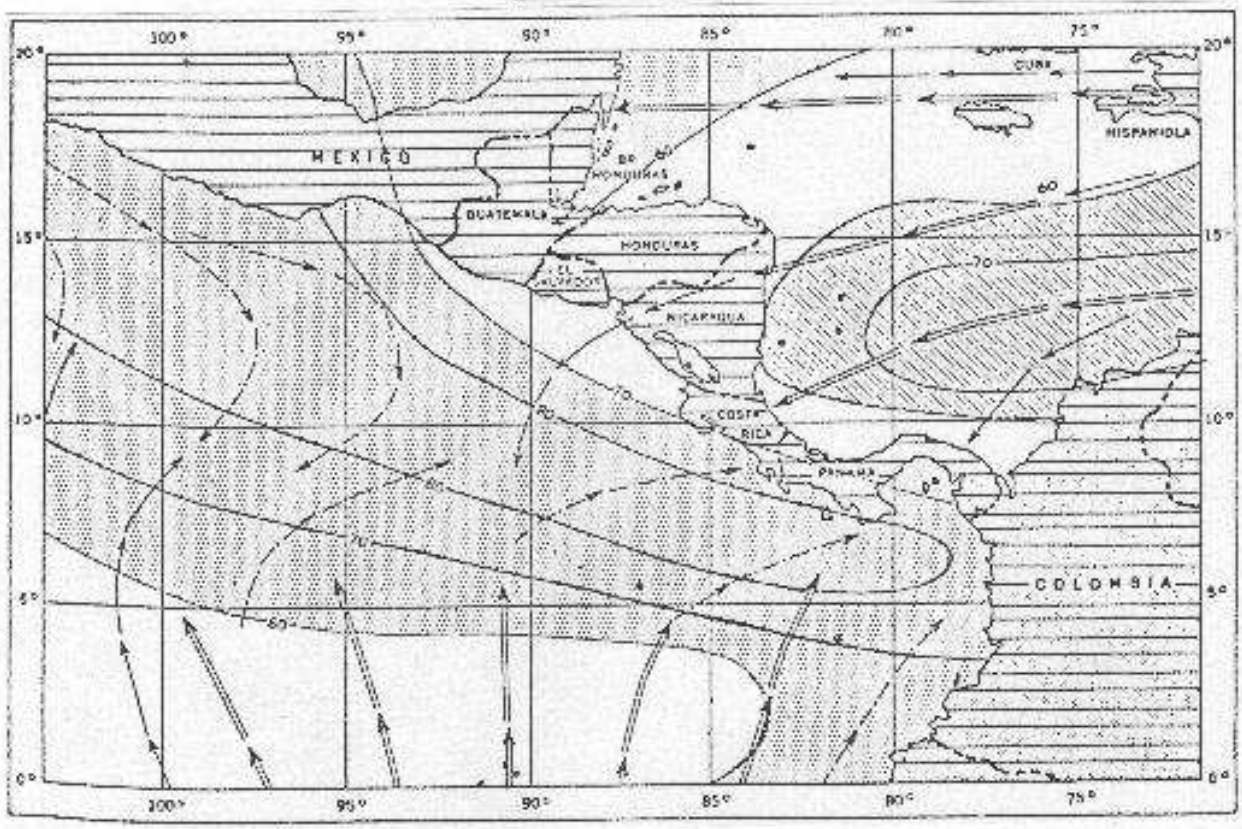
**Carte n°12 : Vents prédominants en février**
**(Guzman, 1971)**



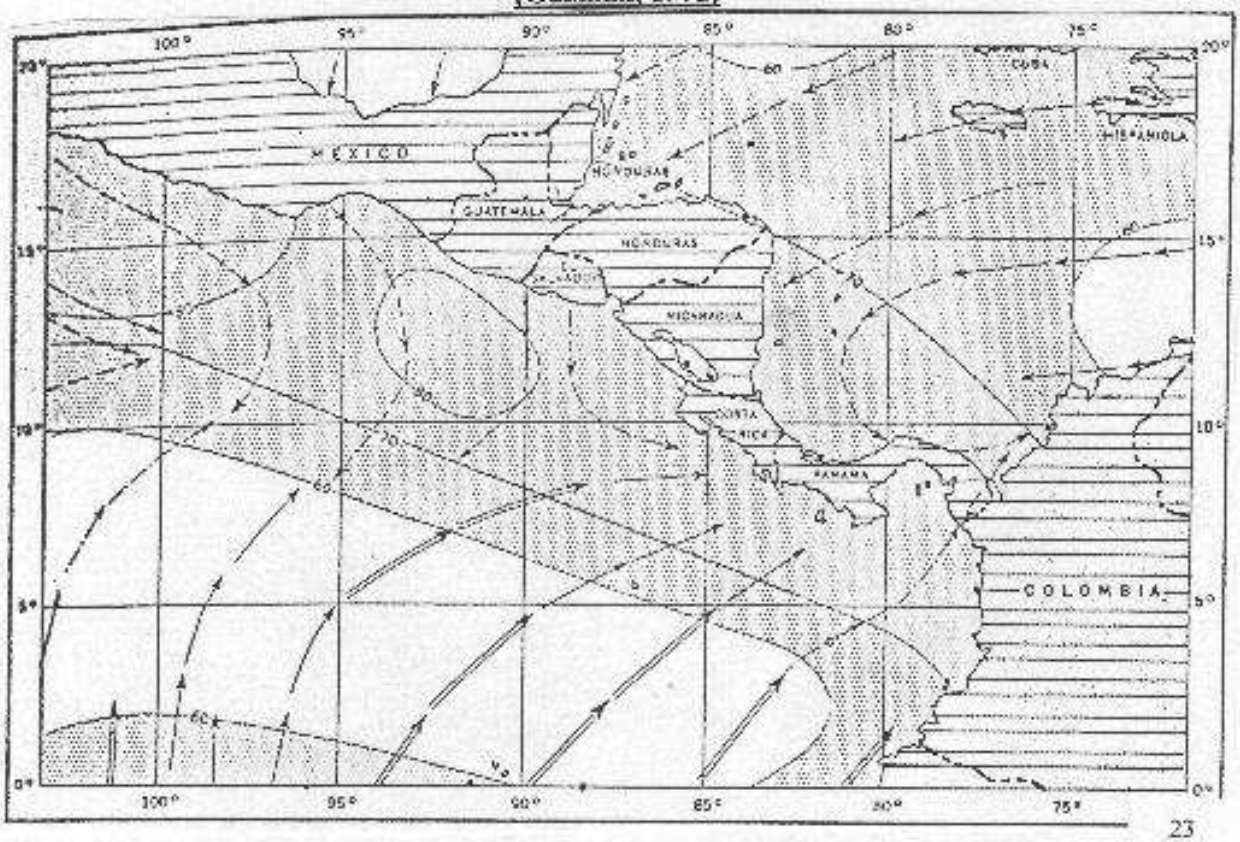

**Carte n°13 : Vents prédominants en mai**
**(Guzman, 1971)**



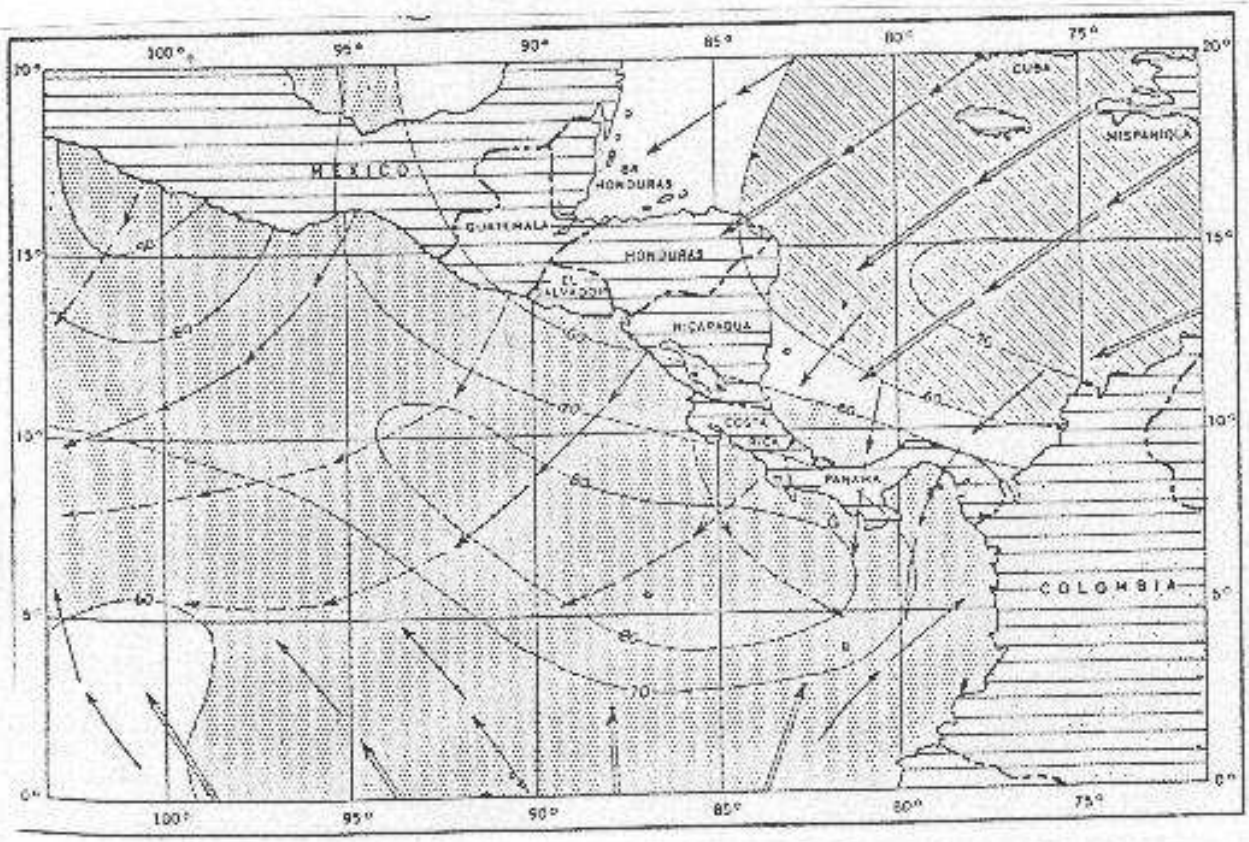
**Carte n°14 : Vents prédominants en juillet**
**(Guzman, 1971)**




**Carte n°15 : Vents prédominants en octobre**
**(Guzman, 1971)**



**Carte n°16 : Vents prédominants en décembre**
**(Guzman, 1971)**




Les cartes présentées par ces auteurs dans leurs ouvrages, sont accompagnées de quelques commentaires très généraux, résumés ici succinctement :

Portig (1976), remarque que dans la partie ouest, les vitesses maximales moyennes se produisent en hiver (en février et mars). Dans la partie est, les vitesses maximales moyennes se produisent au milieu de l'été. A la fin de l'été, au début de l'automne les vitesses maximales moyennes diminuent et concernent le centre de la mer des Caraïbes (vers 15° de latitude nord, 70° de longitude ouest). Les vitesses minimales moyennes du vent s'observent en automne sur toute la région.

Pour cet auteur, la station de San Juan (Costa Rica) résume bien à elle seule les vitesses et les directions moyennes du vent de toutes les stations influencées par les alizés.

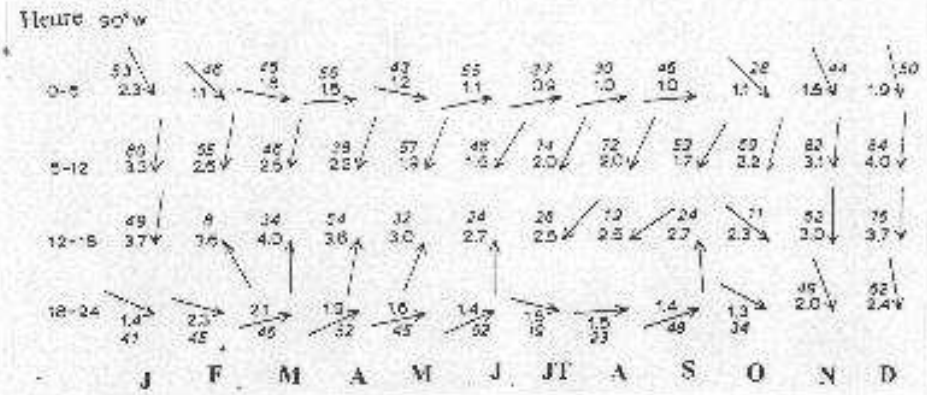
**San Juan (Costa Rica) :**

| N | NE | E | SE | S | SO | O | NO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4.5 | 5.6 | 4.8 | 3.2 | 2.8 | 2.7 | 3.4 | 4.5 | m/s |

Le quadrant le plus rapide est 5°- 95° (approximativement nord-est), le plus lent est 146°- 237° (approximativement sud).

Cependant, l'Amérique centrale, également influencée par l'océan Pacifique, connaît des changements quotidiens et saisonniers significatifs de la direction du vent. L'exemple de la ville de San Salvador (El Salvador), accompagné du tableau suivant nous est présenté :

**Variation diurne du vent à San Salvador (El Salvador) :**




Variation diurne du vent à San Salvador. Chiffres romains = vent moyen en m/s.
Chiffres en italique = régularité en pourcentage.

Portig (1976) remarque que San Salvador se trouve alternativement sous l'influence des alizés (« alisios » désignant ici les flux issus de l'Atlantique), des « Northers » (« Nortes », vents du nord) et des « southwesterlies » (« vientos del suroeste », désignant ici les flux de sud-ouest issus du Pacifique).

L'interprétation des cartes moyennes présentées par Guzman (1971 pour les mois de janvier, février, mai, juillet, octobre et décembre) sera reprise en conclusion générale du bilan bibliographique.

Il est à noter que le vent est l'objet d'une grande attention dans les études plus récentes. Sánchez-Santillán et De la Lanza-Espino (1996), dans leur étude sur le nord-est du Mexique, ne parlent plus de deux saisons (une saison sèche, une saison humide) mais de trois saisons climatiques. La différenciation saisonnière ne se faisant plus seulement à partir des simples variations pluviométriques mais en y intégrant la fréquence et l'intensité du vent. Sont ainsi individualisées trois saisons climatiques : de novembre à février, la saison des « Nortes » (vents puissants du nord) ; de mars à avril, la saison sèche (« Secas ») et de mai à octobre, la saison pluvieuse (« Lluvias »).

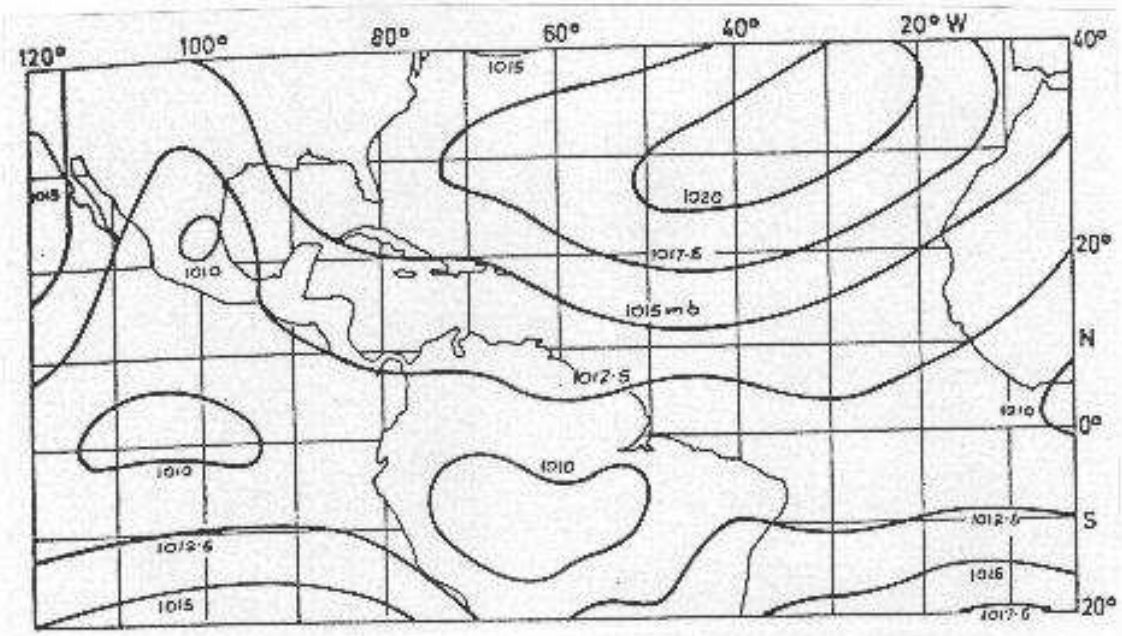
M. Cortez-Vazquez (2000) dans son étude sur les variations intra-saisonnières de l'activité convective au Mexique et en Amérique Centrale constate que les variations « les plus remarquables » concernent les changements intra-saisonniers des directions du vent. Après avoir analysé le vent dans les basses couches (1 000 hPa et 850 hPa ), il remarque que la convection augmente mi-juin dans le nord-ouest du Mexique et, qu'au contraire, elle diminue dans le centre du Mexique, les Caraïbes, l'Amérique Centrale et le Pacifique oriental. C'est l'époque de la « Canicula », sécheresse du milieu de l'été. Les changements d'intensité du vent dans les basses couches sur l'Amérique Centrale et le Pacifique oriental coïncident avec la phase d'initiation et le développement de la saison pluvieuse.

- **La pression atmosphérique :**

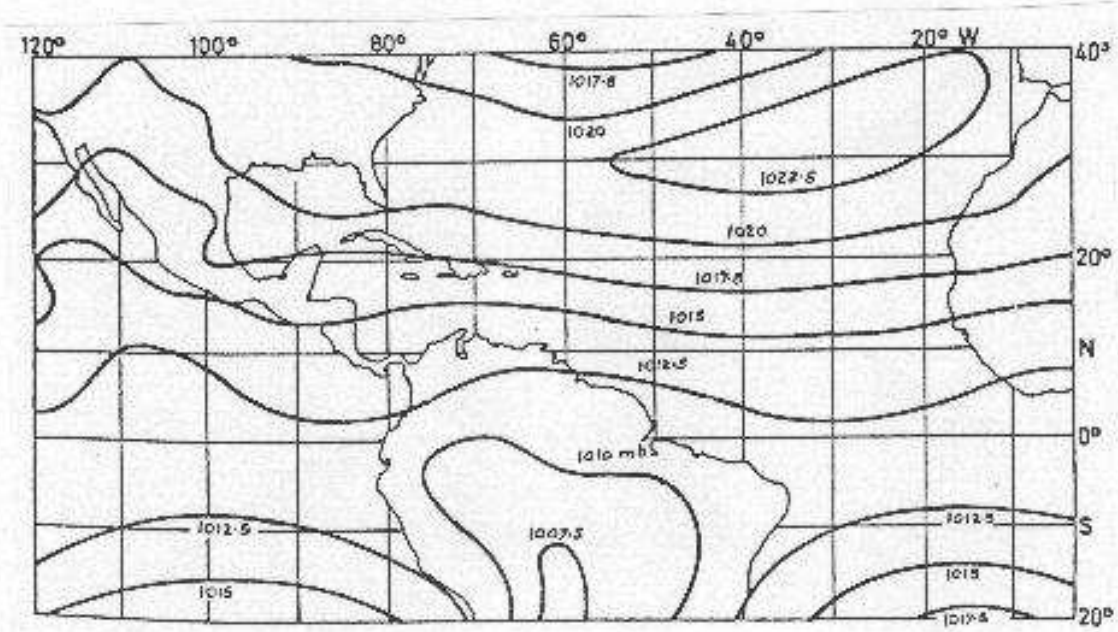
Portig (1976) nous fait remarquer (sans proposer de carte) que la pression atmosphérique est habituellement présentée pour les mois de janvier et de juillet. En Amérique centrale, ces deux mois représentant des maxima. Il faudrait donc, d'après lui, compléter l'information et indiquer quand se produisent les minima. Guzman (1971) nous

propose de nombreuses cartes de la pression atmosphérique moyenne en janvier, avril, juillet et octobre, cartes reproduites ci-dessous.

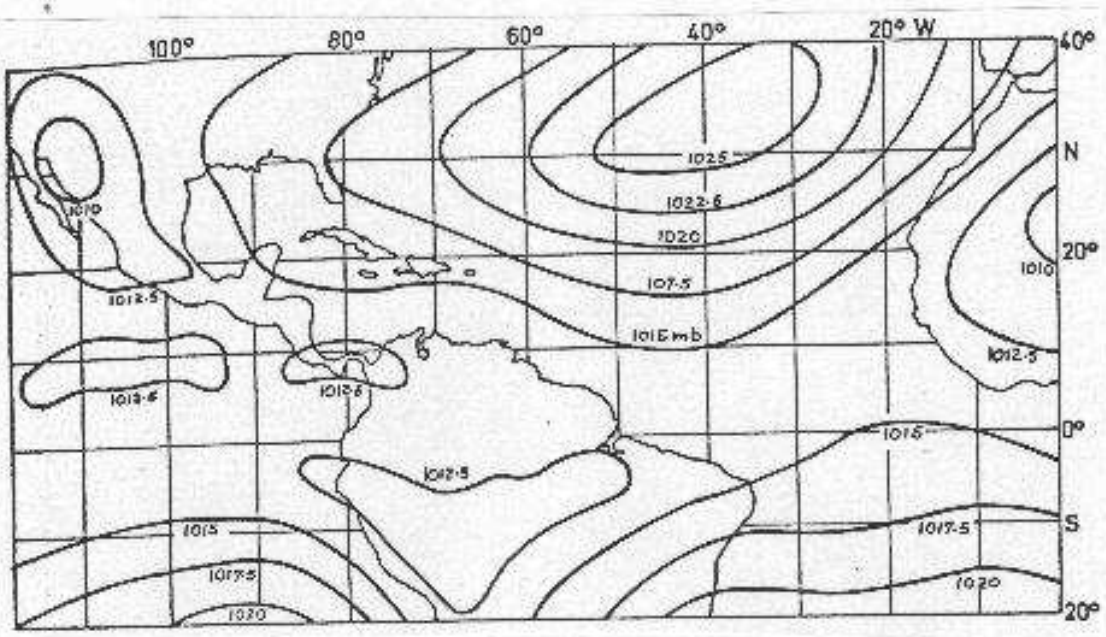
**Carte n°17 : La pression atmosphérique au niveau de la mer en janvier (Guzman, 1971)**



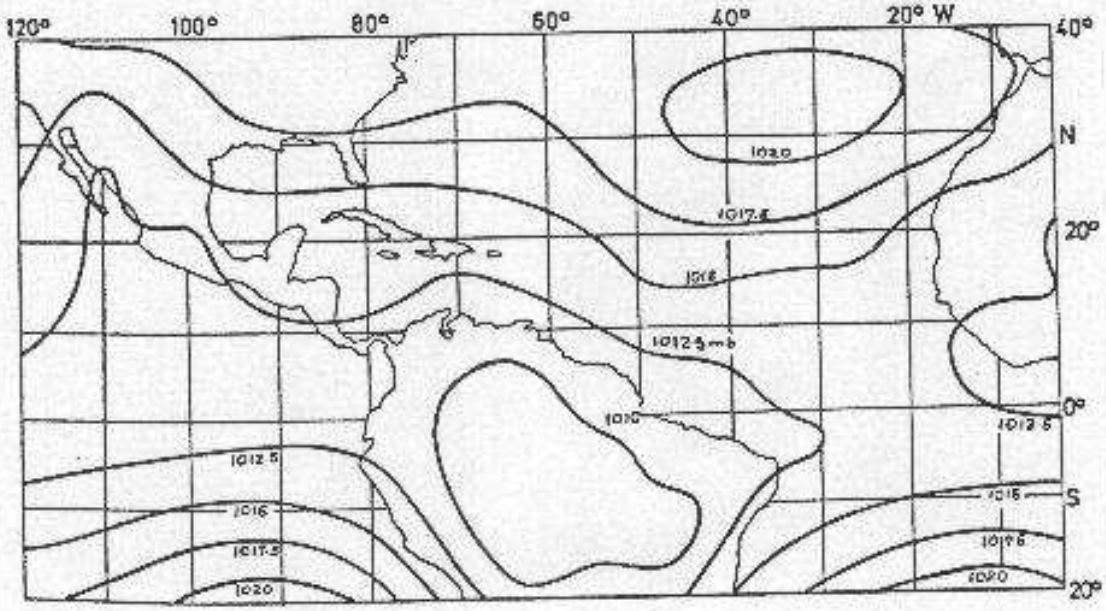

**Carte n°18: La pression atmosphérique au niveau de la mer en avril (Guzman, 1971)**



**Carte n°19 : La pression atmosphérique au niveau de la mer en juillet (Guzman, 1971)**




**Carte n°20 : La pression atmosphérique au niveau de la mer en octobre (Guzman, 1971)**



Les interprétations des ces cartes moyennes de pression sont à l'origine de la reconnaissance de « centres d'action », les « cellules anticycloniques » de « la ceinture des hautes pressions subtropicales » qui seront présentées par la suite (voir ci-dessous, partie 1, chapitre 3, 3, b et chapitre 4). Soulignons que sur ces cartes l'équateur météorologique n'apparaît pas.

- **Les températures :**

Portig (1976) remarque que l'Amérique Centrale, région tropicale et maritime ne connaît pas de grands changements annuels de température. Les amplitudes thermiques journalières sont bien plus importantes que les amplitudes thermiques annuelles.

Pendant la saison sèche, les amplitudes thermiques journalières sont plus fortes que pendant la saison humide.

Les stations situées sur le littoral connaissent des variations beaucoup plus faibles que celles situées à l'intérieur des terres.

- **Les précipitations :**

**Devant les insuffisances des autres éléments climatiques**, les auteurs s'accordent tous pour présenter les précipitations comme étant « l'élément climatique le plus important sous les Tropiques » (Portig, 1976) ou encore « La variable climatique la plus importante en Amérique Centrale » (E. J. Alfaro et L. Cid, 1999).

Cet élément climatique, considéré comme étant le seul réellement exploitable statistiquement, est utilisé pour différencier les zones climatiques centraméricaines. L'interprétation statistique des données pluviométriques conduit les auteurs à la présentation déjà résumée (voir ci-dessus, partie 1, chapitre 3, 1, b et c).

- **Lien entre la température de surface océanique (TSO) et les précipitations en Amérique Centrale :**

De nombreux auteurs se sont récemment intéressés aux liens qui pouvaient exister entre les variations des températures de surface océanique des océans Atlantique et/ou Pacifique et les variations de la pluviométrie en Amérique Centrale. « Il a été prouvé que l'océan Atlantique exerce une influence marquée sur les champs de précipitations dans certaines régions du continent américain » (Bertiacchi et al., 1998 ; Díaz et al., 1998 ; Enfield, 1996). Alfaro et Cid (1999) nous précisent que cette influence marquée de l'Atlantique sur les précipitations s'exerce « essentiellement sur la région centraméricaine ». Enfield et Alfaro (1999) ont démontré que la plus grande influence sur les précipitations mensuelles accumulées est exercée par les températures de surface océanique de la région de l'Atlantique tropical nord comprise entre 6° - 22° de latitude nord et 15° - 80° de longitude ouest). Cette région océanique dominerait également le commencement de la saison des pluies. La saison des pluies serait « plus précoce en phase chaude et au contraire plus tardive en phase froide » (Alfaro et al., 1998). D'après Knaff (1997), « à une anomalie positive des températures de surface océaniques correspondrait une diminution du flux d'alizé associé à l'Anticyclone subtropical de l'Atlantique Nord » ; « à une anomalie négative correspondrait une augmentation du flux d'alizé ». Pour Alfaro (1999), « ces affaiblissements ou renforcements sont directement liés avec les variations des précipitations observées au Costa Rica ». E. J. Alfaro (2000) a étudié les événements chauds et froids dans la région de l'Atlantique nord (6° - 22° de latitude nord, 15° - 80° de longitude ouest) et confirme l'importance de l'influence de cette région océanique sur les précipitations en Amérique Centrale.

S'agit-il de véritables corrélations statistiques ou de simples covariations ?

**c) Des exemples de classifications climatiques (cartes n°21 à 24) :**

Ce que nous venons d'énoncer ci-dessus est utilisé par les différents auteurs pour proposer une classification climatique.

A titre d'exemple, nous reproduisons ci-dessous (cartes n°21 à 24) les classifications climatiques de G., T. Trewartha (1954), de Köppen (1901, in Trewartha, 1954), de C. Péguy (1970), de J. Demangeot (1999). P. Pagney (1994) ne propose pas de carte mais nous indique que l'on observe en Amérique Centrale un « climat tropical à saisons sèche et pluvieuse équilibrées ou à prédominances pluvieuse ».

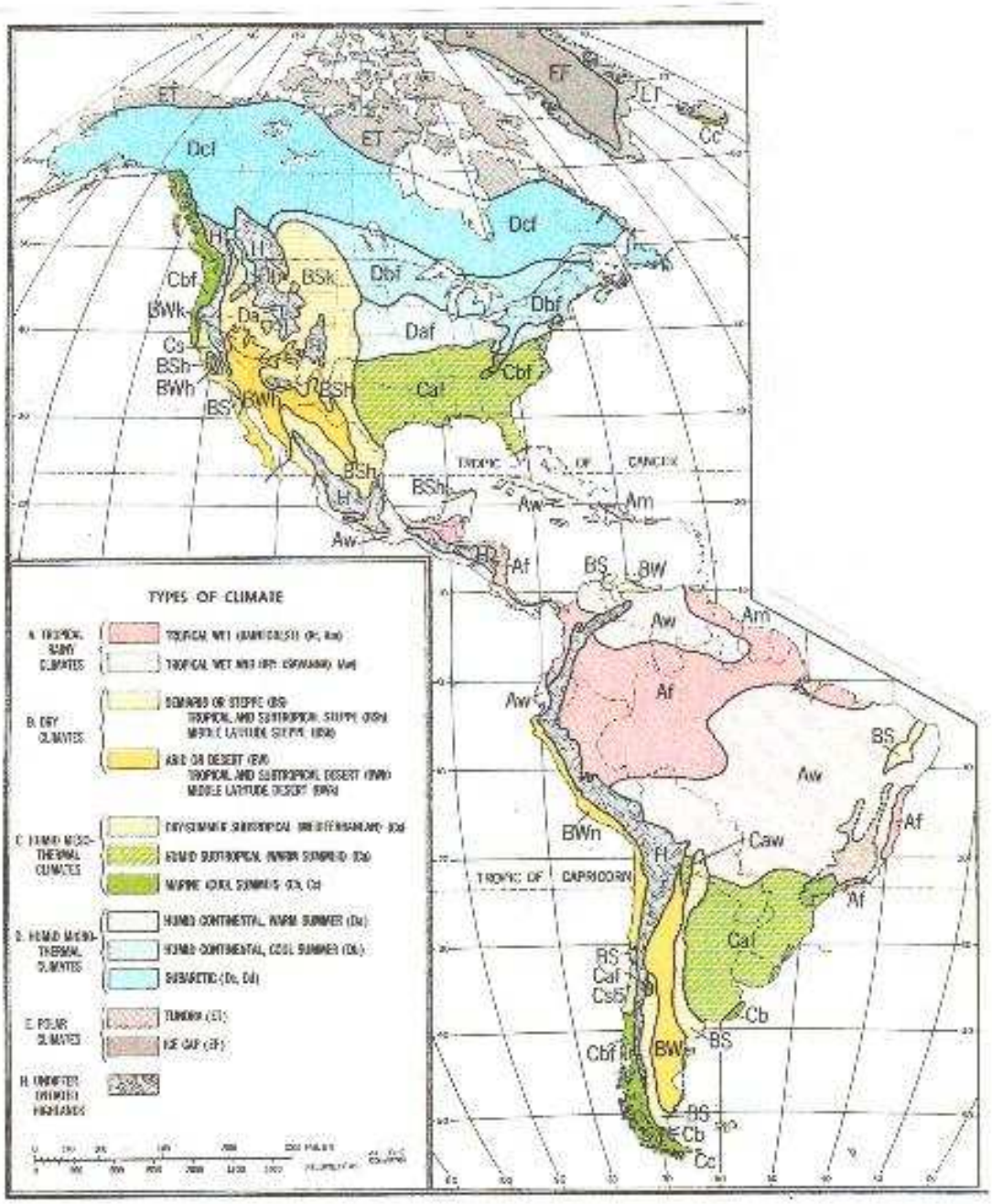
Ces différents auteurs, pour élaborer leur classification climatique partent des données d'observation (les paramètres considérés sont généralement les températures et les précipitations) pour aboutir à la définition des climats. Ce type de classification « physionomique » est « fortement subordonné aux données elles mêmes, provenant d'un nombre limité de stations d'observation, sensées représenter d'immenses plages climatiques » et, « dans ce cas, on ne cherche pas directement à *comprendre* , quitte à rechercher des explications, a posteriori » (M. Leroux, 1989).

En juxtaposant ces quelques cartes, nous observons que, selon les auteurs, les propositions de classifications climatiques divergent considérablement.

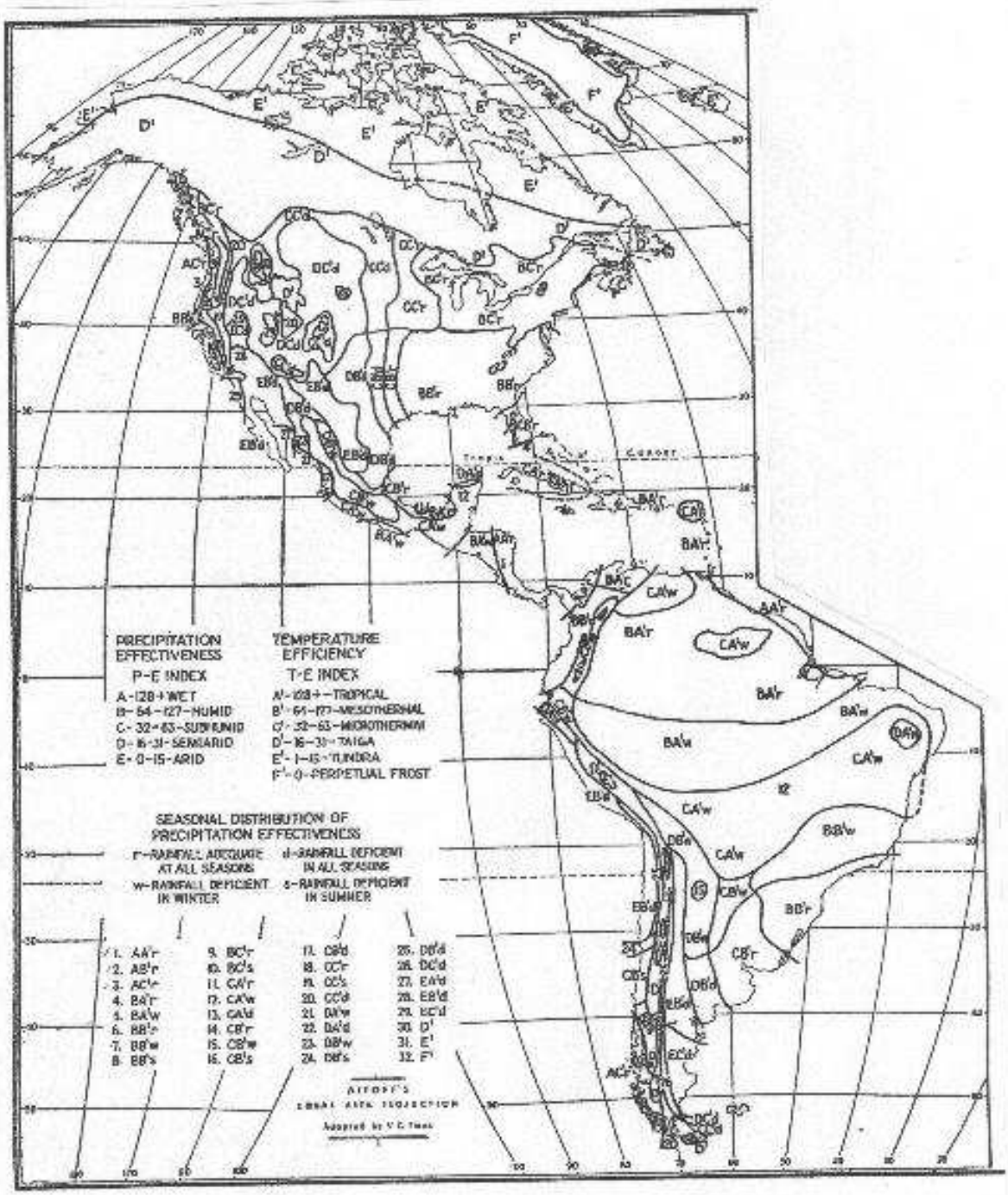
Devant la multiplicité des classifications climatiques physionomiques, les incertitudes demeurent. Les insuffisances soulevées précédemment sont à nouveau soulignées.

Quelle classification adopter ?

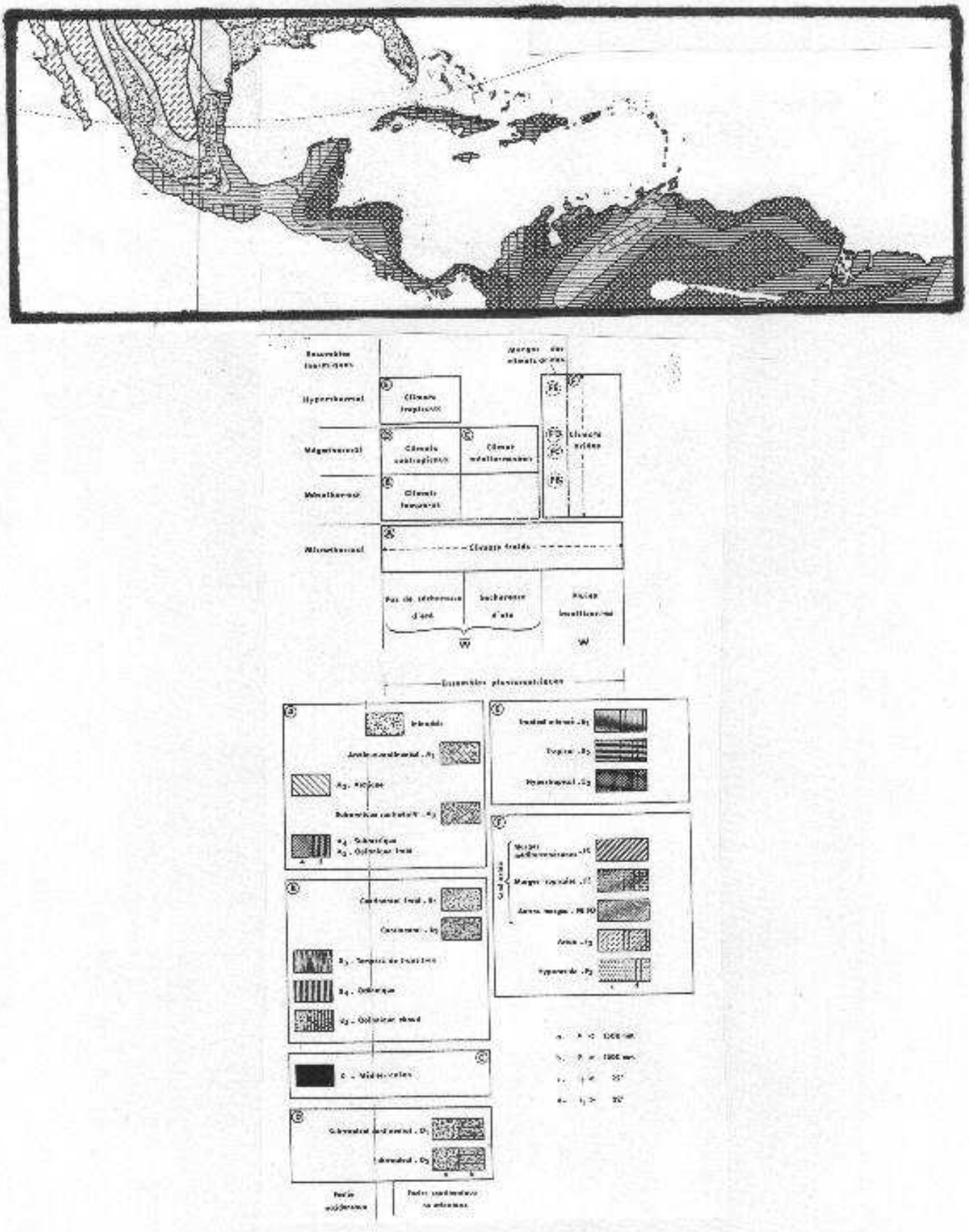
## Carte n°21 : Les types de climat sur le continent américain (G. T. Trewartha, 1954)



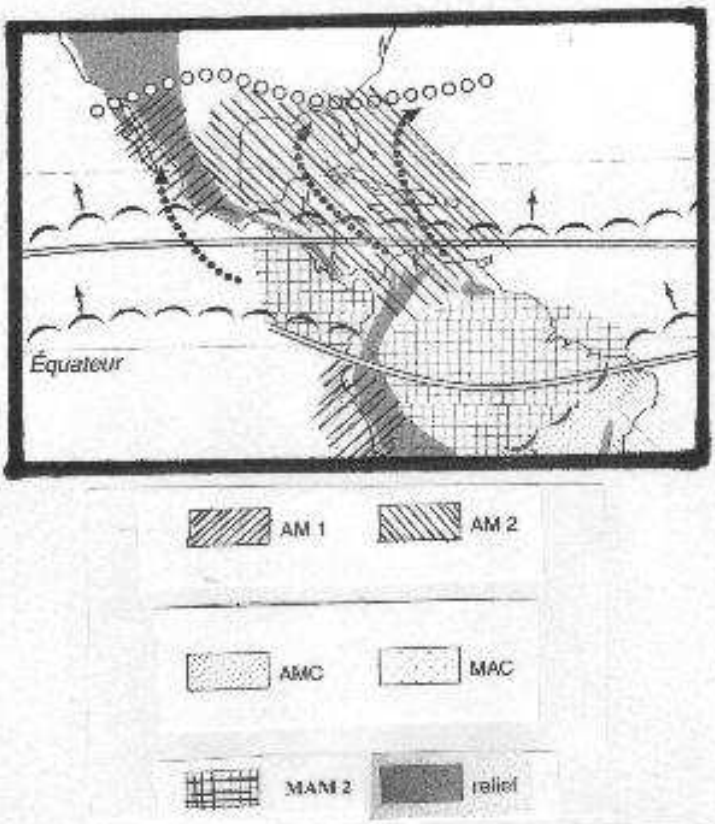
## Carte n°22 : Les climats sur le continent américain (Köppen in Trewartha, 1954)



## Carte n°23 : Les climats de l'Amérique du Nord
## (C. Péguy, 1970)



**Carte n°24 : Générique des climats intertropicaux**
**(J. Demangeot, 1999)**




Générique des climats intertropicaux. Fondée sur les mécanismes physiogènes fondamentaux. AM, alizé maritime, AMC, alizé maritime continentalisé, AC, alizé continental. M (en rose), mousson. Les climats intertropicaux viennent parfois au contact des pluies d'hiver (petits ronds blancs). Les grandes flèches courbes (en pointillé) marquent les principaux trajets des cyclones tropicaux. Commentaire dans le texte. Source, M. Leroux, 1989.

**d) Faisons le point :**

C'est donc après la présentation des « facteurs déterminatifs », l'étude statistique moyenne des « éléments formatifs » qui devrait nous apporter des informations sur le climat de l'Amérique Centrale. Or, tous les auteurs s'accordent pour critiquer violemment la qualité des données à disposition, l'étroitesse du réseau de stations d'observations…

Les auteurs plus anciens, Guzman (1971), Portig (1976) ont souffert de la mauvaise qualité des données d'observations à leur disposition. Il semble que les difficultés rencontrées par ces auteurs dans les années 70 n'aient pas entièrement disparu de nos jours. I. Perez Garcia (1990) met en avant la mauvaise qualité des données à disposition et leur trop grande rareté : « le manque d'observations de surface, de radiosondages, la non disponibilité de données statistiques de qualité ont empêché la compréhension des processus physiques (…) ». S. Reyes (1994) déplore lui aussi la « rareté des observations ». I. Perez Garcia (1996), fait encore la même constatation et reprend dans sa conclusion quasiment la même phrase que celle avancée six ans auparavant : « le manque d'observations de surface, la rareté des radiosondages et des données de qualité ont empêché la compréhension des mécanismes dynamiques et des processus physiques (…) ». Il semble y avoir un réel problème qui

handicape fortement le travail des auteurs… Soulignons que dans les articles plus récents, de telles réserves n'apparaissent plus.

En ce qui nous concerne, nous avons eu beaucoup de mal à obtenir des données statistiques « fiables » et par là même exploitables. Les services météorologiques locaux ne sont « pas très ouverts » et hésitent à fournir des données statistiques. Obtenir des séries statistiques longues (au moins trente ans), fiables (l'automatisation des stations est en cours mais encore un grand nombre de stations dépend du bon vouloir de quelques amateurs qui effectuent des relevés sans aucune rigueur scientifique…) et complètes (les stations automatiques restant souvent en panne ou n'étant pas étalonnées, avoir moins de 5% de données manquantes est exceptionnel…) est quasi impossible à obtenir. Après deux années passées en Amérique du Sud et trois années passées en Amérique Centrale, la collecte de données fut pour le moins peu fructueuse et nous avons dû nous rabattre sur les fichiers de données reconstituées de la NOAA, fichiers disponibles sur internet et utilisés par tous à l'heure actuelle.

L'étude des données pluviométriques est considérée (faute de mieux) comme la seule qui soit réellement exploitable. Et encore, comme nous avons déjà pu le dire, en raison de l'importance des facteurs d'échelle locale, « dégager des traits pluviométriques communs sur une certaine étendue se présente donc, en ce qui concerne l'isthme, comme un exercice malaisé (...) » (Lamarre, 1991). De ce fait, comment proposer une différenciation climatique régionale de qualité ? De plus, il s'agit de simples constats à partir de données moyennes très critiquables, aucune explication de la variété constatée ne nous étant réellement proposée.

A quoi est dû le fort contraste pluviométrique entre la façade de l'Atlantique et celle du Pacifique ? Pourquoi les régimes pluviométriques sont-ils bimodaux ? Comment expliquer la baisse des précipitations au milieu de l'été (« Canícula ») ? Il est vrai, comme l'avoue Portig (1976), que « les raisons des forts contrastes dans la répartition annuelle des précipitations ne sont que « partiellement comprises ».

Que nous reste t'il au terme de ce bilan bibliographique sur les climats ? Peu de chose, nous avons une vague idée de ce que peut être le climat en Amérique Centrale mais après toutes les réserves émises par les auteurs sur la qualité de la matière sur laquelle ils ont travaillé à savoir les données statistiques moyennes d'observation des éléments du climat, après la présentation de quelques exemples de classification climatique à travers la littérature, nous ne sommes pas certains d'avoir un tableau représentatif de la réalité climatique centraméricaine. De ce fait, les cartes moyennes, les tableaux, les figures… habituellement proposés dans les ouvrages sont-ils représentatifs ?

Cette approche statistique des éléments climatiques semble donc très loin d'être satisfaisante.

## 3) Les explications dynamiques :

### a) Introduction :

Il faut nous attacher maintenant à présenter un bilan de la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale, comment tous ces auteurs l'entrevoient pour expliquer le fonctionnement climatique de cet espace centraméricain?

Chose étonnante, dans l'ouvrage de référence que veut être l'encyclopédie « World Survey of Climatology », Portig (1976), se contente, après avoir présenté les éléments du

climat, de présenter quelques perturbations centraméricaines sans expliquer de manière claire, concise et générale le fonctionnement de la dynamique du temps et du climat dans cet espace.

Guzman (1971) est l'auteur qui a fait le plus d'efforts pour tenter de clarifier la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale. Certes, l'étude de Guzman (1971) se « limite » au cadre de son petit pays d'origine, El Salvador mais sa présentation des types de temps au Salvador et surtout ses analyses de situations synoptiques typiques au Salvador sont précieuses.

Le travail beaucoup plus récent de Lamarre (1991), propose une vision plus « moderne » et des concepts plus récents apparaissent (« El Niño ») mais une description complète de la dynamique du temps en Amérique Centrale, permettant de comprendre la répartition des pluies et des formations nuageuses, fait défaut.

Ces trois ouvrages de synthèse, de ce fait, apparaissent incomplets.

Les articles, plus récents (publiés, entre autres dans les revues Atmosfera, Monthly Weather Review, Journal of Climate, Journal of Applied Meteorology, Journal of Physical Oceanography …) laissent entrevoir une certaine vision de la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale mais, cette dynamique n'est malheureusement dispensée que partiellement d'un article à l'autre et aucune synthèse claire et précise n'est proposée.

En lisant tous ces auteurs, nous avons beaucoup de mal à identifier une dynamique globale et cohérente qui permettrait d'expliquer le temps et le climat en Amérique centrale. Nous avons une désagréable impression de désordre et il nous est très difficile de trouver un fil directeur qui nous permettrait d'exposer le plus clairement possible la manière qu'ont ces auteurs d'expliquer le temps et le climat dans cette région.

Faute d'y parvenir, après avoir rassemblé les éléments d'explication chez les uns et chez les autres en repérant des mots-clés, après avoir navigué d'un ouvrage à l'autre pour glaner quelques pistes, l'ouvrage important d'Hastenrath (1991) a l'immense avantage d'offrir un bilan des connaissances brutes sur la dynamique des Tropiques, nous permettant ainsi de tenter de faire un bilan objectif et ordonné des connaissances actuelles sur la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale.

### b) Les « centres d'actions » : les « cellules anticycloniques » de la « ceinture des hautes pressions subtropicales » :

Même si, comme le fait remarquer Guzman (1971), « l'élaboration de cartes moyennes de pressions rencontre, en Amérique Centrale, de grandes difficultés », la perception statistique des phénomènes, fondée sur des moyennes de pression, est à l'origine de la reconnaissance de « centres d'action », sans cesse évoqués pour expliquer le temps dans cette région, à l'échelle synoptique comme à l'échelle saisonnière.

Les « hautes pressions subtropicales » (« anticiclones subtropicales », « cinturón de alta presión subtropical », « semipermanent anticyclonic system », « celda (centro) semipermanente de alta presión ») sont considérées comme un « élément clé du champ de pression de surface », (Hastenrath, 1991) et la responsabilité de la circulation tropicale leur est couramment attribuée : « étant à l'origine des alizés, les hautes pressions subtropicales représentent des centres d'action dans la circulation tropicale » (Hastenrath, 1991) ; « la cellule anticyclonique des Bermudes-Açores dans l'Atlantique nord et la cellule du Pacifique nord sont à l'origine des alizés et des vents d'ouest qui, avec des masses d'air polaire modifié, affectent le Mexique (…) » (Sánchez-Santillán et De la Lanza Espino, 1996) ; « tout au long de l'année, la circulation (…) est fortement influencée par les centres de haute pression subtropicaux de l'Atlantique et du Pacifique » (M. Cortez-Vazquez, 2000).

La responsabilité de l'existence des déserts tropicaux leur est également couramment attribuée : « la région nord-ouest du Mexique où se trouve le désert de la Sonora se trouve sous l'influence océanique et atmosphérique qui détermine son climat aride, particulièrement la cellule semi-permanente de haute pression du Pacifique nord-oriental et le courant de Californie froid » (Garcia et Mosiño, 1968). « La péninsule de Basse Californie est située à l'intérieur de la zone d'influence tant du centre semi-permanent de haute pression du Pacifique nord que du courant océanique de Californie. Cette situation maintient sur cette zone les conditions de l'aridité (…) » (C. A. Salina- Zavala, A. Leyva-Contreras, D. Lluch-Belda, E. Diaz-Rivera, 1990). « En raison du fait que la partie septentrionale de notre pays (le Mexique) se trouve au nord du tropique du Cancer et sous l'influence de la ceinture de hautes pressions de l'hémisphère nord, une grande partie du pays se trouve à l'intérieur des zones arides et semi-arides de la planète » (Salinas-Zavala C. A., D. Lluch-Belda, S. Hernandez-Vasquez, D. B. Lluch-Cota, 1998).

Ces hautes pressions, observées en surface, sont généralement attribuées à des mouvements subsidents permanents, grossièrement situés au-dessus des latitudes 30° nord et sud, associés à la branche descendante des cellules de Hadley mais, comme le souligne Trewartha ( 1961), leur « origine n'est pas entièrement comprise ».

Les mouvements subsidents peuvent-ils expliquer seuls la formation de ces cellules anticycloniques ?

Ces « hautes pressions subtropicales » connaissent des déplacements saisonniers mais là encore, les migrations en longitude et latitude des cellules subtropicales au cours de l'année, observées dans les moyennes de pression, ne sont pas encore très bien comprises (Hastenrath, 1991).

Comment expliquer ces déplacements ?

De nombreuses zones d'ombre persistent encore de nos jours, nous trouvons tout et son contraire :

Pour C. A. Salinas-Zavala, D. B. Lluch-Cotas, S. Hernandez-Vasquez, D. Lluch-Belda (1992), « les précipitations hivernales (dans le nord-ouest du Mexique) s'associent également (…) au déplacement vers le nord de la cellule semi-permanente de haute pression du Pacifique nord-oriental ».

A. C. Reyes et M. F. Lavin (1997), reprennent les propos d'Hasting et Turner (1965) nous expliquant que la migration vers le sud des précipitations dans l'ouest des Etats-Unis et le nord-ouest du Mexique est une manifestation de la progression de l'hiver. Ils nous indiquent que les conditions hivernales de grande échelle se caractérisent par « l'affaiblissement et la migration vers le sud-est de la cellule anticyclonique du Pacifique ». L'inverse s'observant en été.

M. Cortez-Vazquez (2000), constate que vers le milieu du mois de juin, les « vents du nord-ouest s'affaiblissent et s'orientent vers l'ouest au sud de la péninsule de Basse Californie, pendant que le centre anticyclonique sur le Pacifique oriental disparaît » !

A travers ces quelques citations, nous voyons qu'une dynamique clairement définie fait défaut et si les interprétations isolées les unes des autres peuvent éventuellement faire illusion, le fait de les juxtaposer souligne les « incohérences ».

En effet, on constate, à l'échelle des moyennes, que les « hautes pressions subtropicales » se rapprochent de l'équateur pendant l'hiver, et se déplacent vers le pôle en été. « En plus de ce déplacement en latitude, l'anticyclone nord Pacifique (« anticiclón del Pacífico septentrional », « celda (centro) semipermanente de alta presión en el Pacífico nororiental (del Pacífico norte) », « Pacific high »), l'anticyclone nord Atlantique (« anticiclón del Atlántico septentrional », anticiclón subtropical del Atlántico norte ») (…) sont localisés plus à l'est pendant l'hiver boréal et plus à l'ouest pendant l'été boréal. » (Hastenrath, 1991).

« En hiver, l'anticyclone du Pacifique se situe sur la mer, au sud-ouest des côtes du Mexique (Badan-Dangon et al., 1991), « cette position est souvent modifiée par un déplacement vers l'est des cellules anticycloniques qui engendrent un hiver pluvieux » (A.C Reyes, M. F. Lavin, 1997). Cette constatation est également faite par de nombreux autres auteurs (Sorkina, 1963 ; Bailey, 1975 ; Zishka et Smith, 1980 ; Reyes et Rojo, 1985 ; Reyes et al., 1985 ; Reyes et Vogel, 1984).

« Quand l'été approche, ces centres de haute pression s'intensifient et se déplacent vers l'ouest » (M. Cortez Vazquez, 2000).

Il est à noter que « l'anticyclone du Pacifique sud (« anticiclón del Pacifico del Sur », « alta subtropical del Pacífico sur ») connaît un comportement plus compliqué » (Hastenrath, 1991). Lamarre (1991), fait la même observation et précise que « l'anticyclone du Pacifique est subit une simple translation de 5° vers le nord entre l'été et l'hiver austral, mais il ne s'étend absolument pas en latitude (…) ».

Ces déplacements, en latitude et en longitude, seraient donc à l'origine des grands traits climatiques de l'Amérique centrale : « ces singularités du cycle annuel du comportement des cellules anticycloniques de l'hémisphère nord correspondent à d'importants événements saisonniers dans le climat de surface (...) » (Hastenrath, 1991).

Remarquons que pour Portig (1976), si « la compréhension des pluies de la moitié de l'été (diminution marquée des précipitations) est communément attribuée au renforcement de l'anticyclone atlantique (...), cette explication n'est pas satisfaisante ».

« Le déplacement vers le nord de la cellule semi-permanente du Pacifique nord oriental » favorise les précipitations en Basse Californie (C. A. Salinas-Zavala, D. B. Lluch-Cota, S. Hernadez-Vasquez, D. Lluch-Belda, 1992).

« Une explication du comportement de l'atmosphère en automne-hiver doit être basée sur les déplacements vers le nord ou vers le sud des centres des hautes pressions et basses pressions qui dominent la météorologie de la région » (A. C. Reyes, M. F. Lavin, 1997).

Ces « cellules anticycloniques », « véritables centres d'action », sont considérées être à l'origine des flux tropicaux (alizé et leur prolongement éventuel en flux de mousson au franchissement de l'équateur géographique) qui se rejoignent le long de la « zone de convergence intertropicale », axe des « basses pressions intertropicales ».

En résumé, ces centres d'action, d'origine inconnue, sans cesse évoqués pour expliquer le temps dans cette région, apparaissent « animés » mais sans que nous sachions comment.

## c) Les flux tropicaux et leur relation avec la pluie :

### - Le flux d'alizé :

La circulation tropicale est connue depuis longtemps, bien avant la circulation tempérée (la première carte des vents (océaniques) est celle des alizés établie par R. Halley en 1686 à partir des observations des navigateurs).

L'alizé est un flux tropical issu du flanc est d'une cellule anticyclonique des « hautes pressions subtropicales ». Les flux d'alizé des deux hémisphères météorologiques, tout en se dirigeant vers l'ouest et l'équateur, se rejoignent le long de la zone équatoriale dépressionnaire.

La structure verticale (particulière) des alizés est présentée par Hastenrath (1991). Le fait le plus marquant est la présence d'une inversion d'alizé qui délimite deux domaines aux caractéristiques différentes. En dessous de cette inversion d'alizé, les températures sont plus « fraîches », au-dessus, elles sont plus « chaudes ». Les mêmes observations sont faites quant à l'humidité relative. Cette inversion d'alizé se trouve située autour de 500 mètres d'altitude à l'est des « cellules anticycloniques » de la « ceinture des hautes pressions subtropicales », puis l'altitude à laquelle se trouve l'inversion augmente progressivement vers l'ouest (autour de 2 000 mètres à l'ouest des « cellules anticycloniques »).

Hastenrath (1991), propose un certain nombre de pistes pour essayer de comprendre l'origine de cette inversion d'alizé mais force est de constater qu'aucune explication satisfaisante n'a encore été avancée dans les ouvrages de littérature classique ! Pourtant, comme le met en avant cet auteur, « les implications climatiques régionales de l'inversion d'alizé sont importantes ».

A propos des implications régionales de l'inversion d'alizé, Guzman (1971), présente les brumes sèches : en Amérique Centrale, pendant la saison sèche, en dessous de l'inversion d'alizé s'accumulent les particules de poussière, les restes des combustions industrielles et les cendres des incendies agricoles. Tous ces éléments microscopiques sont soulevés par les puissants vents du nord (« Nortes », « Nothers ») et « la visibilité se réduit considérablement, le paysage apparaît comme recouvert d'une couche de brume très dense ». Ces brumes caractéristiques pendant cette période de l'année sont appelées « Calinas ». Au-dessus de l'inversion, la visibilité redevient bonne.

Hastenrath (1991) remarque que l'alizé n'a pas toujours la même vitesse. La vitesse est plus rapide à l'est (« surges ») puis la vitesse décroît en direction de l'ouest (les « pannes »). Lamarre (1991), parle d'« à-coups ».

A l'est des cellules anticycloniques, il y a absence de pluie. Le temps associé à l'alizé, notamment la non pluviosité sur les façades orientales des océans, a été attribuée, comme nous avons pu le dire précédemment, à l'influence des eaux froides, « upwelling » et des courants marins.

La « cellule anticyclonique du Pacifique nord » dite « des Hawaii » engendre ce type de flux sur la péninsule de Californie, le désert de la Sonora au Mexique. La « cellule anticyclonique du Pacifique sud » dite « de l'île de Pâques » engendre ce type de flux sur les côtes du Chili et du Pérou, le désert de l'Atacama. L'absence de pluies ne signifie pas absence d'humidité, ces régions connaissent des brouillards très fréquents (« Neblinas »), très utiles au développement d'un certain type de végétation : « Dans le nord-ouest du Mexique, en hiver et au printemps, la proximité du courant froid de Californie fait que le niveau de condensation est localisé à basse altitude et cela entraîne la formation d'intenses et très étendues couches de nuages stratiformes » (C. A. Salinas-Zavala, A. Leyva-Contreras, D. Lluch-Belda, E. Diaz-Rivera, 1990).

A l'ouest des « cellules anticycloniques », l'alizé maritime a évolué au contact de l'océan, le flux est chaud, très humide et pluvieux.

C'est ce type de flux, à l'ouest de la « cellule de l'Atlantique nord » dite « des Açores », qui sur les Caraïbes, le Golfe du Mexique et l'Amérique Centrale est le vecteur de l'essentiel du potentiel précipitable.

- **Le(s) flux de mousson :**

- **Une mousson sur les côtes pacifiques de l'Amérique Centrale, réalité ou fiction ?**

En Amérique Centrale, se pose le problème de la pénétration des alizés de l'hémisphère sud sur le continent. Dans la littérature, les auteurs mentionnent le fait que pendant l'été de l'hémisphère nord, les alizés de l'hémisphère sud peuvent atteindre la côte pacifique et entraîner des précipitations abondantes sur les versants des cordillères côtières. Les auteurs s'interrogent pour savoir s'il s'agit d'un flux de mousson (donc d'un phénomène à grande échelle) ou s'il s'agit de la simple pénétration d'une brise marine (donc d'un phénomène d'échelle locale). La question soulevée semble être à l'origine d'un débat passionné.

Pendant les mois d'été de l'hémisphère nord, le flux d'alizé de l'hémisphère sud qui est issu de la « cellule anticyclonique du Pacifique sud » dite « de l'île de Pâques » en tant que flux du sud-est (« corriente del sureste »), traverse l'équateur subissant une déviation vers la droite, s'orientant dans l'hémisphère nord depuis le sud vers le sud-ouest. Les « alizés du sud-ouest (« alisios del suroeste » reçoivent parfois le nom de mousson du sud-ouest (« monsón del suroeste »).

Doit-on pour autant parler de mousson ? Guzman (1971) s'interroge mais, faute de pouvoir trancher, laisse la question ouverte. S'agit-il d'un flux à grande échelle (mousson) ou seulement un système local (brise de mer) ?

Lamarre (1991), s'interroge également et s'attarde sur la question : si, pour cet auteur, la mousson est « d'abord un phénomène d'alternance saisonnière à l'échelle planétaire, qui correspond au débordement (au-delà de l'équateur) de l'hémisphère d'hiver, demandeur d'énergie, avec formation corrélative, dans l'hémisphère d'été, de vastes secteurs de nébulosité convective, pourvoyeuse d'énergie latente » et que « c'est bien ce qui se passe, de mai à octobre, sur l'isthme américain et l'espace pacifique contigu », « parmi les critères météorologiques de définition de la mousson, avancés par Ramage (1971) (...), certains ne sont pas observés sur la longitude américaine, qui, de ce fait, est exclue de la délimitation du domaine de mousson dans le monde ». Pour Lamarre (1991), il ne s'agit pas d'une mousson.

Lamarre (1991) avance un certain nombre d'arguments visant à prouver qu'il ne s'agit pas d'un flux de mousson :

- L'alizé austral traverse toute l'année l'équateur sur le Pacifique oriental.

- Pendant l'hiver austral, alors que ce flux remonte de 5° de latitude environ vers le nord, il n'est pas suffisamment constant dans sa direction ; du reste sa vitesse moyenne n'augmente guère.

- L'anticyclone du Pacifique subit une simple translation de 5° vers le nord entre l'été et l'hiver austral (sur l'océan indien, les hautes pressions gagnent en extension 20° de latitude).

- Même si pendant l'été boréal, la nébulosité convective recouvre le Pacifique oriental au nord de l'équateur, on n'y observe pas de renversement saisonnier des flux (et des

pressions) à l'échelle du bassin océanique. « C'est une raison suffisante, sans doute, pour éviter l'emploi du terme mousson , surtout si l'on se rappelle l'origine de ce mot arabe ».

- C'est une « question d'échelle », « le phénomène de la mousson n'acquiert tous ces caractères de définitions concordants qu'à une échelle spatiale bien supérieure. Retenir le critère d'échelle est peut-être, finalement, le moyen le plus sûr de ne pas se tromper sur ce point important de la climatologie tropicale ».

A. Kapala, H. Mächel, H. Flohn (1994), dans leur étude sur les « variations des interactions des paramètres air-mer de part et d'autre du canal de Panama » ont sélectionné trois zones d'observation : la section A, située au nord du canal de Panama (10° - 14° de latitude nord ; 74° - 80° de longitude ouest) ; la section B, située au sud du canal de Panama (4° - 8° de latitude nord ; 80° - 86 ° de longitude ouest) et la section C, située à proximité des îles Galapagos (2° de latitude nord - 2° de latitude sud ; 86° - 102° de longitude ouest) et constatent que « les plus grandes variations observées entre les trois sections sélectionnées apparaissent dans les conditions du vent ».

La section B, située au sud du canal de Panama, connaît « une plus grande variabilité dans la direction et l'intensité des flux » (généralement plus faibles). « Les vents du nord-est s'observent seulement en hiver boréal. En avril, le vent tourne au sud avec l'alizé du sud-est qui pénètre dans l'hémisphère nord. Pendant l'été, la direction du vent change et on observe des flux d'ouest-sud-ouest ayant une vitesse de plus en plus grande ».

La section C, est « toujours sous l'influence de l'alizé du sud-est ». La direction sud domine toute l'année.

En étudiant les tendances des variations à long terme des paramètres air-mer, ces auteurs constatent que dans la section B, les vents de sud et d'ouest se sont intensifiés. Les vents d'ouest se font plus dominants en été et le vent de sud se fait plus dominant en été-automne. Dans la section C, les vents d'est se développent ainsi que les vents de sud. En conclusion, les auteurs relèvent le fait que la vitesse du vent s'intensifie dans chaque zone d'alizé (essentiellement en été de l'hémisphère nord, hiver de l'hémisphère sud). D'après cette étude, la mousson semble exister…

Les travaux plus récents de Zehender, Velazquez et Farfan (2000), sans traiter directement du problème de la mousson, laissent entrevoir une évolution de la perception du flux de mousson en Amérique Centrale. En effet, Zehnder, Velasquez et Farfan (2000) parlent de vents de sud-ouest (« southwesterlies ») associés à « la zone dépressionnaire de mousson du Pacifique est » (« East Pacific monsoon through or ITCZ»).

M. Cortez Vazquez (2000) observe « l'intensification du flux originaire de l'hémisphère sud, centré le long du méridien 100° de longitude ouest » et constate que cela appuie les résultats de Reyes et Cadet (1988), qui suggèrent le transport de l'humidité depuis l'hémisphère sud vers le nord-ouest du Mexique et mettent ceci en relation avec l'intensification de la cellule de haute pression du Pacifique sud, plus particulièrement pendant la période qui va de début juin à mi-juillet. Les cartes montrent une intensification des vents de sud qui soufflent le long du Golfe de Californie en accord avec l'analyse de Douglas et al., (1993). Nous touchons ici à ce qu'il convient d'appeler la « mousson mexicaine ».

- **La « mousson mexicaine » (carte n°25) :**

Les études sur la presqu'île de Californie sont très nombreuses. Le terme de « mousson mexicaine » apparaît fréquemment. Adem, Ruiz, Mendoza, Garduño et Barradas (1995) constatent que leurs essais de prévision numérique du climat ont été meilleurs pendant l'été (saison pluvieuse), moment où « la mousson mexicaine domine le climat ».

Qu'est ce que la « mousson mexicaine » ?

Pendant les mois d'été (juillet, août, septembre), le désert de la Sonora (qui comprend la presqu'île de Californie, les Etats de la Sonora au Mexique et de l'Arizona aux Etats-Unis) se caractérise par un grand réchauffement et le creusement d'une basse pression atmosphérique de surface (Peixoto et Oort, 1992) qui favorisent la convergence des masses d'air humide et chaud originaires de l'océan Atlantique (Tang et Reiter, 1984) et du Pacifique tropical (Reyes et Cadet, 1988). Ce centre de basse pression étant lui même associé à une grande convergence et une vorticité cyclonique située sur la Sierra Madre occidentale et le versant pacifique mexicain (Reyes et al., 1985).

D'après Reyes et Lavin (1997), pendant l'été, dans le nord du Golfe de Californie, l'on observe une cellule dépressionnaire (habituellement localisée sur l'Arizona, Etats-Unis). Cette dépression sépare l'anticyclone du Pacifique de celui qui s'étend depuis les Bermudes jusqu'au sud-est des Etats-Unis (Garcia et Mosiño, 1966 ; Reyes et al., 1984).

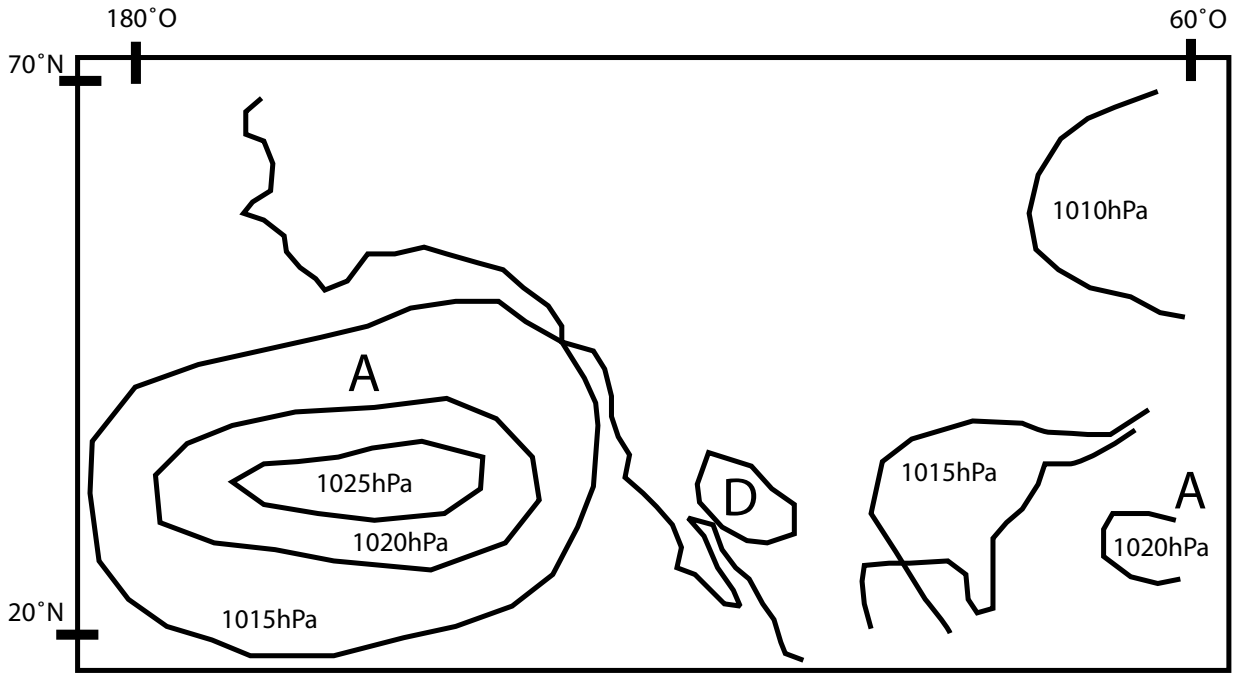
Cette cellule dépressionnaire « favorise l'advection d'air tropical vers le nord du Golfe de Californie » (Reyes et Lavin, 1997). Hales (1972) remarque que pendant l'été, le Golfe de Californie « sert de corridor naturel » pour guider une grande partie de l'humidité de surface vers le sud-ouest des Etats-Unis. Reyes et Lavin (1997) précisent que d'autres études attestent les faits décrits ci-dessus (études réalisées par Badan-Dangon et al., 1991 ; Douglas et al., 1993).

Tucker (1998) se concentre sur l'étude de la dépression estivale située sur les hauts plateaux mexicains et constate la très « grande variabilité interannuelle » de cette dernière.

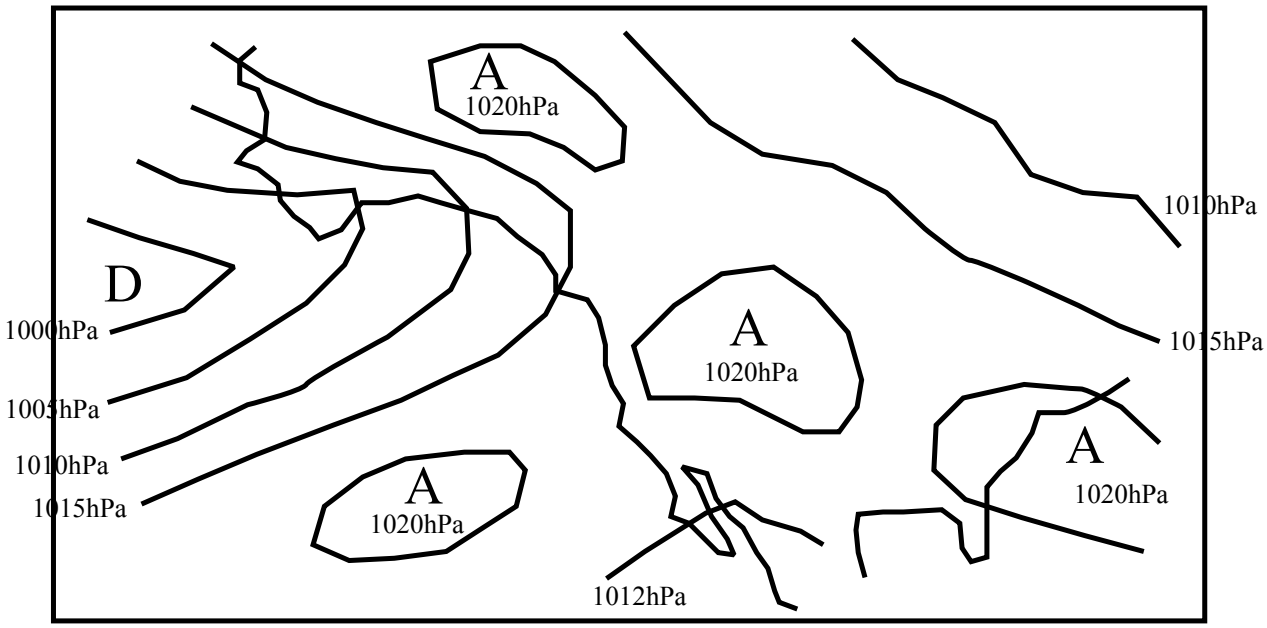
M. Cortez Vazquez (2000) indique que « la mousson mexicaine » apparaît au milieu du mois de juin et s'accompagne de la diminution de la convection sur le centre et le sud du Mexique, les Caraïbes, l'Amérique Centrale et le Pacifique oriental où la distribution des précipitations présente deux maxima avec une période marquée de diminution des précipitations d'environ deux mois qui correspond à la « Canícula ». La « mousson mexicaine » commence à se retirer la deuxième quinzaine d'août, la convection se déplace à l'est et au sud ce qui engendre le deuxième maximum sur les zones où se produit le phénomène.

Les interrogations subsistent : faut-il utiliser le terme de mousson ? S'agit-il d'une « mousson » installée, d'un flux ? S'agit-il simplement de la résultante d'une situation perturbée au cours de laquelle de l'air peut remonter ponctuellement jusqu'au désert de la Sonora (situation d'ailleurs peu fréquente) ? Pour certains auteurs, la « mousson mexicaine » est une « composante majeure » d'un système à plus grande échelle, le « système de mousson continental ». Elle se caractérise par de fortes précipitations sur le sud du Mexique qui, début juillet, se propagent vers le nord, le long des versants ouest de la Sierra Madre occidentale jusqu'à l'Arizona et le Nouveau Mexique (Wayne-Higgins R. et al., 2003). Cette « mousson mexicaine » serait donc une composante d'un système à plus grande échelle et par là même à mettre en relation avec la « mousson nord américaine » ? Pour essayer de comprendre, il nous faut maintenant présenter la « mousson étasunienne ».

**Carte n°25 : La "mousson mexicaine" d'après Reyes et Lavin, 1997**
**Conditions en été boréal :**




**Conditions en hiver boréal :**




E. Barbier, 2004

- **La « mousson étasunienne » (cartes n°26 et n°27) :**

Cette mousson peut revêtir des dénominations différentes. Selon l'endroit où l'on se situe, il peut s'agir de : la « mousson d'Arizona » (Bryson et Lowry, 1955 ; Adang et Gall, 1989) ; de la « mousson d'été du sud-ouest des Etats-Unis », Hales (1974) ou encore de la « mousson étasunienne » (Janicot, 1990), du « système de mousson nord-américain », NAMS (north american monsoon system) (Wayne-Higgins R. et al., 2003).

Les effets et les caractéristiques de cette circulation de mousson sur le climat de la région ont été étudiés par de nombreux auteurs : Bryson et Lowry (1955), étudient les aspects synoptiques des précipitations d'été en Arizona ; Reitan (1957), analyse les données de radiosondages et observe que le plus fort pourcentage d'humidité est contenu dans la basse troposphère ; Sellers et Hill (1974) étudient le climat du sud-ouest des Etats-Unis et associent le maximum estival de précipitations à la « mousson d'Arizona ». ; Hales (1972, 1974), essaie de démonter que pendant l'été un pourcentage considérable de l'humidité dans le nord-ouest du Mexique et de l'Arizona provient des précipitations tropicales et des cyclones du Pacifique oriental, qui sont canalisées le long du Golfe de Californie. Pour cet auteur, « la mousson estivale du sud-ouest des Etats-Unis » est à associer avec « le déplacement vers le nord et l'ouest du grand système de hautes pressions subtropicales normalement situé sur le sud des Etats-Unis ».

Les auteurs ont pu soulever un certain nombre d'interrogations : « on n'a toujours pas une idée complète ni sur les mécanismes du transport de l'humidité » (Douglas et al., 1993), ni « sur la variabilité interannuelle des précipitations d'été dans le nord-ouest du Mexique » (Reyes et Rojo, 1985 ; Salina et al., 1990), ni « sur (celle) observée dans le sud-ouest des Etats-Unis » (Carletón et al., 1990 ; Díaz et al., 1985). La compréhension de ce phénomène reste pour le moins confuse et empirique !

S. Reyes, M. W. Douglas, R. A. Maddox (1994) ont réalisé une étude de la « mousson du sud-ouest de l'Amérique du Nord » afin d'apporter des réponses aux questions soulevées dans les travaux précédents. Ils ont réalisé une expérimentation scientifique à grande échelle, avec d'énormes moyens logistiques, dans le but d'étudier les pluies associées à la mousson du sud-ouest de l'Amérique du Nord… Malgré les énormes moyens à leur disposition, les auteurs avouent ne pas avoir « réussi à quantifier l'apport de chaque source » à cause « du manque d'observations » ? et « de la très grande variabilité des mécanismes qui contrôlent le climat » !

Nous pouvons nous étonner du « manque » de résultats, Hale (1974), avec beaucoup moins de moyens, semblait plus sûr de lui et n'hésitait pas à affirmer que « la plus grande part de l'humidité provient du Golfe du Mexique ».

S. Reyes, M. W. Douglas, R. A. Maddox (1994) disent cependant avoir étudié et clarifié les mécanismes d'échelle synoptique qui contrôlent les flux d'humidité sur le nord-ouest du Mexique et le sud-ouest des Etats-Unis pendant l'été.

Dans les basses couches (à 450 mètres d'altitude), ils observent des flux atmosphériques d'est issus du Golfe du Mexique et des flux de sud-ouest issus du Pacifique tropical oriental, convergents sur la Sierra Madre occidentale et le désert de la Sonora. Ces auteurs indiquent que dans les niveaux superficiels, l'océan Pacifique tropical constitue une importante source d'humidité pour les précipitations estivales dans l'ouest du Mexique. A un niveau intermédiaire (700 millibars), la circulation d'est et de sud-est domine la région occidentale du Mexique.

D. K. Adams et A. C. Comrie (1997) reprennent les travaux d'auteurs plus anciens sur plus des 100 ans et en arrivent à la conclusion que « la mousson d'Amérique du Nord est l'une des circulations atmosphériques les plus complexes et les plus intéressantes d'Amérique du Nord ». Dans leur conclusion, ces auteurs affirment qu'un « consensus sur les principaux mécanismes de la circulation de la mousson d'Amérique du Nord a progressivement émergé ». « Le rôle de l'expansion vers l'ouest de l'anticyclone des Bermudes a très tôt été reconnu ». Ces auteurs, par la suite, tranchent le débat sur l'origine de l'humidité en reprenant les conclusions de S. Reyes, M. W. Douglas et R. A. Maddox (1994) tout en précisant que « l'humidité provenant de ces deux sources se mélange au-dessus de la Sierra Madre occidentale avant d'être transportée vers le nord, jusqu'aux Etats-Unis ». D. K. Adams et A. C. Comrie, en ce qui concerne l'extension géographique du phénomène, précisent que si « la plupart des études se sont focalisées sur l'Arizona », « la mousson d'Amérique du Nord est actuellement géographiquement plus consistante sur le nord-ouest du Mexique ». Enfin, « la variabilité saisonnière est reliée à des interactions entre des circulations d'échelle synoptique et des circulations d'échelle moyenne (…) qui peuvent être influencées par l'oscillation du Pacifique Nord (PNA) et peut être, dans une certaine mesure, par le phénomène ENSO ». Les auteurs de cette étude reconnaissent cependant que « beaucoup des relations entre les mécanismes énumérés ci-dessus ne sont pas encore bien comprises et qu'un grand nombre de questions subsiste » et que, de ce fait « il reste encore de nombreux aspects de la mousson d'Amérique du Nord qui nécessitent de plus amples recherches ».

Wayne-Higgins R. et al., (2003), étudient le « système de mousson nord-américain ». Les très nombreux auteurs de cette étude disent avoir comme principal objectif « une meilleure compréhension des composantes clés du système de mousson ». Nous constatons ainsi qu'en 2003, ce « phénomène » observé n'est toujours pas clairement expliqué ! Il s'agit dans cet article de déterminer avec plus de précision quelles sont les origines (atlantiques et/ou pacifiques) des flux à l'origine des précipitations (cet objectif étant le même que celui poursuivi quelques années auparavant par S. Reyes, M. W. Douglas, R. A. Maddox en 1994) et d'obtenir une meilleure prévision des précipitations se produisant pendant la saison chaude.

Wayne-Higgins R. et al., (2003), commencent par présenter la « dynamique » de ce « système de mousson nord-américain ». Reprenons leurs « explications » dynamiques :

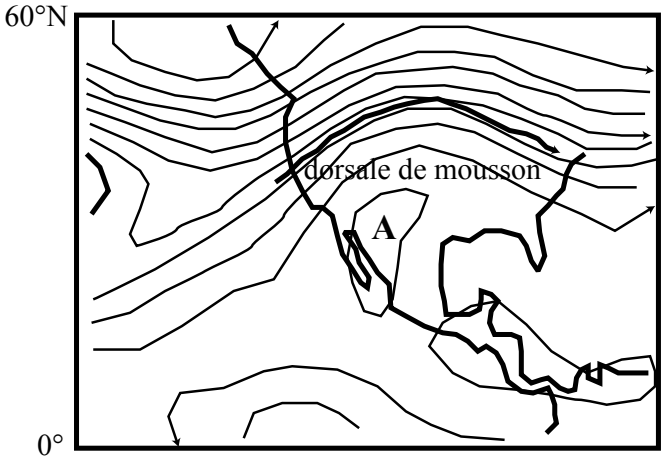
Ces dernières commencent par une lapalissade, « la phase de développement du système de mousson nord américain (mai - juin) se caractérise par une période de transition entre le régime de circulation caractéristique de la saison froide et le régime de circulation caractéristique de la saison chaude ».

Ensuite, un bref constat d'observation, sans aucune explication, est proposé : « dans le sud du Mexique, le mois de mai marque généralement le début de la saison des pluies alors que dans les déserts du sud-ouest des Etats-Unis, mai et juin sont typiquement moins pluvieux. La pénétration vers le nord de la saison des pluies, le long des versants ouest de la Sierra Madre occidentale, est très rapide. Début juillet, les précipitations atteignent l'Arizona et le Nouveau Mexique ».

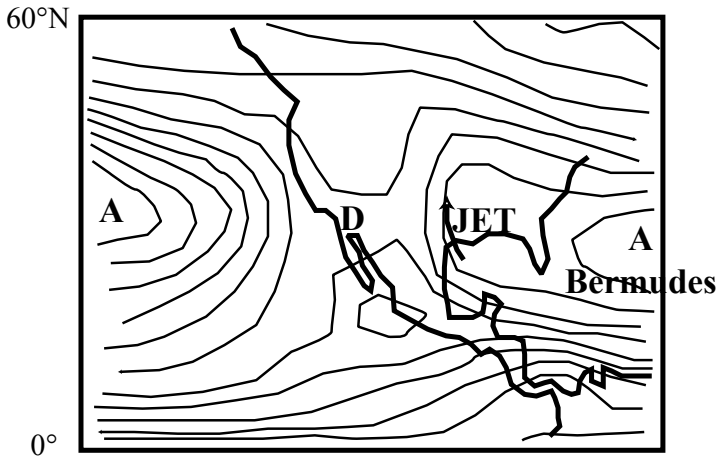
Wayne-Higgins R. et al., (2003), proposent une carte (carte n°26) des conditions synoptiques présidant à l'avènement du « système de mousson nord américain » (carte très comparable, voire identique, à celle proposée par Reyes et Lavin, 1997 pour la « mousson mexicaine »).

**Carte n°26: Le "système de mousson nord américain" d'après Wayne-Higgins et al., 2003**

**Conditions à 200hPa :**




**Conditions à 850hPa :**




E. Barbier, 2004

Par la suite, Wayne-Higgins R. et al., (2003), indiquent que « l'arrivée brutale des précipitations dans cette région (Arizona, Nouveau Mexique) coïncide avec » :

- « L'intensification du transport vertical de l'humidité par convection ».

- « Le creusement d'une dépression thermique dans la zone désertique du sud-ouest des Etats-Unis ».

- « Le déplacement vers le nord des cellules anticycloniques du Pacifique et des Bermudes ».

- « La formation sur le Golfe de Californie d'un « Jet de basse couche » venant du sud (« Southerly Low-Level Jet » ou encore « Gulf of California Low-Level Jet ») ».

- « La limite de la mousson d'Arizona » (« Arizonan Monsoon Boundary »).

- « Le développement dans le Pacifique est des gradients de température de surface océanique ».

- L'augmentation de la variabilité d'un « Jet de basse couche » venant de l'est (« Easterly Low-Level Jet » ou encore « Great Plains Low-Level Jet »).

- « L'augmentation de l'activité convective sur les Caraïbes ».

Après avoir énuméré (sans fournir aucune explication) les observations présentées ci-dessus, Wayne-Higgins R. et al., (2003), reprennent par la suite le schéma de la ou des cellule(s) de Walker (carte n°27) pour rendre compte de la « mécanique » du « système de mousson nord américain ». « La cellule anticyclonique (monsoon high) résultante dans les couches troposphériques moyennes et hautes de la convergence dans les basses couches est, selon ces auteurs, comparable à la cellule anticyclonique tibétaine (tibetan high) en Asie ou encore à la cellule anticyclonique bolivienne de saison chaude (warm season bolivian high) en Amérique du Sud ».

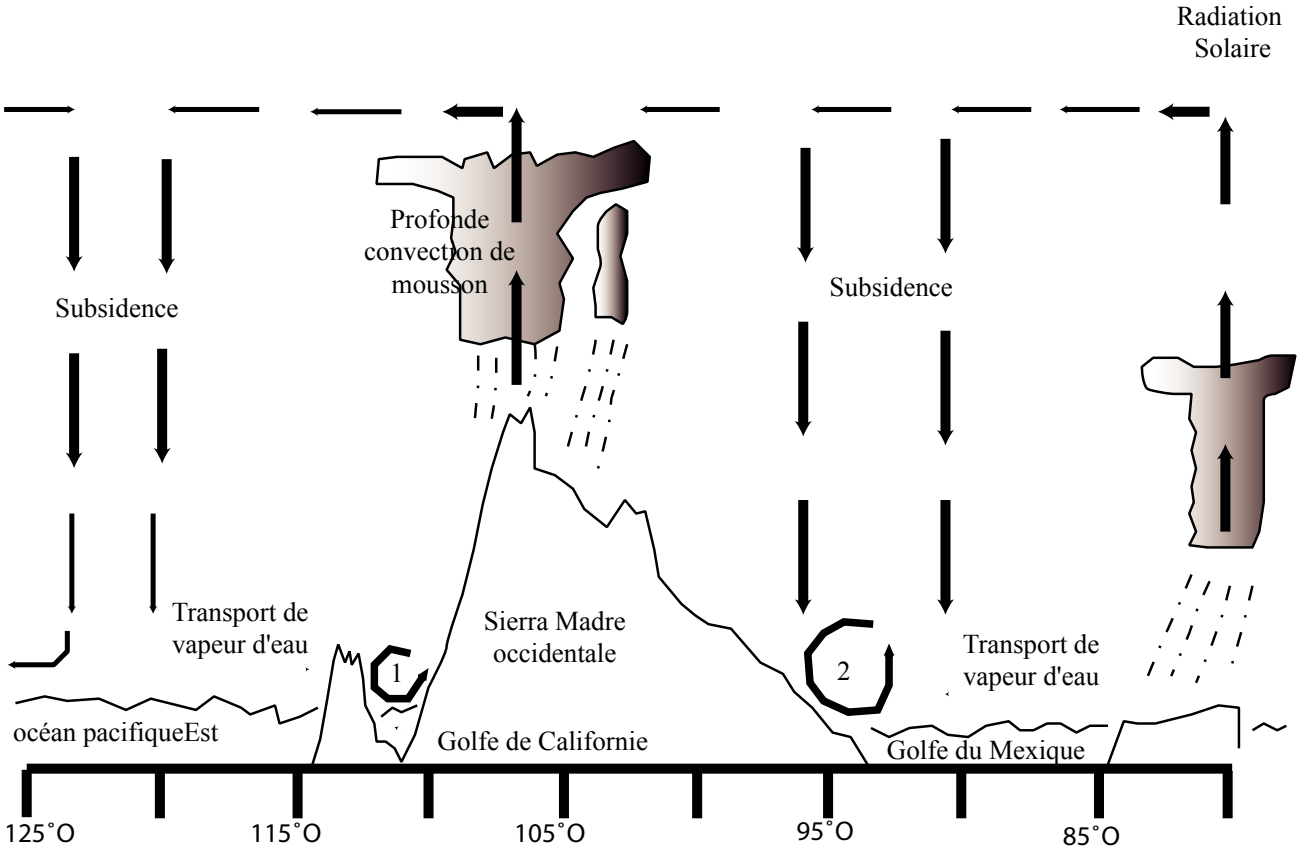
Nous pouvons nous étonner de voir, en 2003, la ou les « cellules de Walker » être encore utilisées pour essayer de clarifier la dynamique de cette « mousson ». En effet, Hastenrath (1991) soulignait déjà (à propos de la cellule de Walker) le fait qu'une « controverse considérable subsiste ». Il suffit de regarder le schéma proposé par Wayne-Higgins R. et al., (2003) pour s'interroger :

- Les différences relativement faibles de températures océaniques sont-elles capables de provoquer de tels mouvements ascendants dans toute la Troposphère ?

- Le creusement de la dépression thermique au-dessus des hautes terres mexicaines et le sud-ouest des Etats-Unis peut-il être accompagné de mouvements ascendants dans toute la Troposphère ?

- Comment expliquer la présence du « Jet de basses couches des Grandes Plaines » ? Uniquement par la subsidence ? Comment expliquer la présence du « Jet de basses couches dans le Golfe de Californie ? Il n'y a pas, d'après le schéma proposé de mouvements subsidents qui le surplombent ?

**Carte n°27 : Coupe schématique verticale à travers le "système de mousson nord américain"**
**à 27.5° Nord**
**(d'après Waynes-Higgins et al., 2003)**




1 : Jet de basse couche du Golfe de Californie ("Gulf of california low-level Jet")

2 : Jet de basse couche des grandes plaines ("Great plains low-level Jet")

E. Barbier, 2004

- Pourquoi les cellules présentées ne sont-elles pas symétriques ? Pourquoi la subsidence sur l'ouest du Golfe du Mexique est-elle renforcée ? Le fait que la cellule atlantique soit refermée à l'ouest par la branche subsidente renforcée n'empêche-t-il pas la pénétration du « Jet de basses couches des Grandes Plaines » sur le continent ?

Wayne-Higgins R. et al., (2003), admettent (à juste titre !) que les incertitudes restent nombreuses : « la structure de la circulation de basse couche qui apporte l'humidité depuis les Tropiques, le long du Golfe de Californie et depuis le Golfe du Mexique » ou encore « la distribution des précipitations et des circulations divergentes associées », « l'humidité et l'énergie sur la zone de la mousson nord américaine » restent « très largement non vérifiés et imparfaitement comprises ». Pour les auteurs de cette étude, « la compréhension dynamique de la marche saisonnière des précipitations et de leur variabilité sur le Mexique et l'Amérique Centrale est incomplète ». Force est de constater que les « explications » avancées sont pour le moins insuffisantes et que le schéma de la/les cellule(s) de Walker ne permet pas une meilleure compréhension de la mécanique du phénomène.

**Donc, de nombreuses interrogations subsistent. Il y a de fait un gros problème de définition de la mousson !**

Si la définition des flux d'alizé ne pose pas trop de problème, il n'en est pas de même pour les flux de mousson. Il y a souvent confusion entre mousson et pluie. Quelle est la bonne définition de la mousson ? Quel critère doit être retenu pour définir une mousson ? Pouvons-nous parler de mousson en Amérique Centrale ? Pouvons-nous parler de « mousson mexicaine », de « mousson étasunienne » ? Ces « moussons » relèvent-elles de la même dynamique ? Si il n'y a pas de flux de mousson en Amérique Centrale, comment expliquer la saison pluvieuse (pendant l'hiver austral) sur la côte pacifique de l'Amérique Centrale ?

### d) L'équateur météorologique :

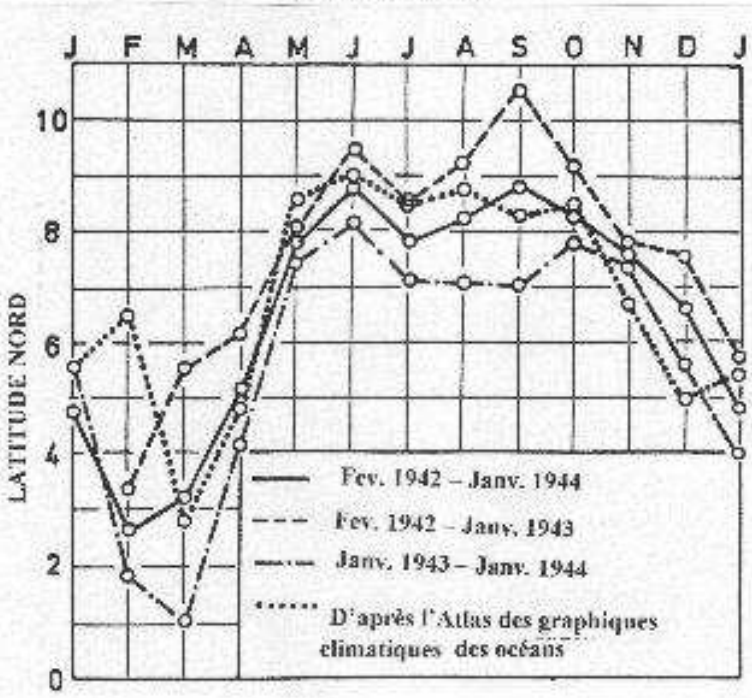
Au centre de « l'auge équatoriale » (« vaguada ecuatorial ») ou encore les « basses pressions intertropicales », héritière de « la cheminée équatoriale » (Hadley, 1735), se trouve la « zone de convergence intertropicale » (« zona de convergencia intertropical », ZCIT), ZIC ou CIT (« zone intertropicale de convergence» ou « convergence intertropicale »), le « pot au noir » des marins, zone calme (« doldrums », « calmas ecuatoriales ») et pluvieuse surmontée d'abondants nuages de couleur sombre.

L'utilisation du terme ZIC, notamment dans sa formulation anglaise ITCZ (« intertropical convergence zone »), est générale en Amérique Centrale : « les basses pressions intertropicales, la discontinuité du vent de surface, les ceintures des températures de surface océaniques maximales, la convergence, la couverture nuageuse et les précipitations, coïncident dans ce que l'on appelle communément l'ITCZ ». Cependant, « il est temps d'abandonner cette manière démodée de voir les choses » (Hastenrath, 1991). Des études plus récentes montrent que tout n'est pas aussi simple et qu'il n'y a pas forcément superposition parfaite de l'ensemble des éléments présentés ci-dessus. Pourtant, chose étonnante, rien de précis n'est proposé pour clarifier la notion d'ITCZ et force est de constater (après avoir parlé avec de nombreux climatologues centraméricains) que cette manière de voir les choses est toujours en vigueur en Amérique Centrale.

De manière classique, la convergence intertropicale est définie par la rencontre au niveau de la mer de l'alizé boréal et de l'alizé austral dévié vers le nord- nord-est au nord de l'équateur.

Pour Guzman (1971), qui adopte cette manière de voir les choses, « sur les cartes climatiques, les alizés de chaque hémisphère météorologique se rencontrent dans une zone plus ou moins large appelée « zone de convergence intertropicale » (« zona de convergencia intertropical », ZCIT) ou « front tropical » (« frente tropical ») ou encore « ceinture des calmes équatoriaux » (cinturón de calmas ecuatoriales »). Sur les océans, la convergence des alizés prend place à l'intérieur du « talweg équatorial » (« vaguada ecuatorial »). Nous reproduisons ci-dessous, à titre d'exemple, la figure proposée par Guzman.

**Carte n°28 : Position moyenne de l'ITCZ entre 90° (Acajutla, El Salvador) et 95° (Tehuantepec, Mexique) de longitude ouest (Guzman, 1971)**




Lamarre (1991), s'appuie sur l'observation attentive des clichés satellites pour individualiser différentes formations nuageuses impliquées dans la dynamique des pluies. Pour cet auteur, « le plus important des groupements nuageux à grande échelle est, sans conteste dans l'espace analysé, la convergence intertropicale (CIT) » (...). Cette expression désigne ici les domaines de concentration de la nébulosité convective aux latitudes subéquatoriales, qu'il vaudrait mieux appeler précisément « zone de convection intertropicale maximale ». La convergence intertropicale peut encore se définir comme étant « le principal agent de la convection atmosphérique à l'échelle globale » (Lamarre, 1991).

La « convergence intertropicale zonale » peut se définir comme un alignement parallèle à l'équateur, plus ou moins continu, d'amas cumuliformes de taille variable, pouvant présenter plusieurs faciès. Les deux premiers correspondent à la disposition la plus simple, fréquente sur les deux océans vers 05-10° de latitude nord, zone où convergent les alizés des deux hémisphères. Si les cellules convectives sont bien formées, on peut en inférer des pluies (convergence active) ; dans le cas contraire, la convergence est dite inactive. Ces cellules sont parfois jointives et forment alors une bande zonale continue dont la largeur n'est pas forcément plus grande que lorsqu'elle est discontinue. Si une convergence discontinue comporte des amas de cumulonimbus de grande dimension, d'un diamètre de l'ordre de 100 kilomètres, c'est encore un autre faciès. La convergence est considérée comme extensive

quand cellules et amas convectifs se regroupent, avec une densité inégale, dans une bande zonale qui dépasse 5° d'extension en latitude ; un type analogue existe aussi en disposition méridienne. A certains moments, les amas convectifs de la CIT prennent de l'extension dans le sens méridien (...). Il ne s'agit pas d'une simple déformation d'un phénomène normalement zonal. La CIT extensive méridienne peut s'installer plusieurs jours, et réapparaître fréquemment. Elle est à l'origine de fortes précipitations sur l'isthme centraméricain : « la carte des pluies moyennes en septembre souligne la façade pacifique de l'isthme ; on sait, par ailleurs que l'advection d'humidité provenant du Pacifique austral est maximale à ce moment de l'année. En fait, le Pacifique tropical nord-est est le siège d'un balancement répété entre une situation zonale (avec CIT linéaire, peu active et en position basse en latitude) et une situation méridienne, avec extension des flux de sud-ouest jusqu'à l'isthme et activation de la convection sur l'ensemble du domaine » (Lamarre, 1991).

Une perception visuelle (le critère étant ici la nébulosité), sans aucune explication concrète, est source de confusions : toute ligne nuageuse de vague orientation zonale peut alors devenir l'ITCZ, sans la moindre analyse structurale. On peut alors parler de CIT « dédoublée » ou d'un « dédoublement » de la ZIC, comme s'il pouvait exister simultanément deux équateurs de la circulation générale ? Lamarre (1991), à propos des flux d'humidité près de la surface, remarque « la présence d'une convergence à peu près zonale (vers 7,5° de latitude nord/80°-120°de longitude ouest). Plus à l'ouest, elle disparaît, alors que se forme une autre bande de convergence située cette fois dans l'hémisphère austral, et disposée en oblique, de l'équateur vers 15° de latitude sud : cette bande est appelée « zone de convergence du Pacifique sud » (en anglais : SPCZ, « South Pacific Convergence Zone) ». Elle occupe une position symétrique, sur le grand océan, par rapport à la zone de convergence du Pacifique oriental ».

L'équivalent peut être trouvé dans l'océan Atlantique sud où certains parlent de « zone de convergence de l'atlantique sud » (South Atlantic Convergence zone) (De Souza E. B., Ambrizzi T., 2002).

L'extension sous les tropiques des conceptions frontologiques assimilant les discontinuités à des fronts, on parle alors de « front équatorial » ou de « front des alizés ». Lamarre (1991) relève que les météorologues du Costa Rica décrivent, dans les bulletins météorologiques mensuels (par exemple ceux d'avril et de mai 1978), la « formation fréquente d'un front de convergence entre les flux d'ouest et l'alizé du nord-est faible (...) ».

Cette ITCZ, en grande partie « thermiquement induite » (Hastenrath, 1991) connaît un déplacement général vers le sud en hiver boréal et vers le nord en hiver austral. Cette migration saisonnière s'accompagne d'une modification du champ de vent de surface.

En conclusion, l'équateur météorologique, lui aussi, n'est pas défini clairement (comme en témoignent les multiples appellations et le fait qu'il ne soit pas tracé sur les cartes proposées par les auteurs). De plus, généralement, aucune distinction en fonction des niveaux n'est faite par les auteurs. Soulignons cependant, que Fernandez-Paptagas et Estoque (1984), dans leur étude sur « les caractéristiques de l'ITCZ sur le Pacifique Est du 5 au 8 juin 1979 », proposent une analyse de la structure verticale de l'ITCZ à proximité des côtes de l'Amérique Centrale. Ces auteurs observent les variations verticales de l'humidité et de la température à l'intérieur de l'ITCZ. « Des températures « chaudes » sont relevées aux niveaux hauts ». « Des températures « fraîches » sont relevées aux niveaux moyens ». « Aux niveaux bas aucune caractérisation significative n'a pu être faite mais une diminution des températures a été relevée du nord au sud ». En ce qui concerne l'humidité, les auteurs de cette étude en arrivent à la conclusion que, « comme on pouvait s'y attendre, une humidité maximale a été

observée ». enfin, les auteurs de cette étude indiquent que « la structure de l'ITCZ est similaire à celle des ondes d'est ».

## 4) Les perturbations :

Les perturbations atmosphériques caractéristiques de l'Amérique Centrale sont également invoquées pour rendre compte de la différenciation climatique (essentiellement pluviométrique) de cet espace. Ainsi, « les saisons climatiques ont été établies en accord avec l'origine des pluies, ces dernières correspondant aux alizés, aux cyclones et tempêtes tropicales en été ; aux « Nortes » en hiver » (Sánchez-Santillán et De la Lanza-Espino, 1996).

Par exemple, le « Veranillo » ou « Canícula » s'expliquerait par le fait que « pendant la saison pluvieuse, des masses d'air continental chaud et sec, entrent derrière une tempête tropicale déviée vers le nord-est dans le Golfe du Mexique » (Mosiño et Reyna, 1992). M. Cortez Vazquez (2000), remarque quant à lui que la « Canícula » se produit quand « une diminution de la convection s'observe sur le centre et le sud du Mexique, sur l'Amérique Centrale et sur le Pacifique oriental » tout en se demandant « quel est le mécanisme physique qui engendre cette relation ? ».

Les perturbations seront abordées et développées par la suite (troisième partie de cette thèse). Pour chaque perturbation, un bilan bibliographique complet sera alors proposé ainsi que des études de cas.

## 5) Le phénomène « El Niño » :

### a) Introduction :

Notre bilan bibliographique serait incomplet sans une présentation du phénomène « El Niño ».

Le phénomène « El Niño » est un sujet brûlant qui, quel que soit le pays, fait très souvent la « Une » des médias. Depuis les épisodes de 1972-1973, 1982-1983 estimé comme ayant été Le « El Niño du siècle » et plus récemment celui de 1997-1998 encore plus violent (qualifié de « Super Niño du siècle »), les événements « El Niño » sont jugés responsables des désordres climatiques mondiaux et sans cesse invoqués pour expliquer tel ou tel événement climatique majeur.

L'Amérique Centrale ne faisant pas exception, après avoir brièvement rappelé ce qu'est le phénomène « El Niño », nous nous intéresserons à la perception de ce phénomène et à son influence « supposée » sur la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale.

### b) « El Niño » / « La Niña » :

Le phénomène « El Niño », dont l'inverse est appelé la « Niña », est associé à l'Oscillation Australe, O.A (ou Southern Oscillation *:* S.O, décrite par Walker, 1924). Le phénomène « El Niño » est, par la suite, devenu E.N.S.O (El Niño Southern Oscilation, dans sa formulation anglaise) ou E.N.O.A (El Niño Oscillation Australe, dans sa formulation française).

L'O.A est la variation de la pression atmosphérique au niveau de la mer entre les deux façades de l'océan Pacifique tropical : « en termes généraux, quand la pression est élevée dans l'océan Pacifique, elle tend à être basse dans l'océan Indien de l'Afrique à l'Australie » (Walker et Bliss, 1932). L'O.A est exprimée par la différence de pression entre Tahiti, îles de

la Société (ou l'île Rapa, ou encore l'île de Pâques) d'une part, et Darwin, nord de l'Australie (ou Jakarta, Indonésie) d'autre part. Lorsque la pression est élevée à Tahiti, mais basse à Darwin (indice de l'O.A, iO.A, élevé, positif), la température de surface de l'océan Pacifique central au voisinage de l'équateur est basse (épisode froid, ou anti-Niño, la Niña), mais à l'inverse quand la différence de pression devient minimale (iO.A faible, négatif) on observe une anomalie thermique superficielle chaude connue sous le nom de « El Niño ».

Si le phénomène « El Niño » est connu depuis des siècles (Enfield, 1989), « les causes de l'Oscillation Australe ne sont pas très bien comprises » (Hastenrath, 1991). La très grande médiatisation ne facilite pas la compréhension de ce phénomène.

### c) Le phénomène « El Niño » dans le Pacifique oriental :

Comme nous l'avons déjà dit précédemment (voir partie 1, chapitre 2, 2 et 3, carte n°6), le long des côtes du Chili du Pérou et de l'Equateur, l'alizé maritime, en écartant l'eau de surface du rivage, provoque un vide relatif et la remontée d'eaux venant d'une profondeur de 100 à 200 mètres (upwelling). Ces eaux fournissent de grandes quantités d'éléments nutritifs, entretiennent une riche prairie planctonique qui attire les poissons, les oiseaux et les pêcheurs. L'intérêt économique de ces eaux côtières est de ce fait très important pour les populations locales.

Le phénomène « El Niño » n'a rien d'exceptionnel et, tous les ans « un faible courant côtier, à l'époque de Noël, s'écoule en direction du sud » (Wyrtki, 1979) jusqu'au nord du Pérou et se retire en avril. Cependant, épisodiquement, à intervalles irréguliers, le courant « del Niño » est plus fort et descend davantage vers le sud. Les eaux fraîches sont alors remplacées par des eaux chaudes et toute l'activité économique locale est affectée. Dans le même temps de fortes précipitations s'abattent parfois brutalement sur des régions littorales habituellement peu ou non pluvieuses (Equateur, nord du Pérou, îles Galapagos).

Si, sur le plan agricole, une année « El Niño » est une année d'abondance (« año de abundancia »), le phénomène est généralement accueilli positivement par les paysans, le développement de la pêche industrielle et son importance dans l'économie péruvienne a fait qu'un phénomène « El Niño » fort est, au contraire, sur le plan industriel, considéré comme une catastrophe économique d'envergure nationale.

### d) Le phénomène « El Niño », de multiples définitions ne répondant pas forcément aux véritables questions :

Quelles sont les différentes composantes du phénomène « El Niño » dans le Pacifique tropical ?

L'invasion d'eaux chaudes sur les côtes péruviennes est-elle liée à la disparition de 1'upwelling, donc à une relaxation de l'alizé austral ? Cette explication n'est pas suffisante car « les vents ne sont pas moins intenses pendant les périodes reconnues d'El Niño » (Wyrtki, 1979).

D'un point de vue océanographique la cause serait complexe : des alizés intenses transportent les eaux de surface vers le Pacifique ouest, elles s'y « accumulent » (le bassin pacifique serait-il séparé du bassin indien ?), et lors d'un affaiblissement des alizés elles s'écoulent en retour vers leur lieu d'origine. Des alizés puissants apparaissent nécessaires pour transférer l'eau vers l'ouest, tandis qu'une baisse de l'écart de pression est considérée comme un signe précurseur du retour des eaux vers l'est, le contre-courant équatorial étant alors très fort. De plus, chacun sait que l'arrivée d'eaux chaudes n'est pas un facteur explicatif des pluies (Leroux, 2000).

Selon le point de vue météorologique, Weare (1983) avait souligné que le « Niño » est, associé à un mouvement vers le sud de la zone de convergence du Pacifique située en moyenne vers 8° nord », Deser et Wallace (1990) avaient observé « une extension vers le sud et une intensification de l'ITCZ », pendant les épisodes « El Niño ».

Pour la WMO (1987) un événement « El Niño » est associé à :

- Un affaiblissement du système des alizés du Pacifique, mais des vents d'ouest ou des anomalies d'ouest apparaissant en premier lieu dans le Pacifique occidental et se renforçant,

- Une hausse de la pression de surface à l'ouest (c'est-à-dire à Darwin), avec baisse du niveau de la mer, et une baisse de pression à l'est (c'est-à-dire à Tahiti), avec un relèvement du niveau de la mer (rappelons qu'à 1 hPa correspond une hausse/baisse de 1 cm),

- Un glissement vers l'est de l'activité convective, et un déplacement des eaux chaudes vers le Pacifique central et oriental.

De Souza et Ambrizzi (2002), étudient les effets des épisodes ENSO sur les précipitations en Amérique du Sud pendant les années 80. Pour ces auteurs, les explications de la variabilité pluviométrique sont à rechercher dans les modifications de la circulation observée dans les cellules de Hadley et de Walker. De Souza et Ambrizzi constatent que « ces cellules à grande échelle ont presque inversé leur sens de rotation pendant les phénomènes « El Niño » de 1982-83 et 1986-87 ». Comment la circulation de la prétendue cellule de Walker peut-elle subitement s'inverser au mépris des lois physiques ? « Des anomalies dans les branches descendantes des cellules de Hadley et de Walker ont affecté la majeure partie du nord-nord-est de l'Amérique du Sud avec pour effet d'inhiber l'activité de la ZCIT et provoquant des sécheresses en pleine période pluvieuse dans les différentes Guyanes, au Surinam, au centre-est de l'Amazonie et au nord-est du Brésil » ; d'un autre côté, l'on a observé « des précipitations excessives dans le sud-sud-est de l'Amérique du Sud », précipitations « favorisées par la branche ascendante de la cellule de Hadley ». De Souza et Ambrizzi observent, pendant les épisodes « La Niña » de 1984-85 et 1988-89, une « intensification des ascendances et des subsidences associées aux cellules de Hadley et de Walker ». « Ces ascensions à grande échelle, associées aux cellules situées au nord-est du Brésil et dans l'Atlantique sud équatorial, ont favorisé l'activation de l'ITCZ et par là même les précipitations ; aux latitudes moyennes de l'Amérique du Sud, une intense subsidence a conduit à un déficit de pluie dans le sud et le sud-est de l'Amérique du Sud ».

Nous pouvons réitérer les mêmes remarques que celles formulées ci-dessus dans le paragraphe sur la « mousson étasunienne ». Les réserves émises par Hastenrath (1991) sur la cellule de Walker n'empêchent pas, encore à l'heure actuelle, l'utilisation fréquente de cette dernière (elle même associée à la mécanique du phénomène « El Niño ») pour « expliquer » la variabilité pluviométrique de l'Amérique du Sud ou pour rendre compte de tout autre phénomène dont on n'arrive pas à expliquer clairement la dynamique. La cellule de Walker apparaît être un « joker explicatif » réutilisable à volonté et bien pratique pour pallier (du moins à première vue) les déficiences !

N.B : toutes les pistes énoncées ci-dessus ne favorisent pas la compréhension du phénomène. D'ailleurs, les auteurs ne s'accordant pas sur les dates auxquelles se produisent les épisodes « El Niño », démontrent ainsi les insuffisances qui entourent la perception de ce

phénomène . Pour désigner une année comme étant une année « El Niño », certains utilisent les observations des mois de décembre, janvier, février ; d'autres préfèrent janvier, février et mars ; d'autres encore préfèrent découper toute l'année civile en trimestres voire en semestres et ne plus parler d'année à « Niño », chaque trimestre, semestre étant lui même caractérisé comme étant un épisode « fort », faible » ou « neutre ». Le découpage de l'année en trimestres, semestre semble relever du traitement statistique et n'a d'autre effet que de rendre la perception du phénomène encore moins fluide ! Quelle est la bonne définition du phénomène « El Niño » ? Quelles sont les véritables composantes du phénomène « El Niño » dans le Pacifique oriental ? Quelles peuvent être les véritables conséquences de ce phénomène sur le temps et le climat centraméricain ?

**e) Accroissement de la fréquence du phénomène « El Niño » :**

Le phénomène « El Niño » apparaît banal tant il tend à se manifester de plus en plus souvent ces dernières années. On observe ainsi « une fréquence plus grande d'événements ENSO » (WMO, 1990). Depuis 1990 le phénomène « El Niño » est presque constant, reproduisant des conditions de longue durée déjà observées de 1911 à 1913 et de 1939 à 1941 (WMO, 1995). Pour quelle(s) raison(s) ?

**f) Le phénomène « El Niño » et ses conséquences climatiques « supposées » en Amérique Centrale :**

Dans la littérature spécialisée, le phénomène « El Niño », phénomène ayant avant tout des caractéristiques océanographiques, est souvent repris pour expliquer la variabilité des précipitations.

De La Lanza et Galindo (1989) précisent que le phénomène « El Niño/Southern Oscillation (ENSO) est un réchauffement anormal de l'océan Pacifique équatorial est, réchauffement qui s'observe à intervalles irréguliers de 2 à 7 ans et qui perdure pendant 1 à 2 ans ».

De La Lanza Espino et Galindo (1989) étudient les 100 premiers mètres de l'océan Pacifique à proximité de Manzanillo (Mexique) et constatent bien que, pendant l'épisode ENSO de 1986-87, une anomalie positive de la TSO de 1,5°C fut observée.

Galindo (1987) associe ce phénomène océano-atmosphérique à de fortes perturbations dans les régimes des précipitations sous les tropiques (sécheresses prononcées ou, au contraire, de fortes inondations dans les régions arides).

Ropelewski et Halpert (1987) et Rogers (1988) considèrent que le phénomène « El Niño » « induit des changements dans la circulation atmosphérique extratropicale pendant l'hiver, changements induisant des situations climatiques anormales ».

Mosiño et Morales (1988) analysent les précipitations à Tacubaya (Mexique) pendant la période 1921-1983 et remarquent que « la présence d'un événement El Niño modéré, les précipitations et le nombre de perturbations tropicales augmentent ». En revanche, pendant « un événement El Niño fort, les tendances observées sont différentes, les précipitations et le nombre de perturbations tropicales à Tacubaya diminuent ».

Pour Schneider et Schonwiese (1989) le phénomène ENSO est « l'un des signaux les plus proéminents de la variabilité climatique interne à court terme ».

Cavazos et Hastenrath (1990) ont corrélé l'indice d'Oscillation Australe (SOi, southern oscillation index) avec les précipitations hivernales au Mexique. Ils observent une « augmentation des précipitations dans le nord du Mexique, la côte centrale du Pacifique et la

péninsule du Yucatán quand l'indice d'oscillation australe est négatif » ; au contraire, « quand l'indice est positif, les précipitations augmentent au centre du Mexique et dans l'isthme de Tehuantepec ».

Pereyra et al. (1991) trouvent des « relations statistiquement significatives entre l'augmentation des précipitations annuelles à Xalapa, Etat de Veracruz (Mexique) et les événements « El Niño » quand ces derniers ce produisent avec une forte intensité et observent une baisse non significative quand le phénomène « El Niño » est très fort ».

Tejeda et al., (1992) constatent eux que « les températures moyennes et les précipitations diminuent à Xalapa, Etat de Veracruz (Mexique) avant un épisode « El Niño » modéré et une hausse après ; pendant les années à fort « El Niño », le contraire se produit ». Cette étude montre également que pendant un épisode « El Niño », la « Canícula » (période de sécheresse estivale) diminue fortement voire disparaît complètement en juillet et août, dans tout l'Etat de Veracruz. Par contre, dans les hautes terres du centre de l'Etat de Veracruz, l'intensité de la « Canícula » augmente pendant un épisode « El Níno ». Pereyra et al., (1994) feront exactement les mêmes constatations dans leur article traitant des effets du phénomène ENSO sur la sécheresse estivale dans l'Etat de Veracruz au Mexique.

Cavazos (1998), étudie les épisodes de précipitations extrêmes dans le nord-est du Mexique et le sud-est du Texas et remarque que « les anomalies positives ou négatives du volume des précipitations hivernales sont associées à un événement ENSO ».

Wayden et al., (1996) s'intéressent à la variabilité interannuelle des précipitations au Costa Rica et réalisent des corrélations statistiques entre les précipitations mensuelles moyennes et l'iOA. Ces auteurs constatent par exemple, que « la côte pacifique expérimente une sécheresse peu de temps avant et pendant un phénomène ENSO » ; pendant cette même période, dans les Caraïbes, « les précipitations augmentent en été et diminuent en hiver ».

Richard et al., (2000) observent une « forte corrélation de la variabilité interannuelle, annuelle et mensuelle des précipitations dans la presqu'île de Basse Californie et l'indice d'Oscillation Australe ». Pendant un épisode « El Niño », les précipitations augmentent (surtout en février-mars) et pendant un épisode La « Niña », les précipitations diminuent (surtout en décembre-janvier).

Donc, le phénomène « El Niño », en Amérique Centrale sert essentiellement de base à des corrélations statistiques entre la répartition des précipitations et l'iOA.

Ces dernières années, le concept de l'iOA s'est étendu au Pacifique du nord-est et l'indice d'oscillation pacifique décennale est apparu (PDA en anglais, Pacific Decadal Oscillation). Brito-Castillo et al., (2002), indiquent que l'oscillation pacifique décennale est « une fluctuation océanique à long terme » observée dans les températures de surface océanique de l'océan Pacifique du nord-est. Cette oscillation pacifique décennale a été découverte en 1996 et présentée dans l'article de Mantua et al., (1997). L'oscillation pacifique décennale a rapidement été associée au phénomène « El Niño » (Zhang et al., 1997). Mantua et al., (1997) ont utilisé des séries mensuelles de l'indice d'oscillation pacifique décennal entre 1900 et 1994 et observent des phases de « croissance », « décroissance » qui alternent tous les « vingt ou trente ans ». Pendant la phase « chaude » (warm phase), ils observent des températures de surface océanique anormalement fraîches dans le centre du Pacifique Nord et, des températures de surface océanique inhabituellement chaudes le long de la côte ouest américaine. Pendant la phase « fraîche » (cool phase), ils observent des températures de surface océanique plus fraîches à l'est et au centre du pacifique, encerclées par des températures de surface océanique plus chaudes dans le nord, l'ouest et le sud formant un véritable « fer à cheval ».

Englehart et Douglas (2002) étudient la variabilité interannuelle de la pluie pendant la saison sèche (verano) au Mexique et font des corrélations avec différents indices dont l'indice d'oscillation pacifique décennal.

Nous allons maintenant, dans un quatrième chapitre, proposer une synthèse de la dynamique du temps et du climat en Amérique centrale telle qu'elle est perçue à l'heure actuelle.

# Chapitre 4 : Conclusion/Synthèse de la partie 1

## 1) La perception actuelle de la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale :

Il s'agit ici d'essayer de synthétiser la dynamique du temps et du climat telle qu'elle est perçue en Amérique Centrale.

La perception statistique des phénomènes, fondée sur des moyennes de pression, est à l'origine de la reconnaissance de centres d'action (les « cellules anticycloniques » de « la ceinture des hautes pressions subtropicales »), sans cesse évoqués pour expliquer le temps en Amérique Centrale, à l'échelle synoptique comme à l'échelle saisonnière.

Le centre d'action qui, selon les auteurs, exerce une influence essentielle sur le temps et le climat en Amérique Centrale est : la « cellule anticyclonique de l'Atlantique nord » dite « des Açores » ou « des Bermudes-Açores ». Dans une bien moindre mesure, apparaissent aussi, au gré des auteurs, la « cellule anticyclonique du Pacifique nord » dite « des Hawaii » et celle « du Pacifique sud » dite « de l'île de Pâques ».

Ces centres d'action sont considérés comme étant à l'origine des flux tropicaux (flux d'alizé éventuellement prolongés en flux de mousson au franchissement de l'équateur géographique sur la côte pacifique de l'Amérique Centrale). Les flux tropicaux de chaque hémisphère météorologique se rejoignent le long de « l'axe des basses pressions intertropicales » communément appelé dans cette région « zone de convergence intertropicale » (ZCIT ou ITCZ dans sa formulation anglaise).

Les cellules anticycloniques de la « ceintures des hautes pressions subtropicales » connaissent saisonnièrement des variations d'intensité ainsi que des déplacements en latitude et en longitude.

Pendant la période hivernale, les « centres d'action » se renforcent et connaissent un déplacement général vers le sud (hiver boréal) et inversement, se déplacent vers le nord (pendant l'hiver austral). Située entre les « cellules anticycloniques » de la « ceinture des hautes pressions subtropicales, la « zone de convergence intertropicale » connaît elle aussi un déplacement en latitude identique. Les alizés des deux hémisphères météorologiques se rejoignant le long de l'ITCZ, ces déplacements vers le sud en hiver boréal et vers le nord en hiver austral entraînent des modifications du champ de vent (pénétration de l'alizé issu de la « cellule anticyclonique atlantique » sur le Pacifique en hiver boréal ; pénétration de l'alizé issu de la « cellule anticyclonique du Pacifique sud-est », éventuellement dévié en mousson, jusqu'au littoral centraméricain).

En janvier, en moyenne, la « zone de convergence intertropicale » se trouve située quelques degrés au nord de l'équateur géographique.

Suivant le mouvement du soleil, l'ITCZ va se déplacer vers le nord, atteignant en juin sa position extrême (Selon G. De La Lanza, I. Galindo. E., 1989, « l'ITCZ atteint sa position la plus septentrionale vers 15° de latitude nord »).

En juillet et août, l'ITCZ recule vers le sud en raison du renforcement de « la cellule anticyclonique atlantique » pour par la suite se déplacer à nouveau vers le nord, commençant en septembre-octobre sa migration vers le sud jusqu'à atteindre sa position hivernale normale.

Selon Guzman (1971), pendant les mois d'hiver de l'hémisphère nord, l'ITCZ se déplace vers le sud et les alizés du nord-est (issus de la cellule anticyclonique atlantique dite « des Açores » pénètrent, sur le Pacifique, jusqu'à 5° de latitude nord environ.

Sur la mer des Caraïbes, la force et la constance des alizés diminuent légèrement.

Vers la fin de l'hiver, l'ITCZ a atteint sa position méridionale extrême, on observe, entre l'équateur et 5° de latitude nord, des vents variables.

Pendant le déroulement du printemps, la force et la constance des alizés dans les Caraïbes ne présentent pas de grandes variations.

Sur le Pacifique, l'ITCZ se déplace vers le nord et des vents de secteur sud apparaissent entre l'équateur et 5° de latitude nord environ. La force et la constance de ces vents augmentent graduellement jusqu'au mois de juin.

En mai, l'ITCZ se trouve localisée entre 5° de latitude nord et la côte centraméricaine. Nous observons des vents variables et faibles sur la mer des Caraïbes au nord du Panama et du Costa Rica. Le renforcement de la « cellule anticyclonique atlantique » entraîne un renforcement de la force et de la constance des alizés sur la mer des Caraïbes et sur la partie orientale de l'Amérique Centrale. En même temps, les vents de secteur sud se renforcent, et parfois, dépassent le parallèle 5° nord.

En juillet, l'ITCZ se rétrécit à cause de l'augmentation de l'intensité des deux systèmes de vents dans chaque hémisphère.

En septembre, les alizés de la mer des Caraïbes s'affaiblissent et deviennent moins constants. Des vents faibles, variables et des périodes de calmes apparaissent fréquemment au nord du Costa Rica et du Panama..

Les vents de sud et sud-ouest continuent à souffler avec force et constance sur le Pacifique jusqu'à une ligne qui s'étend entre 10° de latitude nord - 100° de longitude ouest/5° de latitude nord - 80° de longitude ouest.

Au début de l'hiver, la vitesse de l'alizé du nord-est sur la mer des Caraïbes augmente et pénètre jusque sur l'océan Pacifique, le cycle annuel recommence... La description que fait M. Cortez Vazquez (2000), correspond à celle de Guzman (1971).

A cette mécanique générale d'échelle synoptique, il nous faut rajouter les perturbations qui jouent un rôle important dans la perception du temps et du climat centraméricain (les perturbations étant présentées dans la quatrième grande partie, il est uniquement question ici d'en faire l'inventaire).

En plus des « ondes d'est », citons les épisodes de « Nortes », forts vents du nord, provoquant des baisses de températures importantes et souvent des gelées sévères sur la côte atlantique. Les « Nortes » sont également censés rendre compte des précipitations hivernales sur la côte atlantique de l'Amérique Centrale et sont à l'origine de la reconnaissance d'une troisième saison climatique.

Citons encore les cyclones tropicaux, les Cordonazos, responsables (entre autres) de précipitations souvent dramatiques en Amérique Centrale.

Citons également, les épisodes de « Temporales » entraînant des précipitations diluviennes sur la côte pacifique mais aussi, plus rarement, sur la côte atlantique.

## 2) Les incertitudes, les questions en suspens :

Après avoir résumé nos lectures en essayant d'organiser au mieux ce bilan, il nous faut bien reconnaître qu'un grand nombre d'incertitudes subsistent et de nombreuses questions nous viennent à l'esprit. Rappelons ces questions :

En ce qui concerne les « cellules anticycloniques » de la « ceinture des hautes pressions subtropicales » :

- Leur origine est attribuée à la branche subsidente de la cellule de Hadley. Des mouvements subsidents (même très puissants et réguliers) peuvent-ils expliquer la formation de ces cellules anticycloniques ?
- Leurs déplacements en latitude et en longitude, ne sont pas bien compris mais sont souvent évoqués pour expliquer le temps et/ou le climat. Comment expliquer ces déplacements ?
- Ces cellules anticycloniques sont censées être à l'origine des flux tropicaux, mais rien n'explique comment ?

En ce qui concerne les flux tropicaux :

- La structure verticale bien particulière de l'alizé n'est en rien expliquée. De nombreuses interrogations subsistent quant à l'origine et le maintien de l'inversion d'alizé. Pourquoi la strate inférieure est-elle plus « fraîche » ? Pourquoi la vitesse des alizés est-elle plus forte à l'est des cellules anticycloniques et diminue-t-elle vers l'ouest ? Pourquoi les vitesses des alizés ne sont pas régulières et au contraire, présentent-elles des « à-coups » ? Quelle est l'origine de ces « à-coups » sachant que la simple subsidence est incapable de les expliquer ?
- Les flux de mousson, faute d'une définition précise peuvent être appréhendés de manière différente et cela est source de confusion. La côte pacifique de l'Amérique Centrale est-elle en été boréal sous l'influence d'un flux de mousson ? Si tel est le cas, ce flux de mousson peut-il rendre compte de la saison pluvieuse observée sur cette côte ? Si tel n'est pas le cas, comment expliquer cette saison des pluies et comment expliquer la répartition pluviométrique (dissymétrie prononcée entre les deux façades océaniques) ? Peut-on parler de « mousson nord-américaine », de « mousson mexicaine » ?

En ce qui concerne l'équateur météorologique :

- L'axe vers lequel convergent les flux d'alizé des deux hémisphères, l'ITCZ, est mal défini (définition essentiellement visuelle, d'après les concentrations nuageuses). Il suffit de relever la terminologie très variée qui s'y rapporte pour avoir une idée de la très grande variété des façons de l'appréhender et de la confusion qui peut régner.
- La structure verticale de cet axe n'est pas présentée précisément (aucune différence n'est faite entre les basses couches et les couches moyennes) et ses déplacements saisonniers en latitude à proximité de l'isthme centraméricain demeurent beaucoup trop imprécis (cartographie à très grande échelle).

En ce qui concerne les classifications climatiques proposées par les auteurs :

- Les présentations physionomiques du climat (fondées sur les températures et les précipitations) apparaissent parfois contradictoires.

En ce qui concerne l'évolution climatique ; notamment récente :

- Très peu d'études s'y sont intéressées (peut être à cause des insuffisances des séries statistiques de données climatiques à disposition) et, de ce fait, nous avons peu

d'informations. Quels sont les grands traits de l'évolution climatique du temps et du climat en Amérique centrale ?

En résumé, que savons-nous ? Force est de constater que nous ne savons pas grand chose ! L'Amérique Centrale apparaît être un secteur oublié, mis entre parenthèse pendant un certain nombre d'années. Certes, de grands météorologues se sont intéressés en leur temps à ce secteur (Portig, Alpert, Hastenrath, Palmer, Riehl...) mais leurs travaux commencent sérieusement à dater. L'Amérique Centrale a été plongée dans l'oubli, peut-être que son histoire récente, faite de guerres civiles (Nicaragua, Guatemala, El Salvador, Mexique...) a contribué sérieusement à la persistance et au creusement de ce « vide » ? Depuis le début des années 90, avec les nombreux accords de paix correspondants à la fin de la guerre froide (El Salvador, Guatemala, apaisement du conflit au Chiapas…), les études semblent à nouveau se multiplier, les météorologues mexicains et costaricains, en relation avec leurs homologues d'Amérique du Nord ; le climatologue français Lamarre sont à l'origine de ce renouveau mais force est de constater que les « zones d'ombres » et les incertitudes restent cependant nombreuses…

**Ce travail de thèse a donc pour principal objectif de contribuer à faire sortir de l'ombre cette région et à éclairer la perception de la dynamique du temps et du climat dans ce secteur-clé.**

Nous allons donc, dans une deuxième partie, commencer par présenter une vision rénovée de la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale.

# PARTIE 2 : LA DYNAMIQUE DE LA CIRCULATION DANS LES BASSES COUCHES DE LA TROPOSPHÈRE EN AMÉRIQUE CENTRALE

## Introduction :

Cette thèse a pour principal objectif de clarifier la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale. Dans notre bilan bibliographique (partie 1, chapitre 3), nous avons mis en avant le fait que de nombreuses zones d'ombre subsistent en ce domaine. Aucune dynamique d'ensemble, clairement identifiée, n'est proposée et nous avons pu soulever un grand nombre d'interrogations auxquelles il nous faut tenter de répondre.

Dans cette deuxième partie, afin d'avoir une vue d'ensemble, nous partons d'un constat d'observations à l'échelle du continent américain. Après ce constat, nous proposons des définitions précises qui font le point sur les interrogations soulevées précédemment (voir partie 1, chapitre 4, 2). Dans un troisième temps, les observations réalisées, les démonstrations faites, les définitions proposées, nous faisons un bilan, sous forme schématique, de la dynamique de la circulation dans les basses couches de la troposphère de cet espace centraméricain.

## Chapitre 1 : Constat d'observations à l'échelle du continent américain

### 1) Introduction :

Afin de mettre en relief ce que l'observation attentive des clichés satellite fait ressortir, nous présentons quatre photos satellites GOES 8, est, visible, full (photo n°1 du 24/1/1996 ; photo n°2 du 23/8/1996 ; photo n°3 du 10/10/1996 et photo n°4 du 3/4/1996) que nous analysons grâce aux cartes synoptiques de surface de la NOAA (fig. n°1, 2, 3 et 4 ).

### 2) Analyse des cartes de surface et des photos satellites (photos satellite n°1 à 4 ; fig. n°1 à 4) :

- **Commentaire de la fig. n°1 (analyse de la photo satellite du 24/01/96) :**

Dans l'hémisphère météorologique sud : sur le Pacifique sud, à l'ouest des Andes, l'agglutination anticyclonique (AA) dite de « l'île de Pâques » est située entre 20° et 40° de latitude sud. Cette AA est réalimentée par l'anticyclone mobile polaire n°2 (AMP2) guidé vers le nord-ouest par la puissante barrière orographique andine (une partie de cet AMP2, le noyau anticyclonique AMP2', rejoint l'océan Atlantique). Les effets de l'orographie s'observent encore sur l'AMP1 qui remonte le littoral oriental et envoie un flux d'air polaire vers le sud du continent. Sur la face avant de l'AMP1, les formations nuageuses sont développées. Au sud de l'AA dite de « l'île de Pâques », l'alizé maritime de type 2 (Al.m) se dirige vers l'équateur météorologique (EM). L'équateur météorologique vertical (EMV), d'orientation zonale, forme une ceinture continue de nuages denses sur l'océan. Il touche le continent au sud de la Colombie puis, au-dessus du bassin amazonien, n'est plus visible sur la photo satellite.

**Photo n°1 : GOES 8, est, vis, le 24/1/1996, 17h45 T.U**

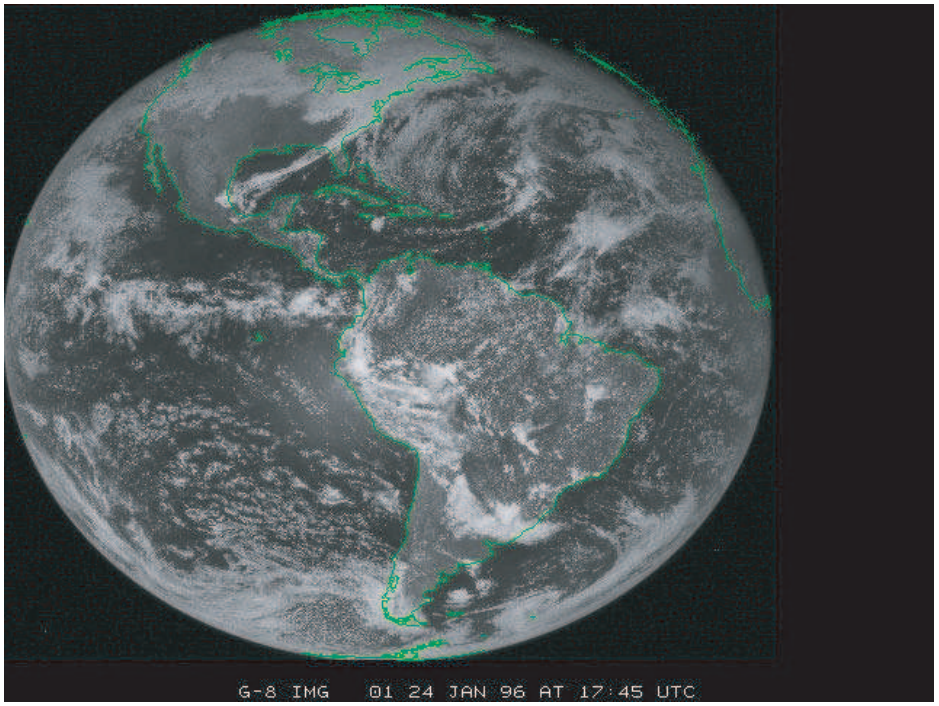



**Figure n°1 : Analyse de la photo satellite du 24/1/1996**

*D'après cartes de la NOAA :*
*" Tropical surface analysis, Atlantic & Pacific", 18h00 T.U et "Weather pub fax", 18h00 T.U*

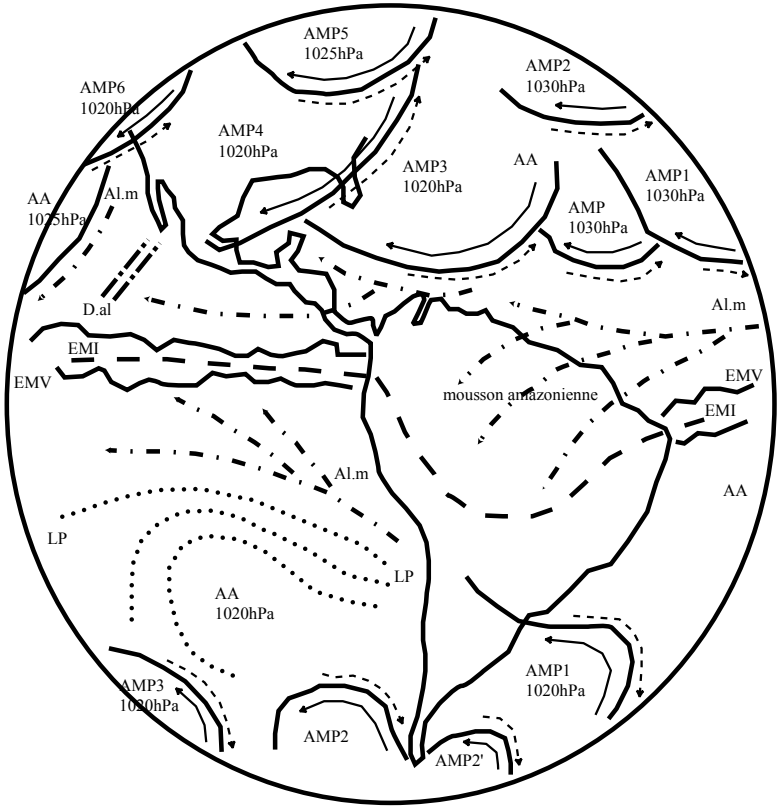


**Photo n°2 : GOES 8, est, vis, le 23/8/1996, 17h45 T.U**

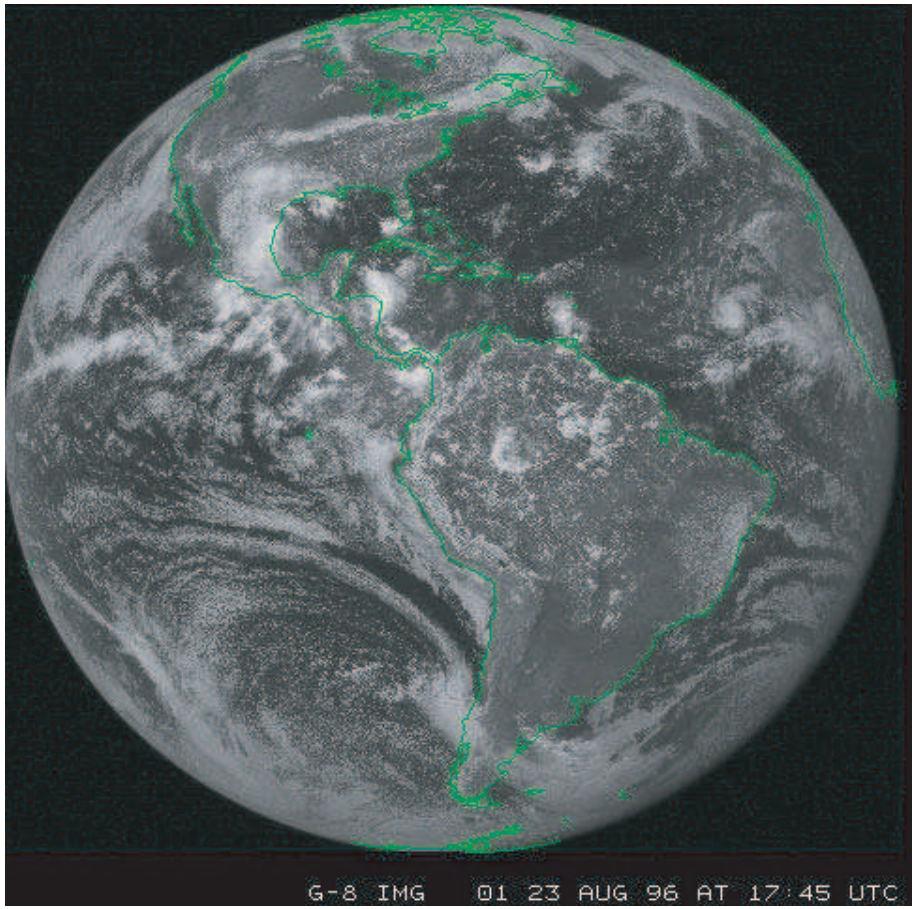



**Figure n°2 : analyse de la photo satellite du 23/8/1996**

*D'après cartes de la NOAA :*
*"Tropical surface analysis, Atlantic & Pacific", 18h00 T.U et "Weather pub fax", 18h00 T.U*



**Photo n°3 : GOES 8, est, vis, le 10/10/1996, 17h45 T.U**

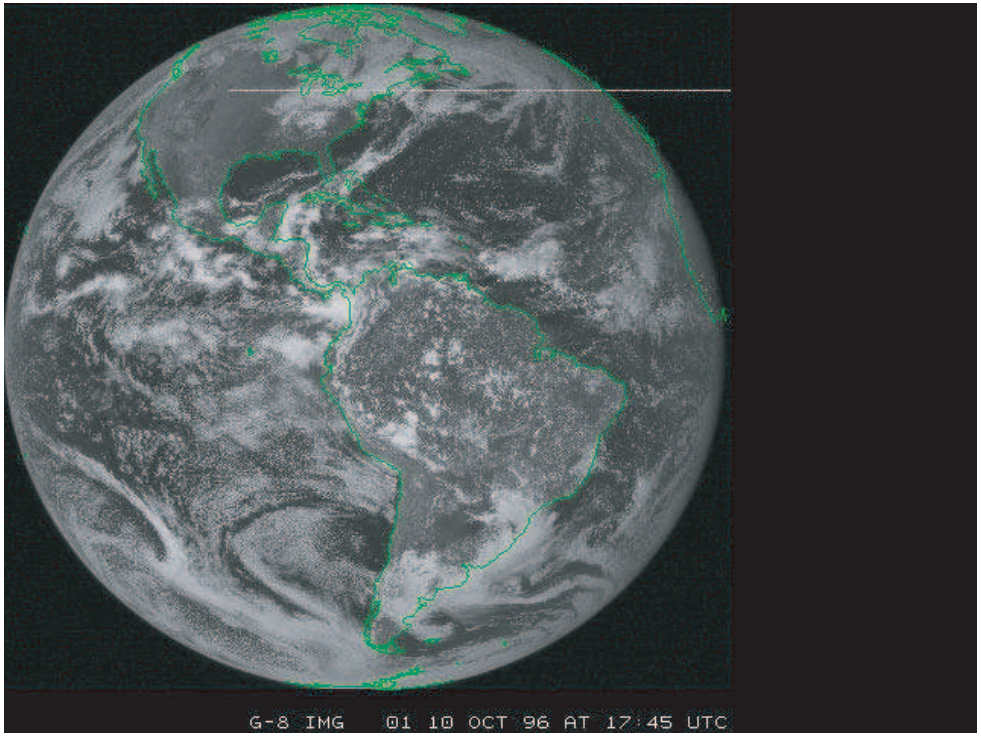



**Figure n°3 : Analyse de la photo satellite du 10/10/1996**

*D'après cartes de la NOAA :*
*"Tropical surface analysis, Atlantic & Pacific", 18h00 T.U et "Weather pub fax", 18h00 T.U*

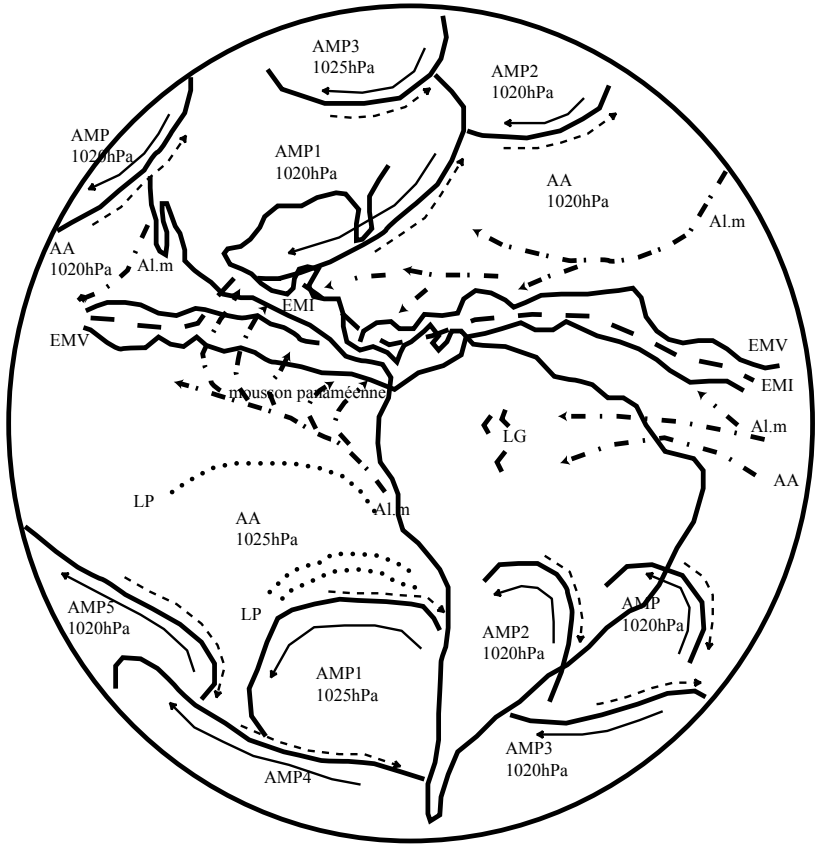


**Photo n°4 : GOES 8, full, est, vis, le 3/4/1996, 17h45 T.U**

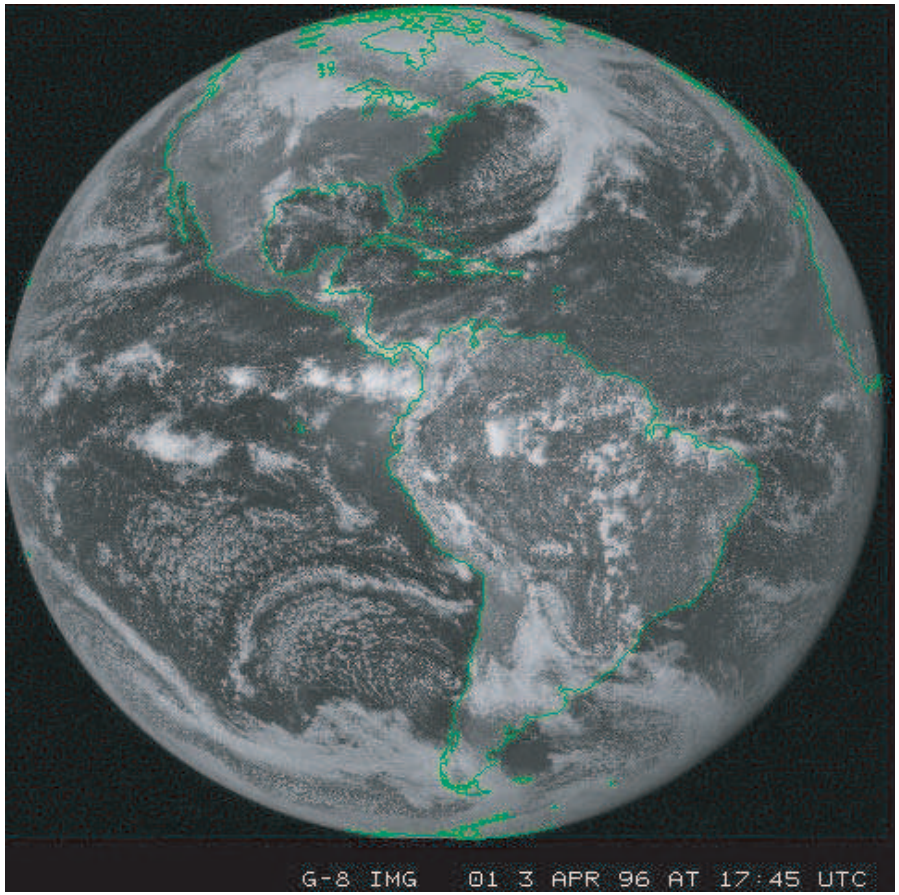
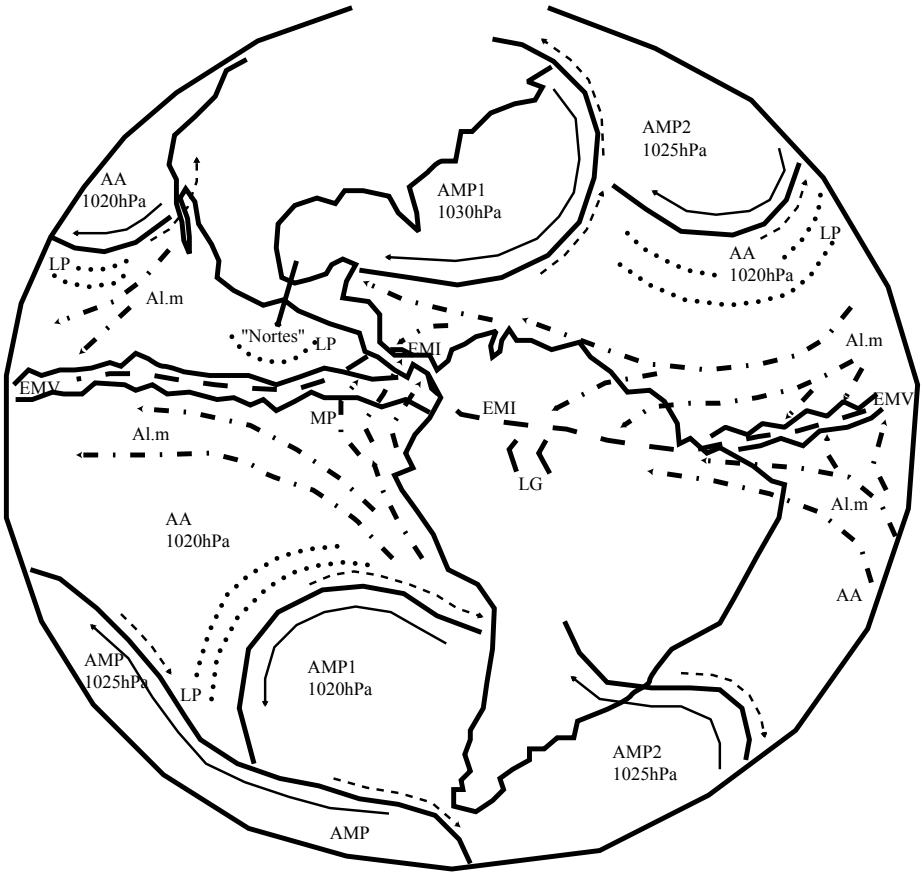



**Figure n°4 : Analyse de la photo satellite du 3/4/1996**

*D'après cartes de la NOAA :*
*" Tropical surface analysis, Atlantic & Pacific", 18h00 T.U et "Weather pub fax", 18h00 T.U*



L'équateur météorologique incliné (EMI) et l'EMV se superposent presque sur l'océan; sur l'immense forêt amazonienne, l'EMI plonge vers le sud, l'EMV reste beaucoup plus au nord.

Dans l'hémisphère météorologique nord : l'AMP4 recouvre le continent nord-américain (des Etats-Unis au Mexique). La puissante AA de l'Atlantique du nord-est, dite des « Açores », alimente sur sa partie sud, la mousson amazonienne (MA) et accélère l'Al.m qui se dirige vers le Golfe du Mexique. Ce flux chaud, humide, instable est soulevé par les Appalaches et la face avant de l'AMP4, dévié en direction de l'entonnoir formé par la face arrière de l'AMP3 et la face avant de l'AMP4. Ce dernier AMP qui descend vers le Golfe du Mexique est arrêté à l'ouest par les Montagnes Rocheuses. Sur le Canada, s'étend l'AMP5 et sur le Pacifique, l'AMP6 rejoint l'AA dite « des Hawaii ».

- **Commentaire de la fig. n°2 (analyse de la photo satellite du 23/8/96) :**

Dans l'hémisphère météorologique sud, à l'ouest des Andes, l'AA dite de « l'île de Pâques » est réalimentée par le gigantesque AMP1, guidé vers le nord par les Andes et aidé en ce sens par la présence de l'AMP4 (une partie de l'AMP1, l'AMP1' est guidée vers le nord-est, en direction de l'Atlantique). Les AMP2 et 3 ont subi, eux aussi les effets du relief andin au sud de l'Amérique du Sud. Le grand nombre d'AMP témoigne de la vigueur de l'hémisphère austral pendant l'hiver. En remontant le littoral oriental, ils contribuent à envoyer de l'air polaire sur le continent. L'AA dite « de l'île de Pâques » donne naissance à l'Al.m pacifique, progressivement dévié en mousson panaméenne (MP) au franchissement de l'équateur géographique. L'EMV (très au nord, poussé par les puissants AMP qui remontent le long des Andes) est souligné par d'intenses formations nuageuses qui témoignent de la convergence de l'air. A proximité de l'Amérique Centrale, l'EMI, attiré par les dépressions thermiques sur l'isthme, se sépare légèrement de l'EMV et se situe plus au nord, sur l'isthme. Les flux de la MP se glissent sous l'EMV, dans les basses couches, avant d'atteindre l'EMI où ils sont surmontés par l'Al.m atlantique.

Dans l'hémisphère météorologique nord, le continent américain est envahi par les AMP1 et 2. Les AMP3 et 4 partent en direction de l'Atlantique du nord-est, vers l'Europe occidentale. Sur la photo satellite, nous distinguons encore deux AMP (« AMP ») qui sont quasi intégrés dans l'AA dite des « Bermudes/Açores ». Au sud de cette AA, les flux d'Al.m se dirigent vers les Caraïbes et se soulèvent en rencontrant les reliefs mexicains. Sur le Pacifique, un AMP rejoint l'AA dite « des Hawaii ».

- **Commentaire de la fig. n°3 (analyse de la photo satellite du 10/10/96) :**

Dans l'hémisphère météorologique sud : à l'ouest des Andes, l'AA dite de « l'île de Pâques » est située au nord de 20° de latitude sud. Elle est réalimentée par l'AMP1 guidé vers le nord-ouest par les Andes. L'AMP4 qui suit, favorise l'intégration de l'AMP1 dans l'AA en le télescopant comme en témoignent les lignes de pulsation (LP). L'AMP5 vient s'agglutiner dans l'AA. Les AMP2 et 3 remontent le long du littoral oriental et envoient de l'air polaire sur le continent. Sur la face avant de l'AMP2, les formations nuageuses sont développées. L'AA dite de « l'île de Pâques » donne naissance à l'Al.m, progressivement dévié en MP au franchissement de l'équateur géographique. L'EMV, situé au nord de la Colombie est souligné par de très intenses formations nuageuses qui témoignent de la convergence de l'air.

Dans l'hémisphère météorologique nord : le continent nord-américain est recouvert par l'AMP1. L'AMP2 part en direction de l'Atlantique du nord-est, vers l'Europe occidentale. Les flux d'Al.m issus de l'AA de l'Atlantique du nord-ouest, dite « des Açores », se soulèvent sur la face avant de l'AMP1. Sur le Pacifique, l'AMP3 rejoint l'AA dite « des Hawaii ».

- **Commentaire de la fig. n°4 (analyse de la photo satellite du 3/4/96) :**

Dans l'hémisphère météorologique sud : à l'ouest des Andes, l'AMP1 est quasi intégré dans l'AA dite « de l'île de Pâques » comme en témoignent les LP. Au sud de l'AA et de l'AMP1, nous observons l'AMP2, plus récent, qui remonte le long du littoral oriental sud-américain et envoie de l'air polaire sur le continent. L'air froid de l'AMP2, incapable de s'élever, épouse parfaitement les contours du relief andin argentin. L'AA dite « de l'île de Pâques » » donne naissance à l'Al.m pacifique progressivement dévié en MP au franchissement de l'équateur géographique. En avril, l'EM est encore dans une position méridionale et la déviation du flux d'Al.m en flux de MP n'est pas très prononcée. Sur l'océan Pacifique, l'EMV est souligné par d'intenses formations nuageuses et se confond avec l'EMI (les deux structures sont très comparables). Sur le continent, seul l'EMI reste visible sur le nord de la cuvette amazonienne.

Dans l'hémisphère météorologique nord : le continent nord-américain est recouvert par l'AMP1. L'AMP2 se dirige vers l'AA dite « des Açores » et s'y intègre progressivement comme en témoignent les LP. Au sud de cette AA, les flux de l'Al.m atlantique se dirigent vers l'ouest et vers l'EM. Sur le Pacifique du nord-est, l'AA dite « des Hawaii » donne naissance à l'Al.m qui se dirige vers l'ouest et vers l'EM.

## 3) Conclusion :

Les photos satellites (n°1, 2, 3 et 4), présentées et étudiées ci-dessus, accompagnées des figures n°1, 2, 3 et 4 révèlent l'existence d'un certain nombre de « personnages » météorologiques qui apparaissent relever d'une dynamique d'ensemble.

Le fait le plus marquant de ce constat d'observation est sans aucun doute l'omniprésence d'AMP issus de l'Arctique et de l'Antarctique.

Ces AMP sont très nettement individualisables dans les hautes et moyennes latitudes. Leur forme grossièrement circulaire est clairement mise en valeur par le fait que leur face avant (dans le sens du déplacement) est soulignée par d'intenses formations nuageuses disposées en arc de cercle. Ils sont également accompagnés d'une dépression située sur leur flanc nord-nord-est dans l'hémisphère nord et sud-sud-est dans l'hémisphère sud.

Ces AMP se déplacent d'ouest en est, avec une composante méridienne (en direction des Tropiques et de l'équateur).

Ces AMP connaissent un ralentissement progressif de leur vitesse de déplacement. Ce ralentissement associé à la rencontre des continents et de leurs reliefs a des conséquences importantes sur leur écoulement en masse. Ils peuvent être localement déviés, connaître une décélération ou, au contraire, une accélération. Ces variations peuvent conduire à leur télescopage, compression, blocage, emboîtement les uns dans les autres pour former ce que l'on appelle communément les « cellules anticycloniques semi-permanentes » ou « cellules des hautes pressions subtropicales »). Soulignons que, dans ces zones clés où les AMP s'agglutinent (AA), nous observons généralement des formations nuageuses, « moutonneuses » disposées en arc de cercle.

Ces « cellules anticycloniques semi-permanentes » à la latitude desquelles les AMP s'agglutinent sont considérées être à l'origine des flux tropicaux (alizé et/ou mousson). Dans notre espace d'étude, les AA dites « des Hawaii », « des Bermudes/Açores », « de l'île de Pâques » engendrent les flux d'Al.m visibles sur les photos satellite (flux soulignés par des formations nuageuse très fines, se dirigeant vers l'EM. Remarquons, que sur le Pacifique du sud-est, les flux d'alizé originaires de l'AA dite « de l'île de Pâques » sont progressivement

déviés en flux de mousson (MP) au franchissement de l'équateur géographique en hiver austral. Cette déviation du flux apparaît nettement sur les photos satellites.

Les flux tropicaux des deux hémisphères météorologiques se rejoignent le long de l'EM. L'EMV apparaît clairement (souligné par d'intenses formations nuageuses) sur l'océan Pacifique, il est plus difficilement repérable sur le continent.

- **Le déplacement saisonnier :**

D'une saison à l'autre, le déplacement est général, vers le sud en hiver boréal, vers le nord en hiver austral.

- **En hiver boréal (photo n°1 et fig. n°1) :**

Dans l'hémisphère météorologique en hiver, la puissance des AMP est accrue (ils sont plus nombreux et leur trajectoire est plus méridienne) ainsi que celle des cellules anticycloniques dites des « hautes pressions subtropicales » (situées plus au sud), la circulation est dans l'ensemble accélérée. L'hémisphère boréal, au dynamisme renforcé, s'étend au détriment de l'hémisphère austral en été.

Le continent américain est traversé par de très puissants AMP et nous observons l'apparition de l'AA dite « des Bermudes », extension saisonnière de l'AA dite « des Açores ». Cette cellule anticyclonique atlantique dite « des Bermudes/Açores », alimente sur sa partie sud, la mousson amazonienne (MA) et accélère l'Al.m qui se dirige vers le Golfe du Mexique. Ce flux d'Al.m peut être amené à franchir l'isthme centraméricain et ainsi pénétrer dans l'espace aérologique pacifique.

L'hémisphère météorologique en été connaît dans le même temps un affaiblissement de ses AMP et de ses « cellules anticycloniques semi-permanentes ». Il connaît aussi une remontée générale vers le pôle sud des trajectoires des AMP et des « cellules anticycloniques semi-permanentes ».

Entre les deux hémisphères météorologiques, l'EM subit un glissement marqué vers le sud (migration « en bloc » de l'EMV et de l'EMI même si la structure EMI migre légèrement plus que la structure EMV).

- **En hiver austral (photo satellite n°2, fig. n°2) :**

Nous observons une extension plus grande de l'hémisphère météorologique sud. De puissants AMP défilent dans l'hémisphère météorologique sud, l'AA dite « de l'île de Pâques » est renforcée, située plus au nord. Le flux d'Al.m issu de cette cellule est progressivement dévié en mousson panaméenne (MP) au franchissement de l'équateur géographique. De puissants AMP remontent également vers le nord, le long de la cordillère par la Pampa argentine, envoyant de l'air polaire sur le continent.

- **Pendant les saisons intermédiaires (photos satellite n°3 et 4, fig. n°3 et 4) :**

En automne (photo satellite n°3, fig. n°3) et au printemps (photo satellite n°4, fig. n°4), les constatations faites ci-dessus sont plus nuancées ; le rapport de force entre les deux hémisphères météorologiques est moindre, tous les centres d'action occupent une position intermédiaire.

Pour conclure, cette première phase d'observation, fait ressortir l'existence de plusieurs espaces aérologiques (espaces de l'Atlantique du nord-ouest, du Pacifique du nord-est et du Pacifique du sud-est) qui obéissent à une dynamique commune à l'intérieur de laquelle tout est mobile.

L'isthme centraméricain, apparaît être un magnifique carrefour climatique situé au cœur d'une formidable zone d'échanges, d'interférences.

Nous allons nous intéresser, dans un deuxième chapitre, aux anticyclones mobiles polaires.

# Chapitre 2 : Les anticyclones mobiles polaires (AMP)

## 1) Introduction :

Afin de mieux cerner ce personnage clé, nous présentons quatre photos satellite GOES 8 ou 10, est ou ouest, visibles (photo satellite n°5 du 23/10/99 ; photo satellite n°6 du 13/12/99 ; photo satellite n°7 du 26/9/01 et photo satellite n°8 du 29/9/01) que nous analysons grâce aux cartes synoptiques de surface de la NOAA (fig. n°5 à 8).

## 2) Analyse des cartes de surface et des photos satellite (photos satellite n°5 à 8 ; fig. n°5 à 8) :

- **Commentaire de la fig. n°5 (analyse de la photo satellite du 23/10/99) :**

Nous observons un AMP passé par le détroit de Béring. L'air froid, dense, pelliculaire de l'AMP est incapable de s'élever. Au contact des Montagnes Rocheuses, l'AMP se laisse guider vers le sud, en direction de l'AA dite « des Hawaii ». La face avant cet AMP est soulignée par d'intenses formations nuageuses. L'AMP provoque la fuite (accélération) et/ou le soulèvement de l'air environnant plus « chaud » (qui remonte ici, le long du couloir dépressionnaire, en direction de la Colombie britannique et de l'Alaska où se situe la dépression associée à cet AMP).

Nous observons également un AMP plus ancien (« AMP »), AMP quasi intégré dans l'AA dite des « Hawaii ».

- **Commentaire de la fig. n°6 (analyse de la photo satellite du 13/12/99) :**

L'AMP1 est passé par le nord-est du Canada avant de rejoindre l'océan Atlantique. Sur sa face avant, les flux « chauds » et « humides » rencontrés s'élèvent et/ou contournent la masse anticyclonique, vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique, en direction de la dépression associée à l'AMP (D). Cette dernière, se creusant de plus en plus, contribue à l'accélération progressive des flux « chauds » et « humides » déviés sur la face avant de l'AMP.

Nous pouvons reproduire ces observations avec l'AMP2. Plus ancien que l'AMP1, il est issu du nord de l'Amérique du Nord, après avoir glissé vers le sud (canalisé entre les Montagnes Rocheuse et les Appalaches), il est situé sur le Mexique, et le sud des Etats-Unis. Sa face avant est soulignée par d'intenses formations nuageuses qui témoignent de la vigueur des ascendances. L'Al.m atlantique s'élève et/ou fuit en contournant la masse anticyclonique par le nord-est. Les flux d'alizé sont alors progressivement accélérés, puis déviés vers la dépression associée (D). Le relief des Appalaches favorise également les ascendances.

- **Commentaires de la fig. n°7 (analyse de la photo satellite du 26/9/01) :**

Nous observons plusieurs AMP dans le Pacifique sud. Les AMP2 et 3 sont venus directement heurter les Andes. Incapables de s'élever, car formés d'air froid, ils remontent vers le nord, longeant la côte pacifique de l'Amérique du Sud. Sur leur face avant, ils provoquent l'ascendance et/ou la fuite vers le sud-sud-est des flux « chauds » et « humides » qu'ils rencontrent.

L'exemple le plus « parlant » sur cette photo, c'est celui que nous offre l'AMP1, sur sa face avant, nous observons d'intenses formations nuageuses. Les flux « chauds » et

**Photo n°5 : Un exemple d'AMP, océan Pacifique du nord-est**

**(GOES 10, ouest, vis, le 23/10/1999, 18h30T.U)**

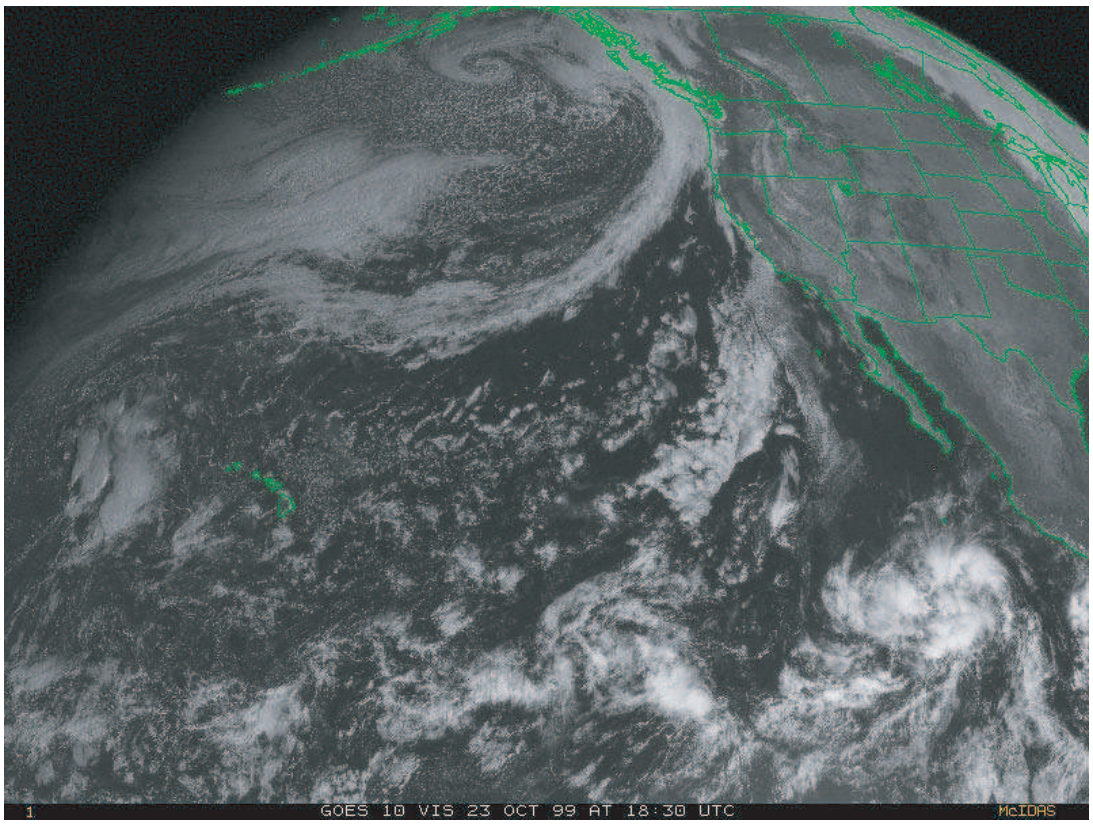



**Figure n°5 : Analyse de la photo satellite du 23/10/1999 (Goes 10, vis, 18h30 T.U)**

*(D'après carte de la NOAA,"Tropical surface analysis, Pacific", 18h00 T.U)*

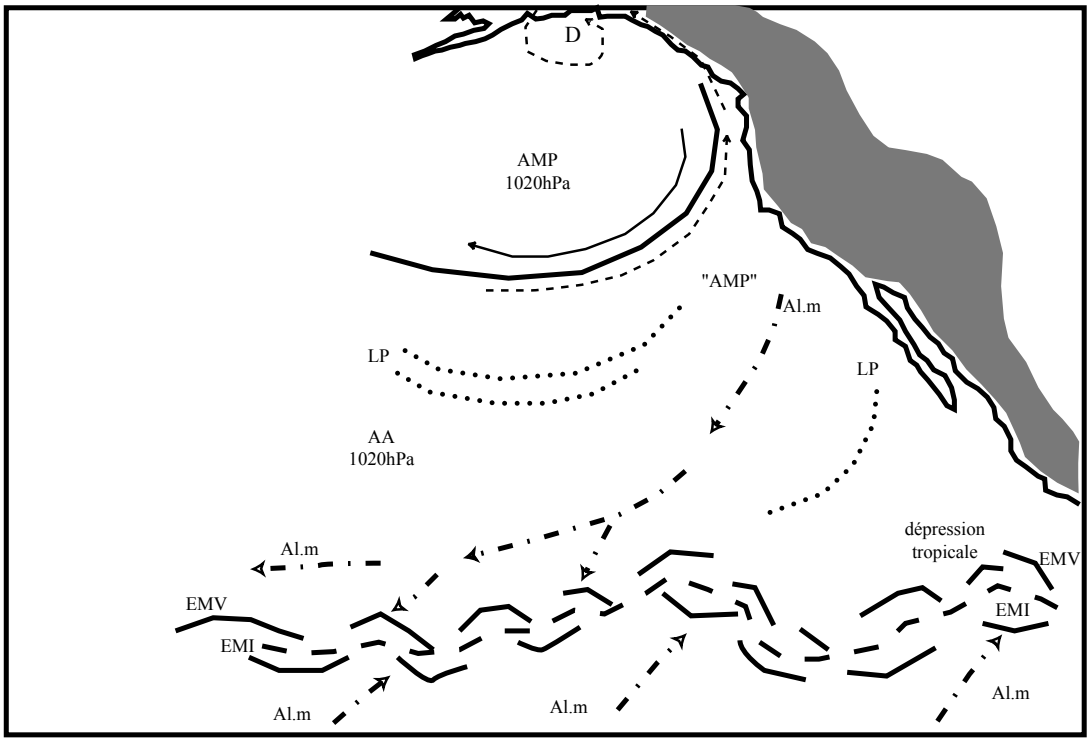


**Photo n°6 : Un exemple d'AMP, océan Atlantique du nord-ouest**
**GOES 8, est, vis, le 13/12/1999, 18h15 T.U**

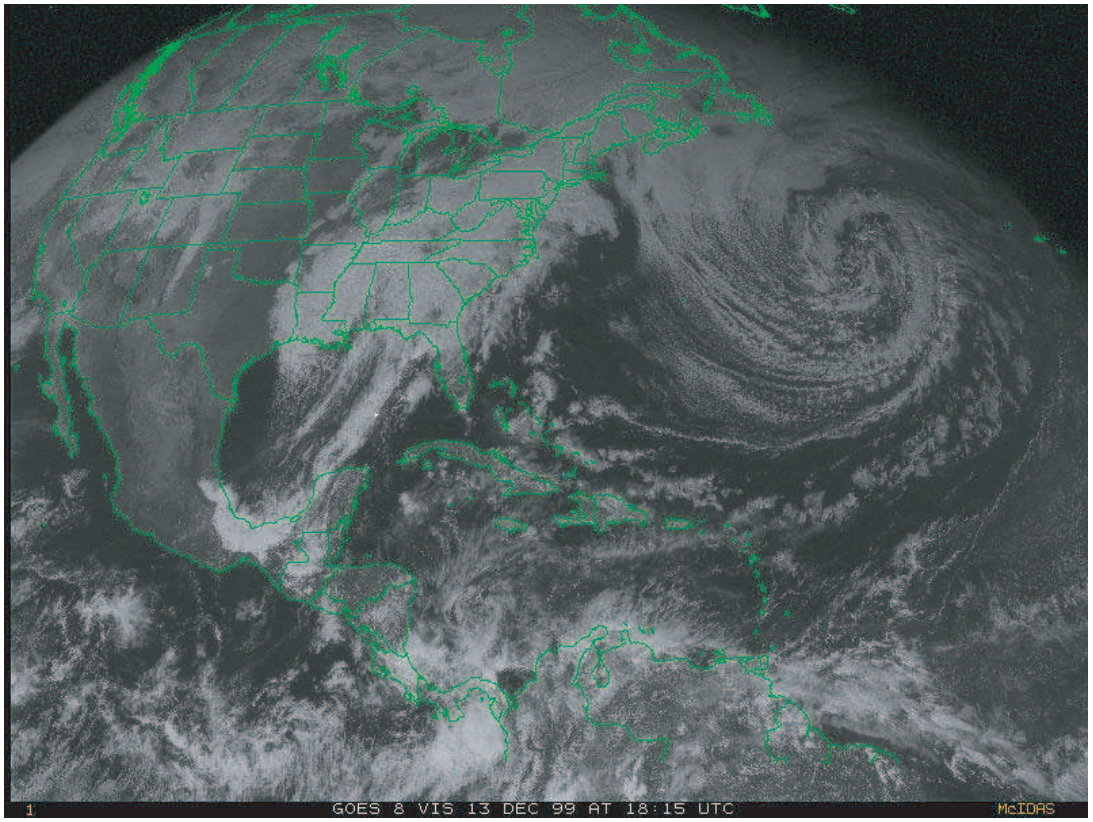



**Figure n°6 : Analyse de la photo satellite du 13/12/1999 (Goes 8, vis, 18h15 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

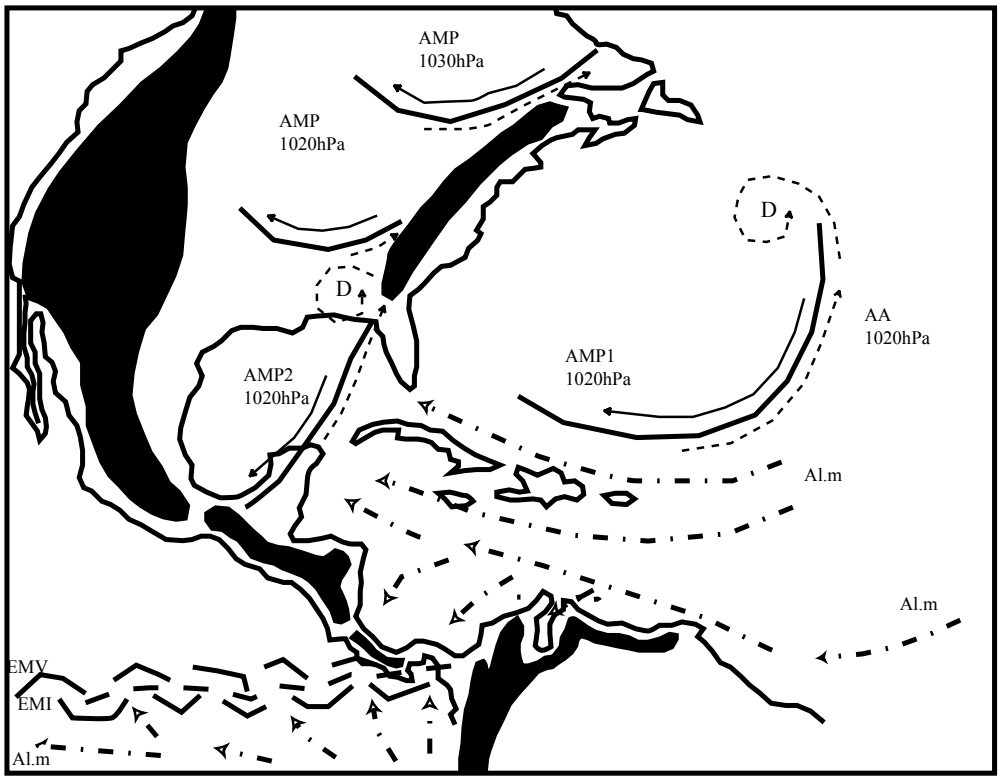


**Photo n°7 : Un exemple d'AMP, océan Pacifique sud**
**( GOES 10, ouest, vis, le 26/9/2001, 21h30 T.U)**

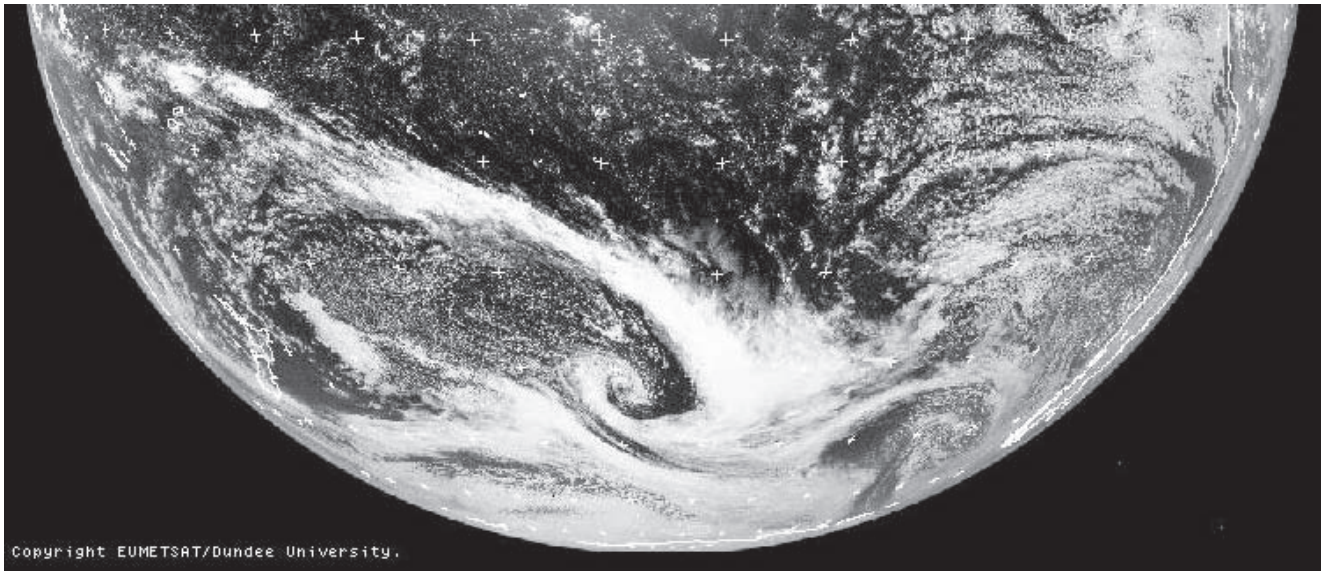



**Figure n°7 : Analyse de la photo satellite du 26/9/2001 (Goes 10, vis, 21h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

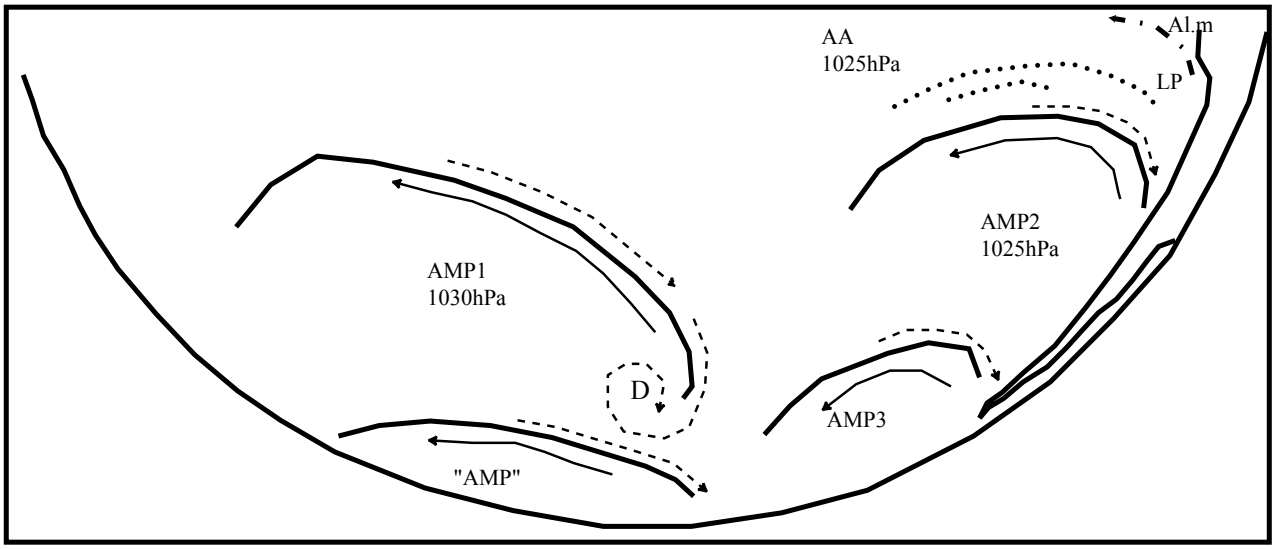


**Photo n°8 : Un exemple d'AMP, océan Pacifique du sud-est**
**(GOES 10, vis, est, le 29/9/2001, 18h00 T.U)**

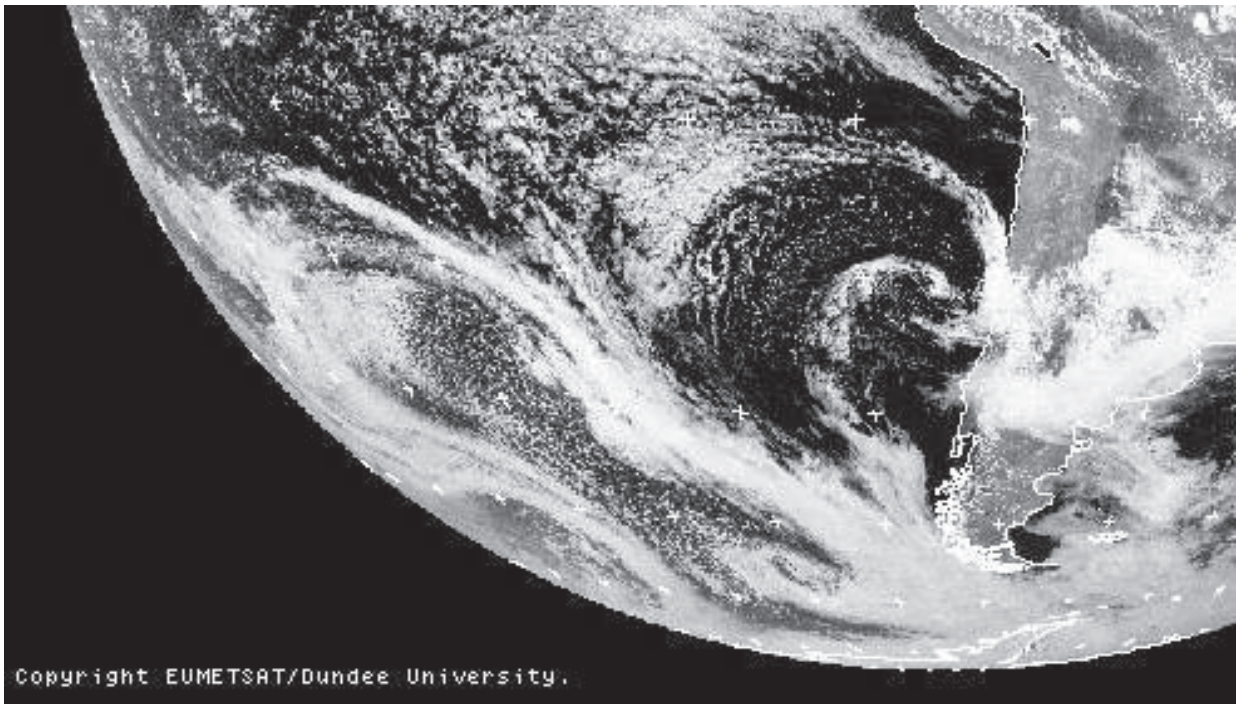
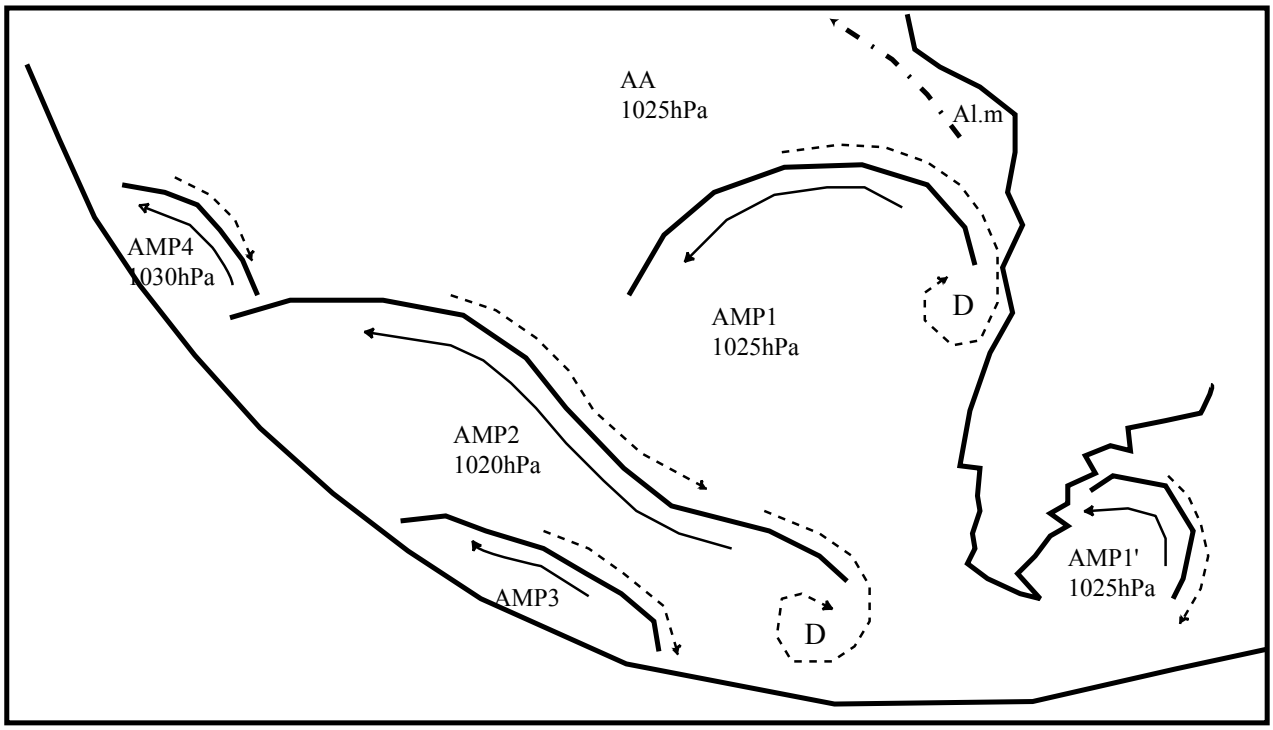



**Figure n°8 : Analyse de la photo satellite du 29/9/2001 (Goes 10, vis, 21h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA,"Weather pub fax", 18h00 T.U)*



« humides » s'élèvent et le couloir dépressionnaire périphérique se creuse. Une partie des flux « chauds » et « humides » fuit vers le sud-est, contournant la face avant de l'AMP pour rejoindre la dépression associée (D). Cette dépression associée, contribue à l'accélération des flux déviés.

Au sud de l'AMP1, nous remarquons la présence d'un AMP en formation (« AMP »). Ce dernier contribue au déplacement de l'AMP1 vers le nord-nord-ouest.

- **Commentaire de la fig. n°8 (analyse de la photo satellite du 29/9/01) :**

L'AMP1 est venu heurter la puissante barrière orographique andine. La masse anticyclonique, froide, dense, incapable de s'élever se subdivise en deux : la plus grande partie de la masse anticyclonique remonte le long de la cordillère andine (AMP1), sur le Pacifique et provoque en retour un flux d'ouest à nord-ouest vers le Chili. Une petite partie, l'apophyse AMP1', se dirige vers l'océan Atlantique. Sur la face avant de l'AMP1, les flux « chauds » et « humides » sont contraints soit à s'élever (creusant le couloir dépressionnaire périphérique) soit à contourner la masse anticyclonique tout en se dirigeant vers le sud-est où se creuse la dépression associée (D).

Un peu plus à l'ouest, nous observons l'AMP2. remarquons que sa face avant est soulignée par d'intenses formations nuageuses. Les flux chauds et humides qui le contournent, se dirigent vers la dépression associée (D). Ces flux subissent une violente accélération (déviés en direction de la dépression associée et comprimés entre la face arrière de l'AMP1 et la face avant de l'AMP2. Au sud de l'AMP2, nous observons un autre AMP en formation. Ce dernier, se déplaçant progressivement vers le nord, comprime la partie sud-sud-est de l'AMP2 contre la face arrière de l'AMP1. De ce fait, l'AMP2 se déplace vers le nord-nord-ouest.

## 3) Définition des AMP :

Sur les clichés précédents n°1 à 4 (accompagnés des figures n°1 à 4) ainsi que sur les photos satellite n°5 à 8 (accompagnées des figures n°5 à 8), nous pouvons observer des exemples d'AMP et relever certaines caractéristiques communes déjà énoncées ci-dessus (cf. M. Leroux, 1983, 1986, 1993, 1996, 2000…).

Ces AMP sont le facteur météorologique premier des hautes et moyennes latitudes; ils y sont directement ou indirectement responsables des variations de pression, de direction et de vitesse du vent, de température, d'humidité, de nébulosité et de la pluie (comme de son absence). Aux latitudes tropicales, les AMP alimentent les circulations d'alizés.

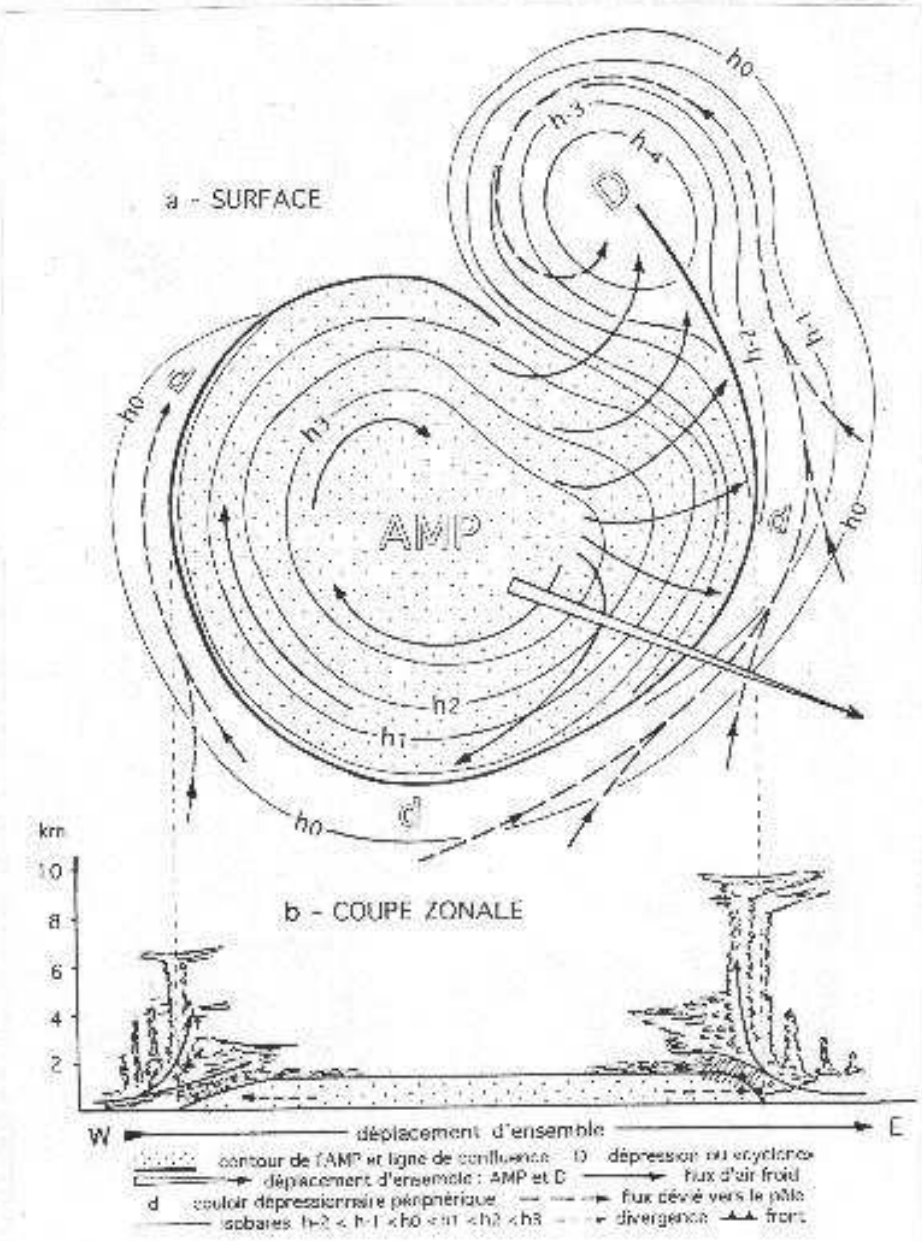
Ils proviennent du refroidissement à la base de l'air au-dessus des régions polaires, l'exportation du froid polaire ne se réalisant pas de manière continue mais par un transport en masse sous la forme d'anticyclones mobiles, se déplaçant vers l'est tout en glissant progressivement vers les régions tropicales. Par définition, une masse d'air mobile est un ensemble de particules d'air ayant une température, une humidité qui leur sont propres pendant un certain intervalle de temps. Cette masse d'air impose donc ses qualités thermiques et hygrométriques sur le lieu de son passage.

Les AMP sont de vastes dimensions (2 000 à 2 500 kilomètres de diamètre), froids en valeur absolue ou relative par rapport à leur environnement, pelliculaires, leur épaisseur moyenne de l'ordre de 1 500 mètres, variant selon les individus, la saison sachant que les fréquences et les puissances maximales surviennent en période hivernale, la latitude atteinte et les vicissitudes en cours de trajet.

Les qualités de ces masses d'air mobiles dépendent de la nature (océan ou continent) et de l'aspect du substratum (accidenté ou pas), de la latitude d'origine, en même temps que de l'aspect et de la position des éléments géographiques rencontrés au cours du déplacement.

Tant qu'ils conservent l'avantage de la densité associée à leurs basses températures, les AMP provoquent le soulèvement de l'air environnant ; ils sont ainsi entourés et surmontés par un champ dépressionnaire, et ils constituent ainsi l'impulsion mécanique des ascendances des perturbations des latitudes moyennes. Les AMP sont entourés par le « couloir dépressionnaire périphérique » qui est une conséquence de l'ascendance provoquée par l'air froid et qui a pour effet d'attirer les flux alentour. La dépression formée par le soulèvement de l'air périphérique organise alors la circulation de basses couches selon la rotation cyclonique. A l'intérieur de l'anticyclone, nous retrouvons la rotation propre à ces derniers: dans le sens des aiguilles d'une montre pour l'hémisphère nord et inverse pour l'hémisphère sud.

**Fig. n°9 : L'anticyclone mobile polaire, surface et coupe verticale (M. Leroux, 2000)**



« Le champ de pression et de vent associé à un AMP est à la fois anticyclonique et cyclonique (…). Tant que l'avantage de sa propre densité lui permet d'écarter les autres flux ou masses d'air de son passage l'AMP est entouré d'un champ dépressionnaire : c'est lui qui provoque le creusement de la dépression initiale, du couloir périphérique de basses pressions et de la dépression fermée ou *cyclone*. Il provoque la fuite (accélération) et/ou le soulèvement de l'air environnant, *air chaud* de manière absolue ou simplement relative, l'ascendance de l'air entraînant une baisse de pression sur le pourtour de l'AMP.

Le creusement du couloir dépressionnaire périphérique (et de la dépression fermée) dépend de conditions mécaniques et thermiques :

- *mécaniques* : la vigueur de l'ascendance est commandé par la puissance de l'AMP, par sa vitesse de déplacement et par la force géostrophique qui plaquent le flux dévié sur la face avant de l'AMP,

- *thermiques* : le soulèvement est fonction, du contraste de température (i.e de densité) entre l'AMP et le(s) flux environnant(s), et des qualités propres de l'air soulevé, l'air chaud potentiellement instable ayant naturellement tendance à s'élever, avec le renfort de l'énergie libérée (chaleur latente).

La pression est plus basse en avant de l'AMP (sur la face antérieure déterminée par le sens du déplacement), et d'autant plus creusée que le flux antérieur n'a pas d'autre alternative que de s'élever violemment (barrage aérologique ou orographique). Lorsque l'air dévié a contourné la face avant de l'AMP, la *vorticité*, d'autant plus intense que le volume et la vitesse du flux dévié sont importants et que la latitude est élevée, et l'*ascendance* résultante intensifiée par l'énergie additive libérée, creusent une dépression fermée ou *cyclone*. L'AMP et la dépression sont d'abord étroitement accolés, puis ils se séparent, s'éloignent progressivement l'un de l'autre en cours de migration vers l'est, la *ligne de confluence* entre l'air froid et l'air chaud s'étirant et s'éloignant de l'anticyclone mobile. L'AMP se dirige vers le Tropique tandis que la circulation déviée sur la face avant et la dépression fermée (vortex) s'éloignent dans la direction du pôle, en s'amplifiant, car dans le même temps, en raison du déplacement méridien de l'AMP, le flux dévié provient de régions plus chaudes et transporte vers le pôle plus de chaleur sensible, et de chaleur latente quand la confrontation se produit sur l'océan, tandis que sous l'action de la force géostrophique la vorticité augmente avec la latitude » (M. Leroux, 2000).

Nous allons maintenant, dans un troisième chapitre, nous intéresser aux agglutinations anticycloniques.

# Chapitre 3 : Les agglutinations anticycloniques (AA)

## 1) Introduction :

Afin de présenter de manière rationnelle les agglutinations anticycloniques, nous allons, dans un premier temps, nous intéresser à leur origine, leur formation qui est à mettre en relation avec le déplacement des AMP. Dans un deuxième temps, après les démonstrations, nous les définirons précisément.

## 2) La formation des AA : Déplacement des AMP et interférences liées à l'orographie sur le fuseau américain (photos satellite n°9 à 11 ; fig. n°10 à 12)

L'étude des clichés satellite précédents révèle l'importance des interférences liées à l'orographie sur le transport en masse de ces AMP.

Nous allons maintenant observer de manière plus précise quelles peuvent être ces interférences. Les photos satellites présentées ci-dessous, les photos n°9 (A, B et C) du 23/09/2001 au 25/09/2001, accompagnées de la figure n°10 (A, B et C) pour l'espace aérologique du Pacifique du nord-est ; les photos n°10 (A, B, C et D) du 11/03/1998 au 14/03/1998, accompagnées des figures n°11 (A, B, C et D) pour l'espace aérologique de l'Atlantique du nord-ouest et les photos n°11 (A, B et C) du 27/09/2001 au 29/09/2001, accompagnée de la figure n°12 (A, B et C) pour l'espace aérologique du Pacifique du sud-est, nous permettent de bien évaluer l'influence de l'orographie sur le déplacement de ces anticyclones mobiles polaires.

### a) Analyse des cartes de surface et des photos satellite :

- **Commentaire de la fig. n°10A (analyse de la photo satellite du 23/9/01) :**

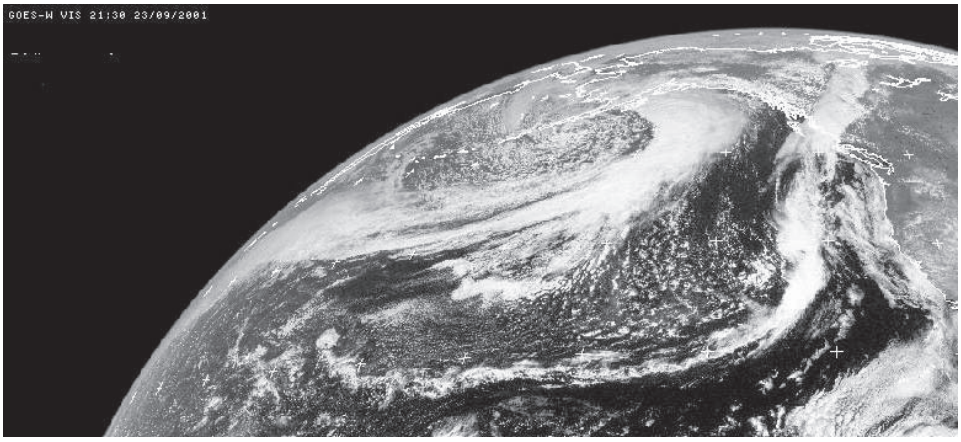
Photo GOES ouest : l'AMP2, passé par le détroit de Béring, rencontre l'AMP1 (même provenance mais plus ancien donc moins froid, moins dense). Nous voyons que les AMP, froids, incapables de s'élever viennent heurter le relief de l'Amérique du Nord avant de glisser vers le sud. L'AMP2, plus récent donc plus puissant contribue au glissement vers le sud de l'AMP1.

Photo GOES est : cette photo GOES est, nous offre un autre angle de vue, nous repérons l'AMP1, nettement individualisable grâce à son couloir dépressionnaire périphérique souligné par d'intenses formations nuageuses. Cet angle de vue nous permet de voir que les AMP, froids, denses sont incapables de s'élever donc de pénétrer sur l'intérieur du continent (seule la partie littorale est envahie).

- **Commentaire de la fig. n°10B (analyse de la photo satellite du 24/9/01) :**

Photo GOES ouest : l'AMP2 se déplace vers le sud, épouse parfaitement les côtes de l'Alaska et de l'extrémité nord-ouest du Canada et accélère le glissement vers le sud de l'AMP1 plus ancien donc moins froid, moins dense. L'AMP1, subissant les caractères plus marqués de l'AMP2, se déforme.

**Photo n°9(A): AMP canalisés par le relief**
**(GOES 10, ouest, vis, le 23/9/2001, 21h30 T.U)**




**(GOES 10, est, vis, le 23/9/2001, 18h00 T.U)**

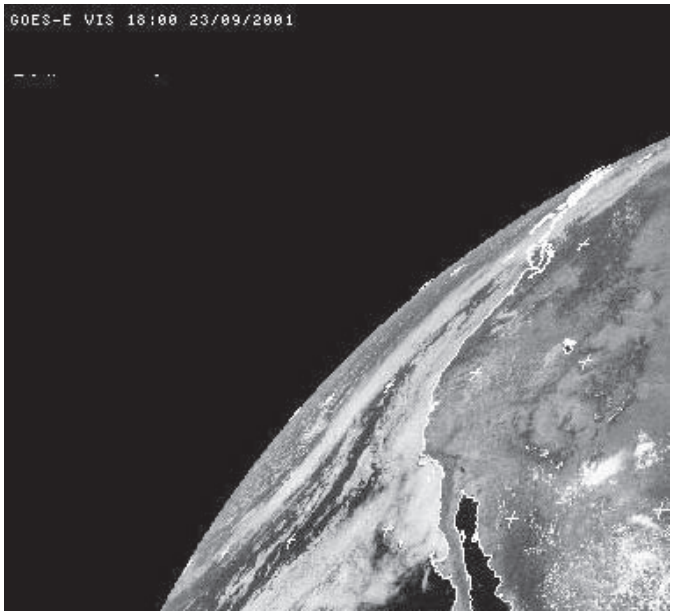



**Figure n°10(A): Analyse de la photo satellite du 23/9/2001 (Goes 10, ouest, vis, 21h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific",18h00 T.U)*

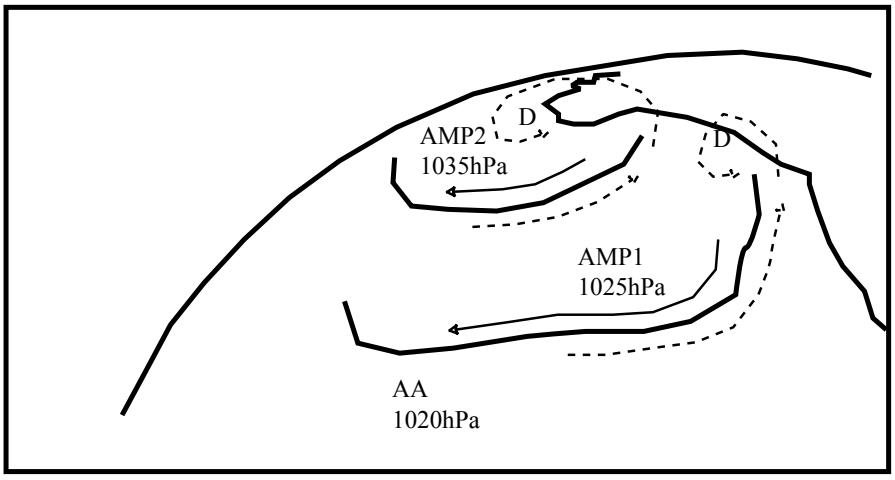
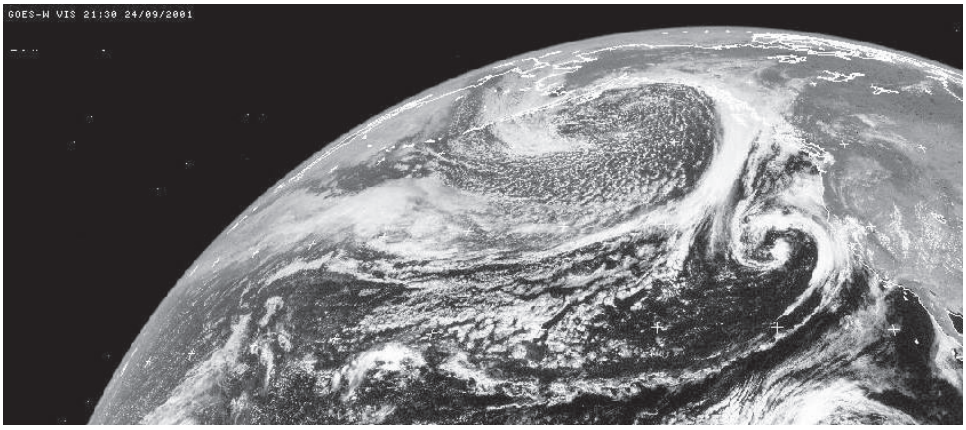


**Photo n°9(B): AMP canalisés par le relief, océan Pacifique du nord-est**
**(GOES 10, ouest, vis, le 24/9/2001, 21h30 T.U)**




**(GOES 10, est, vis, le 24/9/2001, 18h00 T.U)**

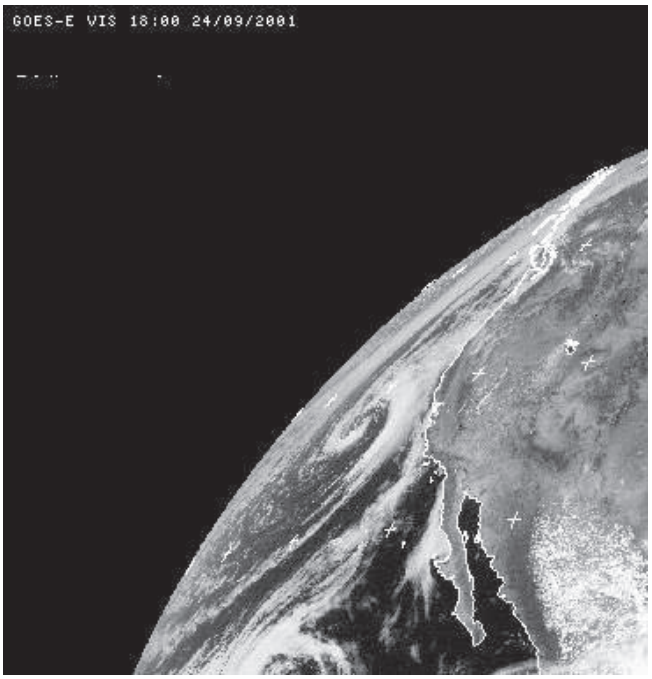



**Figure n°10(B) : Analyse de la photo satellite du 24/9/2001 (Goes 10, ouest, vis, 21h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA,"Tropical surface analysis, Pacific", 18h00 T.U)*

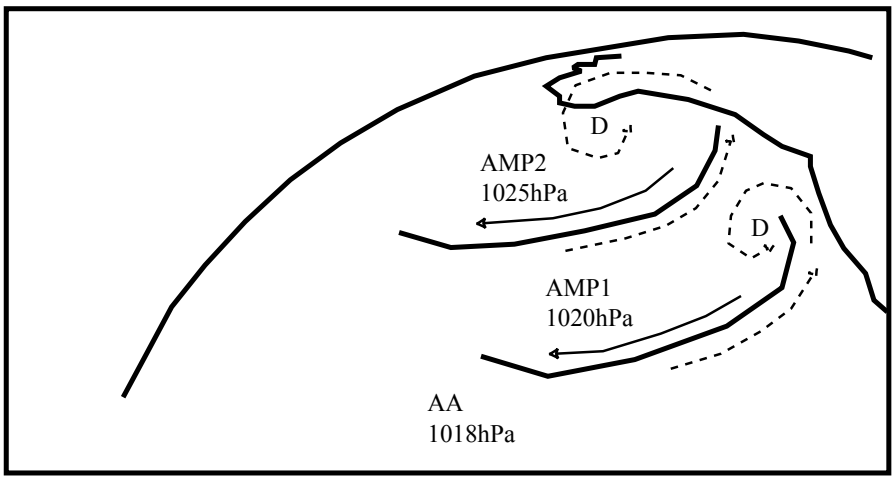
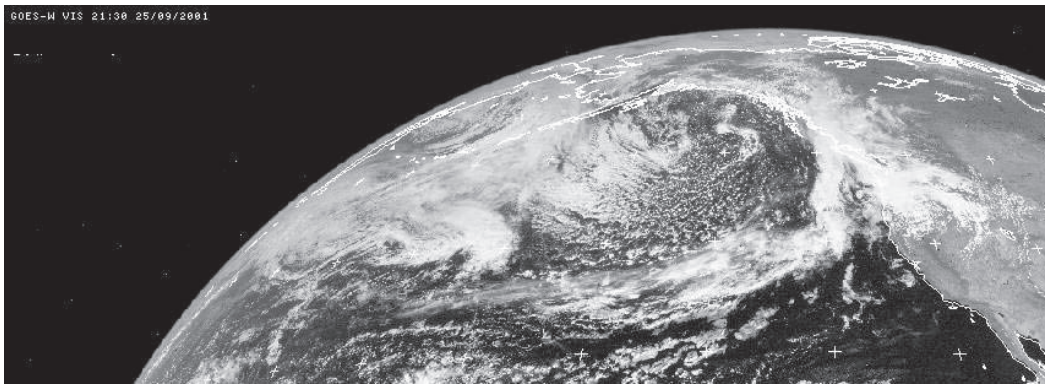


**Photo n°9(C): AMP canalisés par le relief, océan Pacifique du nord-est**
**(GOES 10, ouest, vis, le 25/9/2001, 21h30 T.U)**




**(GOES 10, est, vis, le 25/9/2001, 18h00 T.U)**




**Figure n°10(C) : Analyse de la photo satellite du 25/9/2001 (Goes 10,ouest, vis, 21h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific",18h00 T.U)*

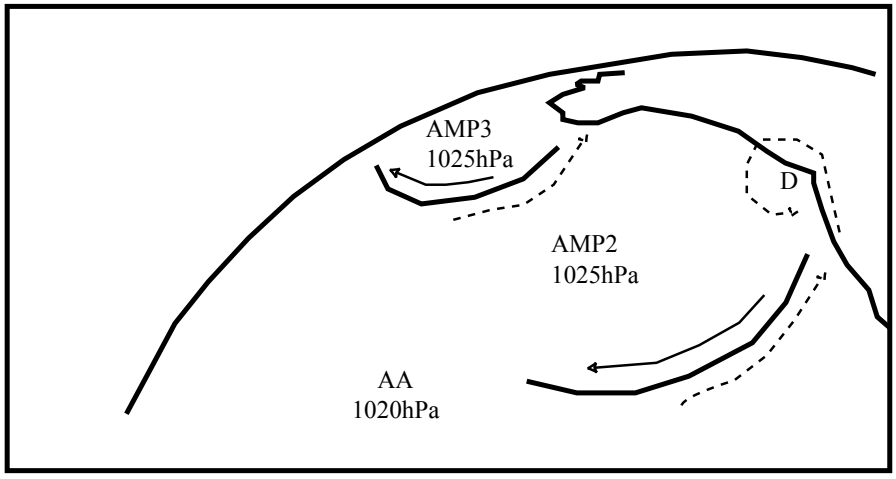
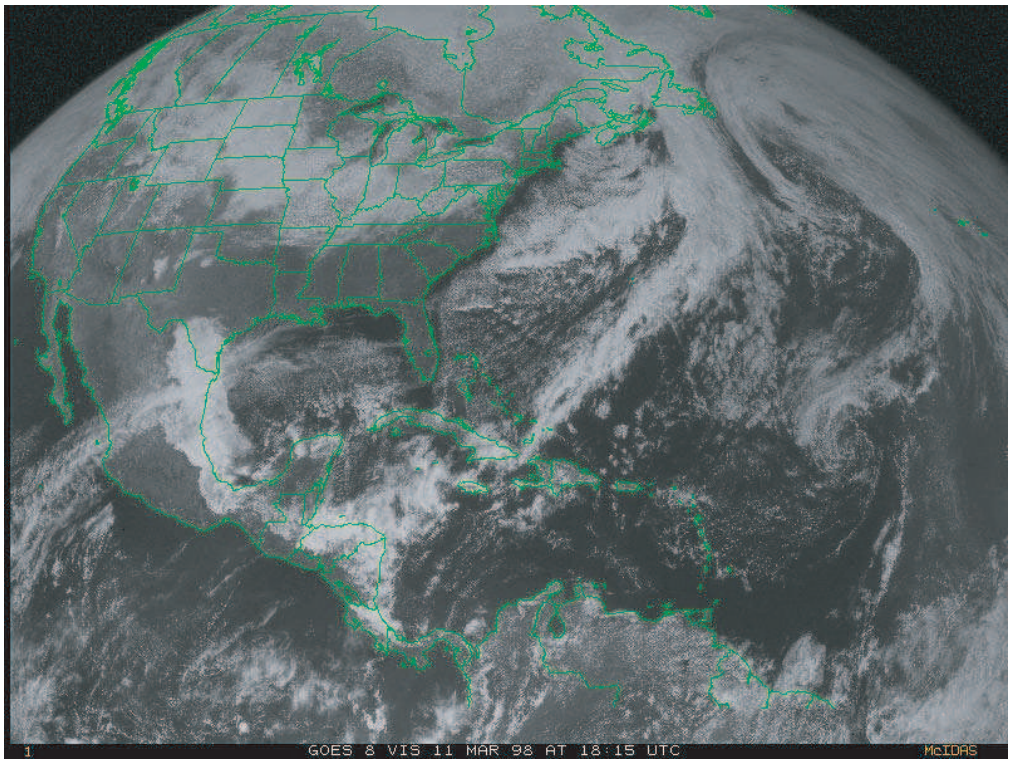


**Photo n°10(A) : AMP canalisé par le relief**
**(GOES 8, est, vis, le 11/3/1998, 18h15 T.U)**




**Agrandissement de la photo ci-dessus**

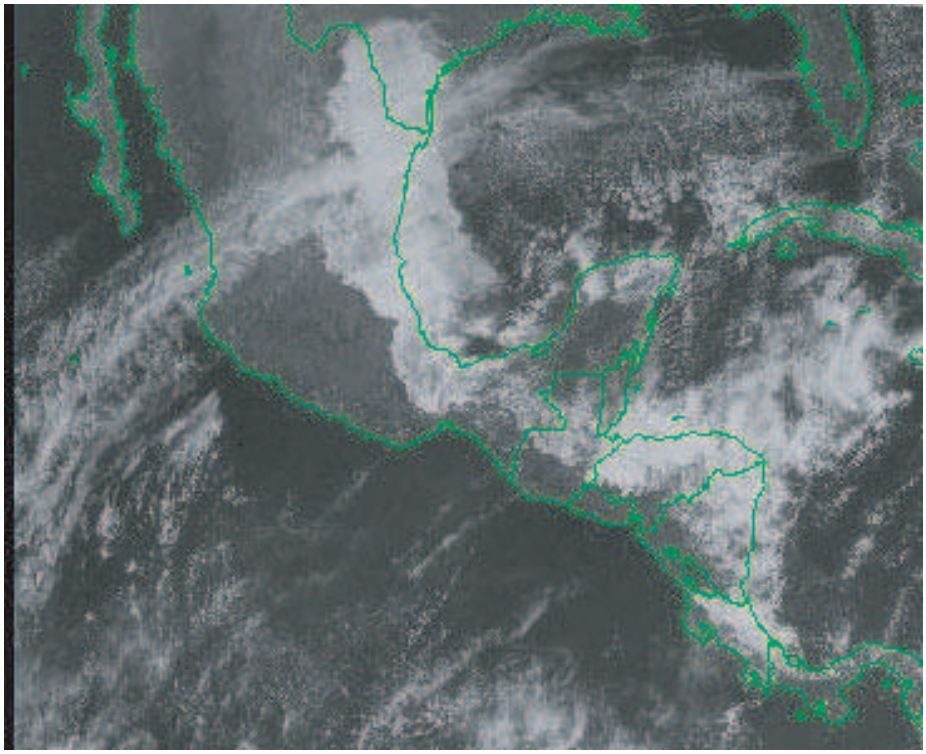


**Figure n°11(A) : Analyse de la photo satellite du 11/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

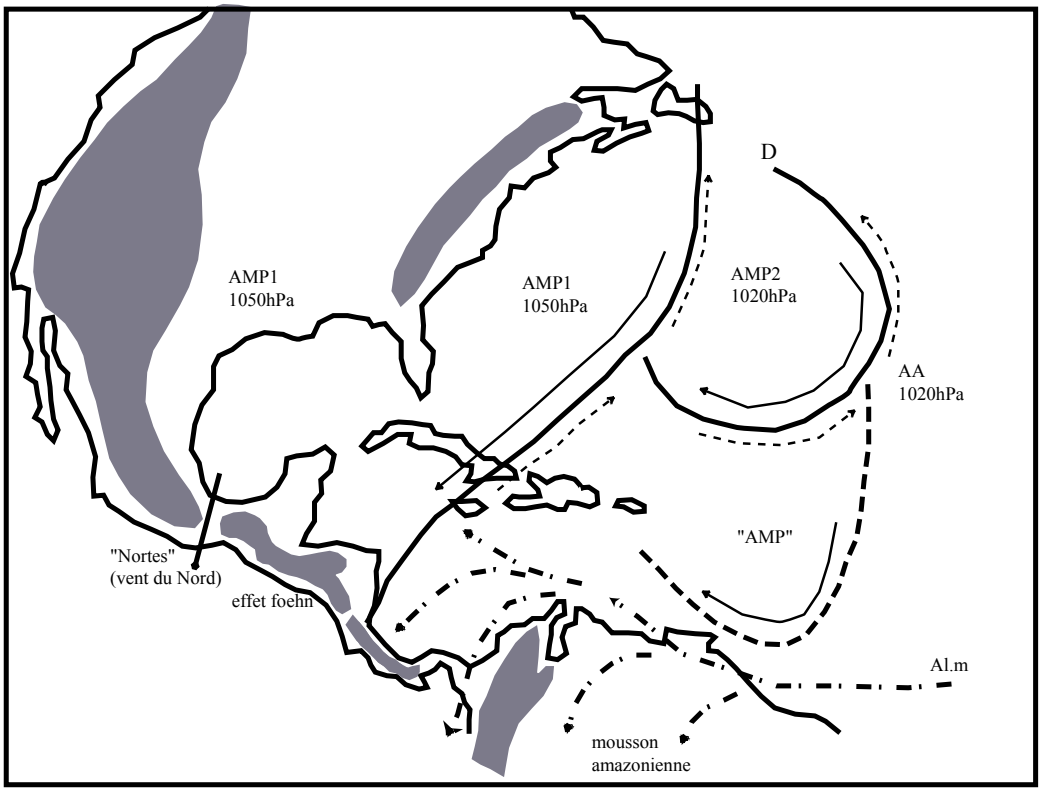
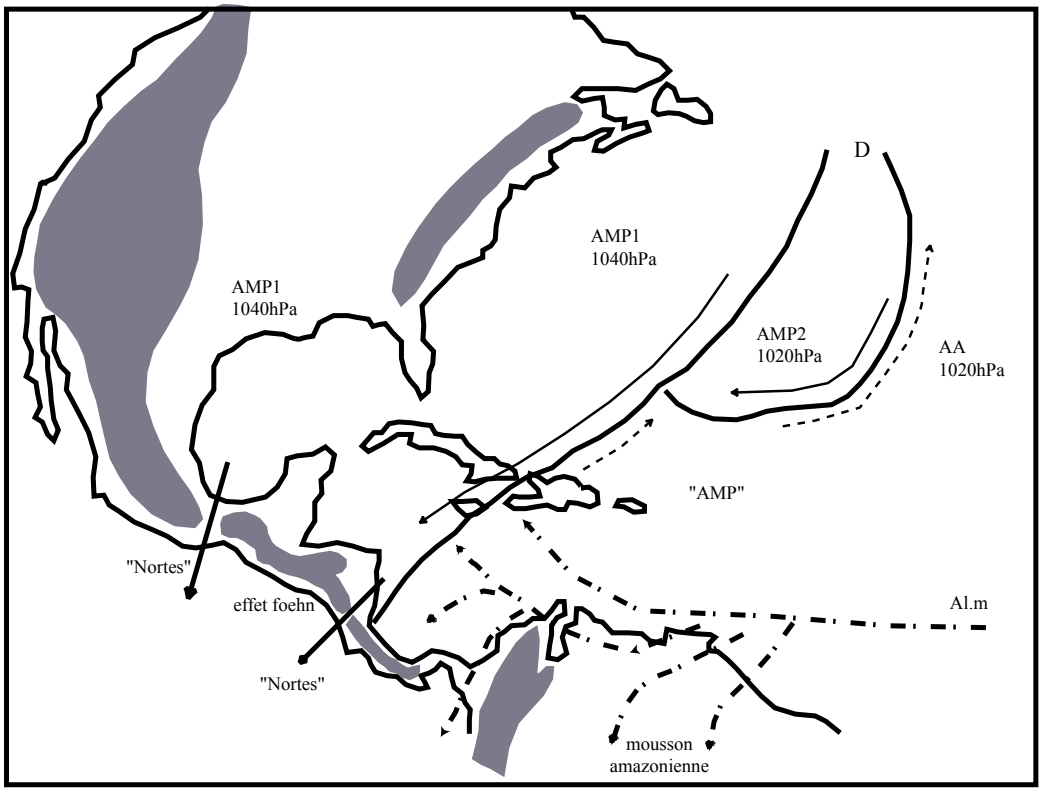
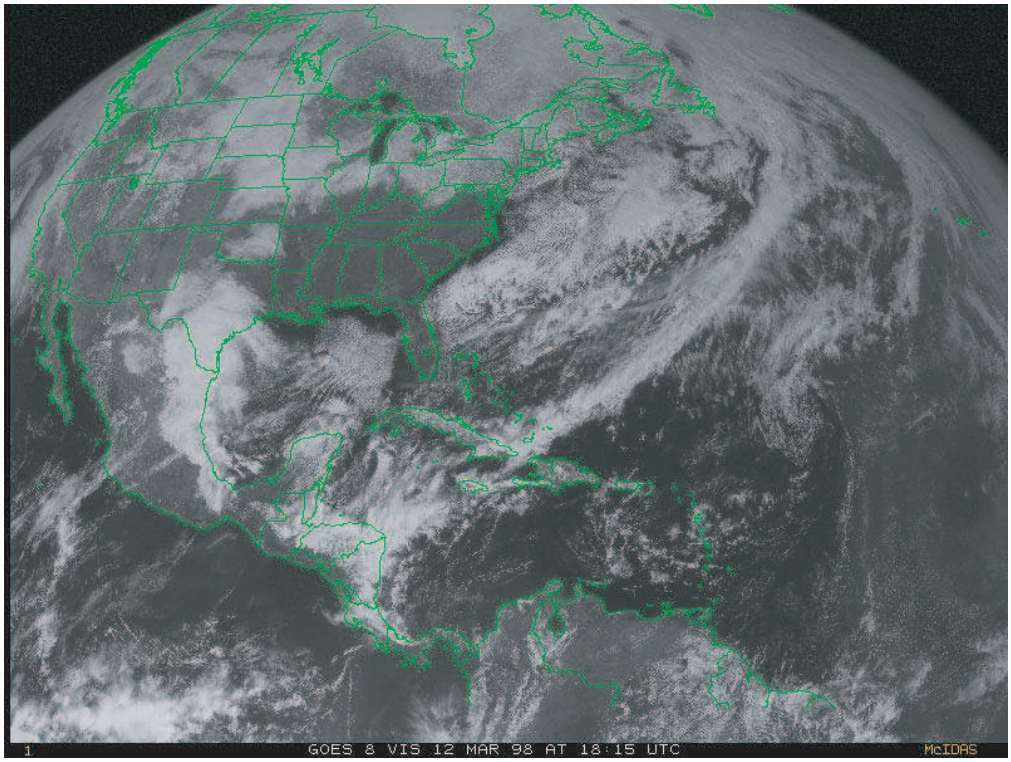



**Figure n°11(B) : Analyse de la photo satellite du 12/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*



## Photo n°10(B) : AMP canalisé par le relief

**(photos satellite GOES 8, vis, le 12/3/1998, vis, 18h15 T.U)**




**Agrandissement de la photo ci-dessus**

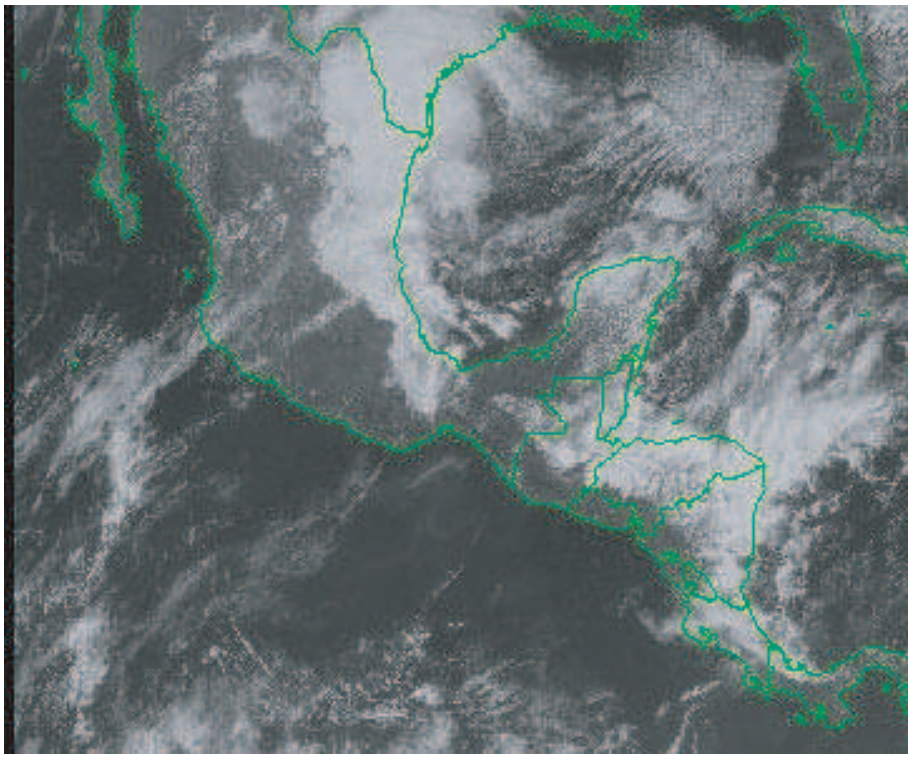
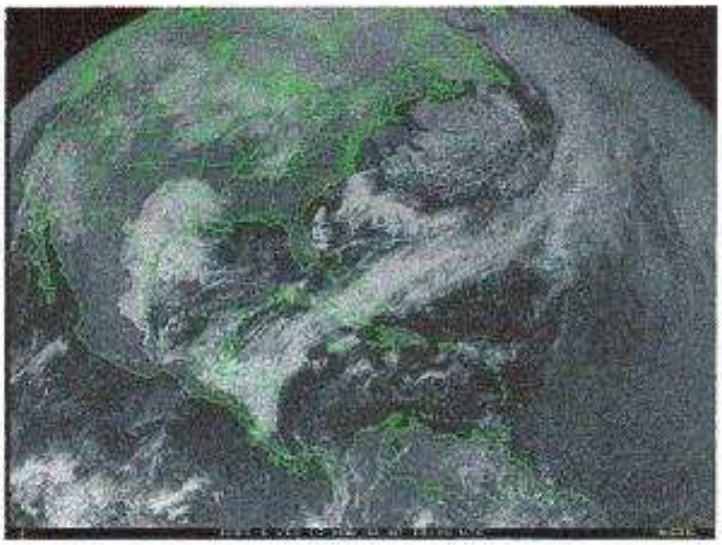


**Photo n°10(C) : AMP canalisé par le relief**
(GOES 8, est, vis, le 13/3/1998 18h15 T.U)



Agrandissement de la photo ci-dessus

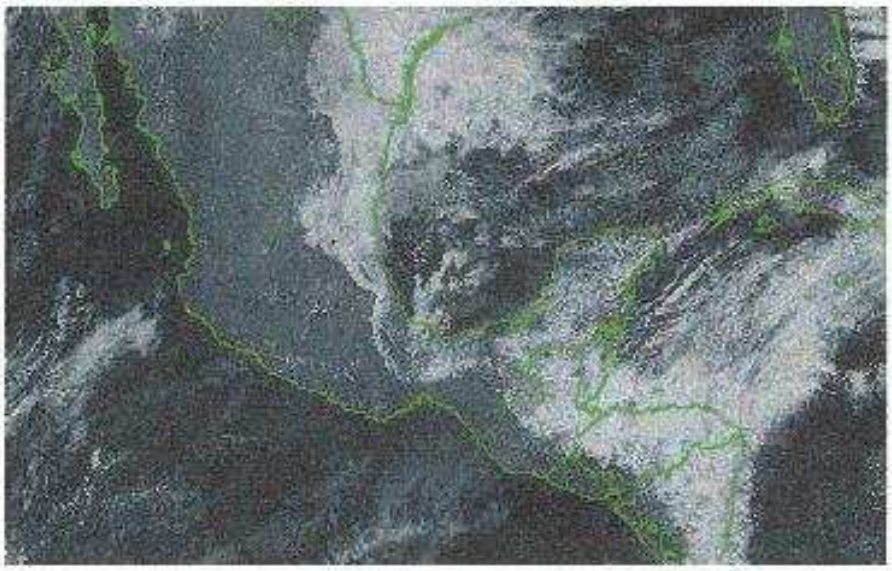


**Figure n°11(C) : Analyse de la photo satellite du 13/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

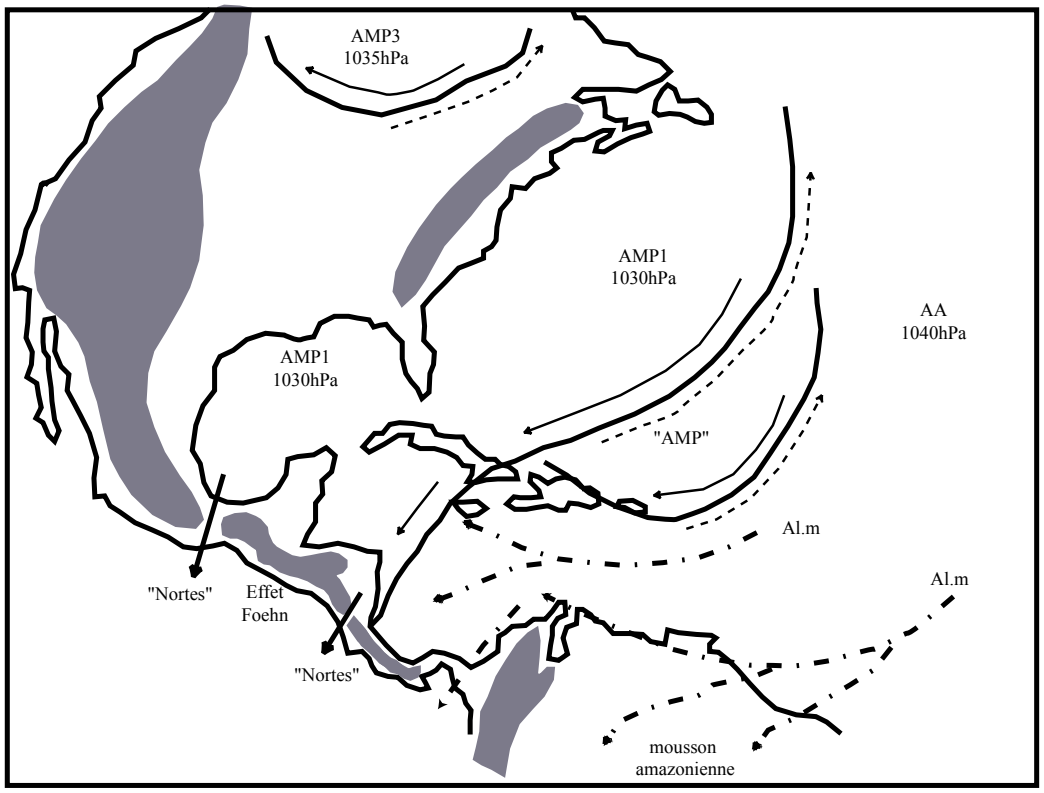
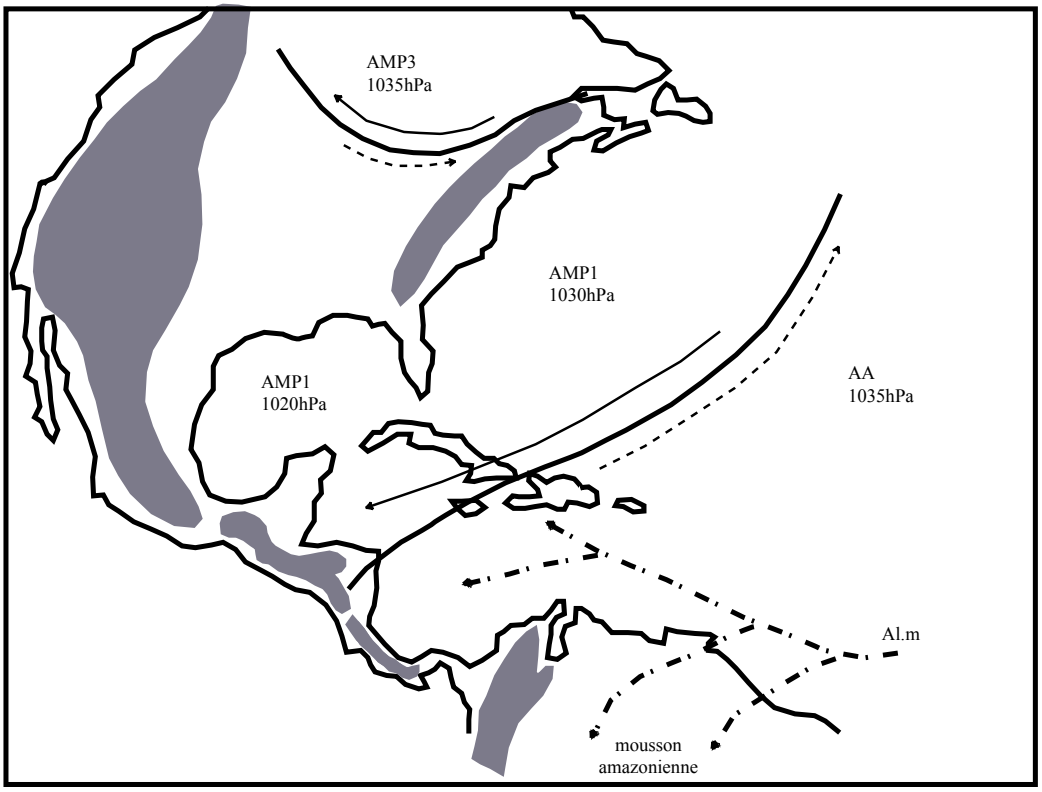
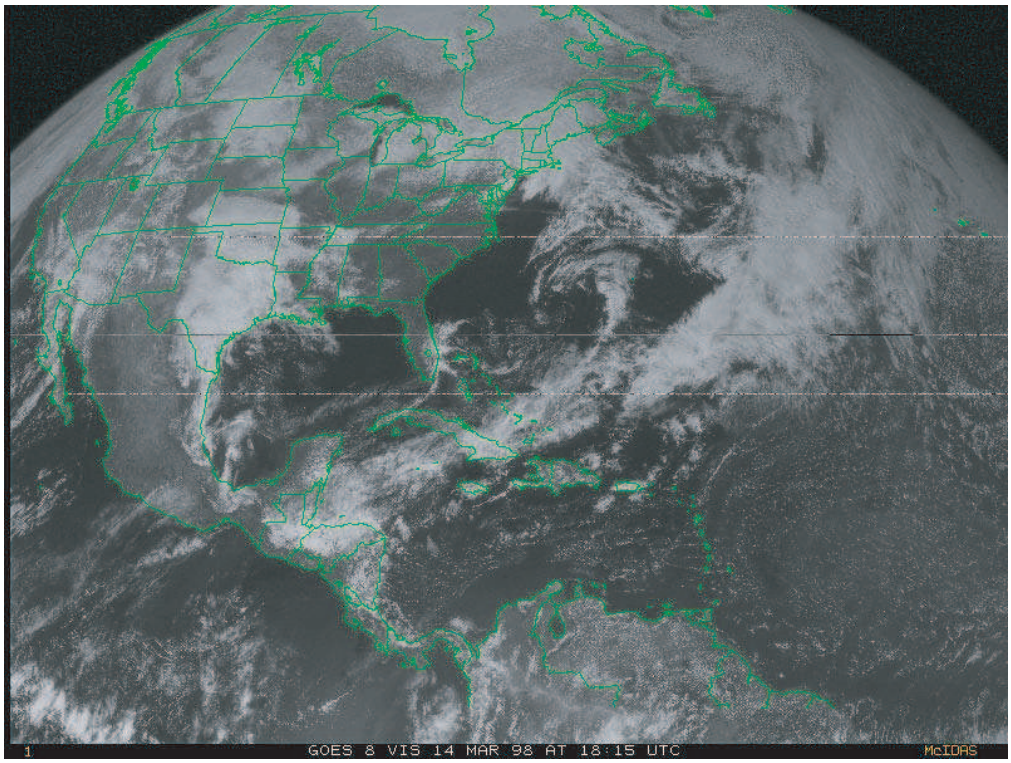



**Figure n°11(D) : Analyse de la phto satellite du 14/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*



## Photo n°10(D) : AMP canalisé par le relief

**(photos satellite GOES 8, vis, le 14/3/1998, vis, 18h15 T.U)**




**Agrandissement de la photo ci-dessus**

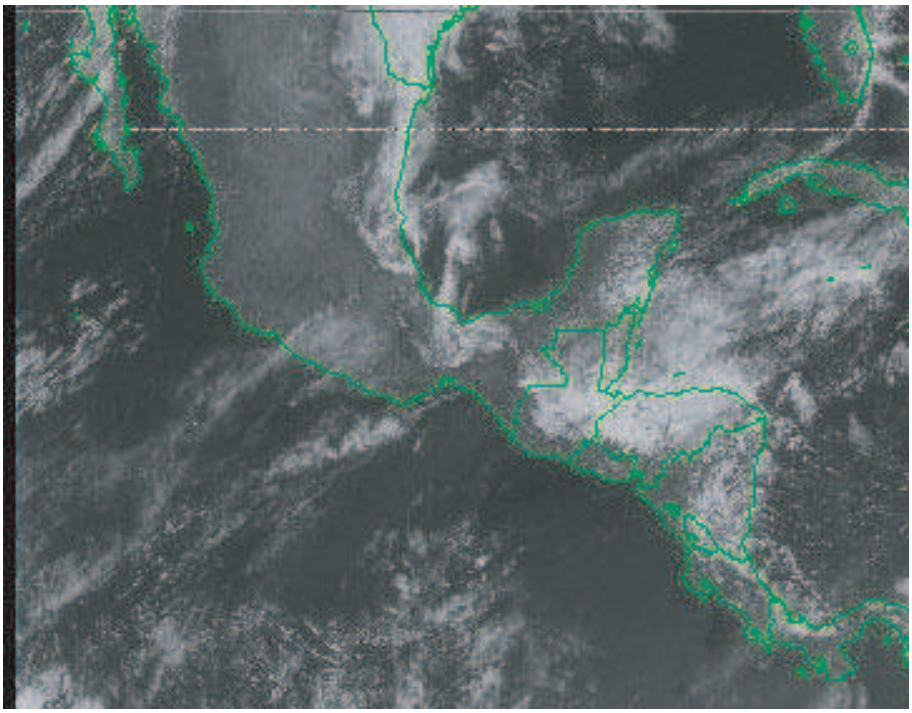


**Photo n°11(A) : AMP canalisé par le relief, océans Pacifique du sud-est et Atlantique du sud-ouest**
**(GOES 10, est, vis, le 27/11/1999, 18h00 T.U)**

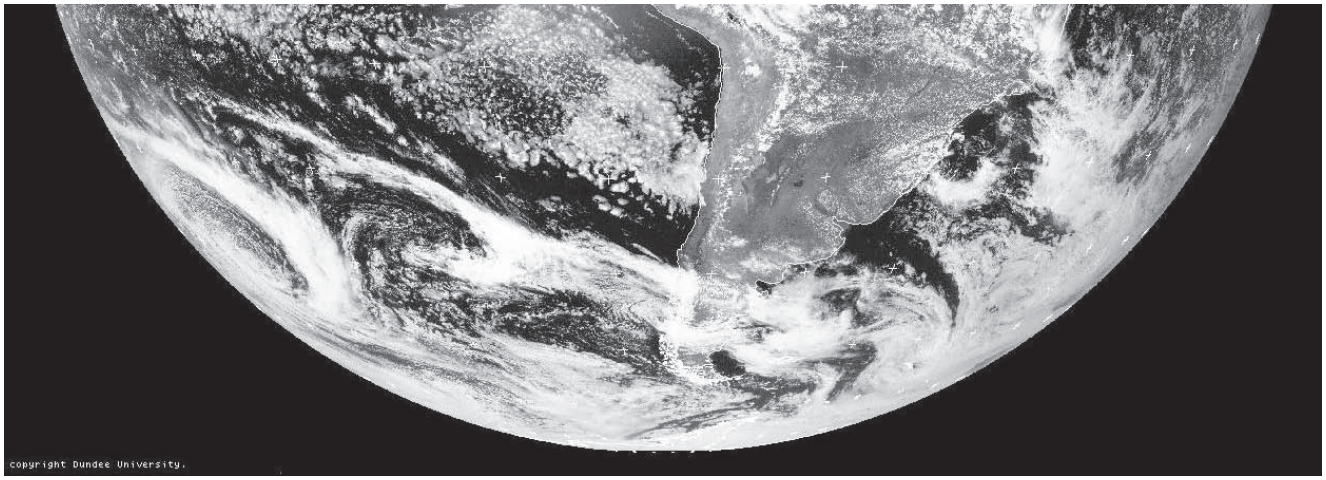



**Figure n°12(A) : Analyse de la photo satellite du 27/11/1999 (GOES 10, est, vis, 18h00 T.U)**
*(D'après cartes de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

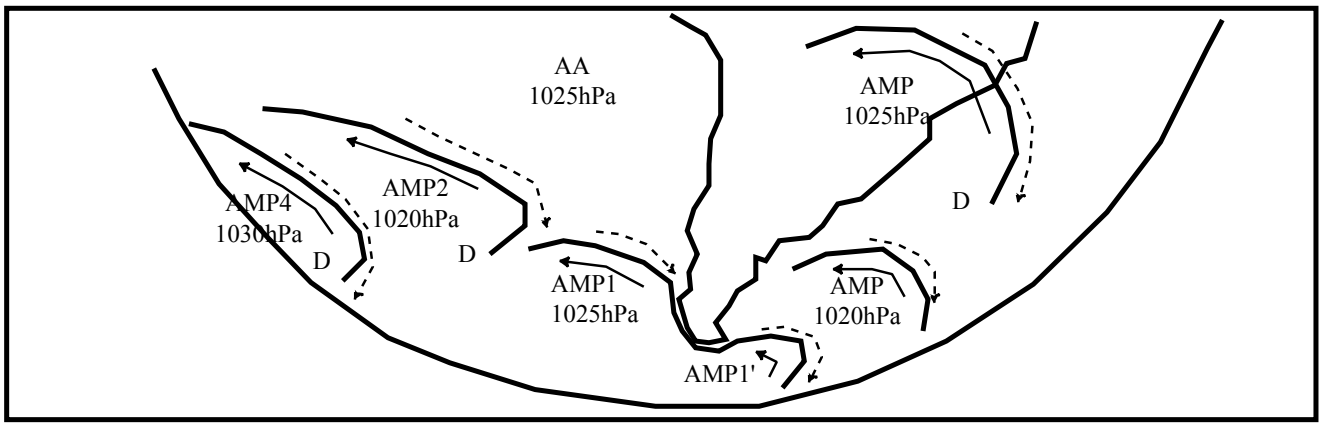


**Photo n°11(B) : AMP canalisé par le relief, océans Pacifique du sud-est et Atlantique du sud-ouest**
**(GOES 10, est, vis, le 28/11/1999, 18h00 T.U)**

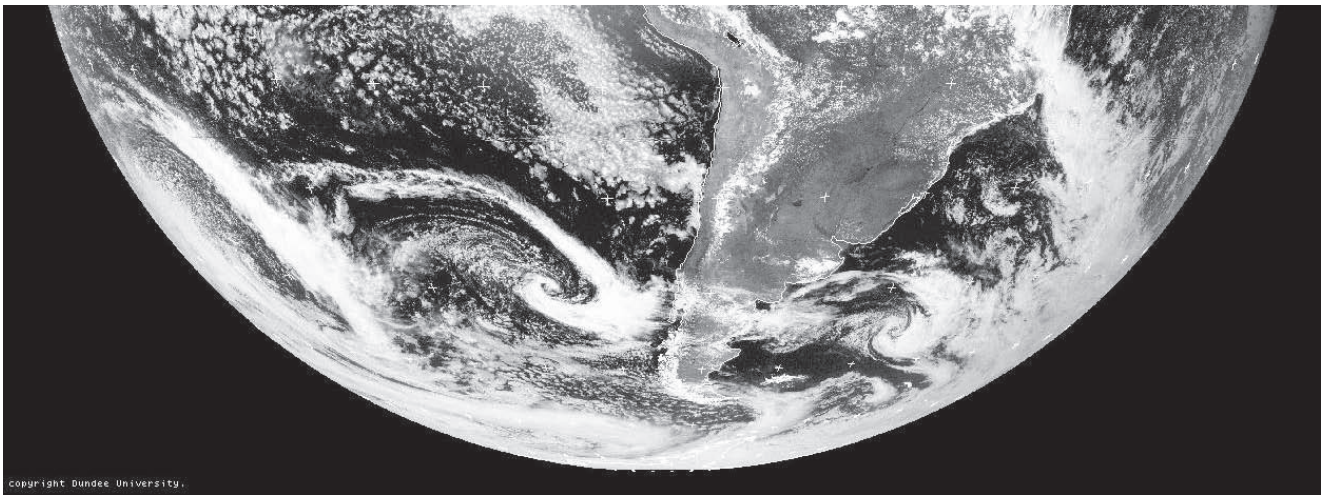



**Figure n°12(B) : Analyse de la photo satellite du 28/11/1999 (GOES 10, est, vis, 18h00 T.U)**
*(D'après cartes de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

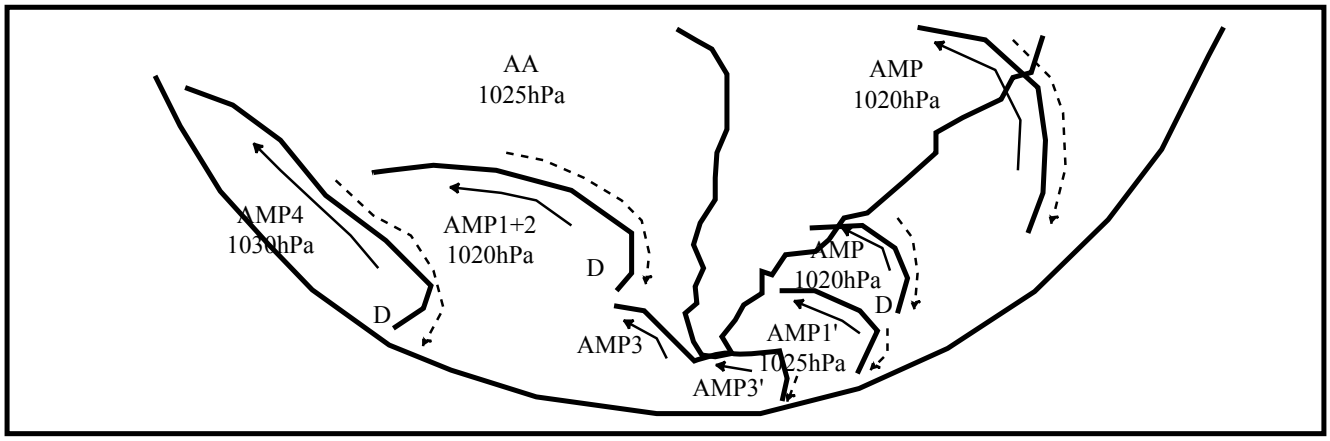


**Photo n°11(C) : AMP canalisé par le relief, océans Pacifique du sud-est et Atlantique du sud-ouest**
**(GOES 10, est, vis, le 29/11/1999, 18h00 T.U)**

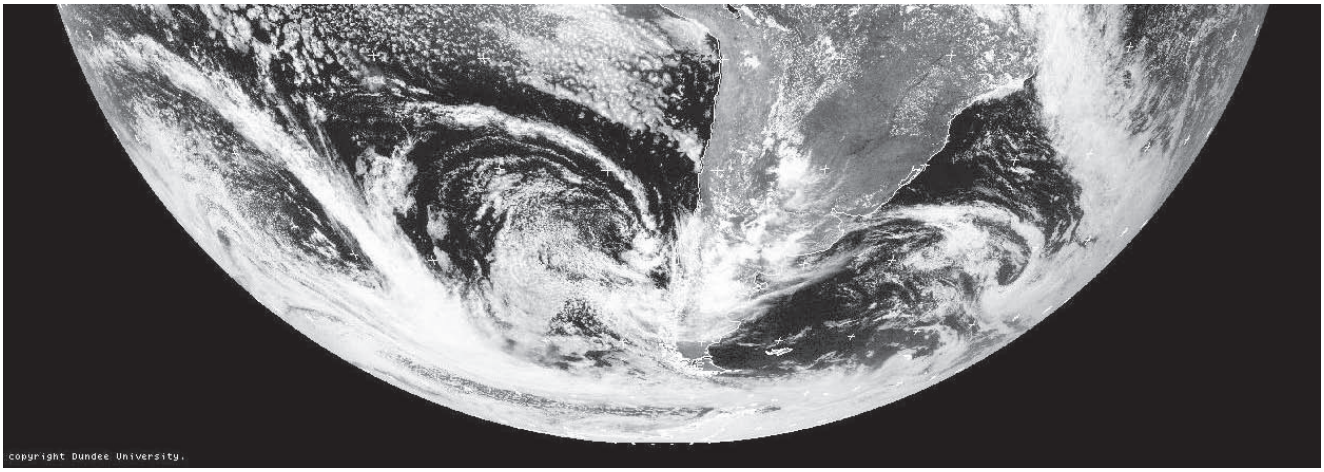



**Figure n°12(C) : Analyse de la photo satellite du 29/11/1999 (GOES 10, est, vis, 18h00 T.U)**
*(D'après cartes de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

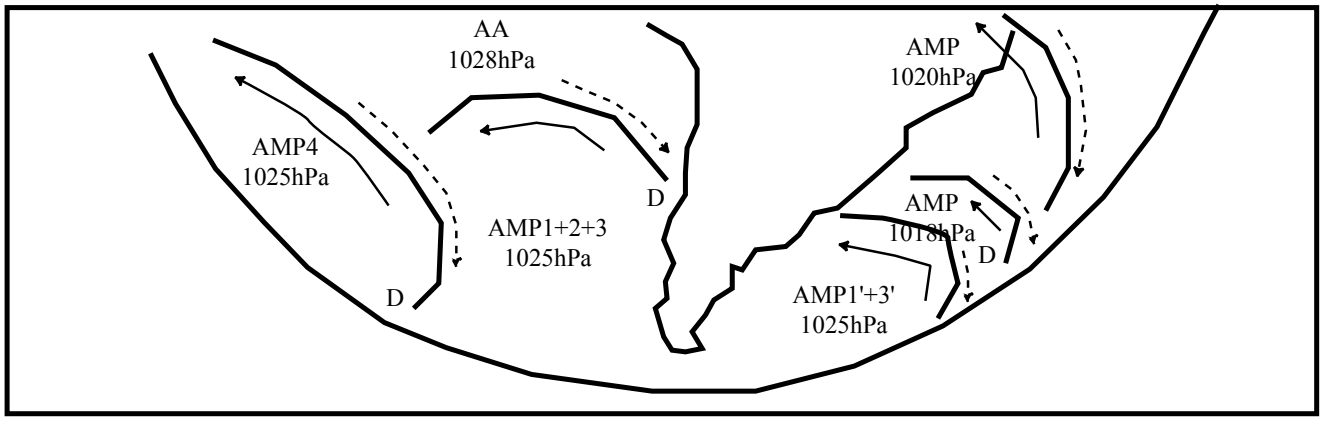


Photo GOES est : l'AMP1 est nettement repérable, sa dépression associée (D) est visible au large des côtes californiennes. Nous repérons également l'AMP2. Avec cet angle de vue, nous voyons que ces AMP sont incapables de pénétrer sur le continent. Le relief forme une barrière infranchissable.

- **Commentaire de la fig. n°10C (analyse de la photo satellite du 25/9/01) :**

Photo GOES ouest : L'AMP1 et l'AMP2 ont fusionné pour ne former qu'une seule et même masse anticyclonique (l'AMP1+2) qui épouse parfaitement les contours du relief. Cette masse anticyclonique, incapable de s'élever, continue sa descente vers le sud. Descente entretenue et accélérée par l'arrivée d'un nouvel AMP, l'AMP3.

Photo GOES est : avec cet angle de vue, nous voyons que l'AMP1+2, ne pénètre pas sur le continent. Seuls les flux chauds, déviés sur la face avant de l'AMP1+2 (le long de son couloir dépressionnaire périphérique), pénètrent sur le continent voisin (en direction de sa dépression associée).

- **Commentaire de la fig. n°11A (analyse de la photo satellite du 11/3/98) :**

Nous observons un AMP surpuissant, l'AMP1 (1050 hPa!). Remarquons que l'air froid, incapable de s'élever, se plaque au nord des reliefs centraméricains et à l'est des reliefs mexicains. Les formations nuageuses épousent parfaitement les reliefs et en soulignent les contours de manière très précise. Une partie de l'air froid issu de l'AMP1 arrive cependant à se déverser au-dessus des reliefs les moins élevés, s'assèche, se réchauffe (absence de nuage, effet foehn sur la côte pacifique centraméricaine). Au niveau de l'isthme de Tehuantepec (Mexique), l'air froid est vigoureusement canalisé entre les reliefs, sa vitesse s'accroît (effet Venturi). L'absence de nuage témoigne de la violence des flux de nord (« Nortes ») qui traversent l'isthme.

Sur l'agrandissement de la photo précédente, nous voyons que l'AMP1, froid, dense, incapable de s'élever est canalisé par le relief mexicain (Sierra Madre orientale, cordillère du Chiapas) et la cordillère centraméricaine dont les contours apparaissent ici très nettement. Les nuages que nous observons au sud de la presqu'île de Californie sont des nuages d'altitude.

- **Commentaire de la fig. n°11B (analyse de la photo satellite du 12/3/98) :**

L'AMP1 se plaque contre les reliefs centraméricains et, au sud du relief mexicain, s'écoule sur le Pacifique, en direction de l'EMV, par l'isthme de Tehuantepec et l'ensellement du Nicaragua.

Sur l'agrandissement de la photo précédente, nous voyons qu'au niveau de l'isthme de Tehuantepec, l'abaissement du relief autorise le passage et les vents puissants de secteur nord-nord-est qui s'y engouffrent violemment le dégagent de tout nuage.

- **Commentaire de la fig. n°11C (analyse de la photo satellite du 13/3/98) :**

L'AMP1 s'est progressivement déplacé vers le sud. Remarquons la présence d'un nouvel AMP, l'AMP3 qui se situe sur le grand nord canadien.

Sur l'agrandissement de la photo précédente, l'AMP1, froid, incapable de s'élever est canalisé par le relief dont les contours apparaissent très nettement.

- **Commentaire de la fig. n°11D (analyse de la photo satellite du 14/3/98) :**

L'AMP1, « tropicalisé » progressivement, en partie écoulé vers le Pacifique, a perdu de sa vigueur ; il épouse moins parfaitement les reliefs et les vents de secteur nord faiblissent voire disparaissent. L'AMP1 va peu à peu poursuivre son déplacement vers l'est tout en s'intégrant dans l'AA dite « des Bermudes/Açores ». Soulignons la présence de l'AMP3 sur le nord-ouest du Canada qui, en poursuivant sa course vers le sud, va forcer le glissement vers le sud-sud-est de l'AMP1 et, favoriser ainsi son intégration dans l'AA.

Sur l'agrandissement de la photo précédente, nous voyons que l'AMP1, moins froid, moins dense, poursuivant son déplacement vers l'est, épouse moins bien les contours du relief qui le guide encore.

- **Commentaire de la fig. n°12A (analyse de la photo satellite du 27/11/99) :**

Sur cette photo satellite, nous observons plusieurs AMP en provenance de l'Antarctique. L'AMP1 illustre le rôle joué par le relief andin à l'extrémité méridionale de l'Amérique du Sud. L'air froid, dense, de l'AMP est incapable de s'élever ; la puissance orographique andine peut, comme sur ce cliché, scinder en deux la masse de l'AMP et guider des noyaux anticycloniques soit en direction du Pacifique (AMP1) soit vers l'Atlantique (AMP1').

- **Commentaire de la fig. n°12B (analyse de la photo satellite du 28/11/99) :**

L'AMP1 a fusionné avec l'AMP2 pour ne former qu'une seule et même masse anticyclonique, l'AMP1+2 qui continue à se déplacer vers le nord, en direction de l'AA dite « de l'île de Pâques ». L'AMP3 se subdivise lui aussi en deux au contact du relief ; une partie, l'AMP3, remonte l'océan Pacifique, le long des côtes du Chili méridional; une autre partie, l'AMP3', se dirige vers l'Atlantique. Vers le nord-est, nous observons des noyaux anticycloniques plus anciens qui remontent vers la Pampa argentine ou vers l'océan Atlantique du sud-ouest.

- **Commentaire de la fig. n°12C (analyse de la photo satellite du 29/11/99) :**

L'AMP1+2, fusionne avec l'AMP3 pour ne former qu'une seule et même masse anticyclonique, l'AMP1+2+3. Des noyaux anticycloniques remontent le long de la cordillère vers le nord-est par la Pampa argentine ou vers le sud de l'océan Atlantique tout en fusionnant (AMP1'+AMP3').

**b) Conclusion :**

Il apparaît très clairement sur ces photos satellite que, l'AMP étant une masse d'air froid donc dense, a tendance à épouser les aspérités du substratum. En cours de déplacement, l'AMP conserve sa masse initiale, mais il est soumis à la divergence (étalement) et au frottement qui lui font progressivement perdre de sa cohérence. Les AMP froids et denses, divergent et ne peuvent s'élever, ils sont ainsi canalisés par le relief dont l'altitude est supérieure à leur épaisseur c'est à dire à 1 000/1 500 mètres. L'influence du relief sur le déplacement est fonction de la trajectoire des AMP et de la propre orientation du relief (les Montagnes Rocheuses constituent une barrière infranchissable ; les Appalaches, du fait de leur moindre hauteur et de leur orientation favorable, exercent une influence moins catégorique sur le déplacement des AMP ; les AMP rencontrent les Andes dès 55° de latitude sud, qui ne deviennent infranchissables qu'au nord de la latitude 40° sud. La puissance orographique andine dès 55° de latitude sud peut scinder en deux la masse des AMP et guider des noyaux anticycloniques soit en direction du Pacifique soit vers l'Atlantique ou encore, conduire l'intégralité des AMP à remonter le long de la cordillère vers le nord-est par la Pampa argentine ou vers le nord-ouest par le Chili).

De ce fait, comme nous pu l'observer sur les photos satellite précédentes, les AMP défilent le long de trajectoires bien définies, délimitant des espaces aérologiques précis.

## 3) La formation des AA : Les trajectoires des AMP

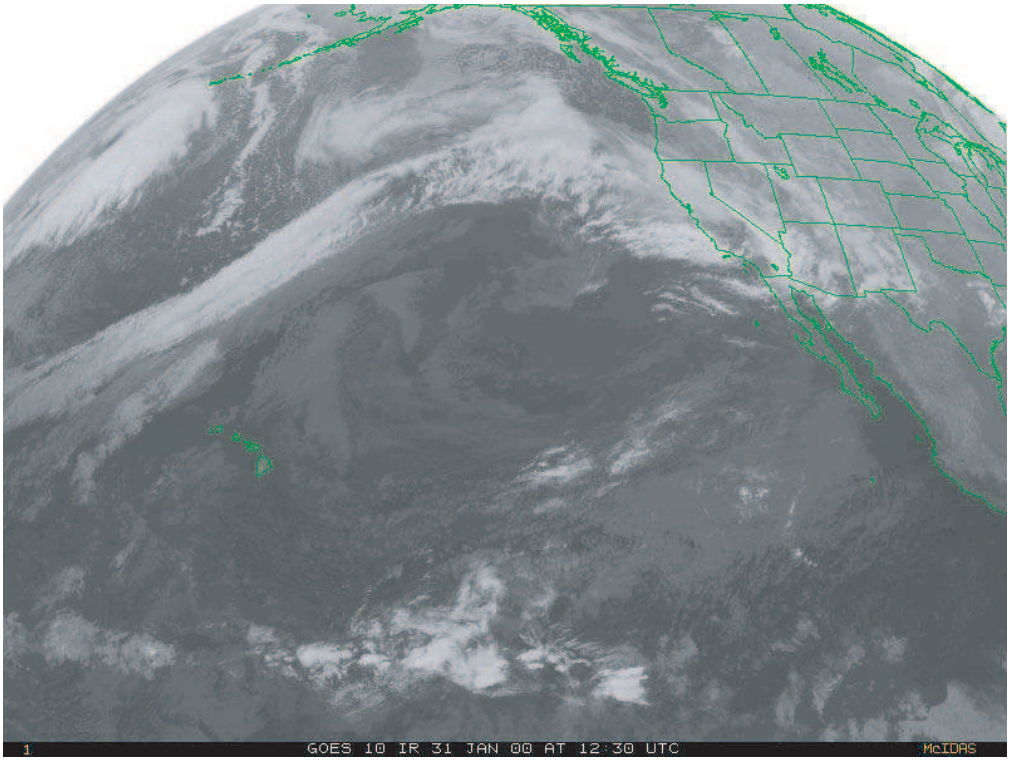
### a) En Asie orientale, sur le Pacifique nord, la côte occidentale de l'Amérique du Nord (photos satellite n°12A à 12F ; fig. n°13A à 13G) :

Nous allons présenter ici une série de photos satellite GOES 10, ouest, ir, 12h30 T.U et GOES 10 ouest, vis, 18h30 T.U, du 31/1/00 au 5/2/00. Dans cette série de photos satellites, sur les clichés « visibles », nous pouvons observer tous les nuages, les nuages bas et les nuages élevés ; sur les clichés « infrarouges », seuls les nuages les plus froids, donc les plus élevés sont observés.

- **Commentaire de la fig. n°13A (analyse de la photo satellite du 31/1/00) :**

L'AMP1 est en train de « fusionner » avec un AMP plus ancien, quasi intégré dans l'AA dite « des Hawaii » (« AMP »). L'AMP3 et l'AMP2, plus récents donc plus froids, plus denses, contribuent au glissement vers le sud de l'AMP1. Sur leur face avant (soulignée par d'intenses formations nuageuses), ces AMP provoquent l'ascendance des flux plus « chauds » qu'ils rencontrent et/ou leur fuite vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique, en direction de la dépression associée. Les dépressions associées ou cyclones (D) liées aux AMP, se creusent progressivement et contribuent à l'accélération des flux déviés. Ces derniers, chauds et humides, donc instables peuvent pénétrer sur le continent voisin. En glissant vers le sud, les AMP se « tropicalisent » peu à peu, deviennent moins puissants, se réchauffent progressivement, ralentissent et s'agglutinent les uns dans les autres pour donner naissance à l'AA dite « des Hawaii ». Au sud de cette dernière, les flux d'Al.m se dirigent vers l'ouest et/ou vers l'EMV.

**Photo n°12(A) : AMP, trajectoires Pacifique nord**
**(de l'Asie vers le Pacifique nord et/ou de la mer de Béring)**
**GOES 10, ouest, ir, le 31/1/2000, 12h30 T.U**




**(GOES 10, ouest, vis, le 31/1/2000, 18h30 T.U)**

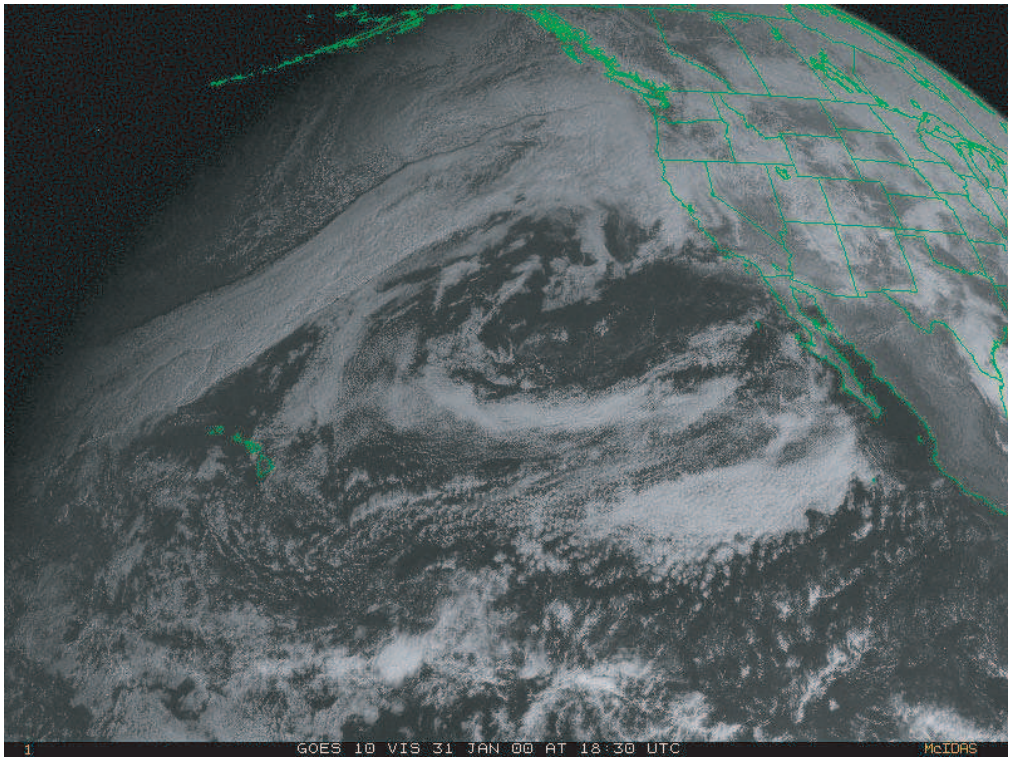


**Figure n°13(A) : Analyse des photos satellite du 31/1/2000 (GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U et ir, 12h30 T.U)**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific", 18h00 T.U)*

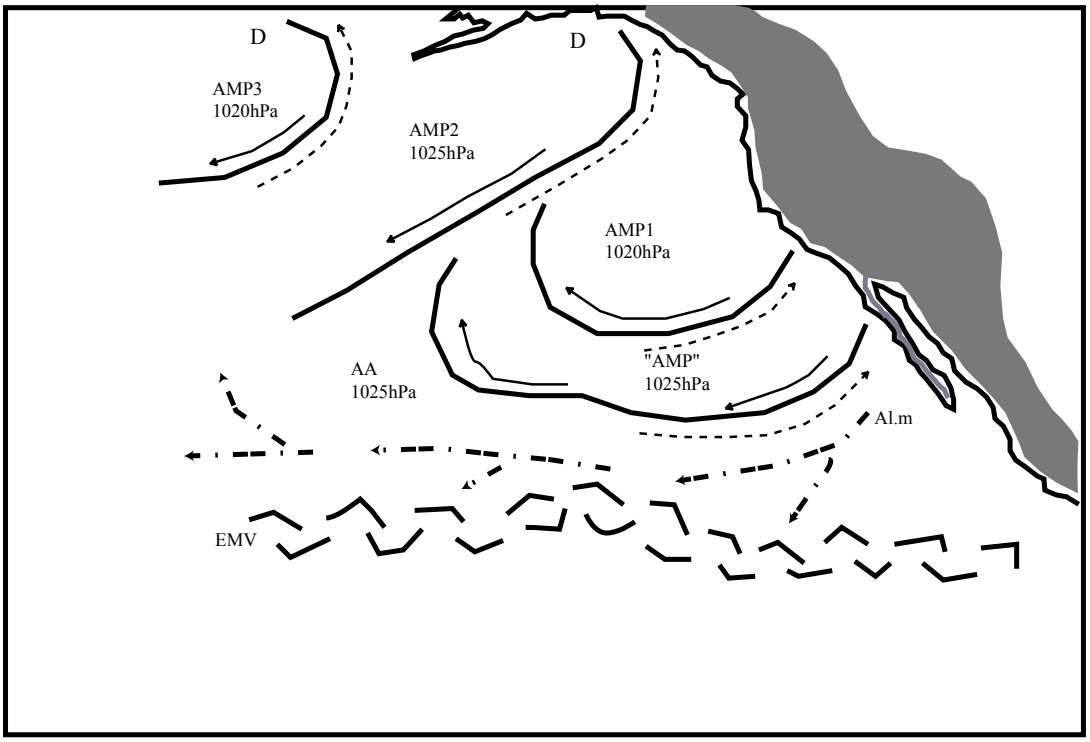



**Figure n°13(B) : Analyse des photos satellite du 1/2/2000 (GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U et ir, 12h30 T.U)**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific", 18h00 T.U)*

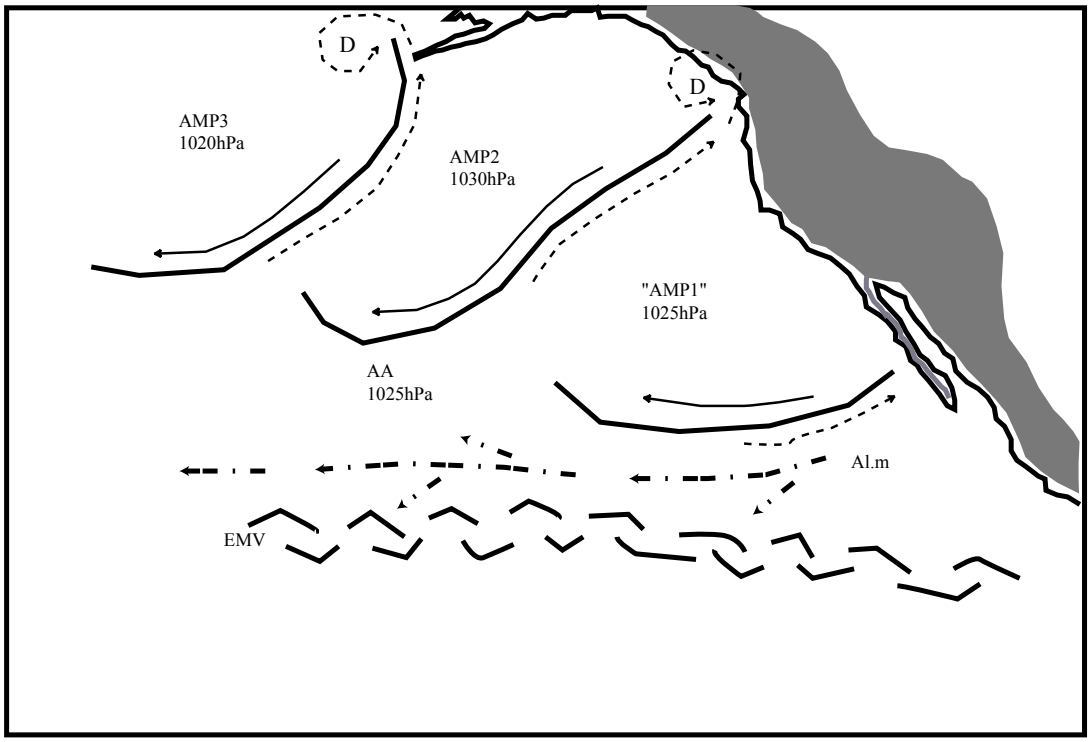
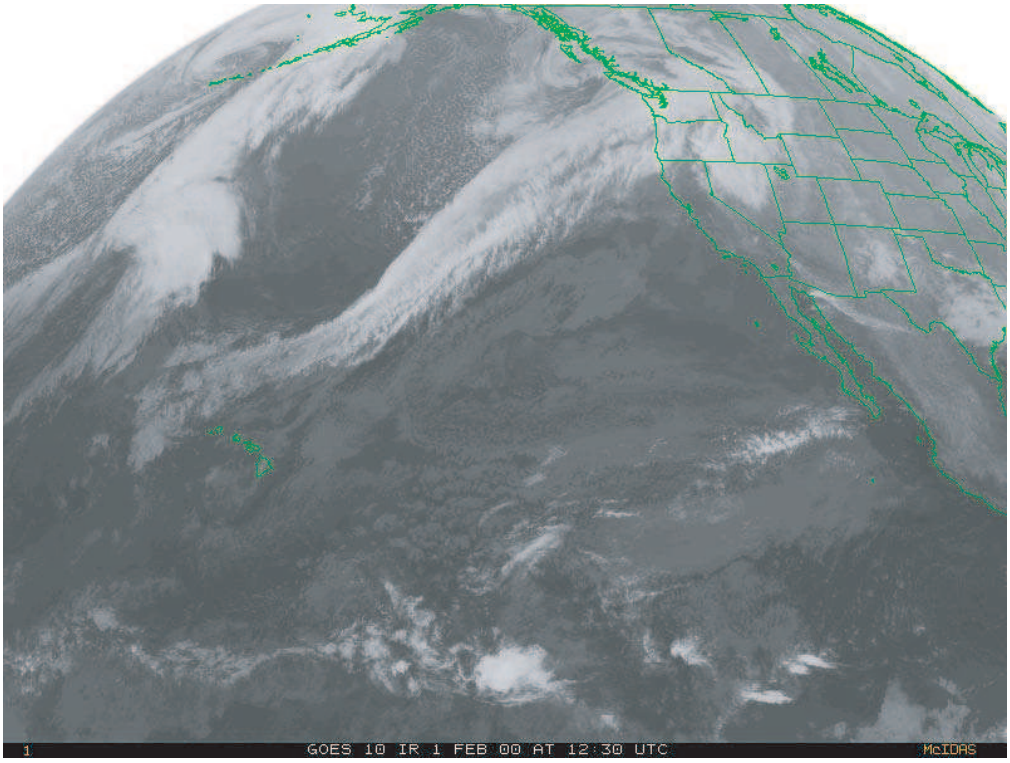


**Photo n°12(B) : AMP, trajectoires Pacifique nord**
**(de l'Asie vers le Pacifique nord et/ou de la mer de Béring)**
**GOES 10, ouest, ir, le 1/2/2000, 12h30 T.U**




**(GOES 10, ouest, vis, le 1/2/2000, 18h30 T.U)**

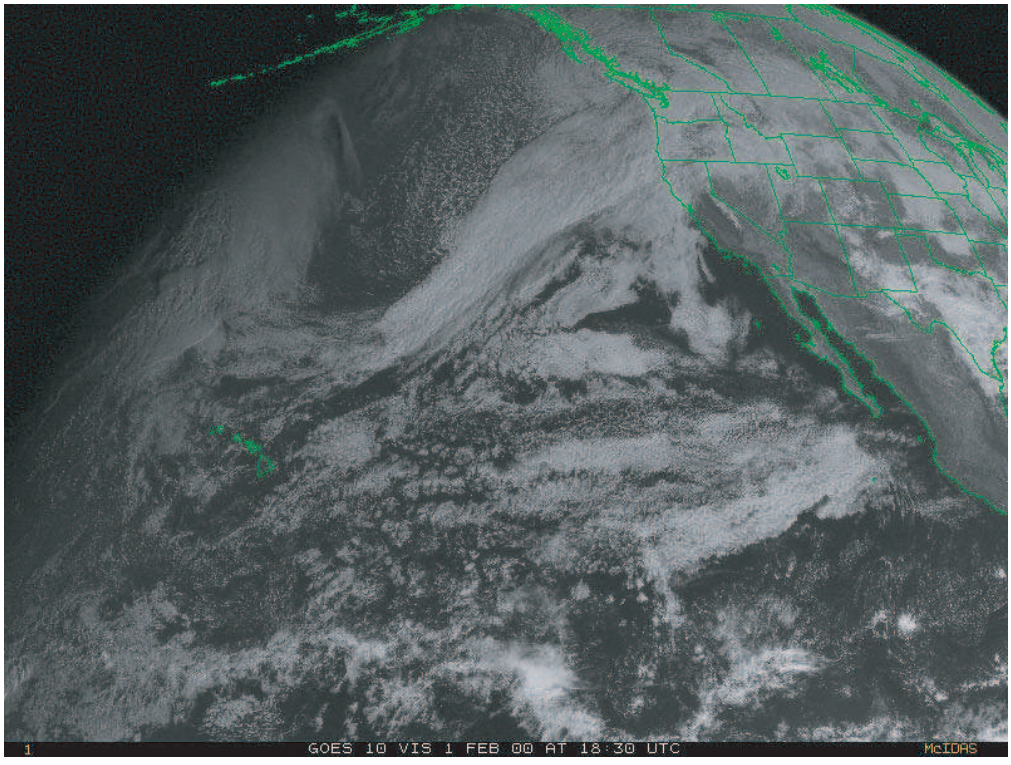
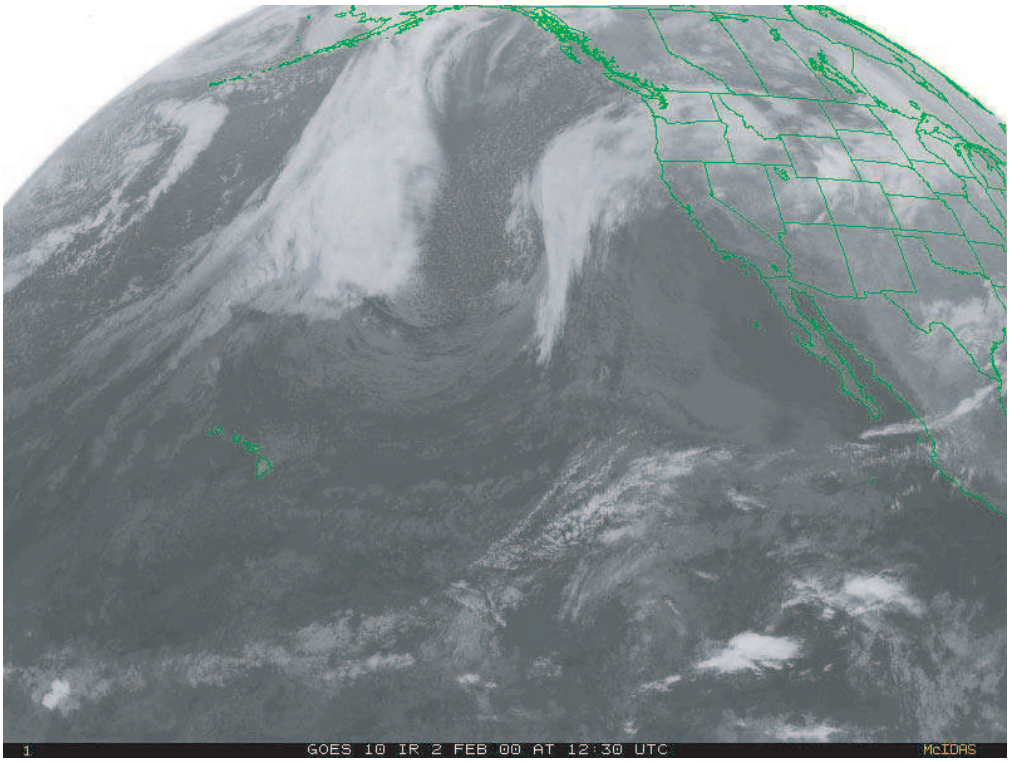


**Photo n°12(C) : AMP, trajectoires Pacifique nord**
**(de l'Asie vers le Pacifique nord et/ou de la mer de Béring)**
**GOES 10, ouest, ir, le 2/2/2000, 12h30 T.U**




**(GOES 10, ouest, vis, le 2/2/2000, 18h30 T.U)**

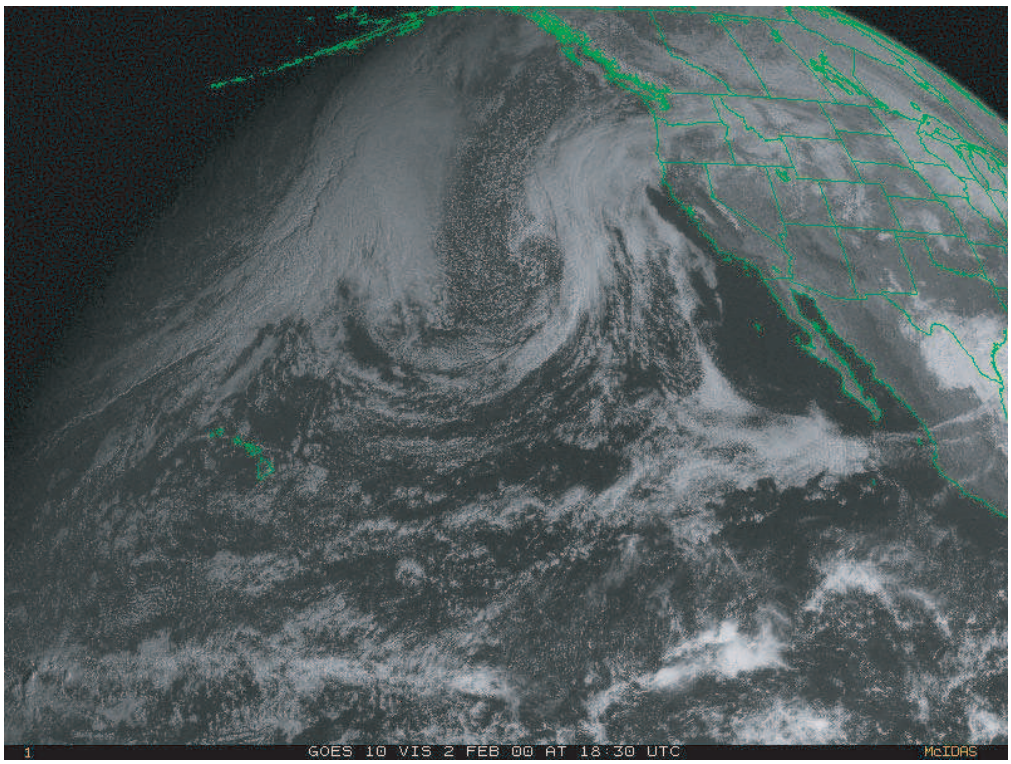


**Figure n°13(C) : Analyse des photos satellite du 2/2/2000**
**(GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U et ir, 12h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific", 18h00 T.U)*

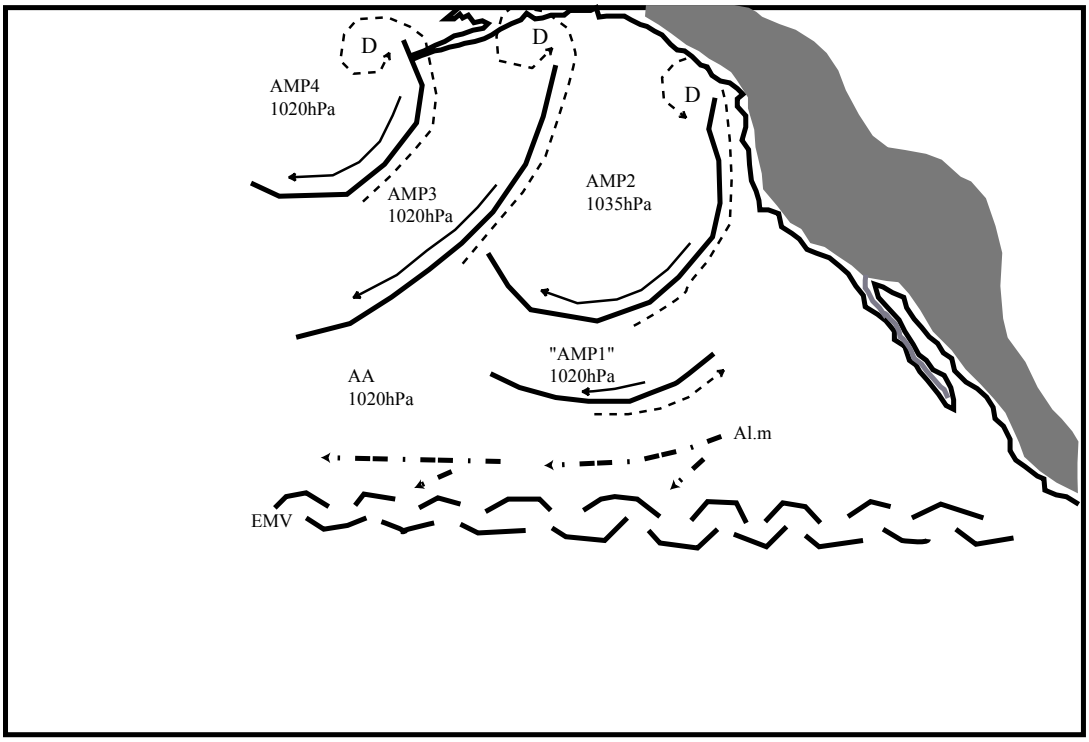



**Figure n°13(D) : Analyse des photos satellite du 3/2/2000**
**(GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U et ir, 12h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific", 18h00 T.U)*

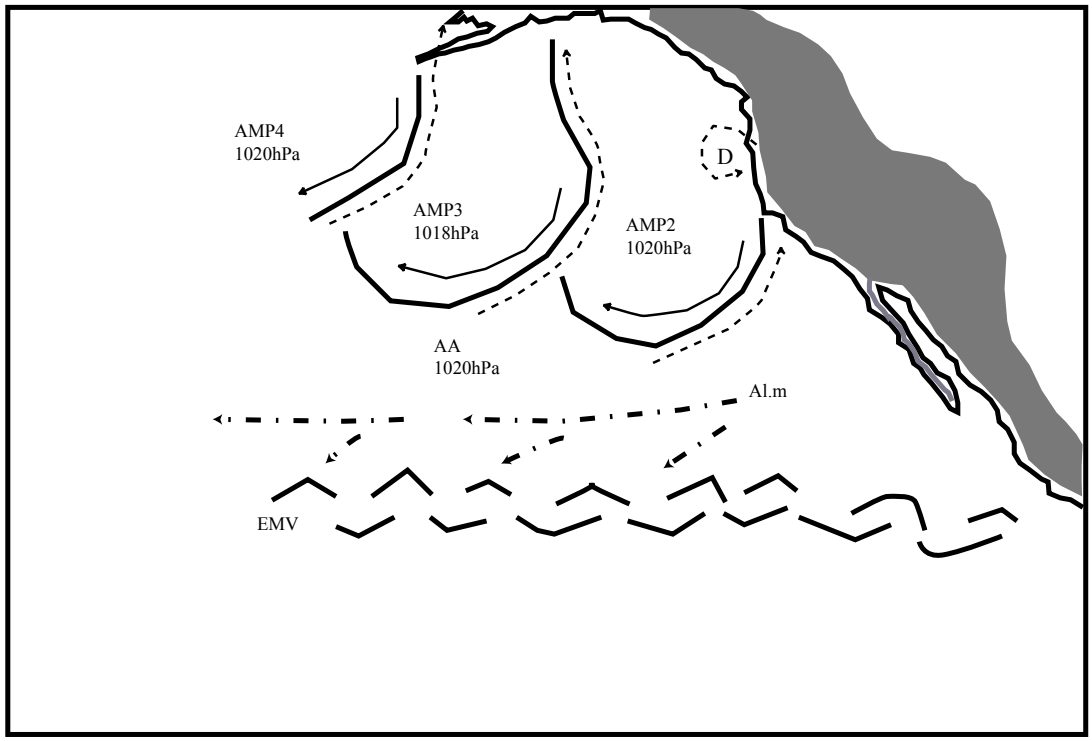
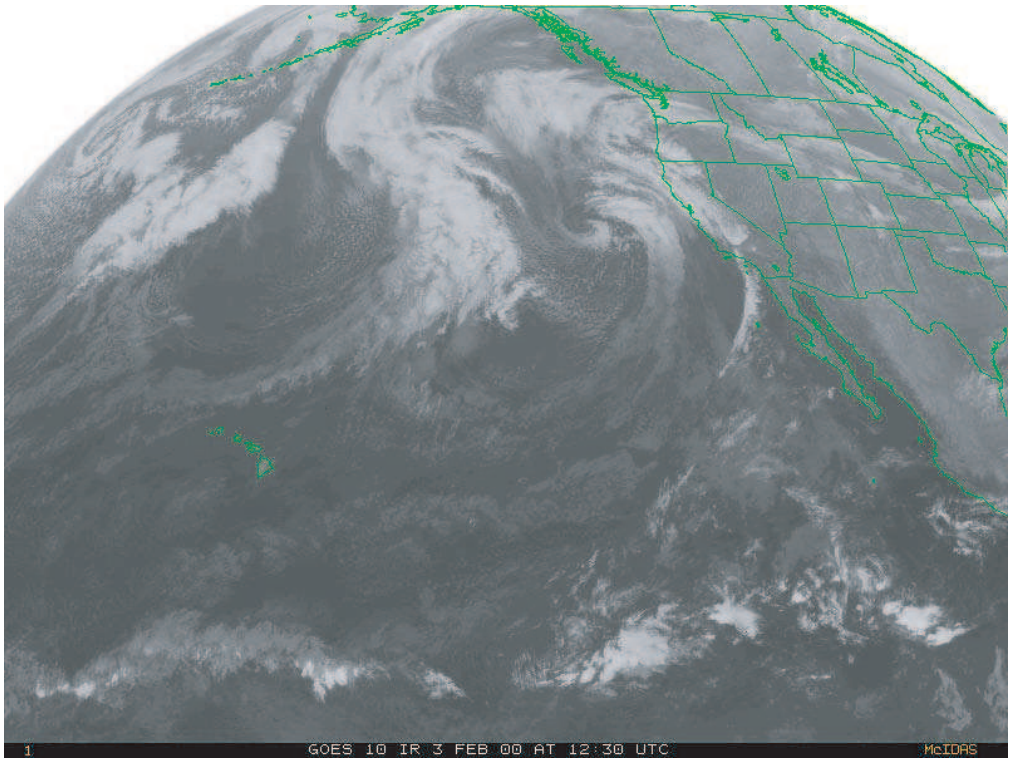


**Photo n°12(D) : AMP, trajectoires Pacifique nord**
**(de l'Asie vers le Pacifique nord et/ou de la mer de Béring)**
**GOES 10, ouest, ir, le 3/2/2000, 12h30 T.U**




**(GOES 10, ouest, vis, le 3/2/2000, 18h30 T.U)**

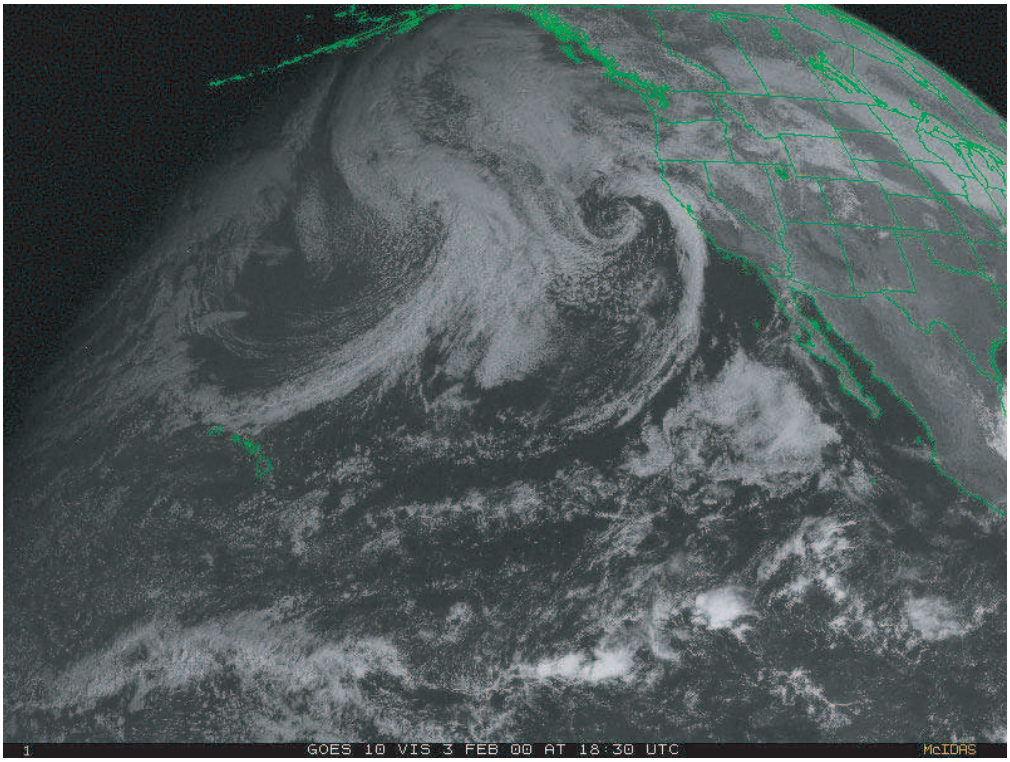
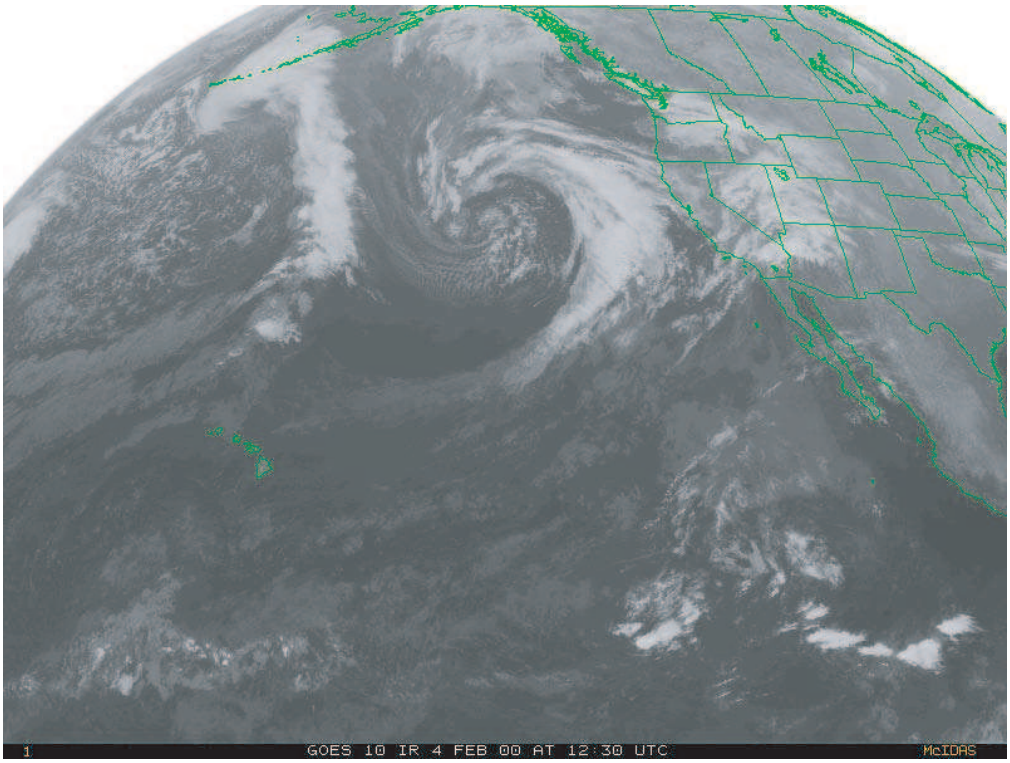


**Photo n°12(E) : AMP, trajectoires Pacifique nord**
**(de l'Asie vers le Pacifique nord et/ou de la mer de Béring)**
**GOES 10, ouest, ir, le 4/2/2000, 12h30 T.U**




**(GOES 10, ouest, vis, le 4/2/2000, 18h30 T.U)**

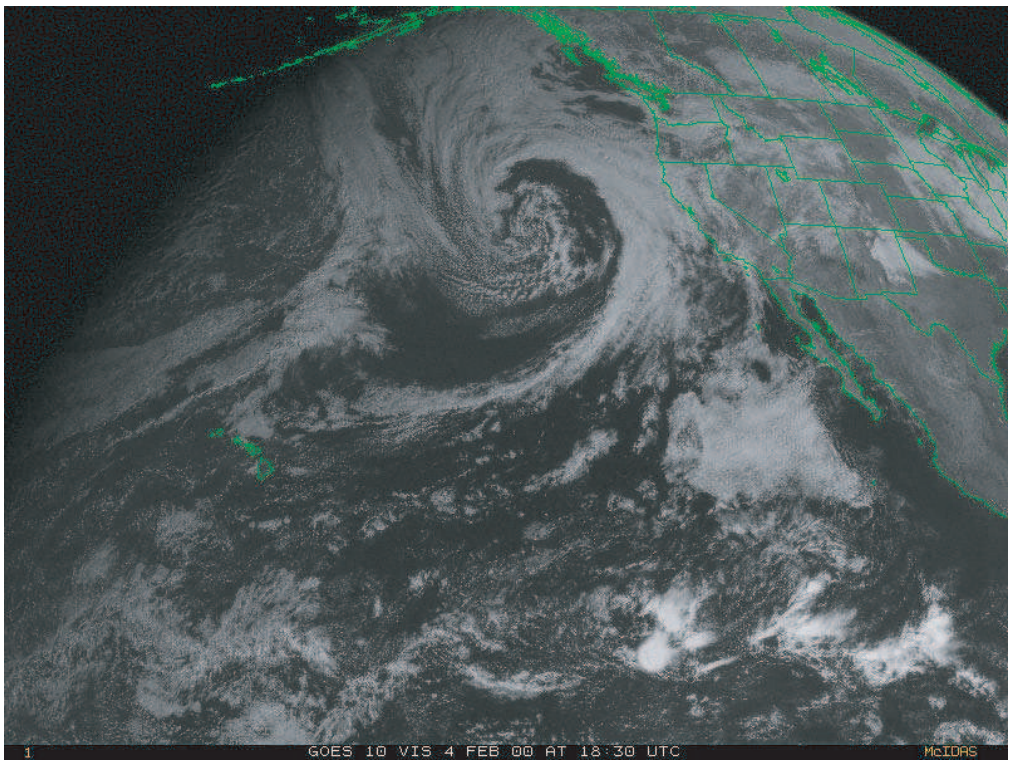


**Figure n°13(E) : Analyse des photos satellite du 4/2/2000**
**(GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U et ir, 12h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific",18h00 T.U)*

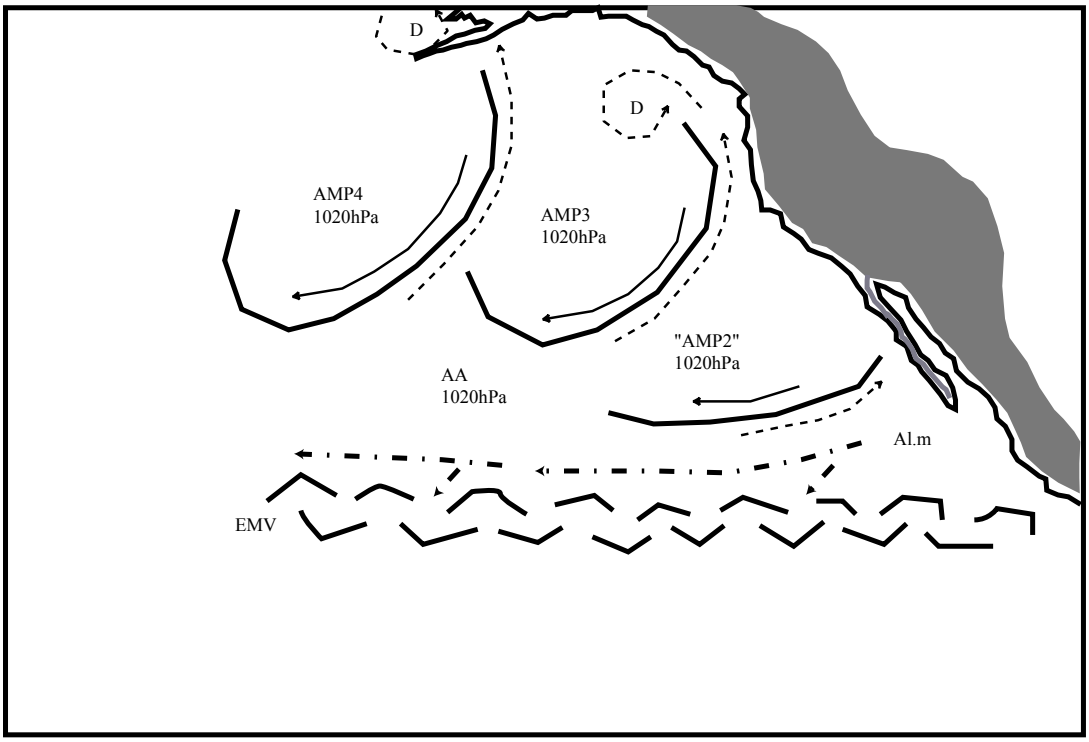



**Figure n°13(F) : Analyse des photos satellite du 5/2/2000**
**(GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U et ir, 12h30 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific", 18h00 T.U)*

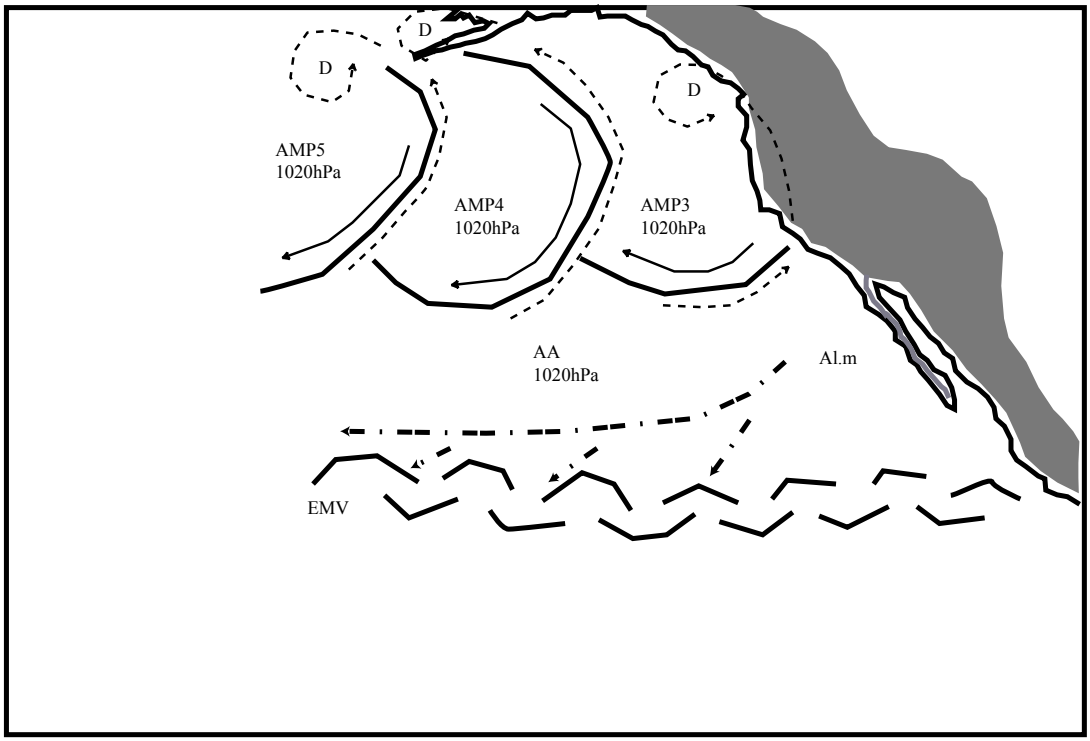
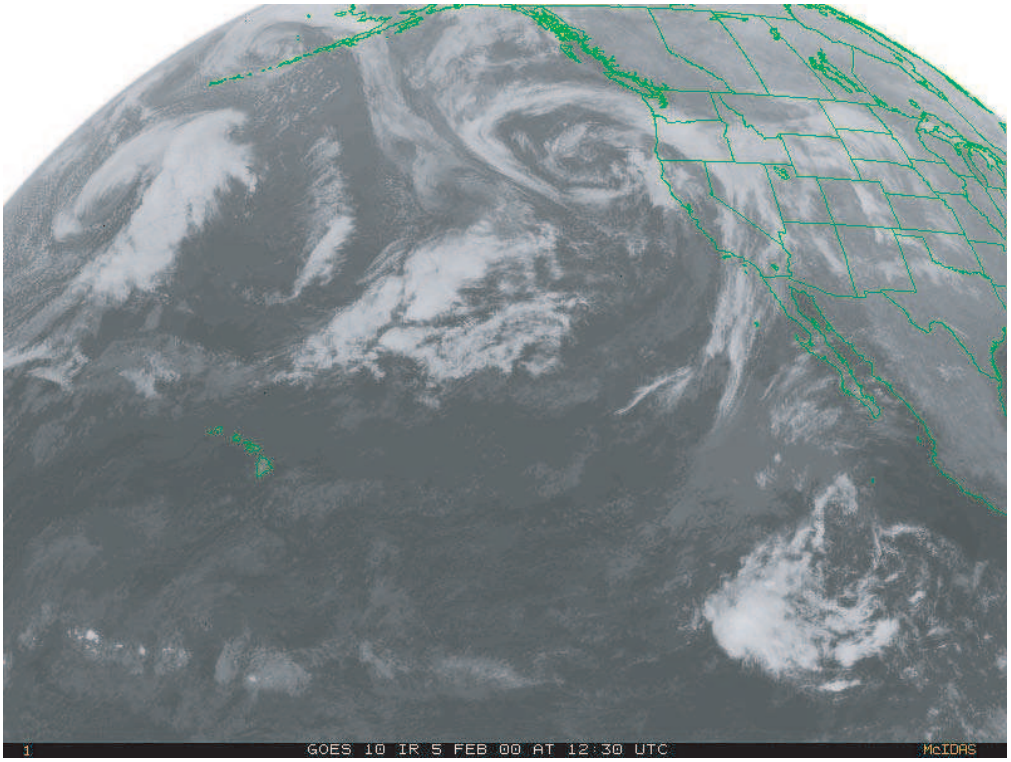


**Photo n°12(F) : AMP, trajectoires Pacifique nord**
**(de l'Asie vers le Pacifique nord et/ou de la mer de Béring)**
**GOES 10, ouest, ir, le 5/2/2000, 12h30 T.U**




**(GOES 10, ouest, vis, le 5/2/2000, 18h30 T.U)**

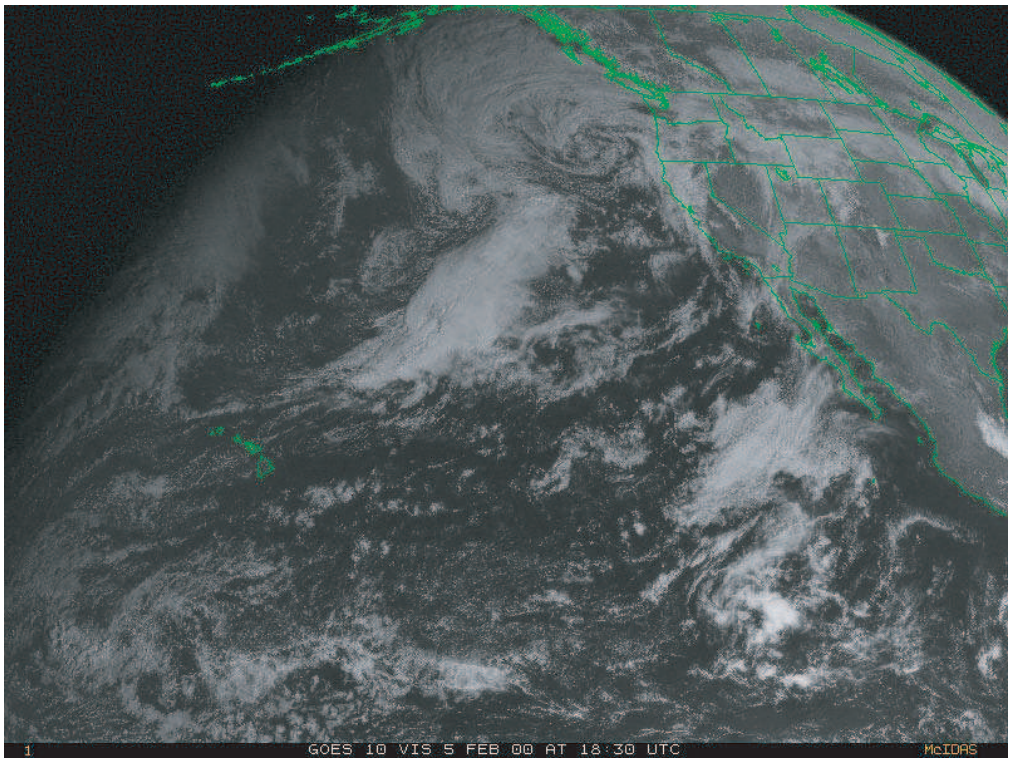
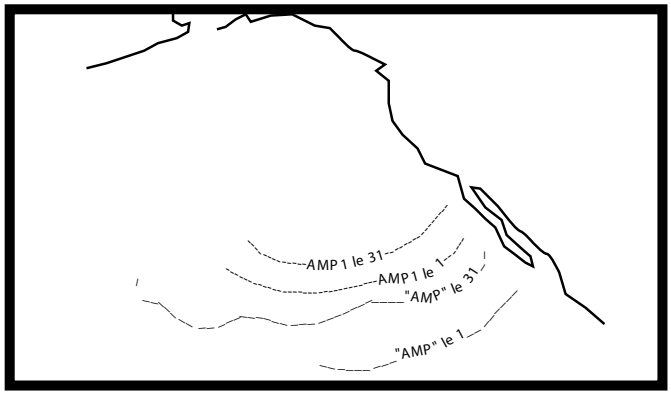


**Figure n°13(G) : Evolution de la situation de surface du 31/1/2000 au 5/2/2000**

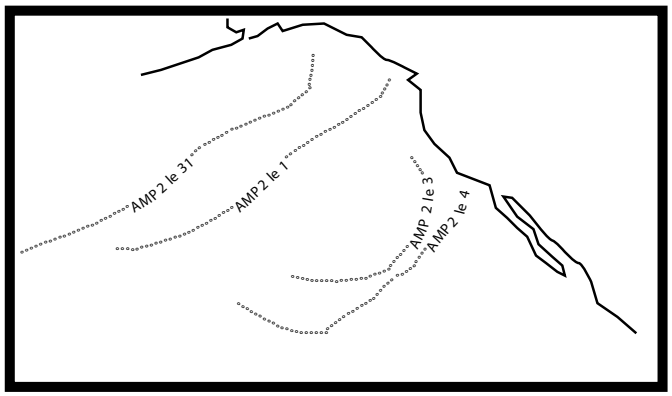
*(d'après cartes de la NOAA, "Tropical surface analysis, Pacific", 18h T.U)*

*(d'après analyses de la CFE GEIC, Mexico, "Sistemas principales", 06h45 heure locale)*

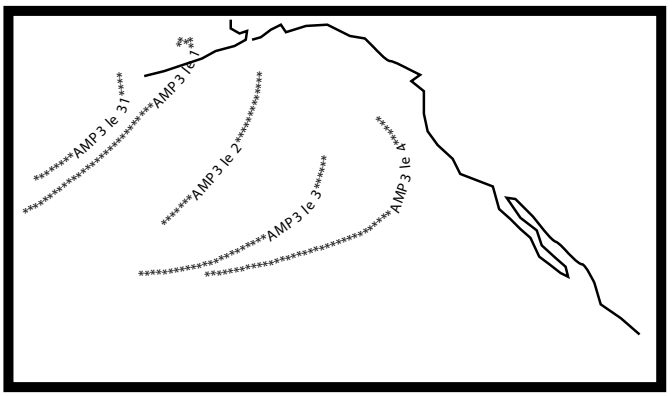
**AMP1**



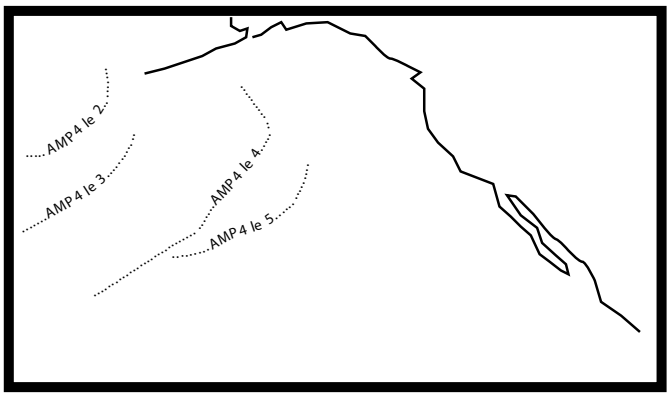

**AMP2**



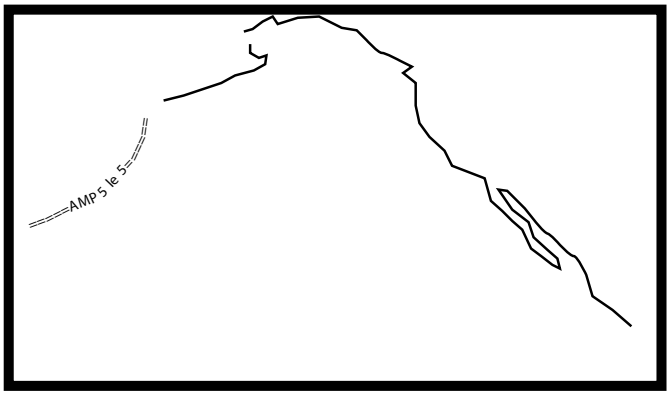

**AMP3**



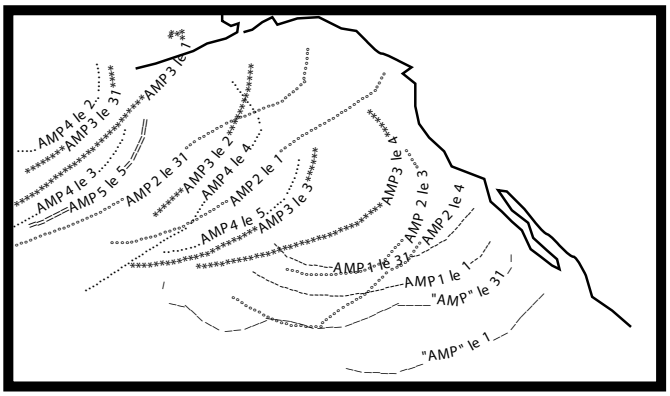

**AMP4**




**AMP5**




**AMP1 à 5**



- **Commentaire de la fig. n°13B (analyse de la photo satellite du 1/2/00) :**

L'AMP1, poussé vers le sud par l'AMP2 a « fusionné » avec un AMP plus ancien intégré dans l'AA (« AMP »). L'AMP2 est lui même poussé vers le sud par l'arrivée d'un nouvel AMP, l'AMP3. La face avant de l'AMP2, bien visible puisque soulignée par d'intenses formations nuageuses témoignant des ascendances, s'étend depuis le nord des îles Hawaii jusqu'à la frontière entre les Etats-Unis et le Canada. La dépression associée à l'AMP2 se situe sur Vancouver.

- **Commentaire de la fig. n°13C (analyse de la photo satellite du 2/2/00) :**

L'AMP1 est difficilement repérable sur la photo satellite visible et n'apparaît plus sur la photo satellite infrarouge ; son influence se limite aux basses couches, il ne provoque plus d'ascendances dans l'AA dite « des Hawaii » et fait partie intégrante de cette dernière. L'AMP2, poussé vers le sud (en direction de l'AA) par la progression vers le sud-sud-est de l'AMP3, se retrouve comprimé contre le relief de l'Amérique du Nord et se déforme. L'AMP3 est lui aussi poussé vers le sud-sud-est par l'arrivée d'un nouvel AMP, l'AMP4. Cette suite incessante d'AMP contribue à l'alimentation de l'AA dite « des Hawaii ».

- **Commentaire de la fig. n°13D (analyse de la photo satellite du 3/2/00) :**

L'AMP1 n'est plus repérable, il fait partie de l'AA dite « des Hawaii » et/ou alimente la circulation d'alizé . L'AMP2 poursuit sa descente vers le sud. L'AMP3, passé par le détroit de Béring, le suit et, derrière lui, nous observons un nouvel AMP, l'AMP4.

- **Commentaire de la fig. n°13E (analyse de la photo satellite du 4/2/00) :**

L'AMP2 est maintenant difficilement repérable sur la photo satellite, il est intégré dans l'AA dite « des Hawaii ». La face avant de l'AMP3 est soulignée par d'intenses formations nuageuses. L'AMP4, situé derrière l'AMP3 contribue au glissement de ce dernier vers le sud et accélère l'intégration de l'AMP2 dans l'AA dite « des Hawaii ». La face avant de cet AMP4 est, elle aussi, soulignée par d'intenses formations nuageuses. Les flux déviés vers le nord-nord-est, s'accélèrent violemment (ils sont comprimés entre la face avant de l'AMP4 et la face arrière de l'AMP3). La dépression associée (D) à l'AMP4, située sur les îles Aléoutiennes, se creuse progressivement. L'intensité des formations nuageuses entre la face avant de l'AMP4 et la face arrière de l'AMP3 atteste de la violence de la canalisation.

- **Commentaire de la fig. n°13F (analyse de la photo satellite du 5/2/00) :**

L'AMP2 est complètement intégré dans l'AA dite « des Hawaii ». L'AMP3, poussé vers l'est par l'AMP4, se retrouve comprimé contre le relief américain et se déforme. L'AMP5, contribue au télescopage de ces AMP. Les flux déviés sur la face avant de l'AMP3, pénètrent sur le contient nord-américain (au sud de la Californie) puis prennent progressivement une rotation cyclonique vers l'Etat de Washington avant d'être violemment déviés vers la dépression associée (D) à l'AMP3 (située au large de la Colombie britannique). Sur la face avant de l'AMP4, les flux déviés vers le nord-nord-est, se retrouvent comprimés entre la face avant de l'AMP4 et la face arrière de l'AMP3. Ils s'accélèrent violemment, passent au-dessus des Aléoutiennes avant de s'enrouler cycloniquement, déviés vers la dépression associée (D) à l'AMP4. Comme en témoigne l'intensité des formations nuageuses, la même observation peut être faite entre la face avant de l'AMP5 et la face arrière de l'AMP4. L'AA dite « des

Hawaii », bien alimentée par cette succession incessante d'AMP, donne naissance sur sa bordure méridionale à l'Al.m qui se dirige vers l'ouest et/ou l'EM.

- **Commentaire de la fig. n°13G (figure récapitulative) :**

Sur cette figure récapitulative de la situation étudiée précédemment, nous observons la succession incessante d'AMP. Ces AMP, originaires de l'Arctique, après être passés par le détroit de Béring et/ou après avoir traversé l'océan Pacifique septentrional depuis l'Asie extrême orientale, pénètrent sur le Pacifique du nord-est. Froids, denses, incapables de s'élever, ils se heurtent à la puissante barrière orographique américaine (les Montagnes Rocheuses) qui guide leur déplacement vers le sud. Les AMP ralentis lors de cette confrontation avec le relief ou tout simplement progressivement moins froids, moins denses, moins rapides, s'agglutinent peu à peu les uns dans les autres à la latitude de ce que l'on appelle communément « la cellule anticyclonique du Pacifique nord » qui est donc formée par l'AMP1 apparu le 31/1/00 puis par l'AMP2 apparu le 31/1/00 puis par l'AMP3 apparu le 31/1/00 puis par l'AMP4 apparu le 2/2/01 puis par l'AMP5 apparu le 5/2/01...

La perception statistique des phénomènes, basée sur des moyennes de pression, est à l'origine de la reconnaissance de ce « centre d'action » qui apparaît ainsi comme étant un « personnage » statistique figé (« l'anticyclone des Hawaii » ou « de Californie » puisque l'AA se trouve souvent sur le littoral à cette latitude), incapable de rendre compte de la réalité puisque tout est mobile! Il est donc plus judicieux de parler d'agglutination anticyclonique.

- **Bilan :**

L'observation des photos satellites présentées ci-dessus, photos satellite n°12 (A à F), du 31/1/2000 au 5/2/2000 accompagnées des figures n°13 (A à F) et de la figure n°13G, récapitulative de l'épisode, nous révèle une première trajectoire, en Asie orientale, sur le Pacifique nord, la côte occidentale de l'Amérique du Nord.

Les AMP sibériens très puissants en hiver pénètrent sur la Sibérie orientale par la dépression de la Léna, entre les hautes terres sibéro-mongoles et les monts Verkojiansk. Ils reçoivent le renfort des fragments d'AMP passés par la Dzoungarie et le désert de Gobi et ils atteignent le Pacifique en passant sur la Chine du Nord et le Japon. Ils sont ensuite renforcés par les AMP qui sortent du bassin arctique par le détroit de Béring. Les AMP qui parviennent sur la côte occidentale de l'Amérique de Nord sont bloqués par les Montagnes Rocheuses et déviés vers le sud (M. Leroux, 1996).

**b) En Amérique du Nord, à l'est des Montagnes Rocheuses (photos satellite n°13A à 13F ; fig. n°14A à 14G) :**

Nous allons présenter ici une série de photos satellite GOES 8, est, visible, 18h15 T.U, du 13/1/00 au 18/1/00.

- **Commentaire de la fig. n°14A (analyse de la photo satellite du 13/1/00) :**

Sur l'extrémité nord-nord-ouest du Canada, l'AMP3 se déplace vers le sud-sud-est et contribue ainsi au glissement, dans cette direction, de l'AMP1 situé au large des côtes orientales américaines. Le centre et le sud des Etats-Unis sont recouverts par l'AMP2. Cet AMP2, en provenance du Canada, a été canalisé vers le sud par le relief (entre les Montagnes

**Photo n°13(A) : AMP, trajectoire à l'est des Rocheuses, en direction de l'océan Atlantique et de l'AA dite des "Bermudes-Açores"**
**(GOES 8, est, vis, le 13/1/2000, 18h15 T.U)**

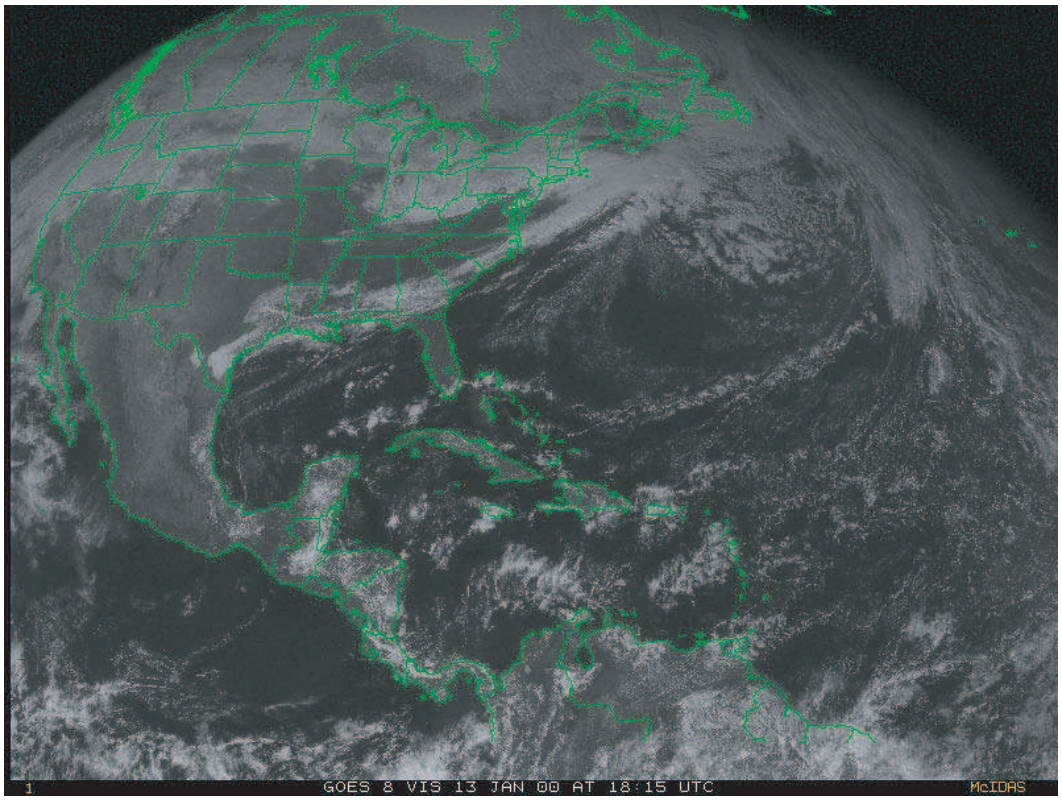



**Figure n°14(A) : Analyse de la photo satellite GOES 8, est, vis, le 13/1/2000, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA,"Tropical surface analysis,Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après analyse de la CFE GEIC, Mexico, "Sistemas principales", 06h45 heure locale)*

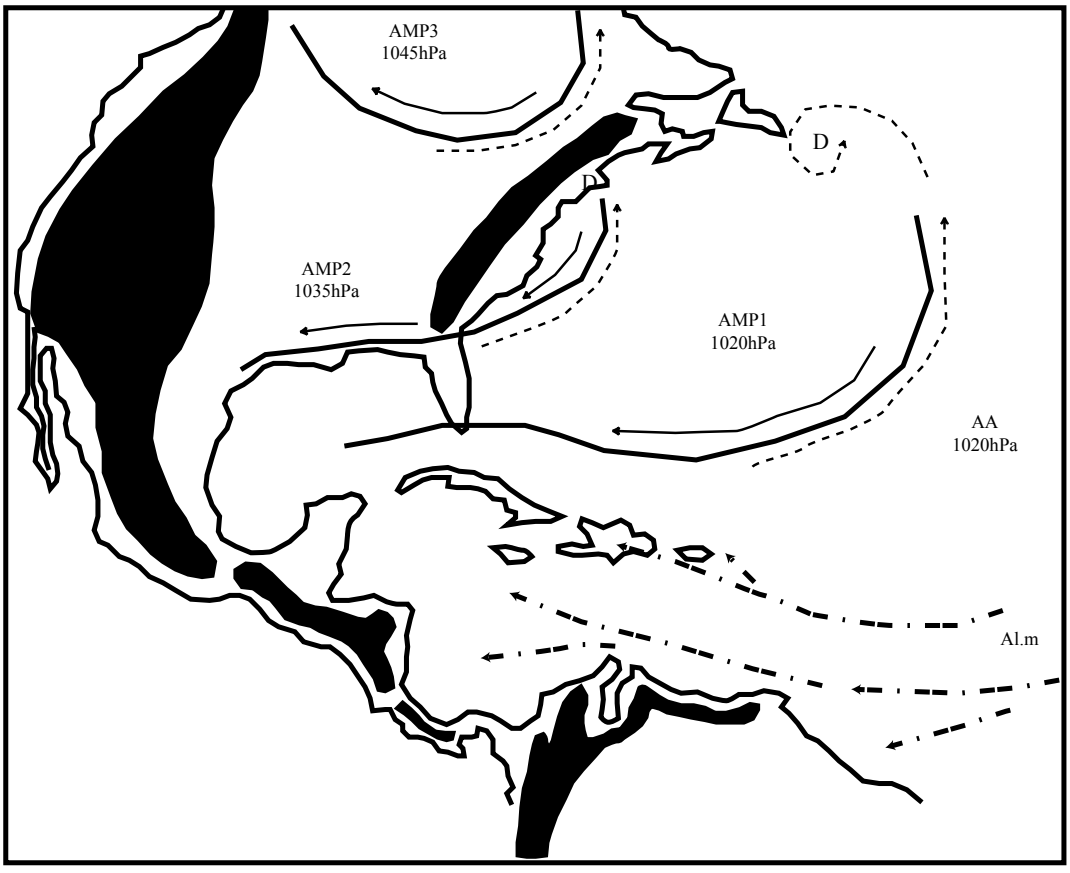


**Photo n°13(B) : AMP, trajectoire à l'est des Rocheuses, en direction de l'océan Atlantique et de l'AA dite des "Bermudes-Açores"**
**(GOES 8, est, vis, le 14/1/2000, 18h15 T.U)**

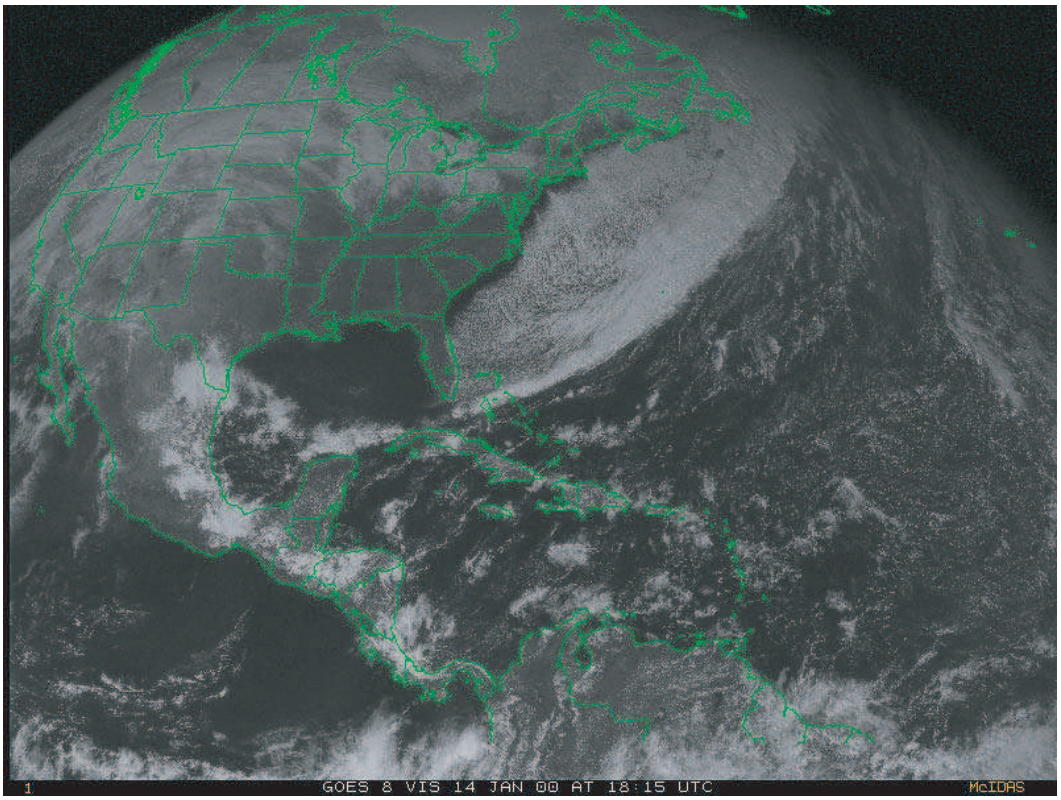



**Figure n°14(B) : Analyse de la photo satellite GOES 8, est, vis, le 14/1/2000, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA,"Tropical surface analysis,Atlantic" 18h00 T.U)*
*(D'après analyse de la CFE GEIC, Mexico, "Sistemas principales", 06h45 heure locale)*

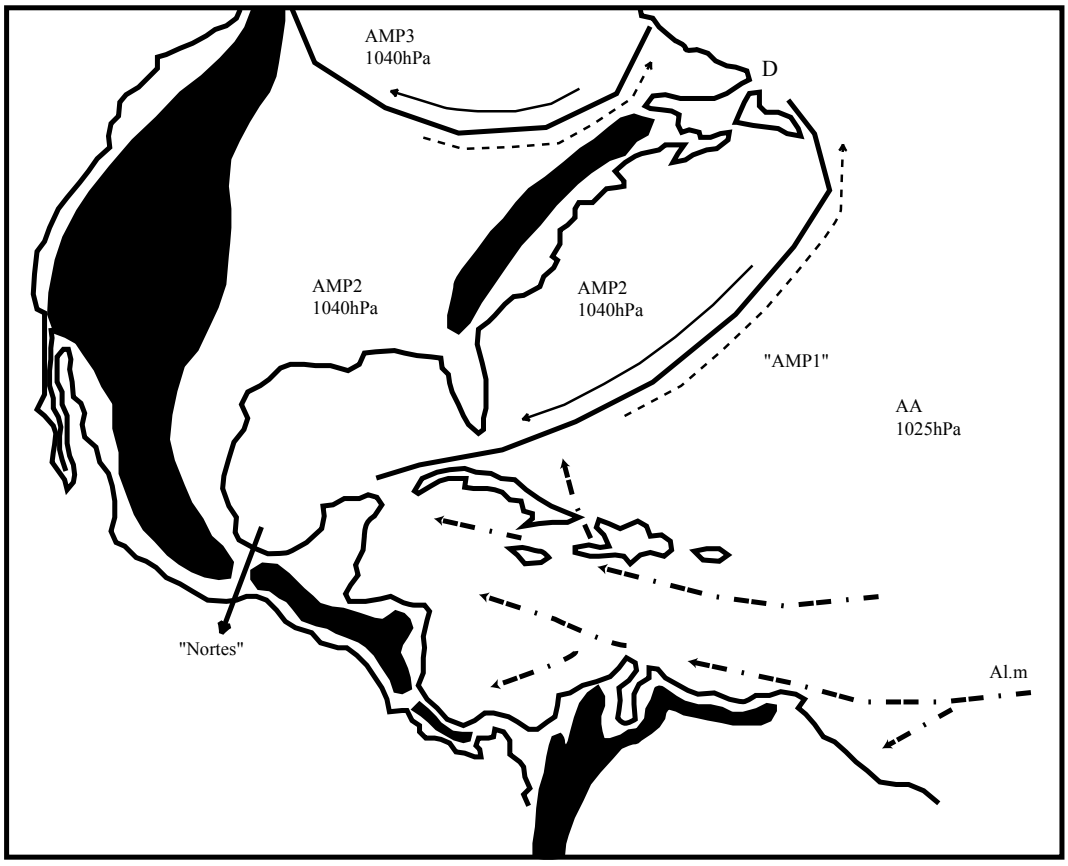


**Photo n°13(C) : AMP, trajectoire à l'est des Rocheuses, en direction de l'océan Atlantique et de l'AA dite des "Bermudes-Açores"**
**(GOES 8, est, vis, le 15/1/2000, 18h15 T.U)**

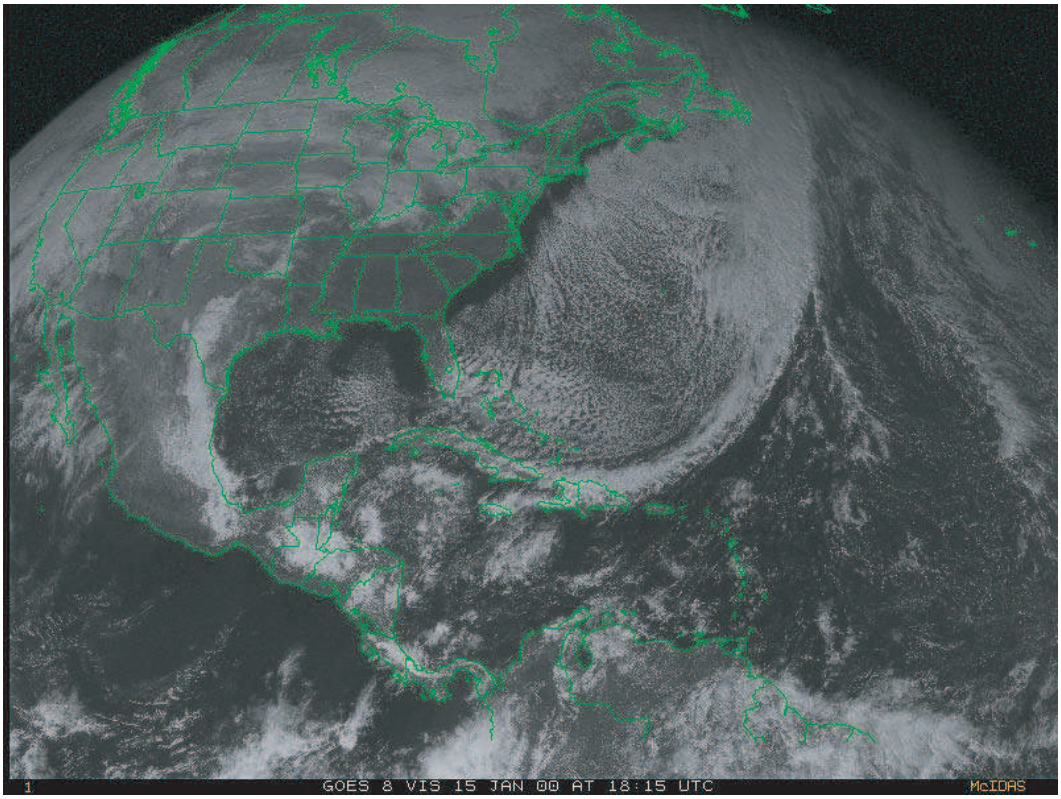



**Figure n°14(C) : Analyse de la photo satellite GOES 8, est, vis, le 15/1/2000, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA,"Tropical surface analysis, Atlantic",18h00 T.U)*
*(D'après analyse de la CFE GEIC, Mexico, "Sistemas principales", 06h45 heure locale)*

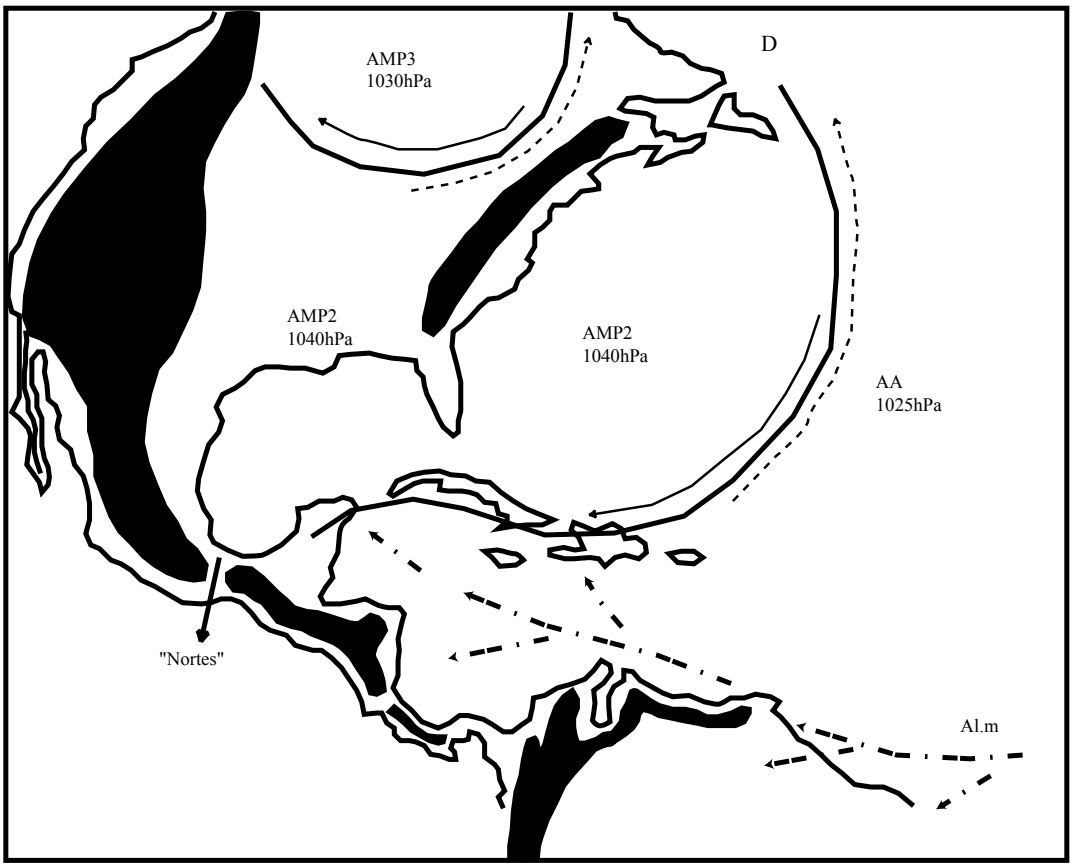


**Photo n°13(D) : AMP, trajectoire à l'est des Rocheuses, en direction de l'océan Atlantique et de l'AA dite des "Bermudes-Açores"**
**(GOES 8, est, vis, le 16/1/2000, 18h15 T.U)**

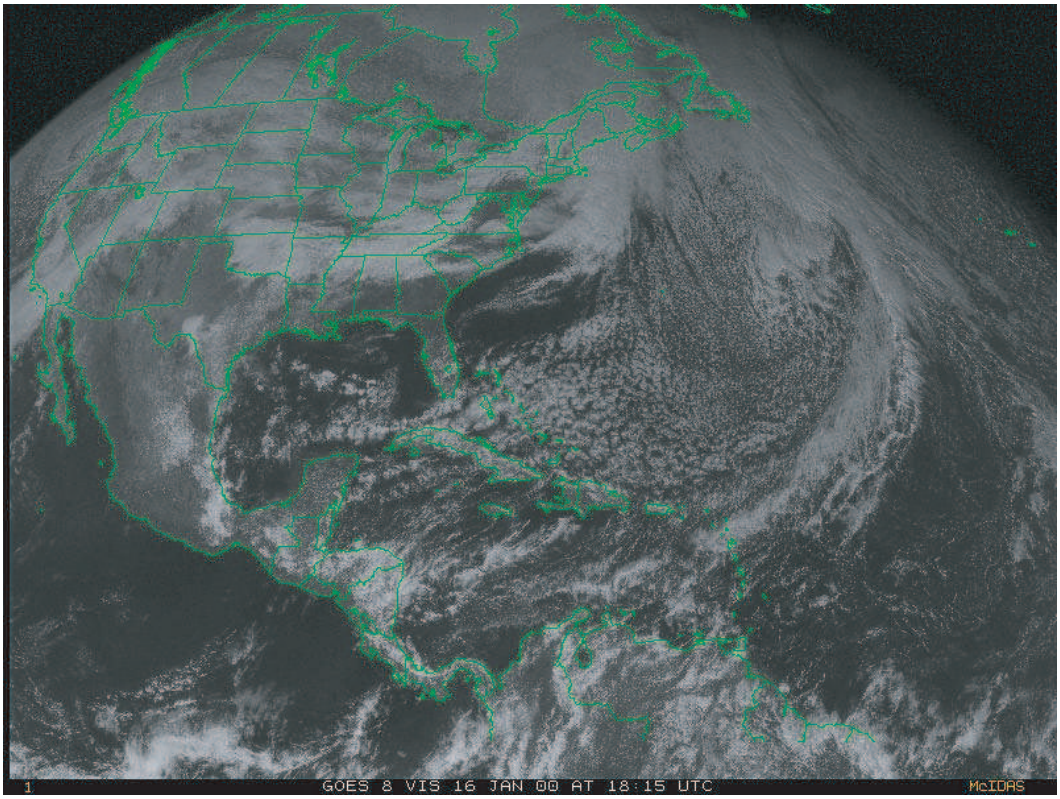



**Figure n°14(D) : Analyse de la photo satellite GOES 8, est, vis, le 16/1/2000, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA,"Tropical surface analysis, Atlantic",18h00 T.U)*
*(D'après analyse de la CFE GEIC, Mexico, "Sistemas principales", 06h45 heure locale)*

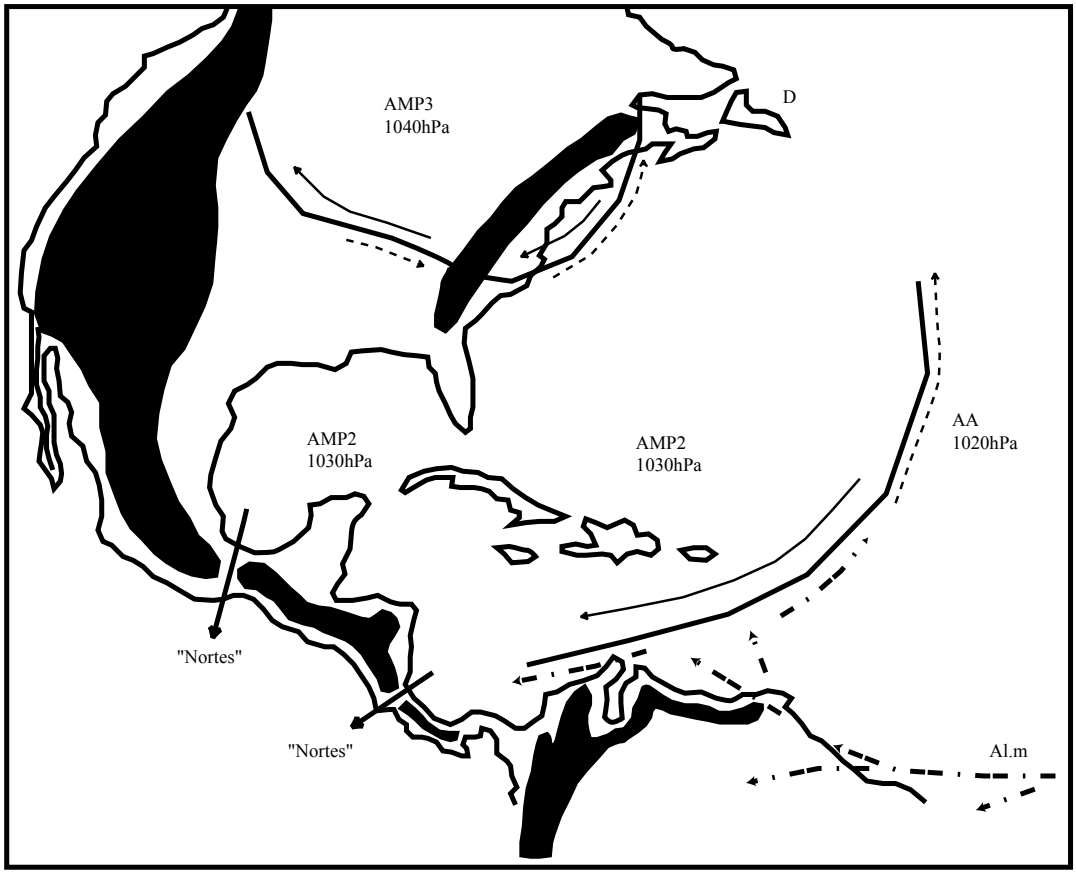


**Photo n°13(E) : AMP, trajectoire à l'est des Rocheuses, en direction de l'océan Atlantique et de l'AA dite des "Bermudes-Açores"**
**(GOES 8, est, vis, le 17/1/2000, 18h15 T.U)**

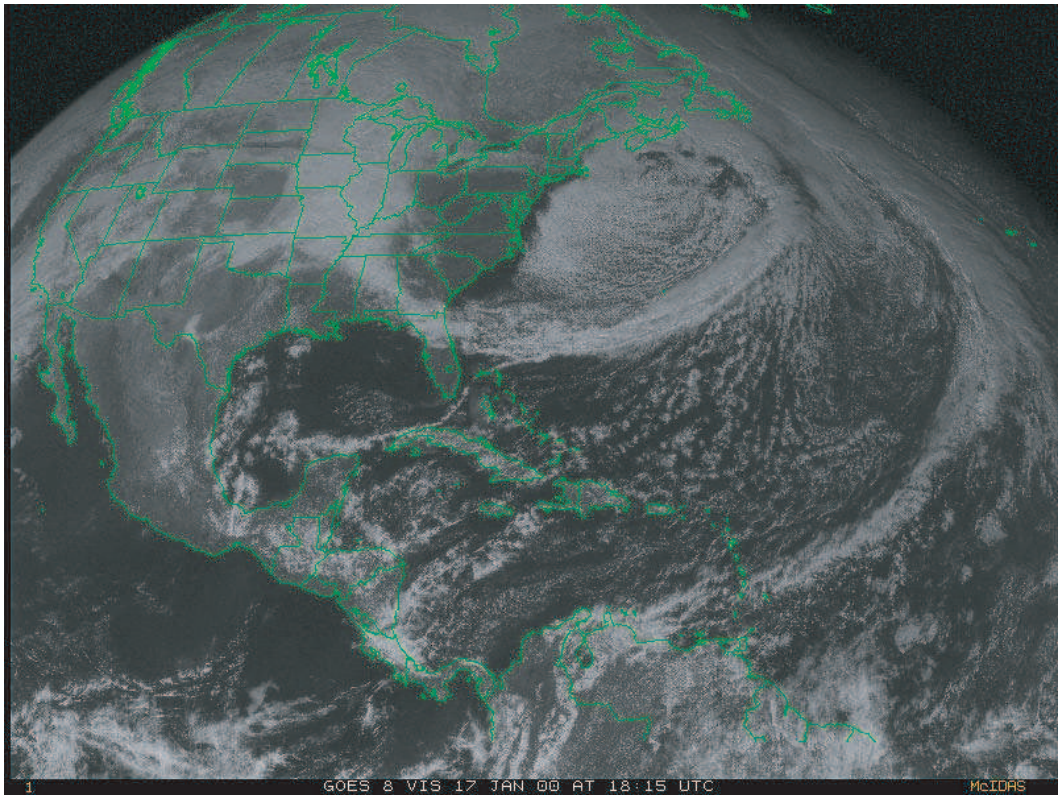



**Figure n°14(E) : Analyse de la photo satellite GOES 8, est, vis, le 17/1/2000, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après analyse de la CFE GEIC, Mexico, "Sistemas principales", 06h45 heure locale)*

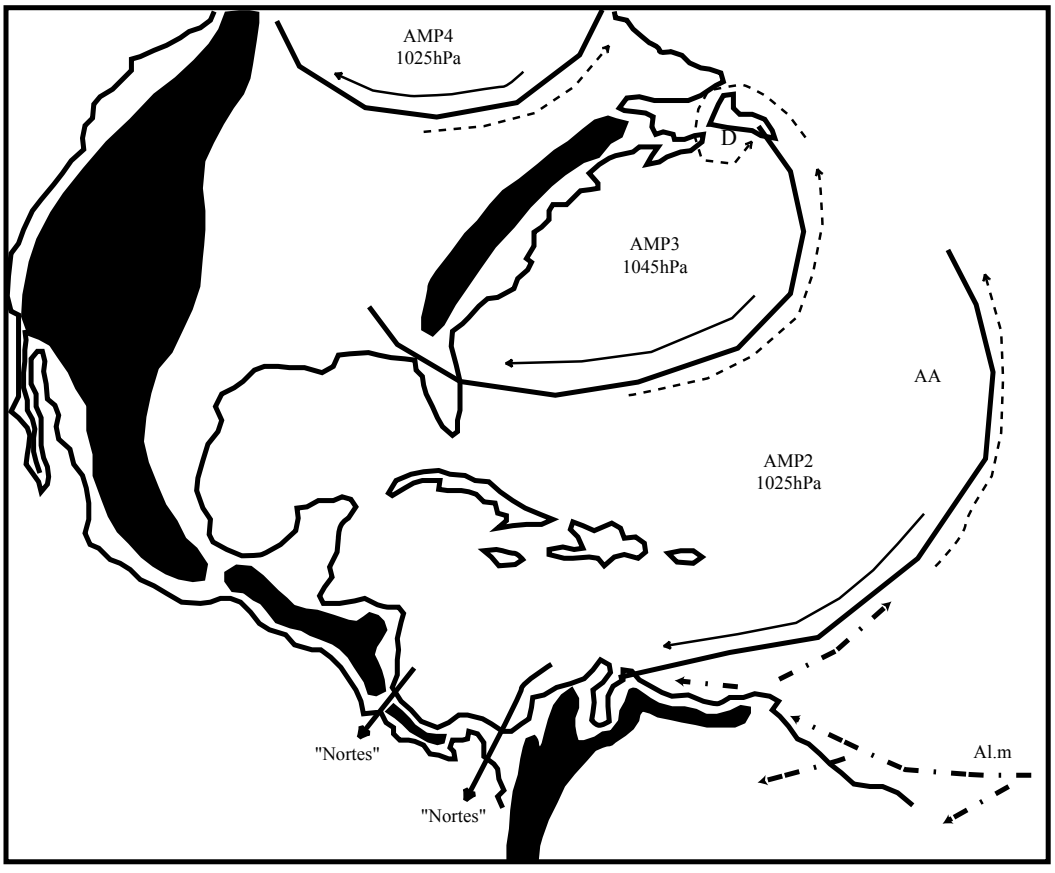


**Photo n°13(F) : AMP, trajectoire à l'est des Rocheuses, en direction de l'océan Atlantique et de l'AA dite des "Bermudes-Açores"**
**(GOES 8, est, vis, le 18/1/2000, 18h15 T.U)**

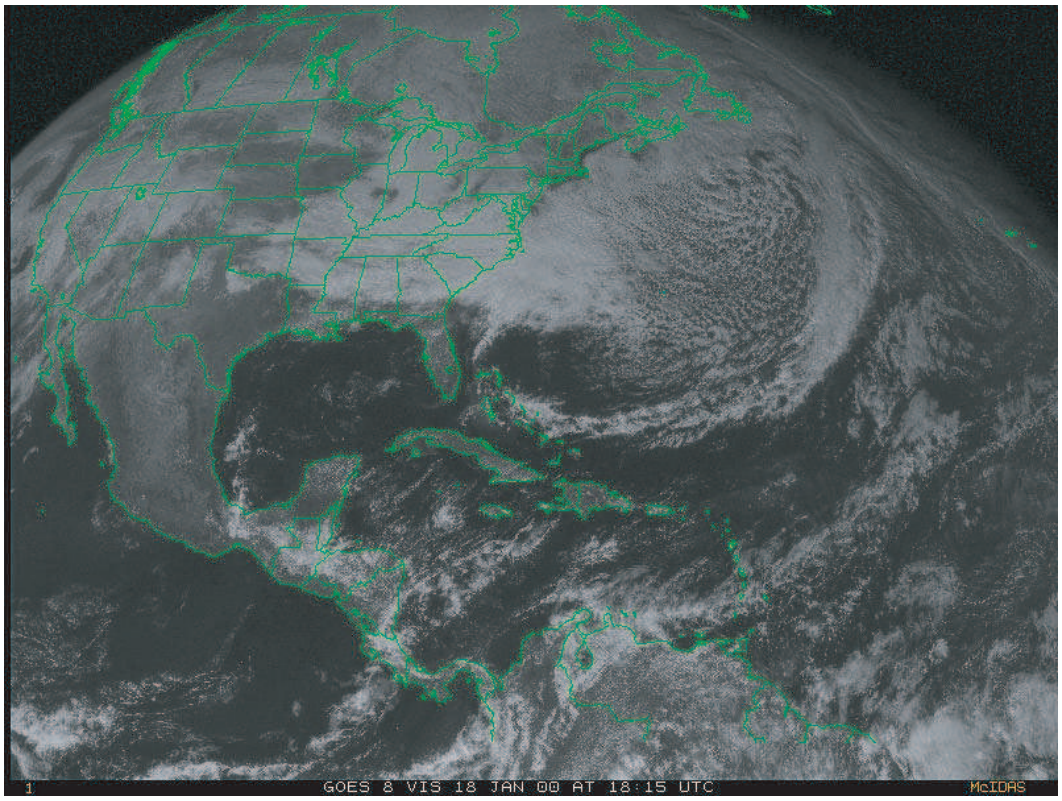



**Figure n°14(F) : Analyse de la photo satellite GOES 8, est, vis, le 18/1/2000, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Surface pressure analysis, 18h00 T.U)*
*(D'après analyses de la CFE GEIC, Mexico, "Sistemas principales", 06h45 heure locale)*

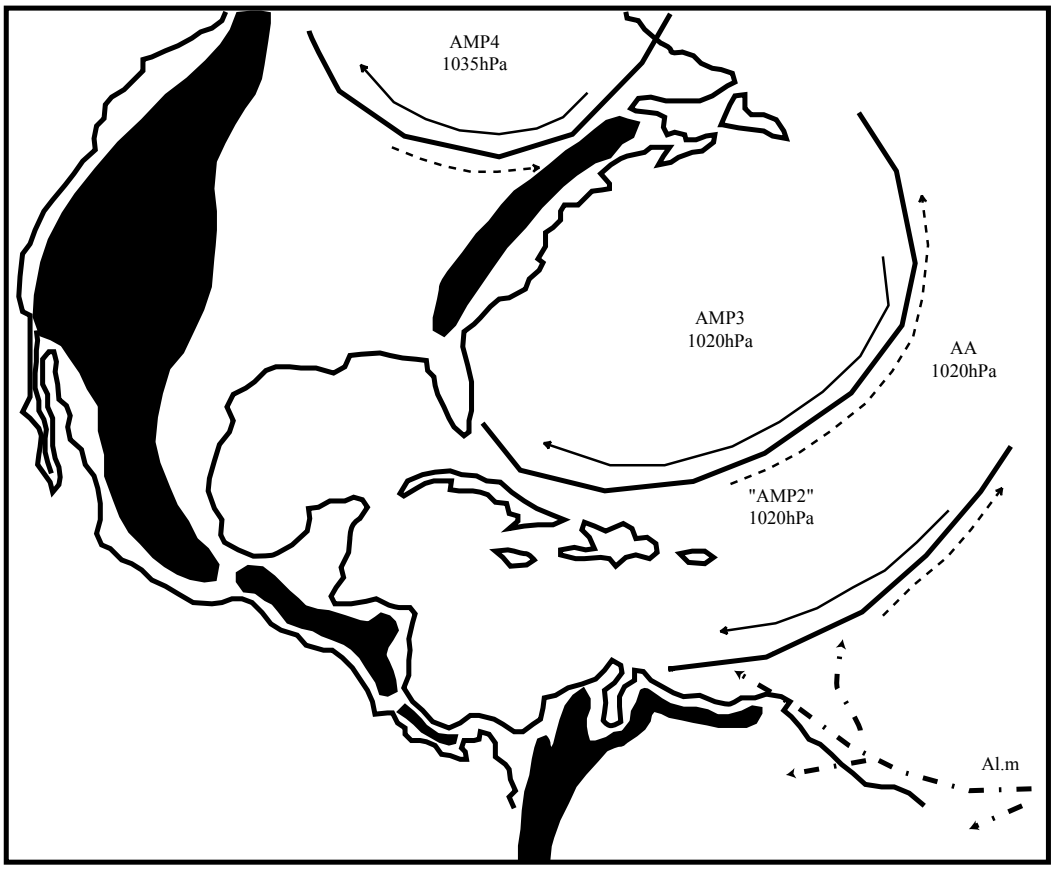
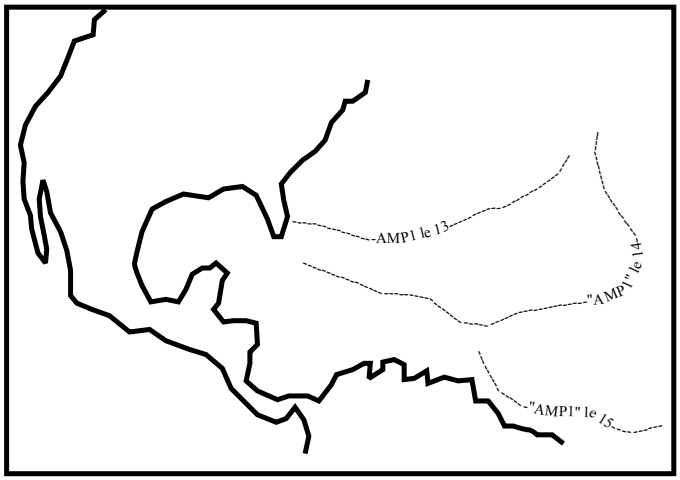


**Figure n°14(G) : Evolution de la situation de surface du 13 au 18/1/2000**

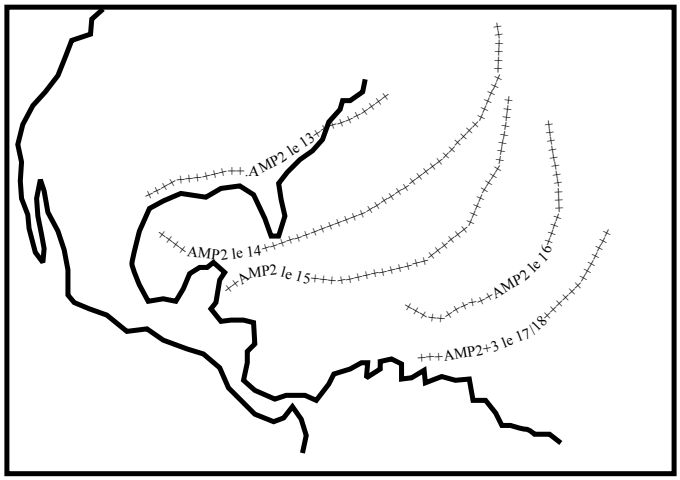
*(d'après cartes de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h T.U)*

*(d'après analyses de la CFE GEIC, Mexico, "sistemas principales", 06h45 heure locale)*

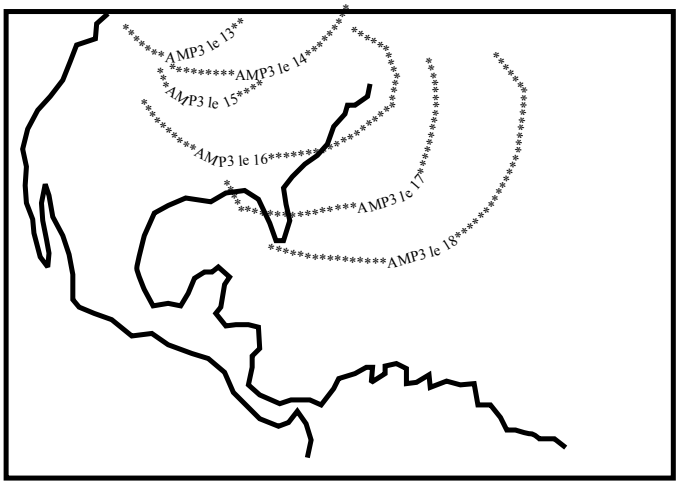
**AMP1**



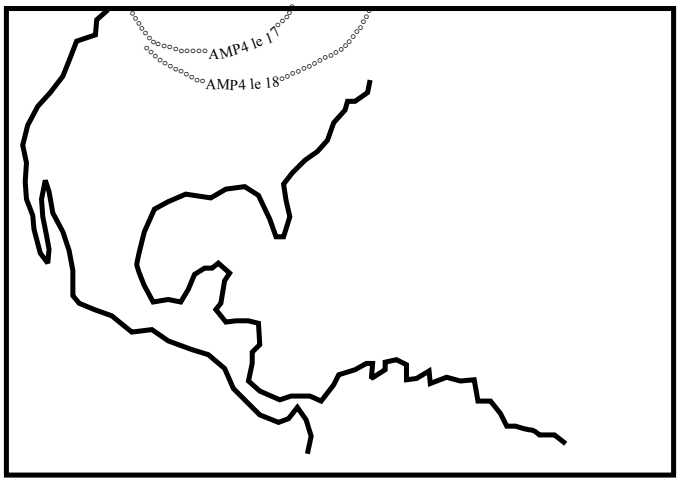

**AMP2**



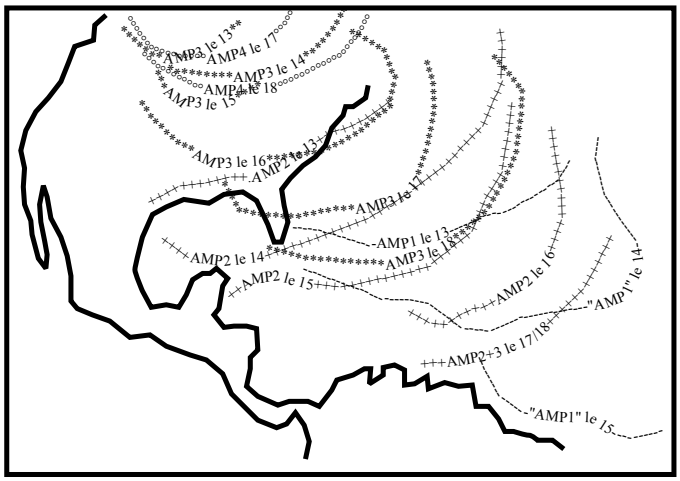

**AMP3**




**AMP4**




**AMP1 à 4**



Rocheuses à l'ouest et les Appalaches à l'est). La face avant de l'AMP2 est soulignée par d'intenses formations nuageuses, les flux chauds alentours, sur la face avant de l'AMP, s'élèvent et/ou contournent l'AMP vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique, en direction de la dépression associée à l'AMP. Au pied des Appalaches, qui favorisent les ascendances, cette dépression associée ou cyclone (D) se creuse de plus en plus et contribue à l'accélération des flux déviés. L'AMP1, sur l'océan Atlantique participe à la formation de l'AA saisonnière dite « des Bermudes », extension hivernale de l'AA de l'Atlantique du nord-est dite « des Açores ». Cette dernière, alimente sur sa partie sud la mousson amazonienne (MA) et accélère l'Al.m qui se dirige vers le Golfe du Mexique. Ce flux chaud et humide, donc instable, se soulève lorsqu'il rencontre les reliefs ou la face avant des AMP.

- **Commentaire de la fig. n°14B (analyse de la photo satellite du 14/1/00) :**

L'AMP2 a poursuivi son déplacement vers le sud-sud-est, contribuant au glissement vers le sud de l'AMP1. L'AMP1, difficilement repérable sur la photo satellite est quasi intégré dans l'AA dite « des Bermudes/Açores » et contribue à son renforcement. L'AMP2, en arrivant sur l'Atlantique, s'humidifie, comme en témoignent les brouillards et les formations nuageuses de basse couche qui s'étendent de la Floride jusqu'à l'extrémité nord-est du Canada. Sous l'effet de la rotation anticyclonique, l'air froid se dirige vers l'ouest du Golfe du Mexique où il est arrêté par la Sierra Madre orientale comme en témoignent les formations nuageuses qui épousent le sud-est du relief mexicain. Sur le nord-nord-est du Canada, l'alimentation se poursuit, nous observons l'AMP3. La face avant de l'AMP2 est soulignée par d'intenses formations nuageuses qui s'étirent depuis le nord du Yucatán jusqu'au nord-est du Canada (l'Al.m atlantique, sur la face avant de l'AMP s'élève et/ou fuit, le long du couloir dépressionnaire périphérique, vers le nord-nord-est en direction de la dépression associée).

- **Commentaire de la fig. n°14C (analyse de la photo satellite du 15/1/00) :**

L'AMP1 fait partie intégrante de l'AA dite « des Bermudes/Açores ». Sur l'extrémité nord-nord-ouest du Canada, l'AMP3 poursuit son déplacement vers le sud-sud-est. L'AMP2 s'est également déplacé vers le sud-sud-est ; au sud du relief mexicain, l'air froid s'écoule sur le Pacifique par l'isthme de Tehuantepec, en direction de l'EM. Au sud de l'AA dite « des Bermudes/Açores », l'Al.m rencontre les reliefs du nord de l'Amérique du Sud comme en témoignent les intenses formations nuageuses.

- **Commentaire de la fig. n°14D (analyse de la photo satellite du 16/1/00) :**

L'AMP3 a glissé vers le sud et l'est. Une partie de la masse anticyclonique se déverse par-dessus les Appalaches (orientées favorablement). Sur sa face avant, l'AMP3 provoque l'ascension des flux rencontrés sur son passage, flux plus « chauds » et/ou leur fuite vers le nord-nord-est. L'AMP2 perd peu à peu de sa puissance ; au contact de l'océan et, à ces latitudes, la masse d'air polaire arctique s'est peu à peu « tropicalisée » et, en partie écoulée vers le Pacifique. L'air froid qui se dirige vers l'ouest et s'engouffre dans l'isthme de Tehuantepec et l'ensellement du Nicaragua a perdu de sa puissance. Les formations nuageuses (attestant cette rencontre entre l'air froid et les reliefs) n'épousent plus parfaitement

les formes des reliefs centraméricains. Au sud de l'AA dite « des Bermudes/Açores », l'Al.m se dirige vers le Golfe du Mexique et l'Amérique Centrale.

- **Commentaire de la fig. n°14E (analyse de la photo satellite du 17/1/00) :**

Nous observons un nouvel AMP sur l'extrémité nord-ouest du canada, l'AMP4. L'AMP3 se dirige vers le sud-est (les Appalaches ont retardé sa progression mais n'ont pas réussi à le dévier de sa course). L'air polaire arctique, arrive sur l'océan Atlantique où les températures de surface océanique sont moins froides que celles de l'air contenu dans la masse anticyclonique ; les différences de températures conduisent à l'apparition de brouillards et de formations nuageuses de basses couches. Sur sa face avant, l'AMP3 provoque le soulèvement de l'air (plus « chaud ») rencontré et/ou sa fuite, le long du couloir dépressionnaire périphérique, vers le nord-nord-est où se trouve sa dépression associée (ou cyclone). Cette dépression associée (située sur l'extrémité nord-est du Canada) se creuse progressivement et contribue à l'accélération des flux déviés. L'AMP2 s'est déplacé vers l'est et constitue l'essentiel de l'AA dite « des Bermudes/Açores ». Il a perdu de sa puissance mais il provoque encore le soulèvement de l'air (plus chaud) sur sa face avant qui reste repérable (depuis le Venezuela jusqu'aux Açores). L'air froid se plaque moins aux reliefs centraméricains mais s'infiltre cependant dans l'ensellement du Nicaragua et l'isthme de Panama (les flux de nord sont cependant bien moins violents que les jours précédents).

- **Commentaire de la fig. n°14F (analyse de la photo satellite du 18/1/00) :**

L'AMP3 continue son déplacement vers l'est. Sa face avant s'étire depuis le sud de la Floride jusqu'au nord-est du Canada. L'AMP2 est désormais difficilement repérable sur la photo satellite, il fait partie de l'AA dite « des Bermudes/Açores ». Sur le nord-est du Canada, un nouvel AMP, l'AMP4 est repérable, le cortège continue... La succession incessante d'AMP contribue à l'alimentation de l'AA dite « des Bermudes/Açores ».

- **Commentaire de la fig. n°14G (figure récapitulative) :**

Sur cette figure récapitulative de la situation étudiée précédemment, nous observons la succession incessante d'AMP. Ces AMP, originaires de l'Arctique, après s'être déplacés depuis le nord du Canada vers le Golfe du Mexique (canalisés par le relief nord-américain entre les Montagnes Rocheuses à l'ouest et les Appalaches à l'est) et/ou l'océan Atlantique tropical (après s'être déversés par dessus les Appalaches ou après être passés plus au nord) pour ensuite glisser vers le sud-sud-est, viennent s'agglutiner à la latitude de ce que l'on appelle communément « la cellule anticyclonique de l'Atlantique nord » qui est donc formée ici, par l'AMP1 apparu le 13/1/00 puis par l'AMP2 apparu le 13/1/00 puis par l'AMP3 apparu le 13/1/00 puis par l'AMP4 apparu le 17/1/00...

La perception statistique des phénomènes, basée sur des moyennes de pression, est à l'origine de la reconnaissance de ce « centre d'action ». qui apparaît ainsi comme étant un « personnage » statistique figé (« l'anticyclone des Açores », des « Bermudes/Açores » en hiver), incapable de rendre compte de la réalité puisque tout est mobile! Il est donc plus judicieux de parler d'agglutination anticyclonique (AA).

- **Bilan :**

Comme nous pouvons l'observer sur les photos satellites présentées ci-dessus, photos satellite n°13 (A à F) du 13/1/2000 au 18/1/2000 accompagnées des figures n°14 (A à F) et de la figure récapitulative n°14G, une deuxième trajectoire peut être individualisée. Elle s'observe en Amérique du Nord, à l'est des Montagnes Rocheuses, en direction de l'Atlantique.

Dans cet espace, la circulation dépend de l'intervention immédiate du Groenland (il s'étend entre 83° et 60° de latitude nord, sa partie centrale s'élève jusqu'à 3 230 mètres) qui envoie sur le Canada un nombre élevé d'AMP (un AMP sur deux). Les Montagnes Rocheuses, comme le Groenland, forment un rempart infranchissable. La trajectoire principale vers l'Atlantique se situe entre la terre de Baffin, le Groenland et le nord des Appalaches. Les Appalaches, quant à elles, ne constituent pas une barrière complète en raison de leur « faible » altitude et de leur orientation favorable par rapport au sens du déplacement des AMP. (M. Leroux, 1996).

**c) Sur le Pacifique sud-est et l'Atlantique sud-ouest (photos satellite n°14A à 14G ; fig. n°15A à 15H) :**

Nous allons présenter ici une nouvelle série de photos satellite GOES 8, full, est, visible, 18h00 T.U, du 22/9/01 au 28/9/01.

- **Commentaire de la fig. n°15A (analyse de la photo satellite du 22/9/01) :**

Sur l'océan Pacifique du sud-est et l'océan Atlantique du sud-ouest, nous observons plusieurs AMP originaires de l'Antarctique. L'AMP3 illustre le rôle joué par le relief andin à l'extrémité méridionale de l'Amérique du Sud sur le déplacement de ces masses anticycloniques, froides, denses, incapables de s'élever. L'AMP3 se scinde en deux, un premier noyau anticyclonique mobile remonte en direction du Pacifique (l'AMP3), un second remonte vers l'Atlantique (l'AMP3'). Sur la face avant de l'AMP2, les flux « chauds » rencontrés sont contraints à s'élever et/ou à fuir, le long du couloir dépressionnaire périphérique, vers le sud-sud-est, lieu où se situe la dépression associée ou cyclone (D) liée à l'AMP2 ; l'air chaud pénètre sur le littoral méridional du Chili. Sur l'océan Pacifique, au nord de l'AA dite « de l'île de Pâques », les flux d'Al.m se dirigent vers l'ouest tout en étant progressivement déviés en mousson panaméenne (MP) au franchissement de l'équateur géographique.

- **Commentaire de la fig. n°15B (analyse de la photo satellite du 23/9/01) :**

La présence d'un nouvel AMP, l'AMP4 a favorisé la scission de l'AMP3. L'apophyse (AMP3') pénètre sur le sud-ouest de l'océan Atlantique et provoque, à son tour, sur sa face avant (comme en témoignent les intenses formations nuageuses) l'ascendance des flux « chauds » rencontrés et/ou leur fuite vers le sud-sud-est, en direction de la dépression qui lui est associée (D). L'AMP1, en comprimant l'AMP3 contre le relief, contribue à sa migration vers le nord, le long des côtes du Chili. L'AMP3 favorise l'intégration de l'AMP2 dans l'AA dite « de l'île de Pâques ». Les flux déviés sur la face avant de l'AMP1, comprimés entre la face arrière de l'AMP3 et la face avant de l'AMP1, subissent une nette accélération. Cette

**Photo n°14(A) : AMP, trajectoire Pacifique du sud-est, Atlantique du sud-ouest et AA dite de "l'île de Pâques"**
**(GOES 10, est, vis, le 22/9/2001, 18h00 T.U)**

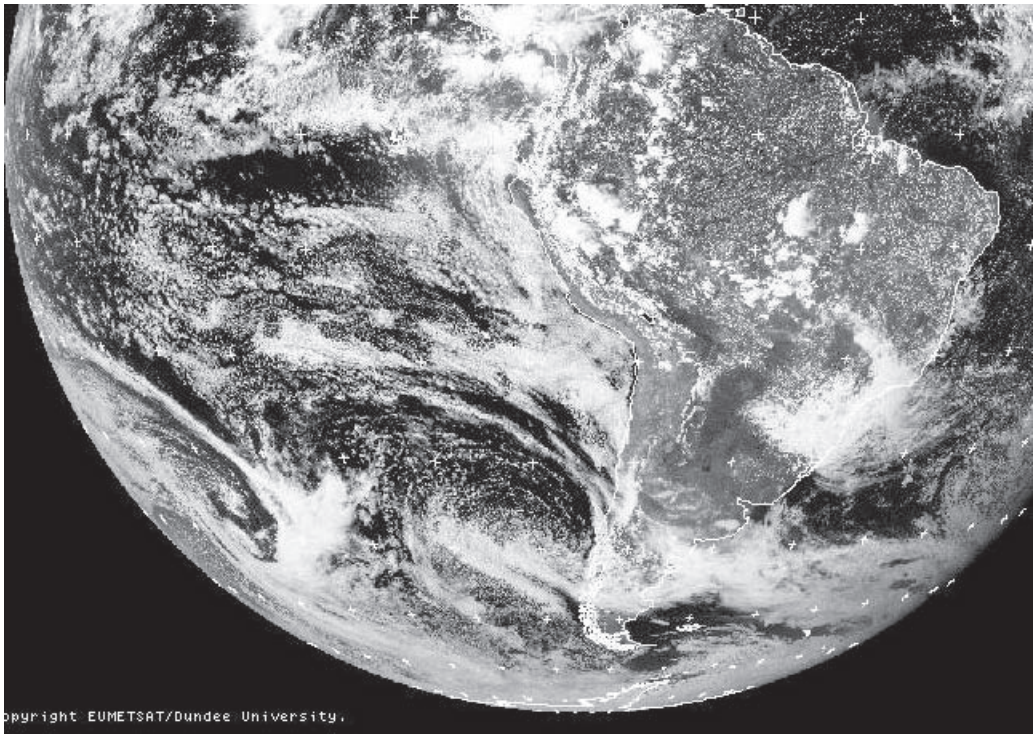



**Figure n°15(A) : Analyse de la photo satellite du 22/9/2001**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

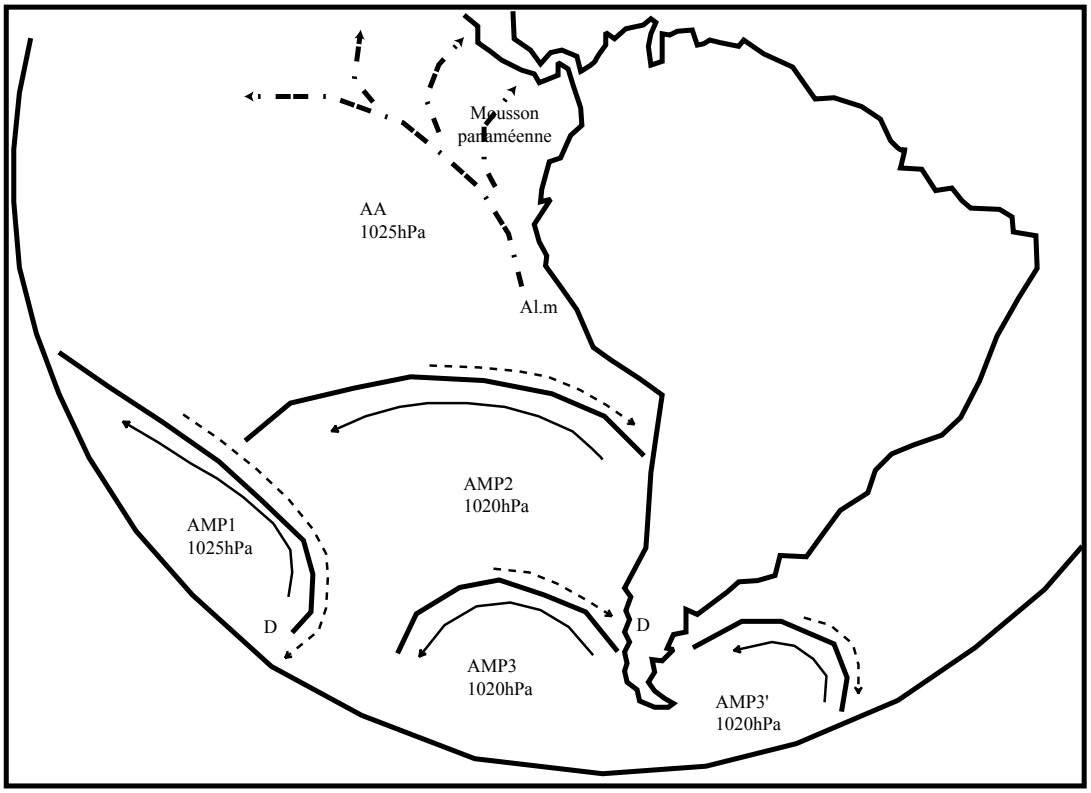


**Photo n°14(B) : AMP, trajectoire Pacifique du sud-est, Atlantique du sud-ouest et AA dite de "l'île de Pâques"**
**(GOES 10, est, vis, le 23/9/2001, 18h00 T.U)**

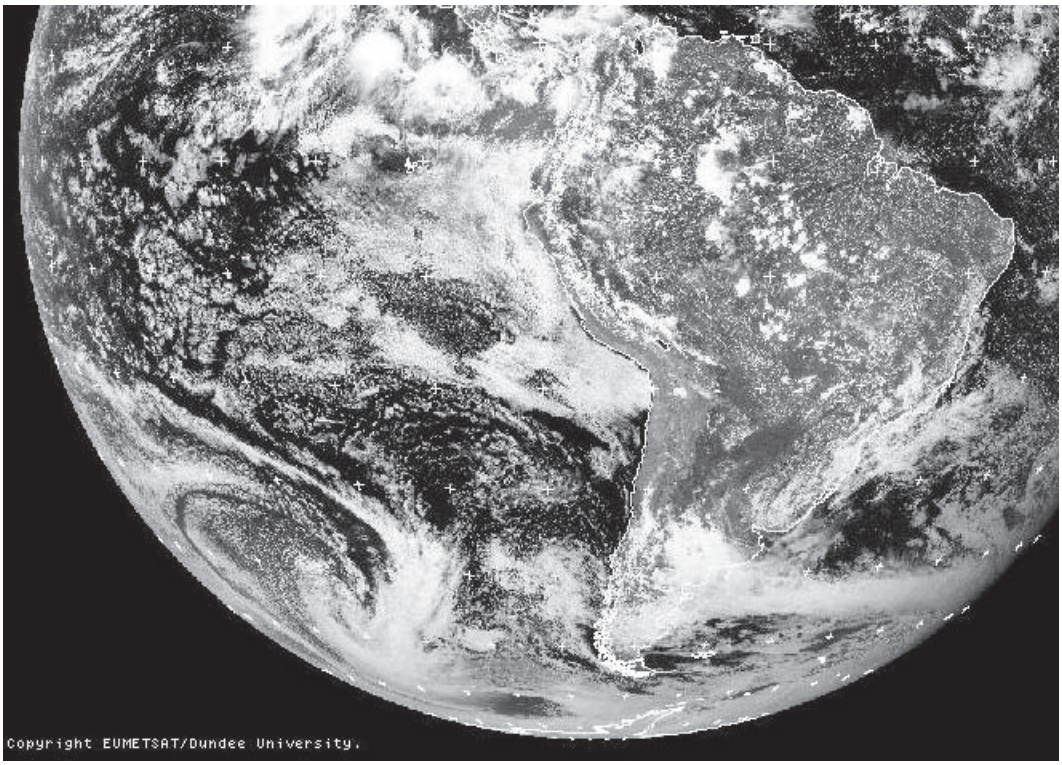



**Figure n°15(B) : Analyse de la photo satellite du 23/9/2001**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

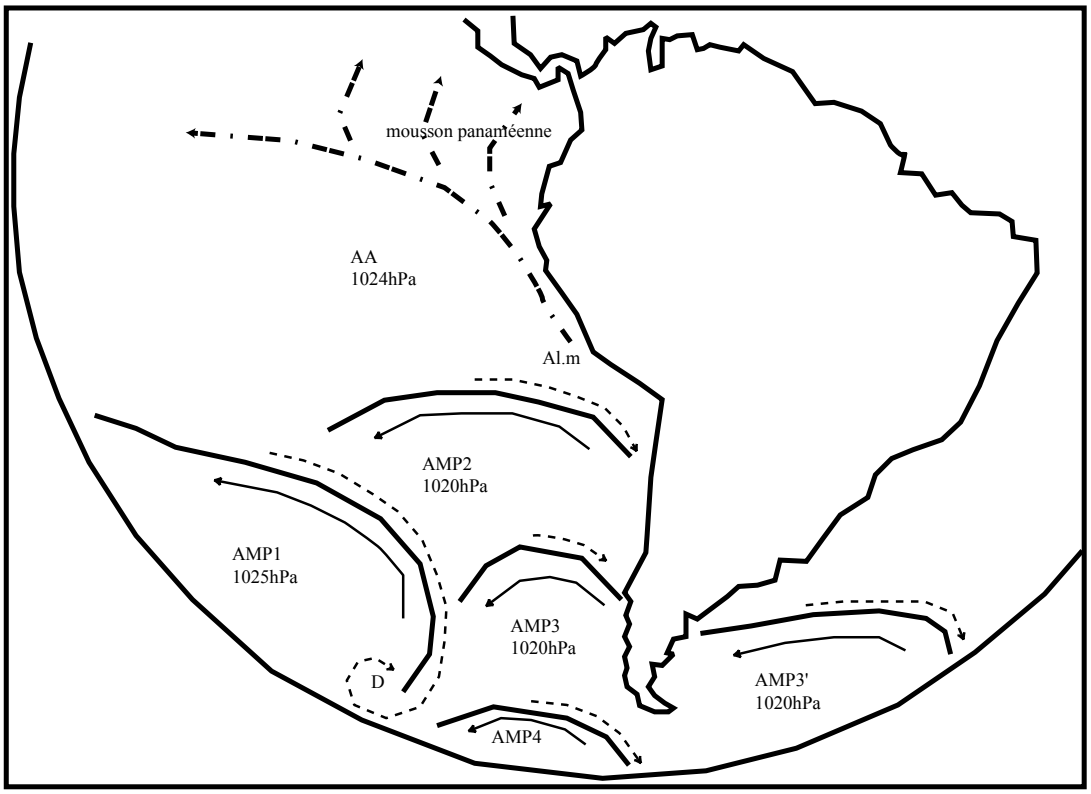


**Photo n°14(C) : AMP, trajectoire Pacifique du sud-est, Atlantique du sud-ouest et AA dite de "l'île de Pâques"**
**(GOES 10, est, vis, le 24/9/2001, 18h00 T.U)**

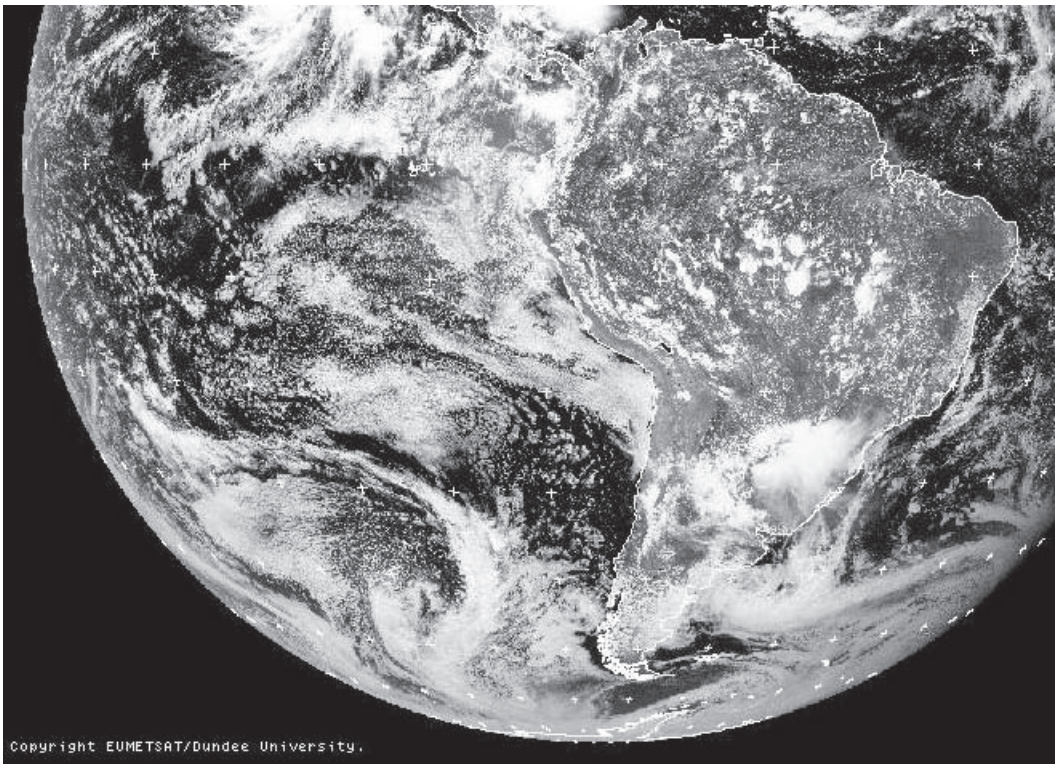



**Figure n°15(C) : Analyse de la photo satellite du 24/9/2001**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

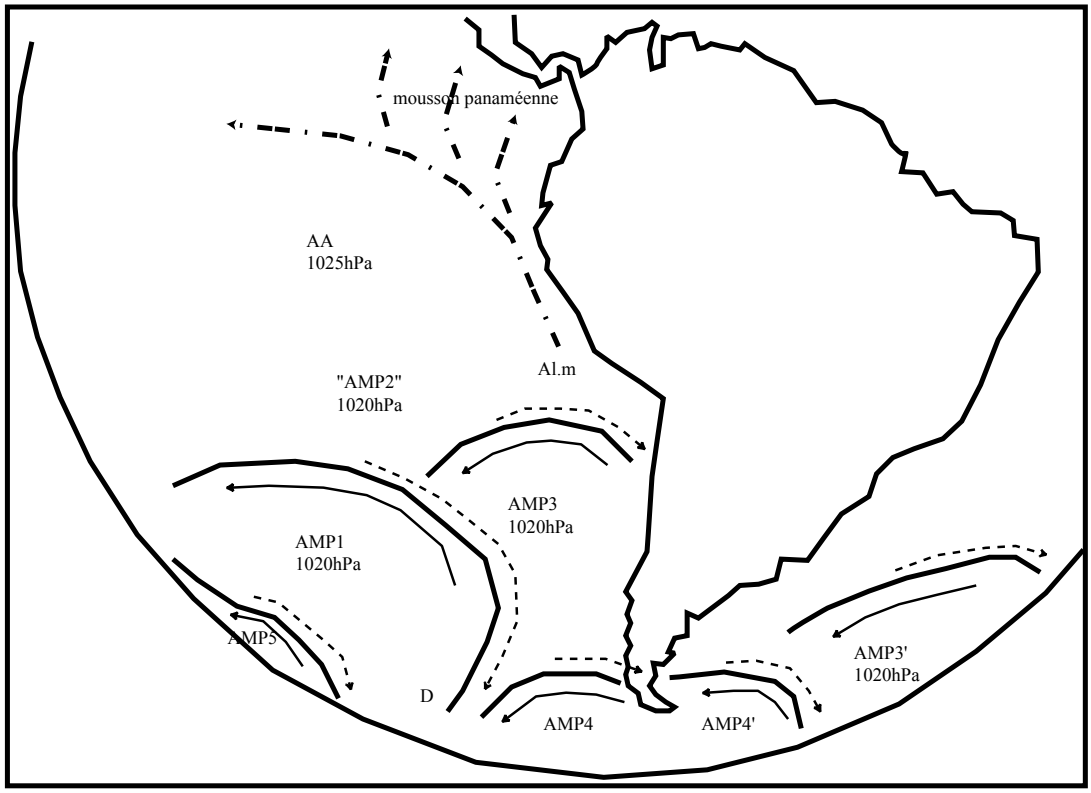


**Photo n°14(D) : AMP, trajectoire Pacifique du sud-est, Atlantique du sud-ouest et AA dite de "l'île de Pâques"**
**(GOES 10, est, vis, le 25/9/2001, 18h00 T.U)**

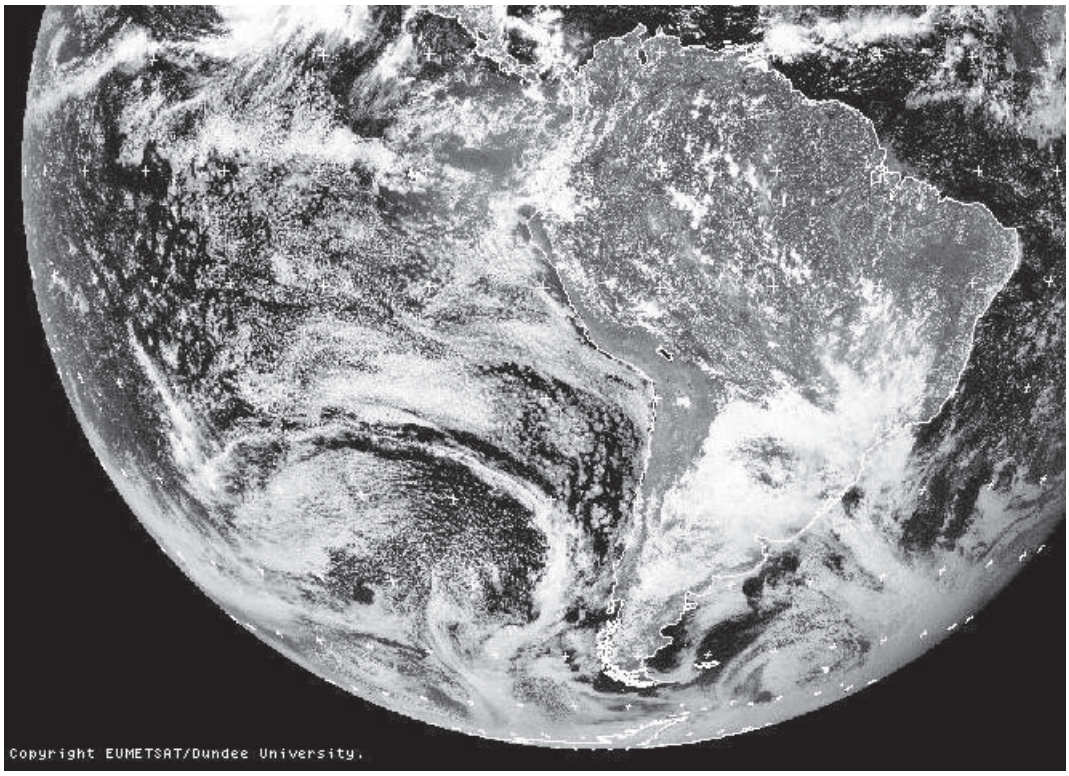



**Figure n°15(D) : Analyse de la photo satellite du 25/9/2001**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

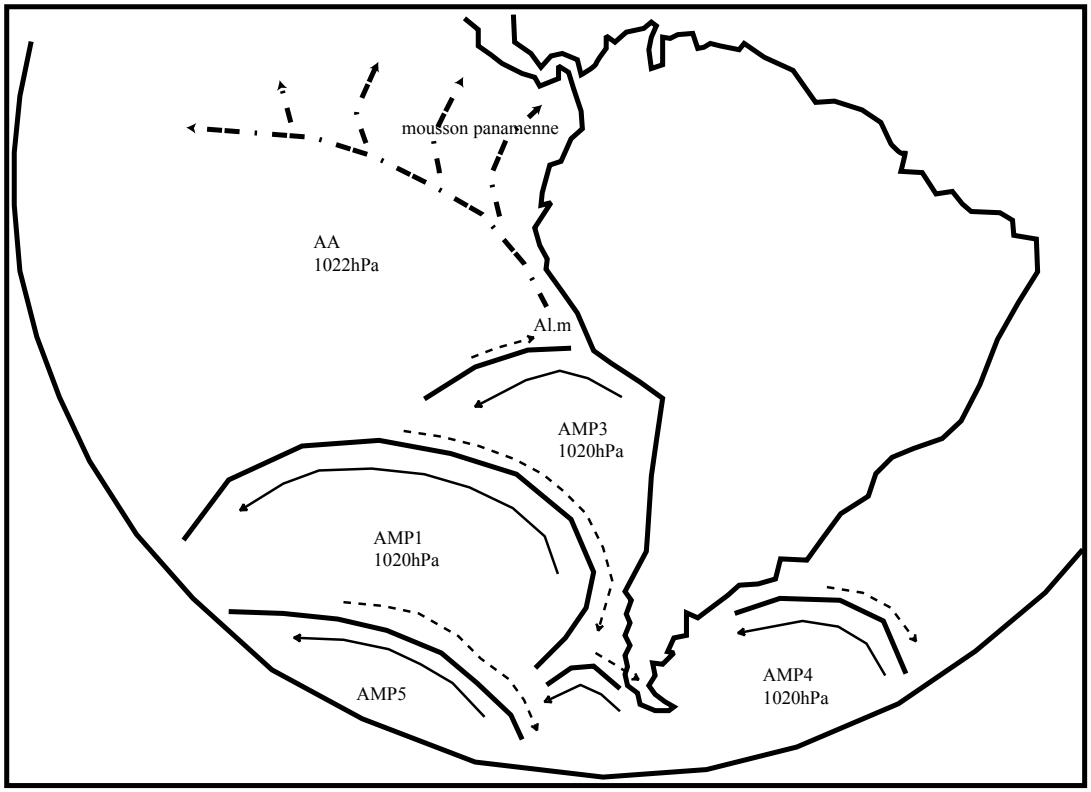


**Photo n°14(E) : AMP, trajectoire Pacifique du sud-est, Atlantique du sud-ouest et AA dite de "l'île de Pâques"**
**(GOES 10, est, vis, le 26/9/2001, 18h00 T.U)**

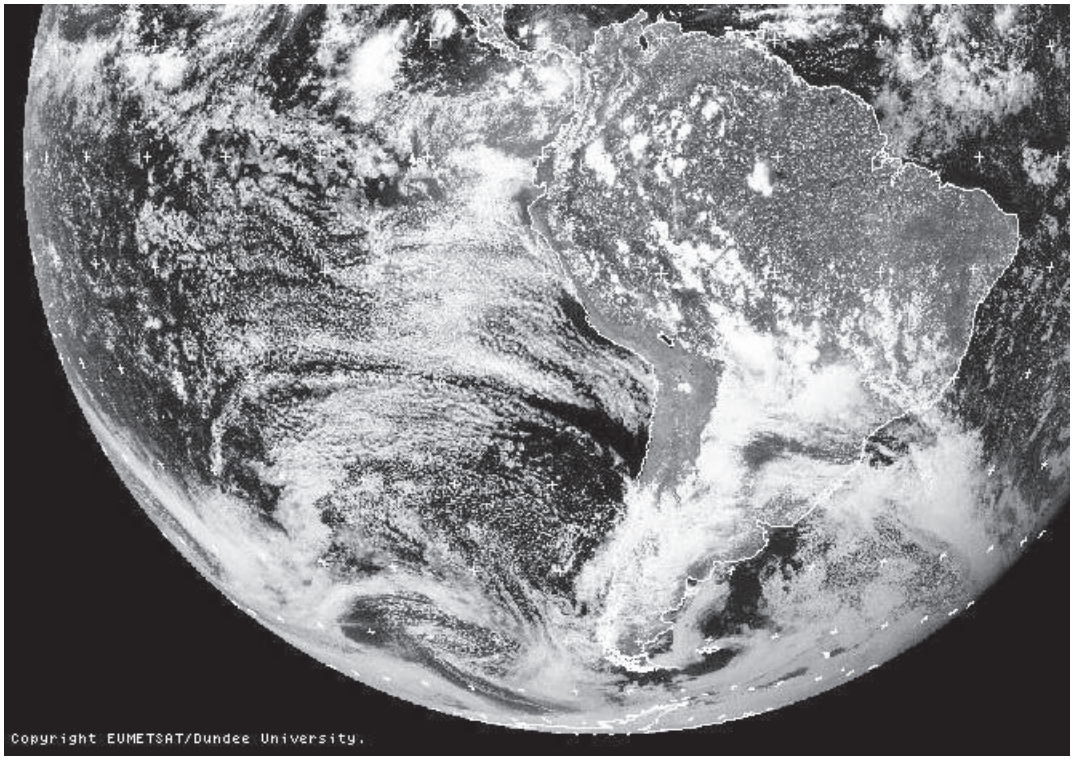



**Figure n°15(E) : Analyse de la photo satellite du 26/9/2001**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

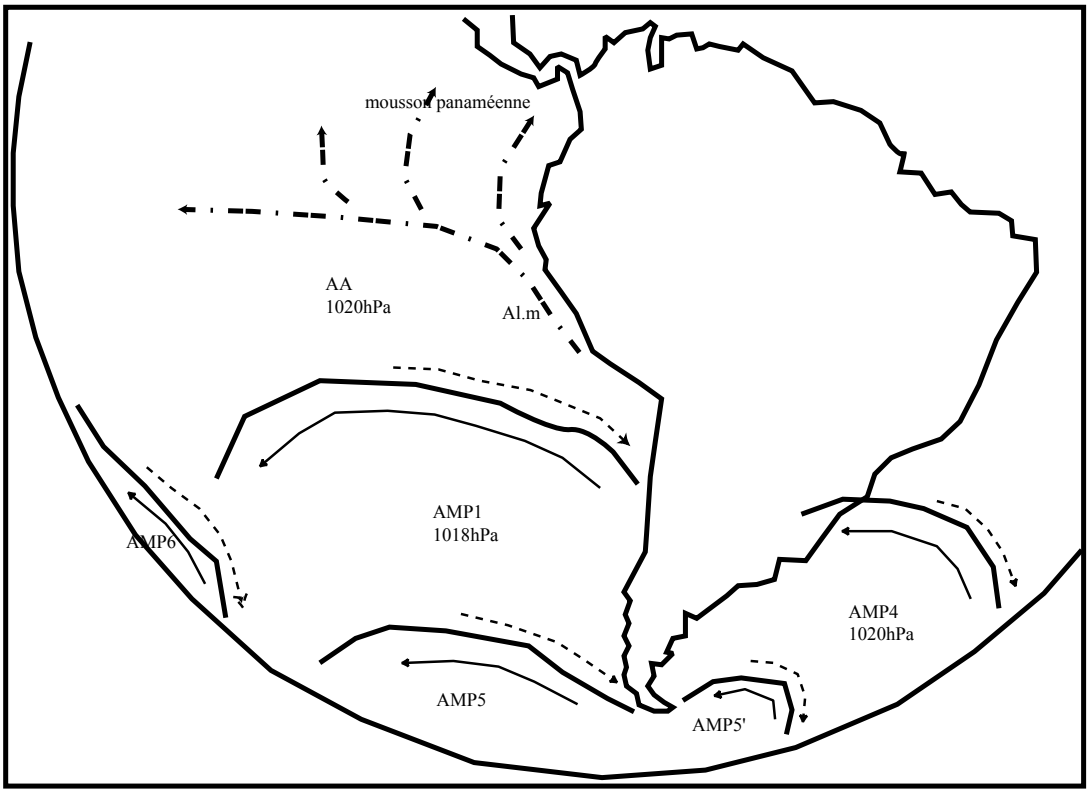


**Photo n°14(F) : AMP, trajectoire Pacifique du sud-est, Atlantique du sud-ouest et AA dite de "l'île de Pâques"**
**(GOES 10, est, vis, le 27/9/2001, 18h00 T.U)**

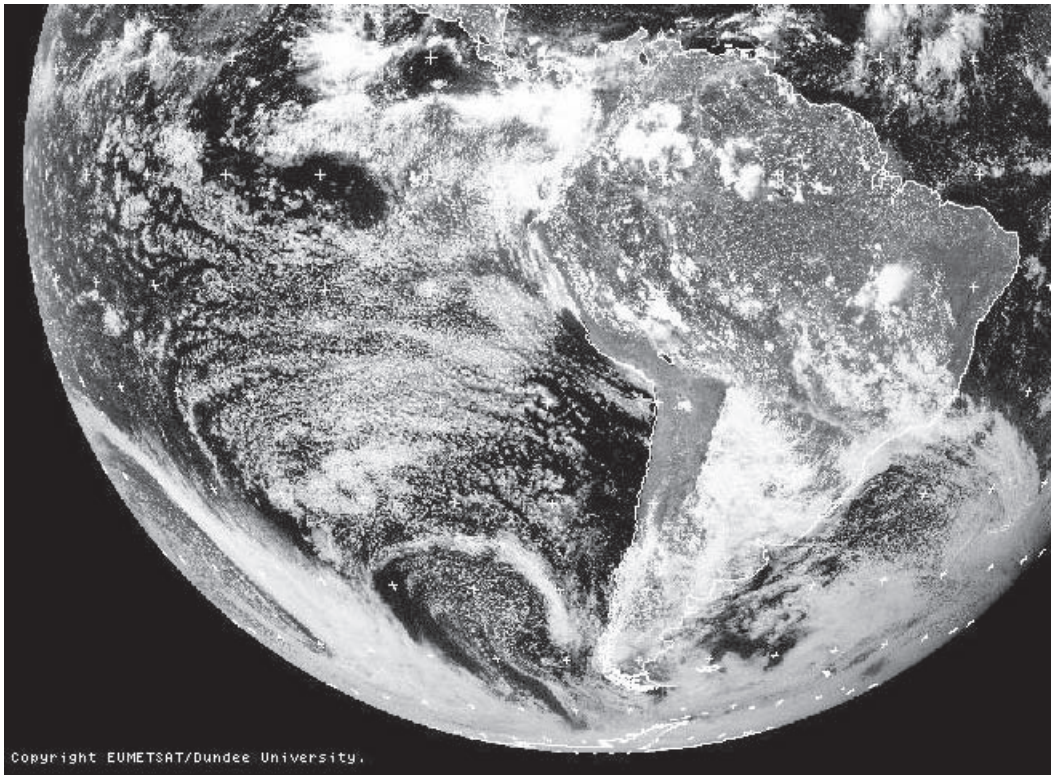



**Figure n°15(F) : Analyse de la photo satellite du 27/9/2001**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

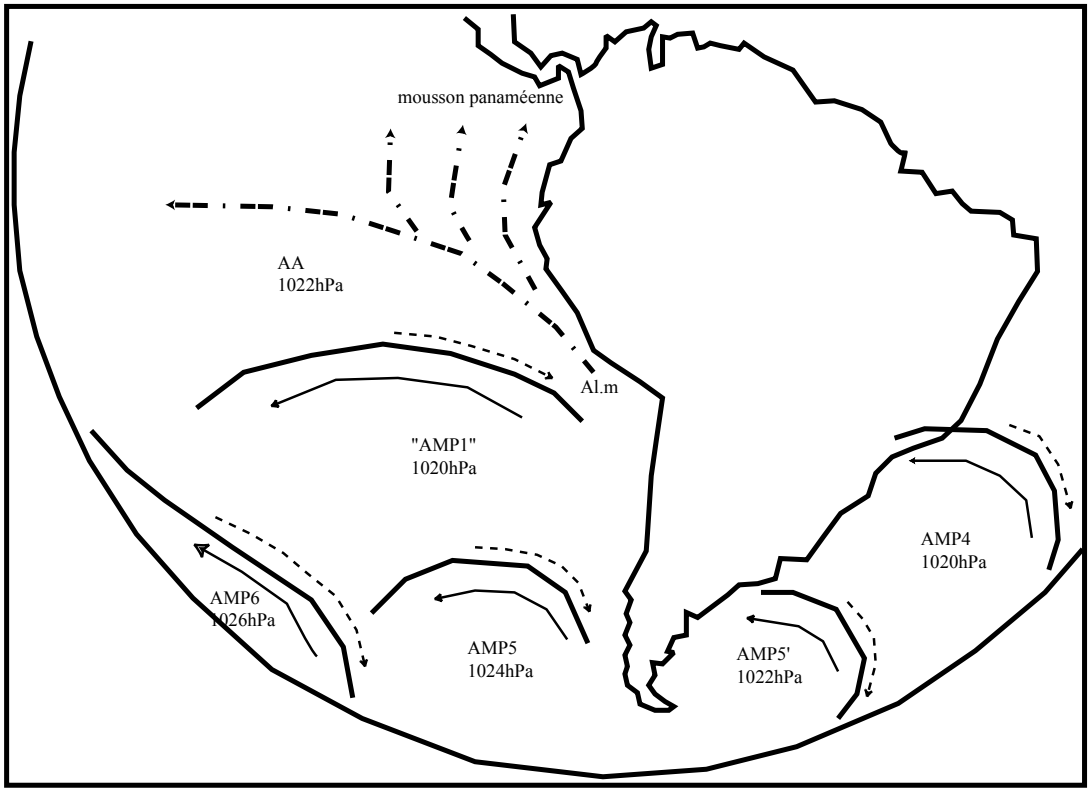


**Photo n°14(G) : AMP, trajectoire Pacifique du sud-est, Atlantique du sud-ouest et AA dite de "l'île de Pâques"**
**(GOES 10, est, vis, le 28/9/2001, 18h00 T.U)**

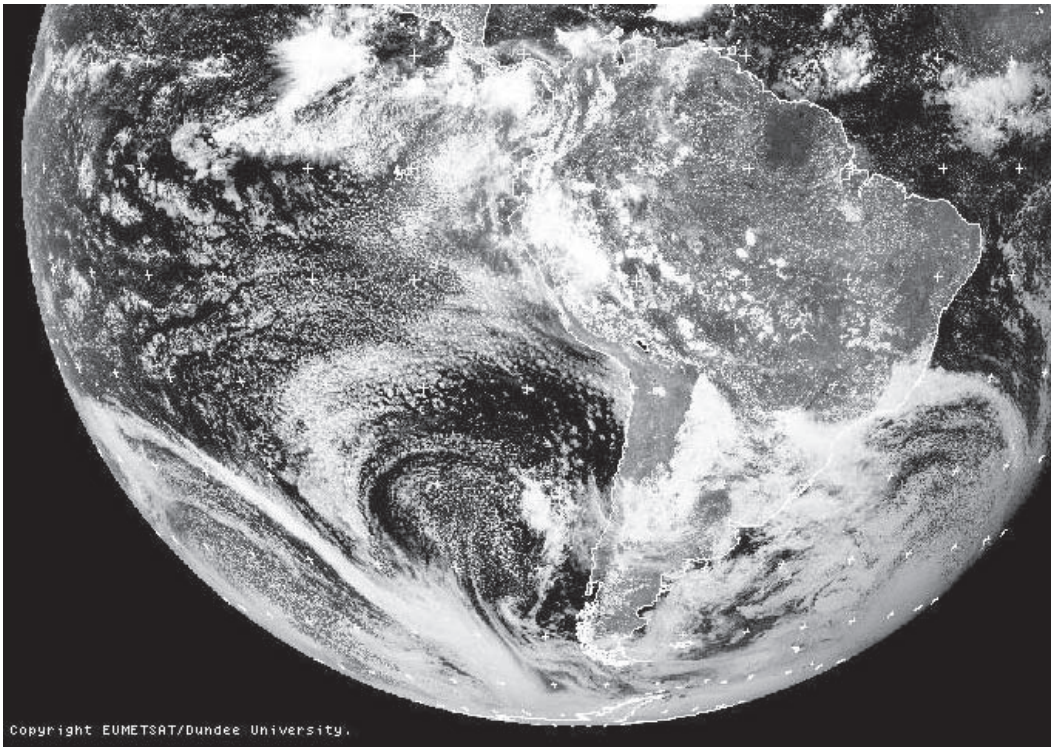



**Figure n°15(G) : Analyse de la photo satellite du 28/9/2001**
*(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

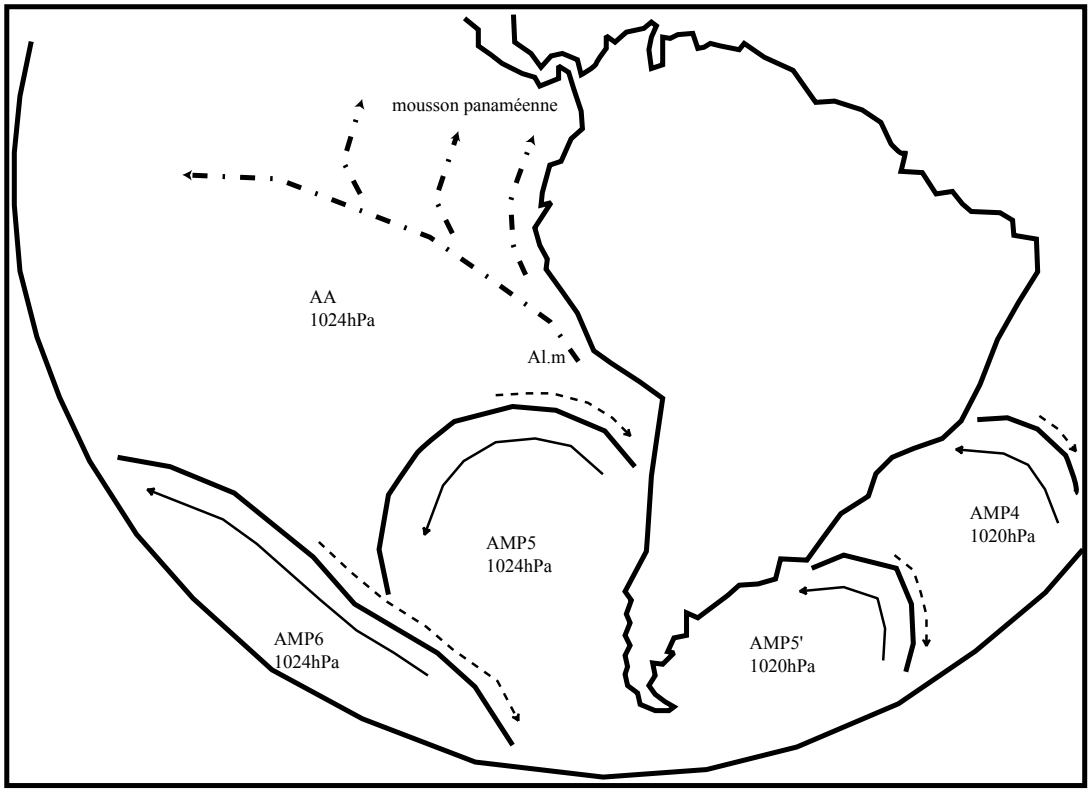
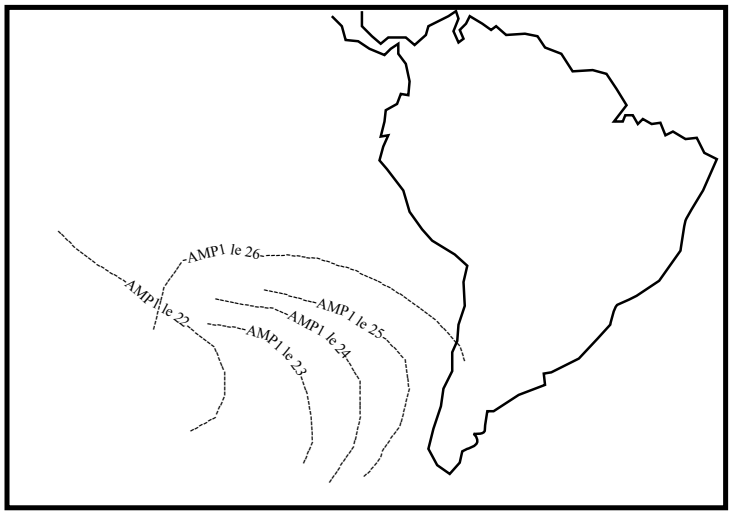


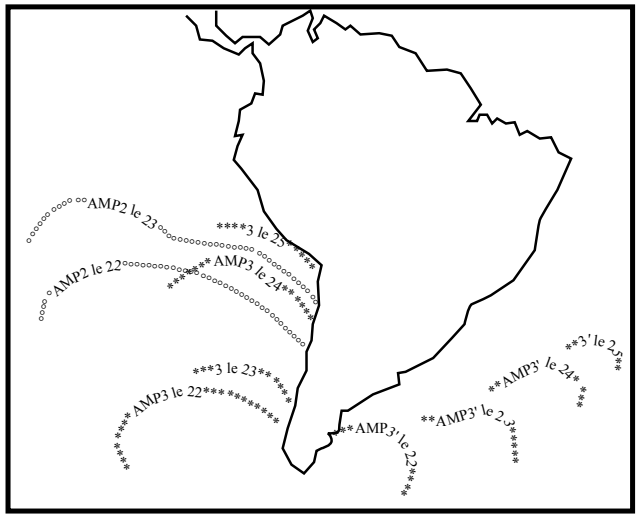
**Figure n°15(H) : Evolution de la situation de surface du 22 au 28/9/2001**

*(D'après cartes de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)*

**AMP1**



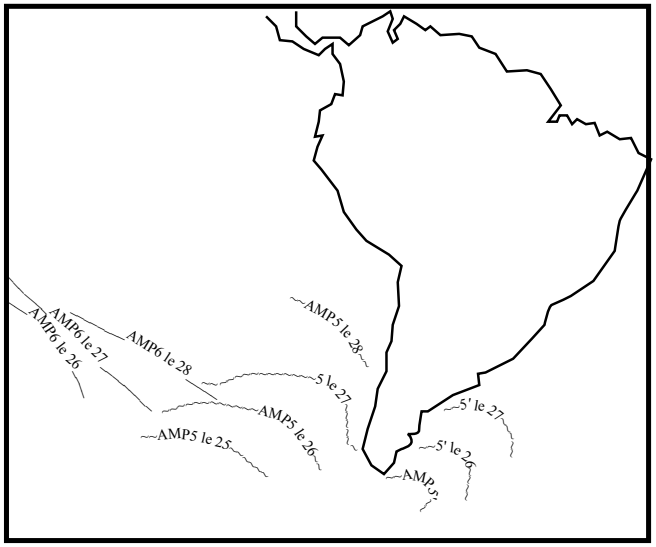

**AMP2 et 3**



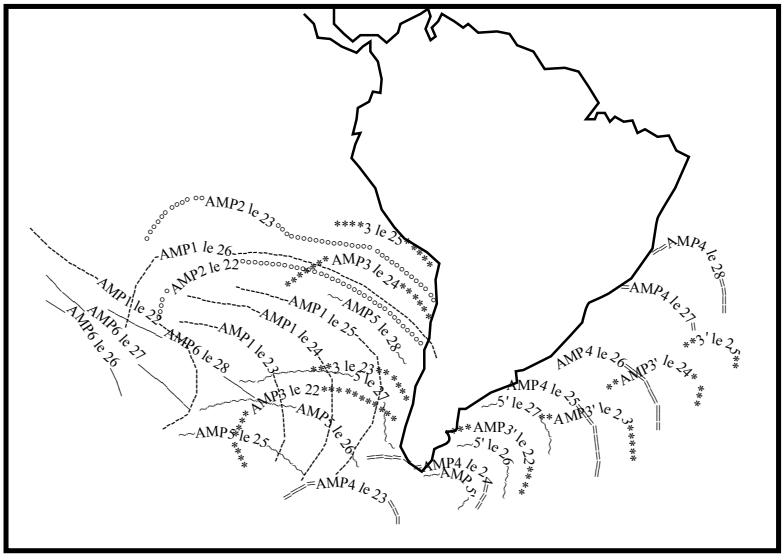

**AMP4**




**AMP5 et 6**




**AMP1 à 6**



accélération est d'autant plus importante que la dépression associée à l'AMP1 se creuse progressivement et que la présence de l'AMP4 contribue à l'ascendance des flux déviés.

- **Commentaire de la fig. n°15C (analyse de la photo satellite du 24/9/01) :**

L'AMP2 est difficilement repérable sur la photo satellite, il fait partie intégrante de l'AA dite « de l'île de Pâques ». C'est l'AMP4 qui subit maintenant les effets de l'orographie andine, à l'extrémité méridionale de l'Amérique du Sud. L'AMP1 se déplace vers l'est (suivi par un nouvel AMP, l'AMP5). L'intégralité de la masse de l'AMP4 semble se diriger vers l'océan Atlantique contribuant de ce fait à la fuite de l'AMP3' vers l'est. L'AA dite « de l'île de Pâques », bien alimentée par la succession incessante d'AMP.

- **Commentaire de la fig. n°15D (analyse de la photo satellite du 25/9/01) :**

L'AMP1, glisse vers l'est (poussé par l'AMP5 qui prend de l'ampleur) et interdit donc le passage vers le nord à l'AMP4 confronté au relief andin au sud de l'Amérique du Sud. La quasi totalité de la masse anticyclonique de l'AMP4 remonte vers le nord-est, par l'océan Atlantique. L'AMP3 a continué sa migration vers le nord, le long des côtes du Chili et fait partie intégrante de l'AA dite « de l'île de Pâques ».

- **Commentaire de la fig. n°15E (analyse de la photo satellite du 26/9/01) :**

L'AMP1 vient maintenant se coller au relief andin chilien (son déplacement vers l'est a été favorisé par l'apparition de l'AMP5 les jours précédents et par l'actuelle présence d'un nouvel AMP, l'AMP6). L'AMP4 est passé du côté atlantique et provoque sur sa face avant l'ascendance des flux « chauds » rencontrés et/ou leur déviation vers le sud-sud-est, en direction de la dépression qui lui est associée (les formations nuageuses sont intenses sur sa face avant). L'AMP4 envoie sur le continent de l'air polaire et vient se plaquer contre les reliefs andins argentins. Les formations nuageuses épousent parfaitement les contours du relief. C'est au tour de l'AMP5 d'être confronté au relief du sud de l'Amérique du Sud, une partie de la masse de l'AMP5 se dirige vers le nord (l'AMP5), le long des côtes du Chili; une autre partie (l'AMP5') se dirige vers l'océan Atlantique. L'AA dite « de l'île de Pâques », sans cesse renforcée par l'intégration de nouveaux AMP, alimente la circulation d'Al.m progressivement dévié en mousson panaméenne (MP) au franchissement de l'équateur géographique.

- **Commentaire de la fig. n°15F (analyse de la photo satellite du 27/9/01) :**

L'AMP1 fait partie intégrante de l'AA dite « de l'île de Pâques ». L'apophyse (AMP5') contribue au déplacement vers le nord-est de l'AMP4. Remarquons que la masse d'air froid, incapable de s'élever, épouse les contours du relief (à la latitude de Buenos Aires, les Andes sont parfaitement dessinées). L'AMP6 est maintenant bien individualisé sur la photo satellite.

- **Commentaire de la fig. n°15G (analyse de la photo satellite du 28/9/01) :**

L'AMP5 continue sa progression le long des côtes du Chili. L'AMP5' poursuit son cheminement vers le nord-est sur l'océan Atlantique et continue à pousser l'AMP4 vers le nord-nord-est. L'AMP6 prend de l'ampleur et se dirige vers le nord-est. L'AA dite « de l'île de Pâques » est renforcée par l'intégration progressive de l'AMP5.

- **Commentaire de la fig. n°15H (figure récapitulative) :**

Sur cette figure récapitulative de la situation étudiée précédemment, nous observons la succession incessante d'AMP. Ces AMP viennent s'agglutiner à la latitude de ce que l'on appelle communément « la cellule anticyclonique du Pacifique du sud-est » qui est donc formée par l'AMP1 apparu le 22/9/01 puis par l'AMP2 apparu le 22/9/01 puis par l'AMP3 apparu le 22/9/01 puis par l'AMP4 apparu le 23/9/01 puis par l'AMP5 apparu le 24/9/01 puis par l'AMP6 apparu le 26/9/01...

La perception statistique des phénomènes, basée sur des moyennes de pression, est à l'origine de la reconnaissance de ce « centre d'action » qui apparaît ainsi comme étant un « personnage » statistique figé (« l'anticyclone de l'île de Pâques »), incapable de rendre compte de la réalité puisque tout est mobile! Il est donc plus judicieux de parler d'agglutination anticyclonique.

- **Bilan :**

Sur les photos satellites présentées ci-dessus, photos satellite n°14 (A à G), accompagnées des figures n°15 (A à G) et de la figure n°15H récapitulative de l'épisode, une troisième trajectoire s'observe sur le Pacifique du sud-est et l'Atlantique du sud-ouest où la puissance orographique andine peut scinder en deux la masse des AMP et guider des noyaux anticycloniques soit en direction du Pacifique soit vers l'Atlantique ou encore, conduire l'intégralité des AMP à remonter le long de la cordillère vers le nord-est par la Pampa argentine ou vers le nord-ouest par le Chili.

## 4) Définition des AA :

Rappelons que les AMP se déplacent d'ouest en est avec une composante méridienne. Il est très facile de les suivre aux hautes et moyennes latitudes mais quand ils s'approchent des latitudes tropicales, ils sont ralentis, bloqués, s'emboîtent les uns dans les autres et deviennent par conséquent plus difficiles à individualiser visuellement sur les photos satellites et sur les cartes de surface. Il est certain que ces puissantes masses anticycloniques bien qu'affaiblies par leur trajet ne peuvent pas « disparaître », bien au contraire, elles vont s'emboîter, se regrouper, se pousser et continuer à se déplacer (plus lentement) à la latitude même de ce que l'on appelle couramment les « cellules anticycloniques des hautes pressions subtropicales ». Nous avons vu dans notre première partie (chapitre 3, 3, b et chapitre 4, 2) que ces « cellules des hautes pressions subtropicales » dont l'origine n'est pas entièrement comprise, sont définies statistiquement à partir de moyennes de pression qui en figent la perception. Nous avons également souligné le fait que les brusques changements en latitude et en longitude que connaissent ces « cellules anticycloniques semi-permanentes » ne sont pas expliqués…

L'étude des trois figures récapitulatives (figure n°13G, 14G et 15H) nous démontre qu'il est plus judicieux de parler d'agglutinations anticycloniques (AA), terme beaucoup plus approprié à la réalité observée sur les photos satellite qui montrent que tout est mobile.

En effet, comme nous l'observons sur les photos n°12 (A à F), les AMP qui suivent la trajectoire Pacifique du nord-est (de l'Asie vers le Pacifique nord et/ou de la mer de Béring), viennent heurter les puissantes Montagnes Rocheuses, glissent le long des côtes de l'Amérique du Nord pour donner naissance à l'AA dite « des Hawaii ».

Sur les photos satellites n°13 (A à F), les AMP qui suivent la trajectoire de l'Amérique du Nord, à l'est des Rocheuses, en direction de l'Atlantique, se dirigent très majoritairement vers l'Europe occidentale pour former, en se télescopant, l'AA dite « des Açores ». Cependant, les Appalaches du Nord peuvent canaliser une partie de l'écoulement vers le Golfe du Mexique pour former l'AA dite « des Bermudes » (principalement en période hivernale, de fin octobre à fin avril).

Les AMP suivant la trajectoire du Pacifique du sud-est (photos n°14, A à G), au contact des Andes sont progressivement guidés vers le nord, formant l'AA dite « de l'île de Pâques ». Les AMP ou fragments d'AMP, guidés vers l'Atlantique du sud-ouest remontent vers le nord, soit sur le continent sud-américain soit sur l'Atlantique ou ils rejoindront les AMP de l'Atlantique du sud-est qui ont connu un sort comparable lors de leur confrontation, au sud du continent africain, avec l'escarpement namibien et les reliefs sud-africains pour donner naissance à l'AA dite « de Sainte Hélène ». L'air issu de cette AA, ne revient pas sur notre espace d'étude, celle-ci influence essentiellement la dynamique du temps et du climat en Amérique du Sud, à l'est des Andes.

Les AMP sont ainsi captés, orientés, canalisés et l'air qu'ils véhiculent n'a plus d'autre choix que chaque unité de circulation.

M.Leroux (1996) met en avant le fait que le déplacement des AMP ne peut donc se poursuivre indéfiniment vers l'est. En raison des différences de dynamisme des AMP et sans aucune autre intervention que sa dynamique propre (donc au-dessus des océans), un AMP peut être rattrapé par l'AMP qui le suit : une fusion, partielle ou totale, en résulte. Ces différences s'expliquent ainsi : l'étalement accroît la force de frottement, d'où une diminution relative de vitesse par rapport à la surface de la Terre et le ralentissement progressif du mouvement vers l'est. Les différences de puissance, de vitesse et de trajectoire entre les AMP et/ou l'intervention continentale qui accroît le frottement, favorisent ce télescopage. Mais l'action la plus vigoureuse émane du relief qui, en fonction de son altitude et de l'épaisseur des AMP, freine, canalise, bloque et provoque l'emboîtement des AMP qui se succèdent, formant des agglutinations anticycloniques continentales ou océaniques (AA). Les AA, en fonction des conditions de l'alimentation extratropicale (saison, modalité d'écoulement), déterminent les circulations initiales d'alizé, ces unités de circulation étant séparées par des discontinuités d'alizés.

Notre première phase d'observation a révélé l'existence d'espaces aérologiques précis ayant une influence sur la dynamique du temps et du climat de l'Amérique Centrale. Les photos satellites n°5 à 8 accompagnées des figures n°5 à 8, correspondent à ces espaces aérologiques, à savoir, l'espace aérologique du Pacifique du nord-est (photo satellite n°5 et fig. n°5 du 23/10/1999) ; l'espace aérologique de l'Atlantique du nord-ouest (photo satellite n°6 et fig. n°6 du 13/12/1999) et l'espace aérologique du Pacifique du sud-est (photo satellite n°7 et fig. n°7 du 26/9/2001 et photo satellite n°8 ; fig. n°8 du 29/9/2001). A chaque espace aérologique, correspond une AA.

Les AA qui interviennent dans la dynamique du temps et du climat de notre espace d'étude sont :

- L'AA du Pacifique nord oriental : les Montagnes Rocheuses forment une barrière continue qui arrête et dévie vers le sud quasiment la totalité de la masse des AMP formant l'AA dite « des Hawaii » laquelle se définie par des moyennes de pressions. En hiver boréal (décembre, janvier, février), la puissance de cette AA est accrue, les AMP qui la composent sont plus nombreux, plus puissants et il n'est pas rare, en cette saison, que l'AA océanique dite « des Hawaii » s'étende jusqu'au continent voisin, sur le littoral californien.

- L'AA de l'Atlantique nord : sur l'océan Atlantique nord, le barrage orographique est moins efficace en raison des possibilités d'écoulement au nord des Alpes et sur l'Afrique au sud de la barrière de l'Atlas (notamment en période hivernale lorsque les trajectoires des AMP sont plus méridionales). Les AMP rencontrent l'Europe occidentale sur laquelle ils pénètrent d'abord aisément mais les Vosges, le Jura puis surtout les Alpes et la dorsale Cantabriques-Pyrénées forment ensuite sur la France un véritable « entonnoir » orographique, véritable tremplin vers l'ouest, qui rejette en direction de l'Atlantique la très grande partie de l'air transporté formant l'AA dite des « Açores ».

En hiver, cette AA est renforcée à l'ouest par l'AA dite « des Bermudes ». Cette cellule saisonnière hivernale traduit la descente directe des AMP sur l'Amérique entre les Rocheuses et les Appalaches vers le Golfe du Mexique. Cette AA dite « des Bermudes » est une extension de l'AA dite « des Açores ». Attention, il n'y a pas de réelle migration en longitude, la disparition en été de l'AA dite « des Bermudes », prolongement occidental de l'AA dite « des Açores », peut être faussement interprétée comme un glissement vers l'est.

- L'AA du pacifique austral : la cordillère des Andes ne se contente pas de former un barrage dès 55° de latitude sud, infranchissable à partir de 40° sud, mais elle s'incurve encore vers l'ouest au niveau du Pérou, ce qui a pour effet d'accroître la compression et de freiner davantage l'écoulement vers le nord des AMP. Les Andes arrêtent et dévient quasiment toute la masse des AMP. Les AMP qui se suivent s'emboîtent les uns derrière les autres, donnant naissance à la puissante AA du pacifique austral, dite « de l'île de Pâques » laquelle se définie par des moyennes de pressions. En hiver austral (juin, juillet, août), la puissance de cette AA est accrue, les AMP qui la composent sont plus nombreux, plus puissants. Tous les centres d'action, l'AA, l'EM migrent vers une position plus septentrionale. L'EM se situe au nord de l'équateur géographique, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale. Les flux d'alizé issus de cette AA du Pacifique austral sont progressivement déviés en flux de mousson (MP) au franchissement de l'équateur géographique. Il y a continuité de la circulation d'un hémisphère géographique à l'autre avec un débordement limité !

Nous allons, dans un quatrième chapitre, nous intéresser à la circulation tropicale (alizé, mousson) et à l'équateur météorologique.

# Chapitre 4 : La circulation tropicale et l'équateur météorologique

## 1) Introduction :

Les AA alimentent la circulation d'alizé, éventuellement déviée au franchissement de l'équateur géographique en flux de mousson ; les flux tropicaux se dirigent vers l'équateur météorologique.

## 2) La circulation tropicale : La circulation d'alizé (photo satellite n°15 ; fig. n°16)

### a) Analyse de la carte de surface et de la photo satellite :

- **Commentaire de la fig. n°16 (analyse de la photo satellite du 13/12/99) :**

Nous observons un AMP, originaire de l'Arctique, qui après être passé sur le nord-est du Canada, pénètre sur l'océan Atlantique. A l'intérieur de l'AMP, l'air froid, divergent, subit les effets de la rotation anticyclonique. Sur sa face avant, l'AMP (plus froid, plus dense, en valeur absolue ou relative) provoque l'ascension et/ou la fuite vers le nord-nord-est, en direction de la dépression qui lui est associée (D), des flux « chauds » rencontrés. Sur cette photo satellite, nous pouvons également apprécier les flux d'alizé qui se dirigent vers le Golfe du Mexique et qui sont alimentés par l'AA dite « des Bermudes/Açores » dans laquelle pénètre l'AMP.

### b) Définition de l'alizé :

Sur les nombreuses photos satellites présentées auparavant et plus particulièrement sur la photo satellite n°15, photo satellite du 13/12/1999 présentée ci-dessus et accompagnée de la figure n°16, nous pouvons observer les flux d'alizé. Ce type de flux est bien connu et ce depuis très longtemps (voir partie 1, chapitre 3, 3, c). Dans notre bilan bibliographique, nous avions pu soulever un certain nombre d'interrogations concernant l'alizé :

- L'alizé possède une structure verticale bien particulière : une inversion d'alizé marque la limite entre une couche inférieure et un couche supérieure. L'origine de cette inversion n'est pas expliquée. Les auteurs remarquent qu'elle est située à plus haute altitude à l'ouest des « cellules anticycloniques des hautes pressions subtropicales » mais pour quelle raison ? La couche inférieure de l'alizé est plus fraîche que la couche supérieure, mais pourquoi ?

- L'alizé n'a pas toujours la même vitesse (elle diminue vers l'ouest et présente des « à-coups ») mais là encore, ces constatations ne sont pas expliquées.

Les travaux de M. Leroux, apportent des réponses aux questions soulevées. L'alizé est un flux tropical dont la circulation est organisée autour d'une AA. Il y a donc autant d'alizés que d'AA. Chaque circulation d'alizé est séparée de la circulation voisine par une discontinuité d'alizé (D.al). L'alizé fait le tour de l'AA, il peut donc souffler de toutes les directions. Au cœur de la cellule anticyclonique, le calme domine, il n'y a pas de précipitation en raison des mouvements subsidents, il s'agit des *horse latitudes*.

**Photo satellite n°15 : Un exemple d'AMP et flux d'alizé**
**(GOES 8, est, vis, le 13/12/1999, 18h15 T.U)**

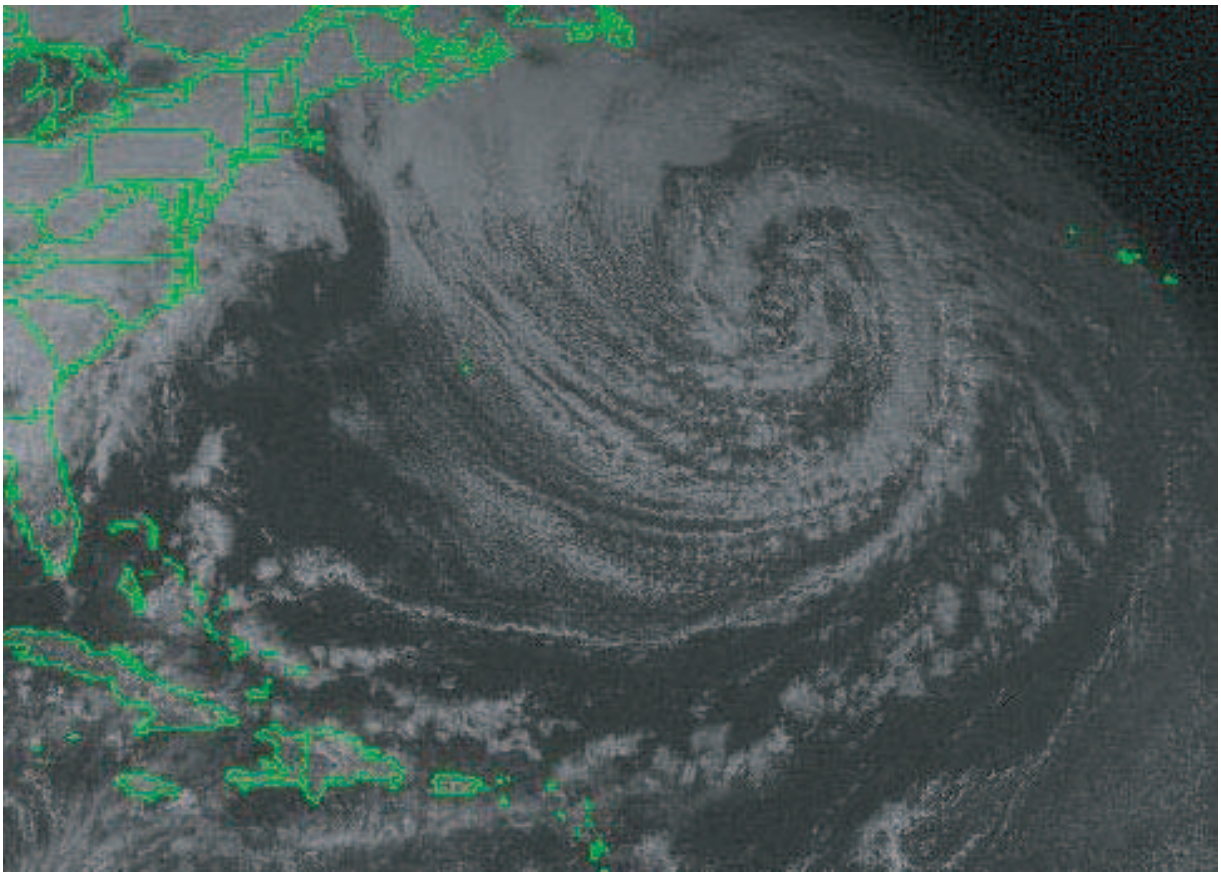
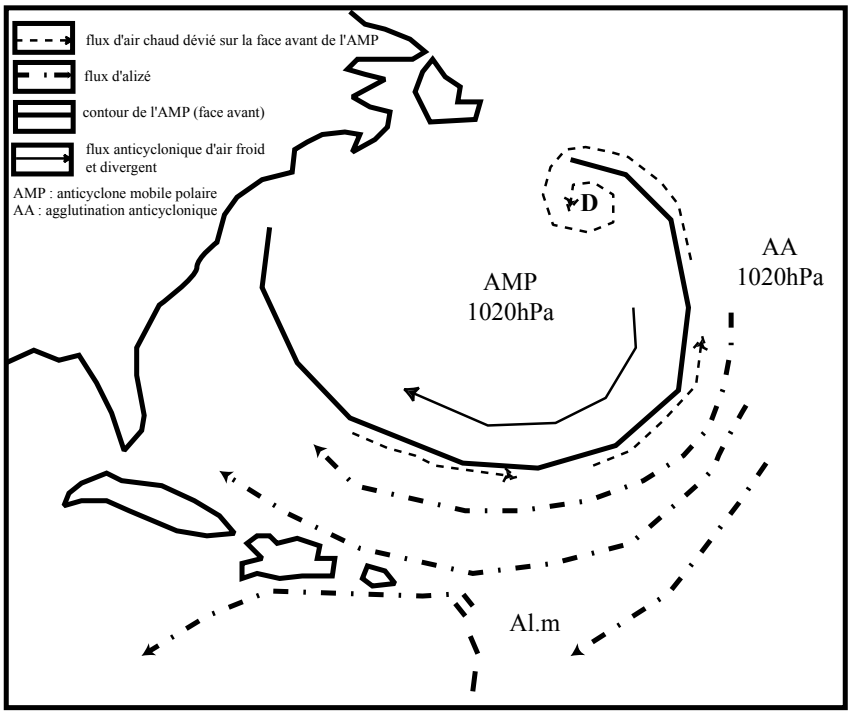


**Figure n°16 : Analyse de la photo satellite du 13/12/1999**
*(D'après carte de la NOAA,"Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*



La structure verticale des alizés est bien particulière, deux intervenants la caractérisent:

- Le premier est la pénétration de l'air extra-tropical (AMP) dans la zone tropicale qui constitue la couche inférieure de la circulation d'alizé. L'alizé n'a donc pas toujours la même vitesse. Celle-ci est plus rapide à l'est (zone par laquelle les AMP en raison de leur déplacement pénètrent dans l'AA) : les renforts successifs liés à l'arrivée incessante des AMP provoquent les « Lignes de Pulsation » (LP) ou *surges* (les LP seront étudiées et présentées ci-dessous dans notre partie 3 consacrée aux perturbations) ; la vitesse décroît en direction de l'ouest : se sont les *pannes*.
- Le deuxième intervenant est la subsidence observée à la latitude des Tropiques. La couche supérieure de l'alizé est constituée d'air subsident chaud et sec.

Un alizé est donc constitué de deux strates superposées (en plus de la superposition successive des alizés qui se dirigent vers l'ouest). La strate inférieure est alimentée par de l'air extra-tropical initialement « frais », son épaisseur est faible (500 à 1 000 mètres) à l'est des AA, puis elle augmente vers l'ouest, car avec le réchauffement, l'air se dilate. La strate supérieure est constituée d'air chaud et sec subsident. Entre les deux strates, une inversion d'alizé (I.al) marque la limite entre les deux flux.

Les caractères des alizés dépendent de leur origine et de leur trajectoire continentale ou océanique. Dans notre espace d'étude les trajectoires sont essentiellement maritimes.

L'alizé maritime peut être subdivisé en deux catégories :

- L'Al.m de type 1 : on l'observe à l'est des AA. Il est frais, humide, non pluvieux. La strate inférieure est peu épaisse (inférieure à 1 000 mètres), l'air est frais, humide. La strate supérieure, constituée d'air subsident, interdit les mouvements d'ascendance. Aucun nuage ne peut se développer au-delà de l'inversion d'alizé. Il y a absence de pluie.

L'AA dite « des Hawaii » engendre ce type de flux sur la péninsule de Californie, le désert de la Sonora au Mexique. L'AA dite « de l'île de Pâques » engendre ce type de flux sur les côtes du Chili (désert de l'Atacama) et du Pérou. L'absence de pluies ne signifie pas absence d'humidité, ces régions connaissent des brouillards très fréquents (*Neblinas* au Chili et au Pérou, très utiles au développement et à la survie de la végétation dans ces milieux « désertiques »).

- L'Al.m de type 2 : on l'observe à l'ouest des AA. Ce type de flux a évolué au contact de l'océan. Sa strate inférieure s'est humidifiée, réchauffée donc dilatée (épaisseur entre 1 500 et 2 000 mètres). La strate supérieure en a profité pour s'humidifier elle aussi. Ce flux est chaud, très humide et pluvieux.

Nous observons ce type de flux à l'ouest de l'AA dite « des Açores », sur les Caraïbes et le Golfe du Mexique et à partir de l'AA dite « de Sainte Hélène » sur le Brésil oriental.

## 3) La circulation tropicale : La circulation de mousson (photo satellite n°16 ; fig. n°17)

### a) Analyse de la carte de surface et de la photo satellite :

- **Commentaire de la fig. n°17 (analyse de la photo satellite du 29/9/01) :**

L'AMP1, guidé vers le nord par l'orographie andine, longe les côtes du Chili, en direction de l'AA dite « de l'île de Pâques » dans laquelle il va progressivement s'intégrer. Cette progression vers le nord de l'AMP1 est facilitée par la présence des AMP2 et 3. En effet, ces deux AMP, situés au sud de l'AMP1, se renforcent, se déplacent vers l'est et suivent la migration de l'AMP1 vers le nord. L'AA dite « de l'île de Pâques » est bien alimentée par cette succession de puissants AMP et sur sa bordure septentrionale, l'Al.m qui se dirige vers l'ouest est progressivement dévié en flux de mousson panaméenne (MP) au franchissement de l'équateur géographique. Sur la photo satellite, nous distinguons très nettement le changement de direction opéré par les flux d'alizé au franchissement de l'équateur géographique.

### b) Définition de la mousson :

Comme nous avons pu le mettre en avant (voir partie 1, chapitre 3, 3, c), la circulation de mousson est sujette à un vif débat (non tranché) chez les auteurs qui se sont intéressés à notre espace d'étude. Pourtant, comme en témoigne la photo n°16, photo satellite du 29/9/2001, accompagnée de la figure n°17, l'observation des clichés satellite (en période d'hiver austral) ainsi que la consultation des cartes de surface, montrent bien la déviation du flux d'Al.m, issu de l'AA dite « de l'île de Pâques », en flux de mousson au franchissement de l'équateur géographique. Ce phénomène, en raison de la très faible largeur de l'isthme centraméricain, n'a certes pas l'ampleur de celui qui peut être observé en Inde ou en Afrique mais il n'en demeure pas moins bien réel. Ce débat qui n'a pas lieu d'être résulte d'une mauvaise définition de ce type de flux.

La circulation de mousson est au départ un flux d'alizé dans un hémisphère, dévié, et qui après le passage de l'équateur géographique s'intègre dans la circulation de l'autre hémisphère géographique. L'alizé issu d'une AA est ainsi amené à franchir l'équateur géographique à travers une déclivité transéquatoriale de pression qui oppose des hautes pressions dans un hémisphère à des basses pressions dans l'autre. La force de Coriolis ou force géostrophique étant nulle à l'équateur, l'alizé initial traverse l'équateur sous l'effet de l'inertie et du gradient de pression. La pénétration progressive dans l'hémisphère opposé, vers l'axe de la dépression thermique qui s'éloigne de l'équateur accroît la force géostrophique dont le signe est maintenant inversé : le flux est dévié vers l'est en mousson, et les lignes de flux sont alors perpendiculaires aux isobares.

Une mousson est donc génétiquement le prolongement dans un hémisphère d'un alizé issu d'une AA de l'autre hémisphère, attiré par une dépression thermique dans l'hémisphère en été.

Les caractères de ce type de flux dépendent de l'alizé originel. Des modifications peuvent se produire en fonction de la trajectoire suivie par le flux : survol ou non des continents. La dépression qui attire la mousson est créée par un facteur thermique (réchauffement du sol). Elle ne concerne donc pas l'altitude (au-delà de 1 000 à 1 500 mètres). En conséquence, le flux de mousson n'est attiré que dans les basses couches (M. Leroux, 2000).

En Amérique, nous observons ce type de flux sur l'Amazonie. En été austral, le flux d'Al.m issu de l'AA hivernale dite « des Bermudes/Açores », est attiré par la dépression

**Photo n°16 : Flux d'alizé dévié en mousson panaméenne**
**(GOES 10, est, vis, le 29/9/2001, 18h00, T.U)**

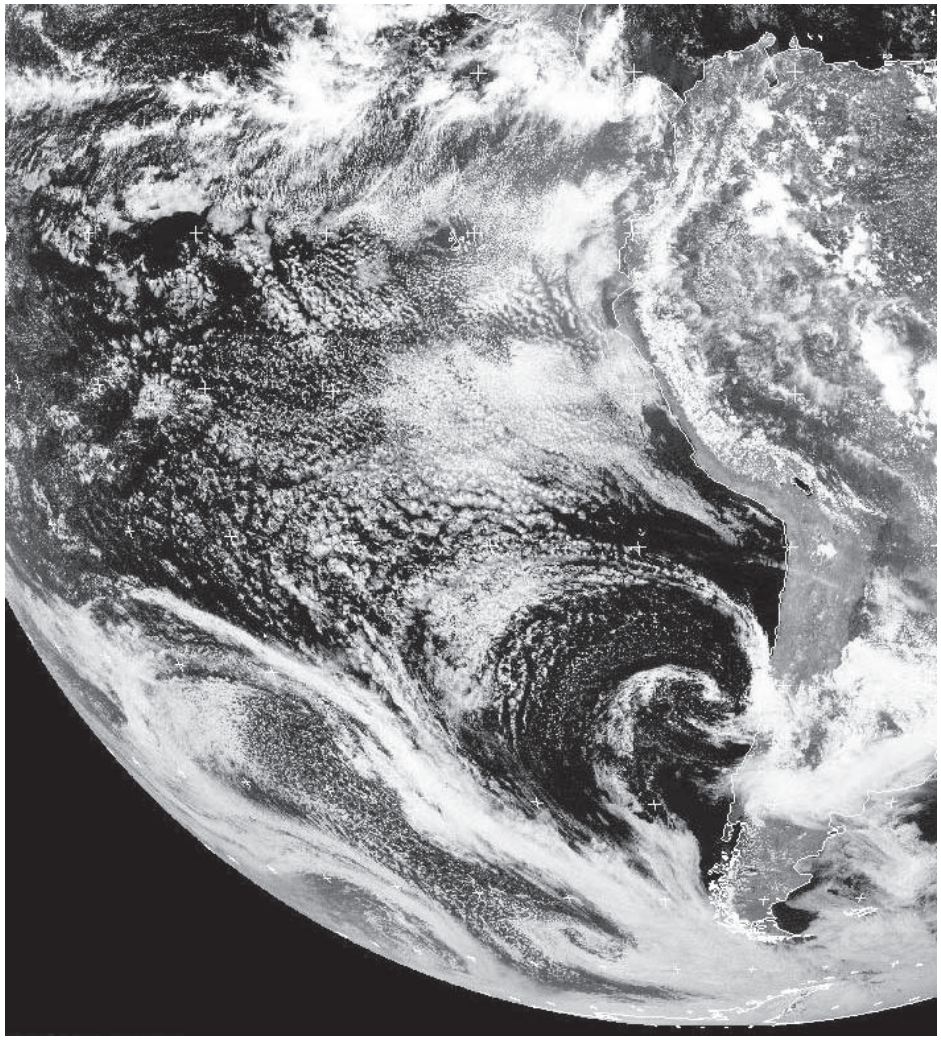
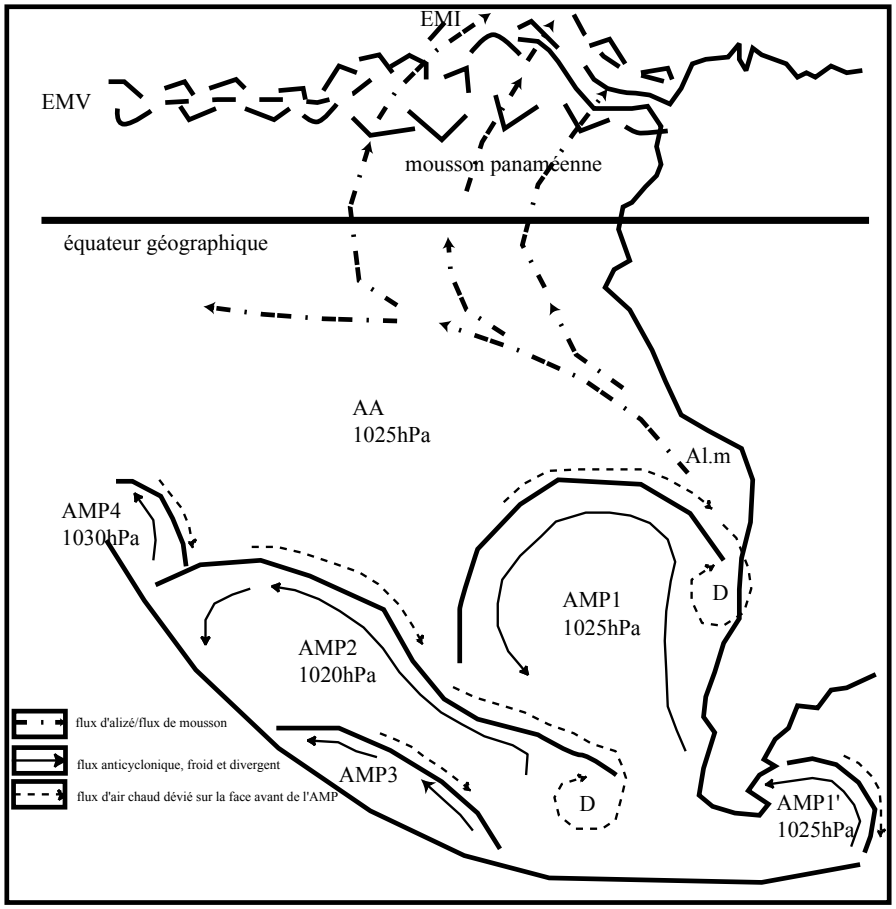


**Figure n°17 : Analyse de la photo satellite du 29/9/2001**
**(D'après carte de la NOAA, "Weather pub fax", 18h00 T.U)**



thermique située vers 20° de latitude sud, au sud de la forêt dense, en janvier dans la dépression du Grand Chaco, et devient la MA. Cette MA, issue d'un Al.m de type 2 (donc très humide), bénéficie en plus de l'évapotranspiration de la forêt tropicale humide et dense. La très puissante barrière orographique andine limite son déplacement vers l'ouest. L'EM est alors « fixé » par le versant oriental des Andes qui forment une barrière rigoureuse sur laquelle la mousson déverse de fortes pluies, l'eau étant ramenée vers l'est par le réseau de l'Amazone et redistribuée par l'évapotranspiration au-dessus de la forêt dense.

A l'intérieur même de notre espace, nous observons également la MP très humide et particulière quant aux conditions de sa formation. Lorsque l'Al.m atlantique passe au-dessus de la mousson panaméenne (MP), les deux flux, tous deux proches de la saturation se rencontrent selon des directions quasiment opposées le long d'une structure EMI (voir ci-dessous) presque verticale sur plus de 2 000 mètres d'épaisseur. L'EMI est alors susceptible d'une intense activité, comme l'EMV (voir ci-dessous, partie 2, chapitre 4, 4), avec d'abondantes formations nuageuses et des précipitations intenses, le handicap structural (cisaillement) étant compensé par la richesse du potentiel précipitable advecté par le flux de mousson et l'Al.m de type2.

## 4) L'Equateur Météorologique (EM) (photos satellite n°17 et 18 ; fig. n°18, 19 et 20) :

### a) Analyse des cartes de surface et des photos satellite :

- **Commentaire de la fig. n°18 (analyse de la photo satellite du 29/9/01) :**

Dans l'espace météorologique du Pacifique nord, l'AMP1, passé par le détroit de Béring, après s'être confronté au relief de l'Amérique du Nord, glisse vers le sud et favorise ainsi l'intégration d'AMP plus anciens dans l'AA dite « des Hawaii » tout en s'y insérant lui même comme en témoignent les LP. Sur sa face avant, les flux chauds fuient vers le nord-est, pénètrent sur le continent avant de s'enrouler cycloniquement, déviés vers la dépression associée située sur l'Alaska. L'AMP2, originaire de l'Asie extrême orientale, pénètre dans l'espace aérologique du Pacifique du nord-est et vient contribuer au glissement de l'AMP1 vers le sud. L'AA dite « des Hawaii » reste bien alimentée par cette succession d'AMP et engendre sur sa bordure méridionale les flux d'alizé qui se dirigent vers l'ouest.

Dans l'espace météorologique du Pacifique sud : L'AMP1 remonte vers le nord, le long des côtes du Chili. L'AMP2, contribue en se déplaçant vers l'est à comprimer l'AMP1 contre le relief andin et favorise ainsi sa migration vers le nord. Sur le Pacifique sud, nous observons un grand nombre d'AMP (nous sommes en hiver austral). L'AMP4, provoque sur sa face avant l'ascension et/ou la fuite des flux chauds rencontrés vers le sud-sud-est, lieu où se trouve la dépression qui lui est associée (D). Nous repérons également des AMP plus récents (AMP5 et AMP6). L'AA dite « de l'île de Pâques », renforcée en cette période hivernale, engendre les flux d'Al.m, progressivement déviés en flux de mousson panaméenne (MP) au franchissement de l'équateur géographique. Sur l'océan, l'EMV et l'EMI se superposent. Par contre, à proximité de l'isthme centraméricain, l'EMI se situe légèrement plus au nord, attiré par les dépressions thermiques sur l'isthme et/ou la face avant de l'AMP situé sur le Golfe du Mexique. Le flux de mousson se glisse sous la structure EMV puis rejoint l'EMI où il rencontre l'alizé maritime atlantique de direction opposée qui le surplombe.

**Photo n°17 : L'Equateur Météorologique Vertical (EMV) et l'Equateur Météorologique Incliné (EMI)**
**(GOES 10, ouest, vis, full, le 29/9/2001, 21h30 T.U)**

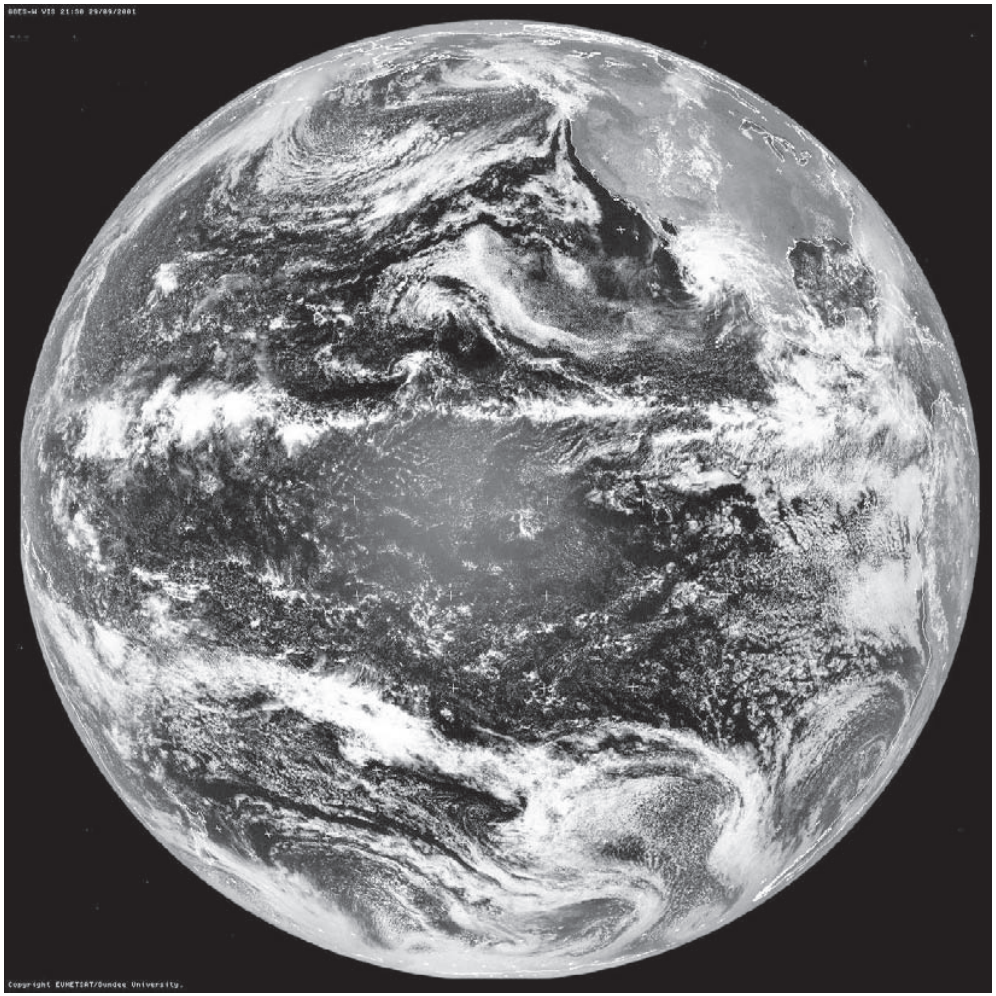



**Figure n°18 : Analyse de la photo satellite du 29/9/2001**
**(D'après cartes de la NOAA : "Tropical surface analysis,Atlantic & Pacific" et "Weather pub fax", 18h00 T.U)**

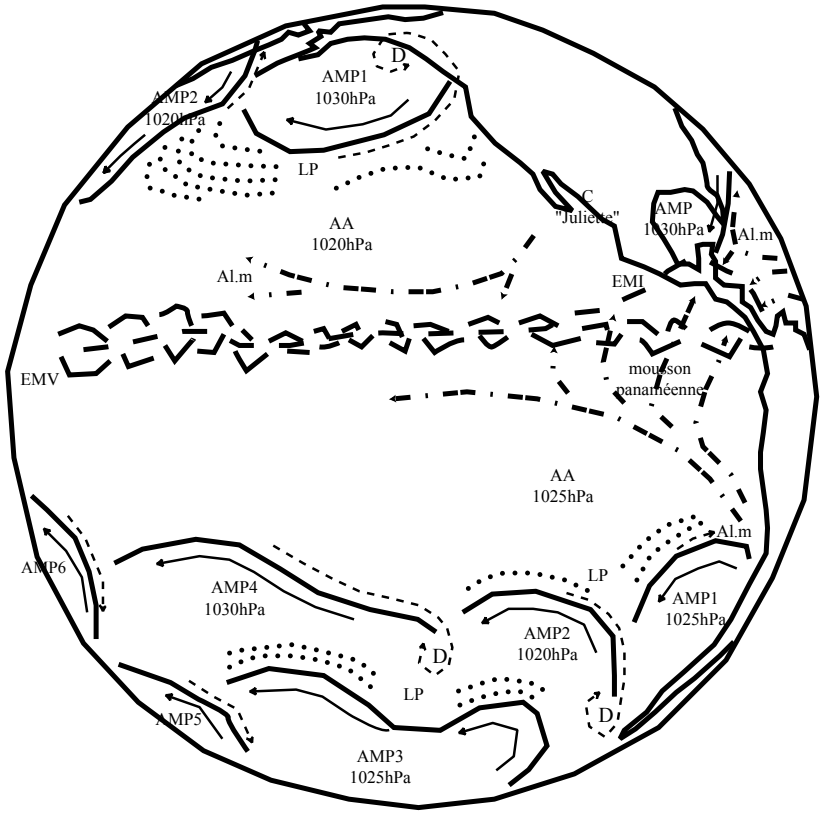


**Photo n°18 : L'Equateur Météorologique Vertical (EMV) et l'Equateur Météorologique Incliné (EMI)**
(GOES 7, ouest, vis, full, le 14/12/1995, 18h00 T.U)

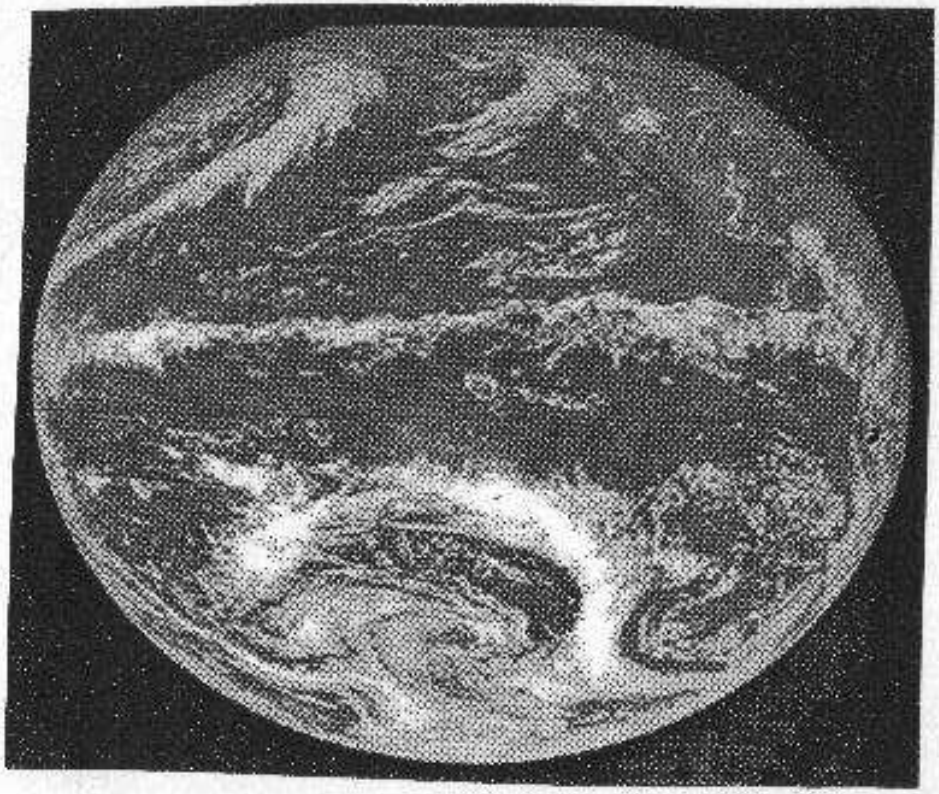
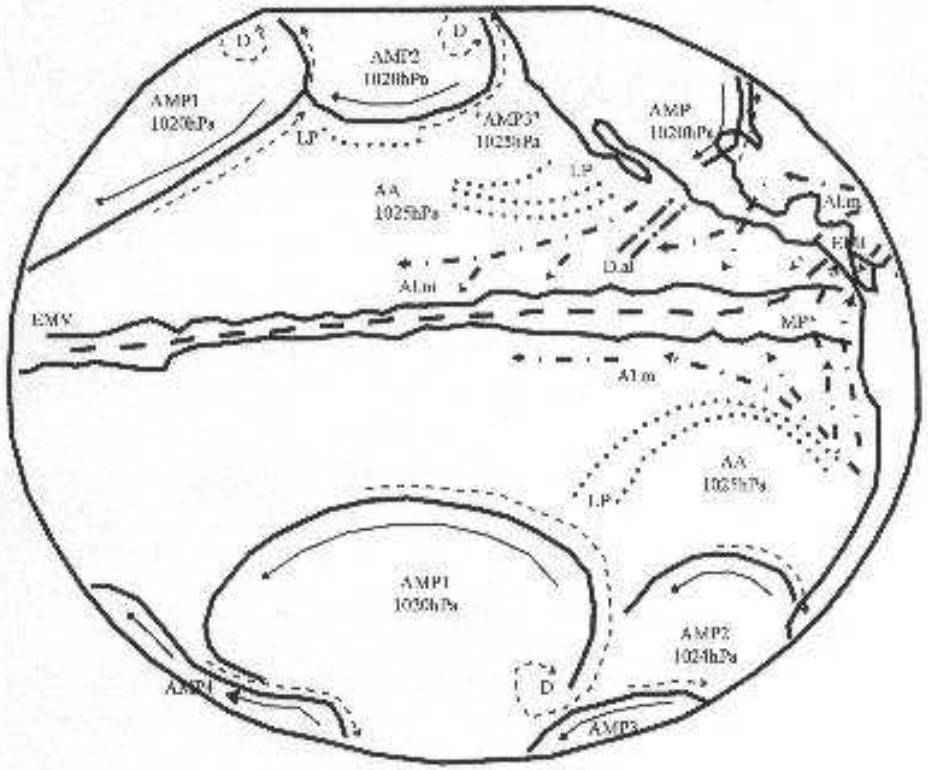


**Figure n°19 : analyse de la photo satellite du 14/12/1995**
(D'après cartes de la NOAA : "Tropical surface analysis, Pacific" et "Weather pub fax", 18h00 T.U)



- **Commentaire de la fig. n°19 (analyse de la photo satellite du 14/12/95) :**

Dans l'hémisphère météorologique du Pacifique sud : l'AMP1 offre un exemple des AMP gigantesques qui peuvent dévaler de l'Antarctique. L'AMP2 est arrêté et progressivement dévié vers le nord-ouest par la puissante barrière orographique andine. Nous observons que l'Al.m s'éloigne peu à peu des côtes du Pérou et de l'Equateur pour rejoindre la trace au sol de l'EM. L'EM est superbement continu et rectiligne sur plusieurs milliers de kilomètres. L'EM vient toucher le continent sud-américain au sud de la Colombie. Notons que sur une surface océanique, l'EMV et l'EMI sont quasi à la verticale l'un de l'autre et que, nous n'arrivons pas ici à les distinguer sur la photo satellite. A proximité de l'isthme, sur le Panama et le Costa Rica, l'EMI est situé légèrement plus au nord et les flux d'Al.m, progressivement déviés en flux de mousson panaméenne (MP) au franchissement de l'équateur géographique, pénètrent sur le continent.

Dans l'hémisphère météorologique du Pacifique nord : nous observons deux trajectoires suivies par les AMP dans l'espace aérologique Asie orientale/Pacifique nord/côte occidentale de l'Amérique du Nord. La première est suivie par l'AMP1 (AMP sibérien) ; la deuxième est suivie par l'AMP2 qui sort du bassin arctique par le détroit de Béring. Ces AMP pacifiques qui parviennent sur la côte occidentale de l'Amérique du nord sont bloqués par les Montagnes Rocheuses et déviés vers le sud. L'« AMP3 » est quasi intégré dans l'AA mais reste encore repérable sur la photo satellite. Les AMP s'emboîtent les uns dans les autres (comme en témoignent les LP) pour former l'AA dite « des Hawaii ». A l'avant de cette AA, nous observons un flux d'Al.m, individualisé des influences atlantiques par une discontinuité d'alizé et qui est progressivement dévié vers l'ouest tout en se rapprochant de l'EM.

**b) Définition de l'équateur météorologique :**

Sur la photo satellite n°17, photo satellite du 29/9/2001, accompagnée de la figure n°18 et sur la photo satellite n°18, du 14/12/1995, accompagnée de la figure n°19, l'EM est clairement identifiable. Comme nous avions pu le mettre en avant (voir partie 1, chapitre 3, 3, d), comme le prouvent les multiples appellations utilisées pour y faire référence (« zone de convergence intertropicale », « zone des calmes équatoriaux »…), cette notion d'EM n'est pas clairement définie. Certains auteurs en arrivent même à voir deux EM ! Comment cela peut-il exister ?

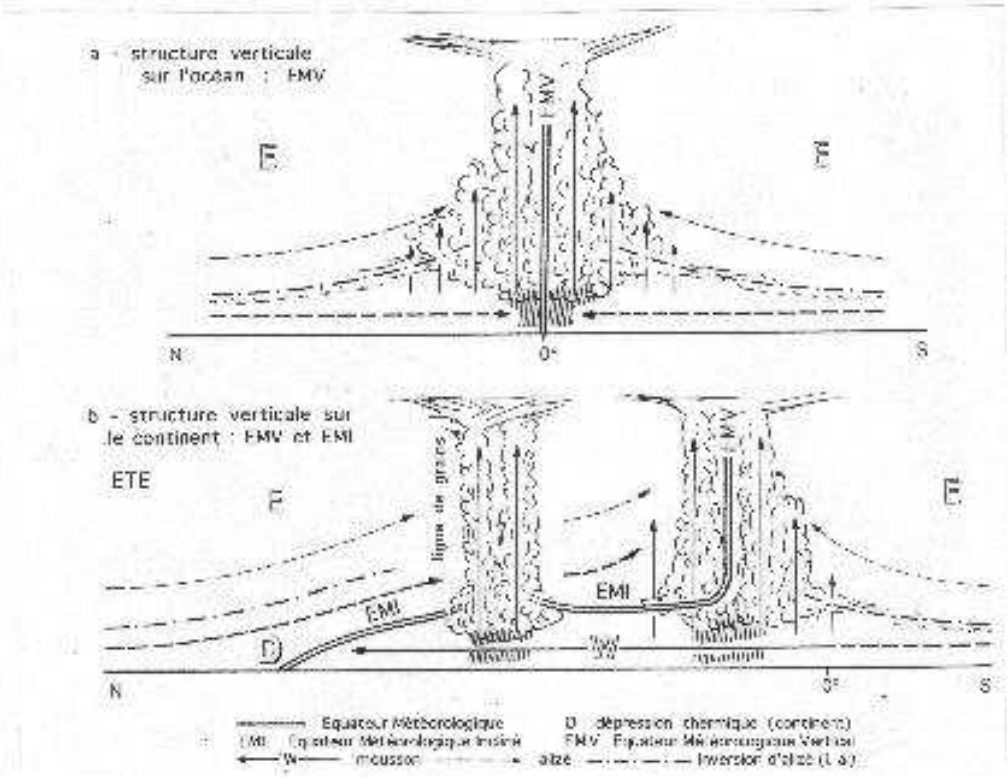
De part et d'autre de l'équateur géographique se font face deux AA, plus ou moins décalées en longitude l'une par rapport à l'autre en fonction des conditions géographiques. Entre les AA, la pression décroît, et au fond du talweg équatorial (axe des basses pressions intertropicales) se situe l'EM. Le caractère dépressionnaire du couloir médian et sa migration saisonnière dépendent étroitement de la dynamique des AA.

Sur l'océan, dans toute sa structure, et sur les continents dans les couches moyennes, l'équateur météorologique est vertical (EMV). Cette structure se déplace lentement au cours de l'année dans une bande zonale d'amplitude réduite. Sa position, sa migration annuelle et ses caractères sont quasi indépendants des conditions de surface, sa dynamique relevant de la circulation générale.

Sur les continents, dans les basses couches, la structure équateur météorologique est inclinée (EMI), surmontant une circulation de mousson peu épaisse. La migration annuelle de sa trace au sol est associée au comportement thermique du substratum, elle est donc ample et rapide lorsque ce substratum est entièrement continental (comme sur le Sahara ou l'Australie), ou bien tronquée et arrêtée par le comportement thermique de type océanique (océan ou forêt tropicale humide, Amazonie). Ces constatations faites par M. Leroux (1983) en Afrique sont ici à nuancer. En Amérique Centrale, le lien de terre ferme étant très mince, les effets de la

continentalité sont fortement limités; l'EMV et l'EMI présentent une structure très proche, l'EM est, à proximité de l'Amérique Centrale, quasi vertical sur plus de 2 000 mètres.

**Fig. n°20 : « Structure verticale de l'équateur météorologique : a – océan, b – continent (M. Leroux, 2000)**




Selon les niveaux, l'EM possède deux structures et deux comportements différents :

- Dans les couches moyennes l'EM est vertical, il représente la structure planétaire de l'EM, prolongement au-dessus des continents de la structure océanique. Cette structure se déplace lentement au cours de l'année dans une bande zonale d'amplitude réduite. Sa position, sa migration annuelle, et ses caractères sont quasi-indépendants des conditions de surface, sa dynamique relevant de la circulation générale. Ici encore, il s'agit de nuancer les observations faites par M. Leroux (1983) ; en Amérique Centrale, la disposition du relief autorise la communication aérologique entre l'espace atlantique et l'espace pacifique (voir ci-dessus, partie 1, chapitre 1, 4) et les AMP atlantiques peuvent, dans certains cas, repousser et/ou maintenir l'EM à distance (voir ci-dessous, partie 3, chapitre 3, 3 et 4).

- Dans les basses couches la structure de l'EM est inclinée, surmontant une circulation de mousson peu épaisse. La migration annuelle de sa trace au sol est associée au comportement thermique du substratum, elle est ample et rapide lorsque ce substratum est entièrement continental, comme sur l'Afrique orientale, ou bien tronquée et arrêtée par le comportement thermique de type océanique (forêt et océan).

- **L'équateur météorologique incliné (EMI) :**

La trace au sol de l'EM s'inscrit dans l'axe des dépressions thermiques qui sont liées au mouvement zénithal du soleil. Ce caractère thermique réserve la forte migration aux surfaces continentales et aux basses couches en les dissociant des couches moyennes où cette influence thermique ne parvient pas. L'EM est donc incliné dans les basses couches, la surface de raccordement étant quasi horizontale quand ces entités sont éloignées de plusieurs centaines de kilomètres. L'EM devient alors, avec l'inversion d'alizé, une composante supplémentaire de la stratification tropicale.

Le cisaillement de vent est prononcé entre une mousson d'ouest et un alizé d'est. En raison des discontinuités de caractères et de vents, la structure EMI est particulièrement stérilisante. Les formations nuageuses, éventuellement associées dans la mousson aux pulsations dont la vigueur diminue graduellement ou à la convection thermique de plus en plus forte en direction de la dépression thermique, sont décapitées, évaporées et/ou cisaillées, dès qu'elles passent dans l'alizé supérieur.

Cette structure n'est pas soulignée au-dessus d'un continent par des formations nuageuses et en dépit du fort potentiel précipitable de la mousson, des fortes chaleurs favorisant l'instabilité, et malgré la présence de relief, il ne pleut pas (M. Leroux, 2000).

Cependant, comme nous avons pu le voir avec la description de la mousson panaméenne (MP), la structure EMI n'est pas toujours stérilisante (comme nous pouvons l'observer sur les photos n°2, 3, 16, 18). L'Al.m atlantique issu de l'AA dite des « Bermudes/Açores », passe au-dessus de la mousson panaméenne (MP) issue de l'AA pacifique dite de « l'île de Pâques ». Ces flux, tous deux proches de la saturation se rencontrent selon des directions quasiment opposées le long de la structure EMI. En raison de la très grande proximité de l'océan et du comportement thermique de type océanique de la forêt tropicale humide, l'EMI, presque vertical sur plus de 2 000 mètres d'épaisseur est alors susceptible d'une intense activité. Le handicap structural (cisaillement) est compensé par la richesse du potentiel précipitable advecté par le flux de mousson et l'Al.m de type2 et par le fait que l'EMV et l'EMI présentent, en Amérique Centrale, une structure très proche (verticale).

- **L'équateur météorologique vertical (EMV) :**

Sur les océans (à l'écart de l'influence des continents), l'EM est vertical dans toute sa structure sur une hauteur de l'ordre de 6 000 mètres. Les basses pressions intertropicales, peu creusées forment un couloir continu dont la position est commandée par la dynamique des AA.

L'EMV migre peu (10 à 15° de latitude au cours de l'année), et sa structure se déplace en bloc en conservant sa verticalité. Son faible éloignement de l'équateur géographique en fait l'axe de rencontre de flux d'alizés. Les inversions d'alizés s'élevant progressivement pour finalement disparaître, l'EMV représente l'axe de concentration de l'énergie transportée sous les inversions et l'axe des mouvements ascendants entretenus par la dynamique des alizés. Sa position instantanée, comme son déplacement annuel, sont fonction des puissances respectives des impulsions venues du nord et du sud. L'EMV rassemble ainsi les conditions pluviogènes, structurales et énergétiques, les plus favorables de la zone tropicale. L'EMV constitue donc un axe de formations nuageuses denses et épaisses disposées en bandes d'une largeur moyenne de 200 à 300 kilomètres et d'orientation zonale. L'EMV est donc un axe de précipitations abondantes, régulières, fines, continues et généralement non orageuses (M. Leroux, 2000).

- **L'équateur météorologique sur les continents : l'EMI et l'EMV**

Sur les continents, le creusement et la migration des dépressions thermiques de surface modifient la structure de l'EM dans les basses couches. Cette modification déborde largement sur les océans voisins. Axe de confluence, la structure EMI n'est plus le siège de la convergence, en raison du cisaillement. Dans les couches moyennes, qui ne sont pas influencées par le substratum, la structure EMV est conservée sur environ 3 000 ou 4 000 mètres d'épaisseur (de l'altitude de 2 000 à plus de 6 000 mètres). L'EMV représente ici l'axe de confluence des strates supérieures au-dessus des flux de basses couches, alizé et/ou mousson. Il bénéficie par advection, de l'humidité évaporée au détriment du flux de mousson de basses couches, au-dessus de l'inversion d'alizé d'une part et au-dessous de la structure EMI d'autre part. Le passage de LP ou *surges* dans les basses couches, en dessous de l'EMV provoque en outre l'ascendance directe vers cette structure du potentiel transporté par la mousson.

En dépit de son rejet dans les couches moyennes, l'EMV au-dessus des continents (ou des océans couverts par cette structure EMI/EMV), dispose d'un abondant potentiel précipitable et il représente encore l'axe de concentration de ce potentiel, des nuages et des pluies. La densité des formations nuageuses zonales et son activité (non constante) sont conditionnées par l'arrivée à son aplomb, soit des LP, soit des lignes de grains (LG).

La migration annuelle de l'EMV continental est accrue par rapport à celle de l'EMV océanique, elle s'observe entre 10° de latitude nord et 10° de latitude sud (soit une amplitude de 20° en latitude, ce qui représente le double par rapport à celle de l'EMV océanique mais moins de la moitié du déplacement de l'EMI).

L'EMV procure lors de son passage des pluies abondantes et régulières, d'intensité modérée mais prolongée ainsi qu'un régime bimodal des précipitations (M. Leroux, 2000).

Précisons que cette structure continentale, en raison de l'étroitesse du lien de terre ferme qui sépare l'océan Atlantique de l'océan Pacifique, est peu représentée en Amérique Centrale.

Il s'agit maintenant de présenter, dans un quatrième chapitre, la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale.

# Chapitre 5 : Conclusion/Synthèse de la partie 2, la dynamique de la circulation dans les basses couches de la troposphère en Amérique Centrale (fig. n°21 et fig. n°22)

## 1) Introduction :

Comme nous pouvons l'observer sur les photos satellites ainsi que sur les cartes de surface, les AMP issus de l'Arctique et de l'Antarctique agissent dans le sens pôle-équateur ; ils sont les véhicules principaux des échanges méridiens. Le déplacement des AMP et leur ralentissement progressif en direction des Tropiques, la rencontre des continents et de leurs reliefs et les conséquences sur l'écoulement en masse : déviation, décélération ou accélération locale, emboîtement, blocage et compression, forment des AA constamment alimentées par les AMP. Les AA sont donc des zones tampon des échanges méridiens qui forment des réservoirs d'air qui redistribuent et régularisent l'écoulement tropical en pondérant sa vitesse par rapport à la circulation extra-tropicale. Les AMP s'agglutinent et les LP (*Surges*) qui rythment la progression des AMP sous les Tropiques, deviennent progressivement la circulation d'alizé qui peut se transformer en mousson. Les AMP alimentent la circulation tropicale.

Les flux tropicaux des deux hémisphères météorologiques se rejoignent le long de la structure pluviogène fondamentale de la zone tropicale : l'EM.

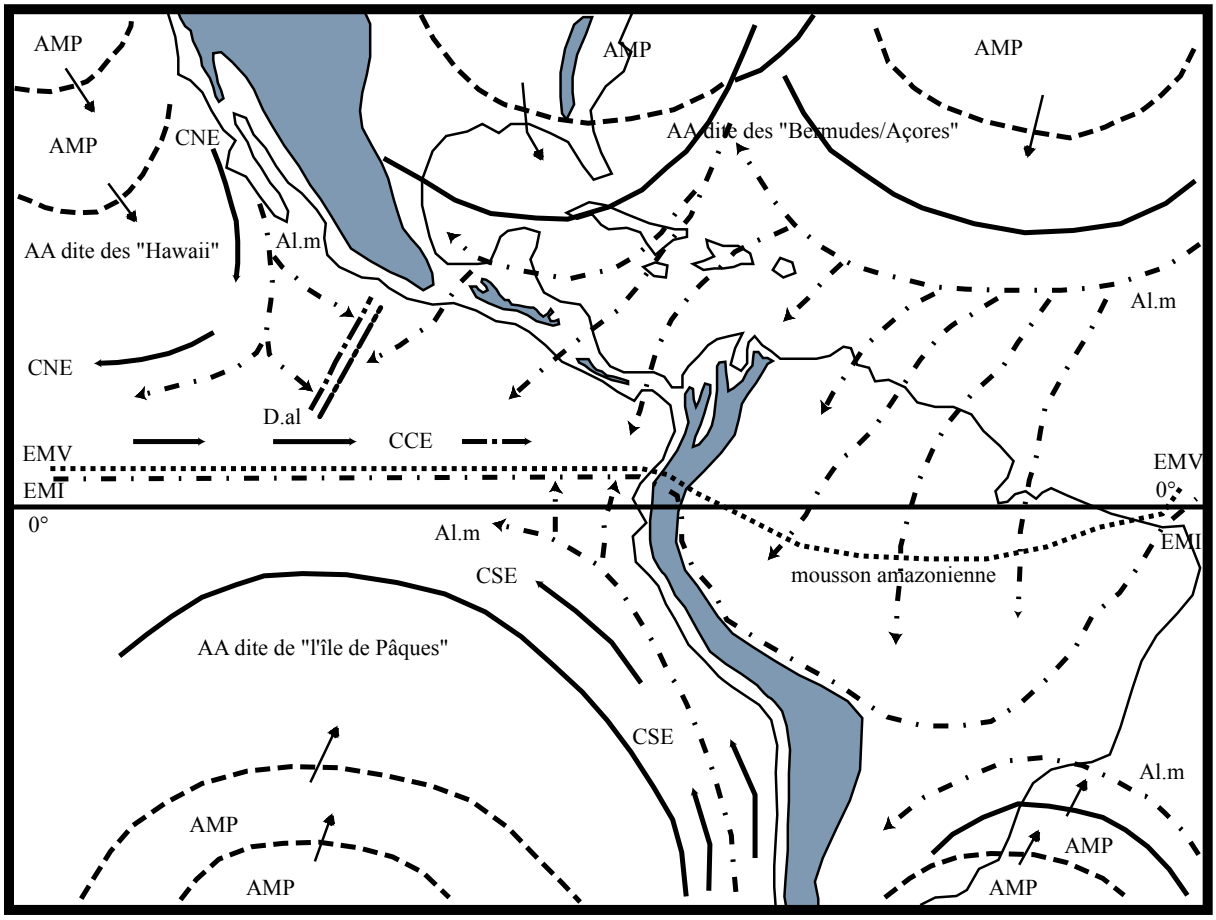
Les AMP agissent également indirectement, en sens inverse en provoquant le retour de l'air tropicalisé vers les pôles. Le retour vers les pôles s'effectue à l'avant des AMP, le flux chaud ayant plus ou moins longuement transité par la zone tropicale. Ces transferts se réalisent horizontalement et principalement dans les basses couches avant de s'élever en direction des pôles, au-dessus des AMP. Un bel exemple nous est offert sur la photo satellite n°3 du 10 octobre 1996 où dans l'hémisphère météorologique nord, un immense AMP provoque sur sa face avant un intense soulèvement et un transfert direct de l'énergie tropicale en direction du pôle, les formations nuageuses très denses s'étirant du Nicaragua jusqu'au Groenland !

La circulation générale est la conséquence du rayonnement. Le mouvement zénithal du soleil provoque une variation saisonnière des échanges méridiens. D'une saison à l'autre, le déplacement est général, vers le sud en hiver boréal, vers le nord en hiver austral.

## 2) la dynamique de la circulation en hiver boréal : décembre, janvier, février (fig. n°21) :

Dans l'hémisphère météorologique en hiver, le déficit thermique polaire accroît la puissance des AMP et des AA, la circulation est dans l'ensemble accélérée, aussi bien à partir du pôle qu'en retour vers le pôle. L'hémisphère météorologique boréal au dynamisme renforcé s'étend au détriment de l'hémisphère austral en été. Une succession incessante de puissants AMP vient alimenter l'AA dite « des Hawaii », beaucoup plus méridienne. Le continent nord-américain est traversé par de très puissants AMP qui alimentent l'AA dite « des Bermudes », extension saisonnière de l'AA dite « des Açores ». La puissante AA atlantique dite des « Bermudes/Açores », alimente sur sa partie sud, la mousson amazonienne (MA) qui entraîne d'abondantes chutes de pluies sur la région des Llanos vénézuéliens et colombiens ainsi que sur tout le bassin amazonien et accélère l'Al.m de type2 qui se dirige vers le Golfe du Mexique. Ce flux d'Al.m de type2 très humide peut être amené à franchir l'isthme de Panama et ainsi pénétrer dans l'espace aérologique pacifique.

**Figure n°21 : Conditions aérologiques moyennes en hiver boréal (décembre, janvier, février)**




**LEGENDE:**

AMP: anticyclone mobile polaire D.al :discontinuité d'alizé
CCE: contre courant équatorial Al.m : alizé maritime
CNE: courant nord équatorial
CSE: courant sud équatorial
EMI: équateur météorologique incliné
EMV: équateur météorologique vertical
AA: agglutination anticyclonique

courant marin
AMP pénétrant dans une AA
EMI
Flux d'alizé/mousson
discontinuité d'alizé
sens du déplacement des AMP
EMV

La circulation océanique superficielle étant en partie impulsée par la circulation aérienne, nous observons :

- dans l'océan Atlantique, dans la partie méridionale de l'AA de l'Atlantique nord, le « courant chaud des Guyanes » se prolongeant vers l'ouest en « courant des Caraïbes » puis en « Gulf Stream ». Ces courants sont vigoureux puisque soutenus par des alizés renforcés.
- dans l'océan Pacifique, en période d'hiver boréal, les alizés atlantiques peuvent être amenés à traverser l'isthme. A proximité des côtes centraméricaines, les eaux de surface chaudes sont repoussées au large et nous observons des zones d'upwelling localisées (celle du dôme du Costa Rica – Panama ; celle située en face de Tehuantepec au Mexique).
- dans l'océan Pacifique, à l'est de l'AA du Pacifique du nord-est, le long des côtes californiennes, les alizés renforcés poussent vers l'ouest le « courant de Californie » froid, courant qui devient par la suite le « courant nord-équatorial ». Le long des côtes californiennes et mexicaines nous observons une immense zone d'upwelling.

L'hémisphère météorologique en été doit dans le même temps à son moindre déficit thermique polaire un affaiblissement de ses AMP et de ses AA, un ralentissement des échanges, et des perturbations moins intenses ; il connaît aussi une remontée générale vers le pôle sud des trajectoires des AMP, des AA. Dans sa partie tropicale, le creusement de dépressions thermiques favorise, par attraction, le débordement de l'autre hémisphère par des flux trans-équatoriaux (mousson amazonienne, MA). Le facteur thermique n'intéressant que les couches proches du sol, l'EM poussé par un flux renforcé, attiré par une dépression surcreusée (située en janvier au sud de la forêt dense vers 20° de latitude sud), n'est fortement déplacé vers l'hémisphère en été que dans les basses couches. La partie non influencée de l'EM, dans les couches moyennes n'enregistre que le décalage d'ensemble de la circulation générale, le même que celui des AA. L'EM possède alors deux structures, une structure inclinée (EMI) dans les basses couches qui superpose un alizé sur une mousson et une structure verticale (EMV) dans les couches moyennes où se rencontrent les strates supérieures des alizés nord et sud.

En été austral, le long des côtes pacifiques de l'Amérique du Sud, en raison de la moindre puissance des alizés issus de l'AA du Pacifique du sud-est, nous observons un moindre dynamisme des courants marins. Le « courant du Pérou », froid (ou « courant de Humboldt »), devient vers l'ouest, le « courant sud-équatorial » et, vers le nord, le « courant de Colombie » (mais, à cette période de l'année, il n'atteint qu'épisodiquement le golfe du Panama) . Le long des côtes du Chili, du Pérou et du sud de l'Equateur, nous observons une zone d'upwelling plus réduite qu'en période hivernale.

N.B : dans l'océan Pacifique, entre les deux unités de circulation, les alizés issus de l'AA du Pacifique du nord-est et les alizés issus de l'AA du Pacifique sud chassant vers l'ouest les eaux de surface, le vide relatif est compensé par le « contre-courant équatorial » chaud qui revient vers l'est sous la zone des calmes liée à l'EMV. Ainsi l'isthme américain est baigné par des eaux chaudes, entre deux courant froids.

Ce courant de surface connaît une très grande variabilité saisonnière, à la fin de l'hiver boréal (en février-mars), il est faible et discontinu.

## 3) La dynamique de la circulation en hiver austral : juin, juillet , août (fig. n°22) :

La Terre est en position d'aphélie, le déficit thermique austral est donc plus fort ; cette rigueur favorise une extension plus grande de l'hémisphère météorologique sud, extension favorisée par la canalisation par les Andes des puissants AMP australs qui repoussent l'EM plus au nord. Dans l'hémisphère météorologique sud, de puissants AMP alimentent constamment l'AA dite « de l'île de Pâques ». Le flux d'Al.m de type1 évolue vers le type2 en se chargeant d'humidité et en étant progressivement dévié en mousson panaméenne (MP). Cette mousson vient se confronter le long de l'EM (repoussé et attiré vers le nord) à un flux d'Al.m de type2 de direction opposée. Ces deux flux de directions contraires, tous deux chargés d'humidité vont compenser le handicap structural (cisaillement) et nous observons de très fortes pluies sur le littoral pacifique de la Colombie au Salvador exacerbées par l'orographie andine. De puissants AMP remontent également vers le nord, à l'est des Andes, le long de la cordillère par la Pampa argentine, envoyant de l'air polaire sur le continent (précisons que ces AMP sont sans rapport avec la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale).

Les basses couches fortement conditionnées par le facteur géographique, notamment topographique, sont divisées en espaces aérologiques qui obéissent à une dynamique commune. Elles ont une importance considérable puisque ce sont elles qui réalisent l'essentiel des échanges par transferts horizontaux.

La zone tropicale est chaude : elle bénéficie donc d'un fort potentiel de chaleur sensible et latente et connaît une forte évaporation créant un fort potentiel précipitable. Elle dispose donc d'une forte quantité d'énergie.

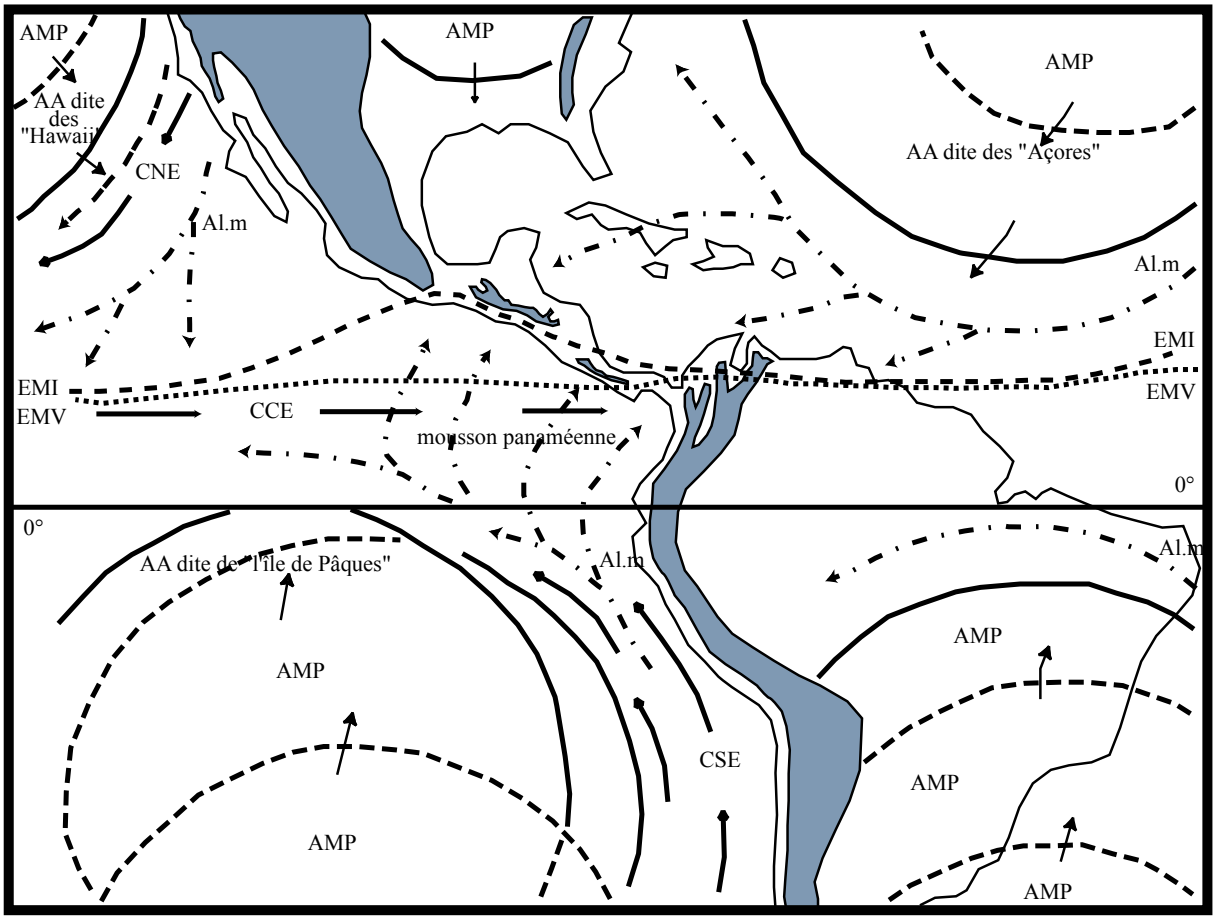
La zone tropicale contrairement à la zone tempérée est rigoureusement organisée, structurée, stratifiée.

Les figures n°21 et 22 soulignent la grande importance de l'EM sur le climat centraméricain. En hiver boréal, l'Al.m issu de l'AA dite « des Bermudes/Açores » peut être amené à franchir l'isthme vers le Pacifique. En hiver austral, l'Al.m issu de l'AA dite de « l'île de Pâques » incurve sa trajectoire vers l'isthme de Panama, formant la mousson panaméenne (MP).

La circulation océanique superficielle étant en partie impulsée par la circulation aérienne, nous observons :

- en période d'hiver austral, le long des côtes pacifiques de l'Amérique du Sud, le « courant du Pérou » froid (ou « courant de Humboldt ») est renforcé. Ce « courant du Pérou » devient par la suite, vers l'ouest, le « courant sud-équatorial », également renforcé. En raison du dynamisme austral, le « courant de Humboldt », plus au nord devient le « courant de Colombie » et atteint le golfe de Panama. Le long des côtes du Chili, du Pérou, de l'Equateur (région des îles Galapagos) et de la côte pacifique de la Colombie, l'Al.m, en écartant l'eau de surface (réchauffée) du rivage, provoque un vide relatif et la remontée d'eaux profondes froides. Nous observons une large zone d'upwelling.
- dans l'océan Atlantique et dans l'océan Pacifique du nord-est, nous sommes en période estivale et, de ce fait, les courants marins présentés auparavant connaissent un moindre dynamisme. Les zones d'upwelling sont beaucoup plus localisées et les poches d'eaux froides observées à proximité des côtes pacifiques de l'Amérique centrale disparaissent ou deviennent épisodiques, moins marquées.

**Figure n°22 : Conditions aérologiques moyennes en hiver austral (juin, juillet, août)**




**LEGENDE:**
AMP: anticyclone mobile polaire Al.m : alizé
CCE: contre courant équatorial
CNE: courant nord équatorial
CSE: courant sud équatorial
EMI: équateur météorologique incliné
EMV: équateur météorologique vertical
AA: agglutination anticyclonique

courant marin
flux d'alizé
sens du déplacement des AMP
AMP pénétrant dans une AA
EMV
EMI

N.B : entre les deux unités de circulation, le « contre-courant équatorial » chaud, pendant l'hiver austral est renforcé par la mousson panaméenne (MP) de direction dominante ouest.

## 4) Conclusion :

Notre domaine d'étude, l'isthme centraméricain, n'est pas isolé, coupé de la circulation mais, bien au contraire, le point d'aboutissement des deux circulations hémisphériques ; l'une partie du Nord – fait tout descendre vers le sud en hiver boréal - ; l'autre partie du Sud – fait tout remonter vers le nord en hiver austral -.

Comment fonctionne donc le climat de l'Amérique Centrale ?

La zone tropicale n'est pas fermée, au contraire, elle participe pleinement à la circulation générale de l'atmosphère. En effet, elle reçoit de l'air extra-tropical originaire des pôles, et en contre partie, elle participe à l'équilibre thermique du globe en transmettant de l'énergie et de l'air chaud et humide en direction des zones tempérées. Ces transferts, ces échanges se réalisent grâce aux AMP qui, après avoir traversé la zone tempérée, alimentent la circulation tropicale. Les AMP forment et alimentent constamment les AA. Les AMP s'agglutinent et les LP qui rythment la progression des AMP sous les Tropiques deviennent progressivement la circulation d'alizé qui peut éventuellement se transformer en mousson au franchissement de l'équateur géographique, en direction de l'EM.

L'isthme centraméricain, situé au cœur de cette zone d'échanges, constitue un formidable carrefour climatique. Les flux d'alizé et/ou de mousson issus des AA atlantiques et pacifiques des deux hémisphères météorologiques se rejoignent le long de l'EM. Comme nous avons pu le démontrer dans cette partie sur la circulation, toute variation dans la puissance des centres d'action du nord, du sud, entraîne des modifications climatiques sur l'isthme.

Après l'analyse de la dynamique de la circulation, nous allons, dans une troisième partie, présenter, analyser les différents types de perturbations affectant (parfois tragiquement) le temps et le climat en Amérique Centrale.

# PARTIE 3 : L'ÉTUDE DES PERTURBATIONS

## Introduction :

Après l'analyse des flux (la circulation moyenne), la présentation de la dynamique du temps et du climat, il s'agit, dans cette troisième partie, de présenter les perturbations caractéristiques du temps et du climat en Amérique Centrale.

Notre objectif étant d'expliquer la dynamique de chaque perturbation, nous proposerons dans un premier temps un bilan bibliographique des connaissances actuelles en la matière, nous présenterons ensuite des études de cas qui nous permettront, dans un troisième temps d'exposer la dynamique propre à chaque phénomène.

## Chapitre 1 : Les lignes de pulsation (LP)

### 1) Introduction :

Les flux d'alizé n'ont pas la grande régularité qu'on leur prête puisqu'ils sont constamment animés de pulsations, poussées anticycloniques, ou « surges » ; Lamarre (1991) parle « d'à-coups », qui s'expriment par des accélérations et des hausses mobiles de pression. Quelle est l'origine de ces pulsations ?

Le temps perturbé associé à l'alizé, déjà présenté par Eaker (1945) sous le modèle de « la vague (ou « onde ») barométrique d'est », a été popularisé sous l'appellation « onde d'est » (« easterly wave ») par Riehl (1954). Les ouvrages de climatologie ont alors considéré que « l'onde d'est » représente (avec le cyclone) « La » perturbation tropicale.

### 2) Bilan bibliographique :

#### a) Présentation du modèle des « ondes d'est » (Fig. n°23 et 24) :

Guzman (1971), s'attarde longuement sur le modèle des « ondes d'est » :

Elles sont connues depuis longtemps, ayant toujours été interprétées comme étant des fronts.

Garbel (1947), les classait comme « fronts tropicaux » ; Dunn (1940) observa que pendant la saison cyclonique, apparaissaient sur les cartes de surface, sur l'Atlantique et la mer des Caraïbes, des chaînes de « noyaux isallobares » qui se déplaçaient d'est en ouest et étaient accompagnées par une séquence déterminée de phénomènes atmosphériques.

C'est dans les Caraïbes que Riehl (1954) et ses collaborateurs ont étudié ce phénomène et établirent un modèle de ces perturbations qui furent introduites dans la littérature sous l'appellation « ondes d'est » (« easterly waves », « ondas del este », voir fig. n° 23 et 24).

Une « onde d'est » se caractérise par un talweg dans le champ de vent et de pression, avec l'ouverture orientée vers l'axe des basses pressions intertropicales (« vaguada ecuatorial »). Ce système s'étend sur environ 15° de longitude (1 700 kilomètres) et se déplace d'est en ouest à une vitesse moyenne de 20 à 30 km/h.

A l'avant de l'axe du talweg, on observe une divergence dans les basses couches et une convergence (divergence négative) dans les couches supérieures, ce qui conduit à une diminution de la convection qui généralement amène avec elle le beau temps.

**Fig. n° 23 : Modèle d'une « onde d'est » (Riehl, 1954)**

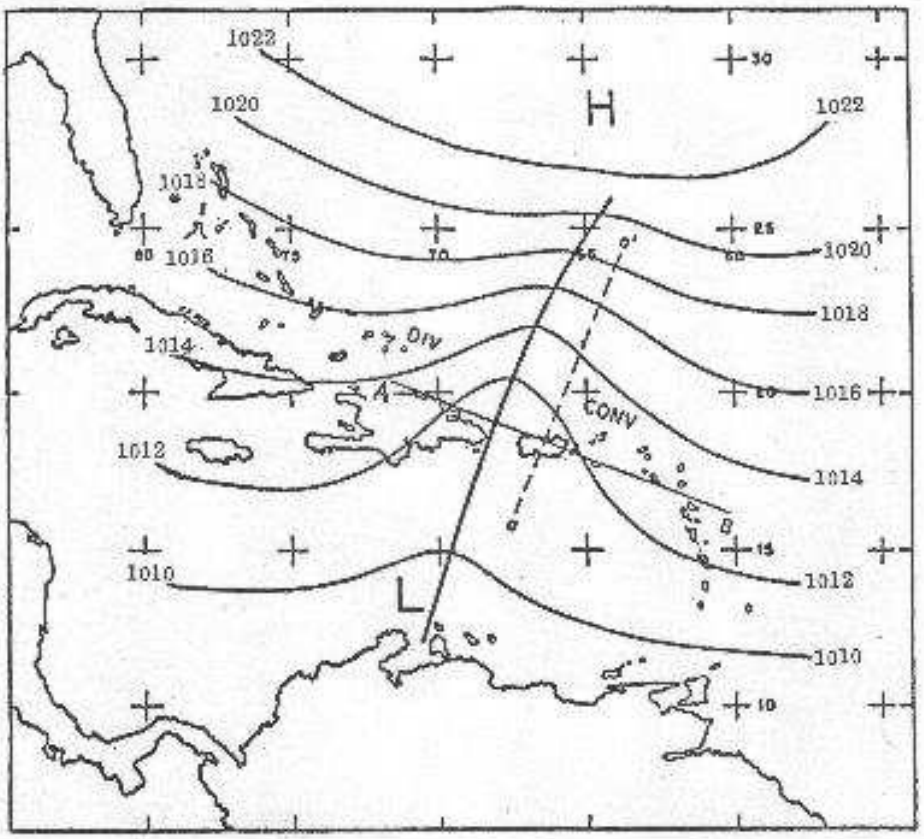
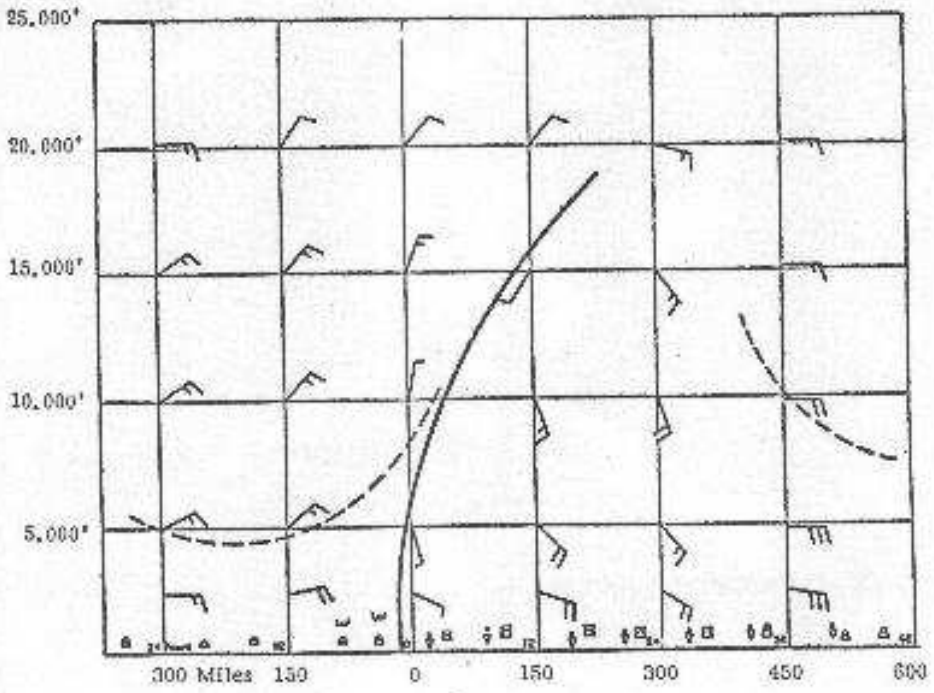



**Fig. n° 24 : Modèle d'une « onde d'est » ; coupe verticale le long du segment A-B sur la figure précédentes (Riehl, 1954)**



A l'arrière de l'axe du talweg, le signe de la divergence change entraînant une augmentation de la convection et avec cela, des zones de mauvais temps, généralement en forme de lignes de nébulosité convectives accompagnées de phénomènes orageux caractéristiques.

Cette distribution de la divergence et du temps atmosphérique induit, n'est valable que pour une onde qui, avec une inclinaison insignifiante de son axe vertical, se déplace dans le flux d'alizé (« los estes ») et si le mouvement de l'onde est plus lent que la vitesse du vent dans les basses couches et plus rapide dans les couches supérieures. L'extension verticale de la couche humide dépend du degré des mouvements verticaux. Loin de l'axe du talweg (360 kilomètres), le haut de la couche humide atteint l'altitude minimale, souvent inférieure à 1 500 mètres. En se rapprochant de l'axe du talweg, le haut de la couche humide s'élève rapidement pour atteindre jusqu'à 6 000 mètres dans les zones de convexion maximale.

Les variations de la pression augmentent avec l'altitude. Des ondes d'intensité faible à modérée atteignent leur maximum dans la moyenne troposphère, entre 700 et 500 millibars, connaissant fréquemment à ces niveaux une circulation cyclonique fermée qui s'affaiblit vers le haut. Les ondes intenses, s'accompagnent de variation de pression et de température jusqu'au niveau de la tropopause.

En surface, la pression et la température sont approximativement en phase. Peu après le minimum de pression, se produit le minimum de température. Le refroidissement est dû à la diminution de la radiation à cause de la nébulosité, de l'évaporation des pluies et des courants ascendants sous forme de puissants nuages convectifs (Guzman, 1971).

**b) Evolution du modèle :**

Ce modèle s'est ensuite, avec des aménagements, appelé « onde tropicale » (« onda tropical ») définie comme « un talweg, ou une circulation cyclonique dans l'alizé d'est » ou une « onde d'instabilité » (« onda de inestabilidad »), « ressemblant aux ondes d'est mais ayant une vitesse de déplacement plus grande » (Portig, 1960), élargissement du concept pour tenir compte des particularités, tandis que sont aussi apparues des « ondes équatoriales » ou encore des « ondes induites » par un processus en altitude (par exemple par des cyclones dans la troposphère supérieure pendant l'été ou par des talwegs dans les flux d'ouest supérieurs en hiver). D'autres interprétations ont été données des pulsations successives et des ondes de pression, désignées « front dans l'alizé », ou « dans la mousson » (M. Leroux, 2000).

Comme le fait remarquer Guzman (1971), un « certain scepticisme » et « de nombreuses interrogations » subsistent quant à ce modèle des « ondes d'est ». Atkinson (1971), souligne lui aussi le fait qu'il subsiste « des controverses considérables au sujet du modèle de l'onde d'est ».

En dépit de ces critiques, la quasi totalité des météorologues centraméricains pensent que « ce modèle, utilisé avec succès dans de nombreux services météorologiques ne peut être abandonné » (Guzman, 1971). Les réserves émises ont été oubliées et ce modèle des « ondes d'est » est des plus utilisés pour rendre compte du temps et du climat en Amérique Centrale.

Nous pouvons constater que les climatologues sont occupés quotidiennement à les recenser manuellement sur les cartes synoptiques où elles apparaissent clairement (voir ci-dessous partie 3, chapitre 1, 3).

Ces « ondes d'est », formées au large de la côte africaine, se déplaçant ensuite vers l'ouest seraient pour Hastenrath (1991) à l'origine de « la moitié des cyclones atlantiques » et pour Lamarre (1991), à « l'origine de la plupart des cyclones du Pacifique oriental ». On

comprend dès lors l'importance qui leur est attribuée dans la perception du temps et du climat en Amérique Centrale.

J. A. Zehnder, R. L. Gall (1991), reconnaissent dans leur étude que « les ondes d'est originaires d'Afrique sont généralement admises comme étant à l'origine des cyclones tropicaux dans le Pacifique oriental ». Sans remettre en cause cette hypothèse admise par tous, ces auteurs disent cependant que « d'autres mécanismes peuvent être impliqués dans la cyclogenèse de cet espace » (l'interaction du flux de grande échelle avec la topographie, la formation de systèmes convectifs d'échelle moyenne sur le continent, repoussés vers l'océan par le vent…).

Zehnder, Velazquez et Farfan (2000), ont établi (avec cependant quelques réserves) la relation entre les « ondes d'est » qui se propagent depuis la mer des Caraïbes en direction de l'océan Pacifique et le développement d'intenses convections pouvant évoluer en cyclones tropicaux aux alentours du Golfe de Tehuantepec (Mexique).

Des zones d'ombres subsistent : « le Pacifique tropical est, juste à l'ouest des côtes du Mexique et de l'Amérique Centrale est l'un des espaces où la cyclogenèse est très active » (Renard et Bowman, 1976). L'origine de cette cyclogenèse active est « sujette à discussion », mais « la plupart des théories impliquent la présence d'ondes d'est qui se propagent dans la région depuis les Caraïbes » (Zehnder, Velazquez et Farfan, 2000). Ces mêmes auteurs reconnaissent cependant que « le mécanisme par lequel la vorticité relative cyclonique associée à l'onde est réduite à une échelle horizontale tout en étant augmentée en magnitude est toujours objet de recherche ».

#### c) Les LP dans la mousson panaméenne :

Dans la littérature sur l'Amérique Centrale, nous ne trouvons pas beaucoup d'information sur le sujet (il faut dire que les flux « de sud-ouest » sur le Pacifique ne sont pas unanimement reconnus comme flux de mousson), pourtant, dans d'autres secteurs, en Afrique (Leroux, 1983), ces pulsations de mousson ont été reconnues sous différentes appellations : « renforcement de mousson », puisque la vitesse est accélérée, ou « perturbation de sud-ouest » pour rendre compte du sens du déplacement. La perturbation associée à la ligne de poussée d'air (« surge line »), dont les nuages forment une bande perpendiculaire aux lignes de flux (« band of disturbed weather »).

Wayne-Higgins R. et al., (2003), reprenant les travaux de Hales et al., (1972) et ceux de Stensrud et al., (1995), parlent de « pulsations (*surges*) d'air tropical maritime qui se déplacent vers le nord, le long du Golfe de Californie et qui sont capables d'intensifier ou d'amoindrir les pluies de mousson dans les déserts d'Arizona et de Californie ».

Après avoir réalisé ce bilan bibliographique, force est de constater qu'aucune explication n'est donnée sur l'origine de ces pulsations !

## 3) Etude de cas : analyse de la situation du 28/10 au 1/11/1999 (photos satellite n°20 à 29 ; cartes n°29 à 40 et fig. n°25 et 26) :

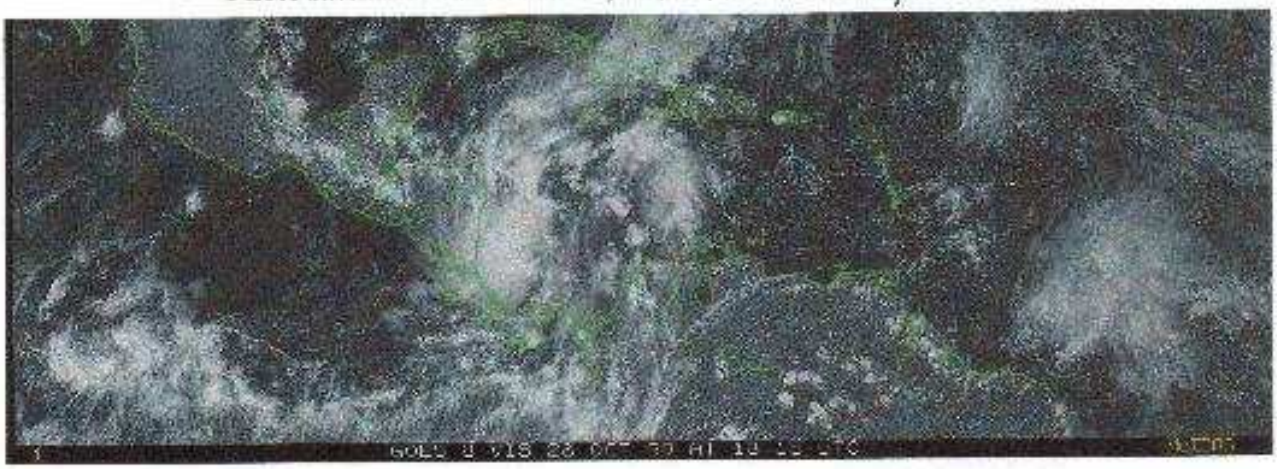
#### a) Présentation des documents utilisés :

Nous allons analyser ici un corpus de photos satellite (GOES 8, est, ir, 12h15 T.U ; GOES 8, est, visible, 18h15 T.U), de cartes de surface de la NOAA (analyse tropicale présentant les « ondes d'est » et le champ de pression, de cartes de surface du BME (12h00

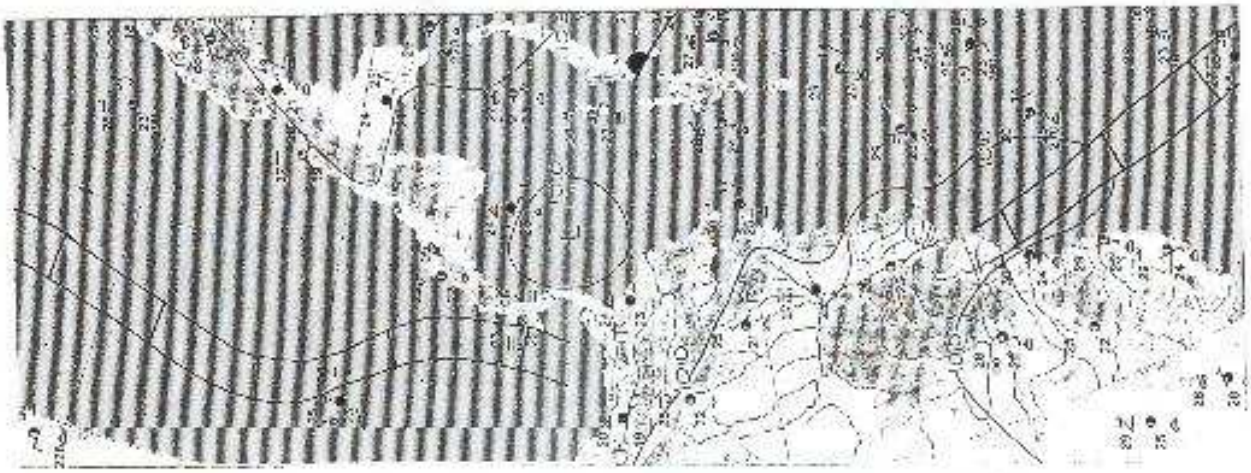
**Photo satellite n°20 : GOES 8, est, ir, le 28/10/1999, 12h15 T.U**



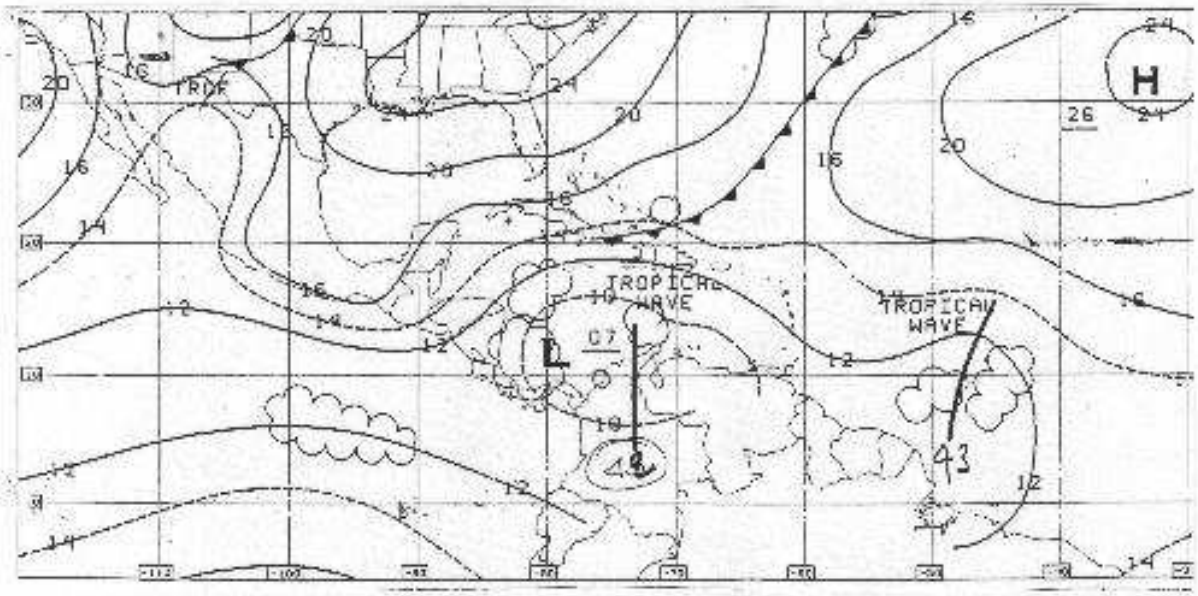
**Photo satellite n°21 : GOES 8, est, vis, le 28/10/1999, 18h15 T.U**



**Carte n°29 : Analyse de surface du 28/10/1999, 12h00 T.U (BME)**



**Carte n°30 : Analyse tropicale de surface du 28/10/1999 12h00 T.U (analyste Tichacek, NOAA)**




**Carte n°31 : Analyse tropicale de surface du 28/10/1999 18h00 T.U (analyste Robbins, NOAA)**

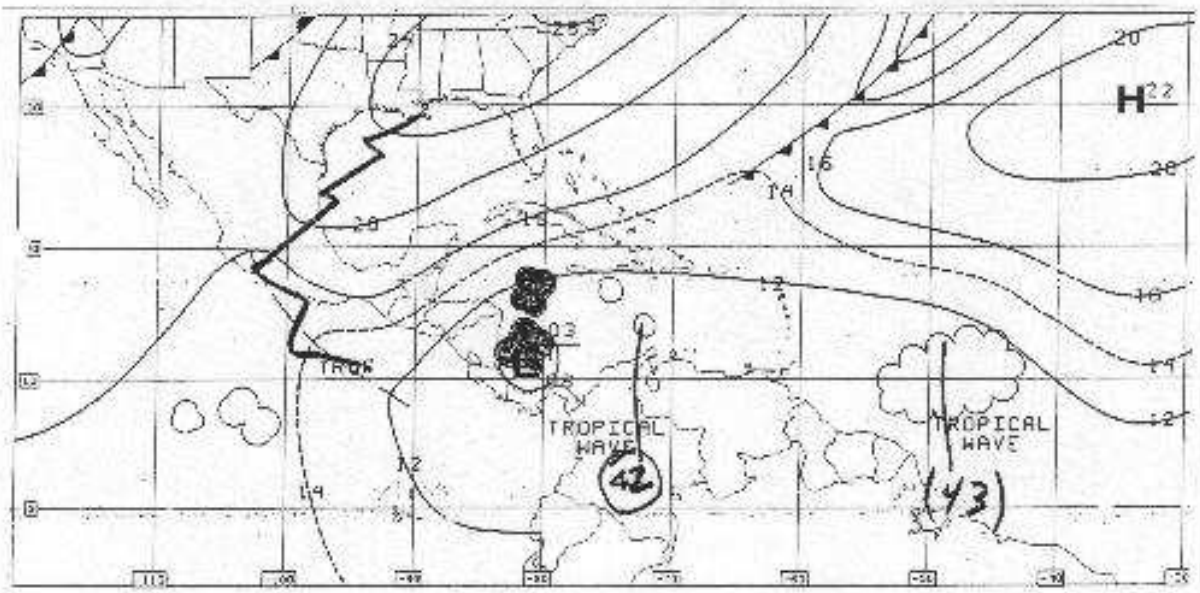


**Photo satellite n°22 : GOES 8, est, ir, le 29/10/1999, 12h15 T.U**

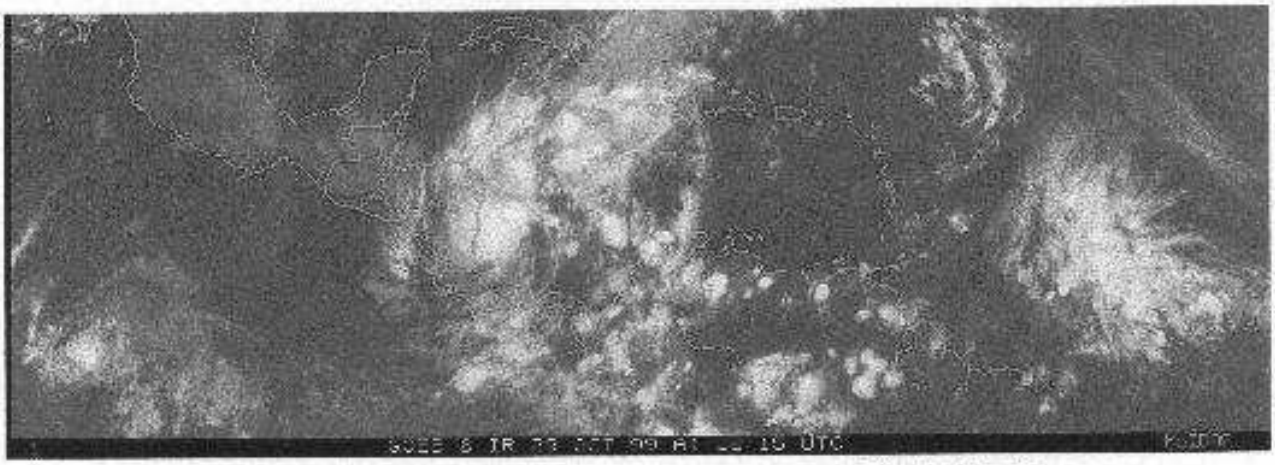
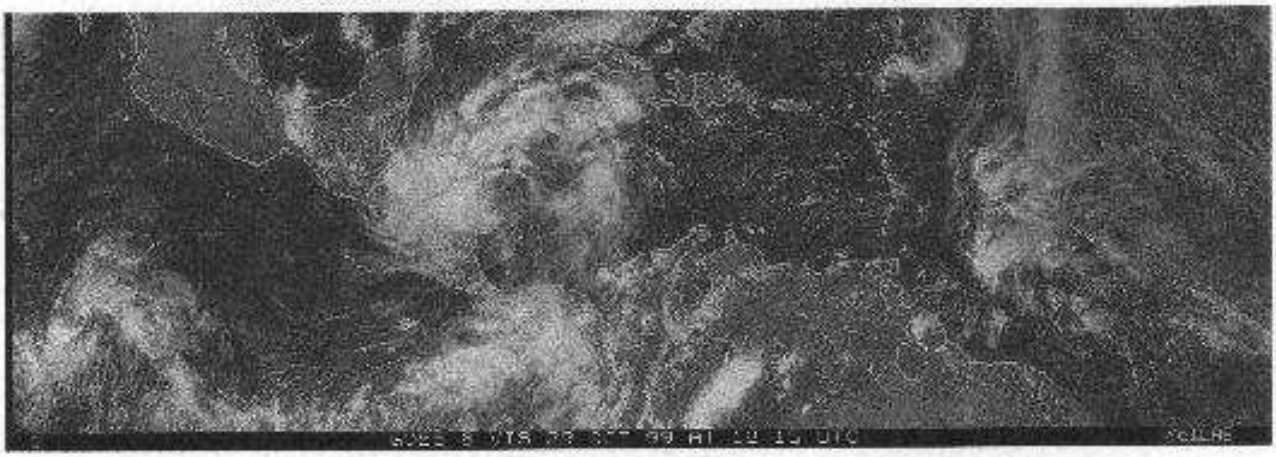
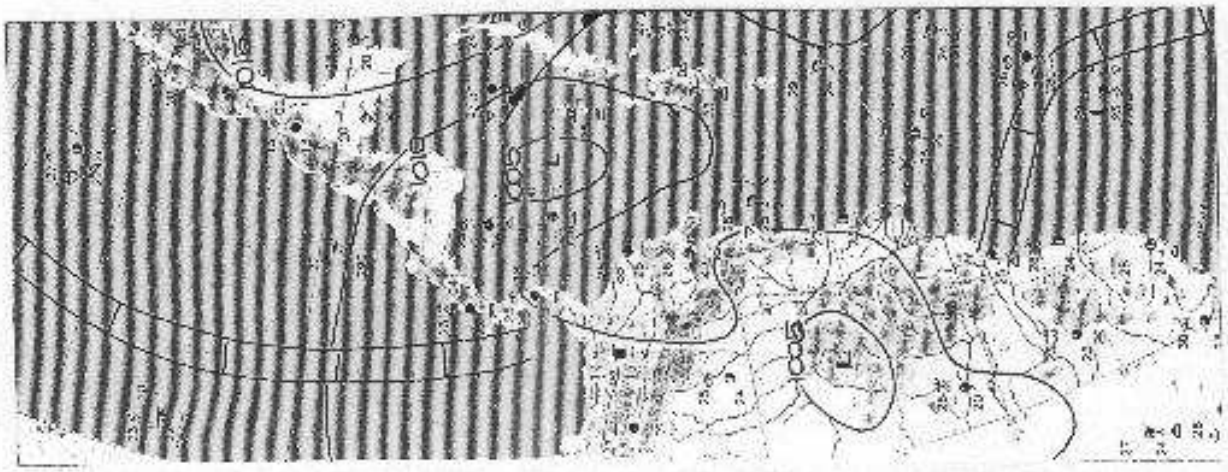


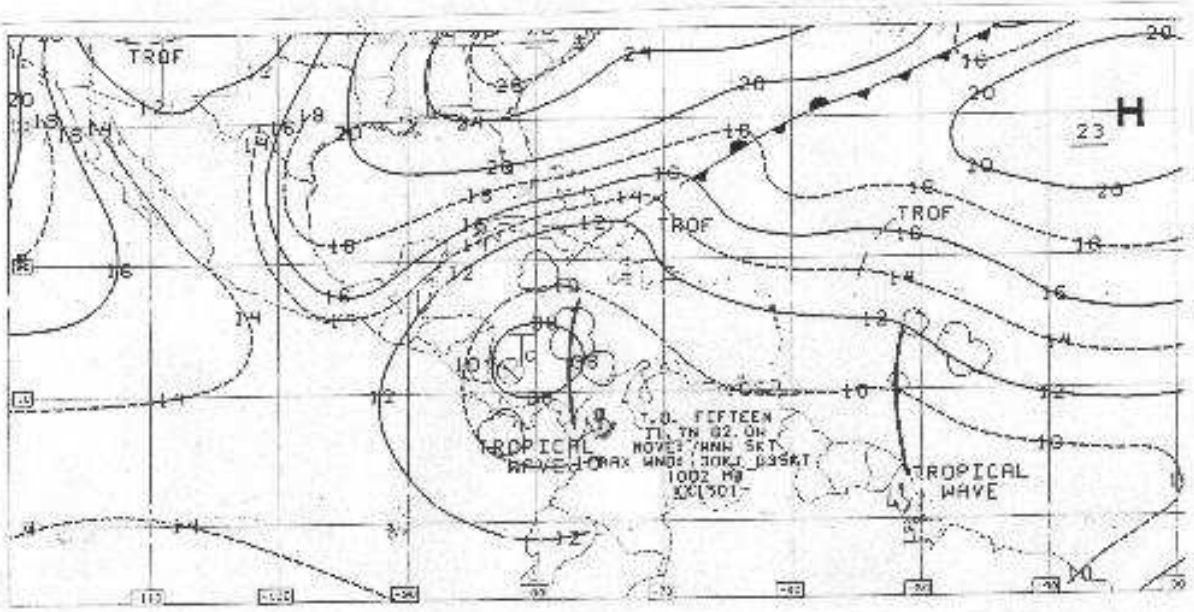
**Photo satellite n°23 : GOES 8, est, vis, le 29/10/1999, 18h15 T.U**



**Carte n°32 : Analyse de surface du 29/10/1999, 12h00 T.U (BME)**



**Carte n°33 : Analyse tropicale de surface du 29/10/1999 06h00 T.U (analyste Holweg, NOAA)**




**Carte n°34 : Analyse tropicale de surface du 29/10/1999 18h00 T.U (analyste Robbins, NOAA)**

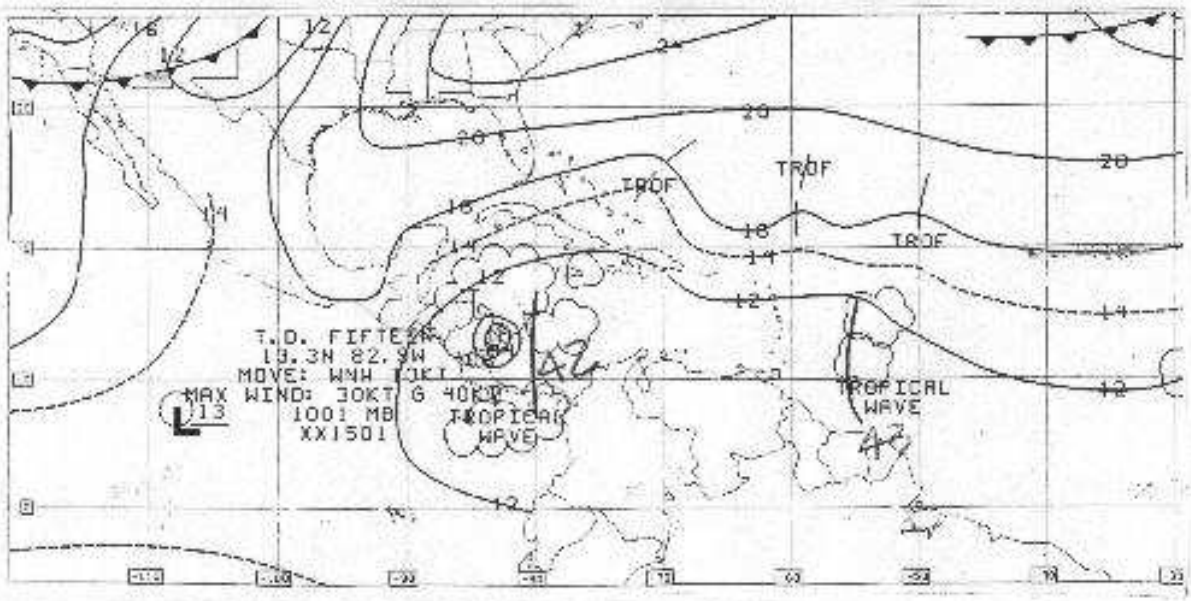


**Photo satellite n°24 : GOES 8, est, ir, le 30/10/1999, 12h15 T.U**

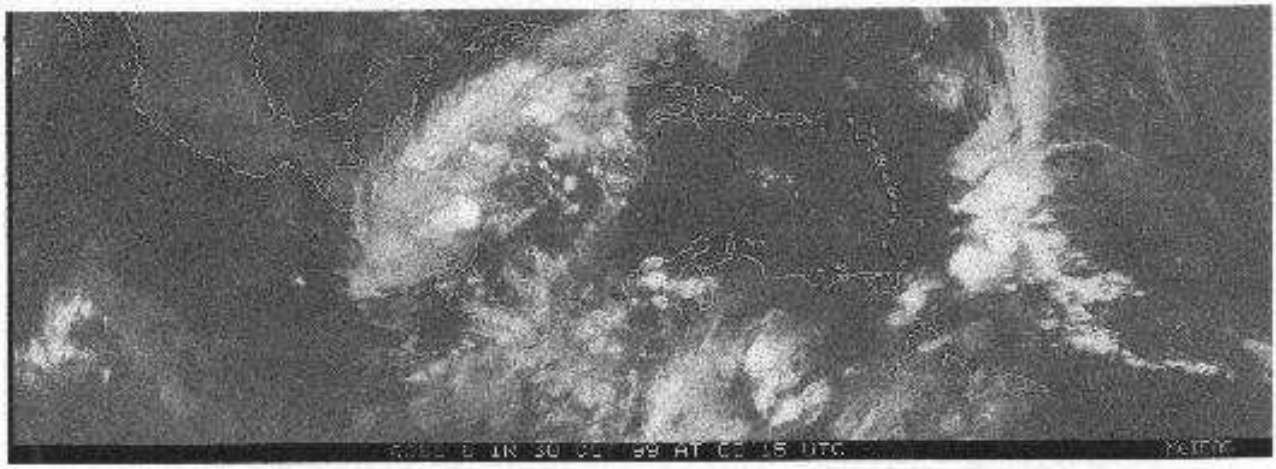
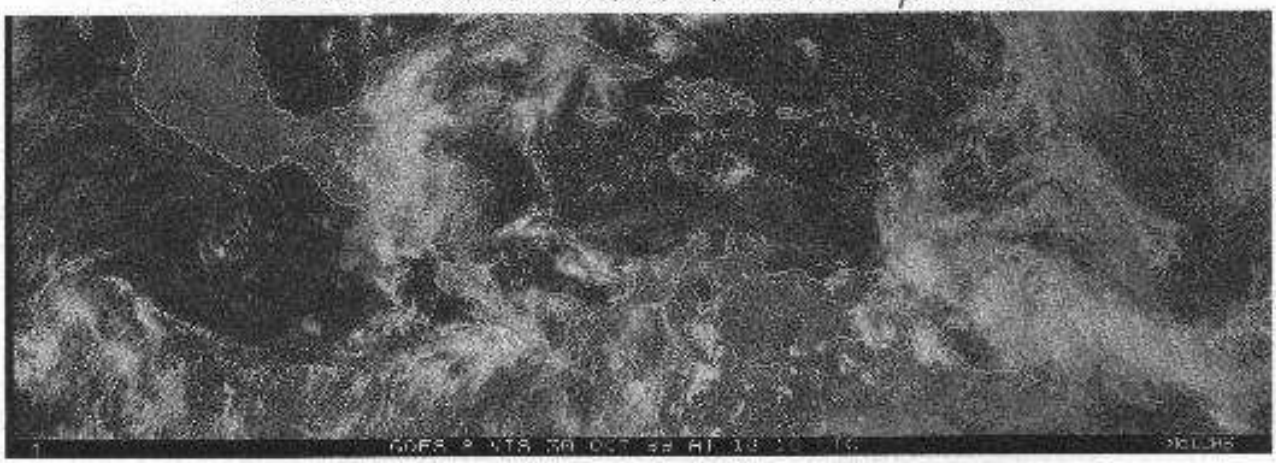


**Photo satellite n°25 : GOES 8, est, vis, le 30/10/1999, 18h15 T.U**



**Carte n°35 : Analyse de surface du 30/10/1999, 12h00 T.U (BME)**

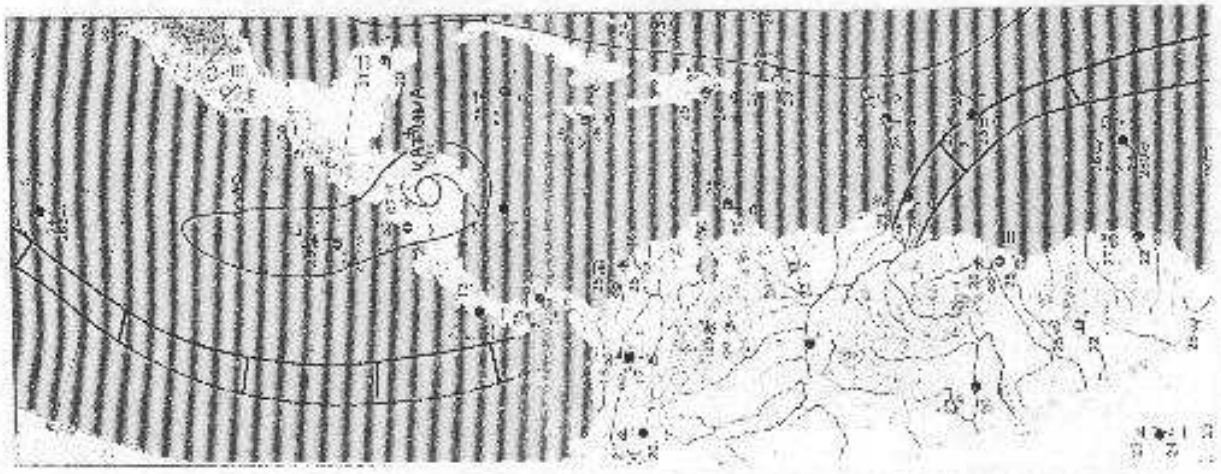


**Photo satellite n°26 : GOES 8, est, ir, le 31/10/1999, 12h15 T.U**

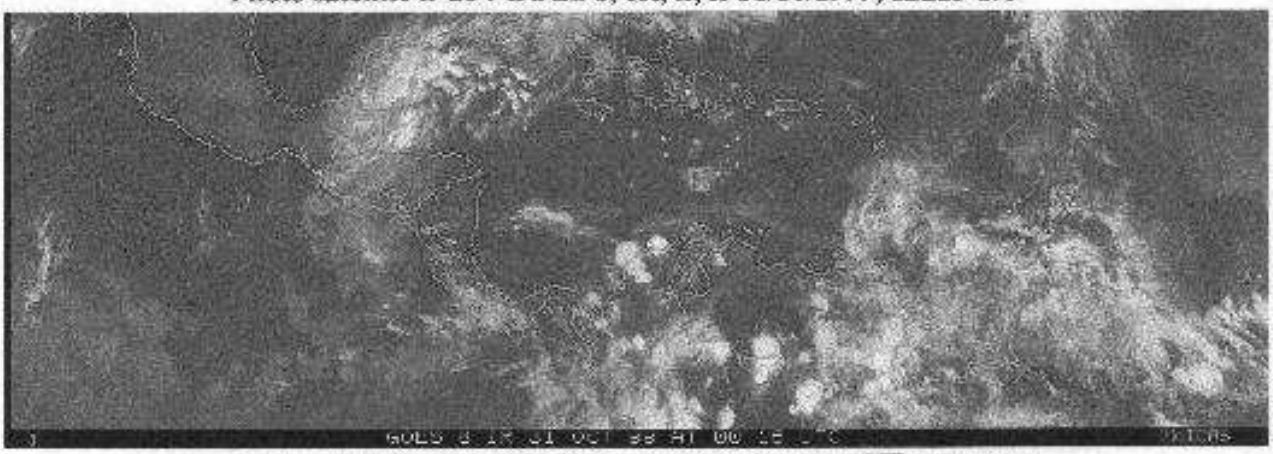
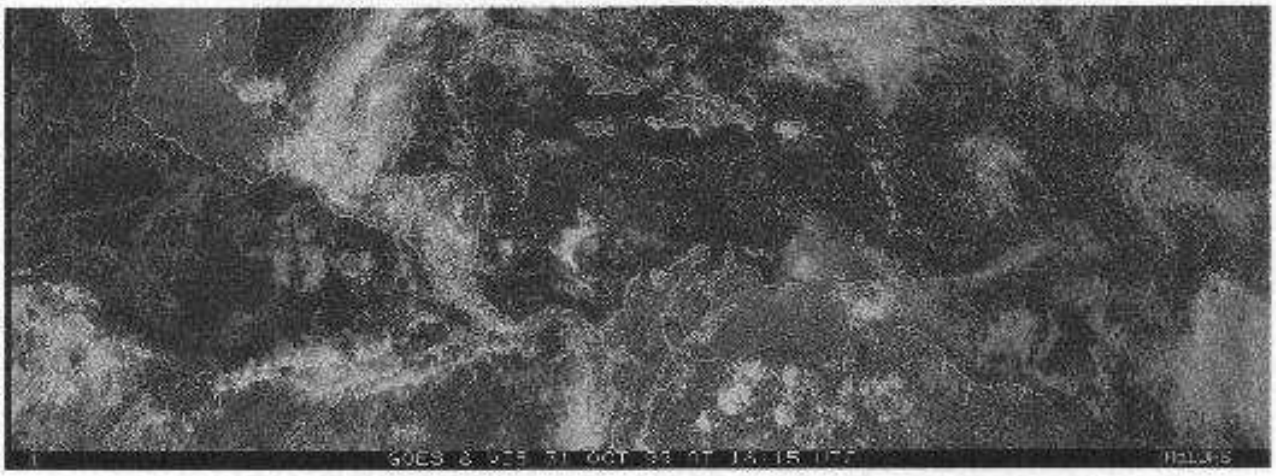
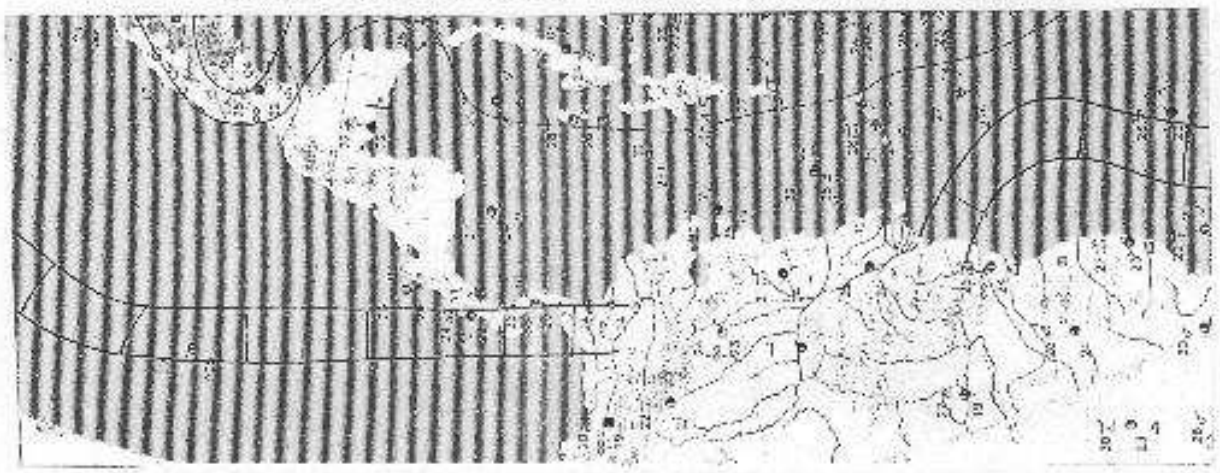


**Photo satellite n°27 : GOES 8, est, vis, le 31/10/1999, 18h15 T.U**



**Carte n°36 : Analyse de surface du 31/10/1999, 12h00 T.U (BME)**



**N.B : nous ne disposons pas de carte pour le 30/10/1999**
**Système hors service**

**N.B : nous ne disposons pas de carte pour le 31/10/1999**
**Avant 18h00 T.U**
**Système hors service**

**Carte n°37 : Analyse tropicale de surface du 31/10/1999**
**18h00 T.U (analyste Wallace, NOAA)**

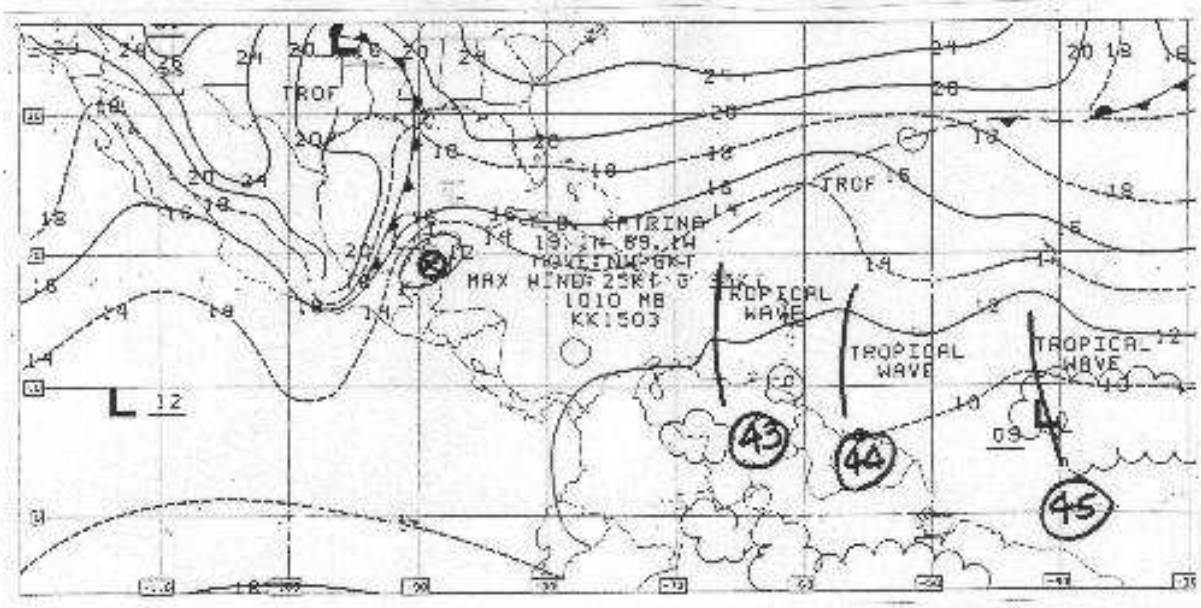


**Photo satellite n°28 : GOES 8, est, ir, le 1/11/1999, 12h15 T.U**

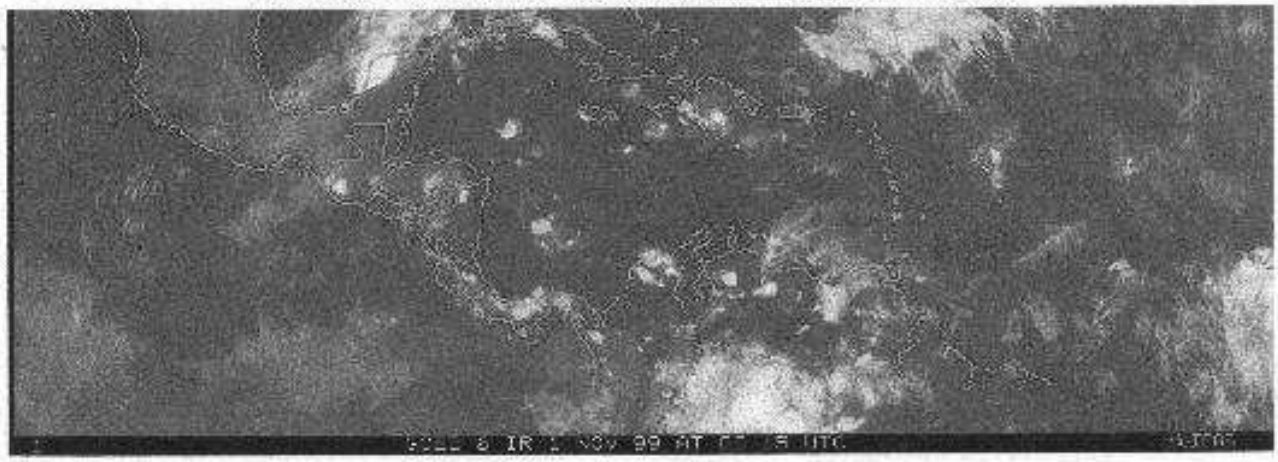
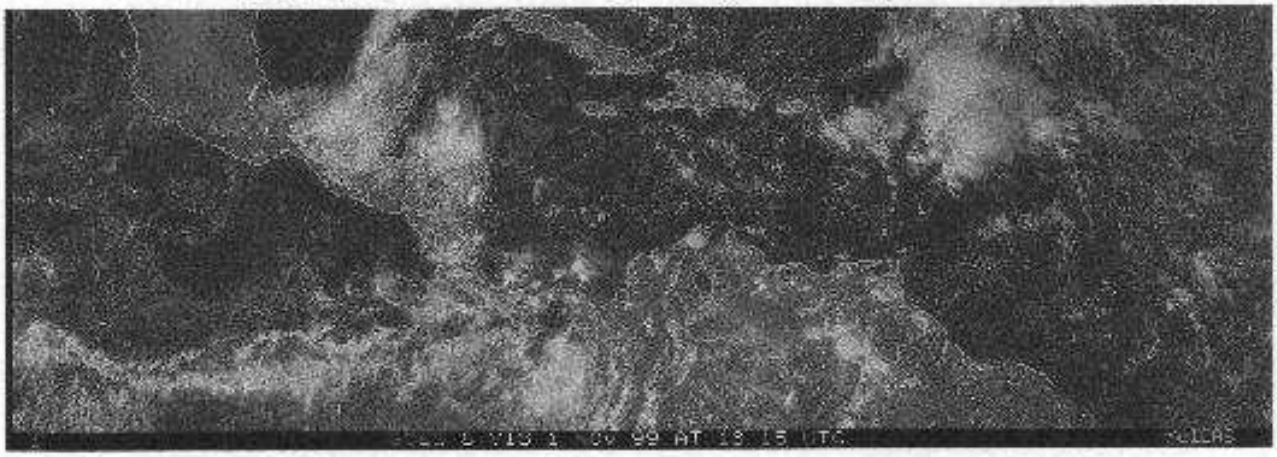
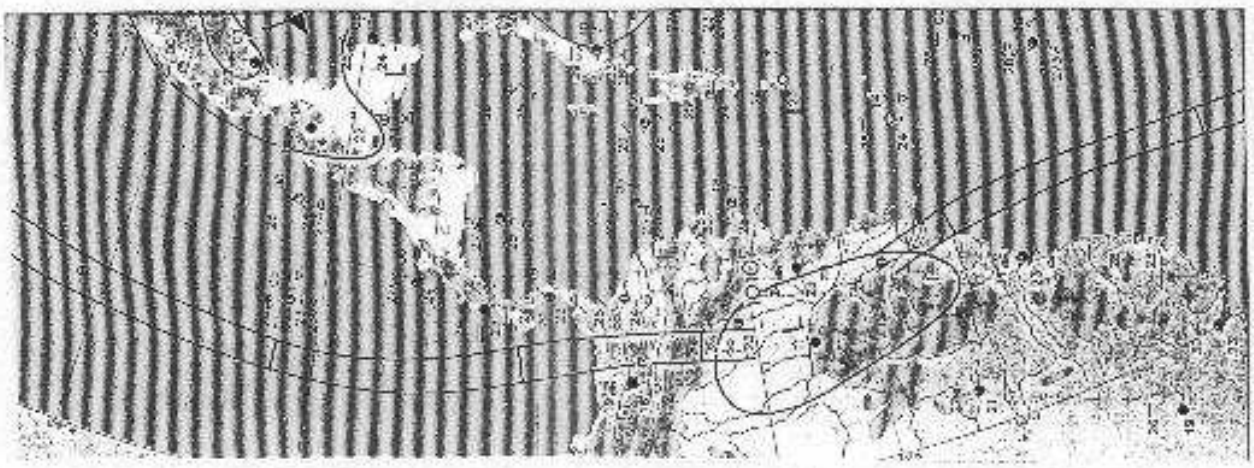


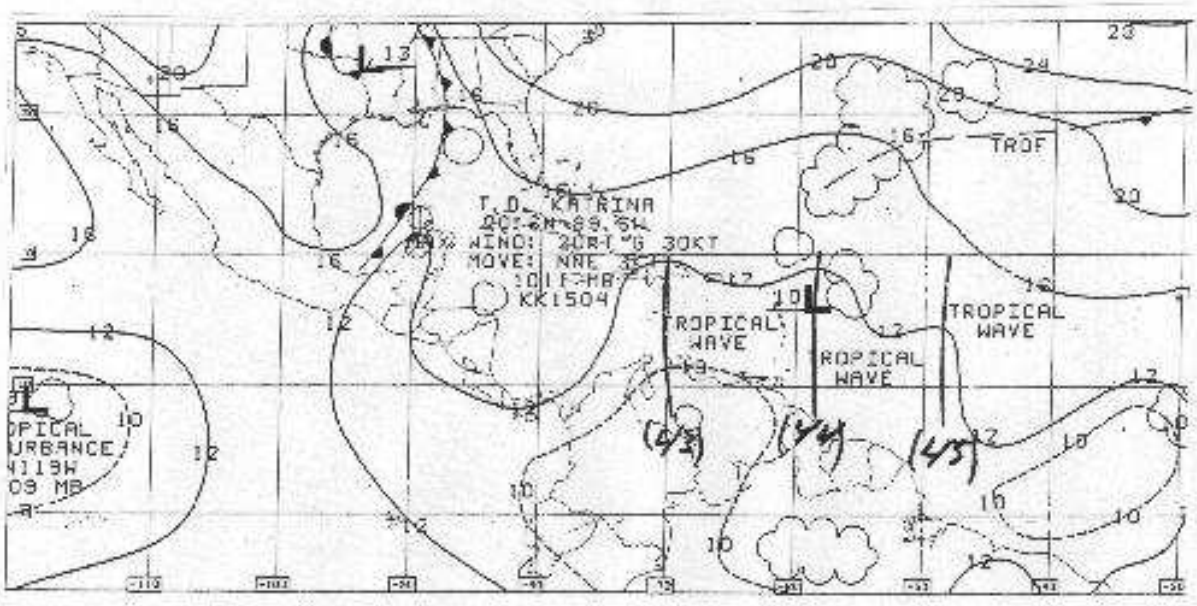
**Photo satellite n°29 : GOES 8, est, vis, le 1/11/1999, 18h15 T.U**



**Carte n°38 : Analyse de surface du 1/11/1999, 12h00 T.U (BME)**



**Carte n°39 : Analyse tropicale de surface du 1/11/1999**
**12h00 T.U (analyste Formosa, NOAA)**




**Carte n°40 : Analyse tropicale de surface du 1/11/1999**
**18h00 T.U (analyste Wallace, NOAA)**

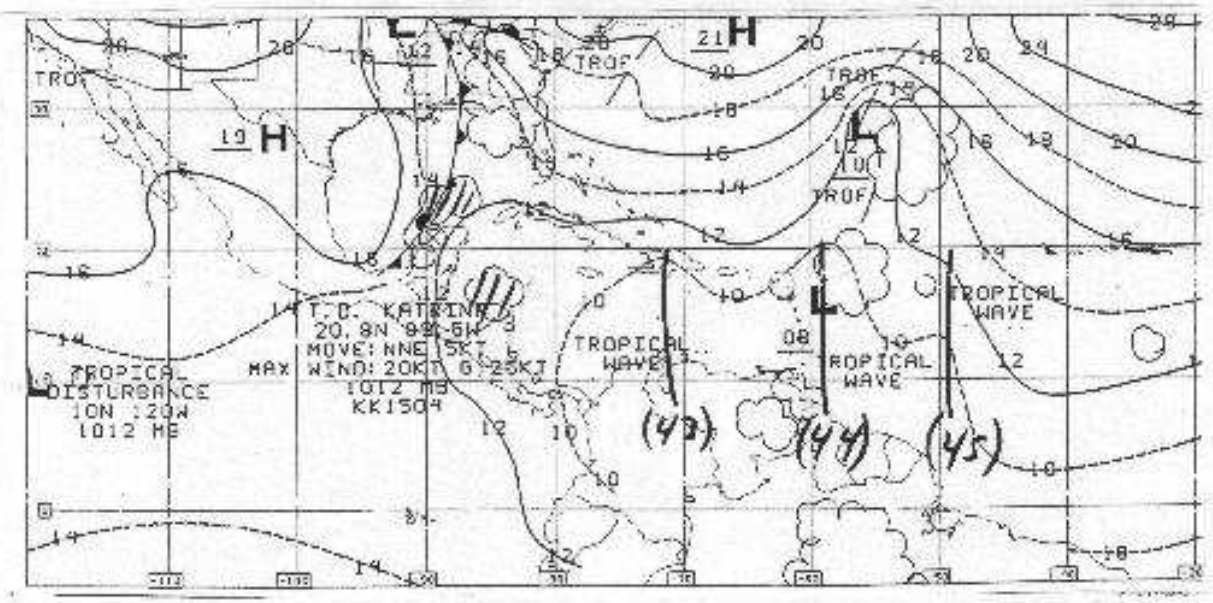
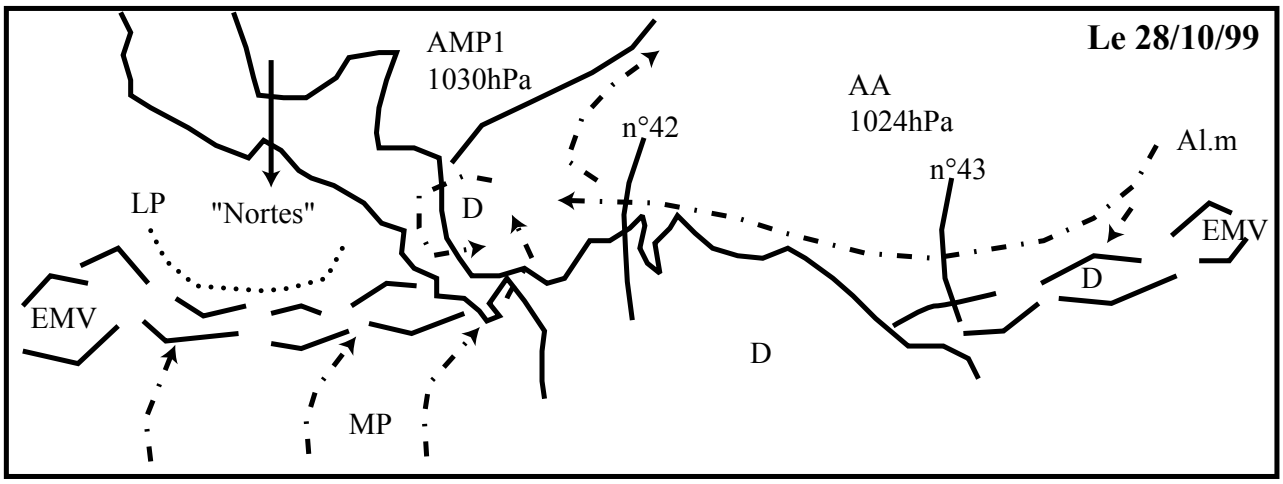
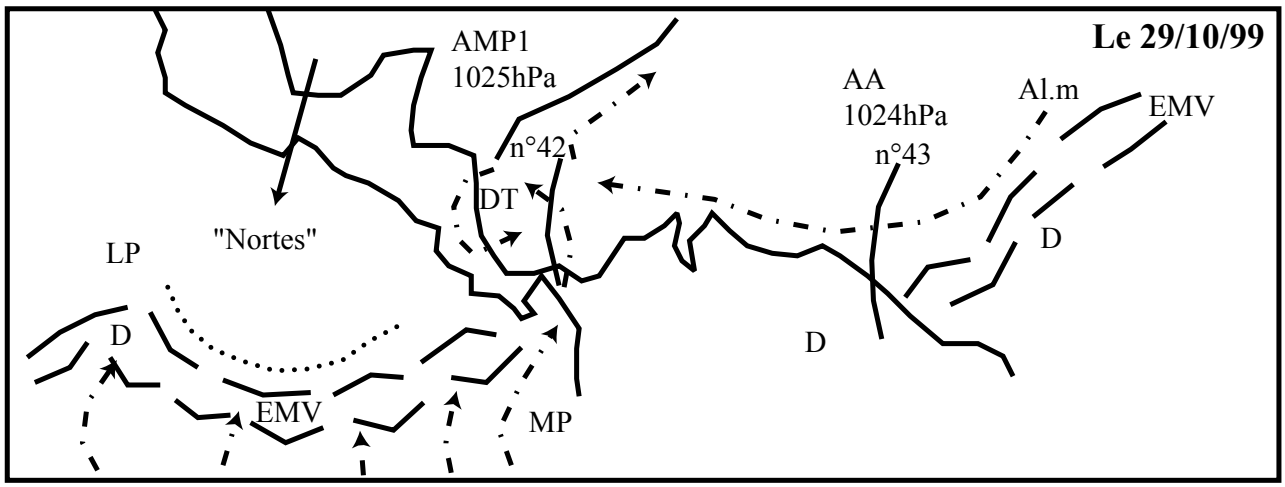


**Fig. n°25 : Analyses des photos satellite GOES 8, ir (12h15 T.U) et vis (18h15 T.U) , du 28 au 30/10/99**

*(D'après cartes de la NOAA, "Analyse tropicale de surface", 00h00; 12h00 et 18h00 T.U et d'après BME, "Analyse de surface", 12h00 T.U)*



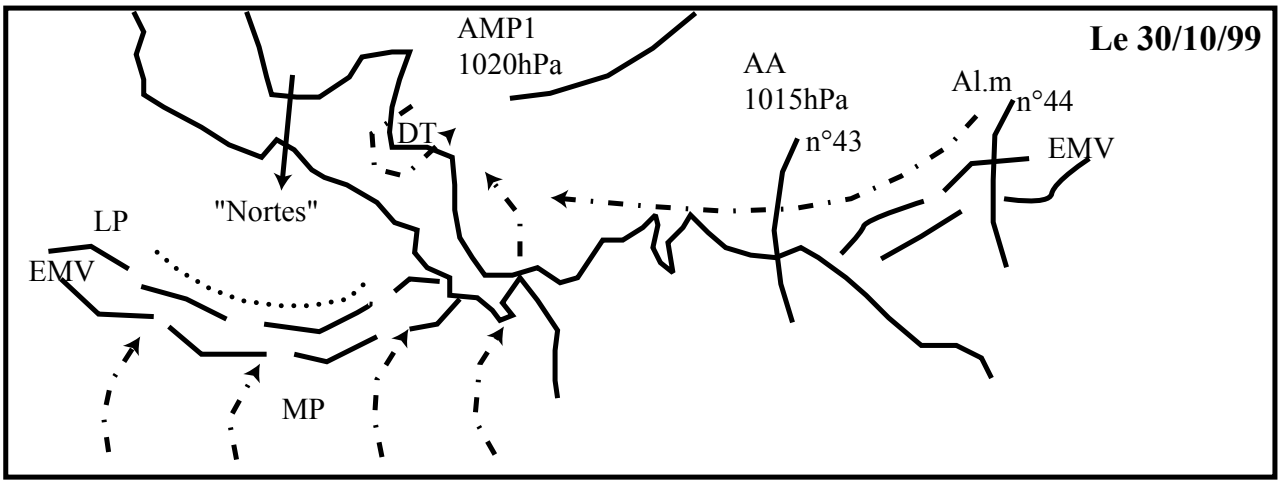
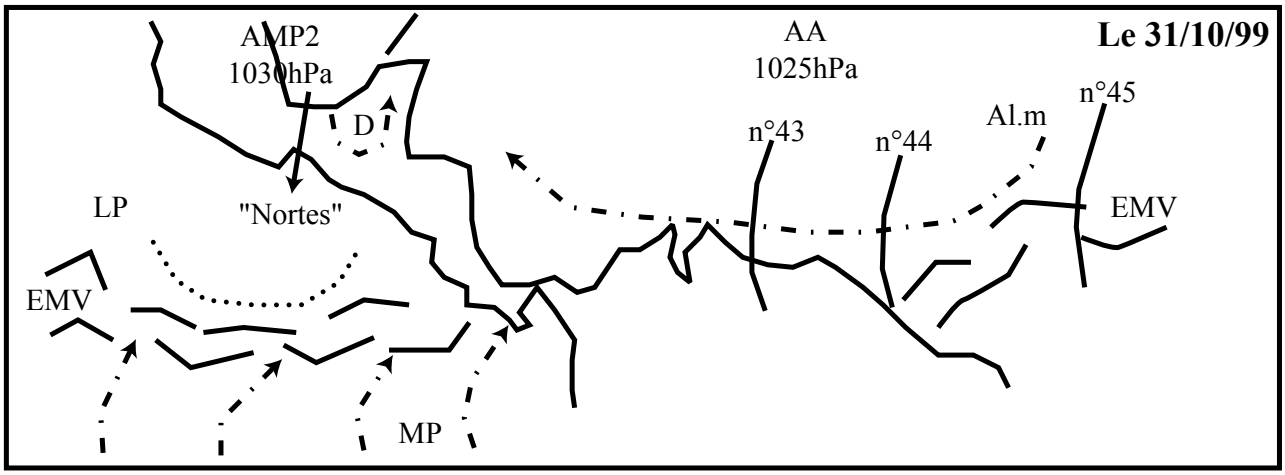
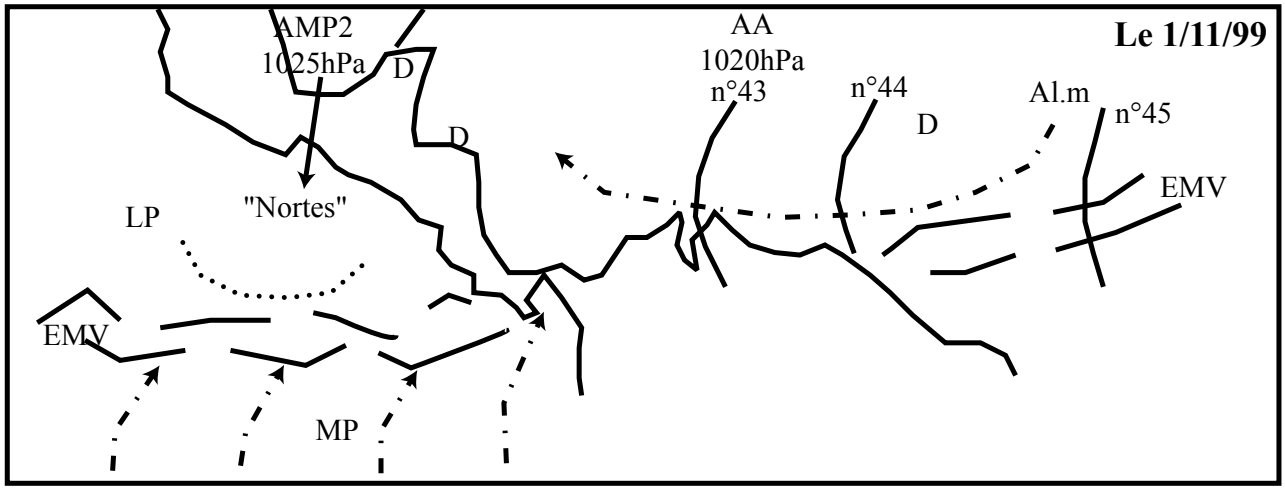



**Fig. n°26 : Analyses des photos satellite GOES 8, ir (12h15 T.U) et vis (18h15 T.U) , du 31/10 au 1/11/99**

*(D'après cartes de la NOAA, "Analyse tropicale de surface", 00h00; 12h00 et 18h00 T.U et d'après BME, "Analyse de surface", 12h00 T.U)*



T.U) présentant le champ de pression, le vent, la température... et ce, pour la période allant du 28 octobre 1999 au 1 novembre 1999.

Ce corpus de documents variés nous donne une idée des moyens dont nous disposons pour appréhender le phénomène des « ondes d'est ».

**b) Analyse de la situation (fig. n°25 et 26) :**

- **Le 28/10/99 (fig. n°25) :**

Sur l'océan Pacifique, nous repérons aisément l'équateur météorologique vertical (EMV), souligné par d'intenses formations nuageuses. Les flux de la mousson panaméenne (MP) se dirigent vers cette structure et profitent de l'abaissement du relief au niveau de l'isthme de Panama pour gagner la mer des Caraïbes. Le Golfe du Mexique est recouvert par un AMP descendu entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches, l'AMP1. Une partie de cette masse anticyclonique, là où le relief s'abaisse, s'écoule (en partie) vers le Pacifique en empruntant l'isthme de Tehuantepec comme en témoignent les lignes de pulsation (LP). L'air anticyclonique froid, incapable de s'élever s'engouffre dans l'isthme de Tehuantepec où l'on observe des vents de secteur nord (« Nortes »). Au large de Tehuantepec, à cause de cet écoulement en masse de l'AMP1, l'EMV, repoussé vers le sud, adopte une forme concave. Sur l'Atlantique, nous observons l'agglutination anticyclonique dite des « Bermudes/Açores » (AA). Au sud de cette AA, les flux de l'alizé maritime atlantique de type 2 (Al.m) se dirigent vers l'ouest et la mer des Caraïbes. Sur la côte caraïbe du Costa-Rica et du Nicaragua, les flux de l'Al.m et les flux de la MP se rejoignent puis rencontrent la face avant de l'AMP1 et/ou les reliefs centraméricains. Ces flux chauds, humides, instables, s'élèvent violemment et/ou fuient vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique de l'AMP1, en direction de la dépression associée à cet AMP. Au niveau du Costa-Rica et du Nicaragua, une dépression se creuse comme en témoigne la forme enroulée des nuages sur la photo satellite. La situation est potentiellement dangereuse car toutes les conditions sont réunies pour que se forme une dépression tropicale voire un cyclone (facteur déclenchant une ascendance : AMP, LP, relief ; flux chauds et humides : MP, Al.m ; proximité de l'EMV favorisant lui aussi les ascendances et constituant une excellente source d'approvisionnement; latitude autorisant la formation d'un vortex).

Les cartes de la NOAA présentant les « ondes d'est » font apparaître l'onde n°42 sur la Colombie et l'onde n°43 à proximité de la Guyane française.

- **Le 29/10/99 (fig. n°25) :**

Au large du Costa-Rica et du Nicaragua, sur la face avant de l'AMP1, la dépression se creuse et se transforme en dépression tropicale (DT) n°15.

Sur les cartes de la NOAA présentant les ondes d'est, les ondes n°42 et 43 se déplacent lentement vers l'ouest et se trouvent respectivement sur le Panama et à proximité du Surinam.

- **Le 30/10/99 (fig. n°25) :**

L'AMP1 se déplace progressivement vers l'est. La DT « Katrina » continue son lent déplacement le long de la côte caraïbe de l'Amérique Centrale (la face avant de l'AMP1 et le relief gênent sa progression).

Le 30/10/99, nous n'avons pas les cartes de la NOAA présentant les « ondes d'est » (système de prédiction hors service).

- **Le 31/10/99 (fig. n°26) :**

La DT « Katrina » se trouve maintenant située sur le Yucatán et se rapproche de la face avant d'un nouvel AMP descendu entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches, l'AMP2.

Le défilé incessant d'ondes continue, nous remarquons la présence des ondes n°44 sur la Guyana et n°45, encore sur l'Atlantique, au nord-est du Brésil.

- **Le 1/11/99 (fig. n°26) :**

Privé d'une partie de son alimentation (MP), la DT « Katrina » s'affaiblit.

Nous observons le déplacement vers l'ouest de trois ondes. La n°43 arrive en Colombie ; la n°44, sur la Guyana et la n°45, à proximité de la Guyane française.

- **Bilan de l'analyse de la situation du 28/10 au 1/11/99 :**

Les flux chauds et humides de la MP profitent de l'abaissement du relief au niveau de l'isthme de Panama pour gagner la mer des Caraïbes où ils rejoignent les flux chauds et humides de l'Al.m atlantique de type 2. Sur la face avant de l'AMP1, descendu entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches, au contact du relief centraméricain, ces flux instables n'ont d'autre choix que de s'élever et/ou fuir vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique de l'AMP1, en direction de sa dépression associée. Dans ces conditions, la DT n°15 (future « Katrina ») se creuse rapidement. Le 29/10/98, l'arrivée de l' « onde d'est » n°42 va, quant à elle, contribuer au creusement et à l'intensification de ce système dépressionnaire en favorisant, elle aussi, les ascendances.

## 4) Conclusion :

Ce qui est reconnu sur ces cartes présentant les « ondes d'est » peut être présenté de façon différente :

### a) Les LP dans l'alizé maritime (d'après M. Leroux, 2000) :

Il ne fait aucun doute que la vitesse de l'alizé n'est pas régulière. Selon l'intensité des phénomènes observés, on parle de simples pulsations/accélérations ou de LP (véritable perturbation) dans l'alizé et/ou la mousson.

La vitesse de l'alizé est fonction de l'alimentation par les AMP, c'est donc sur la façade orientale des agglutinations anticycloniques (AA) que l'écoulement est le plus rapide, la proximité de l'obstacle orographique accélérant le flux (effet Venturi). On y observe par exemple les « California Northers » (à l'est de l'AA dite « des Hawaii ») responsables des vagues de froid et/ou des gelées sévères des plantations d'agrumes californiennes. La vitesse de l'alizé diminue ensuite progressivement à la fois en direction de l'équateur météorologique (EM) et vers l'ouest, où la fréquence d'éventuelles « pannes » d'alizé augmente (« panne », « calme plat », « doldrums » des marins).

La circulation d'alizé se réalise donc par pulsations successives : la nouvelle pulsation, qui provient du dernier AMP entré dans l'AA, se différencie de la précédente par sa vitesse relativement plus élevée, qui peut lui conférer un dynamisme plus grand. Cette pulsation

s'emboîte ainsi dans la précédente. Ces pulsations se manifestent par une onde de pression, une légère baisse suivie d'une hausse, qui se propage selon la trajectoire générale.

Sur la façade orientale des AA les conditions sont défavorables à l'activité des LP, subsidence, évaporation et cisaillement de vent se conjuguant pour stériliser les effets de ces impulsions. L'accélération transforme les différentes poussées en un seul flux rapide à proximité du relief bloquant (par effet Venturi). Le développement des formations nuageuses est interdit, en dépit d'une forte humidité de basses couches, tout nuage franchissant le niveau d'inversion étant immédiatement évaporé et/ou sectionné. Les nuages sont donc réduits à une couche de 200 à 300 mètres de formations stratifiées qui matérialisent le niveau d'inversion. Ces nuages peuvent former une véritable « mer de nuages » compacts et denses, qui ne peuvent déverser de pluie, si ce n'est de faibles bruines tombant de stratus bas.

Sur le continent, ou en passant sur une île, par effet dynamique du relief ou par effet thermique, le voile de stratus (ou stratocumulus) peut se disperser au cours de la journée (en fonction de la topographie et/ou de l'étendue). L'eau est condensée par contact et déposée sous forme de rosée, ou condensée dans la masse et forme un brouillard souvent épais, dégoulinant sur le relief (« fog drip »), ou sur les végétaux. Ces condensations sont caractéristiques des déserts frais, humides et brumeux de Basse-Californie (« Vizesino »), d'Atacama (« Neblinas »)...

En direction, d'une part de l'EM, et d'autre part de l'ouest de l'AA, le relèvement de l'inversion d'alizé autorise une augmentation de l'efficacité des pulsations. Vers l'EM la subsidence laisse bientôt la place à une ascendance généralisée, l'inversion se relève rapidement pour disparaître. Vers l'ouest l'inversion se maintient, la vigueur des pulsations s'atténue, mais l'énergie puisée sur l'océan par la strate inférieure compense les facteurs stérilisants qui s'amoindrissent, notamment les contrastes entre les couches, l'écart thermique au-dessus de la mer des Caraïbes par exemple, n'étant plus que de 1 à 2°C de part et d'autre d'une inversion située vers 2 000 mètres. Les formations nuageuses, disposées en bandes perpendiculaires à la trajectoire, deviennent plus denses et leur développement vertical s'accroît.

Le temps associé aux pulsations vigoureuses, tel qu'il est abondamment décrit à l'ouest des océans tropicaux, est organisé par rapport au talweg, ou « ligne de creux », ou « ligne de pulsation » : à l'avant la pression baisse, à l'arrière la pression s'élève (de l'ordre de 2 hPa, d'où le concept de « poussée anticyclonique »). Le passage de la LP amène la convergence, l'ascendance, la ligne de cumulonimbus dont l'axe vertical est légèrement incliné vers l'est, une activité convective souvent intense, la pluie, les grains, les orages voire les cyclones et le rafraîchissement de surface. Le temps d'alizé étant synonyme de temps varié, en fonction de l'intensité de la pulsation, le temps associé peut varier de la simple formation de nuages à l'arrivée de très fortes pluies.

**b) Les LP dans la mousson (d'après M. Leroux, 2000) :**

Les LP dans un alizé ne peuvent que continuer leur route dans l'éventuelle mousson qui le prolonge.

Au franchissement de l'équateur géographique, la déviation progressive de l'alizé maritime issu de l'AA du Pacifique du sud-est (dite « de l'île de Pâques ») en mousson panaméenne (MP), fait passer la LP de basses couches sous des structures différentes,

l'équateur météorologique vertical (EMV), l'équateur météorologique incliné (EMI) (voir ci-dessous, partie 3, chapitre 3).

Soulignons que les LP dans la MP peuvent épisodiquement continuer leur route jusqu'au Golfe de Californie, remonter le Golfe vers le nord, entre les reliefs disposés de part et d'autre, pour atteindre, exceptionnellement (à la fin de l'hiver austral, quand l'EMV est situé dans sa position la plus septentrionale) le désert de la Sonora, l'Arizona (dans ce que l'on appelle dans la région la « mousson mexicaine »).

Pour « conclure », ou, devrions-nous dire, pour ouvrir des perspectives de recherches futures, si les « ondes d'est » sont considérées comme « La » perturbation tropicale par excellence, en décrivant ce modèle, nous avons mis en avant un certain nombre d'insuffisances qu'il nous faut brièvement rappeler :

- Le modèle actuel de prévision numérique des « ondes d'est » (NOAA) semble imparfait quand il s'agit de suivre le cheminement de ces « ondes d'est », à proximité de l'isthme centraméricain, sur l'océan Pacifique, après franchissement éventuel de l'isthme et de ses reliefs. En mer, les observations manquent cruellement.
- Ces « ondes d'est » sont épisodiquement censées franchir, sans problème, la puissante barrière orographique centraméricaine avant de continuer, avec une régularité inchangée, leur déplacement vers l'ouest, sur le Pacifique où elles n'ont en rien perdu de leur vigueur et expliqueraient à elles seules la naissance et le développement de très nombreux cyclones. Le relief centraméricain ne perturbe-t-il pas le déplacement de ces ondes ? Cette précision quasi « horlogère » ne peut que difficilement exister après le franchissement (éventuel) des reliefs centraméricains! Or, les météorologues/climatologues du « NHC » de Miami ainsi que leurs homologues centraméricains, utilisent cette prétendue régularité pour « localiser », sur le Pacifique, les « ondes d'est » qu'ils ont « perdu de vu » au franchissement de l'Amérique Centrale et qui seraient à l'origine du développement de systèmes cycloniques à proximité des côtes pacifiques centraméricaines (voir ci-dessous, partie 3, chapitre 4, 3, a). Ces « extrapolations » sont réalisées avec plus ou moins de bonheur et, conscients de leurs propres imprécisions, les prévisionnistes du « NHC » de Miami emploient beaucoup le conditionnel et/ou émettent, à juste titre, des réserves de prudence dans leur rapports pourtant réalisés à posteriori (« pourrait être lié à »... ).
- A l'instar de ce qui se produit sur la façade orientale de l'AA dite « des Hawaii » (où sévissent les « Nortes », « Northers » californiens), sur la façade orientale de l'AA dite « de l'île de Pâques » ne serait-il pas logique de parler de « Sures », « Southers » ? Les LP dans l'alizé maritime du Pacifique du sud-est ne peuvent que se poursuivre dans la MP, éventuellement prolongée en « mousson mexicaine » et devraient, de fait, être l'objet de plus d'attention en donnant lieu à une étude d'envergure du phénomène. Leur importance dans la cyclogenèse active à proximité des côtes de l'Amérique Centrale pourrait ainsi être mieux appréhendée.
- Sur la mer des Caraïbes, le Golfe du Mexique, pourquoi les « ondes d'est », sur les cartes de la NOAA, ne suivent-elles jamais la trajectoire empruntée par l'alizé maritime atlantique, progressivement dévié vers le nord-nord-est ?

Le scepticisme suscité par le modèle, il y a quelques années chez certains auteurs, les réserves émises alors n'auraient pas dû être oubliées mais, au contraire, exploitées. Nous nous demandons pourquoi, « La » perturbation tropicale par excellence n'est pas plus précisément étudiée et pourquoi le modèle actuel bien qu'imparfait reste, « faute de mieux », très usité par les spécialistes de la région qui ne semblent pas chercher à le parfaire ?

Précisons qu'une analyse des LP demanderait une observation fine des cartes synoptiques pour mettre en évidence de faibles variations de pression ; de direction du vent ; de pluie à l'échelle journalière ainsi qu'un réseau d'observations denses que n'offrent pas les BME et les cartes de la NOAA. En mer, les observations manquent cruellement.

Si la perception actuelle de l' « onde d'est » est imparfaite (le concept actuel n'explique pas les caractères des flux tropicaux), par contre, le concept AMP (dans la circulation générale), explique aisément l'évolution de l'écoulement de l'alizé et/ou mousson et le temps associé.

Après avoir présenté les LP nous allons maintenant nous intéresser aux épisodes de « Nortes ».

# Chapitre 2 : Les « Nortes »/« Northers »

## 1) Introduction :

Nous avons vu, dans notre première partie, que les « Nortes » sont à l'origine de l'individualisation d'une troisième saison climatique. En dépit du fait que les « Nortes » exercent une influence importante sur le temps et le climat en Amérique Centrale, de nombreuses incertitudes demeurent. Quelle est donc la dynamique propre aux « Nortes » ?

## 2) Bilan bibliographique :

### a) Les « Nortes » centraméricains :

« Les Montagnes Rocheuses et les Appalaches forment un vaste entonnoir grâce auquel l'air froid s'écoule plus loin vers le sud que dans aucun autre domaine tropical » (Portig, 1959). Pendant l'hiver et le printemps, c'est-à-dire pendant la saison sèche, le temps généralement clément est parfois interrompu par des « advections méridiennes rapides, en saison froide, dans les grandes plaines nord-américaines, de masses d'air superficielles originaires du Grand Nord, et leurs prolongements sur le Golfe du Mexique et sa bordure orientale » (Lamarre, 1997). Ces « épisodes de pénétration de l'air froid dans les tropiques » sont « accompagnés de vents forts », pelliculaires, « concernant les 1 000 premiers mètres » (Hastenrath, 1991). Ces invasions d'air froid (« cold surge ») sont accompagnées de vent de nord appelé « Norte » en espagnol, « Norther » en anglais. Pour cela, Chapel (1927) préfère « définir un « Norte » plus par l'observation du vent que d'après les cartes climatiques ».

Certains auteurs y voit des effets bénéfiques : « à beaucoup d'endroits le « Norte » est considéré comme une irruption bien accueillie car il vient rompre la monotonie de la saison sèche » (Wraight, 1951) ; « Les épisodes de « Norte », là où le front est ralenti par les montagnes, peuvent parfois apporter de longues pluies fines et de la bruine, pluies hivernales caractéristiques du littoral nord hondurien » (Portig, 1976).

Cependant, de nombreux auteurs constatent que ces flux froids pelliculaires, de ce fait très sensibles aux conditions orographiques locales (effet Venturi), peuvent devenir très destructeurs : « les *Nortes* connaissent des prolongements vigoureux dans les plaines littorales huastèque et véracruzienne, par resserrement de l'écoulement superficiel de l'air au pied de la Sierra Madre orientale (*Tampico*) » ; « le couloir topographique de l'isthme de Tehuantepec renforce les vents de nord (*Tehuantepecers*) » (Lamarre, 1997).

Les pluies peuvent être épisodiquement dramatiquement violentes : « de fortes pluies peuvent se déverser brutalement sur la côte des Caraïbes, le sud-est du Nicaragua » (Portig, 1965). En revanche, « sur la côte pacifique de l'Amérique Centrale, à quelques exceptions près, les fronts froids restent secs à cause de l'effet fœhn » (Portig, 1976).

Quand les « Nortes » sévissent, outre le vent violent, destructeur, les températures diminuent de manière significative et les cultures peuvent être sévèrement endommagées. L'activité économique centraméricaine, encore très orientée vers l'agriculture, est ainsi épisodiquement fortement ralentie et cela entraîne des conséquences dramatiques pour les populations locales. Emmanuel de Martonne (1955) indique que ces advections se traduisent par des vagues de froid accompagnées de vents forts, pouvant entraîner des températures négatives jusqu'au sud de la Floride ; Guzman (1971) nous parle « des effets catastrophiques liés aux basses températures » comme le gel des plantations de café. Rogers et Röhli (1991) montrent que plus de 80% des gelées sévères affectant les plantations d'agrumes en Floride sont associées à des anticyclones dont la pression centrale dépasse 1 040 hPa. Par exemple, du

24 au 26 décembre 1983, 40% des plantations d'agrumes ont été détruites par de fortes gelées dans l'état mexicain du Nouveau Léon (Garcia, 1996). D. Pereyra D., B. Palma G., I. Zitacuaro C. (1992) établissent des corrélations positives entre les « Northers » du Golfe du Mexique et le gelées observées à Las Vigas (Etat de Veracruz, Mexique). Ces auteurs distinguent deux types de gelées : les « gelées radiatives » (représentant 75% des cas) qui « se produisent généralement après les épisodes de *Northers*, le ciel étant clair » et les « gelées advectives » (représentant 25% des cas) qui se produisent « pendant les épisodes de *Northers*, ou en d'autres mots, avec l'arrivée d'une masse d'air froid qui cause la chute des températures ». « Ces gelées se produisent avec ou sans un ciel nuageux ». Pour les auteurs de cet article « les gelées sont directement liées aux épisodes de *Northers* » ; « les *Northers* qui affectent le Golfe du Mexique entraînent des gelées dans la région de Las Vigas deux jours après le passage du front ».

Peu d'auteurs se hasardent à donner une définition précise de la dynamique de ces épisodes de « Nortes », « Northers » : pour A. P. Mosiño et E. Garcia (1974) les « Nortes » du Golfe du Mexique « sont des vents boréaux hivernaux qui soufflent violemment pendant deux ou trois jours consécutifs sur la plaine côtière du Golfe ». Ces « Nortes » sont « associés à une masse d'air polaire continentale (…) pénétrant le Golfe sur la partie nord, derrière un front froid ». Ces auteurs mettent eux aussi en avant le fait que « les gelées sont directement reliées au épisodes de *Nortes* ». Pour Jr., W., D., Nowlin et C., A., Parker (1974), les « Northers » se définissent simplement comme étant « de l'air continental froid et sec ».

L'importance des « Nortes » sur le climat de l'Amérique Centrale est telle que Sánchez-Santillán et De La Lanza-Espino (1996), ne parlent plus de deux saisons climatiques mais en introduisent une troisième (celle des « Nortes »). Sont ainsi individualisées de novembre à février la saison des « Nortes » ; de mars à avril la saison sèche (« Secas ») et de mai à octobre la saison pluvieuse (« Lluvias »).

**b) Les « Northers » californiens :**

L'équivalent côté océan Pacifique des « Nortes » centraméricains, les « Northers » de Californie.

M. Cortez-Vazquez (2000), remarque que « jusqu'à 20° de latitude nord, on observe des vents du nord-ouest sur la péninsule de Basse Californie ». De ce fait, les « Northers » de Californie ne font pas partie de notre espace d'étude. Cependant, même si la configuration topographique de l'Amérique Centrale la place en position d'abri par rapport à ces « Northers » de Californie qui ne l'atteignent pas, les rapprochements entre « Nortes » et « Northers » sont aisés. A. C. Reyes et M. F. Lavin (1997) étudient les effets de la météorologie d'automne-hiver sur la perte de chaleur en surface dans le nord du Golfe de Californie. Une attention spéciale est portée aux événements de vents intenses (« Northers ») qui sont considérés comme étant à l'origine des principales pertes de chaleur à cette époque de l'année.

Avant de présenter des études de cas de « Nortes », précisons que si, dans la littérature spécialisée, nous trouvons de nombreuses informations, des interrogations subsistent quant à la perception et la compréhension de ces phénomènes climatiques aux manifestations parfois dramatiques pour les populations locales et l'activité économique d'un ou plusieurs Etats centraméricains. « Il y a parfois des doutes pour savoir quelle situation climatique doit être appelée *Norte* », de ce fait « il est impossible de donner le nombre exact de *Norte* par saison » (Portig, 1976). Les estimations générales sont par conséquent très variables : « 30 à 40 par

saison » (US Hydrographic Office, 1949) ; « de novembre à mars, en moyenne 2 à 3 *Nortes* par semaine donc 5 ou 6 par mois sur la bordure orientale du Golfe » (Di Mego et al., 1976 in Lamarre, 1997).

Après avoir réalisé ce bilan bibliographique, de nombreuses questions restent en suspens :

- Pourquoi observe-t-on des vagues de froid ?
- Pourquoi y a-t-il des accélérations ?
- Quelle est la dynamique précise en jeu dans l'apparition de ces épisodes venteux aux conséquences si importantes pour les populations d'Amérique Centrale ?

## 3) Etudes de cas de « Nortes » classiques :

### a) Etude de cas de « Nortes » n°1 : épisode du 7 au 15/3/1998 :

- **Commentaire de la fig. n°27 (analyse de la photo satellite du 7/3/98) :**

Au large des côtes canadiennes et américaines, l'AMP1 rencontre l'AMP2. Ces AMP contribuent à la formation de l'agglutination anticyclonique (AA) saisonnière dite « des Bermudes » qui constitue une extension hivernale de l'AA de l'Atlantique du nord-est dite « des Açores ». L'AA dite « des Bermudes/Açores » alimente sur sa partie méridionale la mousson amazonienne et accélère l'alizé maritime atlantique de type 2 (Al.m) qui se dirige vers le Golfe du Mexique. Ce flux chaud, humide, instable, soulevé au contact des Appalaches et la face avant de l'AMP3, est dévié en direction de l'entonnoir « e » formé par la face arrière des AMP1 et 2 et la face avant de l'AMP3. L'AMP3, qui descend vers le Golfe du Mexique, est arrêté à l'ouest par les puissantes Montagnes Rocheuses (infranchissables, l'air froid de l'AMP étant incapable de s'élever). Sur le nord-ouest du Canada, nous observons un puissant AMP4 accompagné sur le Québec par l'AMP5.

- **Commentaire de la fig. n°28 (analyse de la photo satellite du 8/3/98) :**

L'AMP1, plus froid, plus dense, poussé vers le sud par l'AMP5, a forcé l'intégration de l'AMP2 dans l'AA dite « des Bermudes/Açores » (comme en témoignent les lignes de pulsations, LP). L'AMP3 continue sa descente vers le Golfe du Mexique, provoque, sur sa face avant, un intense soulèvement de l'air environnant (plus chaud donc instable) et un transfert direct de l'énergie tropicale, le long de son couloir dépressionnaire périphérique, en direction du nord-nord-est, lieu où se situe sa dépression associée. Sur le Canada, l'AMP4 poursuit sa descente vers le sud, entre les Appalaches à l'est et les Rocheuses à l'ouest. Il contribue au glissement vers le sud et au renforcement de l'AMP3. Sur l'extrémité nord-est du Canada, l'AMP5 poursuit sa trajectoire vers le sud-sud-est.

- **Commentaire de la fig. n°29 (analyse de la photo satellite du 9/3/98) :**

L'AMP5 s'est renforcé. Plus froid, beaucoup plus dense, il a forcé le déplacement vers le sud-est des AMP1+2. Au sud de l'AA, l'Al.m qui se dirige vers le Golfe du Mexique rencontre la face avant de l'AMP3 qui, poussé par l'AMP4, s'est déplacé vers le sud-est. L'air de l'AMP3 s'humidifie en arrivant sur le Golfe du Mexique (comme en témoignent les brouillards et les formations nuageuses de basses couches). Sous l'effet de la rotation anticyclonique l'air froid se dirige vers l'ouest du Golfe du Mexique où il est arrêté par la

**Photo satellite n°30 : GOES 8, est, vis, le 7/3/98, 18h15 T.U**

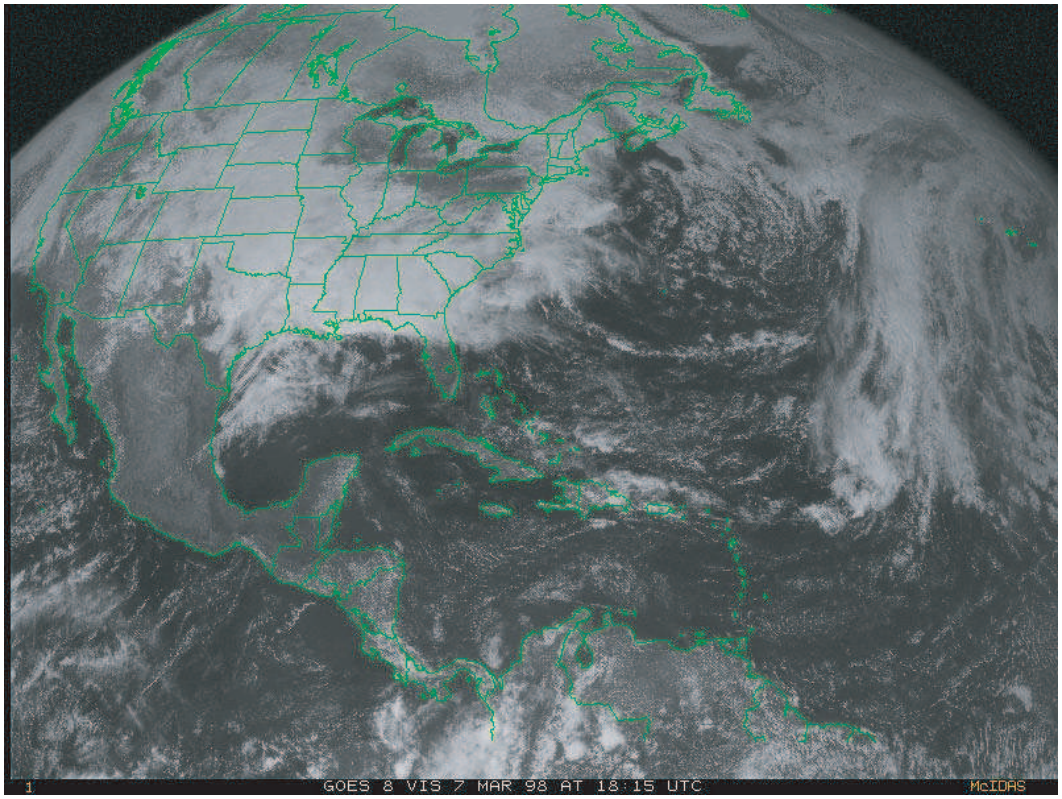



**Figure n°27 : Analyse de la photo satellite du 7/3/98, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

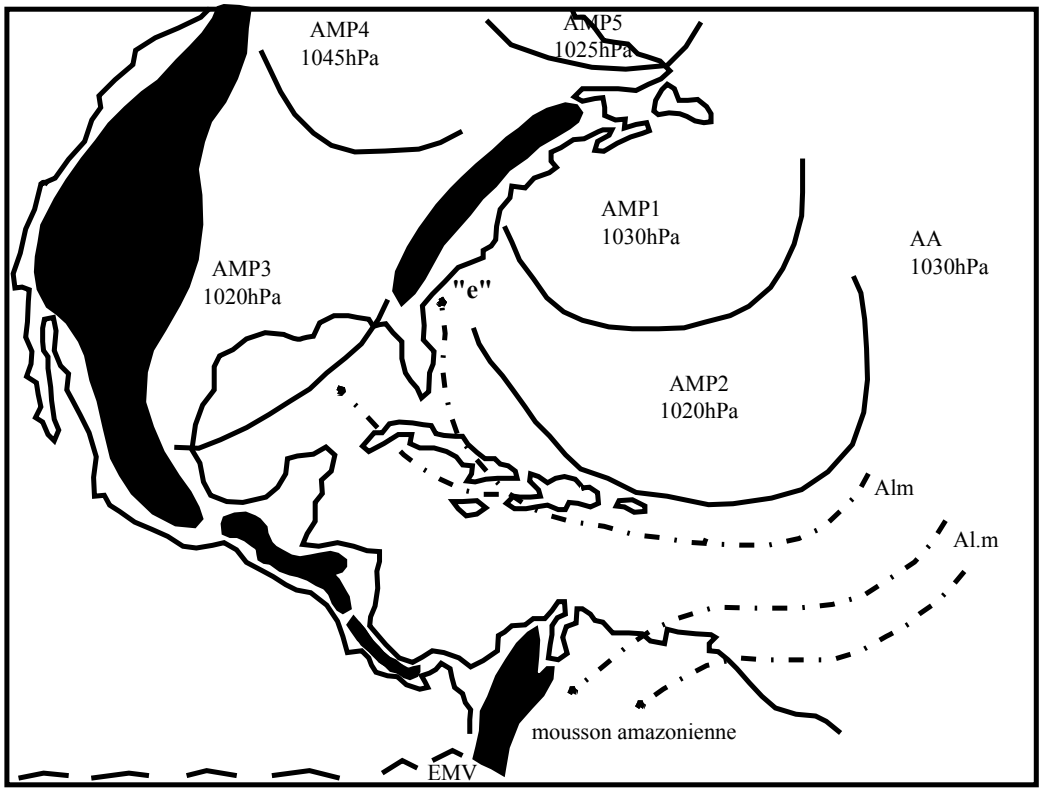


**Photo satellite n°31 : GOES 8, est, vis, le 8/3/1998, 18h15 T.U**

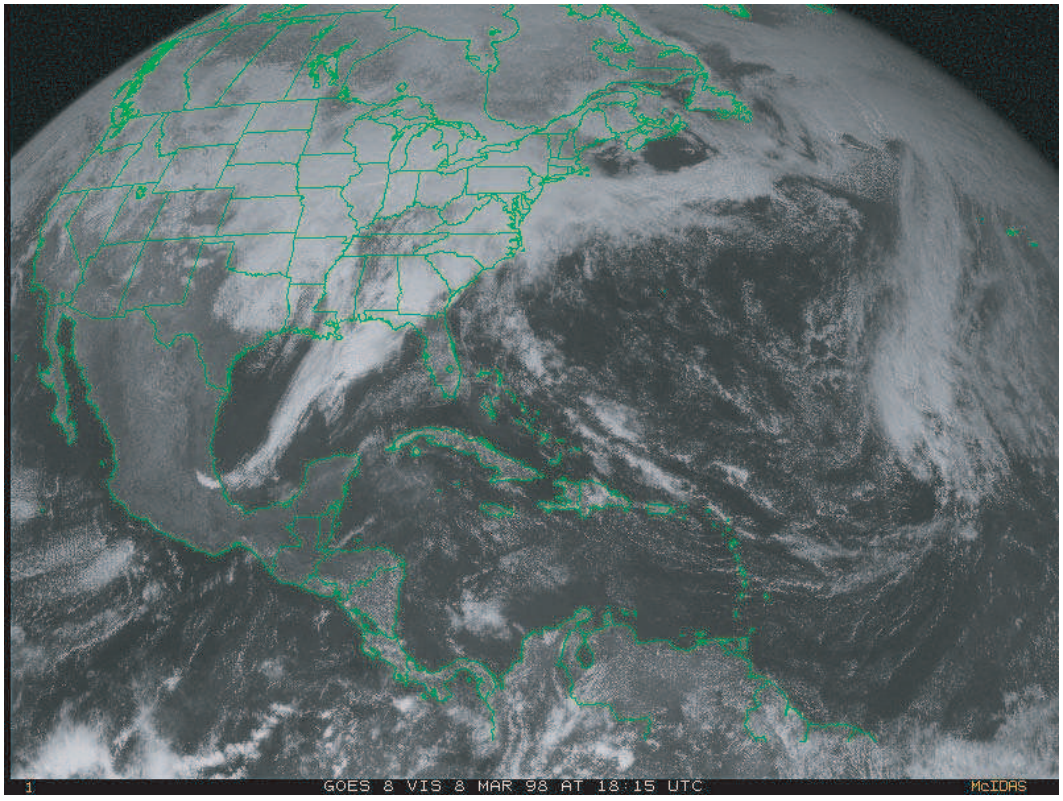



**Figure n°28 : Analyse de la photo satellite du 8/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

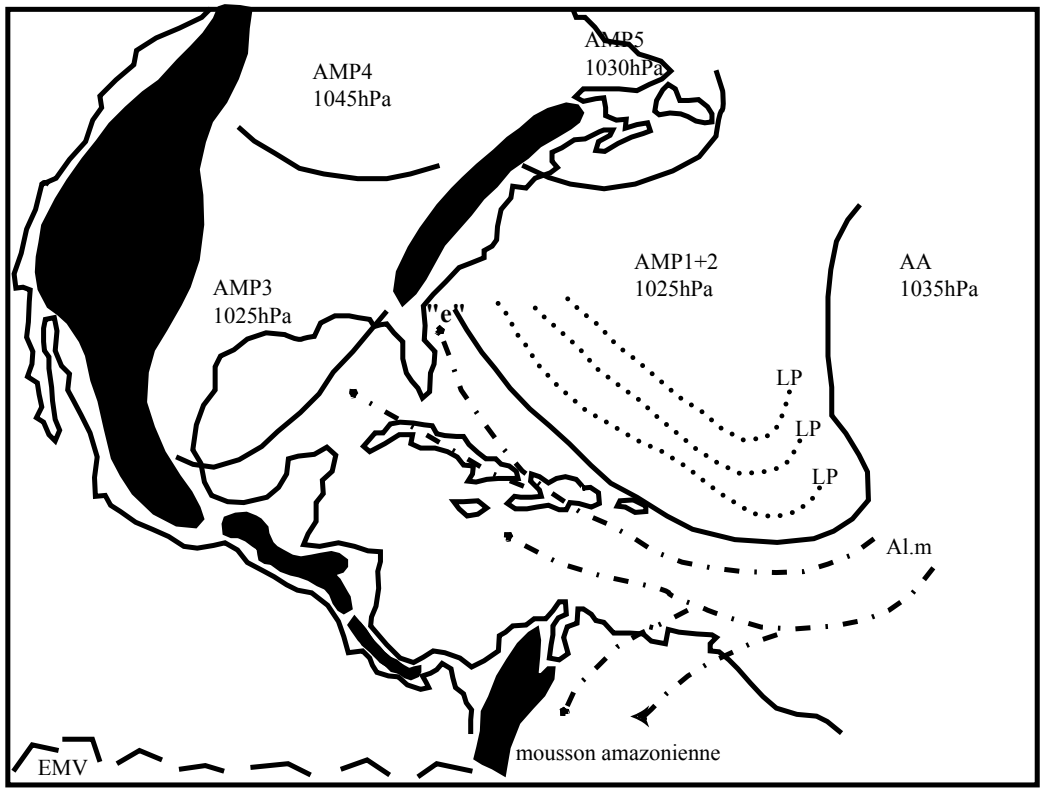


**Photo satellite n°32 : GOES 8, est, vis, le 9/3/1998, 18h15 T.U**

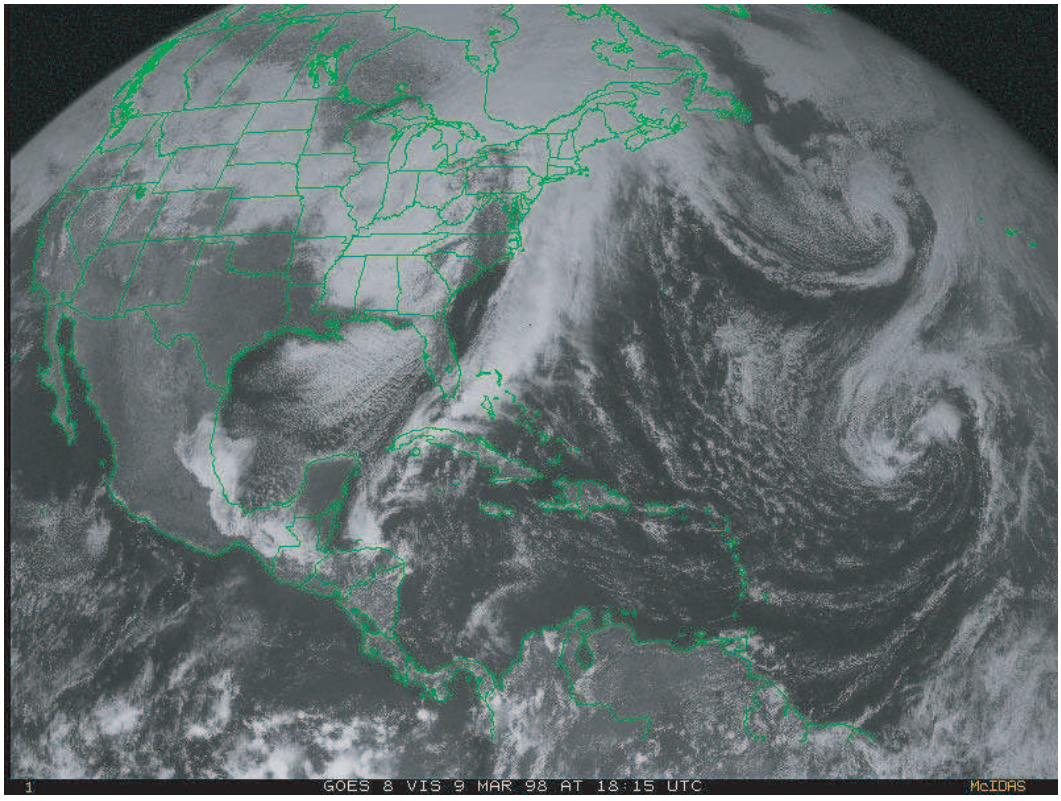



**Figure n°29 : Analyse de la photo satellite du 9/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

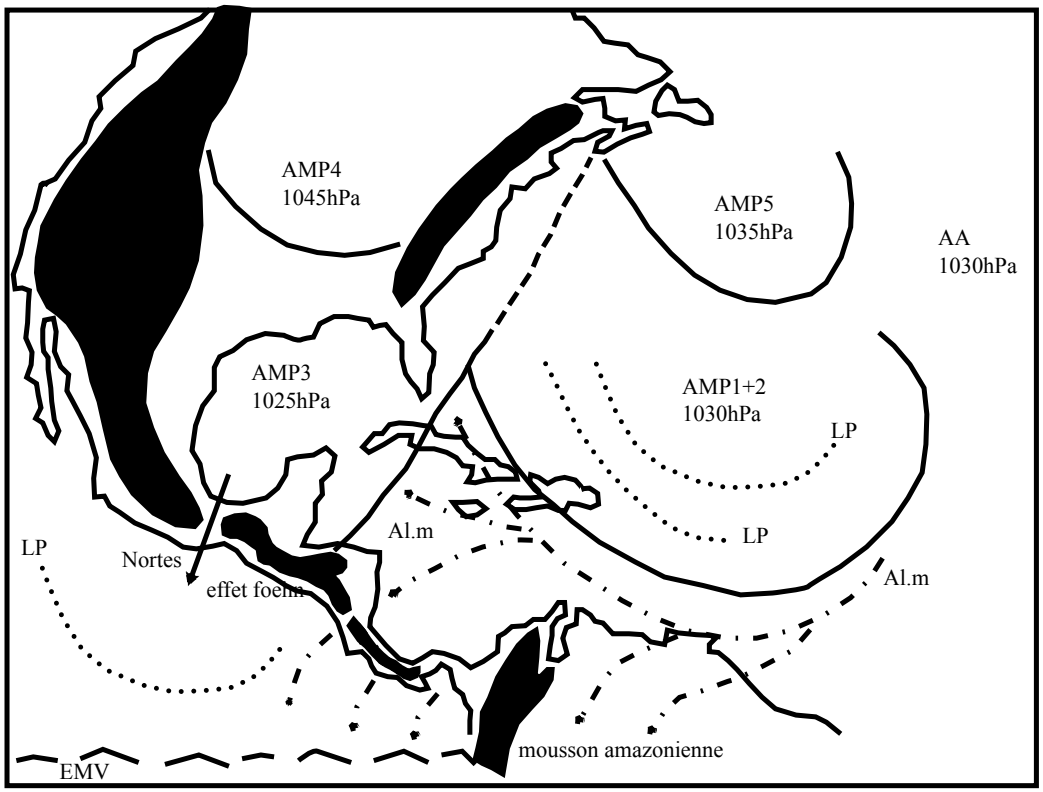


**Photo satellite n°33 : GOES 8, est, vis, le 10/3/1998, 18h15 T.U**

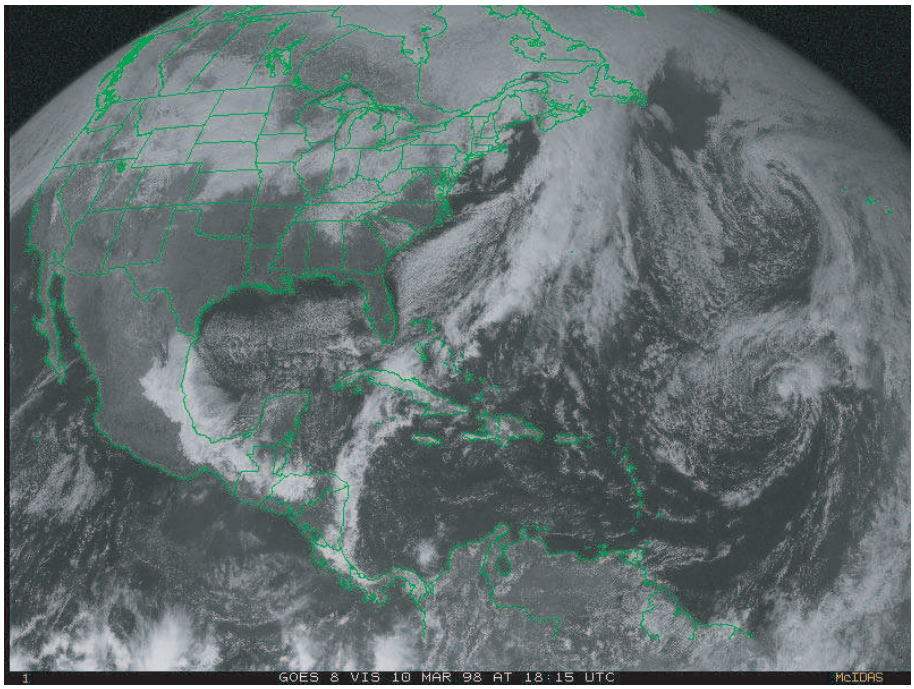



**Figure n°30 : Analyse de la photo satellite du 10/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

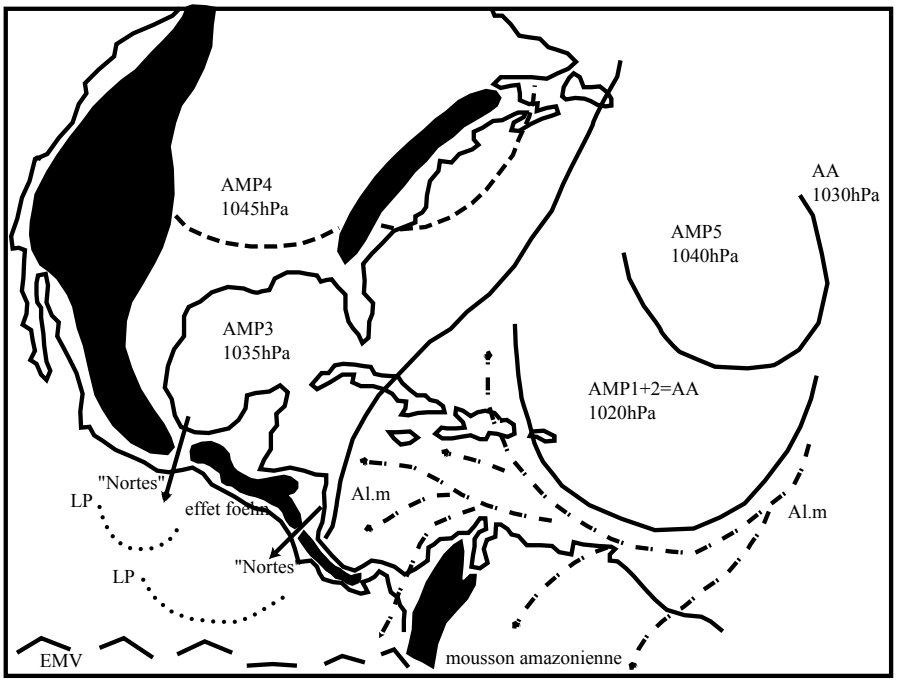


**Photo satellite n°34 : GOES 8, est, vis, le 11/3/1998, 18h15 T.U**

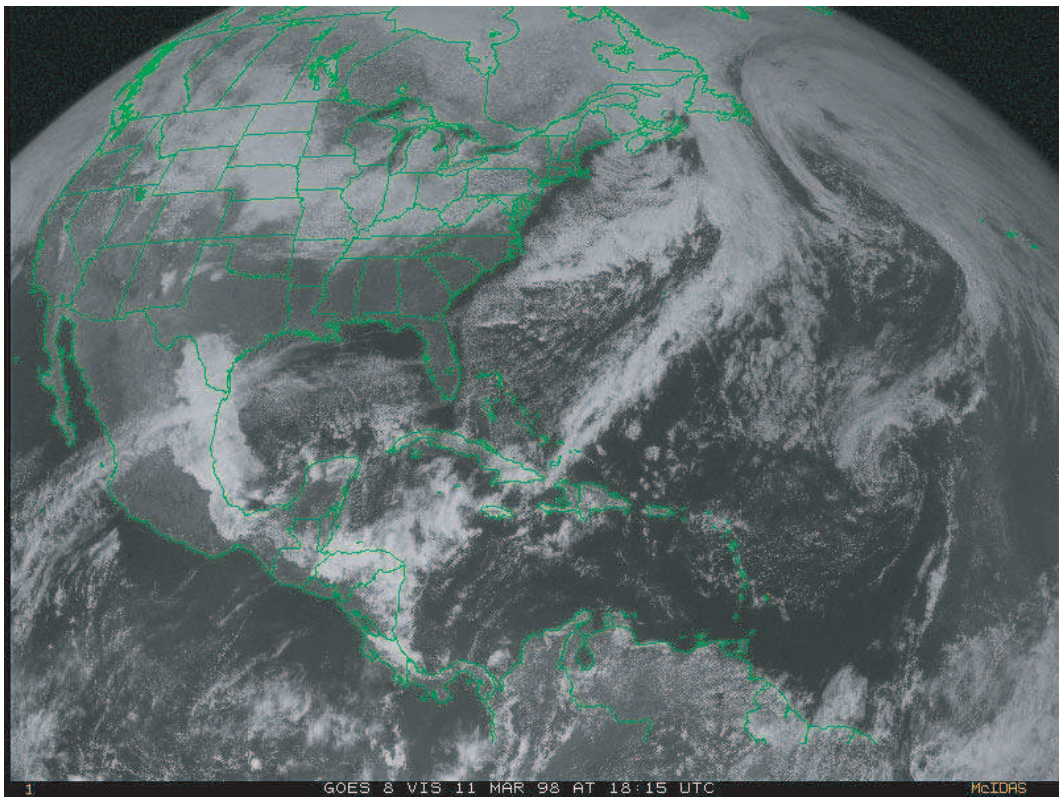



**Figure n°31 : Analyse de la photo satellite du 11/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

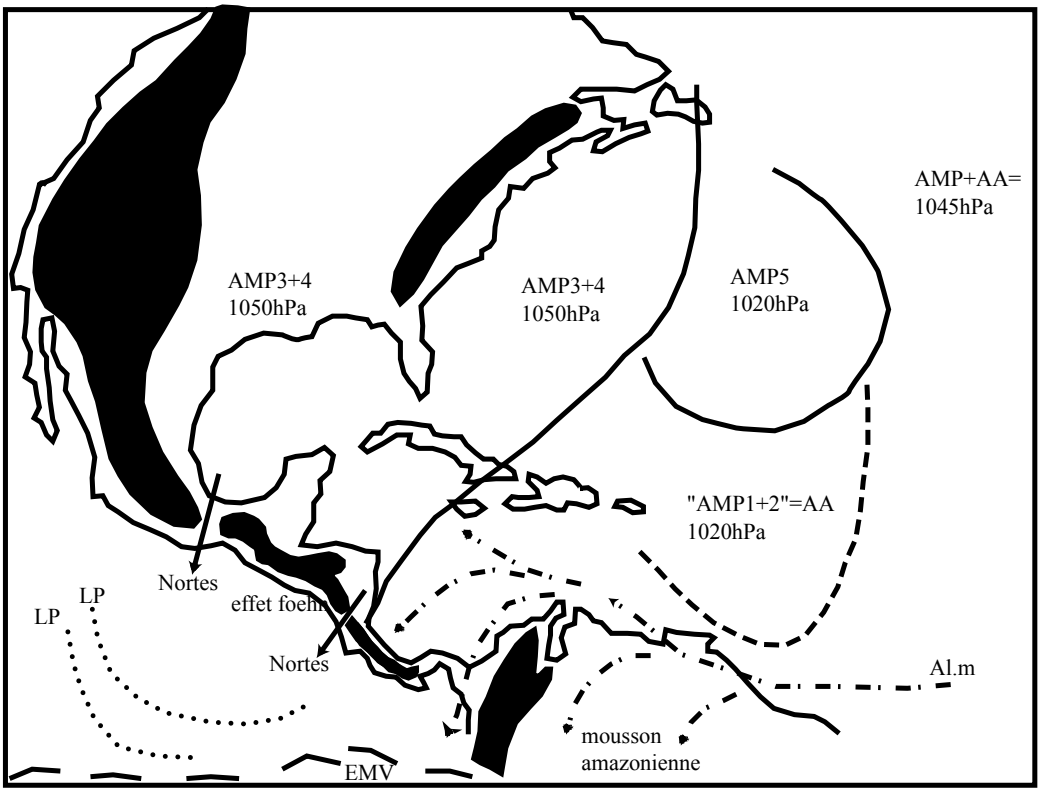


**Photo satellite n°35 : GOES 8, est, vis, le 12/3/1998, 18h15 T.U**

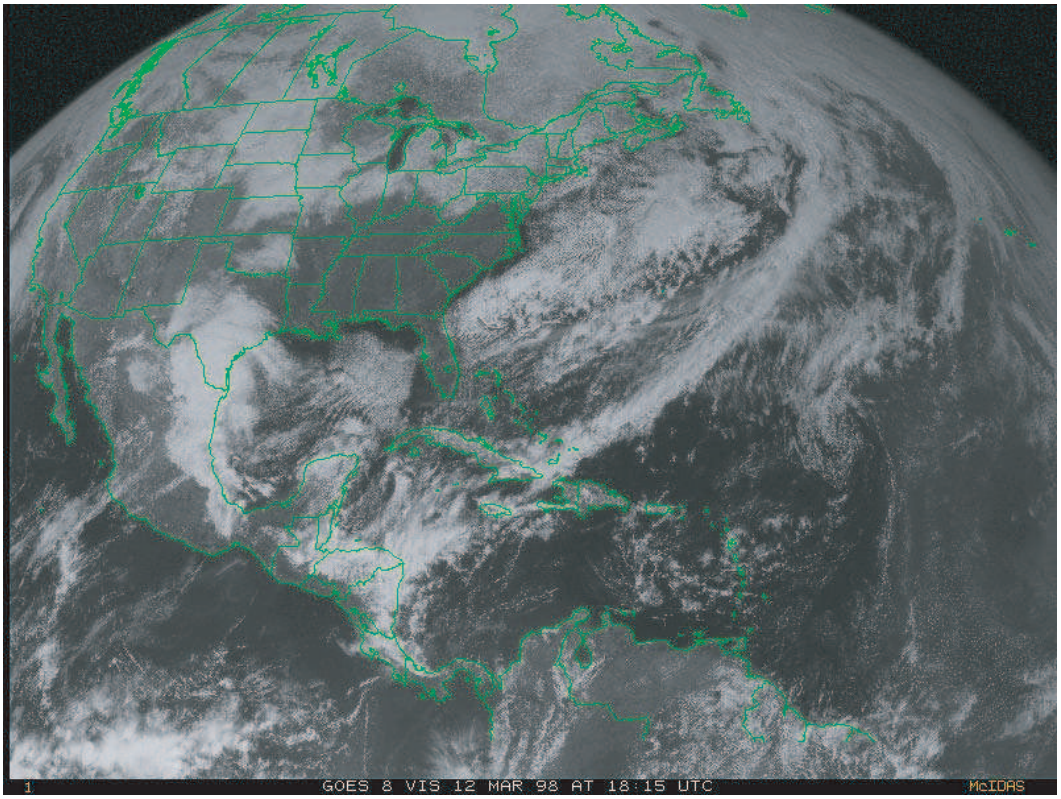



**Figure n°32 : Analyse de la photo satellite du 12/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

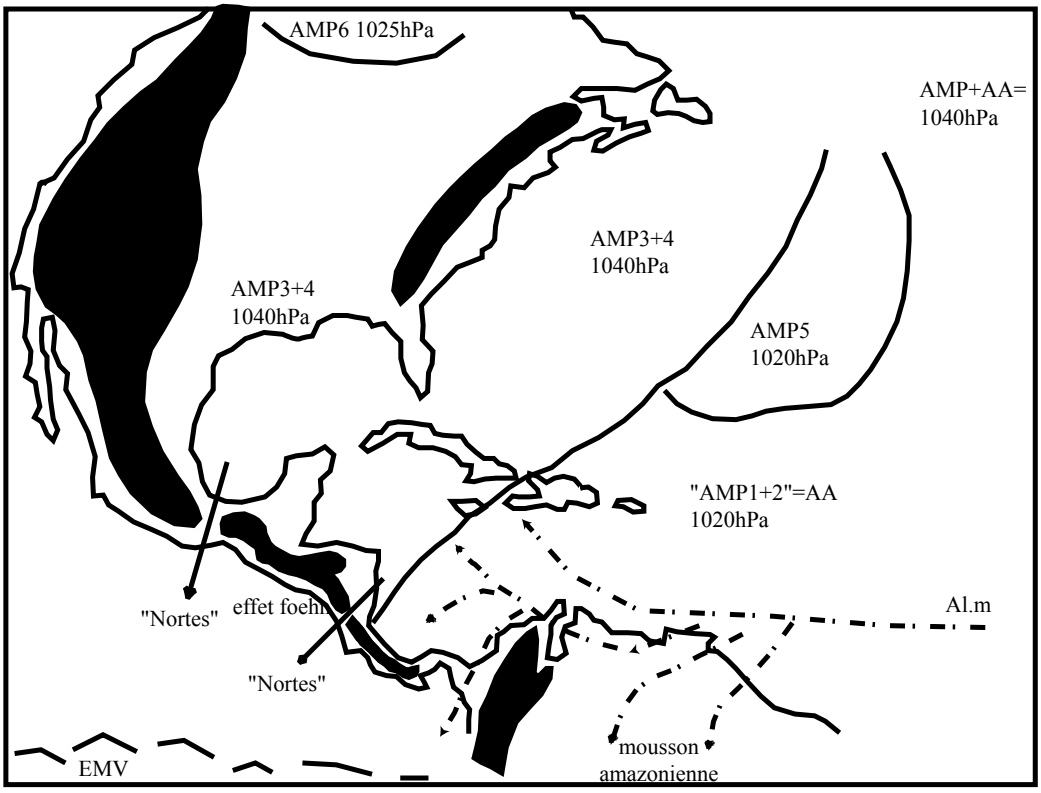


**Photo satellite n°36 : GOES 8, est, vis, le 13/3/1998, 18h15 T.U**

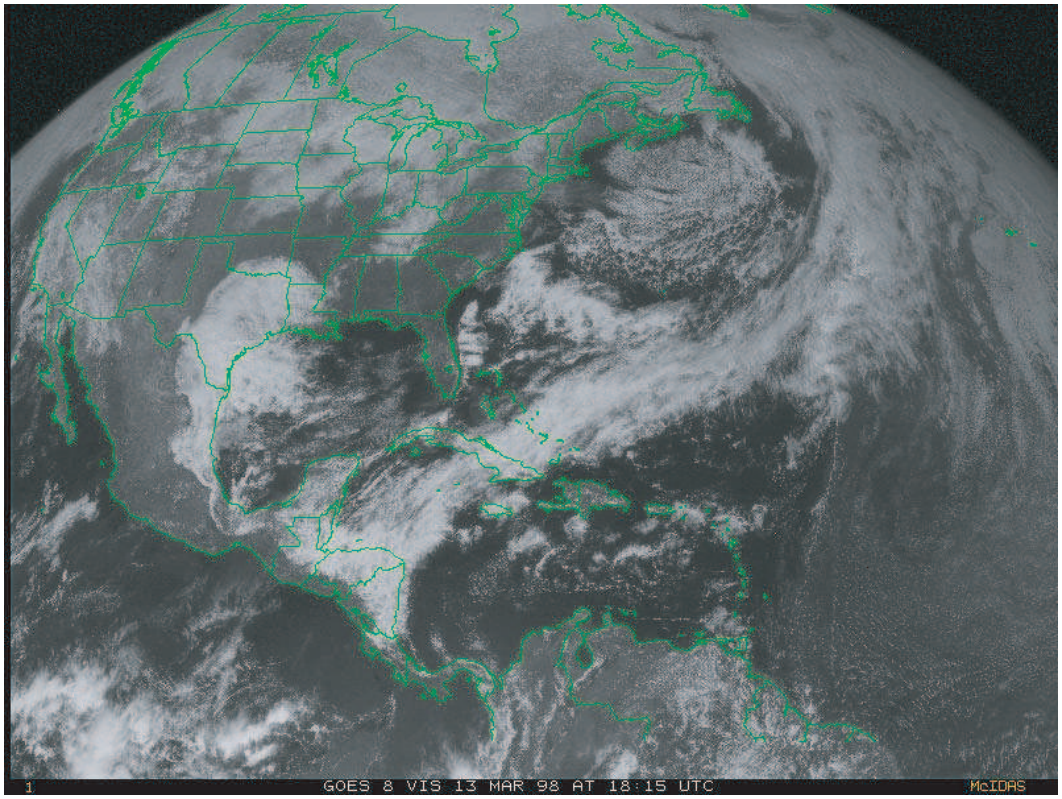



**Figure n°33 : Analyse de la photo satellite du 13/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

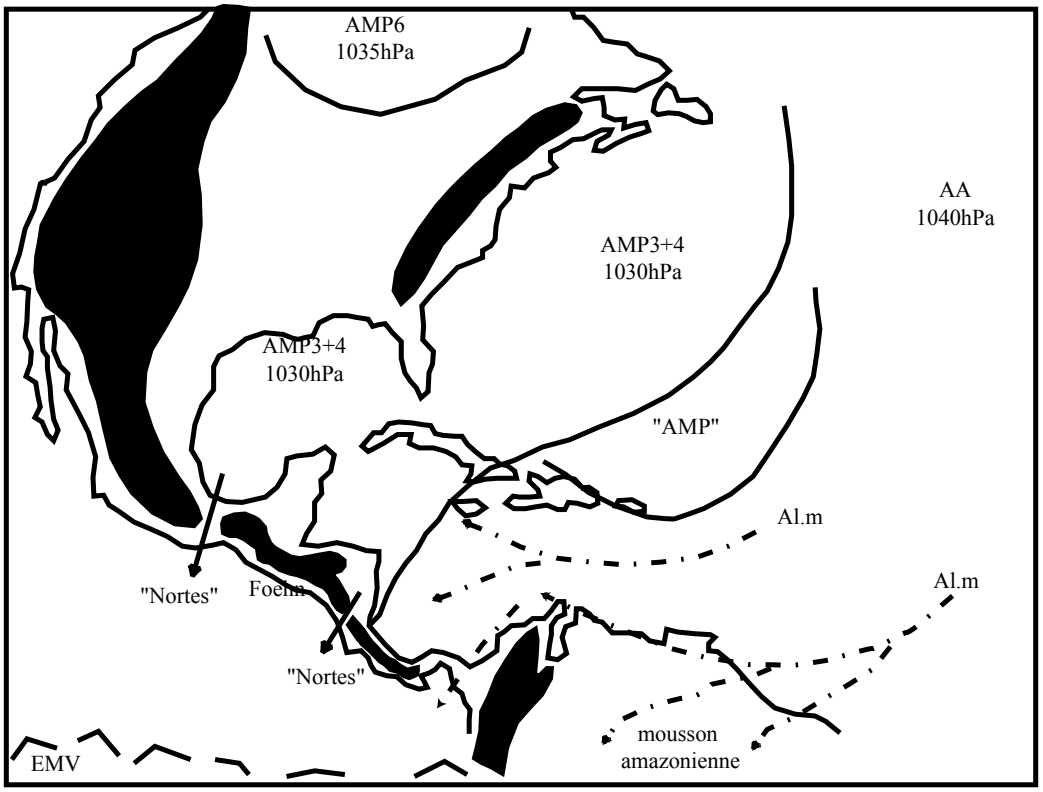


**Photo satellite n°37 : GOES 8, est, vis, le 14/3/1998, 18h15 T.U**

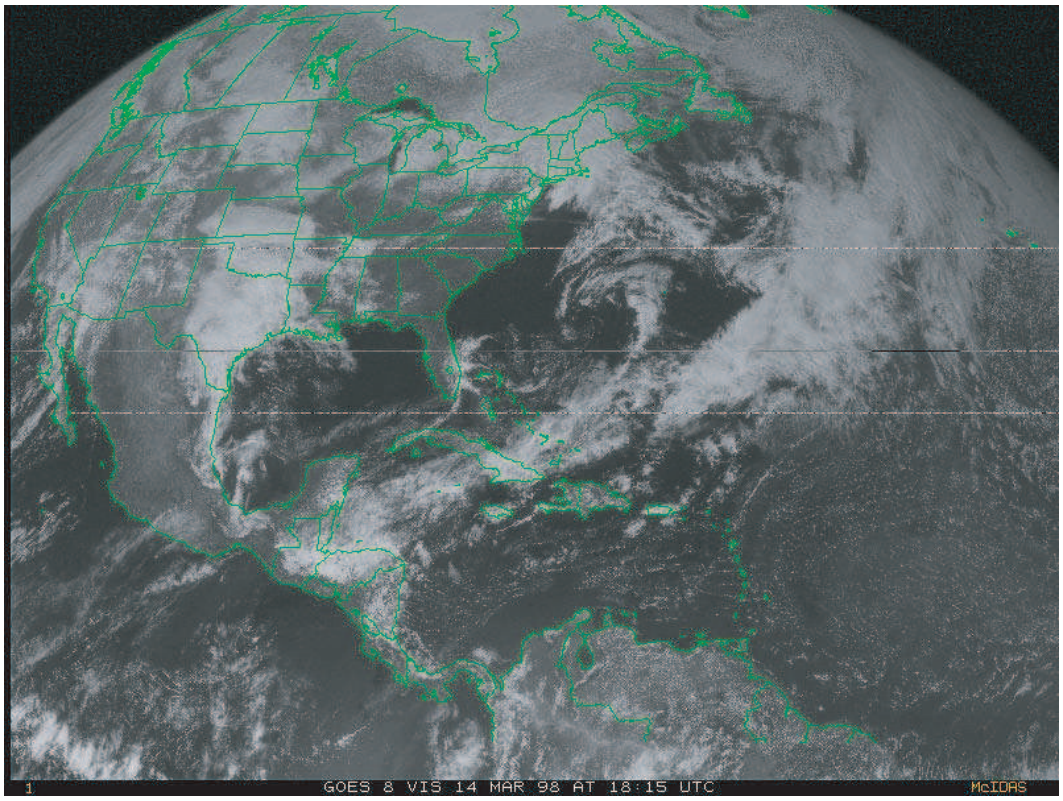



**Figure n°34 : Analyse de la photo satellite du 14/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

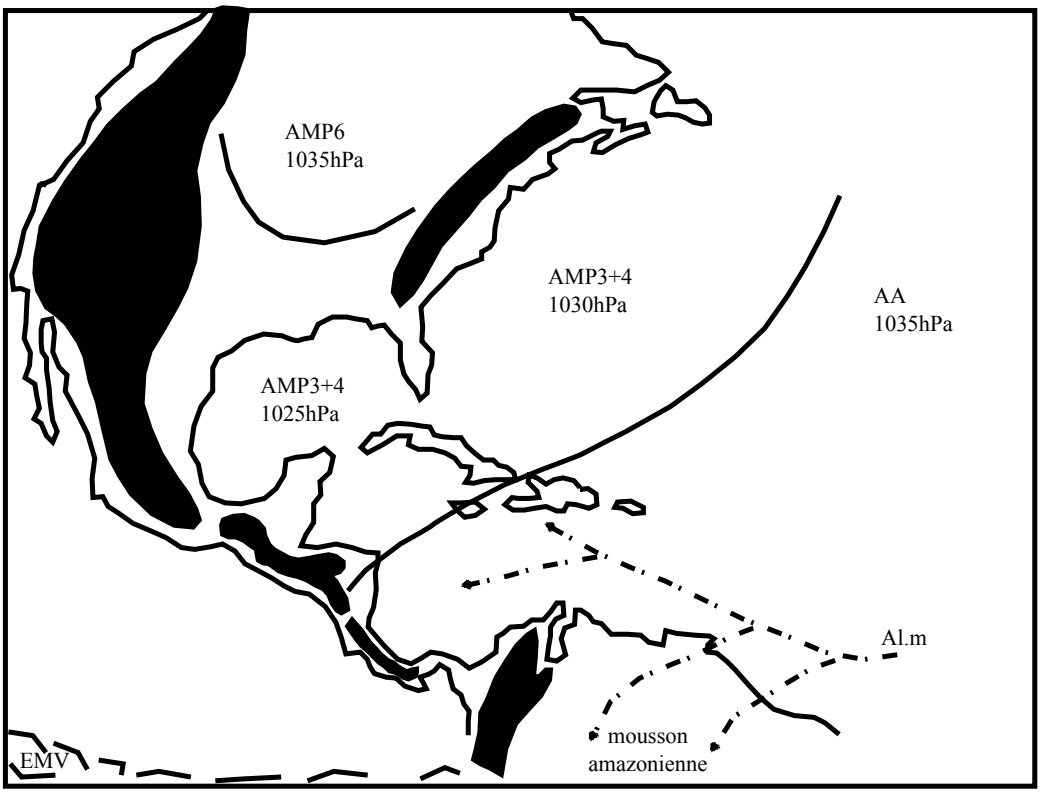


**Photo satellite n°38 : GOES 8, est, vis, le 15/3/1998, 18h15 T.U**

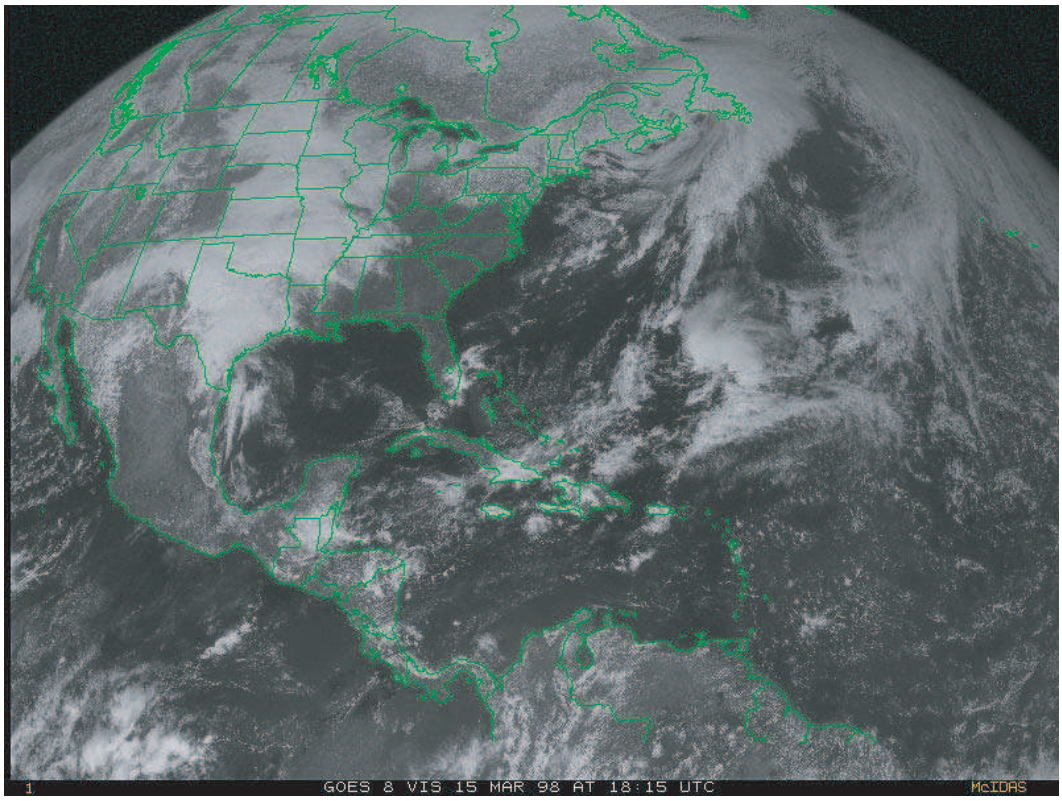



**Figure n°35 : Analyse de la photo satellite du 15/3/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

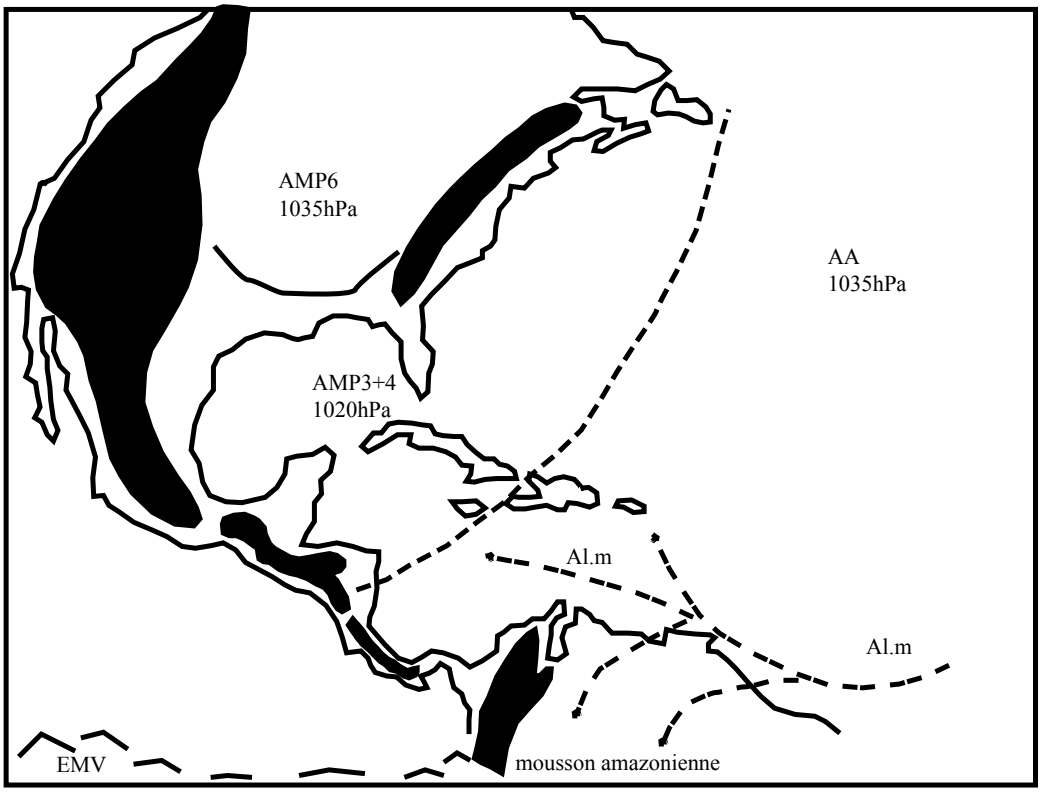
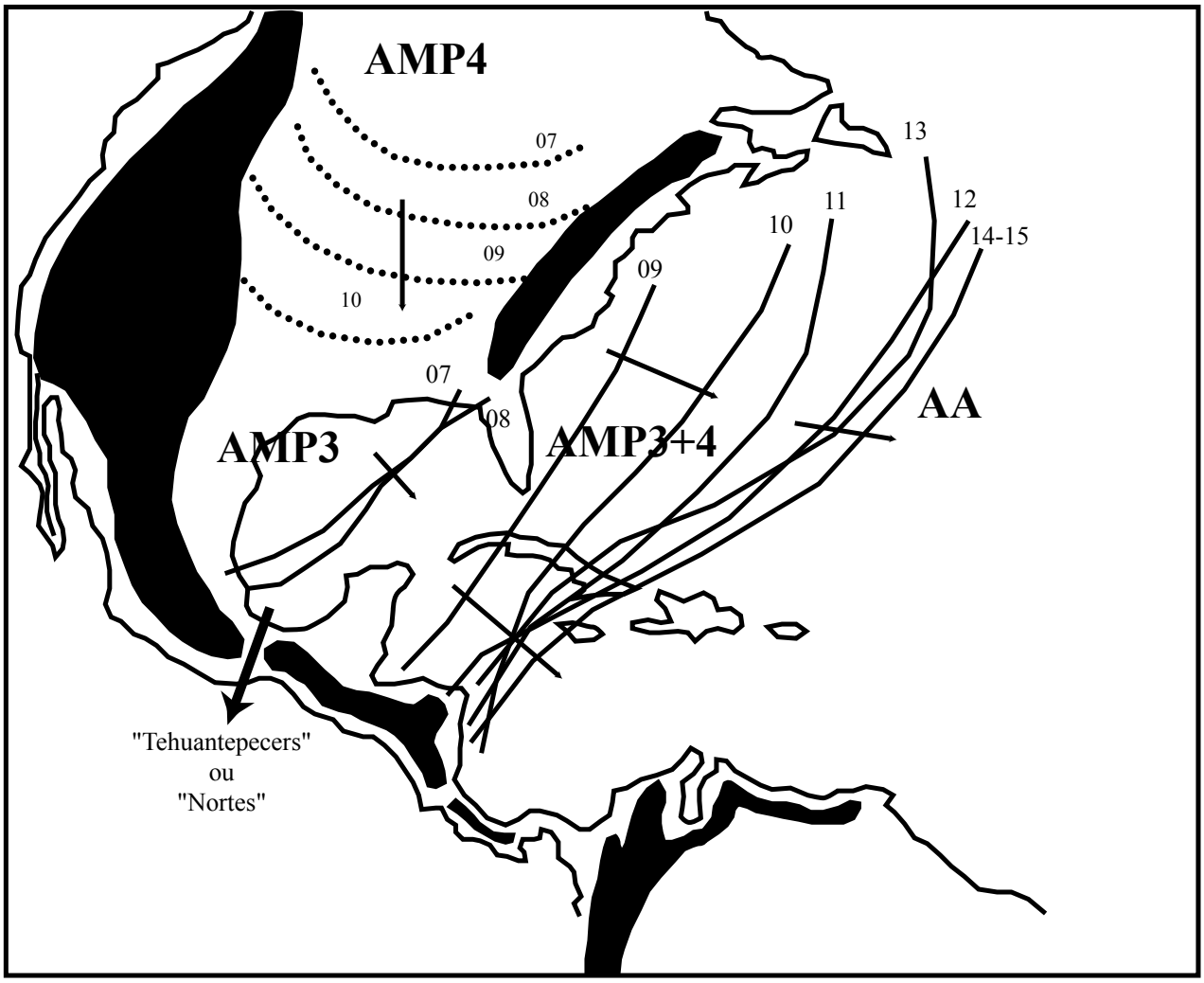


**Fig. n°36 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP3, AMP4 et AMP3+4 du 7/3/1998 au 15/3/1998**



Sierra Madre orientale (comme en témoignent les formations nuageuses qui épousent parfaitement les formes du relief), et au sud du relief mexicain s'écoule sur le Pacifique par l'ensellement de l'isthme de Tehuantepec (« Nortes », 50 km/h dans le Golfe de Campeche ; 70 km/h à Tehuantepec, Mexique) en direction de l'équateur météorologique vertical (EMV) situé sur le Pacifique. Là où l'abaissement du relief l'autorise, une partie de l'air froid se déverse par dessus les reliefs, s'assèche (effet foehn, absence de nuage); l'air s'humidifiera par la suite rapidement en poursuivant son cheminement sur l'océan Pacifique en direction de l'EMV).

- **Commentaire de la fig. n°30 (analyse de la photo satellite du 10/3/98) :**

L'AMP5 a continué son déplacement vers le sud tout en glissant progressivement vers l'est, contribuant ainsi au renforcement de l'AA dite « des Bermudes/Açores », au déplacement, à l'intégration et à la fusion des AMP1+2. L'AMP3 a glissé un peu plus au sud-est. L'air froid se dirige vers l'ouest du Golfe du Mexique où il est arrêté par la Sierra Madre orientale , les montagnes du Chiapas, du Guatemala et du Honduras (comme en témoignent les intenses formations nuageuses qui épousent parfaitement les contours du relief). L'AMP3 s'écoule (en partie) sur le Pacifique par l'isthme de Tehuantepec (« Nortes », 70 à 80 km/h) et l'ensellement du Nicaragua (« Nortes », 40 à 60 km/h). Sur le Pacifique, témoignant de l'écoulement en masse de l'AMP3, nous observons la formation de puissantes LP dont la forme arquée caractéristique apparaît nettement sur la photo satellite.

- **Commentaire de la fig. n°31 (analyse de la photo satellite du 11/3/98) :**

Les AMP3 et 4 ont fusionné pour ne former qu'une seule et même masse anticyclonique, le surpuissant AMP3+4 (1050 hPa!). L'air froid, incapable de s'élever, se plaque sur les versants nord des reliefs centraméricains. Les formations nuageuses épousent parfaitement les reliefs et en soulignent les contours de manière très précise. Remarquons que l'isthme secondaire de Tehuantepec se dégage progressivement de tout nuage en raison du vent violent qui s'y engouffre (« Nortes », 70 à 80 km/h).

- **Commentaire de la fig. n°32 (analyse de la photo satellite du 12/3/98) :**

L'AMP3+4 continue à régner majestueusement sur tout le continent nord-américain et, au sud du relief mexicain, s'écoule sur le Pacifique par les ensellements de l'isthme (Tehuantepec, Nicaragua où les « Nortes » soufflent à 90 km/h) en direction de l'EMV.

- **Commentaire de la fig. n°33 (analyse de la photo satellite du 13/3/98) :**

Sur l'extrémité septentrionale de l'Amérique du Nord nous observons un nouvel AMP, l'AMP6. L'A.M.P3+4 a glissé vers le sud et a perdu de sa vigueur (il s'est peu à peu tropicalisé et écoulé en partie vers le Pacifique) ; la vitesse des « Nortes » diminue, 60 km/h au large de la côte pacifique du Nicaragua.

- **Commentaire de la fig. n°34 (analyse de la photo satellite du 14/3/98) :**

L'AMP3+4 se déplace vers l'est, tropicalisé et déjà en partie écoulé vers l'océan Pacifique, il épouse moins parfaitement les reliefs centraméricains. Les vents de secteur nord faiblissent voire disparaissent.

- **Commentaire de la fig. n°35 (analyse de la photo satellite du 15/3/98) :**

Nous allons progressivement observer la fin de cet épisode de « Nortes ». La descente, entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches, de l'AMP6, va contribuer au déplacement vers l'est de l'AMP3+4 et à son intégration progressive dans l'AA.

- **Bilan de l'épisode (fig. n°36 ) :**

L'AMP3+4, descendu depuis le nord de l'Amérique du Nord, entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches, pénètre progressivement sur le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes et l'Atlantique ouest. L'air froid, dense, incapable de s'élever, épouse parfaitement les reliefs. La rotation anticyclonique plaque l'air froid contre les reliefs. L'air froid s'engouffre avec violence là où le relief s'abaisse (isthme de Tehuantepec au Mexique, ensellement du Nicaragua et isthme du Panama). L'effet Venturi accélère la vitesse des flux de secteur nord et les fameux « Tehuantepecers » ou « Nortes » sévissent localement. Sur le Pacifique, l'EMV est maintenu dans une position méridionale.

**b) Etude de cas de « Nortes » n°2 : épisode du 31/10 au 4/11/1999**

- **Commentaire de la fig. n°37 (analyse de la photo satellite du 31/10/99) :**

Dans la partie septentrionale de l'Amérique du Nord, nous observons l'AMP2 et l'AMP3, acollés aux puissantes Montagnes Rocheuses. Au large des côtes étasuniennes, sur l'océan Atlantique, nous observons un AMP plus ancien quasi intégré dans l'agglutination anticyconique dite des « Bermudes/Açores » (AA). Au sud de cette AA, l'alizé maritime de type 2 (Al.m) se dirige vers l'ouest, vers la mer des Caraïbes. L'Al.m est en partie dévié vers la dépression tropicale (DT) « Katrina » située sur le Yucatán. Les flux de l'Al.m continuent également leur cheminement vers l'ouest et rencontrent la face avant de l'AMP1. Ces flux chauds, humides, instables, n'ont d'autre possibilité que celle de s'élever (comme en témoignent les intenses formations nuageuses soulignant la face avant de l'AMP1) et/ou fuir vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique, vers la dépression associée à l'AMP1 (nous voyons très nettement, sur la photo satellite, l'enroulement dépressionnaire des formations nuageuses sur le nord-est du Texas). L'air froid de l'AMP1 se plaque contre les reliefs mexicains et profitant de l'abaissement du relief, commence à s'engouffrer dans l'isthme secondaire de Tehuantepec. Les fameux « Tehuantepecers » commencent à souffler. Nous observons que sur le nord-est de l'océan Pacifique, l'équateur météorologique vertical (EMV, facilement identifiable grâce aux intenses formations nuageuses qui soulignent sa présence) adopte une forme concave. Cette forme traduit l'écoulement en masse de l'AMP1 depuis l'Atlantique vers le Pacifique. L'écoulement s'effectue sous la forme de lignes de pulsations (LP, véritables bouffées d'air froid).

- **Commentaire de la fig. n°38 (analyse de la photo satellite du 1/11/99) :**

Sur le nord-est de l'Amérique du Nord, l'AMP2 continue sa trajectoire vers l'est et pénètre sur l'océan Atlantique. L'AMP3 poursuit sa descente vers le sud-sud-est, canalisé entre les Montagnes Rocheuses à l'ouest et les Appalaches à l'est. L'AMP1, poussé par l'arrivée de l'AMP3, glisse légèrement vers l'est. La DT « Katrina » est repoussée vers l'est par l'avancée de l'AMP1. Cette dernière disparaîtra dans la journée. L'air anticyclonique s'engouffre violemment dans l'isthme de Tehuantepec, les « Tehuantepecers » (« Nortes ») s'intensifient. Sur l'océan Pacifique, l'EMV est repoussé vers le sud.

**Photo satellite n°39 : GOES 8, est, vis, le 31/10/1999, 18h15 T.U**

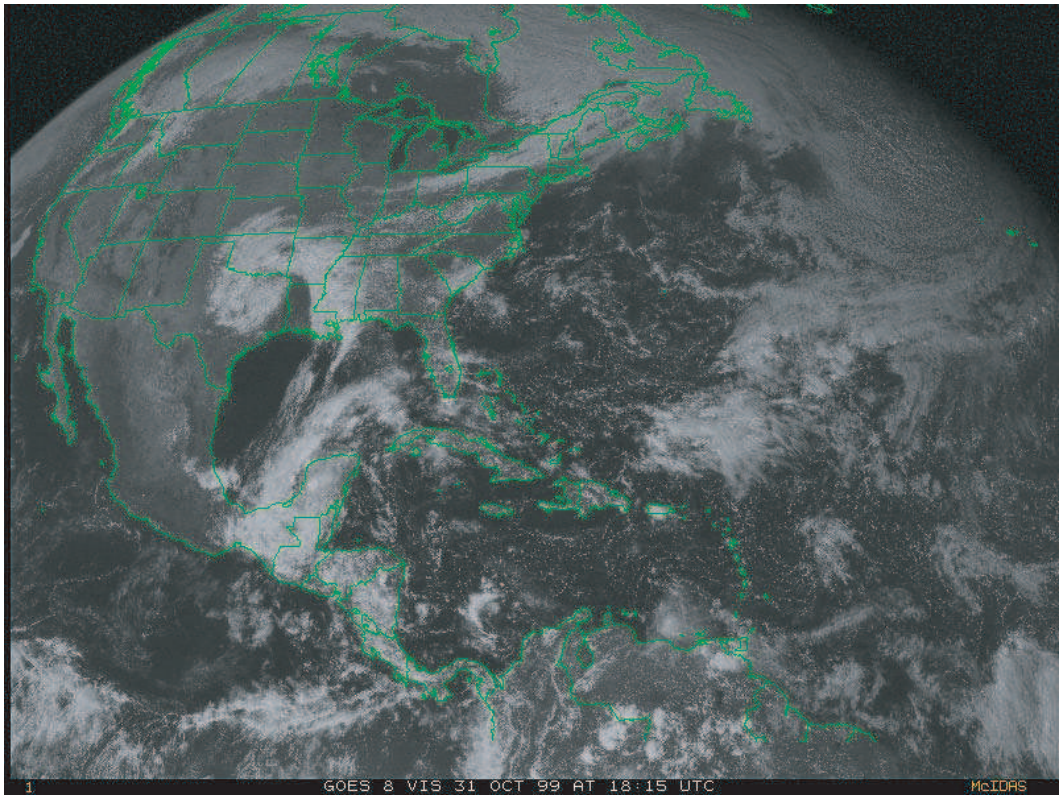



**Figure n°37 : Analyse de la photo satellite du 31/10/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

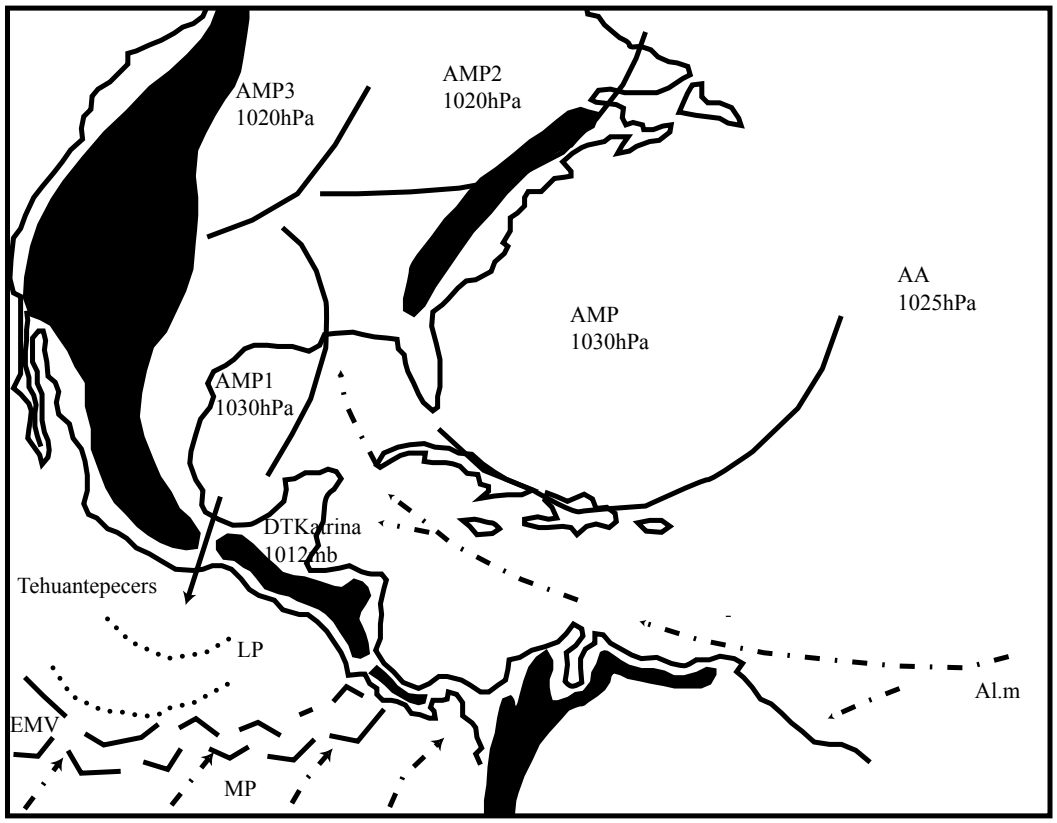


**Photo satellite n°40 : GOES 8, est, vis, le 1/11/1999, 18h15 T.U**

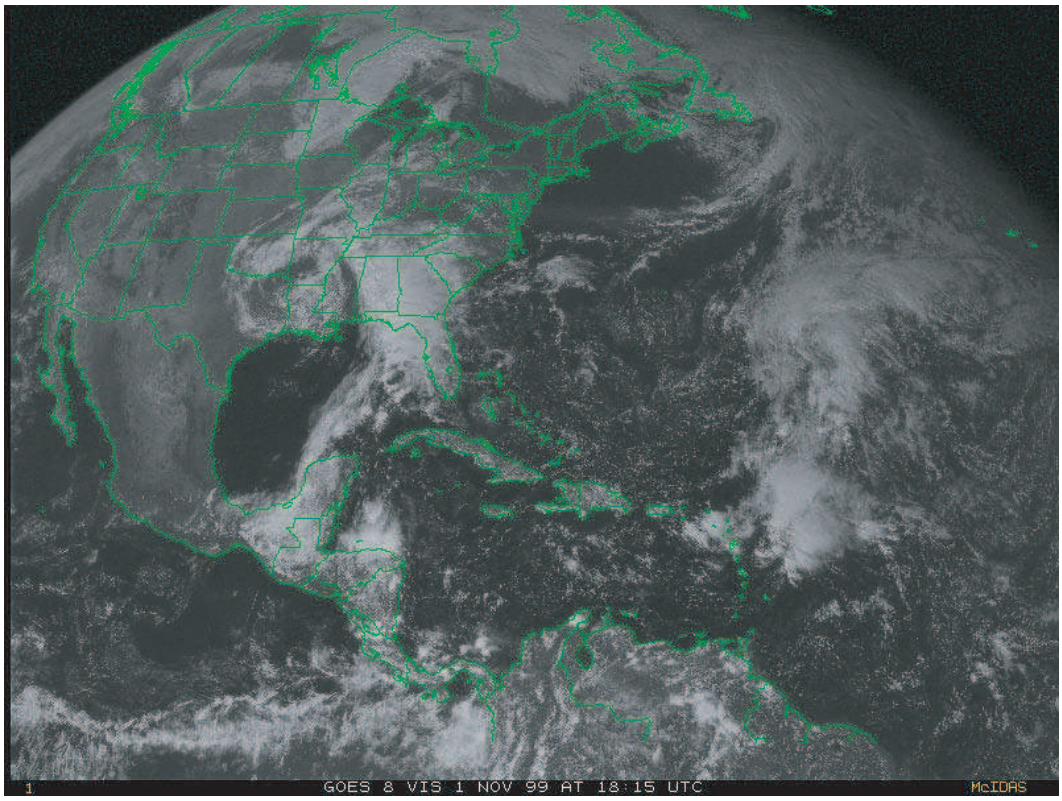



**Figure n°38 : Analyse de la photo satellite du 1/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

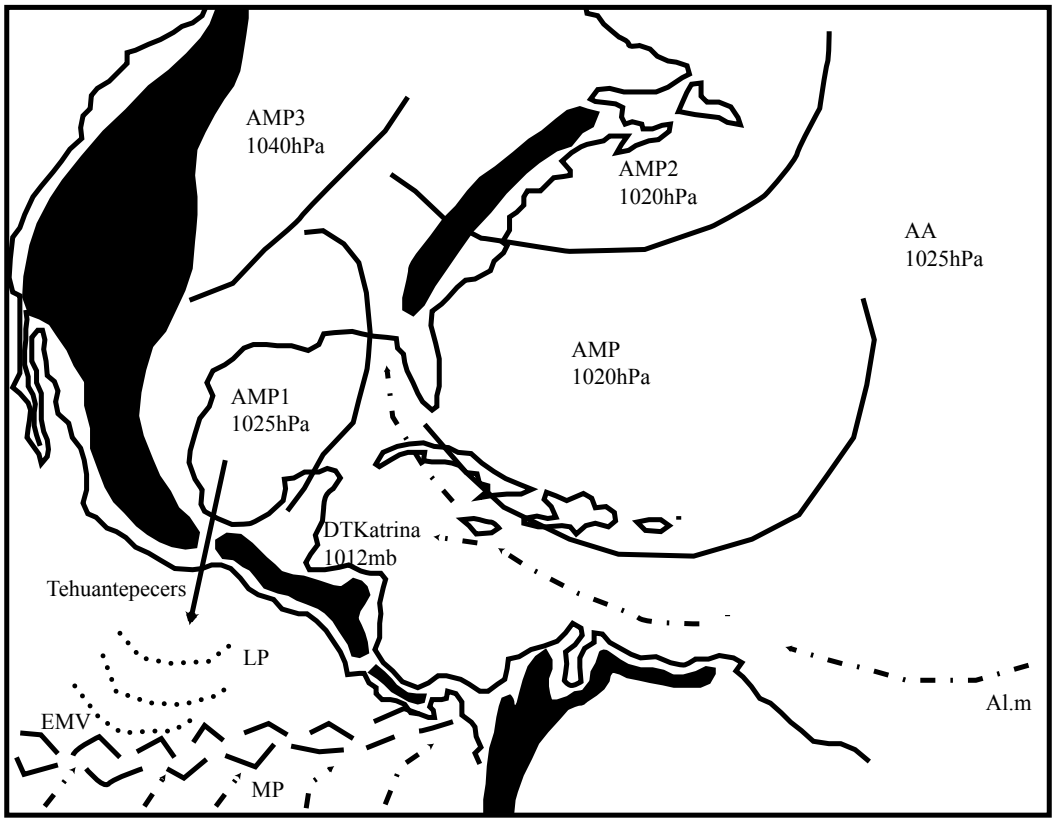


**Photo satellite n°41 : GOES 8, est, vis, le 2/11/1999, 18h15 T.U**

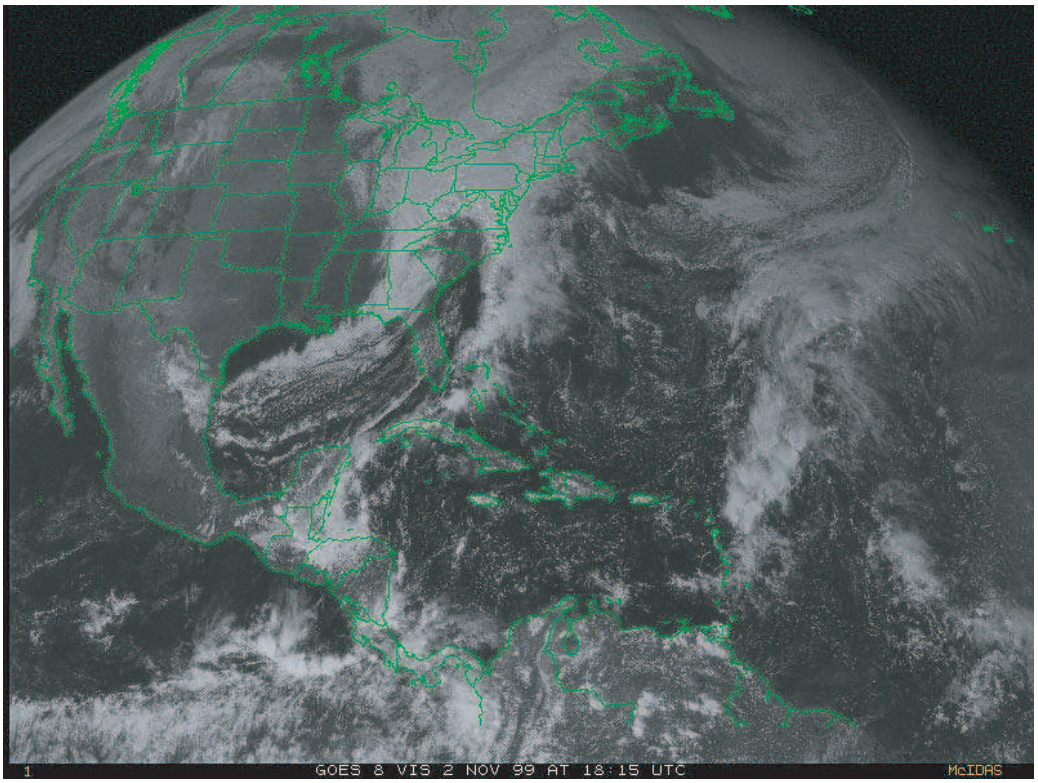



**Figure n°39 : Analyse de la photo satellite du 2/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

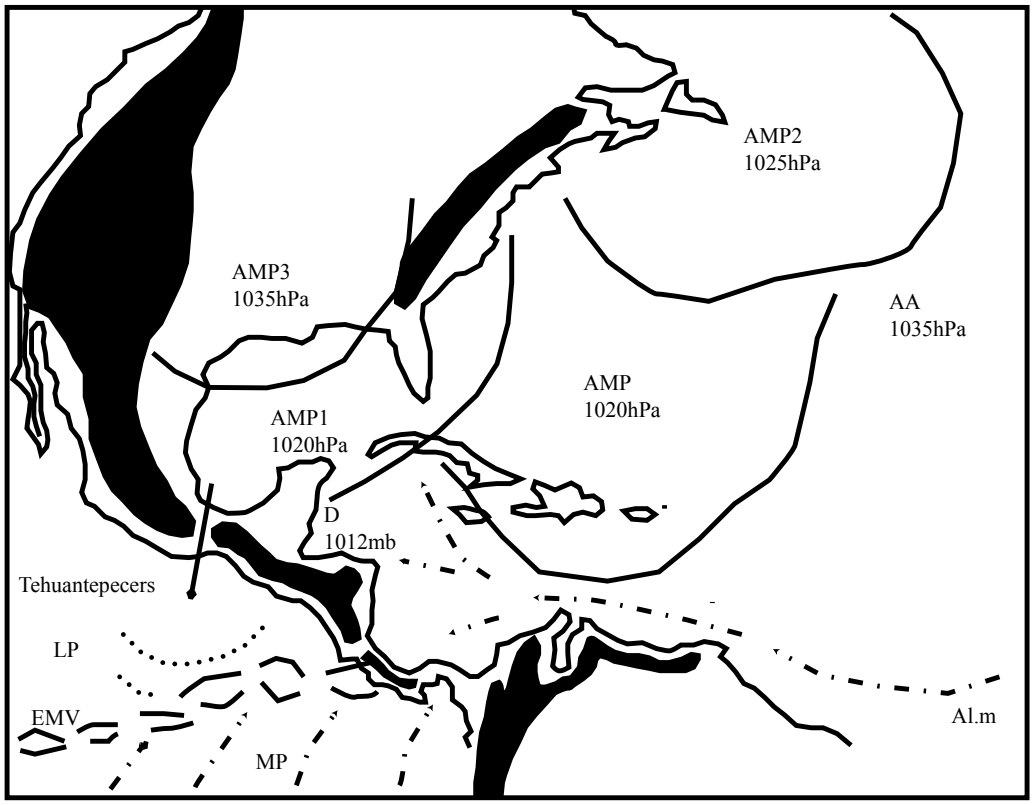


**Photo satellite n°42 : GOES 8, est, vis, le 3/11/1999, 18h15 T.U**

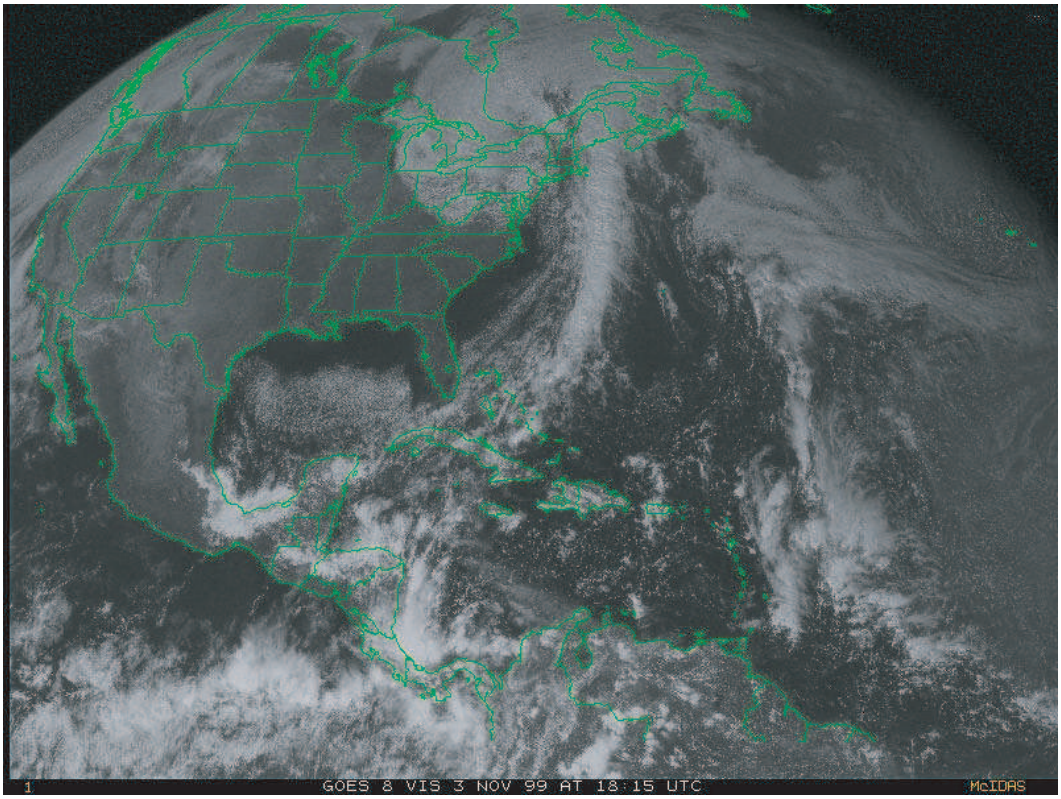



**Figure n°40 : Analyse de la photo satellite du 3/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

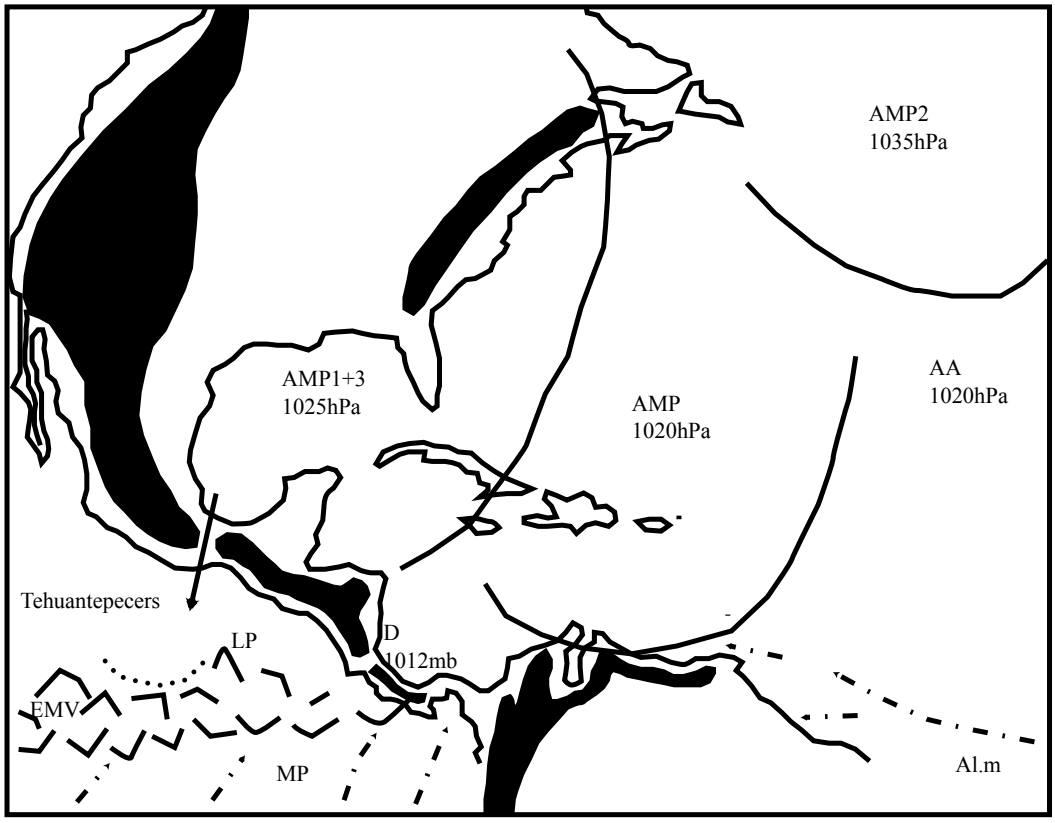


**Photo satellite n°43 : GOES 8, est, vis, le 4/11/1999, 18h15 T.U**

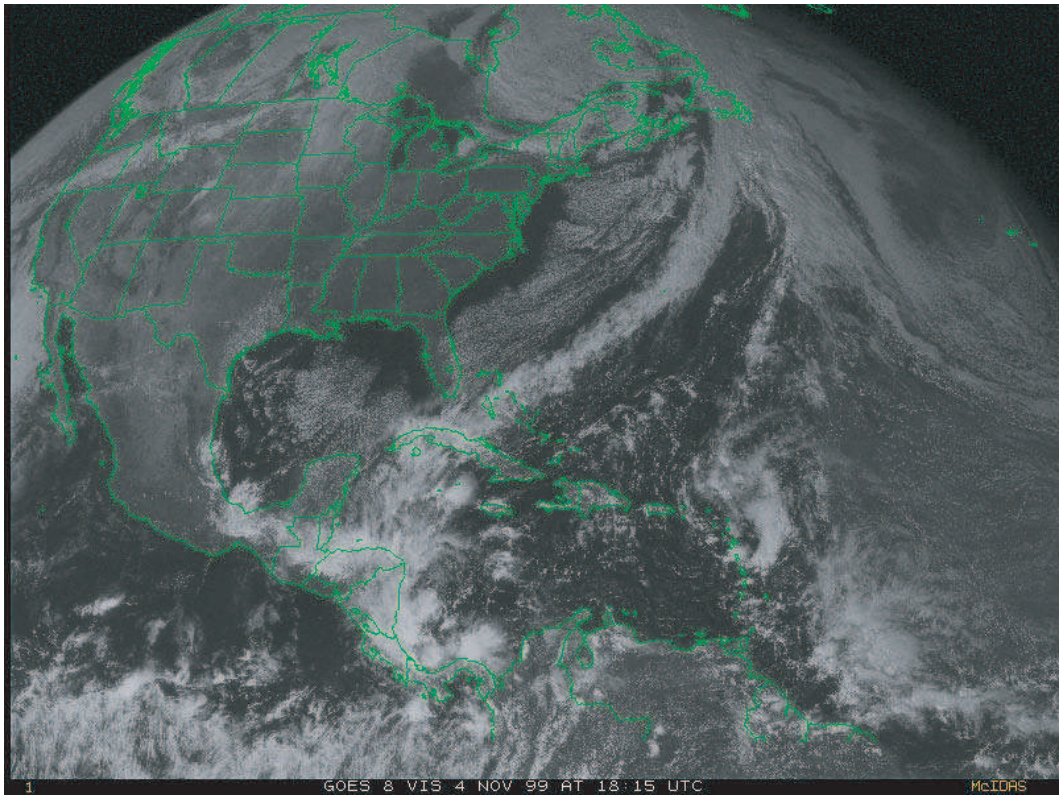



**Figure n°41 : Analyse de la photo satellite du 4/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

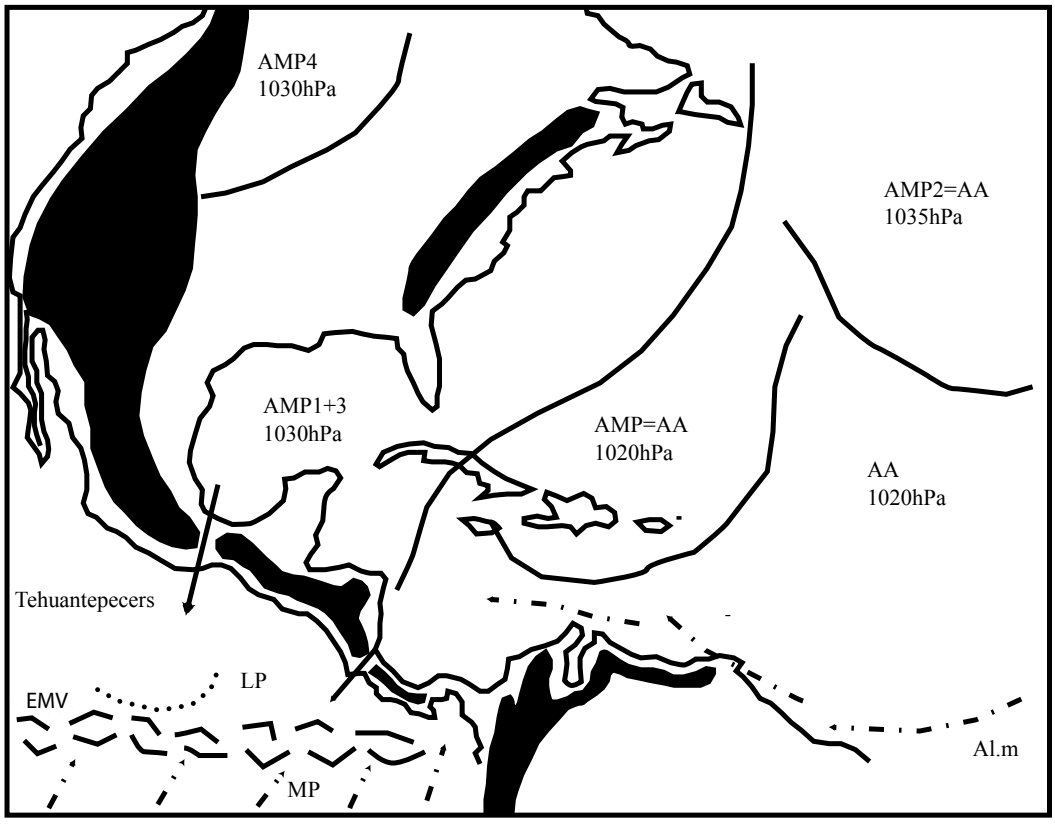
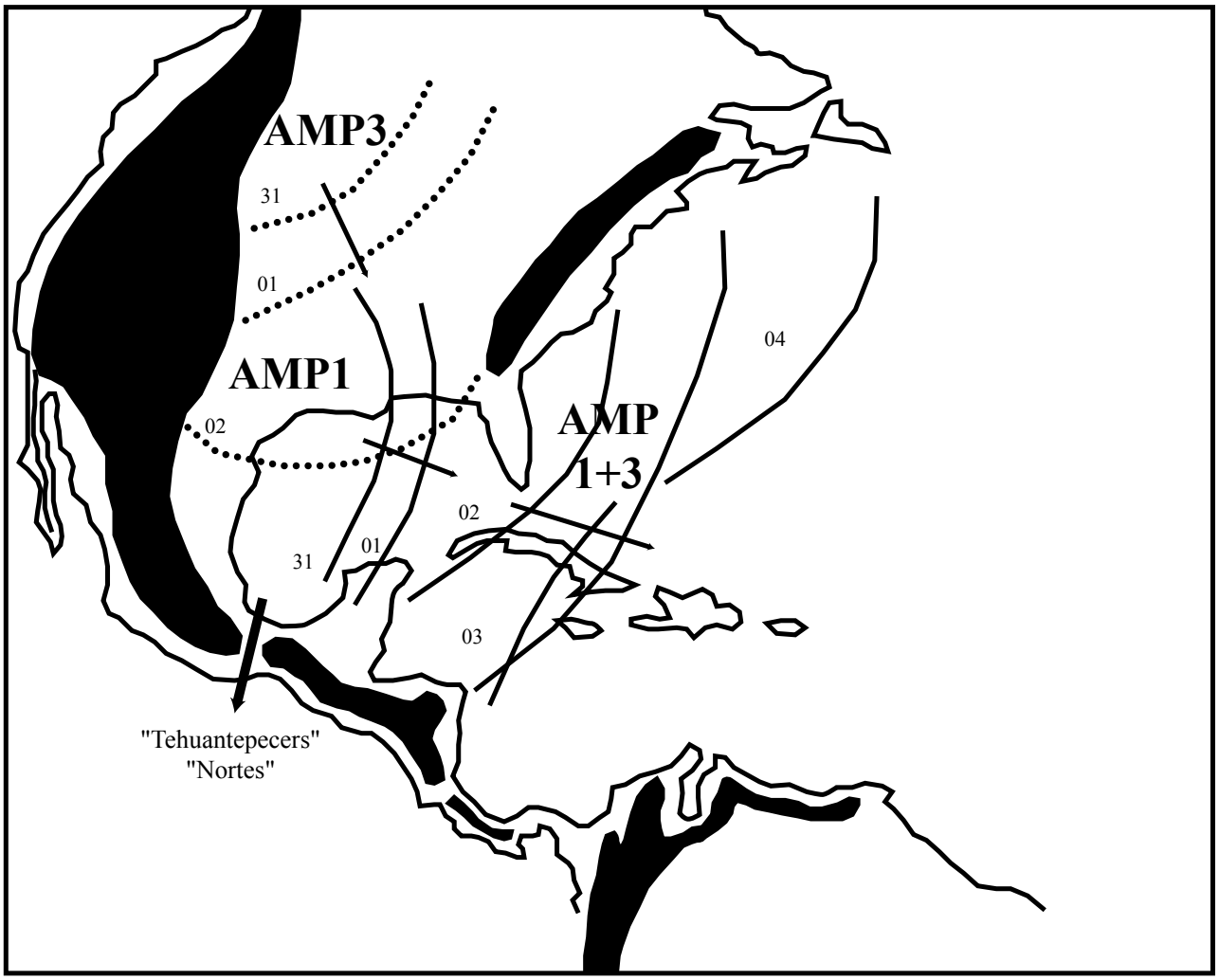


**Fig. n°42 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP1, AMP3 et AMP1+3 du 31 octobre au 4 novembre 1999**



- **Commentaire de la fig. n°39 (analyse de la photo satellite du 2/11/99) :**

L'AMP3 a continué sa progression vers le sud-sud-est et gagne à présent le Golfe du Mexique où il s'apprête à fusionner avec l'AMP1, plus ancien donc moins puissant, moins froid, moins dense et déjà en partie écoulé vers le Pacifique. Ce renfort a pour principal effet d'augmenter la violence de la pénétration de l'air froid anticyclonique dans l'isthme de Tehuantepec. A 18h00 T.U, des vents ayant une vitesse moyenne de 70 à 80 km/h sont enregistrés à Tehuantepec. Un avis de tempête sur le Pacifique est déclenché par les autorités mexicaines et américaines. Ces puissants vents du nord s'observent plus au sud (70 km/h au Guatemala, 50 km/h au Salvador). Remarquons que l'air froid se plaque sur les reliefs centraméricains (les formations nuageuses épousent parfaitement les reliefs du nord du Guatemala, du nord du Salvador et du Honduras). L'air froid passe ensuite au-dessus des reliefs les moins élevés puis dévale les pentes, s'assèche (effet foehn, absence de nuage du côté pacifique). L'EMV est maintenu dans une position méridionale, les LP conduisent à son activation (comme en témoigne l'intensification des formations nuageuses au large du Nicaragua et du Costa Rica).

- **Commentaire de la fig. n°40 (analyse de la photo satellite du 3/11/99) :**

L'AMP1+3 recouvre la quasi totalité du continent nord-américain. L'air anticyclonique froid vient se plaquer contre les reliefs du sud du Mexique (Sierra Madre méridionale et montagnes du Chiapas) ainsi que sur la cordillère centraméricaine. L'air froid s'engouffre avec violence dans l'isthme de Tehuantepec. A 18h00 T.U, au large de Tehuantepec, l'avis de tempête est toujours en vigueur. Des vents ayant une vitesse de 70 à 90 km/h sont enregistrés à Tehuantepec. Au Guatemala et au Salavador des vents de 50 à 60 km/h sont relevés. L'EMVest activé par les LP (les formations nuageuses s'intensifient).

- **Commentaire de la fig. n°41 (analyse de la photo satellite du 4/11/99) :**

Sur la face avant de l'immense AMP1+3, l'air environnant (chaud et humide) est directement transporté des Caraïbes vers le Canada. L'air froid se plaque toujours contre les reliefs centraméricains et s'écoule vers le Pacifique là où le relief s'abaisse (isthme de Tehuantepec et ensellement du Nicaragua) contribuant à maintenir l'EMV dans une position méridionale. A 18h00 T.U, des vents ayant une vitesse de 50 à 60 km/h sont enregistrés à Tehuantepec; au Guatemala, au Salvador, des vitesses de 30 à 40 km/h sont relevées.

- **Bilan de l'épisode (fig. n°42) :**

L'AMP1, descendu depuis le nord de l'Amérique du Nord, entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches, pénètre progressivement sur le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes et l'Atlantique ouest. L'air froid, dense, incapable de s'élever, épouse parfaitement les reliefs. La rotation anticyclonique plaque l'air froid contre les reliefs. L'air froid s'engouffre avec violence dans les endroits où le relief s'abaisse (isthme de Tehuantepec au Mexique, ensellement du Nicaragua et isthme de Panama). L'effet Venturi accélère la vitesse des flux de secteur nord et les fameux « Tehuantepecers » ou « Nortes » sévissent localement. L'AMP1 est suivi de l'AMP3. Cet AMP3, accélère le déplacement de l'AMP1 vers le sud-sud-est ainsi que son écoulement en masse vers l'océan pacifique au niveau de l'isthme de Tehuantepec. Les deux AMP fusionnent pour ne former qu'une seule et même masse anticyclonique mobile, l'AMP1+3. L'écoulement en masse des AMP vers le Pacifique, les flux de secteur nord, contibuent au maintien de l'EMV dans une position méridionale.

Ces deux études de cas présentant des épisodes de « Nortes » que nous pouvons qualifier de « classiques » nous permettent de présenter la dynamique propre à ce type de perturbation.

## 4) Conclusion, la dynamique propre aux « Nortes » (fig. n°43) :

Dans l'hémisphère météorologique en hiver, le déficit thermique polaire accroît la puissance des AMP et des AA, la circulation est dans l'ensemble accélérée, aussi bien à partir du pôle qu'en retour vers le pôle. L'hémisphère météorologique boréal au dynamisme renforcé s'étend au détriment de l'hémisphère austral en été. Le continent nord-américain est survolé par une succession incessante de puissants AMP qui alimentent l'AA dite « des Bermudes », extension saisonnière de l'AA dite « des Açores ». Le sens de la rotation anticyclonique plaque l'air froid sur les reliefs orientaux du Mexique et de l'isthme mais, l'abaissement du relief favorise et amène un débordement important du domaine atlantique sur le Pacifique nord-ouest, une telle invasion d'air froid (« cold surge ») est accompagnée de vents du nord et désignée « Norte » ou « Norther ». Ces intrusions peuvent n'entraîner qu'un léger renforcement du vent de nord (« Chocolate » ou « Chocolatero »), mais elles peuvent être aussi très violentes notamment sur l'isthme au sud du Mexique où s'engouffre avec violence (effet Venturi) le « Tehuantepeco » ou « Tehuantepecer », ou encore au-dessus de l'épine dorsale de l'isthme avec le « Papagayo ».

Dans ce cas, avec une fréquence de 30 à 40 par an, le temps associé suit grossièrement la même évolution.

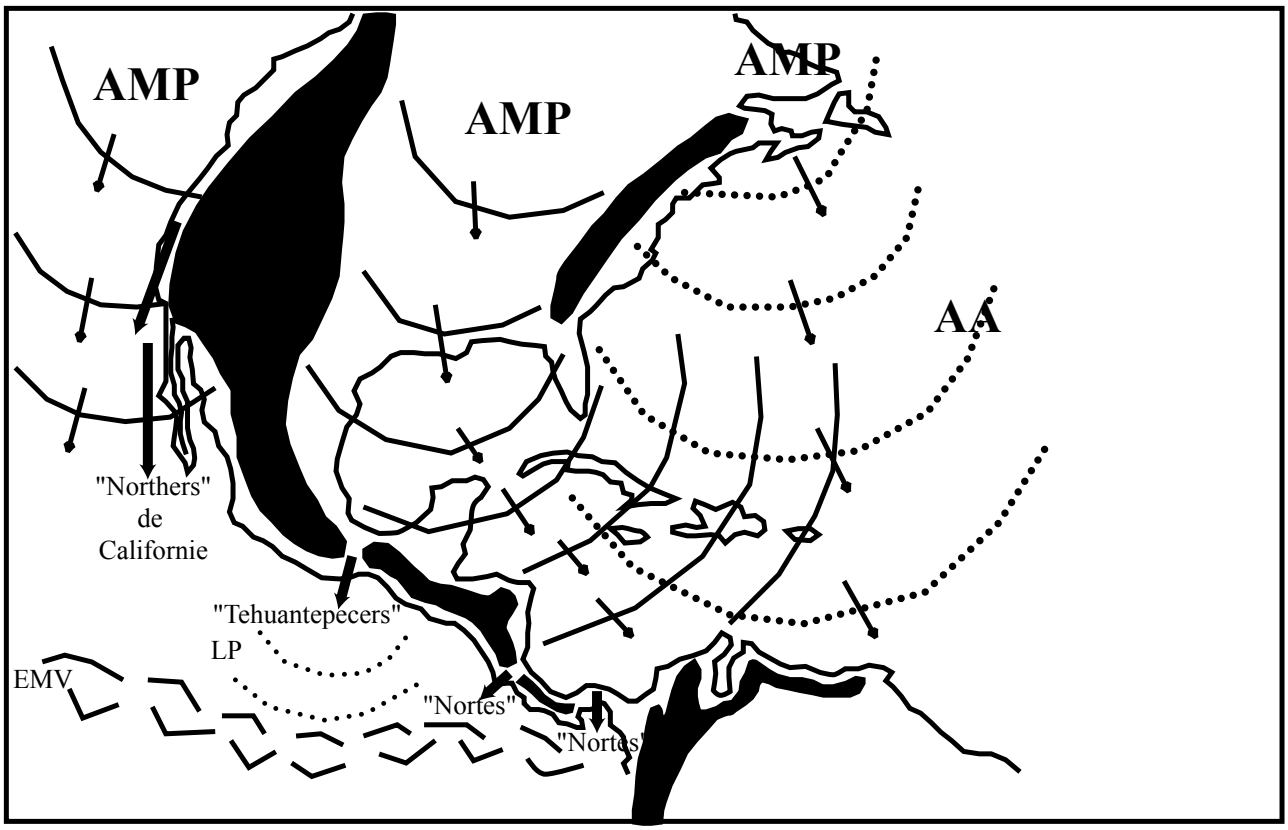
Avant l'arrivée de l'AMP, l'Al.m issu de l'AA dite «des Açores » qui souffle de l'est mollit, ce calme permettant à la température d'augmenter légèrement. Puis le ciel se couvre de nuages de plus en plus sombres et épais, le vent s'accélère et tourne progressivement au sud-ouest (c'est l'Al.m dévié à l'avant de l'AMP), parfois avec violence, une ligne de nuages qui marque le soulèvement de l'air chaud sur l'avant de l'AMP descend du nord provoquant des pluies torrentielles avec manifestations orageuses (grains). Des dépressions peuvent se former et remonter vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique, en direction de la dépression associée à l'AMP.

Le vent tourne ensuite au nord et amène souvent avec force pendant plusieurs jours un temps froid, voire une véritable vague de froid meurtrière (il n'est pas rare d'enregistrer des températures négatives sur les plateaux du Mexique et/ou du Guatemala dont l'altitude est supérieure à 1 000 mètres. Ainsi, entre le 18/12/01 et le 10/1/02, des températures de -10°C furent enregistrées à Quetzaltenango au Guatemala où les personnes victimes du froid se comptèrent malheureusement par dizaines). Le sens de la rotation anticyclonique plaque l'air froid sur les reliefs orientaux du Mexique et de l'isthme. L'abaissement du relief favorise le passage vers le Pacifique.

En plus de l'abaissement des températures, du gel (sur le plateau mexicain et guatémaltèque), du vent violent, un autre phénomène, les « Calinas », peut parfois se produire en Amérique Centrale.

Seul Guzman (1971) traite de ce phénomène. Chose étonnante, nous n'avons pas trouvé d'autre trace des « Calinas » dans la littérature spécialisée. Pourtant, après avoir vécu trois ans au Salvador, je peux affirmer que le phénomène est fréquent en période hivernale et fort désagréable pour les yeux et les bronches… En effet, en Amérique Centrale, pendant la saison sèche (en hiver boréal), en dessous de l'inversion d'alizé s'accumulent les particules de poussière, les restes des combustions industrielles et les cendres des incendies agricoles

**Fig. n°43 : La dynamique propre aux "Nortes", "Northers"**



(pratique fréquente de l'écobuage dans les champs de canne à sucre à cette période de l'année où s'effectue la récolte de la canne à sucre et activité intense des « ingenieros », sucreries, rhumeries dégageant d'importantes fumées blanchâtres dans l'atmosphère). Tous ces éléments microscopiques associés aux micro-particules résultant de la pollution liée aux gaz d'échappement, aux décharges à ciel ouvert, aux pneumatiques brûlés pour éloigner les moustiques apportant la dingue... sont soulevés par les puissants vents du nord (« Nortes », « Northers ») et « la visibilité se réduit considérablement, le paysage apparaît comme recouvert d'une couche de brume très dense » (Guzman, 1971). Ces brumes sèches, caractéristiques pendant cette période de l'année, sont appelées « Calinas » au Salvador.

Au-dessus de l'inversion d'alizé, la visibilité redevient bonne.

En ce qui concerne les « Northers » de Californie, la dynamique est identique, les AMP qui atteignent le Pacifique du nord-est, issus de l'Asie extrême orientale et/ou sortant du bassin arctique par le détroit de Béring, parviennent sur la côte occidentale de l'Amérique de nord où ils sont bloqués par les Montagnes Rocheuses et déviés vers le sud en direction de l'AA dite « des Hawaii » qu'ils contribuent à créer en s'agglutinant les uns dans les autres. A l'est de l'AA, l'air froid se trouve plaqué contre le relief, violemment accéléré (effet Venturi) et, le long des côtes californiennes et/ou mexicaines, l'on observe de puissants vents de secteur nord, les « Northers » dont les effets dévastateurs sont identiques à ceux observés du côté du Golfe du Mexique et de la mer des Caraïbes.

Précisons qu'étant donné la puissance des AMP australs et la canalisation le long des Andes (fortes remontées de « Southers » ; « Sures » dans la mousson panaméenne), il serait nécessaire de réaliser le même travail au sud mais cette analyse est encore impossible.

**Panneaux routiers à proximité de Tehuantepec**
**(cliché E.B, 1998)**




Nous sommes dans l'isthme de Tehuantepec au Mexique et nous regardons vers l'ouest. Au premier plan, le panneau routier est, comme tous les panneaux de l'isthme, criblé afin d'éviter sa destruction systématique lors des épisodes de « Nortes ». A l'arrière plan les arbres sont couchés dans le sens du vent (nord-sud) et adoptent un port en drapeau très prononcé témoignant de la fréquence élevée de ces épisodes venteux.

## 5) Etude de cas de « Nortes » extrême : « L'Invierno de las Chicharras »[1] ou « Las Lluvias de los Jocotes »[2] :

### a) Bilan bibliographique :

Au Venezuela, pendant l'« Invierno de la Chicharras » en « février-mars, la saison sèche est alors brutalement coupée » (Snow, 1976), de fortes précipitations orageuses se déversent et entraînent parfois des inondations dramatiques.

Au Salvador, ce sont les terribles « Lluvias de los Jocotes », « fin janvier, des invasions d'air froid depuis l'Amérique du Nord coupent la saison sèche et entraînent la perte des fruits du même nom » (Guzman,1971).

En ce qui concerne ces manifestations dramatiques pour l'activité économique des populations locales, manifestations parfois meurtrières, nous ne trouvons que très peu d'informations dans la littérature spécialisée.

Un article récent de M. C. Larsen, G. F. Wieczoreck, L. Scott Eaton, B. A. Morgan, et H. Torres-Sierra (2001) présente l'épisode dramatique qu'a connu le Venezuela en décembre 1999. Cet article propose une vision très géologique ; les auteurs, ayant pour objectif de clarifier la dynamique géomorphologique de l'épisode, ne font que constater les faits climatiques sans chercher à apporter une explication à la dynamique de ces épisodes dramatiques. Ces auteurs constatent que « les risques d'observer des écoulements de débris rocheux/détritus et des inondations subites » sont très forts pendant des « épisodes de précipitations intenses et prolongées ». Ces précipitations très intenses (les totaux pluviométriques enregistrés lors de cet épisode « relèvent d'une probabilité millénaire ») associées à « la configuration abrupte des reliefs côtiers » favorisent l'activité géomorphologique. Les archives espagnoles nous apprennent que des événements hydrologiques comparables (bien que moins dramatiques car la côte était beaucoup moins peuplée et mise en valeur) se sont produits dans cette région en 1798, 1912, 1914, 1938, 1944, 1948 et 1951. En moyenne, « au moins un à deux cas similaires par siècle (bien que moins intenses) ont été relevés dans cette région depuis le dix-septième siècle ». Ce type de catastrophe serait donc plus fréquent que ce que l'on pourrait penser. En conclusion, les auteurs de cet article nous précisent « qu'une combinaison de facteurs climatologiques et géologiques » conduisant à ce type de catastrophe est donc « hautement probable » à l'avenir.

Snow (1976) et Guzman (1971) se contentent de citer le phénomène mais ne proposent, ni l'un ni l'autre, d'explication dynamique.

Dans l'article ayant pour titre « Les effets climatologiques du Niño et de la Niña sont la cause du désastre », A. Cortes (in « El Nacional » du 18/12/99) cite les propos du Maître Moren Jose Bolivar, chef du département de Météorologie de l'observatoire Cajigal, instance climatique vénézuélienne suprême avec les militaires de l'armée de l'air.

Maître Jose Bolivar nous présente la dynamique en jeu dans l'épisode pluvieux qui a eu lieu au Venezuela en 1999. Nous apprenons ainsi, que « la rencontre d'un front froid (qui, en décembre, se déplace traditionnellement vers les Caraïbes) a entraîné la formation d'un phénomène connu sous le nom de talweg (*vaguada*) ». De fait, « des nuages stratiformes se sont maintenus stationnaires sur la zone côtière nord, ce qui a engendré les pluies ». « Le

[1] *l'hiver des cigales (les pluies font naître les larves) ;* [2] *pluies de «jocotes » (fruits que les pluies font tomber).*

Venezuela est en ce moment le centre d'un phénomène naturel de très grande échelle dont l'origine est le réchauffement de la couche d'ozone qui, à son tour, a engendré les phénomènes du El Niño et de La Niña, tous les deux respectivement père et mère de la catastrophe » (sic !). Toujours selon les explications données par Maître Moren Jose Bolivar, « il y a une relation directe entre ces effets climatiques et les pluies atypiques qui se sont produites en décembre de cette année. Cette hypothèse a été formulée par les techniciens après avoir observé qu'en décembre 1985, de fortes précipitations avaient été enregistrées dans le pays, deux ans après la première étape du El Niño ». En effet, selon Bolivar, « les registres des 7 stations climatiques côtières et les données de l'OMM montrent que 1998 a été l'année la plus chaude de ce siècle ; c'est pourquoi, en 1999 nous attendions des changements climatiques comme ceux qui viennent de se produire dans le pays . La détérioration de la couche d'ozone produit des altérations climatiques d'échelle globale et le Venezuela n'y échappe pas. La situation normale est qu'en décembre, des masses d'air froid se déplacent depuis l'hémisphère nord vers les Caraïbes et ces dernières, éventuellement, produisent des bruines, crachins, en décembre, janvier et février. Météorologiquement, elles sont connues comme étant des fronts froids : deux masses d'air de différente nature s'affrontent et entraînent, en surface, des instabilité et des chutes de températures. L'un de ces fronts s'est déplacé il y a une semaine dans les Caraïbes. Ce dernier a été renforcé par les jets d'ouest (*la corriente en chorro*, mouvement d'air froid à grande altitude, situé approximativement à 9 000 mètres d'altitude et qui descend jusqu'à la surface) qui se trouvaient également sur les Caraïbes à ce moment là. La rencontre entre les deux fronts a provoqué une sorte d'entonnoir de vent (*embudo de viento*), stationnaire qui a renforcé le passage du front froid et provoqué, en altitude, le phénomène connu sous le nom de talweg (*vaguada*). Cette manifestation implique que de l'air froid descende et qu'il rencontre l'influence du réchauffement diurne, proche du sol (air chaud), et qui entraîne le mélange des températures, de la condensation dans les basses couches et provoque des précipitations sous forme de bruine, de crachin. Dans ce cas précis, le phénomène a été renforcé par les jets d'altitude et s'est maintenu stationnaire sur le nord du Venezuela. C'est pour cela que les pluies furent si continues et durèrent aussi longtemps. Comme si cela ne suffisait pas, les conditions naturelles des zones montagneuses (par effet d'ascendances orographiques) ont induit des effets encore plus forts dans les montagnes que dans les vallées ».

Dans cet article, nous apprenons que la fin de l'épisode pluvieux relève du miracle divin : « les prières du pays tout entier produisent leur effet, le temps s'améliore, le courant jet s'est déplacé vers l'est, la descente d'air froid a donc diminué et les pluies se sont déplacées vers la partie est des Antilles ».

Ce que nous venons de lire est tout simplement atterrant ! Le Maître Moren Jose Bolivar, chef du département de météorologie multiplie les inepties, mélange tout et n'importe quoi pour nous fournir un condensé de tous les grands thèmes climatiques du moment, thèmes n'ayant rien à voir avec la réalité observée ! Le fait que les hautes couches de l'atmosphère président à ce qui se passe dans les basses couches nous est servi mais, une fois de plus, aucune explication plausible n'est donnée…

Trèves de billevesées, quelle est la dynamique en jeu dans ce type d'épisode ? Quelle réponse apporter aux angoisses métaphysiques de Maître Moren Jose Bolivar?

Au regard du caractère dévastateur de ce phénomène, il nous apparaît pour le moins « bizarre » que ces épisodes catastrophiques n'aient pas outre mesure attiré l'attention des climatologues de la région. Nous allons donc étudier la catastrophe qui s'est produite dans

l'Etat de Vargas (Venezuela) et sur la côte pacifique colombienne du Chocó en décembre 1999.

**b) Etude de cas n°3 : « l'Invierno de las Chicharras » au Venezuela (du 13 au 18/12/1999) :**

- **Commentaire de la fig. n°44 (analyse de la photo satellite du 13/12/99) :**

L'AMP1 suit une trajectoire méridienne sur l'Atlantique du nord-ouest. Cette descente accélère la circulation des flux de l'alizé maritime atlantique de type 2 (Al.m) et des lignes de pulsations (LP) se forment. Sur le nord de l'Amérique du Sud, au passage de l'équateur géographique (hors carte), l'Al.m se transforme en mousson amazonienne en direction de la cuvette amazonienne. L'AMP2 est canalisé entre les Montagnes Rocheuses, les reliefs orientaux mexicains à l'ouest et les Appalaches à l'est. L'air froid, dense, incapable de s'élever, se plaque contre les reliefs mexicains, s'engouffre dans l'isthme de Tehuantepec et profite de l'abaissement du relief pour rejoindre le Pacifique (« Nortes »). une partie de la masse de l'AMP2 s'écoule en direction du Pacifique (comme en témoignent les LP). Cet AMP2 provoque sur sa face avant la déviation vers le nord-est de l'Al.m qui résulte de l'évolution de l'air advecté par l'AMP1. L'air instable chaud et humide de l'Al.m, canalisé vers le nord-est, rencontre les Appalaches, s'élève et une dépression se creuse au nord de la Floride.

- **Commentaire de la fig. n°45 (analyse de la photo satellite du 14/12/99) :**

L'AMP1 continue son déplacement vers le sud, en direction des littoraux colombien et vénézuélien. Ce glissement vers le sud est favorisé par la présence de l'AMP4 sur le nord-est canadien. L'AMP2, poussé vers le sud par la descente de l'AMP3 depuis le Canada, se plaque aux reliefs mexicains méridionaux. L'air anticyclonique s'engouffre encore plus violemment dans l'isthme de Tehuantepec pour rejoindre l'océan Pacifique (« Nortes »). Sur la face avant de l'AMP1, les LP sont actives, favorisent l'ascendance des flux de l'Al.m; le relief côtier y contribue également et les précipitations commencent à Caracas. Au nord du Panama, une dépression se creuse. Cette dépression dispose d'une excellente alimentation (l'Al.m est dévié vers la dépression, l'EMV sur le Pacifique au large du Choco colombien remonte vers le nord et derrière lui la MP pénètre sur la mer des Caraïbes, favorisant également l'alimentation de la dépression).

- **Commentaire de la fig. n°46 (analyse de la photo satellite du 15/12/99) :**

L'AMP1 poursuit sa descente vers les côtes colombienne et vénézuélienne. Une partie de la masse de l'AMP2, profitant de l'abaissement de relief au niveau de l'isthme de Tehuantepec, s'écoule vers le Pacifique (comme en témoigne les LP). La dépression au nord du Panama se creuse. Les précipitations augmentent sur les côtes colombiennes du Chocó, à cause de la remontée de l'EMV et de la pénétration des flux de la MP. Sur la face avant de l'AMP1, les LP actives entraînent le développement d'intenses formations nuageuses (l'orographie vénézuélienne, la chaîne côtière de l'Etat de Vargas, favorise l'ascendance de l'Al.m). Les précipitations redoublent d'intensité.

- **Commentaire de la fig. n°47 (analyse de la photo satellite du 16/12/99) :**

L'AMP1 a encore glissé vers le sud (poussé par la descente de l'AMP4) et sa face avant touche maintenant le littoral du Venezuela où des précipitations diluviennes se

**Photo satellite n°44 : GOES 8, est, vis, le 13/12/1999, 18h15 T.U**

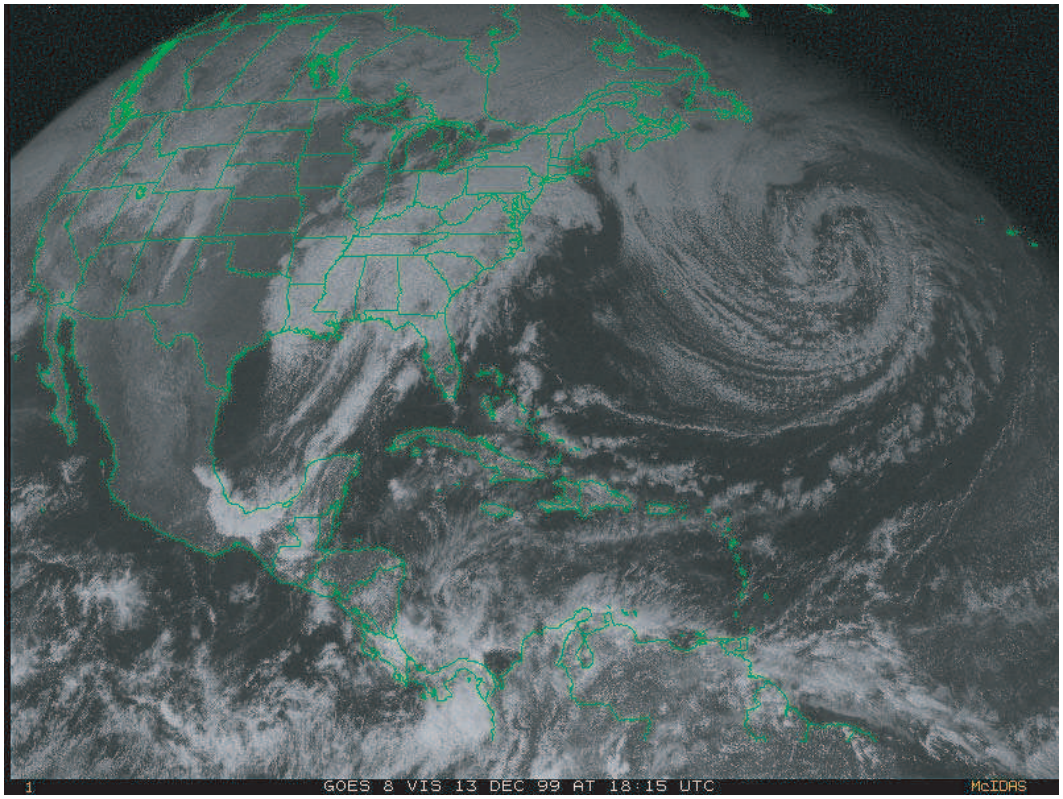



**Figure n°6 : Analyse de la photo satellite du 13/12/1999 (Goes 8, vis, 18h15 T.U)**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

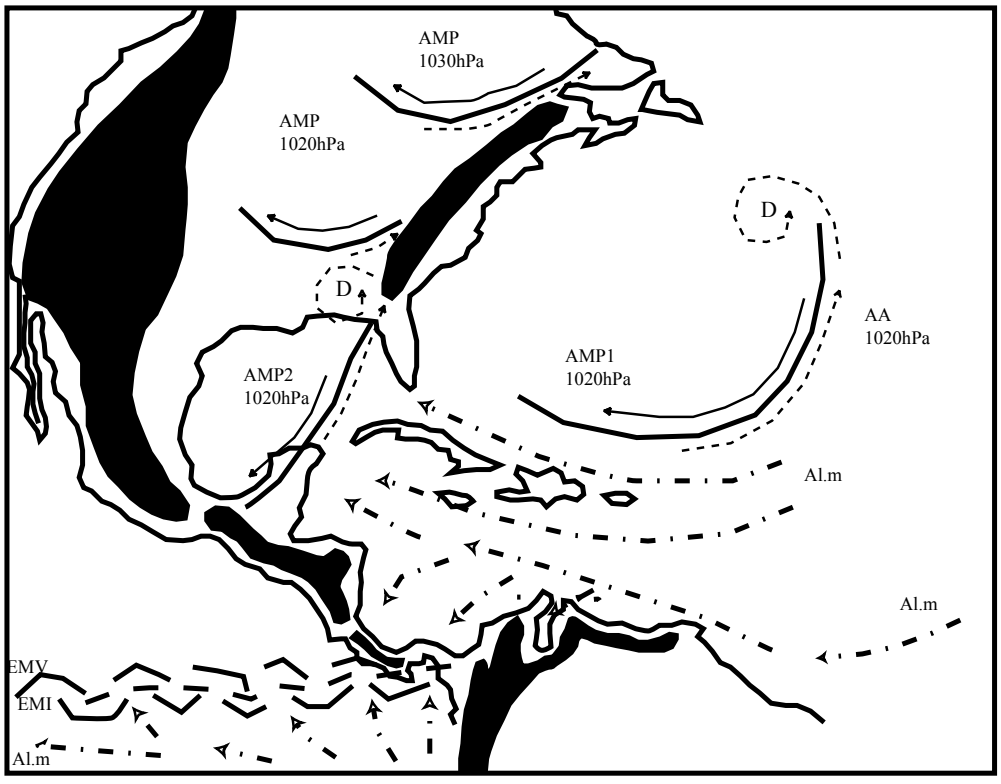


**Photo satellite n°45 : GOES 8, est, vis, le 14/12/1999, 18h15 T.U**

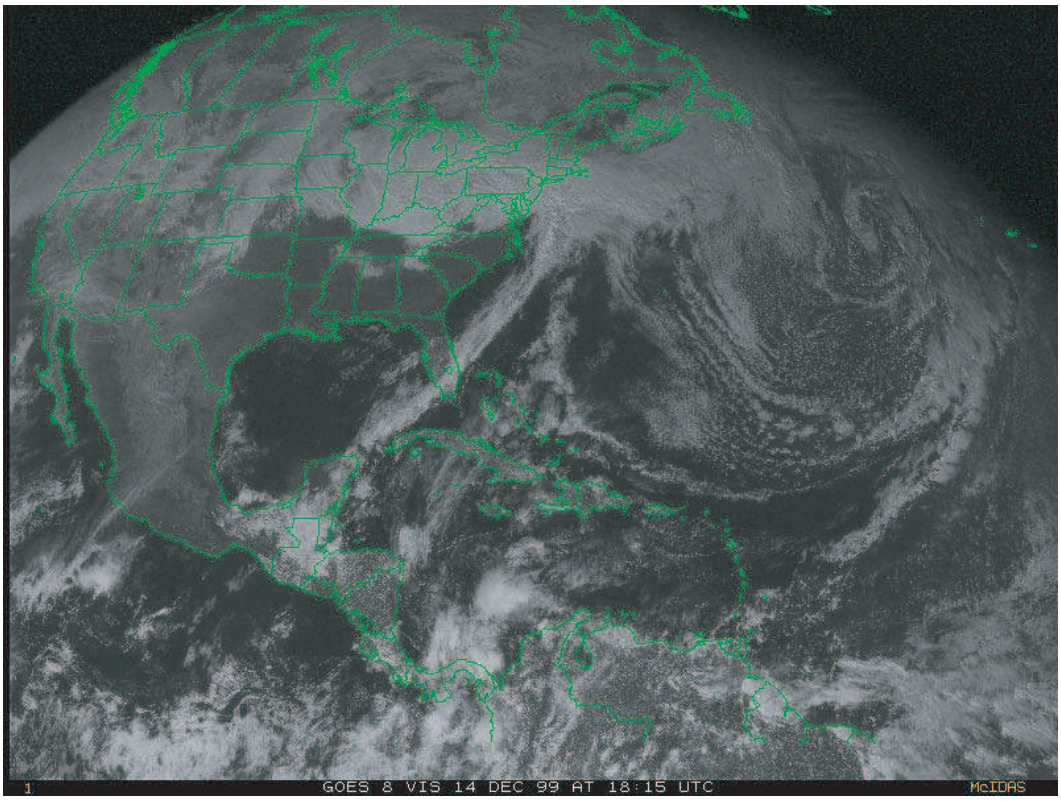



**Figure n°45 : Analyse de la photo satellite du 14/12/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

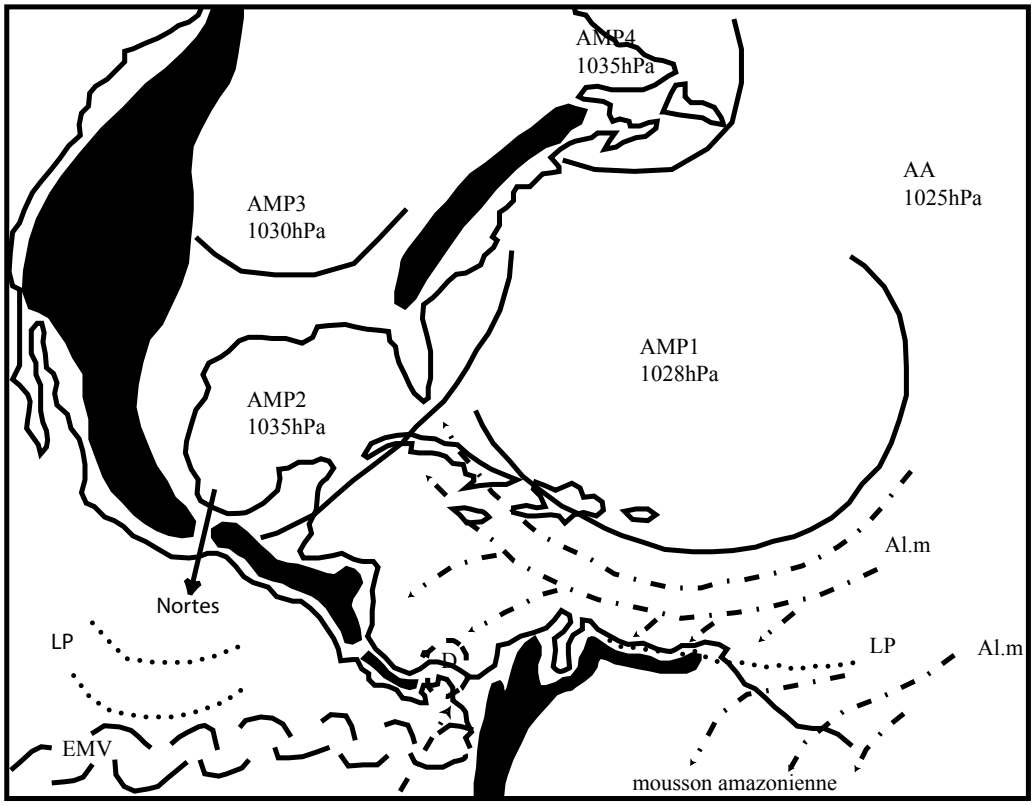


**Photo satellite n°46 : GOES 8, est, vis, le 15/12/1999, 18h15 T.U**

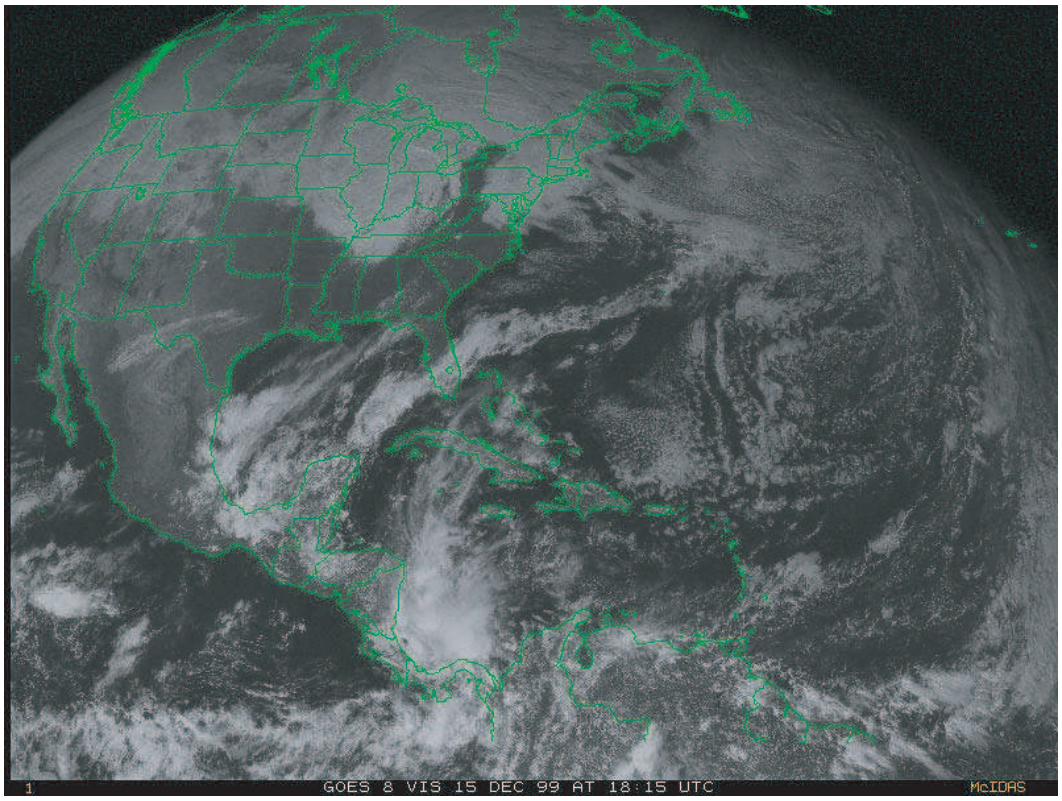



**Figure n°46 : Analyse de la photo satellite du 15/12/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

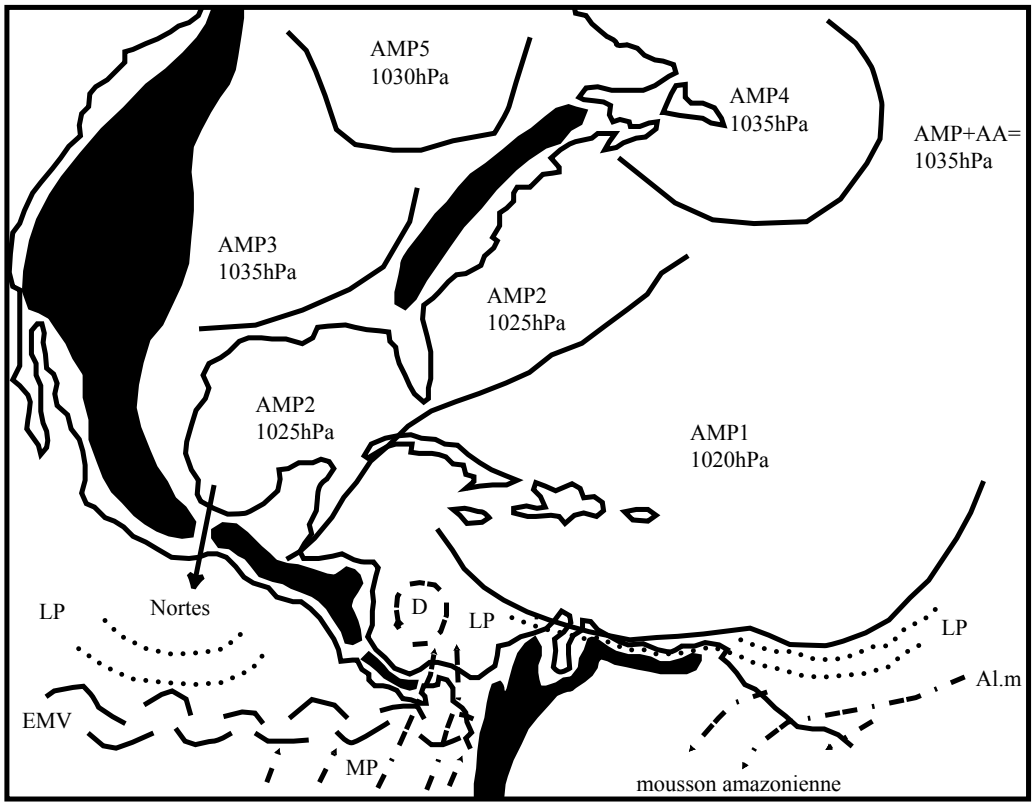


**Photo satellite n°47 : GOES 8, est, vis, le 16/12/1999, 18h15 T.U**

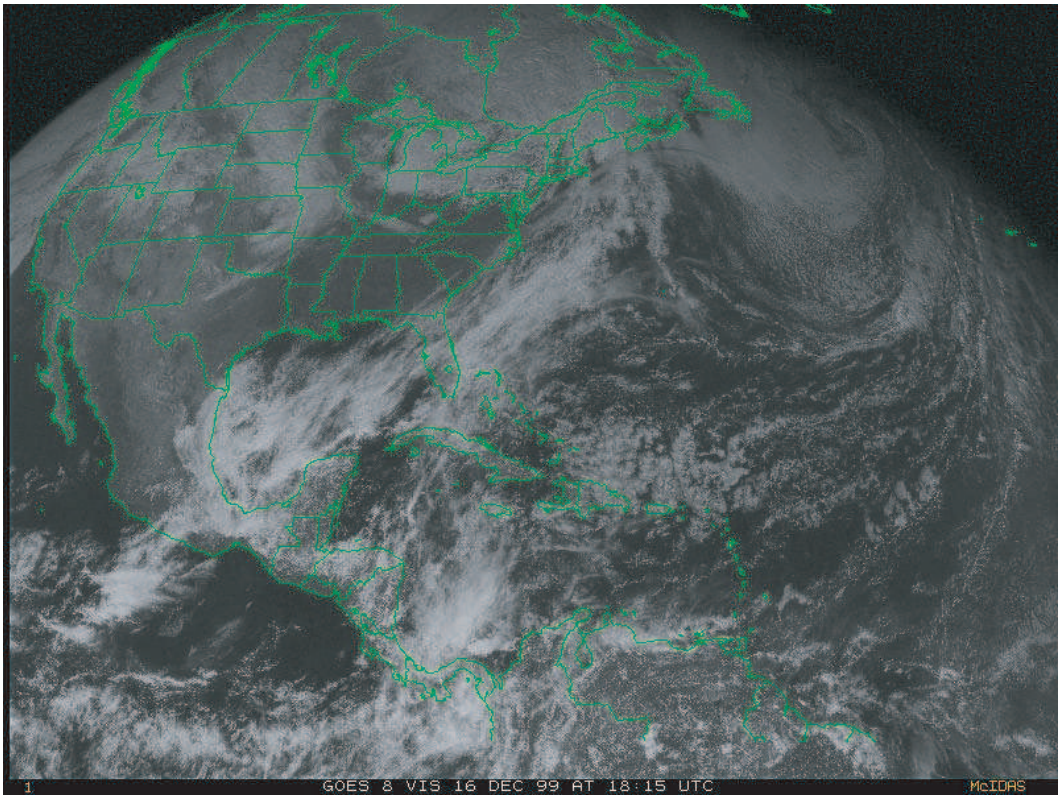



**Figure n°47 : Analyse de la photo satellite du 16/12/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

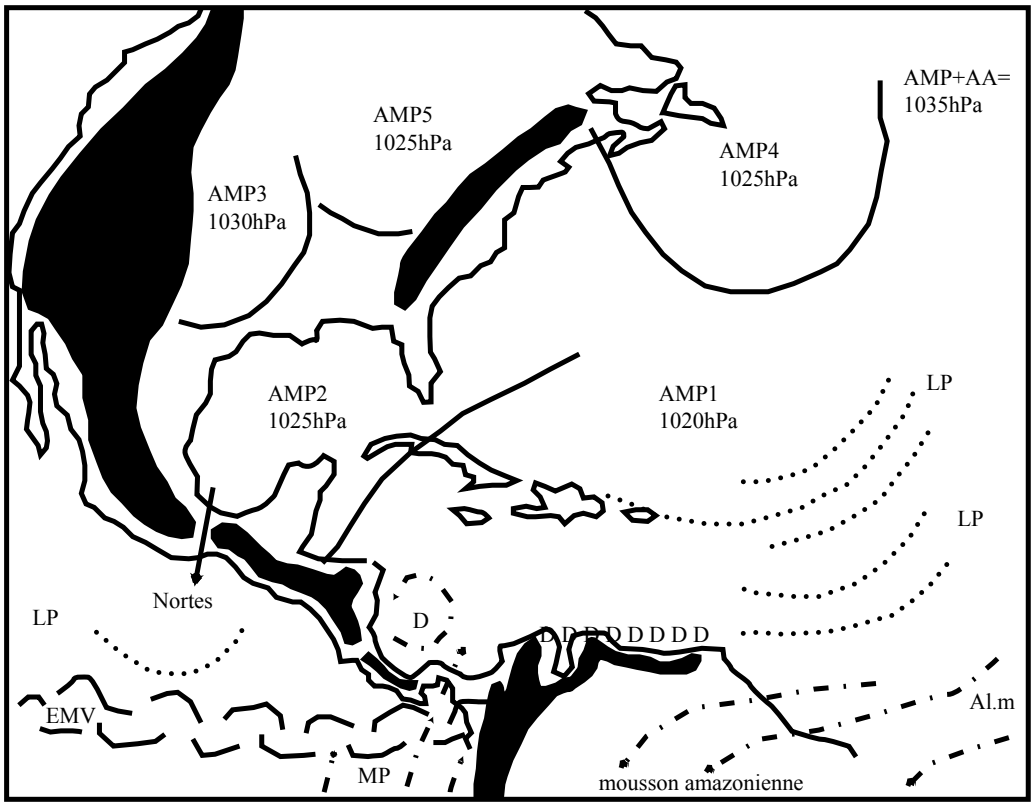


**Photo satellite n°48 : GOES 8, est, vis, le 17/12/1999, 18h15 T.U**

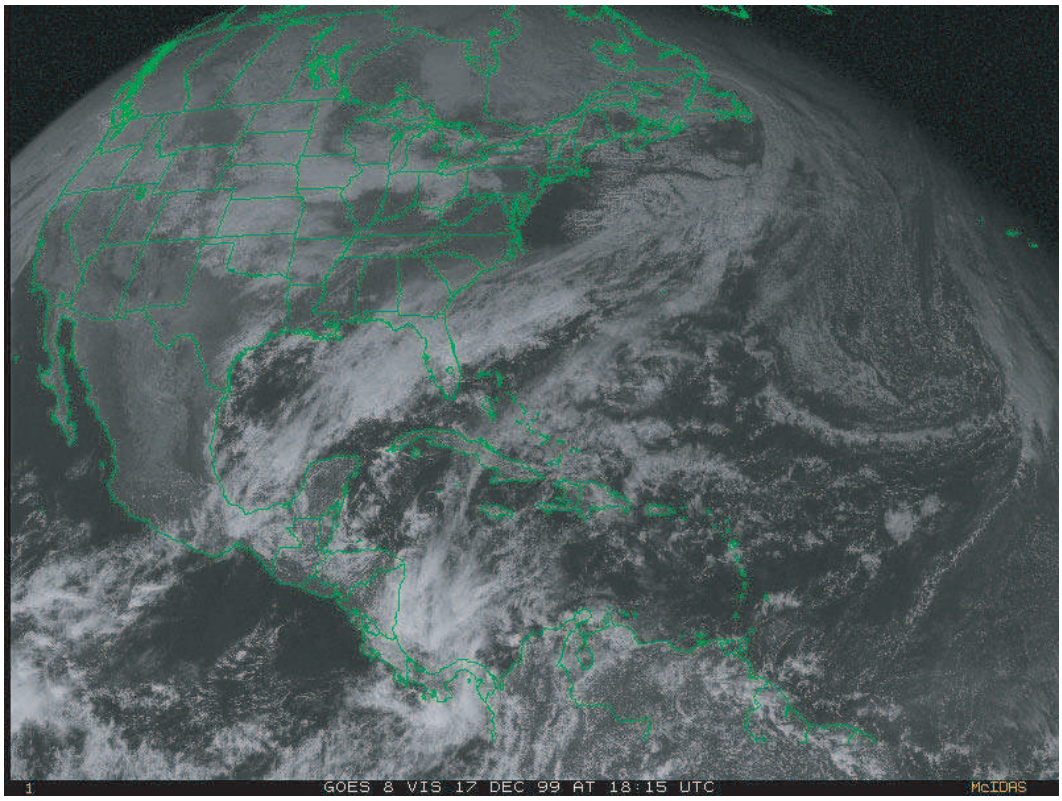



**Figure n°48 : Analyse de la photo satellite du 17/12/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

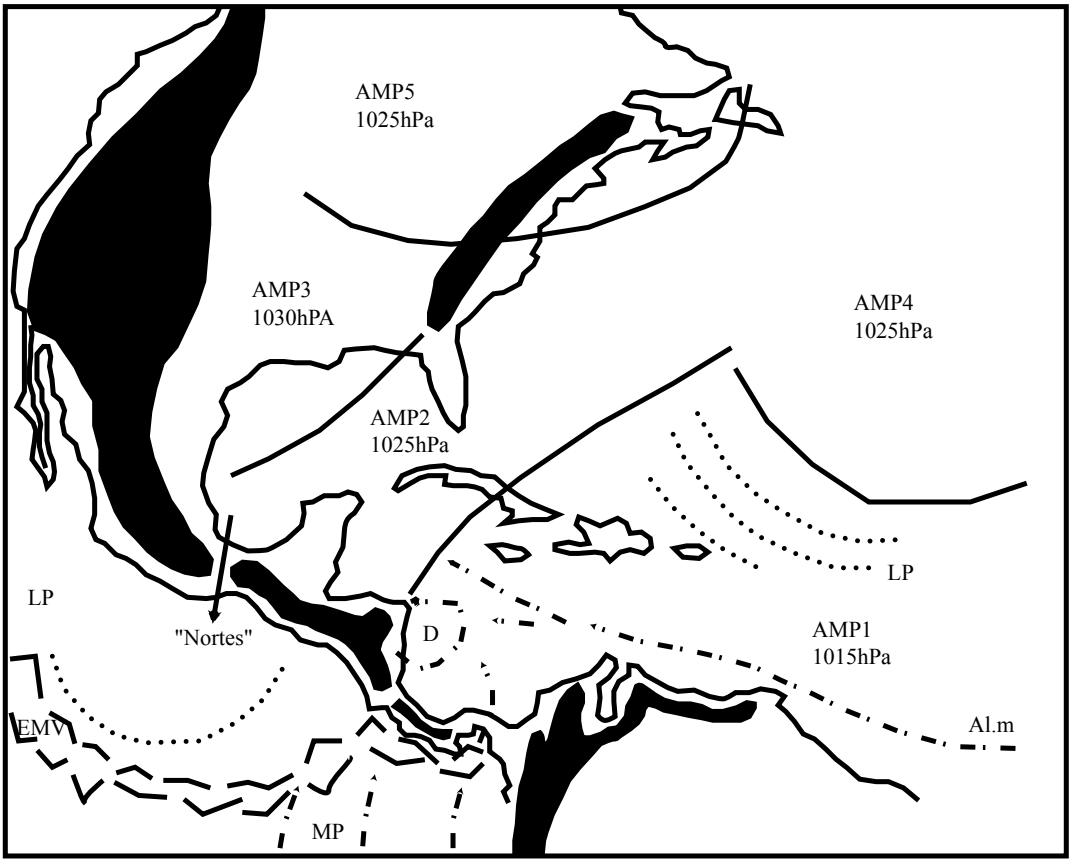


**Photo satellite n°49 : GOES 8, est, vis, le 18/12/1999, 18h15 T.U**

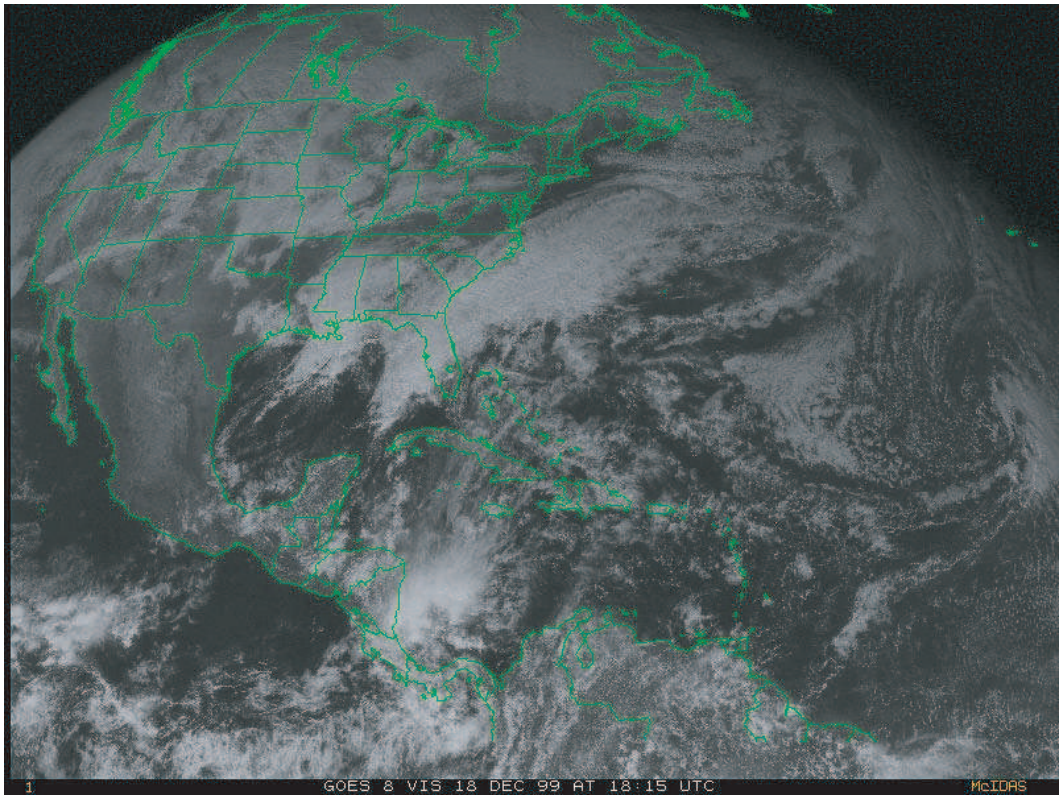



**Figure n°49 : Analyse de la photo satellite du 18/12/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

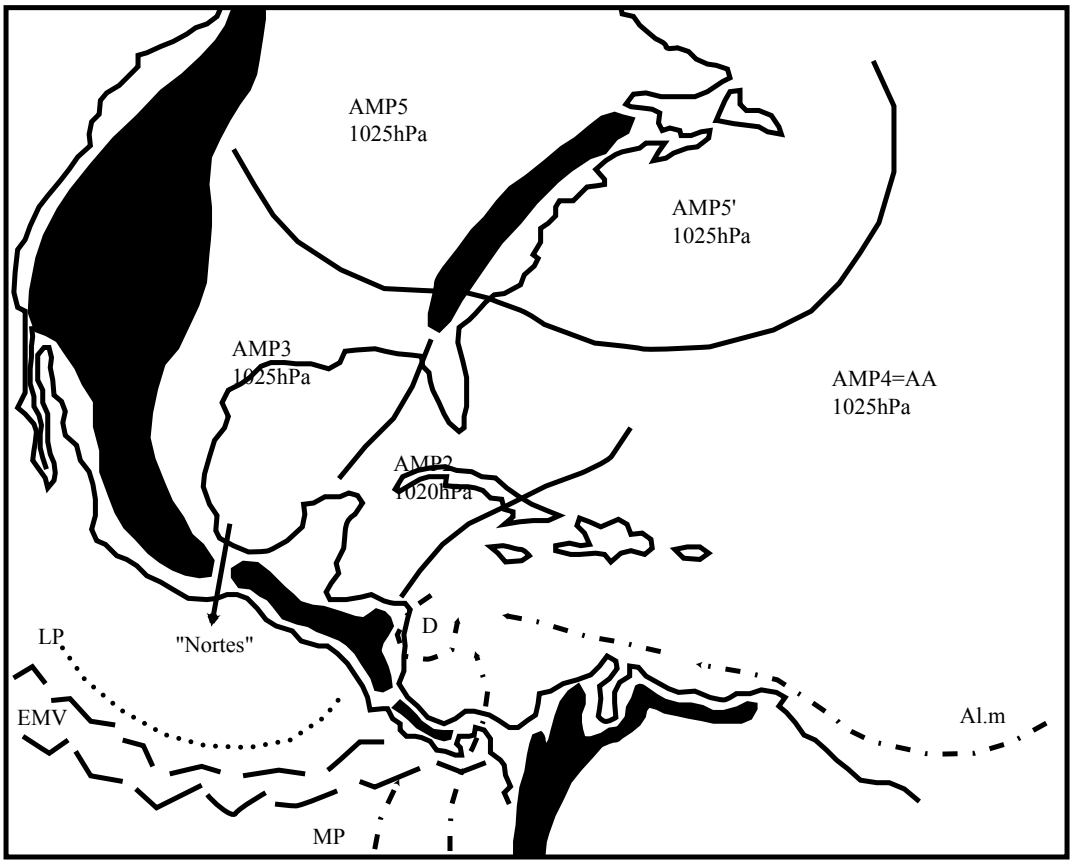
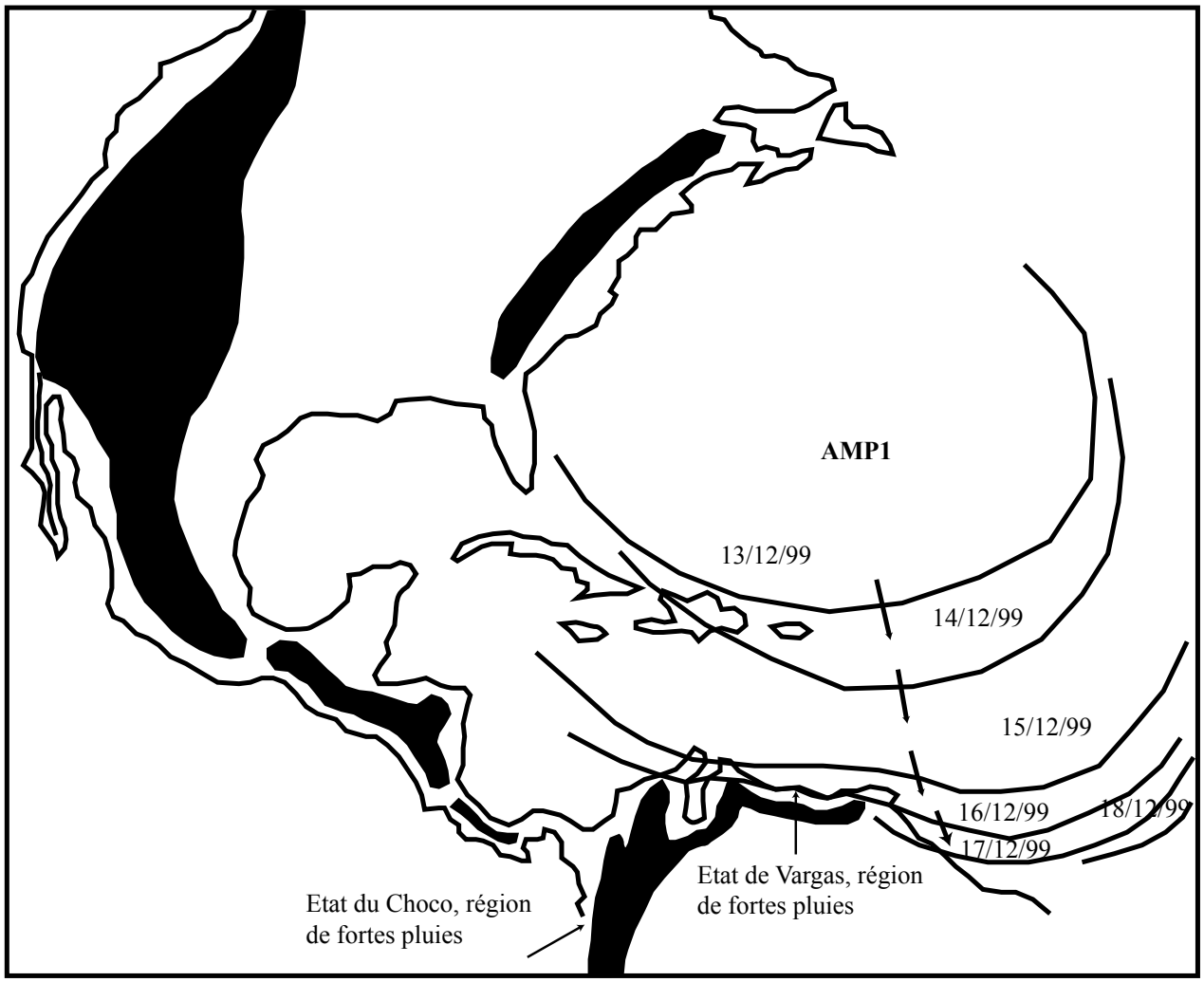


**Fig. n°50 : carte récapitulative de l'évolution de surface de l'AMP1 du 13/12/1999 au 18/12/1999**



produisent. Les littoraux colombiens des Caraïbes et de la région du Chocó ne sont pas épargnés par les fortes pluies (pénétration de la MP). La dépression au nord du Panama continue à bénéficier de la proximité de la structure EMV (la faisant remonter vers le nord) cependant, l'AMP1 ayant glissé vers le sud, une partie de son alimentation est coupée, l'Al.m ne parvenant que difficilement jusqu'à elle.

- **Commentaire de la fig. n°48 (analyse de la photo satellite du 17/12/99) :**

La descente progressive vers le sud de l'AMP4, la descente vers le sud-sud-est de l'AMP2 et de l'AMP3 ont accéléré le déplacement vers l'est de l'AMP1. Les pluies diminuent.

- **Commentaire de la fig. n°49 (analyse de la photo satellite du 18/12/99) :**

L'AMP1 poursuit son déplacement vers l'est, se tropicalise, les pluies qui ont fortement diminué la veille cessent enfin.

- **Bilan de « l'Invierno de las Chicharras » du 15 et 16/12/99 (fig. n°50) :**

En raison de sa puissance (nous sommes en décembre), l'AMP1 adopte une trajectoire très méridienne sur l'océan Atlantique du nord-ouest ; le temps de descente est d'autant plus rapide que le trajet à parcourir est plus court et océanique donc sans aspérité ; l'AMP1 conserve l'essentiel de sa vigueur en pénétrant sur la mer des Caraïbes. La confrontation entre de l'air froid et sec d'origine polaire et l'air chaud et humide tropical va être très violente. La face avant de l'AMP1 va comprimer les flux de l'Al.m atlantique de type 2 contre la puissante chaîne côtière vénézuélienne (accélération des flux par effet Venturi). Ces flux, chauds, humides, instables, vont violemment s'élever sur la face avant de l'AMP1 et/ou au contact des chaînes côtières, se refroidir, se condenser ; la saison sèche est alors brutalement coupée pour provoquer l'« Invierno de las Chicharras » ; de fortes précipitations orageuses se déversent localement, entraînant des inondations, des glissements de terrains, des coulées de boue, dramatiques pour la population. Cette situation catastrophique est suivie, peu de temps après, du chant des cigales (les pluies ont fait naître et se développer les larves).

La côte pacifique colombienne, vers laquelle se dirigent les flux de la MP, a la particularité d'être très arrosée toute l'année ; les flux de la MP, chauds, humides, instables, rencontrent la puissante barrière orographique andine (Cordillère Occidentale) et les volumes annuels des précipitations moyennes dans cette région côtière isolée comptent parmi les plus élevés du monde (Barbier, 1997).

Pendant cet épisode, la pénétration de l'AMP1 sur la mer des Caraïbes a provoqué la naissance et le creusement d'une dépression située au nord du Panama. Ce système dépressionnaire a par la suite, contribué à attirer l'EMV vers le nord et, par là même, accéléré la pénétration de la MP qui se dirige vers cette structure. Les flux instables de la MP, déviés vers la dépression, confrontés au relief et /ou à la face avant de l'AMP1 n'ont eu d'autre possibilité que celle de s'élever violemment, se refroidir, se condenser et entraîner de violentes précipitations.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

Si le Venezuela a été le pays le plus affecté pendant cet « Invierno de las Chicharras », la Colombie n'a pas été épargnée et a connu la période de pluie la plus longue de ces 30 dernières années. En Colombie, le bilan humain de 95 morts est « modéré » car la région la

plus affectée, la côte pacifique du Chocó, est très peu humanisée, très peu urbanisée et, qui plus est, habituée aux fortes précipitations.

Même si le Venezuela en 1951 avait connu une catastrophe d'ampleur comparable, les inondations intervenues à la mi-décembre 1999 sont la pire catastrophe qu'ait connue ce pays et l'ensemble de cette région.

. Des pluies torrentielles et prolongées déclenchant des glissements de terrains ont entraîné sur leur passage de nombreuses maisons souvent très humbles accrochées au flanc de la chaîne côtière et ont recouvert de plusieurs mètres de boue ce qui était avant la vie, les routes, les plages, les zones d'activité. « Les 2 et 3 décembre 1999, un total de 200 millimètres de pluie a été enregistré », cet épisode pluvieux a été suivi par « une tempête majeure qui a déversé 911 millimètres de pluie entre le 14 et le 16 décembre 1999 » (M. C. Larsen, G. F. Wieczoreck, L. scott-Eaton, B. A. Morgan et H. Torres-Sierra, 2001).

Y. Veyret-Mekdjian (2001), dans le cadre d'une publication de la documentation photographique sur la géographie des risques naturels, revient sur « la catastrophe de Vargas (Venezuela) ». Cet auteur nous précise que sur cette côte, « les précipitations moyennes annuelles sont de 520 millimètres. Or, le mois de décembre 1999 a enregistré 1209 millimètres, dont 791 millimètres se sont déversés en deux jours, le 15 et le 16 décembre 1999 » ! Une telle quantité de pluie a déclenché le glissement vers l'aval de terrains meubles recouvrant les versants abrupts ; certains cours d'eau, charriant blocs de roche, troncs d'arbres, débris divers, ont changé de tracé. Le cône de déjection du San Julian a avancé de 150 mètres dans la mer à certains endroits.

Bien que le chiffre définitif ne puisse être sans doute jamais connu, le nombre de morts pourrait atteindre 50 000 avec son cortège de deuils et d'enfants laissés seuls. Avec plus de 35 000 habitations détruites**,** le nombre des sans-abris serait de plus de 200 000. Plusieurs localités ont été entièrement ensevelies ou détruites, infrastructures et moyens de production anéantis. Les pertes économiques ont été estimées à 1,79 milliards de dollars (D. A. Salcedo, 2000).

Bien que cette catastrophe n'ait pas épargné d'autres régions du Venezuela (également touchées par l'abondance des pluies et les inondations), l'essentiel des conséquences de cette dernière se concentre sur la zone côtière au nord de Caracas située entre la montagne (la Cordillera de la Costa, très abrupte (pentes fortes souvent supérieures à 30°), culmine à plus de 2 600 mètres) et la mer dans l'état de Vargas et sur la région du Barlovento dévastée par la destruction du barrage du Guapo dans l'Etat de Miranda, à l'est de Caracas.

A ce bilan catastrophique, vient s'ajouter une polémique que nous ne pouvons pas passer sous silence :

Le Venezuela était au moment de la catastrophe obnubilé par des questions de politique intérieure faisant passer au second plan le risque climatique !

Certains journalistes vénézuéliens ont osé mettre en avant la non considération politique du risque naturel.

Dans le quotidien vénézuélien « El Nacional » du dimanche 14/12/99, nous pouvons lire, en première page, le gros titre suivant : « Vérification d'une tragédie que l'on voyait arriver ». Dans l'article correspondant, nous apprenons que si, toute l'énergie nationale ne s'était pas concentrée sur une féroce campagne électorale pour approuver la nouvelle constitution, les dommages causés par les pluies depuis le 15 novembre auraient pu servir de sonnette d'alarme au drame que vit actuellement le pays » et la catastrophe que vient de subir le pays aurait pu être évitée.

Dans cet article, l'auteur, le journaliste D. Chiappe, ne manquant pas de courage, dans un pays où la liberté de presse n'est pas toujours respectée, nous explique que « le drame national occasionné par les pluie de cette semaine, a commencé dès la fin du mois d'août, se poursuivant pendant une bonne partie du mois de septembre dans toute la partie orientale du pays. Cependant, les inondations qui se sont produites (…) n'ont pas été perçues comme quelque chose de différent à ce qui se produit normalement chaque année quand les queues de cyclones viennent redonner de la vigueur à la saison pluvieuse (*invierno*) vénézuélienne, initiée en mai et agonisante à cette période de l'année. De nombreuses années d'improvisations, d'agissements spasmodiques et zélés de la part des autorités, réalisés dans l'urgence (essentiellement en présence des médias) et sans aucune continuité postérieure à l'événement (…) ont fertilisé le terrain pour que se produise l'inévitable. Personne ne pensait que ce serait pour tout de suite ; à ces dates où précisément il n'y a plus de cyclone ; quand le mauvais temps ne peut que produire quelques crachins. On ne peut s'empêcher de penser que la tragédie a été cachée pendant longtemps derrière le rideau de fumée occasionné par la campagne électorale et que les spécialistes du climat, avec leurs équipements obsolètes, eux aussi victimes de l'inertie officielle, n'ont pu repérer à temps la catastrophe. Pourtant, jour après jour, les faits constituaient autant de sonnettes d'alarmes mais il n'y a eu aucune réaction »!

Le journaliste S. Dahbar, dans son article du dimanche 19/12/99 paru dans le journal « El Nacional », lui non plus ne mâche pas ses mots et propose, dans son article, une rétrospective quotidienne très détaillée des événements démontrant que les autorités politiques du pays auraient dû réagir bien avant que ne se produise la catastrophe. En voici les grandes lignes :

- Le lundi 15 novembre, 5 paysans de Santa Lucia et Las Lomas (Etat de Zulia) ont été affectés par la crue du fleuve El Limon et ont été logés dans un collège de la région.
- Le jeudi 18 novembre, les vagues ont atteint une hauteur de 5 mètres à Catia La Mar. A Anzoategui, 5 bateaux ont été détruits par la marée. Le vent a emporté les toits de 200 maisons à Boca de Uchire et à El Hatillo A Paraguana (Etat de Falcon), 215 maisons ont été inondées à cause de la forte houle.
- Le vendredi 19 novembre, des quartiers entiers sont envahis par les eaux à côté des plages de San Luis (Etat de Sucre). 15 embarcations ont été détruites ; A Cumana, les 200 passagers du ferry ont attendu 15 heures avant de pouvoir être débarqués. Des centaines de famille ont perdu leur habitation. 2 pontons ont disparu. Le gouverneur de l'Etat de Vargas « n'a d'yeux que pour le meeting politique à venir »!
- Le Mardi 23 novembre 1999, **le département de météorologie de l'observatoire « Cagigal » affirmait qu'il n'y avait « aucune menace » et pronostiquait que « les conditions du temps allaient s'améliorer considérablement contenu du fait que la fin de la période pluvieuse approche et que de ce fait, dès le début décembre et ce jusqu'à avril, ce sera la période sèche (*verano*, été) »**. La campagne électorale peut donc se dérouler normalement…
- Le vendredi 26 novembre 1999, 12 heures de pluies ininterrompues ont laissé, selon les pompiers de La Guajira, de nombreuses habitations sur le point de s'écrouler. Les lignes à haute tension sont tombées sur les maisons. A l'aéroport de la Maiquetia, les vols furent tous retardés… Les préoccupations politiques internes continuent, seules, à être sur le devant de la scène nationale. Les gouverneurs de l'opposition protestent contre le projet de constitution. Le ministre Arcaya dit « ne pas se laisser impressionner par les revendications des gouverneurs ».

- Le samedi 27 novembre, en pleine campagne pour le non, le gouverneur de l'Etat de Sucre invite le président Chávez a aider les victimes d'Araya et Cumana. Il s'entend répondre que « Chávez ne s'occupe pas des problèmes d'eau et d'électricité ».

- Le vendredi 3 décembre, le gouverneur de Zulia a survolé la région pour constater les dégâts. Le nombre des victimes est de 1 200 personnes.

- Le samedi 4 décembre, une alerte nationale est décrétée contre des épidémies de choléra, diarrhée et dingue. La Guajira (Etat de Zulia) vient de connaître 4 jours d'intenses précipitations . Les autorités affirment que les pluies ont affecté 5 000 personnes réparties dans 8 villages indigènes. On parle d'une « vague hivernale ».

- Le dimanche 5 décembre, le long de l'autoroute unissant La Guajira à Caracas, des quartiers entiers sont affectés par des glissements de terrains ; 3 enfants sont morts sous des décombres ; le ferry qui navigue entre Margarita et Puerto Cruz a dû amarrer à Guanta, la mer était si démontée qu'il n'a pas pu arriver à bon port.

- Le lundi 6 décembre, le gouverneur de l'Etat du Vargas a décrété l'état d'urgence administrative. 4 morts, 250 familles touchées. Les voies terrestres sont restées partiellement coupées à cause des décombres transportés par les eaux. Le fleuve Osma a débordé.

- Le mardi 7 décembre 1999, **le centre d'information de la force aérienne (deuxième autorité climatique nationale) pronostique que « les pluies continueront jusqu'au 15 décembre »**. Personne ne s'en préoccupe et les élections restent l'unique source d'action…

- Le jeudi 9 décembre, les autorités de l'Etat de Zulia sont préoccupées car 19 centres électoraux sont occupés par des familles de victimes. 70 maisons se sont écroulées à Caracas, et 70 autres sont sur le point de s'écrouler. Le ministre de la défense affirme que « les militaires feront tout pour que le peuple puisse voter en paix ».

- Le Vendredi 10 décembre 1999, 1 mort supplémentaire dans l'Etat de Vargas. Entre Carayaca et Chichiriviche, il n'y a plus de voies de communications terrestres et la voie maritime est impraticable à, cause d'une mer démontée. Le village de Pedro Gual (Etat de Miranda) se déclare en état d'urgence. Le fleuve Cupira a débordé et a emporté le seul pont qui unissait toute la région à la route nationale. 500 personnes ont perdu leur logement. Hugo Chávez annonce que « les gouverneurs qui appuient le non recevront un K.O terrifiant. ».

- Le Samedi 11 décembre 1999, les îles de Margarita et Coche (Etat de Nueva Esparta) viennent de subir 24 heures de pluie ininterrompue. De nombreuses villes sont inondées. La défense civile révèle des chiffres alarmant, 51 morts, 218 000 victimes depuis le mois de mai ! Le président Chávez continue à alpaguer les gouverneurs de l'opposition.

- Le dimanche 12 décembre 1999, 7 000 personnes affectées dans l'Etat de Vargas.

- Le lundi 13 décembre 1999, 70 habitations sont détruites à Catia La Mar et Maiquetia. Le fleuve Manzanare a débordé (Etat de Sucre).

- Le mardi 14 décembre 1999, **le service de météorologie des forces aériennes vénézuéliennes explique que « ces précipitations inhabituelles obéissent à l'influence de masses d'air instables provenant du nord ».**

**-** Le mercredi 15 décembre 1999, le fleuve Tocuyo a débordé, emportant un barrage et laissant 10 000 sans-abris. Les villages de Boca de Tocuyo et Tocuyo de la Costa ont été rasés. Silence absolu sur le nombre de victimes Pendant ce temps, la nouvelle constitution a été adoptée.

Le journaliste conclue son article en s'indignant de « l'étonnement de façade des autorités officielles » et en nous rappelant, preuves à l'appui que « la tragédie a connu une gestation d'un mois ». Ce n'est que le 15/12/99 que « le conseil des ministres déclare l'état d'urgence pour les Etats de Vargas, Falcon, Miranda, Yaracuy, Zulia et Distrito Federal (Caracas) et le déblocage de 12 milliards de bolivares ainsi que la création d'un commando

d'urgence ». Derniers sarcasmes, le journaliste nous précise que le président Hugo Chávez survole les zones touchées mais que « son vol a été retardé en raison des mauvaises conditions climatiques ».

**c) Conclusion :**

Cet épisode montre que la méconnaissance de l'AMP conduit les autorités locales, faute d'alternative, à brandir les jockers du « El Niño/La Niña », du « Global Warming, du trou dans la « couche d'ozone »... sans pour autant parvenir à expliquer le phénomène de manière rationnelle.

Le concept AMP permet quant à lui, de rendre compte de manière simple, du phénomène observé. L' « Invierno des la Chicharras » relève de la dynamique propre aux épisodes de « Nortes » ; seule l'intensité varie et elle est ici maximale !

**« La catastrophe de décembre 99 au Venezuela » (doc. Photographique, oct. 2001)**

*(Caraballeda, transformation du San Juan Vargas en décembre 1999)*



Nous allons maintenant nous intéresser à l'équateur météorologique.

# Chapitre 3 : L'équateur météorologique (EM)

## 1) Introduction :

Nous avons vu, dans la première partie, que l'équateur météorologique reste très mal défini et suscite peu d'intérêt chez les climatologues/météorologues spécialistes de la région. Quelle est l'importance de cette structure sur la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale ?

## 2) Bilan bibliographique : l'EM, structure pluviogène fondamentale

Le bilan bibliographique concernant l'équateur météorologique considéré comme une perturbation affectant l'Amérique Centrale va être très succinct. La littérature spécialisée passe tout simplement le phénomène sous silence !

L'un des rares auteurs à aborder la question de l'EM comme perturbation, vecteur de précipitations est Lamarre (1991). S'appuyant sur l'observation des clichés satellites, il individualise différentes formations nuageuses (visibles sur les clichés) impliquées dans la dynamique des pluies en Amérique Centrale. Parmi ces formations nuageuses, la « CIT extensive méridienne » (quand cellules et amas convectifs se regroupent, avec une densité inégale, dans une bande zonale ou méridienne qui dépasse 5° d'extension en latitude ) est « à l'origine de fortes précipitations sur l'isthme centraméricain ». « La carte des pluies moyennes en septembre souligne la façade pacifique de l'isthme ; on sait, par ailleurs que l'advection d'humidité provenant du Pacifique austral est maximale à ce moment de l'année ». « En fait, le Pacifique tropical nord-est est le siège d'un balancement répété entre une situation zonale (avec CIT linéaire, peu active et en position basse en latitude) et une situation méridienne, avec extension des flux de sud-ouest jusqu'à l'isthme et activation de la convection sur l'ensemble du domaine ».

Nous avons déjà souligné précédemment le fait que l'EM, comme en témoignent les multiples appellations, n'est pas défini clairement (voir partie 1, chapitre 3, 3, d,) par les climatologues/météorologues spécialistes de la région. Force est de constater que le rôle de cette structure pluviogène fondamentale sur la répartition des précipitations en Amérique Centrale est également minimisé voire oublié.

## 3) Etudes de cas :

### a) Etude de cas n°1 : l'épisode pluvieux sur la côte pacifique de l'Amérique centrale (du 23/9 au 1/10/1999) :

- **Commentaire de la fig. n°51 (analyse de la photo satellite du 23/9/99) :**

Sur le continent nord-américain, l'AMP1 vient de franchir et contourner les Appalaches et gagne l'océan Atlantique du nord-ouest en direction de l'agglutination anticyclonique dite « des Bermudes/Açores » (AA) ; l'AMP2, plus récent, descend depuis le grand Nord canadien, canalisé entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches.

Dans l'espace du Pacifique, à proximité des côtes centraméricaines, nous observons l'équateur météorologique vertical (EMV). Cette structure est soulignée par d'intenses

**Photo satellite n°50 : GOES 8, est, vis, le 23/9/1999, 18h15 T.U**

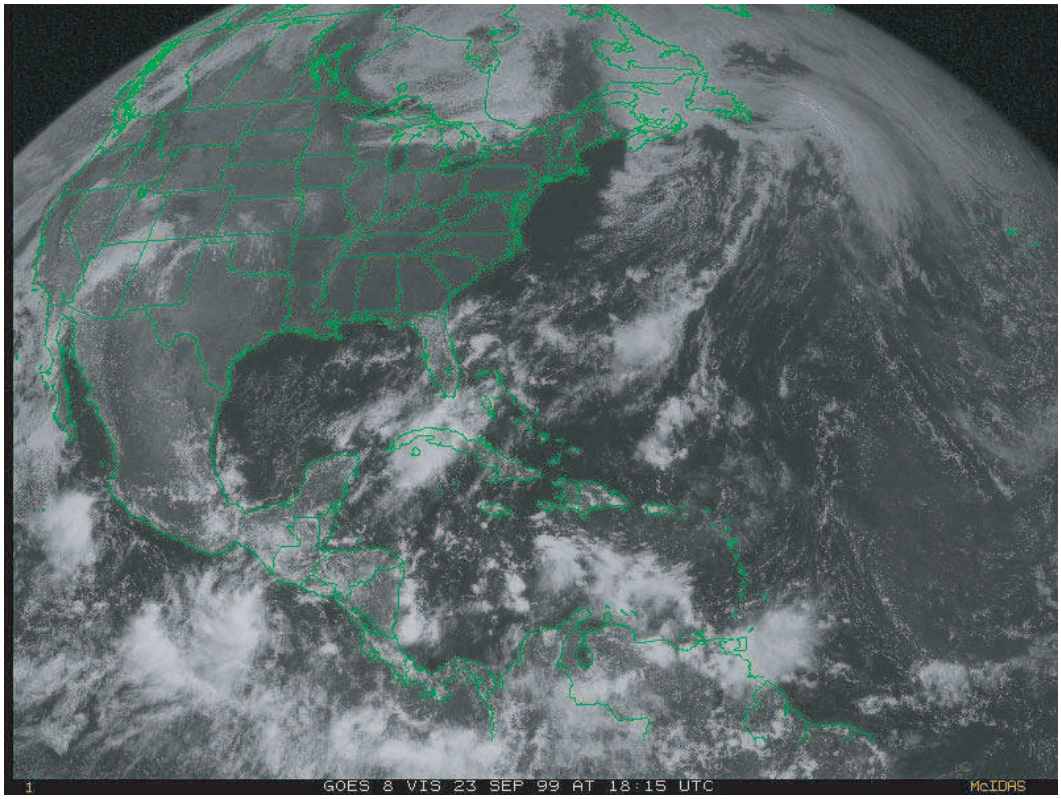



**Figure n°51 : Analyse de la photo satellite du 23/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

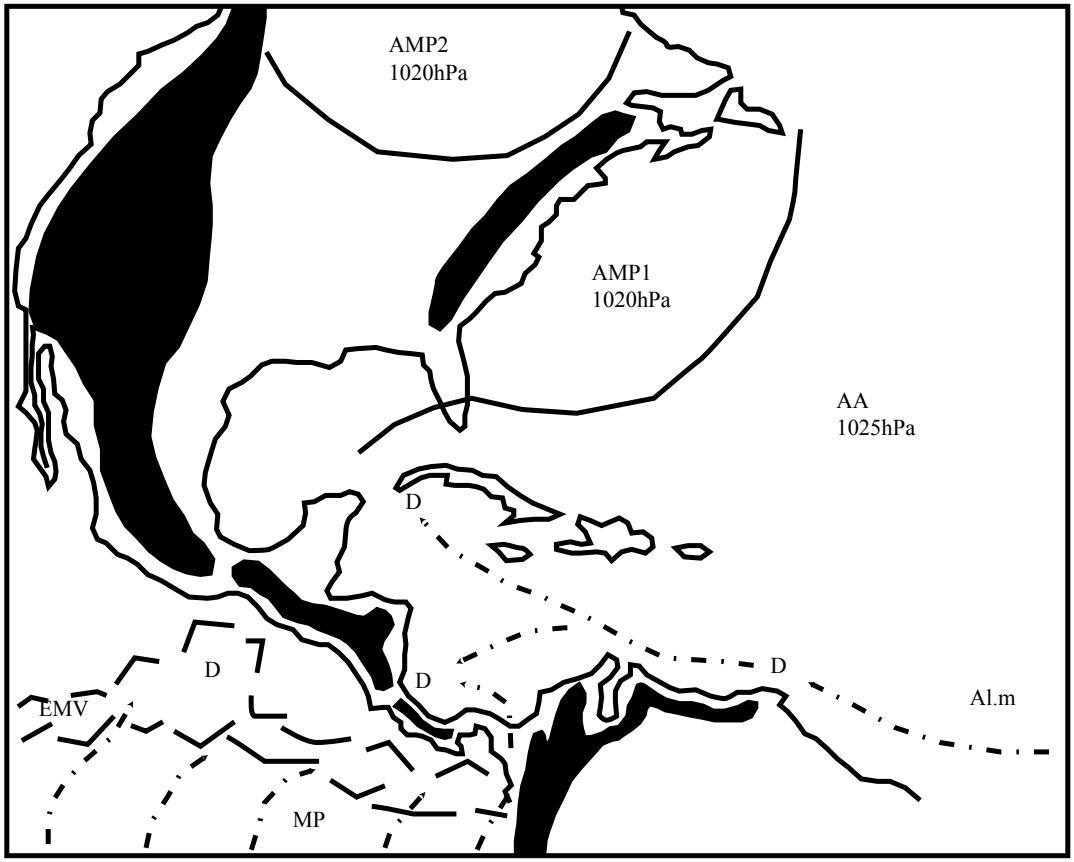


**Photo satellite n°51 : GOES 8, est, vis, le 24/9/1999, 18h15 T.U**

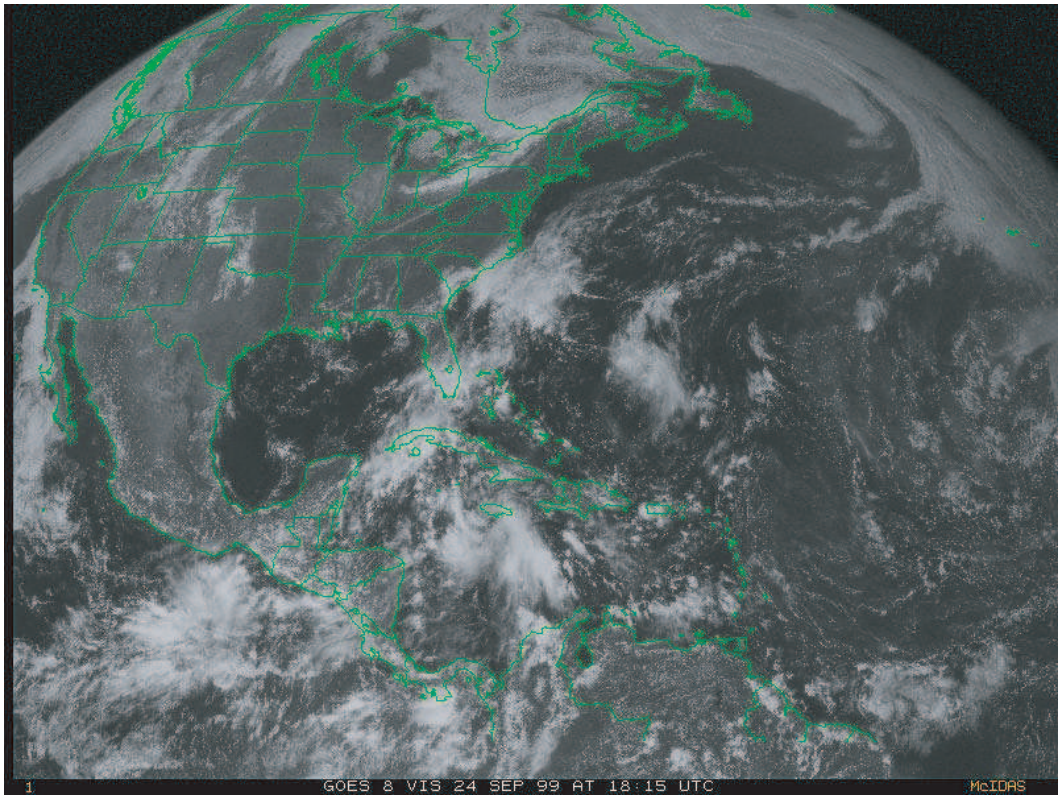



**Figure n°52 : Analyse de la photo satellite du 24/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

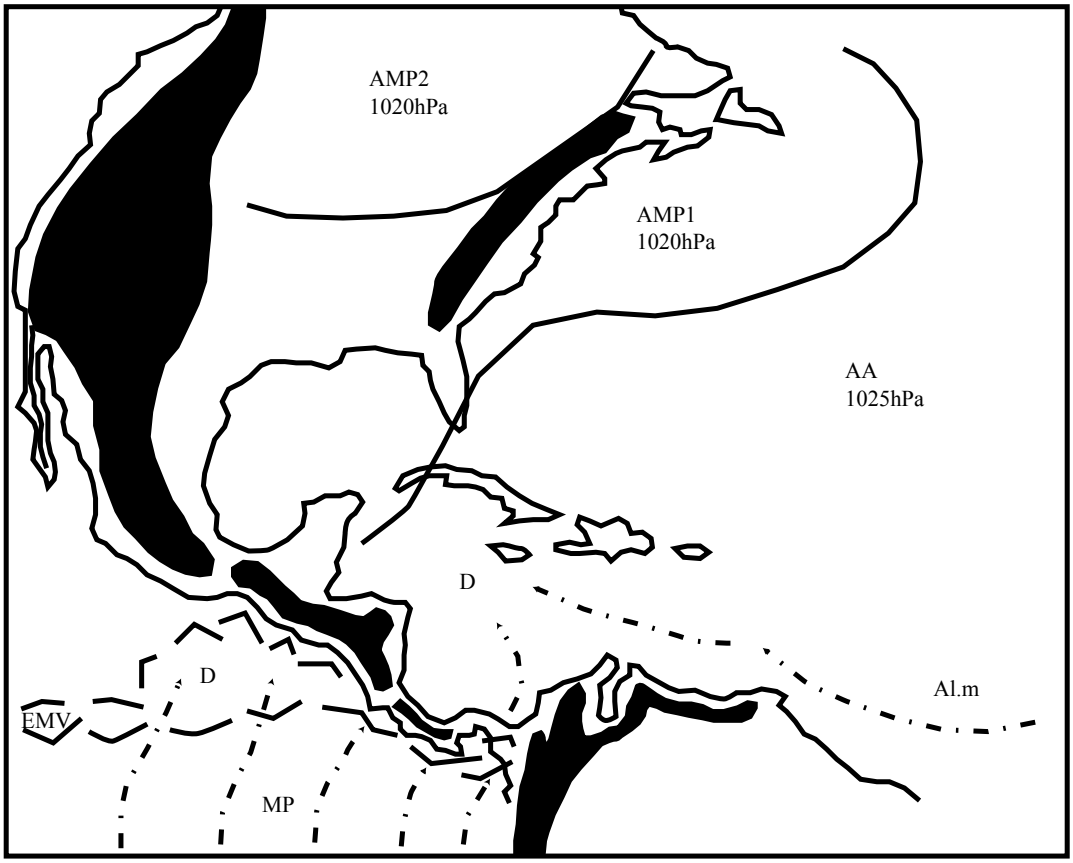


**Photo satellite n°52 : GOES 8, est, vis, le 25/9/1999, 18h15 T.U**

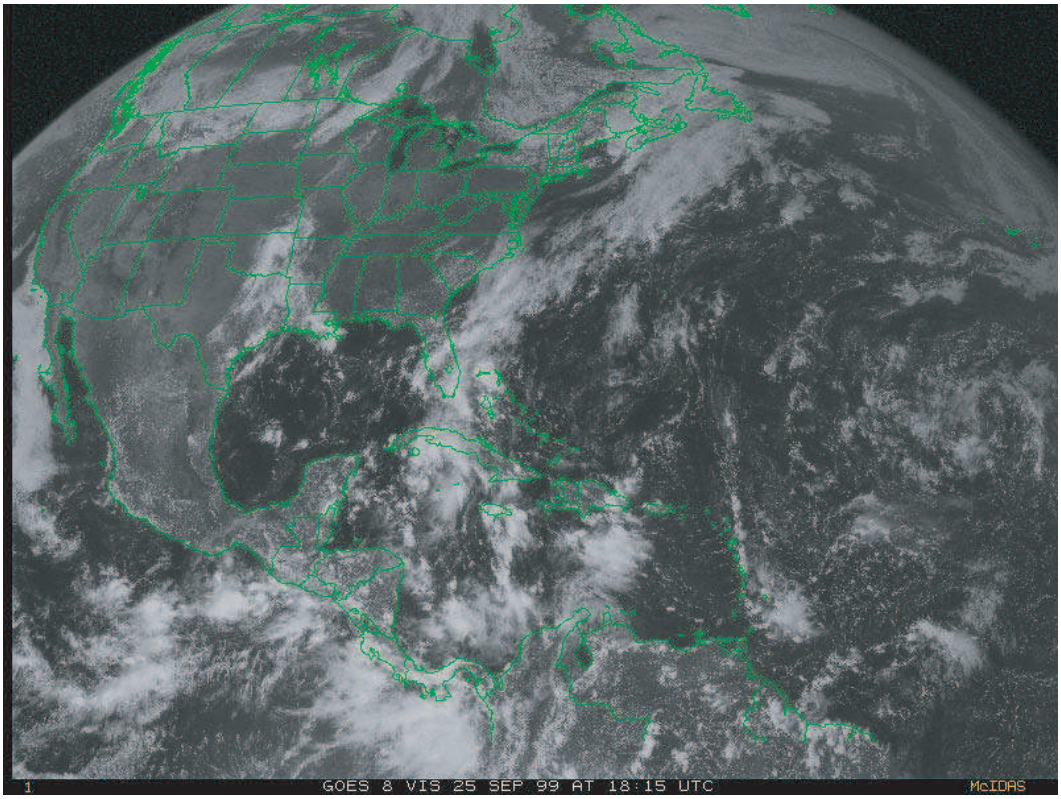



**Figure n°53 : Analyse de la photo satellite du 25/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

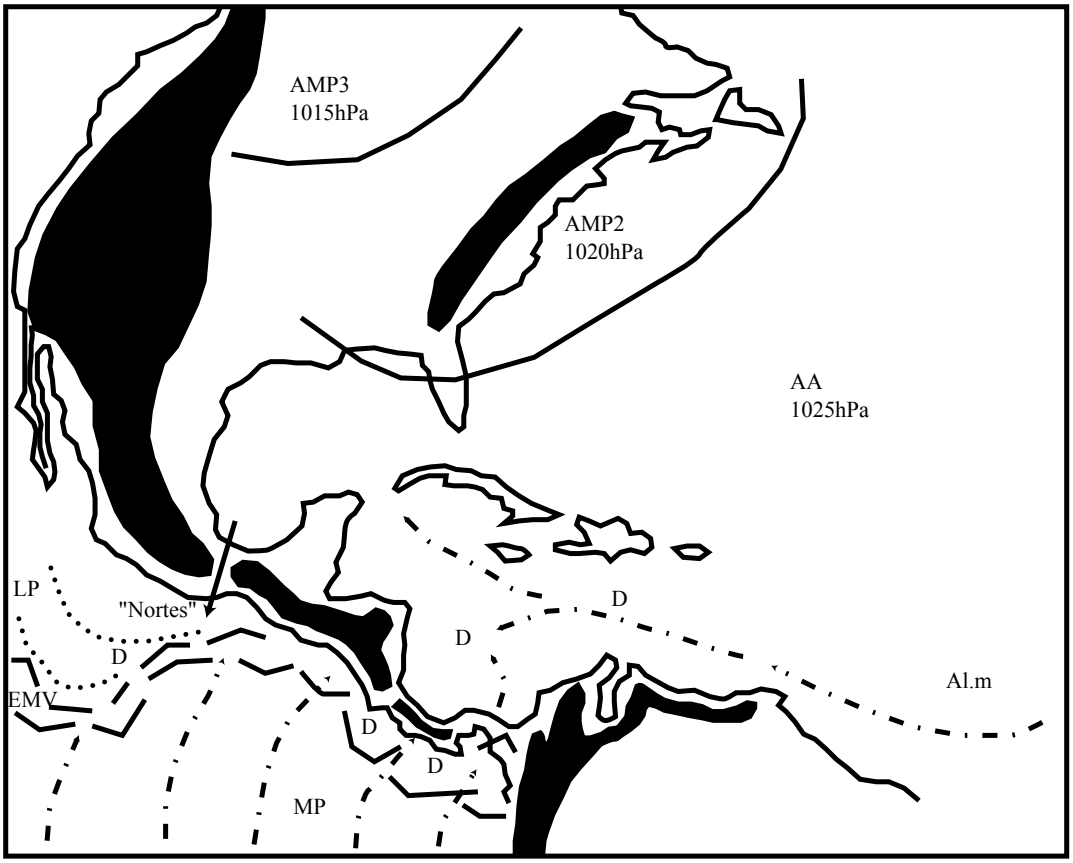


**Photo satellite n°53 : GOES 8, est, vis, le 26/9/1999, 18h15 T.U**

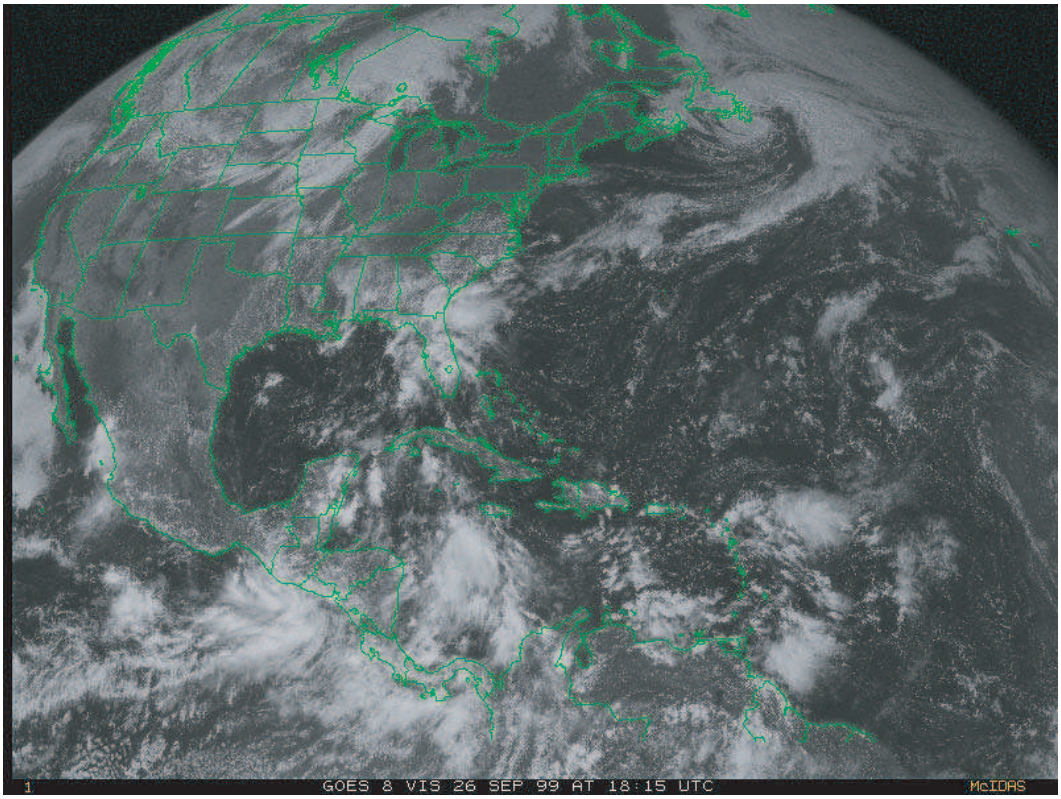



**Figure n°54 : Analyse de la photo satellite du 26/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

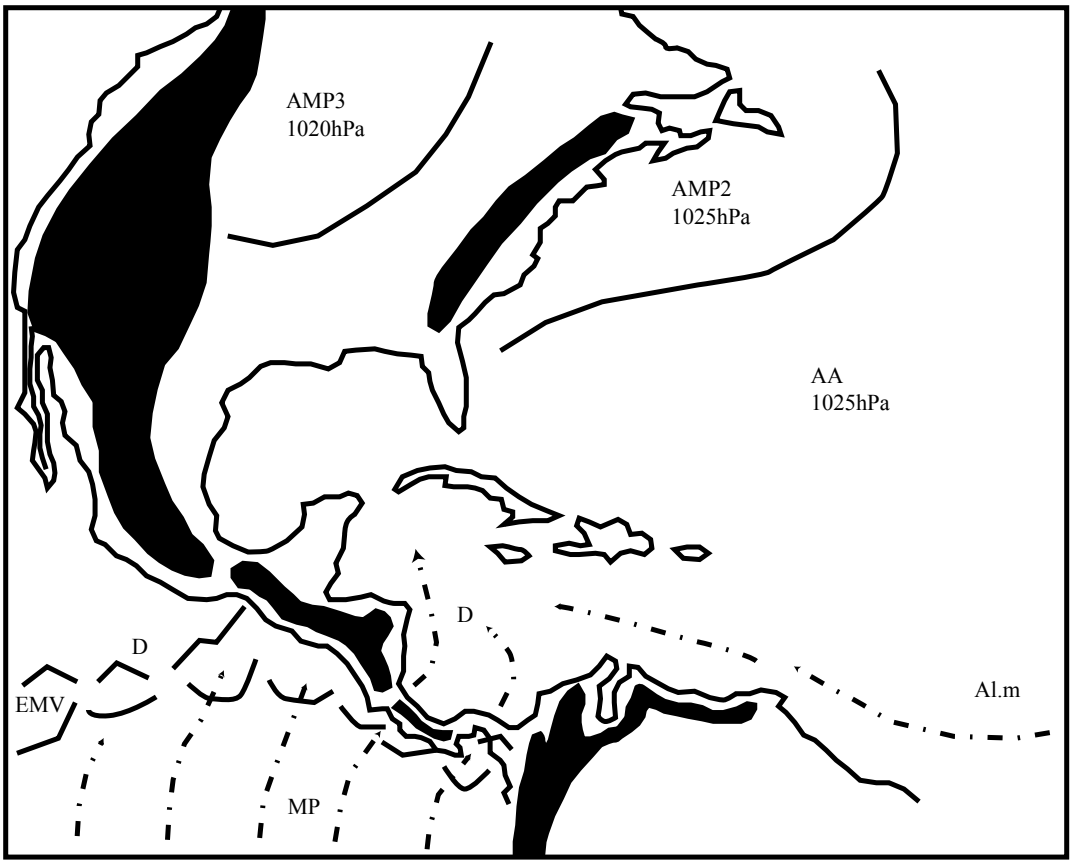


**Photo satellite n°54 : GOES 8, est, vis, le 27/9/1999, 18h15 T.U**

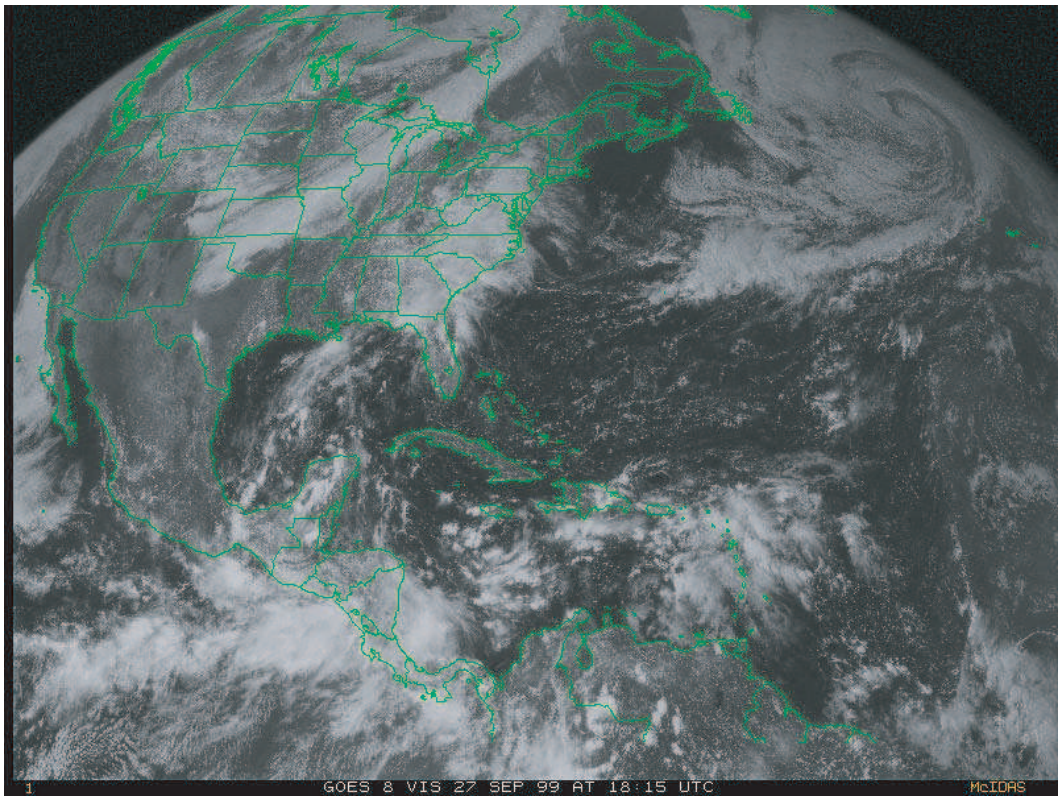



**Figure n°55 : Analyse de la photo satellite du 27/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

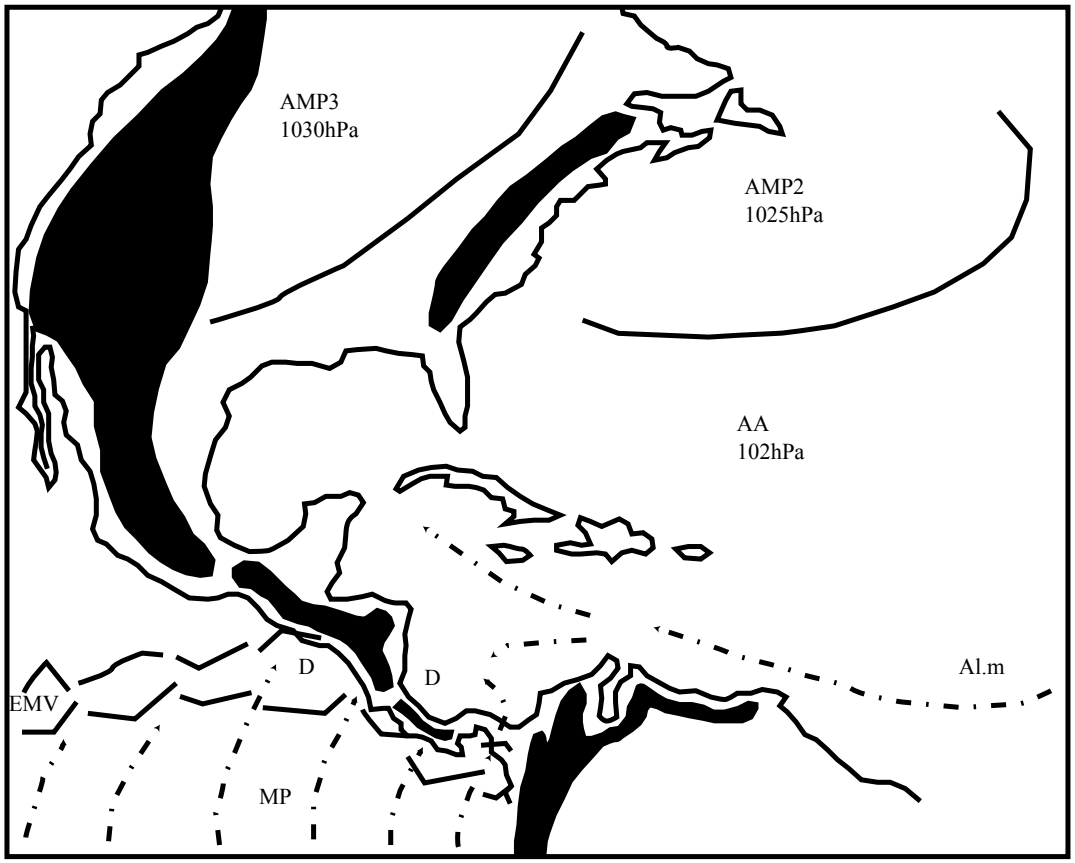


**Photo satellite n°55 : GOES 8, est, vis, le 28/9/1999, 18h15 T.U**

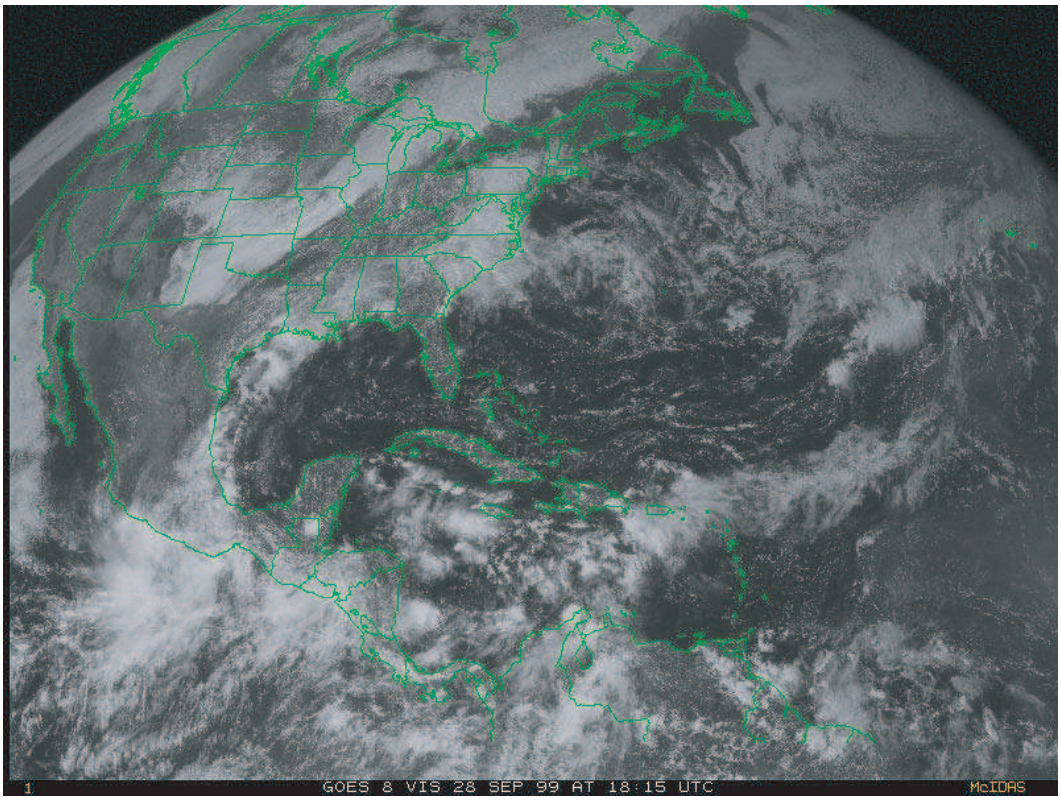



**Figure n°56 : Analyse de la photo satellite du 28/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

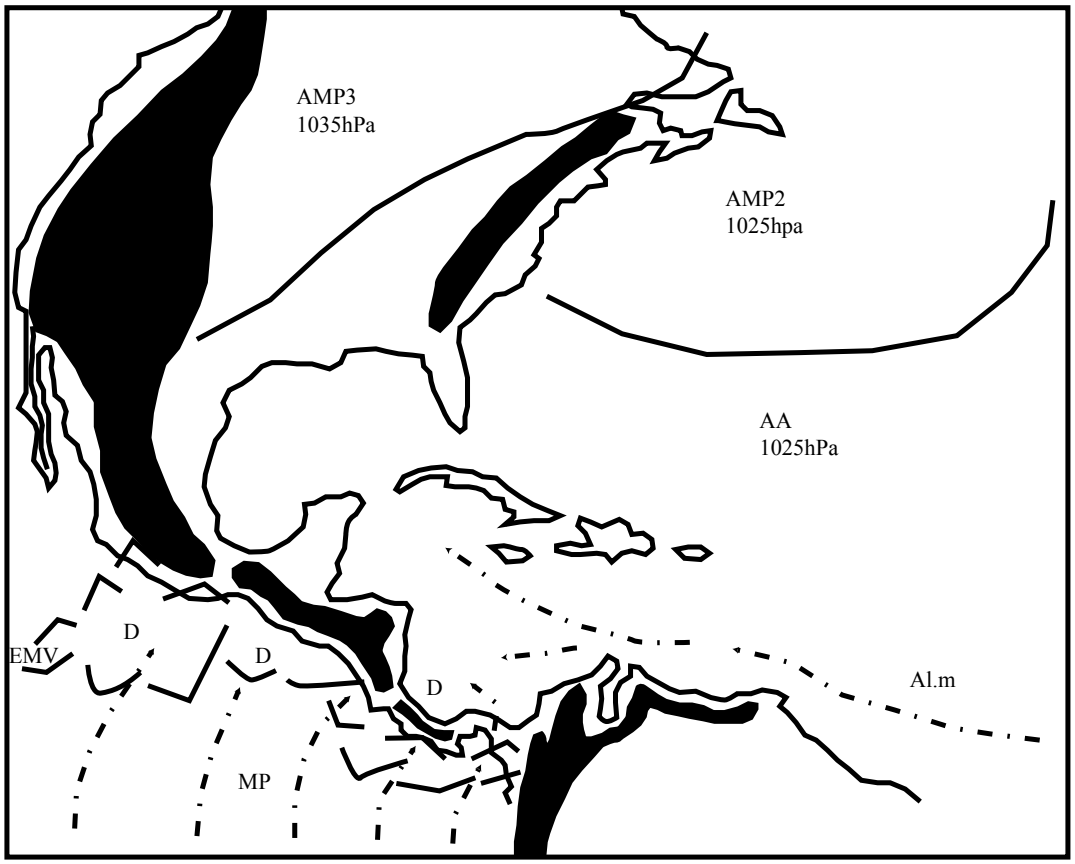


**Photo satellite n°56 : GOES 8, est, vis, le 29/9/1999, 18h15 T.U**

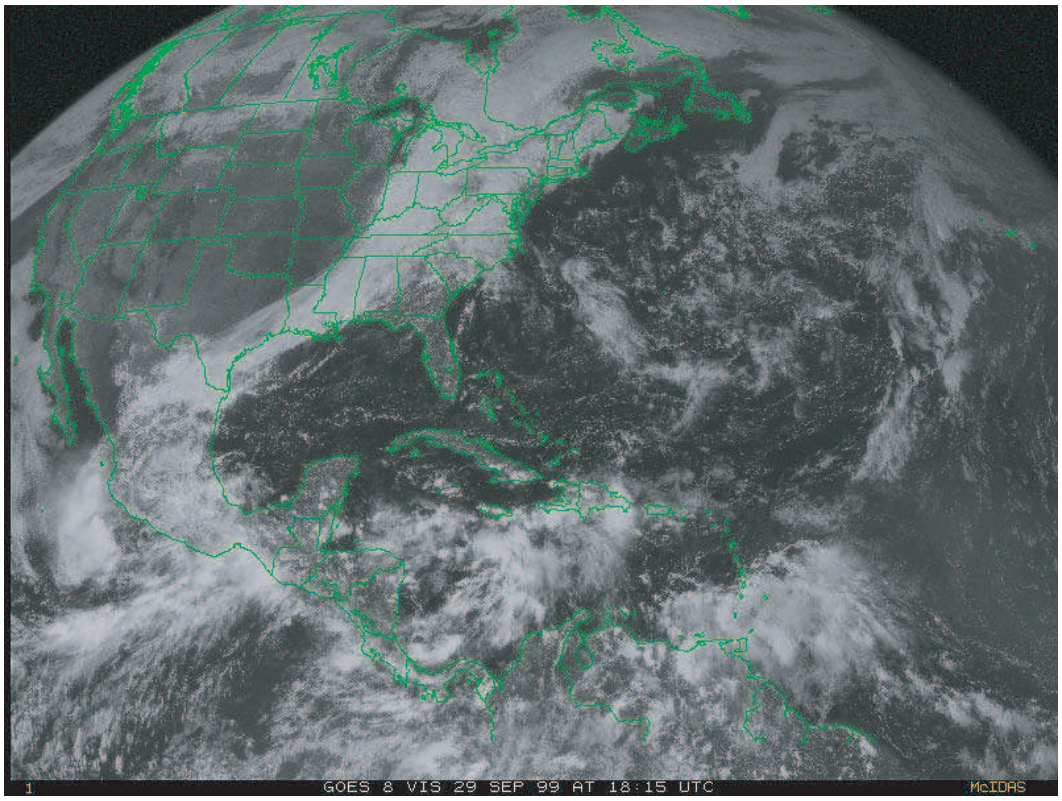



**Figure n°57 : Analyse de la photo satellite du 29/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

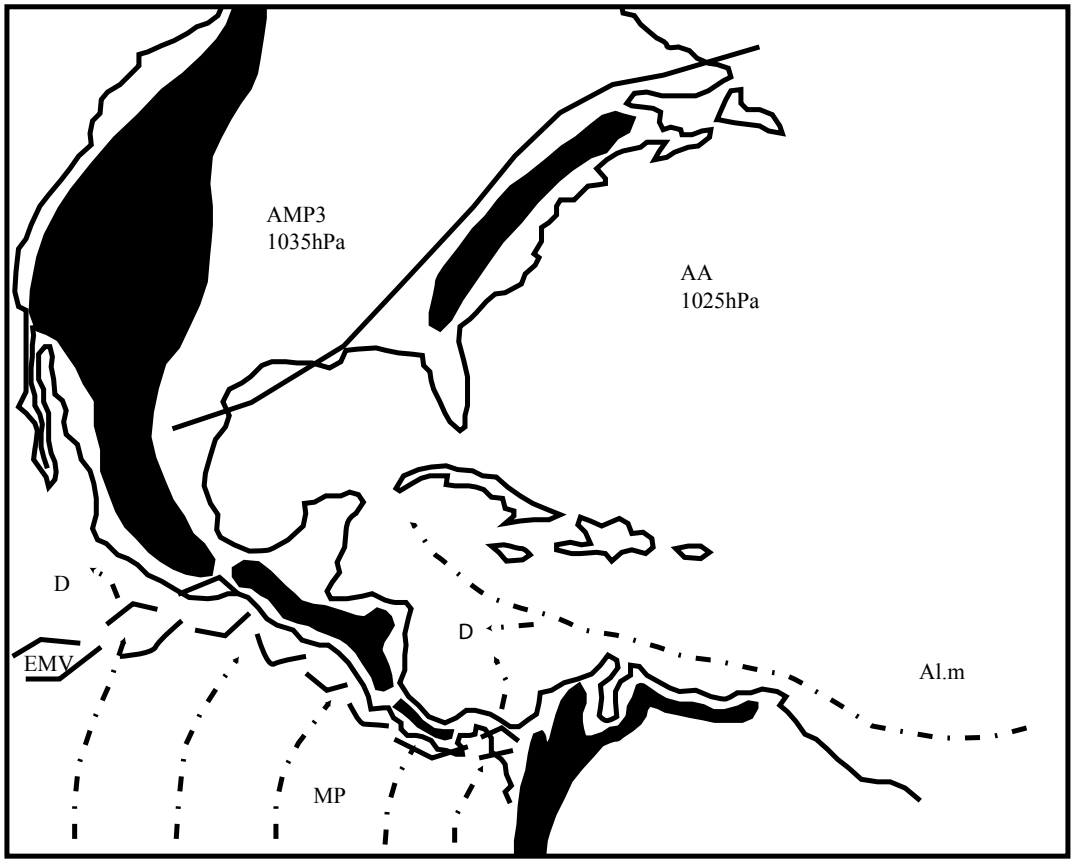


**Photo satellite n°57 : GOES 8, est, vis, le 30/9/1999, 18h15 T.U**

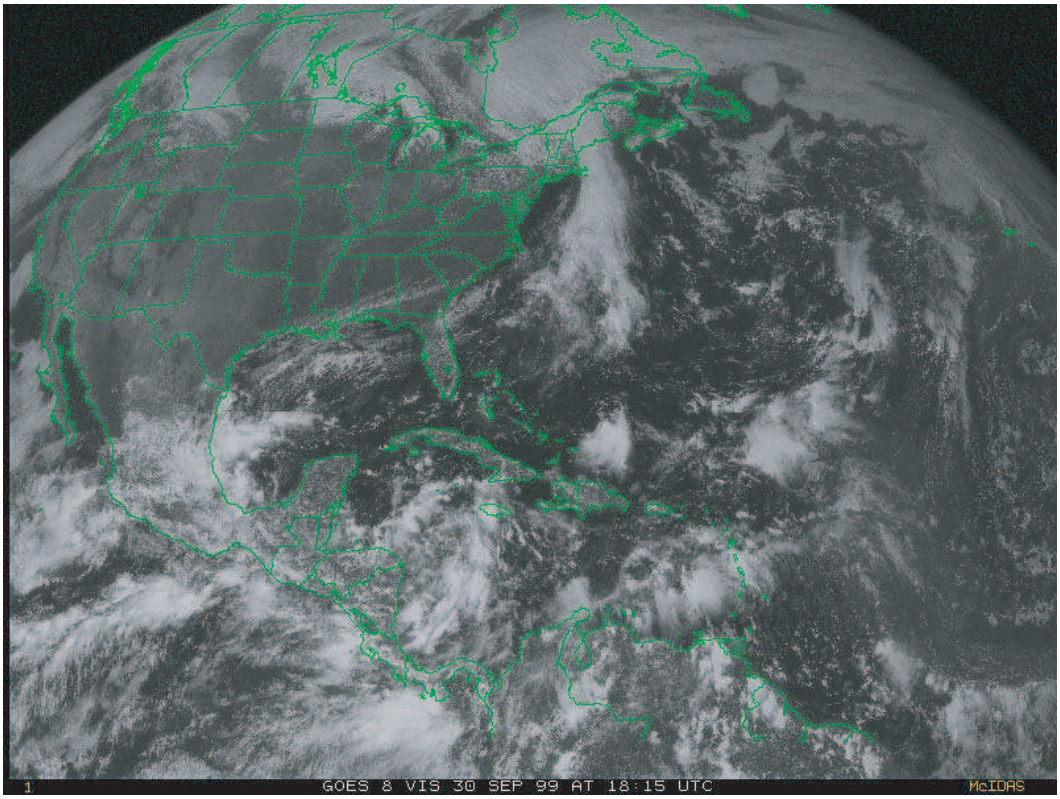



**Figure n°58 : Analyse de la photo satellite du 30/9/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

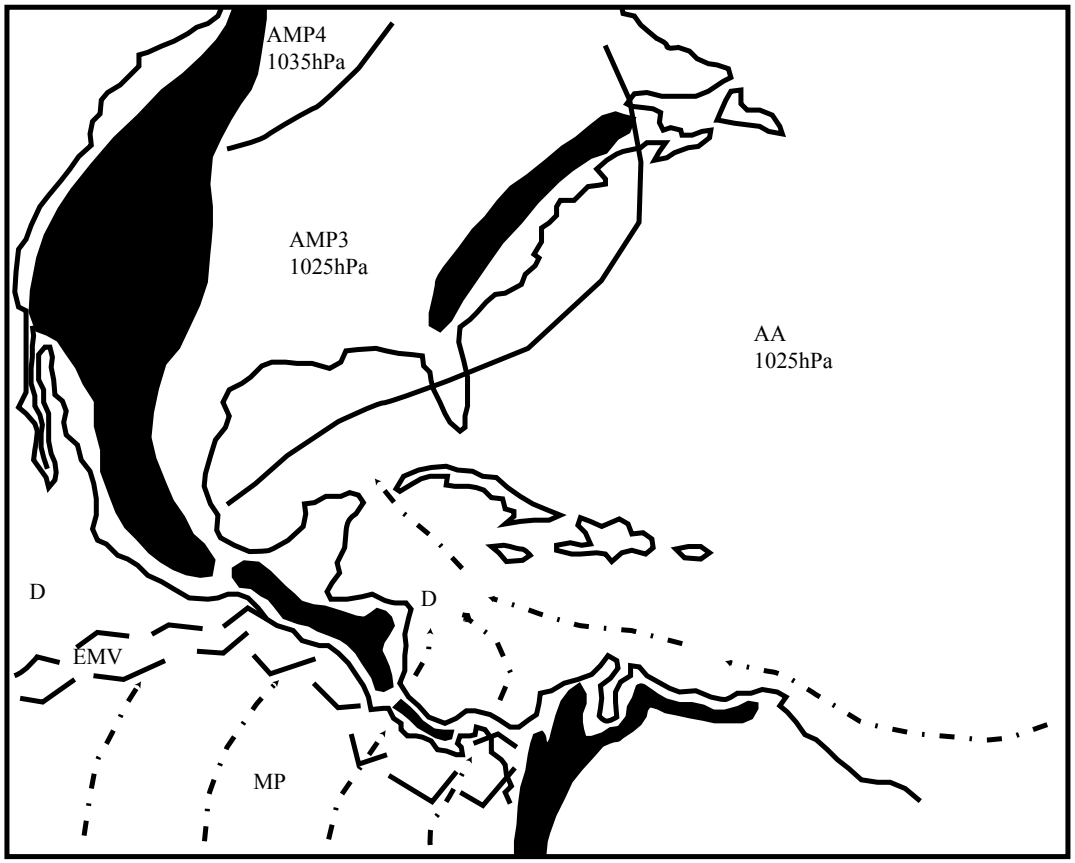


**Photo satellite n°58 : GOES 8, est, vis, le 1/10/1999, 18h15 T.U**

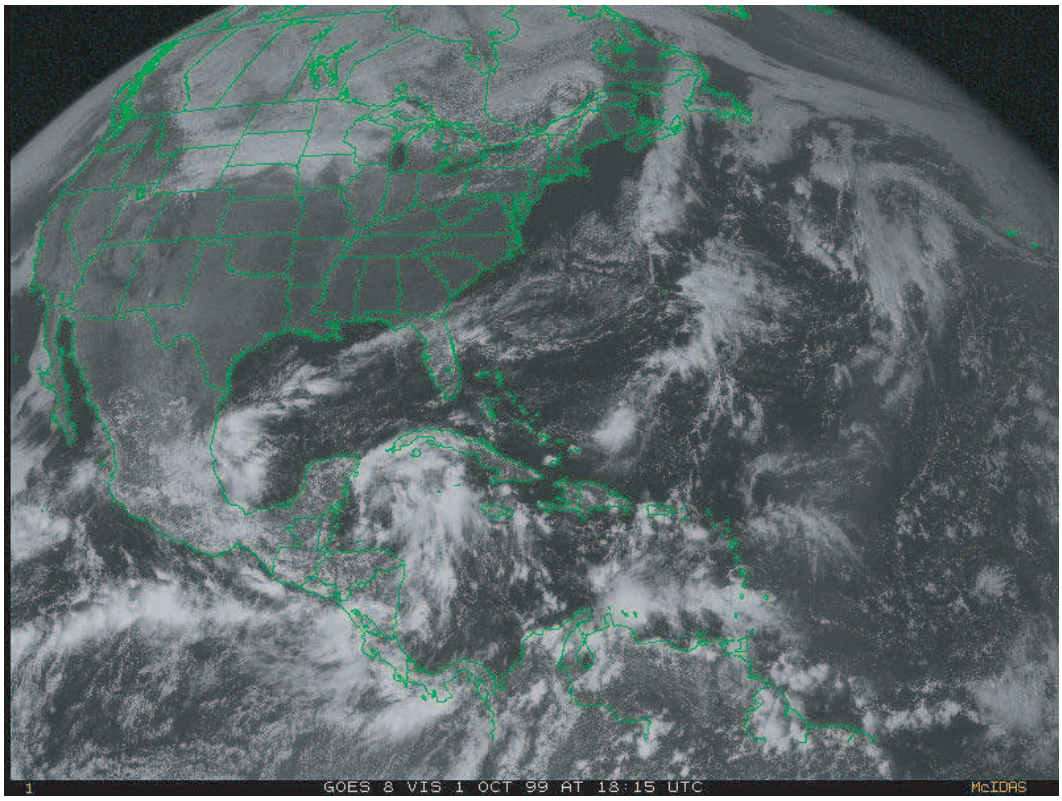



**Figure n°59 : Analyse de la photo satellite du 1/10/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

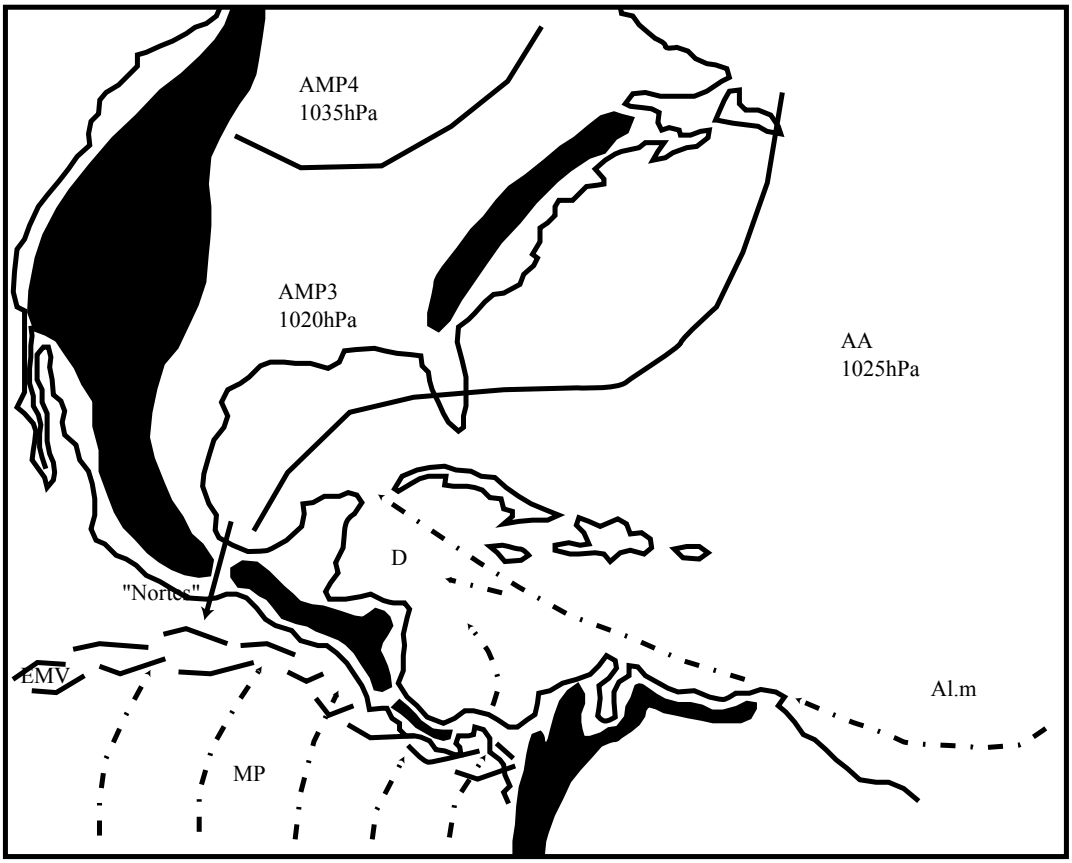


**Fig. n°60 : carte récapitulative de la position moyenne de l'équateur météorologique vertical du 23 au 29 septembre 1999**




**Fig. n°61 : carte récapitulative de la position moyenne de l'équateur météorologique vertical du 30 septembre au 1 octobre 1999**



formations nuageuses qui témoignent de la violence des ascendances. Les flux de la mousson panaméenne (MP) qui se dirigent vers l'EMV sont bien visibles sur la photo satellite.

- **Commentaire de la fig. n°52 (analyse de la photo satellite du 24/9/99) :**

L'AMP1 s'intègre progressivement dans l'AA dite « des Bermudes/Açores ». Sur le nord-est des Etats-Unis, l'AMP2 se déplace vers l'est-sud-est.

Sur l'océan Pacifique, l'EMV s'est déplacé vers le nord et se trouve maintenant accolé à la côte pacifique de l'Amérique Centrale. Les flux de la MP qui se dirigent vers l'EMV, rencontrent le relief côtier, s'élèvent et des précipitations importantes s'abattent sur la côte pacifique du Costa-Rica et des pays frontaliers. Les flux de la MP franchissent l'isthme, profitant de l'abaissement du relief au niveau de l'isthme de Panama. Les flux chauds, humides, instables de la MP et de l'alizé maritime atlantique de type 2 (Al.m) s'élèvent au contact de la face avant de l'AMP1 et/ou des reliefs centraméricians ; un système dépressionnaire se creuse au sud de la Jamaïque.

- **Commentaire de la fig. n°53 (analyse de la photo satellite du 25/9/99) :**

L'AMP1 est complètement intégré dans l'AA dite « des Bermudes/Açores ». L'AMP2 pénètre progressivement sur l'océan Atlantique du nord-ouest. Nous remarquons la présence d'un nouvel AMP, l'AMP3, situé sur l'extrémité sud-ouest du Canada. Sur le Golfe du Mexique, l'AMP1 s'écoule par l'isthme de Tehuantepec comme en témoignent les lignes de pulsation (LP) et le fait qu'à l'ouest, sur le Pacifique, l'EMV, repoussé vers le sud, adopte une forme concave. Plus à l'est, le relief offre une protection naturelle et permet la remontée de l'EMV vers le nord; derrière cette structure accolée à la côte pacifique de l'Amérique Centrale, la MP pénètre sur l'isthme.

- **Commentaire de la fig. n°54 (analyse de la photo satellite du 26/9/99) :**

L'AMP3 prend de plus en plus d'ampleur. L'AMP2 se déplace vers l'est-sud-est, en direction de l'AA dite « des Bermudes/Açores ».

Sur le Pacifique, l'EMV, à l'est de Tehuantepec, est situé le long du littoral pacifique centraméricain. Les flux de la MP sont bien visibles sur la photo satellite. Les précipitations continuent au Costa-Rica et dans les pays limitrophes. Une partie des flux de la MP continue à franchir l'isthme, au niveau du Panama et de l'ensellement du Nicaragua pour gagner l'océan Atlantique et se diriger vers le systme dépressionnaire situé au sud de la Jamaïque.

- **Commentaire de la fig. n°55 (analyse de la photo satellite du 27/9/99) :**

L'AMP3, composé d'air froid, dense, incapable de s'élever, épouse parfaitement les contours du relief du versant oriental des Montagnes Rocheuses. L'AMP2 continue son cheminement vers l'est-sud-est.

Sur le Pacifique, l'EMV est toujours bien souligné par d'intenses formations nuageuses qui témoignent de la violence des ascendances. La pression diminue sur le Golfe du Mexique et nous observons la remontée de l'EMV vers le nord dans la partie ouest de l'isthme.

- **Commentaire de la fig. n°56 (analyse de la photo satellite du 28/9/99) :**

L'AMP3 continue sa descente vers l'est-sud-est. Il épouse encore les contours des versants orientaux des Montagnes Rocheuses, au nord du Texas. L'AMP2 s'est progressivement intégré dans l'AA dite « des Bermudes/Açores ».

Sur le Pacifique, cette fois l'EMV a pu remonter vers le nord sur tout l'isthme. Les flux de la MP viennent heurter le relief et s'élèvent comme en témoignent les intenses formations nuageuses. Les précipitations continuent sur le littoral pacifique de l'Amérique Centrale.

- **Commentaire de la fig. n°57 (analyse de la photo satellite du 29/9/99) :**

L'AMP3 continue sa descente vers le sud-sud-est, entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches. La trajectoire vers l'est des AMP plus anciens « libère » le Golfe du Mexique où la pression diminue.

Sur le Pacifique, l'EMV se plaque contre les reliefs de l'isthme centraméricain ; derrière lui, la MP remonte.

- **Commentaire de la fig. n°58 (analyse de la photo satellite du 30/9/99) :**

L'AMP3 recouvre la quasi totalité des Etas-Unis et pénètre sur le Golfe du Mexique et l'océan Atlantique. Remarquons la présence d'un nouvel AMP, l'AMP4 sur l'extrémité sud-ouest du Canada.

Sur le Pacifique, l'EMV est toujours situé le long de la côte pacifique centraméricaine. Remarquons cependant que la descente de l'AMP3, au niveau de l'isthme de Tehuantepec (Mexique) commence à repousser l'EMV vers le sud. Les flux de la MP affectent encore une grande partie de l'isthme et continuent à le franchir au niveau du Panama.

- **Commentaire de la fig. n°59 (analyse de la photo satellite du 1/10/99) :**

L'AMP4 contribue au glissement de l'AMP3 vers le sud-sud-est et à son écoulement en masse vers le Pacifique par l'isthme de Tehuantepec où des vents de secteur nord commencent à souffler.

Sur le Pacifique, à l'ouest de l'isthme, en face de Tehuantepec, l'EMV est repoussé vers le sud. Par contre, à l'est de l'isthme, la protection par le relief et la latitude font que l'EMV reste plaqué contre les reliefs. Les flux de la MP n'atteignent plus que le sud de l'isthme (Costa-Rica, Panama). Cet épisode pluvieux touche à sa fin.

- **Bilan de l'épisode pluvieux (fig. n°60 et 61) :**

Du 23 au 29 septembre 1999, dans la partie ouest de l'isthme, au niveau de l'abaissement du relief dans l'isthme de Tehuantepec, l'écoulement en masse des AMP vers le Pacifique repousse l'EMV vers le sud. A l'est, la poussée de la MP étant forte, la mer des Caraïbes étant délaissée par les AMP, le relief assurant une protection naturelle, l'EMV vient se « caler » le long des reliefs centraméricains de la côte pacifique. Les flux de la MP pénètrent sur l'isthme, s'élèvent violemment (relief et/ou EMV), provoquant le creusement de dépressions et de fortes précipitations.

Du 30 septembre au 1 octobre 1999, à l'ouest de l'isthme, la poussée de la MP étant moins forte, le Golfe du Mexique étant, en partie, envahi par un AMP, la poussée anticyclonique repousse l'EMV vers le sud sur l'océan Pacifique. Les flux de la MP, ne

pénètrent plus que sur l'extrémité méridionale de l'isthme. Les précipitations vont rapidement s'amoindrir avant de cesser.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

Le Costa-Rica, pays le plus affecté, vient de subir 10 jours de précipitations intenses et incessantes. C'est dans le nord et le centre de la côte pacifique que se concentrent les secteurs les plus affectés (province de Guanacaste, Carrillo, Santa Cruz, péninsule de Nicoya, La Cruz, Bahia Salinas). Dans cette région, située au pied de la cordillère de Guanacaste (culminant à 2 020 mètres au volcan Miravalles), des précipitations quotidiennes comprisent entre 26 et 380 millimètres ont été relevées.

Dans la province de Guanacaste 400 maisons furent détruites ; dans les cantons de Carrillo et Santa Cruz, 5 000 personnes furent évacuées. La péninsule de Nicoya fut également très affectée. Dans ces secteurs, de nombreuses infrastructures routières furent détruites (routes, ponts) par le débordements des fleuves et les glissements de terrains.

Au Honduras, pendant cette période, on a enregistré une moyenne de 61 millimètres par jour à l'échelle du pays.

Les autorité mexicaines ont, quant à elles, relevé 380 millimètres (le 29) dans le sud-est du pays (au Chiapas).

**b) Etude de cas n°2 : l'épisode pluvieux sur la côte pacifique de l'Amérique Centrale (du 19 au 29/5/2002) :**

- **Commentaire de la fig. n°62 (analyse de la photo satellite du 19/5/02) :**

L'immense AMP1 recouvre l'Amérique du Nord. Sur l'océan Atlantique, au sud de l'agglutination anticyclonique dite « des Açores » (AA), les flux de l'alizé maritime de type 2 (Al.m) se dirigent vers l'ouest, en direction de la mer des Caraïbes. A proximité du Yucatán, ces flux, chauds, humides et instables, rencontrent la face avant de l'AMP1 et, n'ont d'autre possibilité que celle de s'élever et/ou fuir vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique, en direction de la dépression associée à l'AMP1 (la face avant de l'AMP1 est ainsi soulignée par des formations nuageuses, s'étirant depuis le Yucatán jusqu'au large de Terre Neuve et témoignant du transfert de l'énergie tropicale vers les latitudes tempérées). Au niveau de l'isthme de Tehuantepec, là où l'abaissement du relief le permet, une partie de la masse de l'AMP1 s'écoule vers le Pacifique comme en témoignent les lignes de pulsation (LP). L'air anticyclonique froid, incapable de s'élever, s'engouffre dans l'isthme et des vents de secteurs nord (« Nortes ») ayant une vitesse de 50 km/h sont enregistrés à Tehuantepec.

Sur le Pacifique l'équateur météorologique vertical (EMV) est maintenu dans une position méridionale par l'écoulement de l'AMP1. Au sud de cette structure, soulignons la présence des flux de la mousson panaméenne (MP).

- **Commentaire de la fig. n°63 (analyse de la photo satellite du 20/5/02) :**

L'AMP1 s'est déplacé vers l'est et profite de l'abaissement du relief au sud du Mexique pour, s'écouler, en partie, vers le Pacifique. Des vents de secteur nord ayant une vitesse de 50 km/h à Tehuantepec et 30 km/h au Salvador sont enregistrés.

Sur le Pacifique, l'EMV reste dans une position méridionale. Du sud du Guatemala jusqu'au Panama, les flux de la MP se dirigent vers l'EMV puis vers l'équateur

**Photo satellite n°59: GOES 8, est, vis, le 19/5/2002, 18h15 T.U**

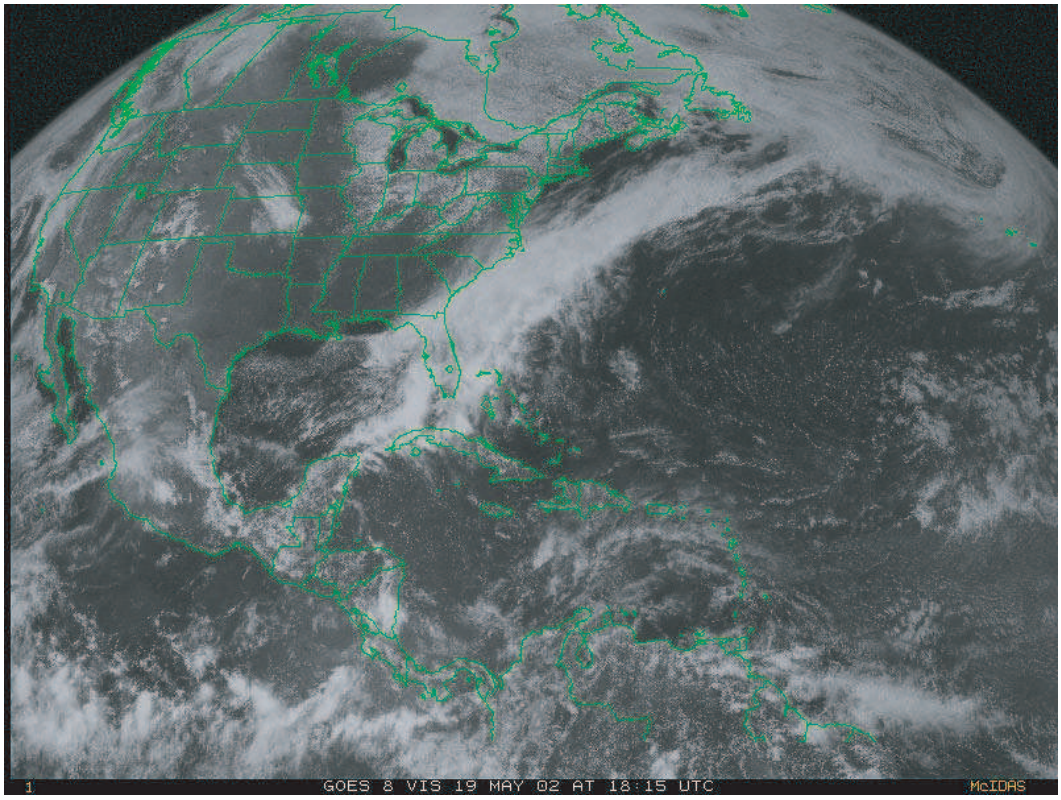



**Figure n°62 : Analyse de la photo satellite du 19/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

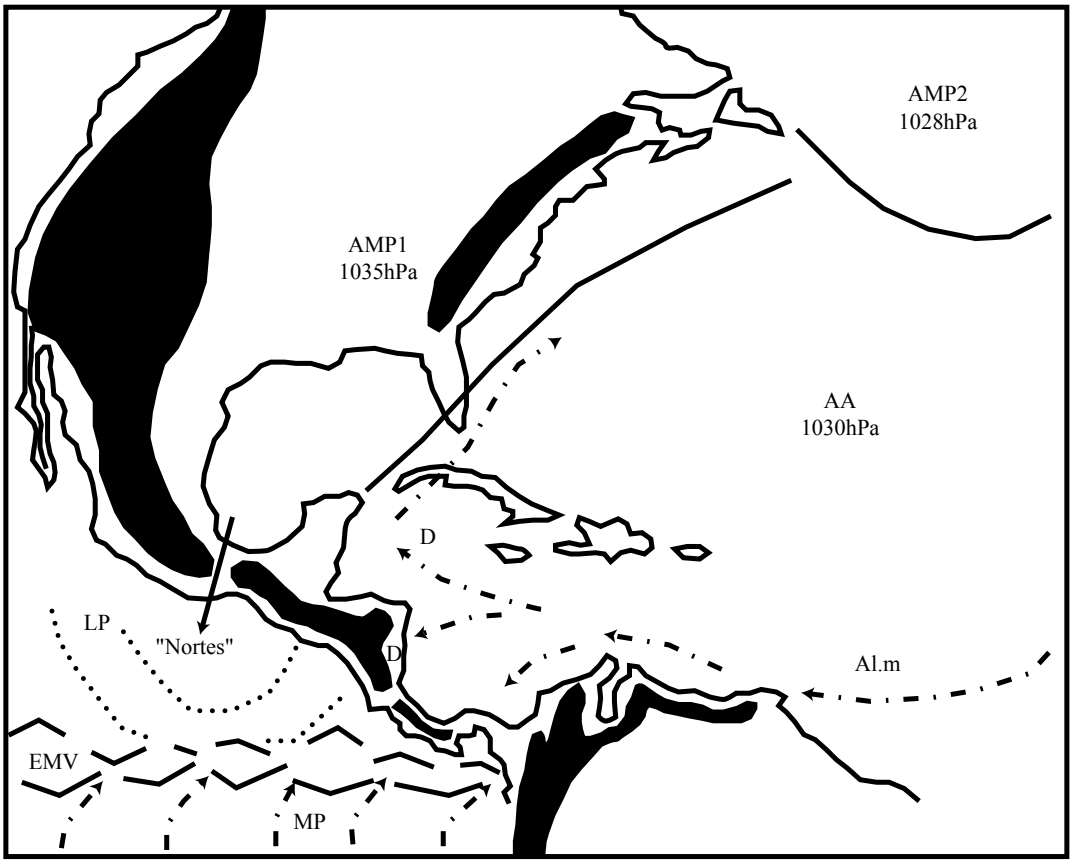


**Photo satellite n°60 : GOES 8, est, vis, le 20/5/2002, 18h15 T.U**

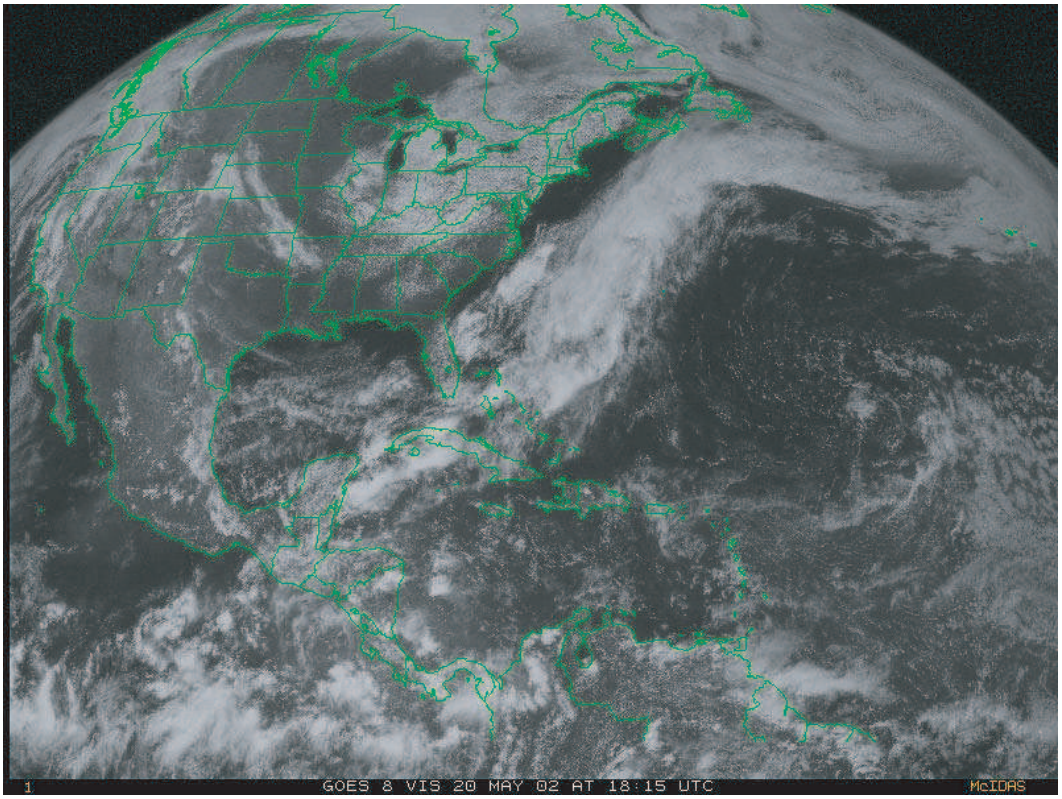



**Figure n°63 : Analyse de la photo satellite du 20/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

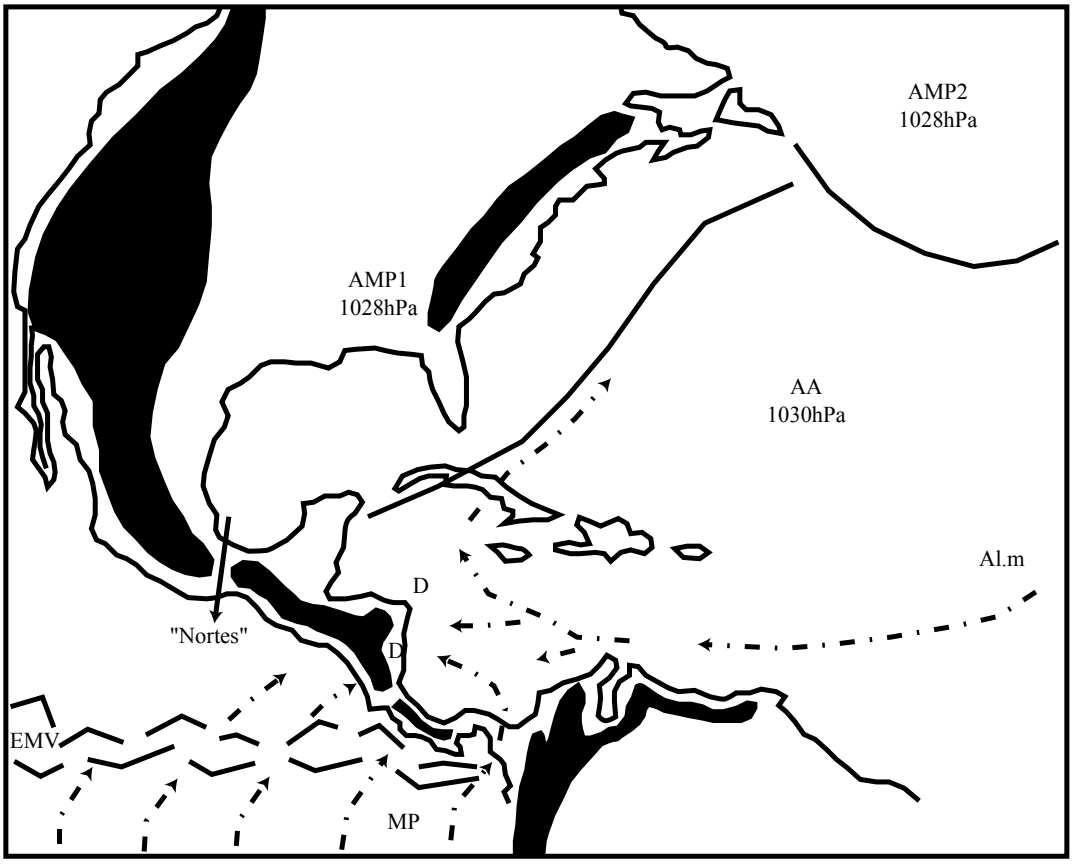


**Photo satellite n°61 : GOES 8, est, vis, le 21/5/2002, 18h15 T.U**

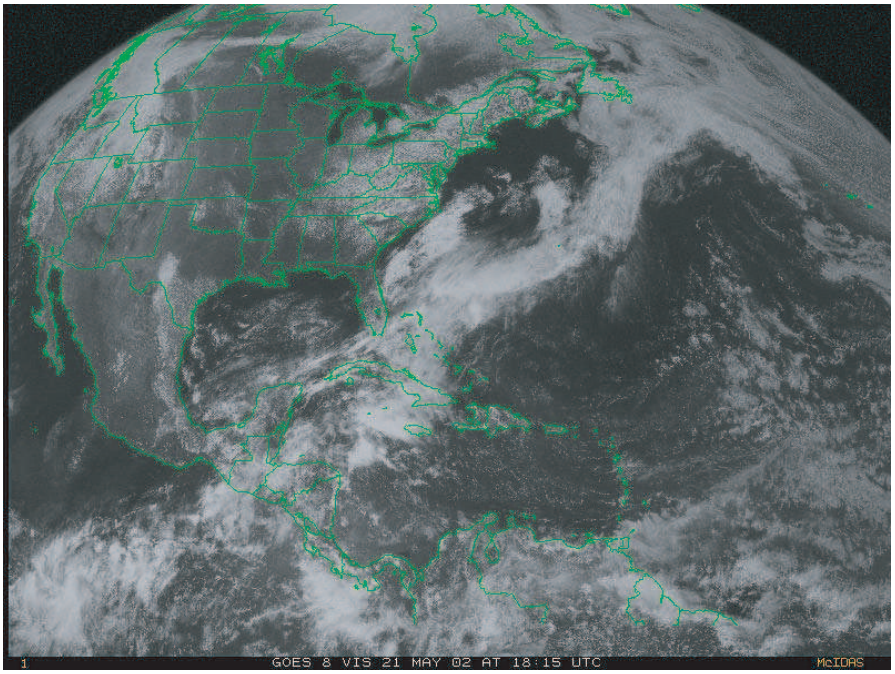



**Figure n°64 : Analyse de la photo satellite du 21/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

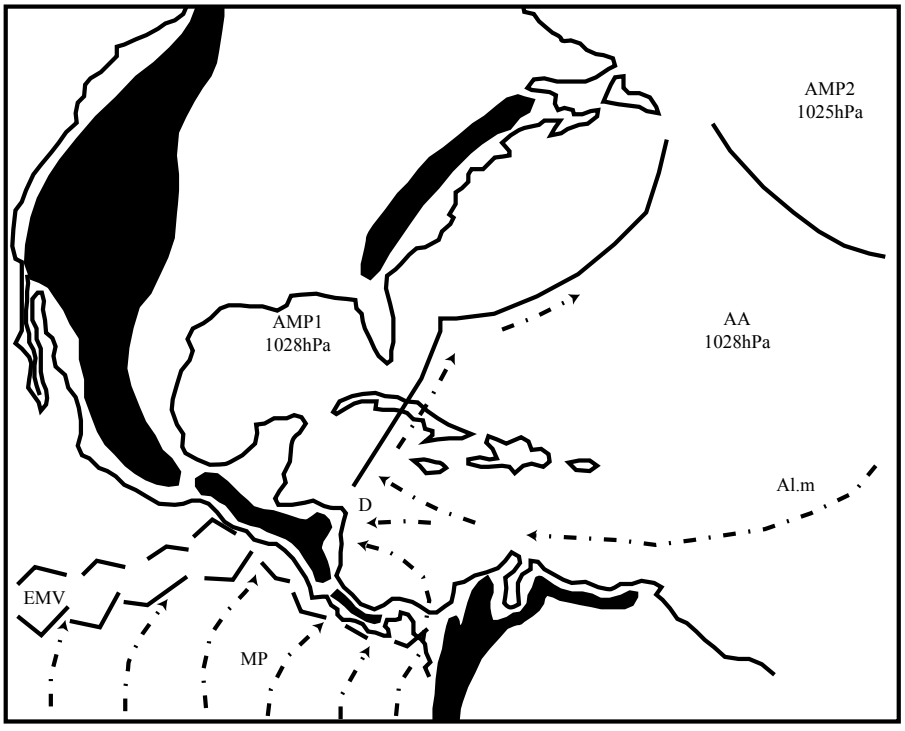


**Photo satellite n°62 : GOES 8, est, vis, le 22/5/2002, 18h15 T.U**

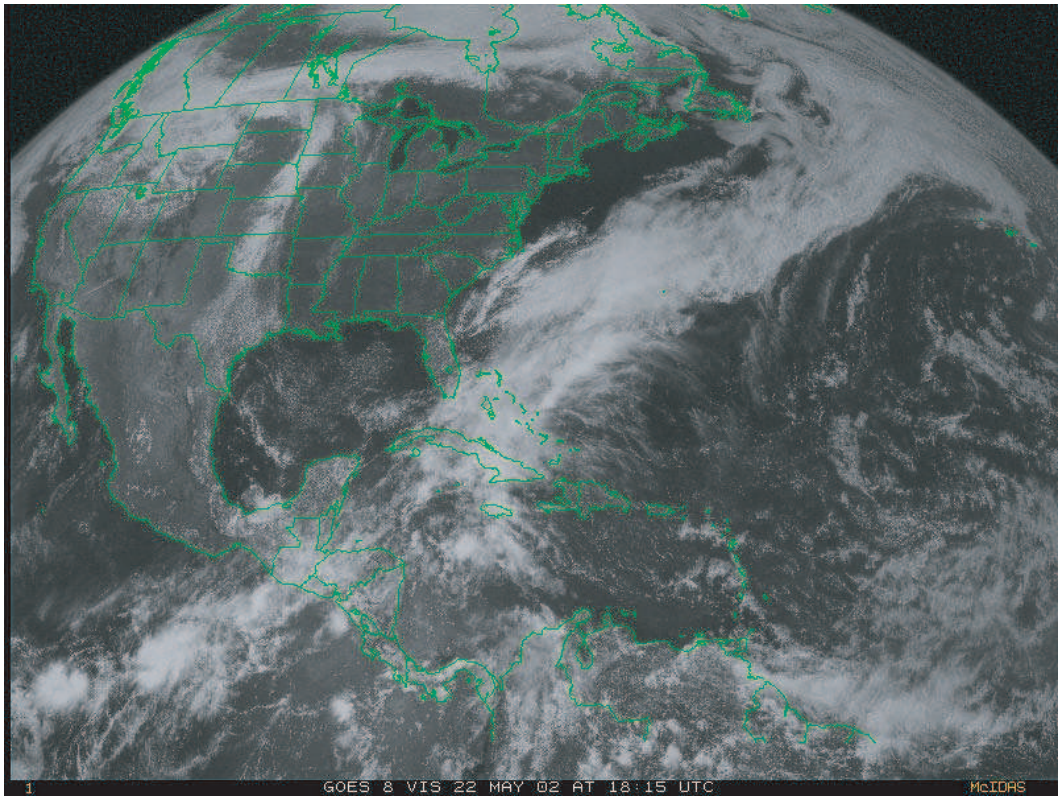



**Figure n°65 : Analyse de la photo satellite du 22/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

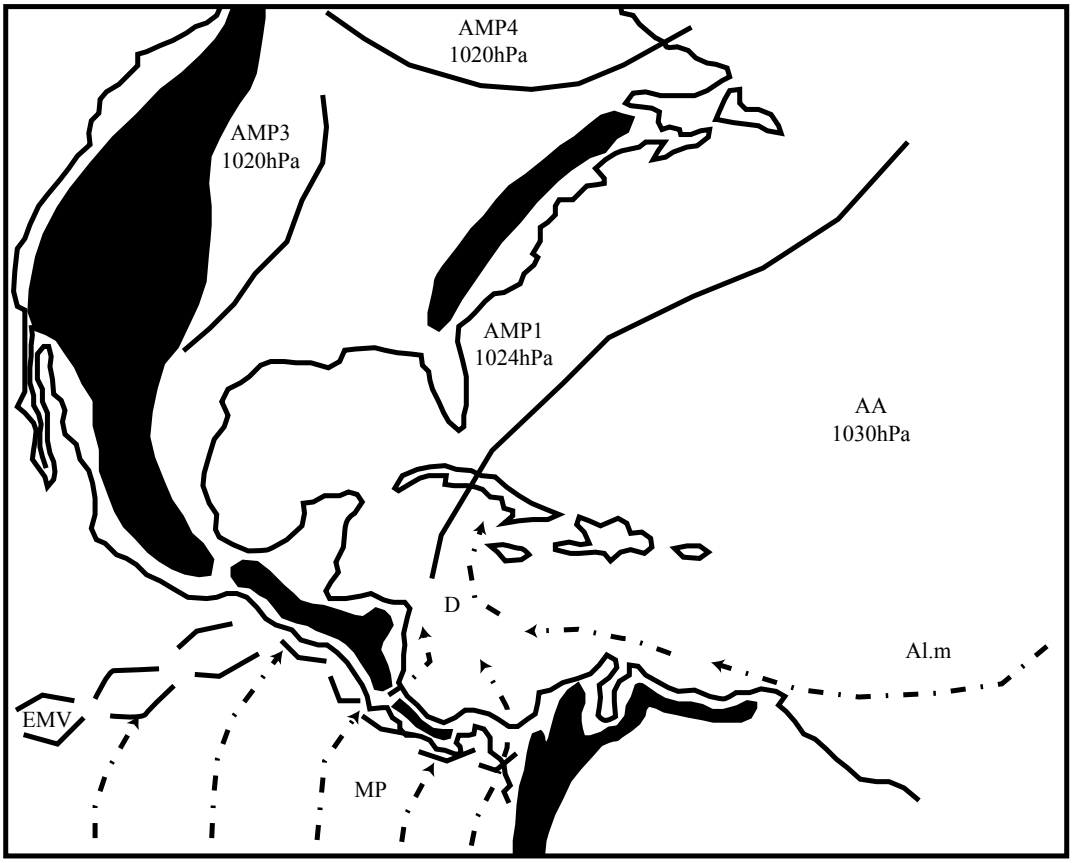


**Photo satellite n°63 : GOES 8, est, vis, le 23/5/2002, 18h15 T.U**

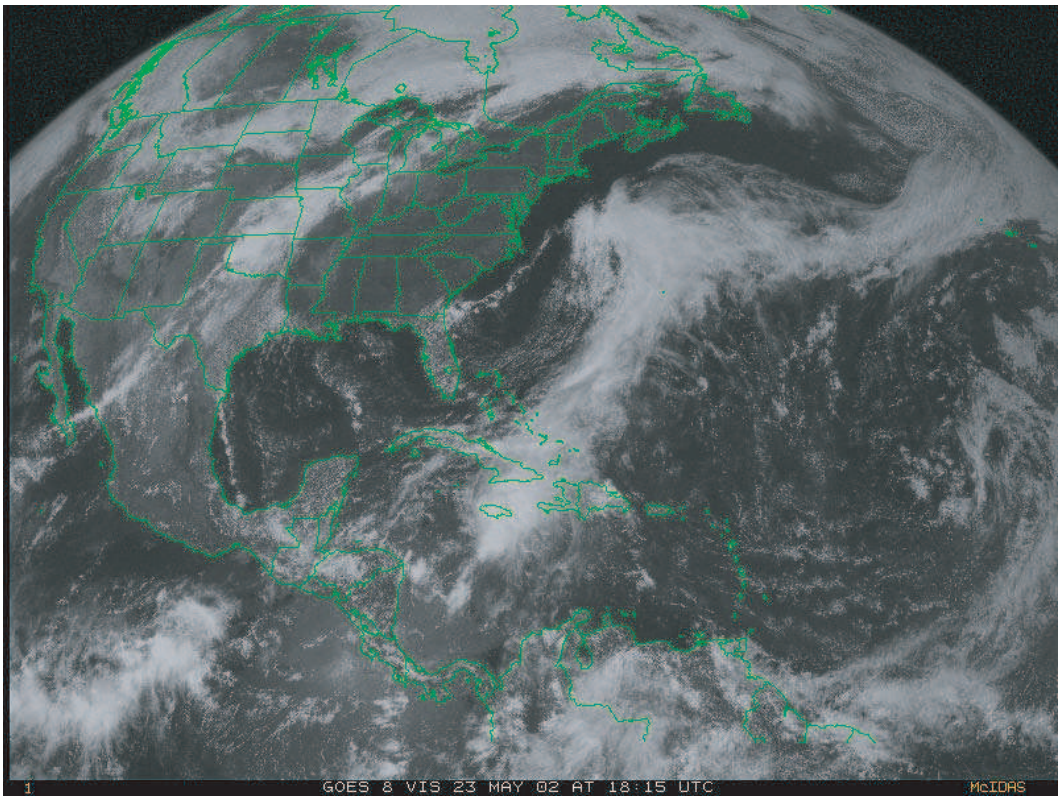



**Figure n°66 : Analyse de la photo satellite du 23/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

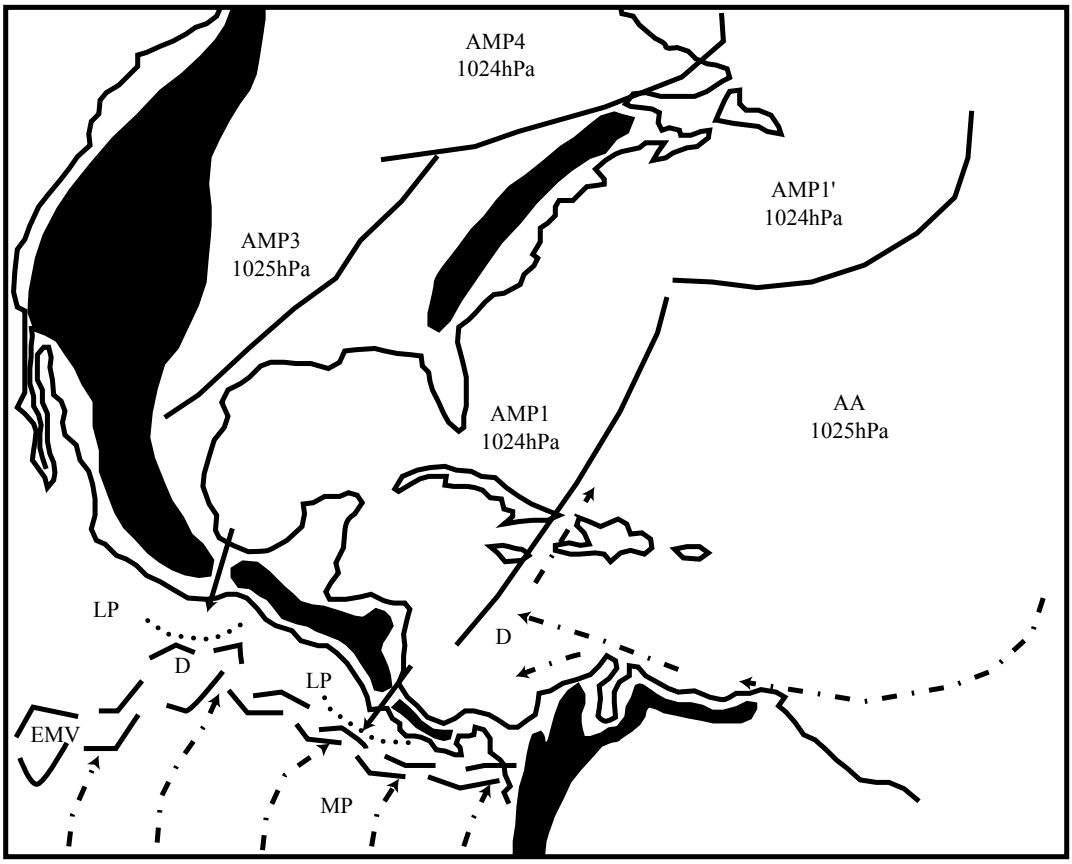


**Photo satellite n°64 : GOES 8, est, vis, le 24/5/2002, 18h15 T.U**

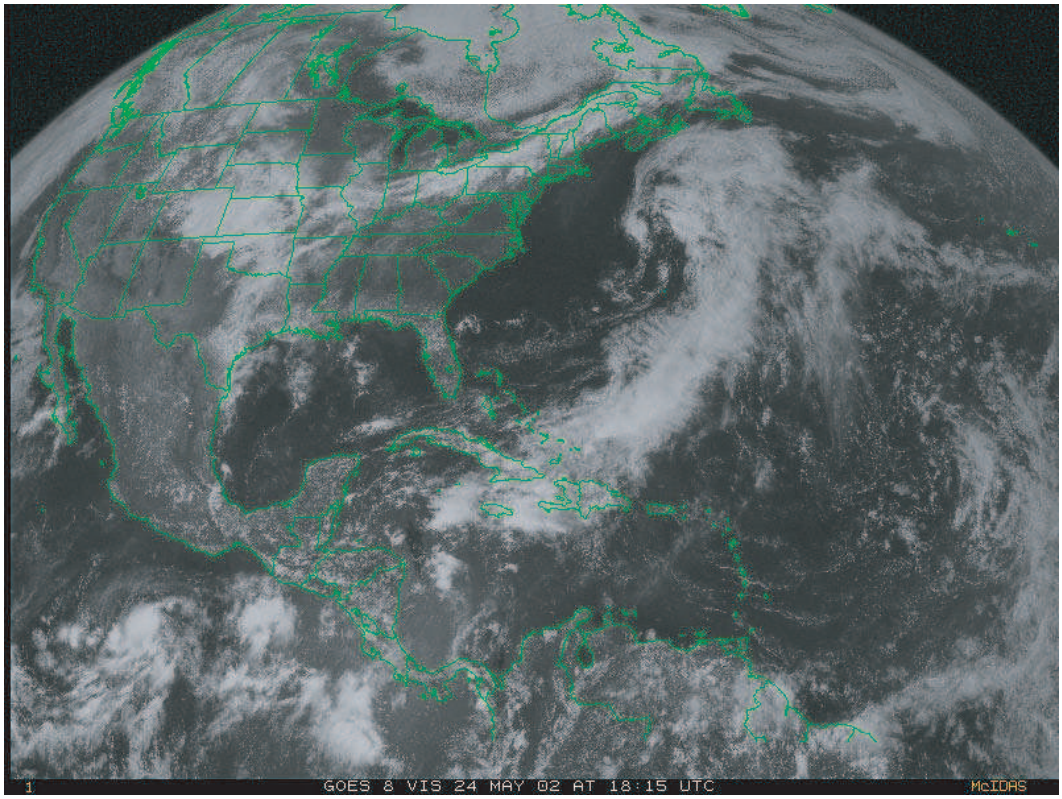



**Figure n°67 : Analyse de la photo satellite du 24/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

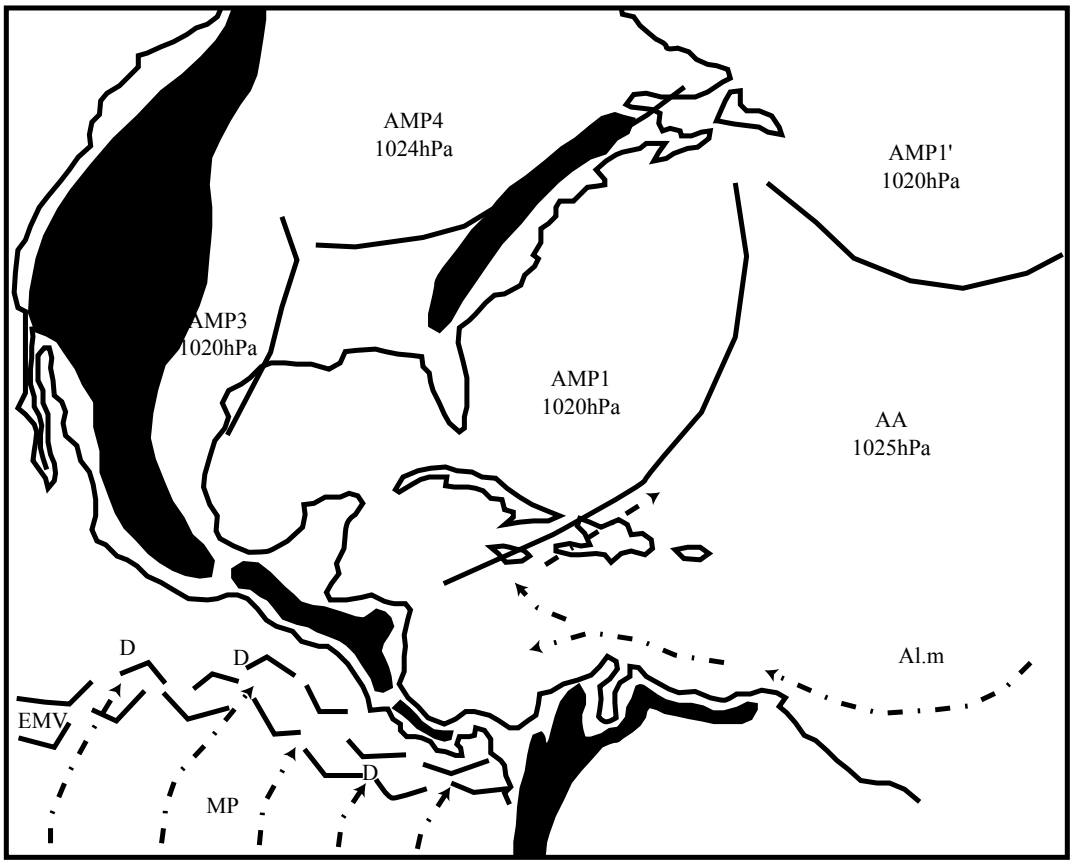


**Photo satellite n°65 : GOES 8, est, vis, le 25/5/2002, 18h15 T.U**

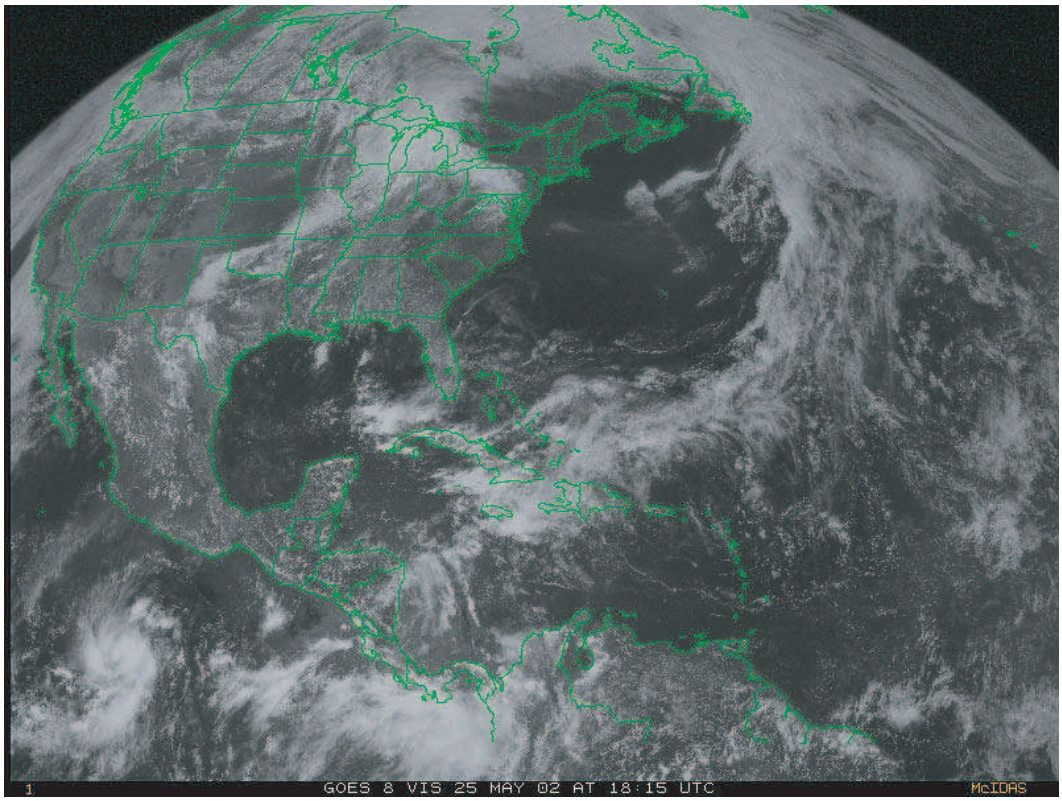



**Figure n°68 : Analyse de la photo satellite du 25/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

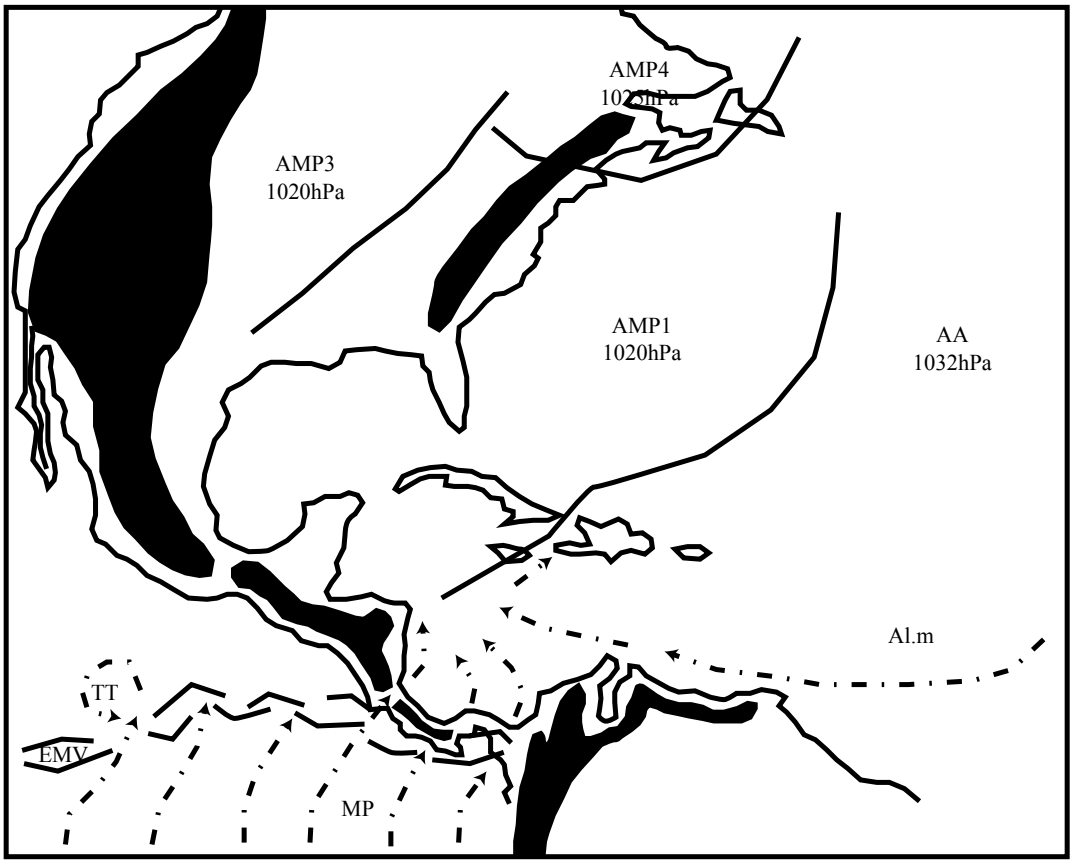


**Photo satellite n°66 : GOES 8, est, vis, le 26/5/2002, 18h15 T.U**

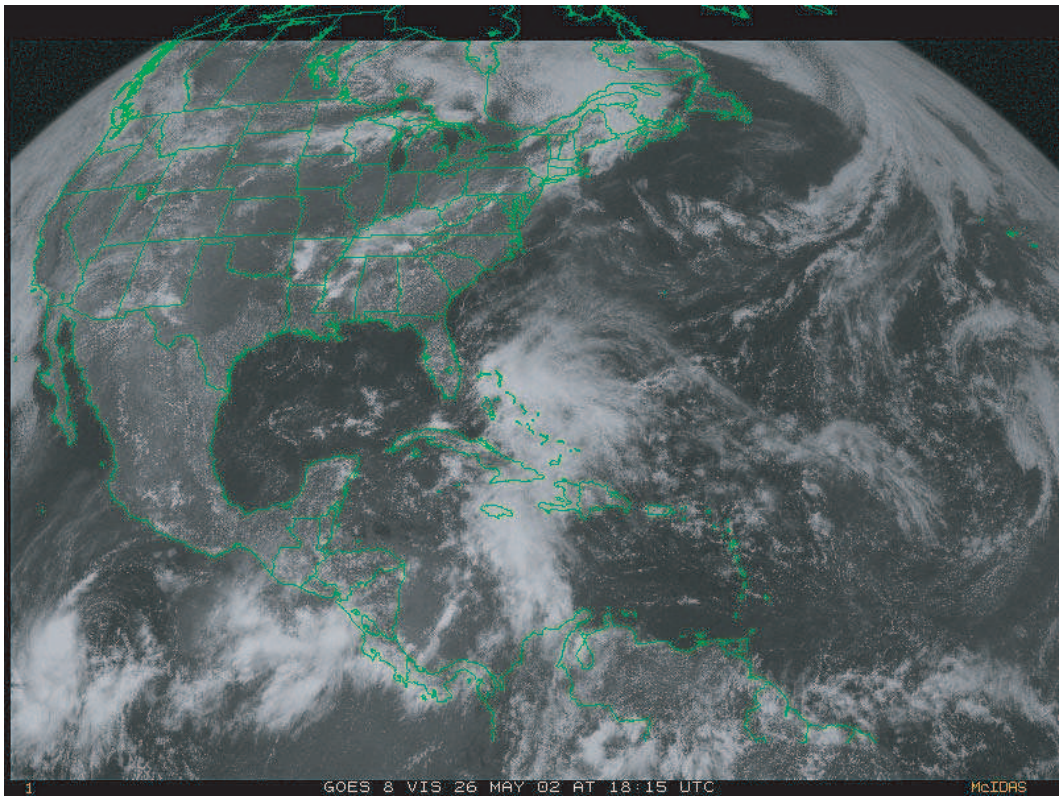



**Figure n°69 : Analyse de la photo satellite du 26/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

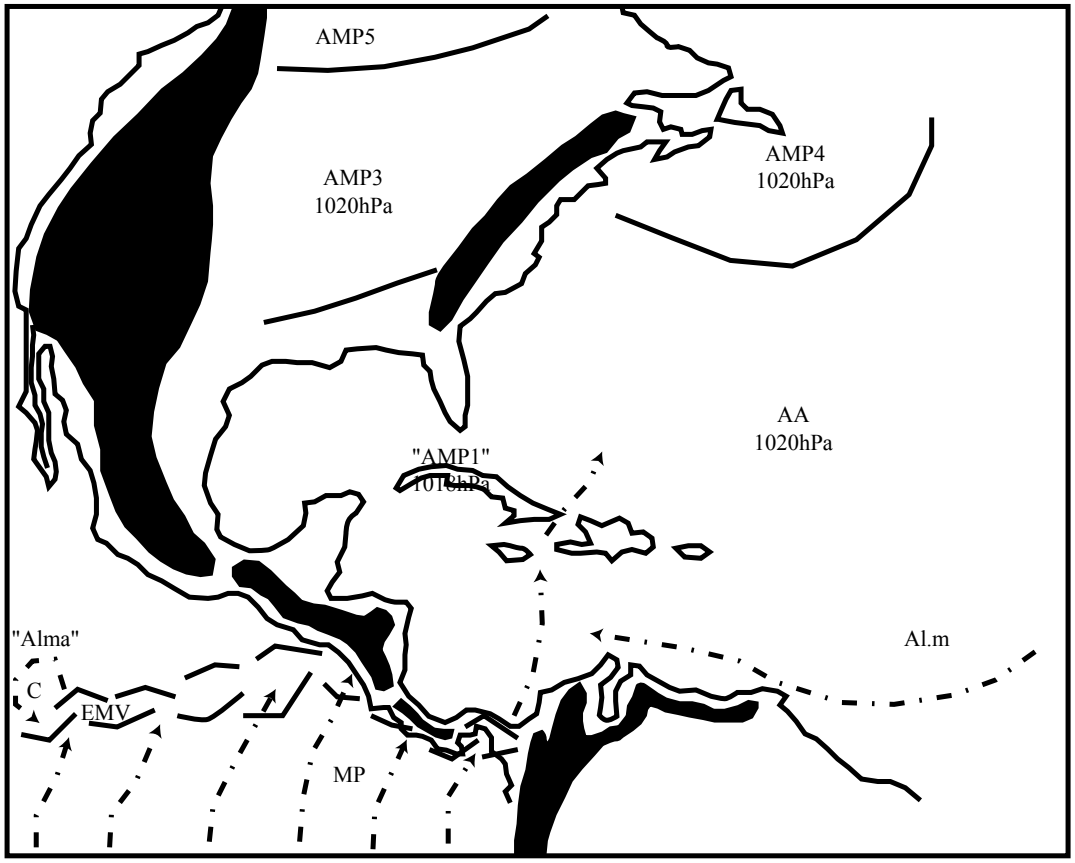


**Photo satellite n°67 : GOES 8, est, vis, le 27/5/2002, 18h15 T.U**

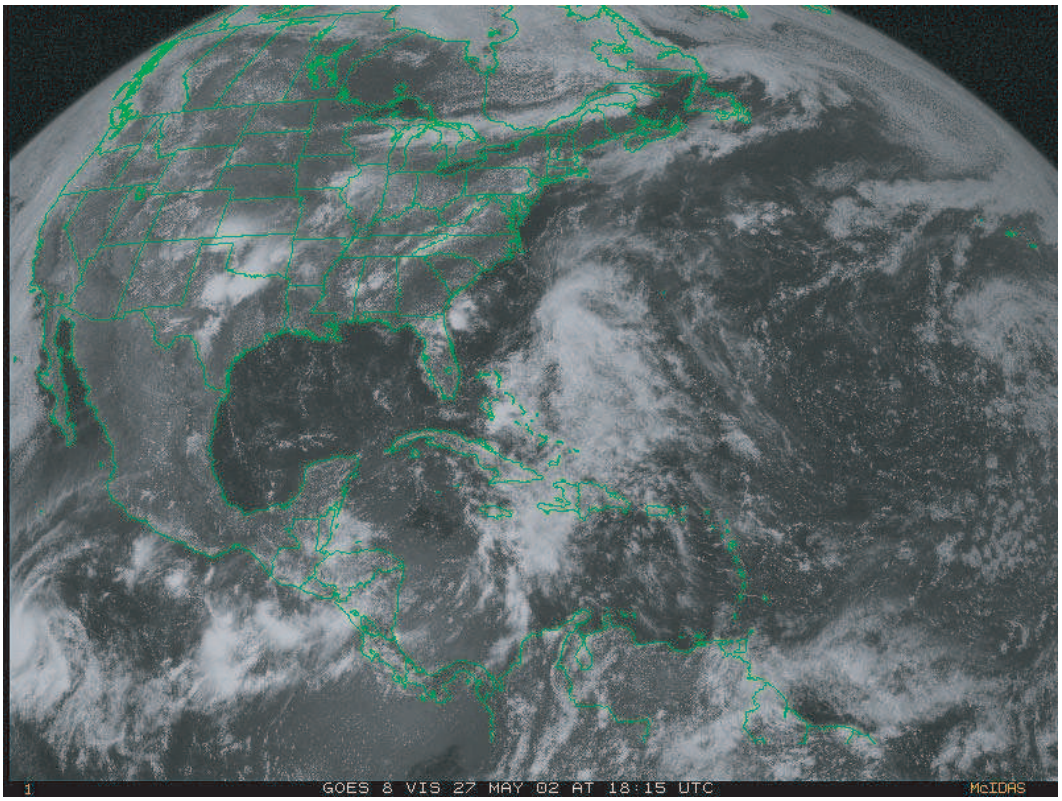



**Figure n°70 : Analyse de la photo satellite du 27/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

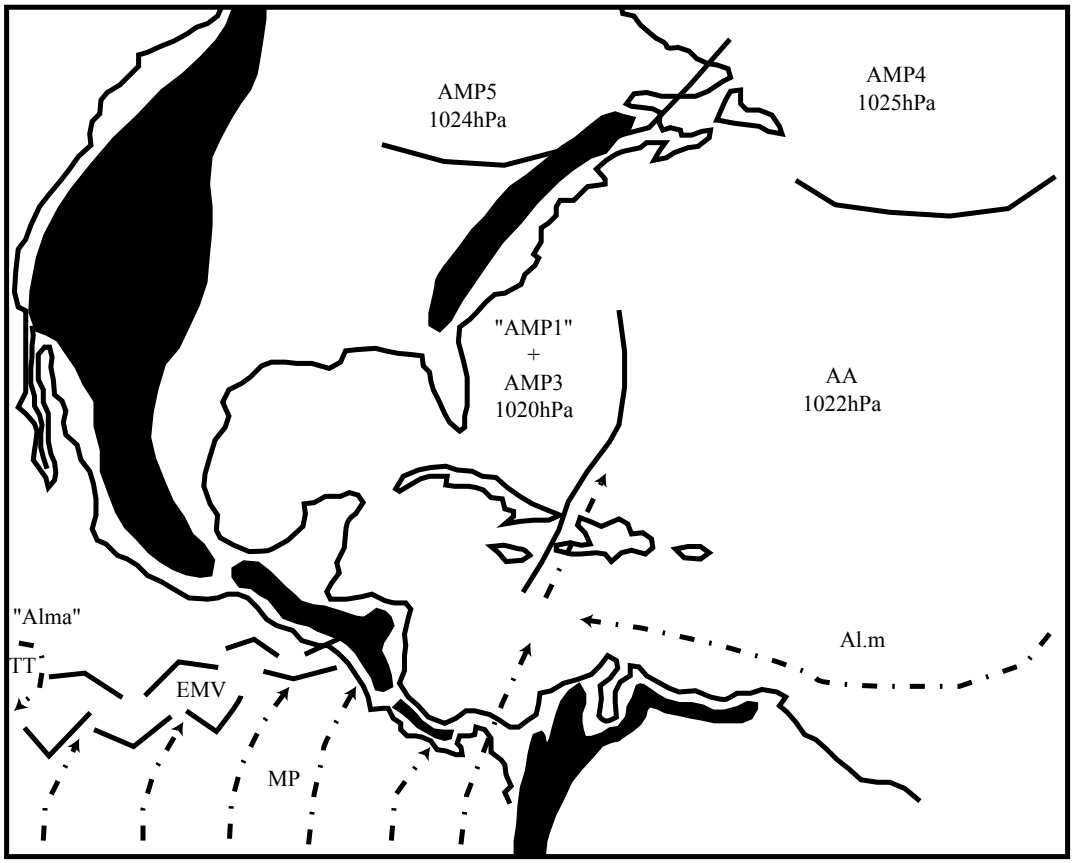


**Photo satellite n°68 : GOES 8, est, vis, le 28/5/2002, 18h15 T.U**

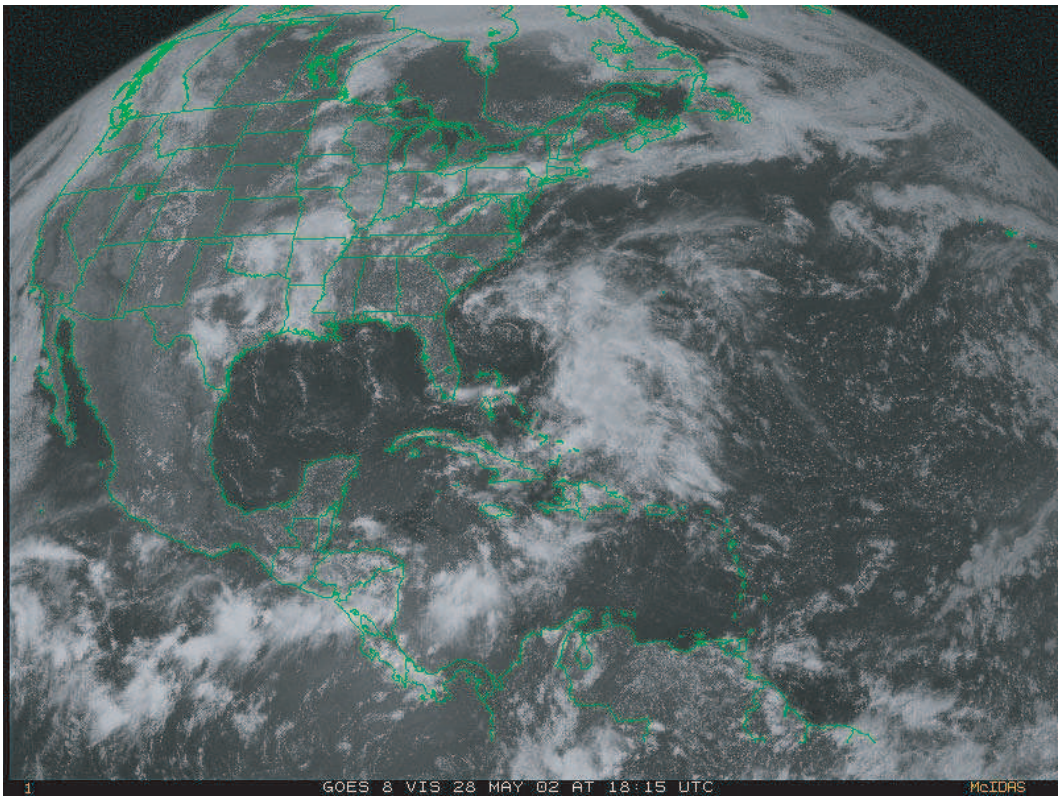



**Figure n°71 : Analyse de la photo satellite du 28/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

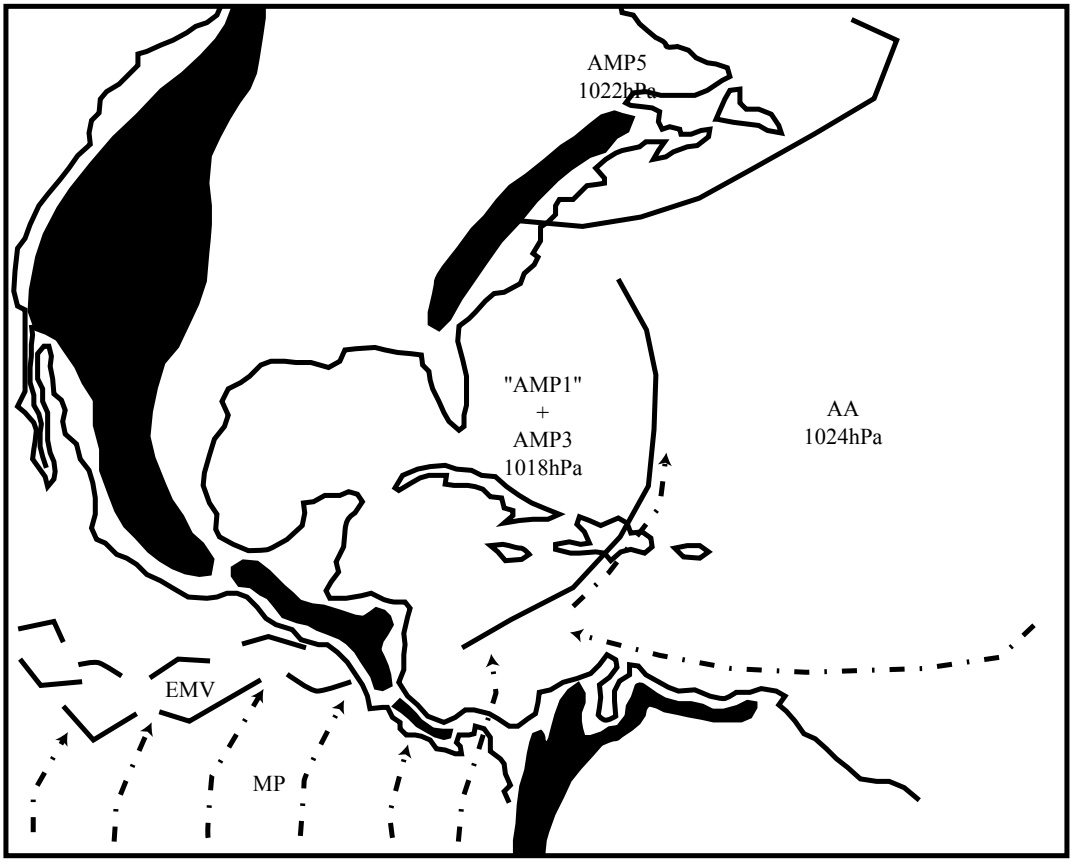


**Photo satellite n°69 : GOES 8, est, vis, le 29/5/2002, 18h15 T.U**

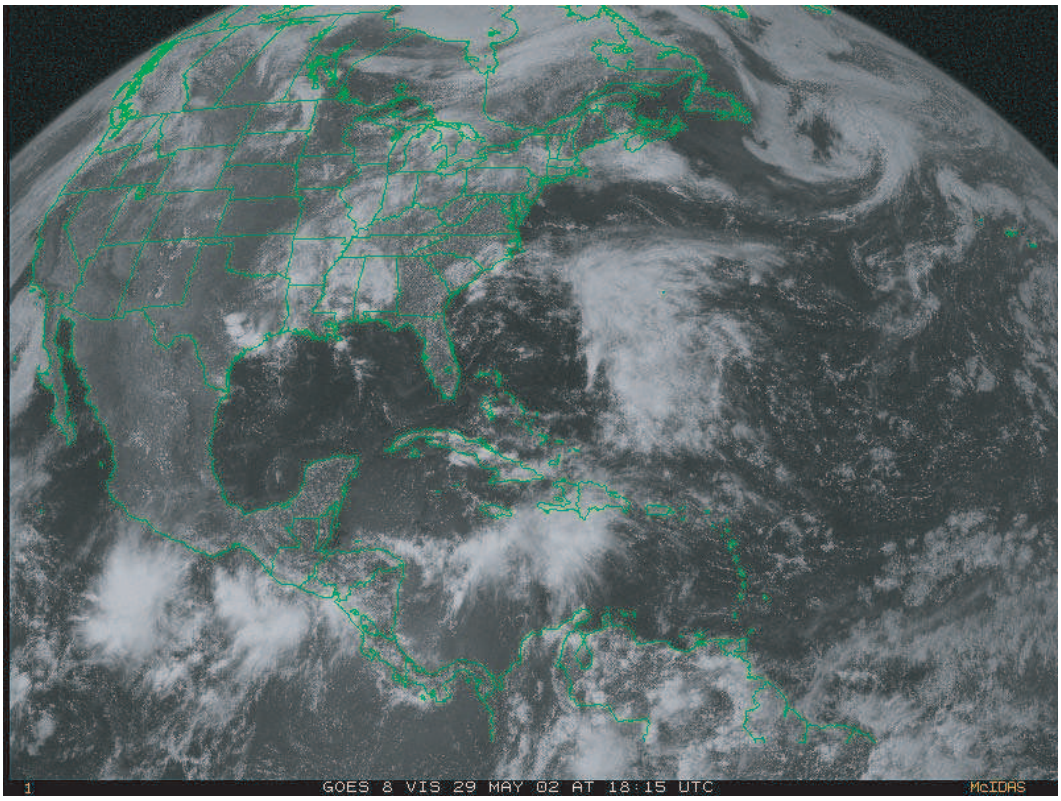



**Figure n°72 : Analyse de la photo satellite du 29/5/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

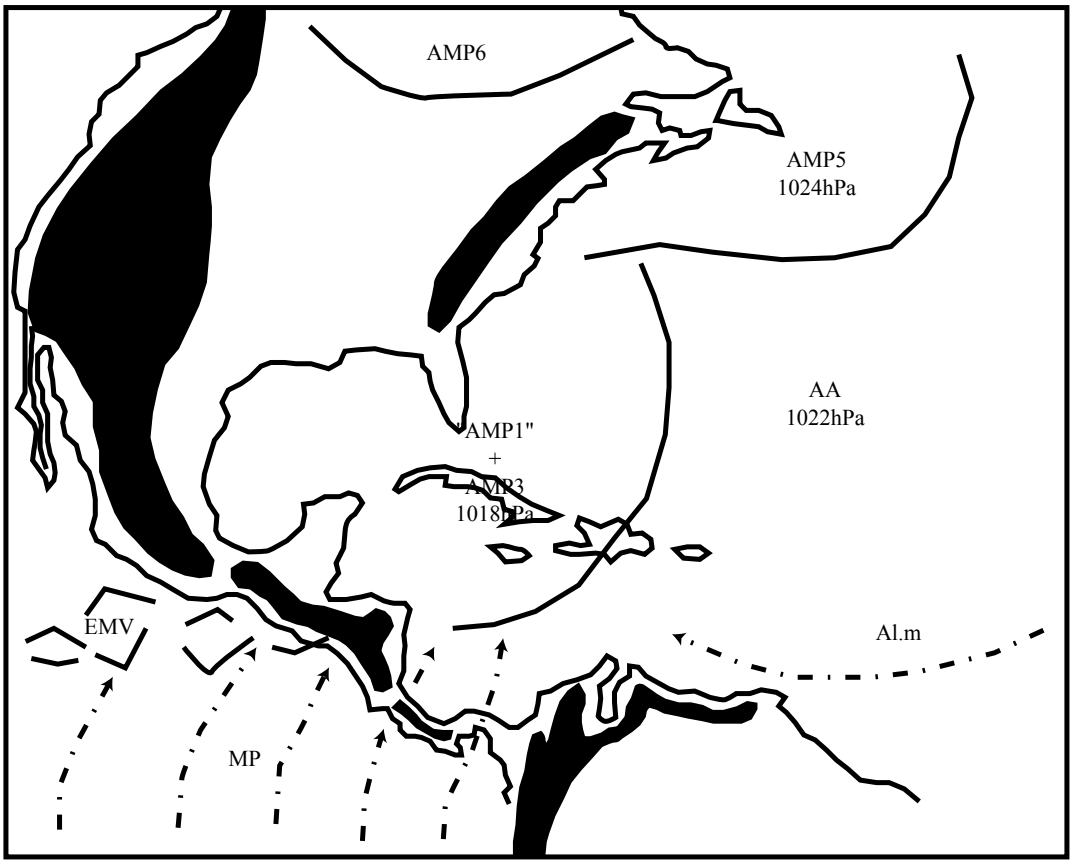


**Fig. n°73 : carte récapitulative de la position moyenne de l'équateur météorologique vertical du 19 au 22 mai 2002**




**Fig. n°74 : carte récapitulative de la position moyenne de l'équateur météorologique vertical du 23 au 24 mai 2002**




**Fig. n°75 : carte récapitulative de la position moyenne de l'équateur météorologique vertical du 25 au 29 mai 2002**



météorologique incliné, l'EMI (situé plus au nord) avant de gagner la partie méridionale de la côte pacifique centraméricaine où des précipitations abondantes se produisent.

- **Commentaire de la fig. n°64 (analyse de la photo satellite du 21/5/02) :**

L'AMP1 s'est progressivement déplacé vers l'est ; le relief centraméricain protège le Pacifique de tout écoulement en masse depuis l'Atlantique. L'EMV en profite pour migrer vers le nord. La MP pénètre sur l'isthme et, là où l'abaissement du relief le permet, gagne la mer des Caraïbes. La côte pacifique de l'Amérique Centrale connaît d'importantes précipitations.

- **Commentaire de la fig. n°65 (analyse de la photo satellite du 22/5/02) :**

L'AMP1 s'est très peu déplacé vers l'est. L'EMV continue sa progression vers le nord et se situe maitenant au sud du Guatemala où les précipitations redoublent d'intensité.

- **Commentaire de la fig. n°66 (analyse de la photo satellite du 23/5/02)**

L'AMP1 pousuit son déplacement vers l'est et profite de l'abaissement du relief au niveau de l'ensellement du Nicaragua pour, à nouveau, s'écouler (en partie) vers le Pacifique. Des vents de secteur nord ayant une vitesse de 30 km/h sont enregistrés au Nicaragua (les vitesses enregistrées sont moindres car, l'AMP1 déjà en partie écoulé vers le Pacifique, se tropicalise et a perdu progressivement de sa vigueur).

Sur le Pacifique, l'effet est immédiat. L'EMV est repoussé vers le sud, les précipitations diminuent (du sud du Guatemala au Costa Rica).

- **Commentaire de la fig. n°67 (analyse de la photo satellite du 24/5/02) :**

L'AMP1, en s'écoulant vers le Pacifique, a provoqué l'activation de l'EMV. Nous repérons, au large de Tehuantepec, la formation de deux systèmes dépressionnaires ; au large du Panama, nous repérons un troisième système dépressionnaire.

- **Commentaire de la fig. n°68 (analyse de la photo satellite du 25/5/02) :**

Le fait le plus marquant est le développement, au large de Tehantepec, à proximité de l'EMV du système dépressionnaire remarqué la veille. Ce système dépressionnaire s'organise; les bandes nuageuses adoptent une forme en spirale caractéristique et nous observons ici la formation de la tempête tropicale (TT) « Alma ». L'AMP1, en se déplaçant vers l'est, libère progressivement la mer des Caraïbes, l'EMV remonte vers le nord et, dans la partie méridionale de l'isthme, vient toucher les côtes centraméricaines. Les précipitations redoublent d'intensité dans cette extrémité méridionale de l'isthme. Les flux de la MP, chauds, instables, humides, s'élèvent violemment au contact des reliefs, déversant des précipitations importantes et/ou gagnent la mer des Caraïbes en passant par l'isthme de Panama pour atteindre les côtes caraïbes du Costa Rica et du Panama.

- **Commentaire de la fig. n°69 (analyse de la photo satellite du 26/5/02) :**

L'AMP1 (« AMP1 »), tropicalisé et en partie écoulé vers le Pacifique est très affaibli. Seule l'élévation des flux de l'Al.m sur ce qui reste de sa face avant confirme sa présence (du

nord de la Colombie au nord des Bahamas, les formations nuageuses denses témoignent des ascendances).

Sur le Pacifique, l'EMV migre à nouveau vers le nord et se trouve maintenant acollé aux reliefs centraméricains depuis le Panama jusqu'à la frontière entre le Salvador et le Nicaragua. La TT « Alma » poursuit son déplacement vers l'ouest. Des précipitations diluviennes s'abattent sur le Costa Rica et le Nicaragua.

- **Commentaire de la fig. n°70 (analyse de la photo satellite du 27/5/02) :**

L' « AMP1 » et l'AMP3 ont fusionné (AMP1+3). Sur le Pacifique, profitant de la protection naturelle offerte par le relief, l'EMV poursuit sa migration vers le nord et les flux de la MP pénètrent sur l'isthme.

- **Commentaire de la fig. n°71 (analyse de la photo satellite du 28/5/02) :**

Sur le Pacifique, l'EMV contine sa migration vers le nord pour atteindre le sud du Salvador.

- **Commentaire de la fig. n°72 (analyse de la photo satellite du 29/5/02) :**

L'EMV, situé très au nord, touche les côtes mexicaines. La poussée de la MP est forte, l'EMV s'active.

- **Bilan de l'épisode pluvieux (fig. n°73 à 75) :**

Dans un premier temps (du 19 au 21-22/5/02), dans la partie ouest de l'isthme, au niveau de l'abaissement du relief dans l'isthme de Tehuantepec, puis au niveau de l'ensellement du Nicaragua, l'écoulement en masse de l'AMP1 vers le Pacifique repousse l'EMV vers le sud. A l'est, la poussée de la MP étant forte, la mer des Caraïbes étant délaissée par les AMP, le relief assurant une protection naturelle, l'EMV vient se « caler » le long des reliefs centraméricains de la côte pacifique. Les flux de la MP pénètrent sur l'isthme, et s'élèvent violemment (relief et/ou EMV), provoquant le creusement de dépressions et de fortes précipitations dans la partie méridionale de l'isthme (Panama, sud du Costa Rica)). Là où l'abaissement du relief le permet, les flux de la MP gagnent la mer des Caraïbes, rejoignent les flux de l'Al.m, incurvent leur course avant de venir heurter le relief et/ou la face avant de l'AMP1 pour s'élever violemment et entraîner des précipitations importantes du côté de la mer des Caraïbes.

Dès que l'abaissement du relief autorise à nouveau une partie de la masse de l'AMP1 (qui se déplace vers l'est) à s'écouler vers le Pacifique, l'EMV est à nouveau repoussé vers le sud (le 23 et 24/5/02) et les précipitations sur la côte pacifique diminuent dans ces secteurs.

Dans un second temps (à partir du 25/5/02), l'AMP1 s'étant progressivement tropicalisé en se déplaçant vers l'est et/ou écoulé (en partie) depuis l'Atlantique vers le Pacifique, la pression diminue sur la mer des Caraïbes ; la poussée de la MP étant forte, le relief assurant une protection naturelle, l'EMV remonte vers le nord et vient se « caler » le long des reliefs centraméricains de la côte pacifique dans son ensemble. Les flux de la MP pénètrent sur l'isthme, et s'élèvent violemment (relief et/ou EMV), provoquant le creusement de dépressions et des précipitations diluviennes dans la partie centrale de l'isthme (du 25 au

27/5/02 au Costa Rica et au Nicaragua). L'EMV atteindra sa position la plus septentrionale le 29 mai 2002 à proximité de la côte pacifique méridionale mexicaine.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

A l'échelle de l'Amérique Centrale, le bilan humain et matériel de cet épisode pluvieux est dramatique. Au Panama, 12 000 personnes furent affectées , 4 morts et 1 disparu sont à déplorer ; au Costa Rica**,** 48 000 personnes furent affectées (dont 16 000 furent évacuées), 600 maisons, 2 écoles et 1 pont furent détruits, 24 morts et 5 disparus sont à déplorer ; au Honduras, 700 personnes furent évacuées, 3 communautés furent complètement isolées, 27 maisons et 1 école furent détruites ; au Nicaragua, 10 542 personnes furent affectées (dont 3 004 furent évacuées), 23 maisons furent détruites, 114 furent partiellement détruites, 1 007 furent endommagées, 35 routes furent coupées, 22 ponts et 16 canalisations d'eau potable furent détruits ; au Guatemala, les pluies intenses ont détruit plusieurs ponts.

**Tableau n°1 : Précipitations cumulées (en millimètres) entre le 25 et le 27 mai 2002 dans 10 stations du Nicaragua**

| Departement : | 25-27 Mai : | Accumulation au 27 Mai : | Pourcentage : |
|---|---|---|---|
| **Chinandega** | **500** | 748 | 67% |
| **Leon** | 197 | 245 | 69% |
| **Managua** | 129 | 347 **(record précédent, 125 !)** | 37% |
| **Masaya** | **558** | 814 | 69% |
| **Rivas** | 181 | 239 | 76% |
| **Ocotal** | 96 | 185 | 52% |
| **Jinotega** | 25 | 121 | 21% |
| **Juigalpa** | 45 | 154 | 29% |
| **Bluefields** | 8 | 310 | 3% |
| **San Carlos** | 8 | 218 | 3% |

**c) Etude de cas n°3 : l'épisode pluvieux sur la côte pacifique de l'Amérique centrale (du 26/5 au 1/6/2003) :**

- **Commentaire de la fig. n°76 (analyse de la photo satellite du 26/5/03) :**

L'AMP3 est canalisé entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches. Sur l'extrémité septentrionale du continent américain, l'AMP4 commence sa descente vers le sud-sud-est. Sur l'Atlantique du nord-ouest, l'AMP2 s'intégre progressivement dans l'agglutination anticyclonique dite « des Açores » (AA) comme en témoignent les lignes de pulsation (LP). Au sud de l'AA, les flux de l'alizé maritime atlantique de type 2 (Al.m) se dirigent vers la mer des Caraïbes où ils rencontrent la face avant de l'AMP1 et n'ont d'autre choix que de s'élever et/ou fuir vers le nord-nord-est, dans le couloir dépressionnaire de l'AMP, en direction de la dépression associée à cet AMP1.

L'AMP1 recouvre le Golfe du Mexique et profite de l'abaissement du relief au niveau de l'isthme de Tehuantepec pour s'écouler en masse vers le Pacifique. Les flux anticycloniques froids, incapables de s'élever, s'engouffrent dans l'isthme (« Nortes »).

**Photo satellite n°70 : GOES 8, est, vis, le 26/5/2003, 18h15 T.U**

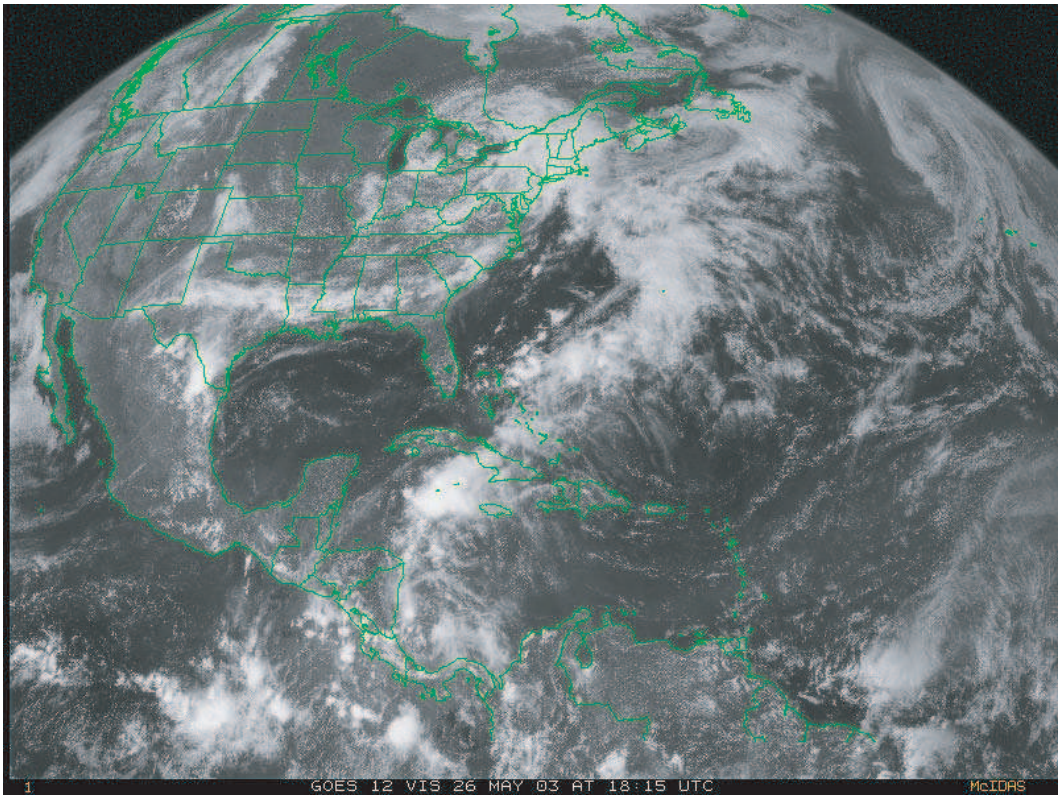



**Figure n°76 : Analyse de la photo satellite du 26/5/2003, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

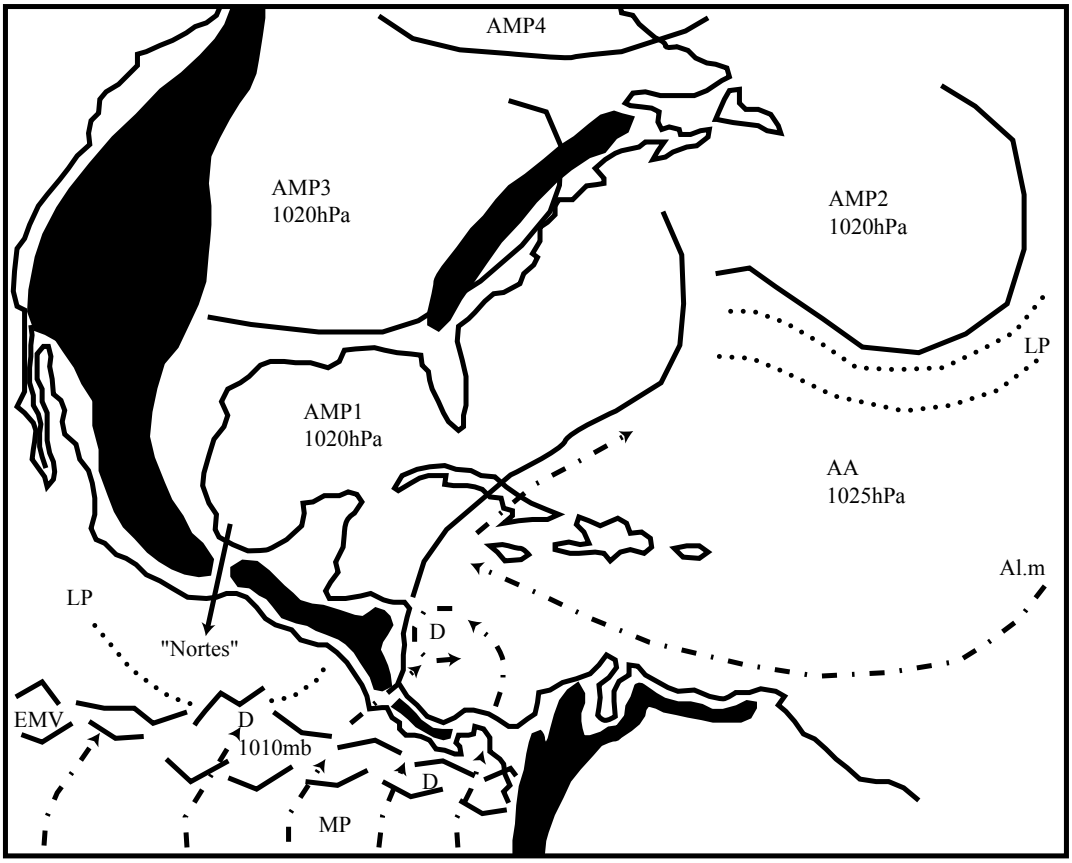


**Photo satellite n°71 : GOES 8, est, vis, le 27/5/2003, 18h15 T.U**

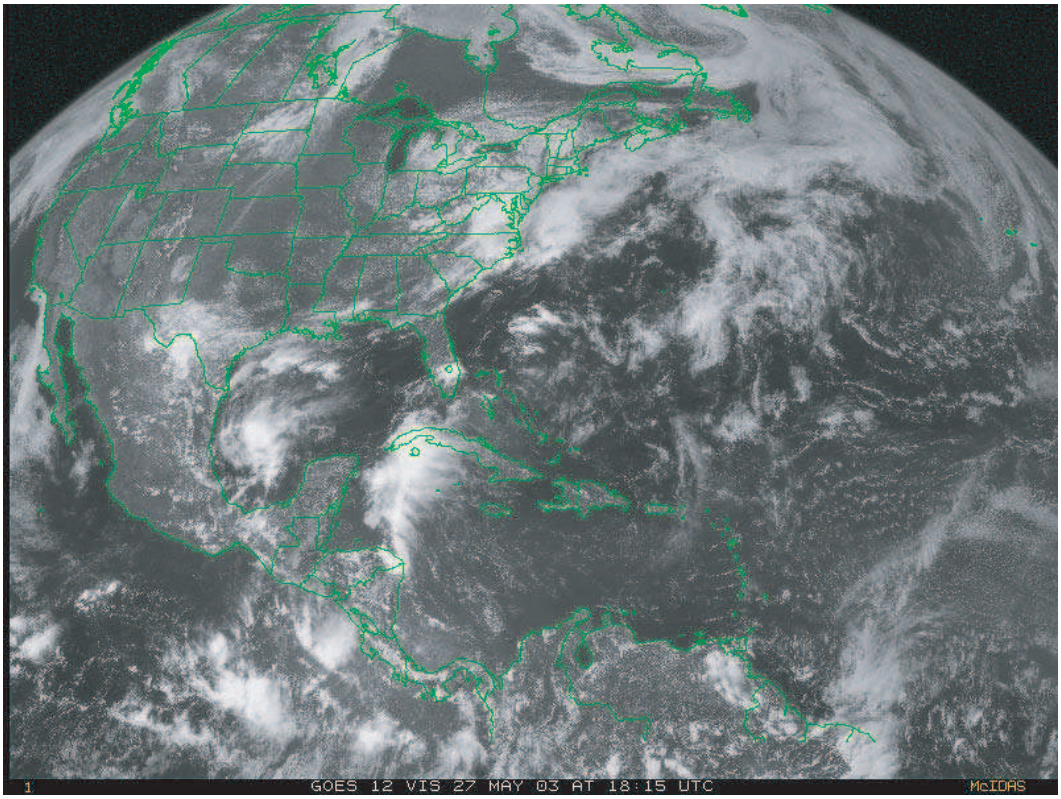



**Figure n°77 : Analyse de la photo satellite du 27/5/2003, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

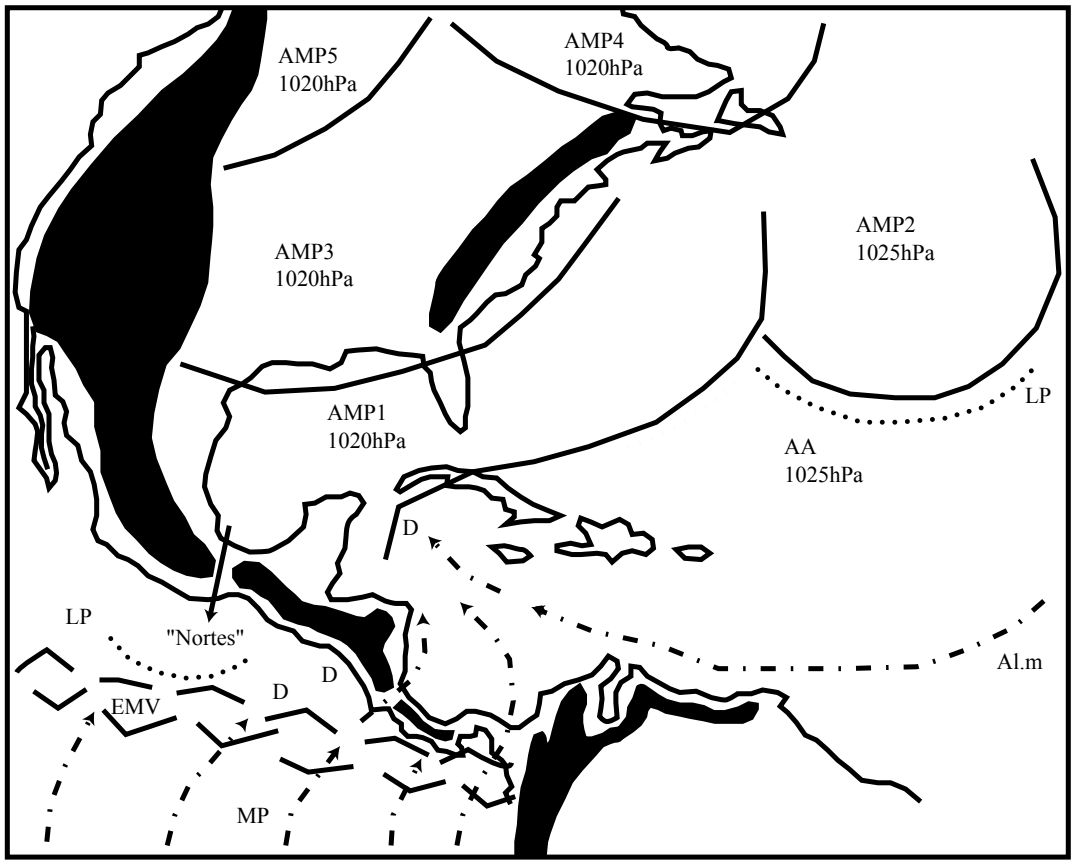


**Photo satellite n°72 : GOES 8, est, vis, le 28/5/2003, 18h15 T.U**

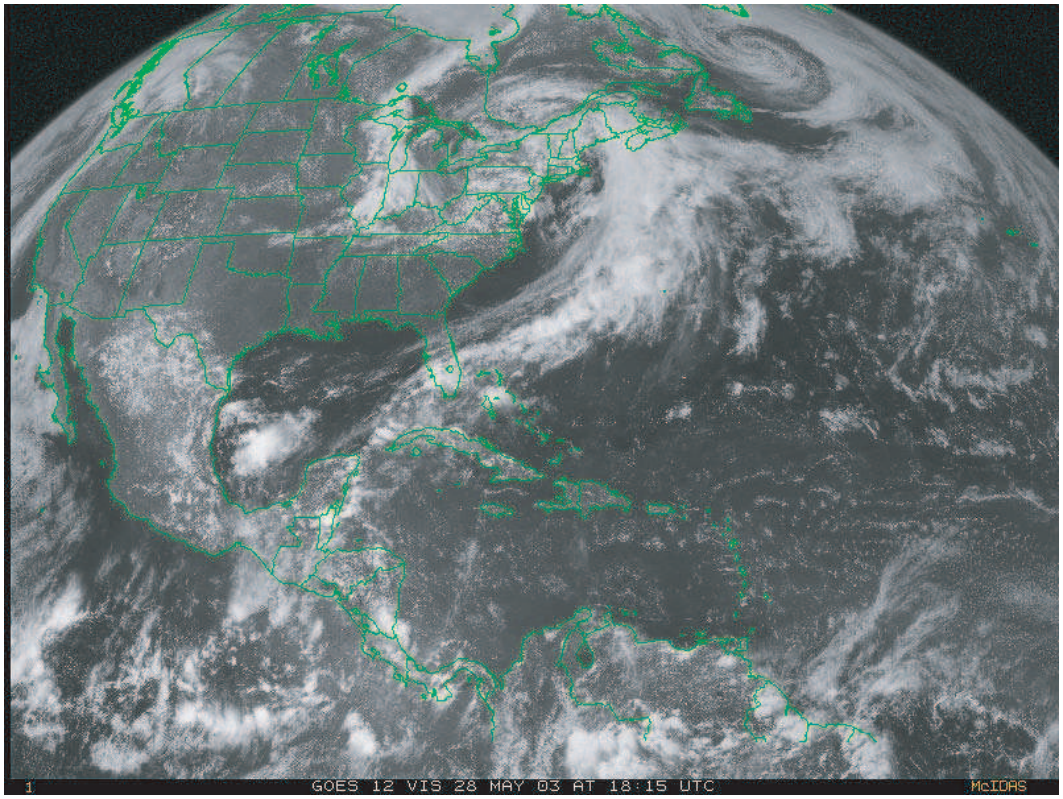



**Figure n°78 : Analyse de la photo satellite du 28/5/2003, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

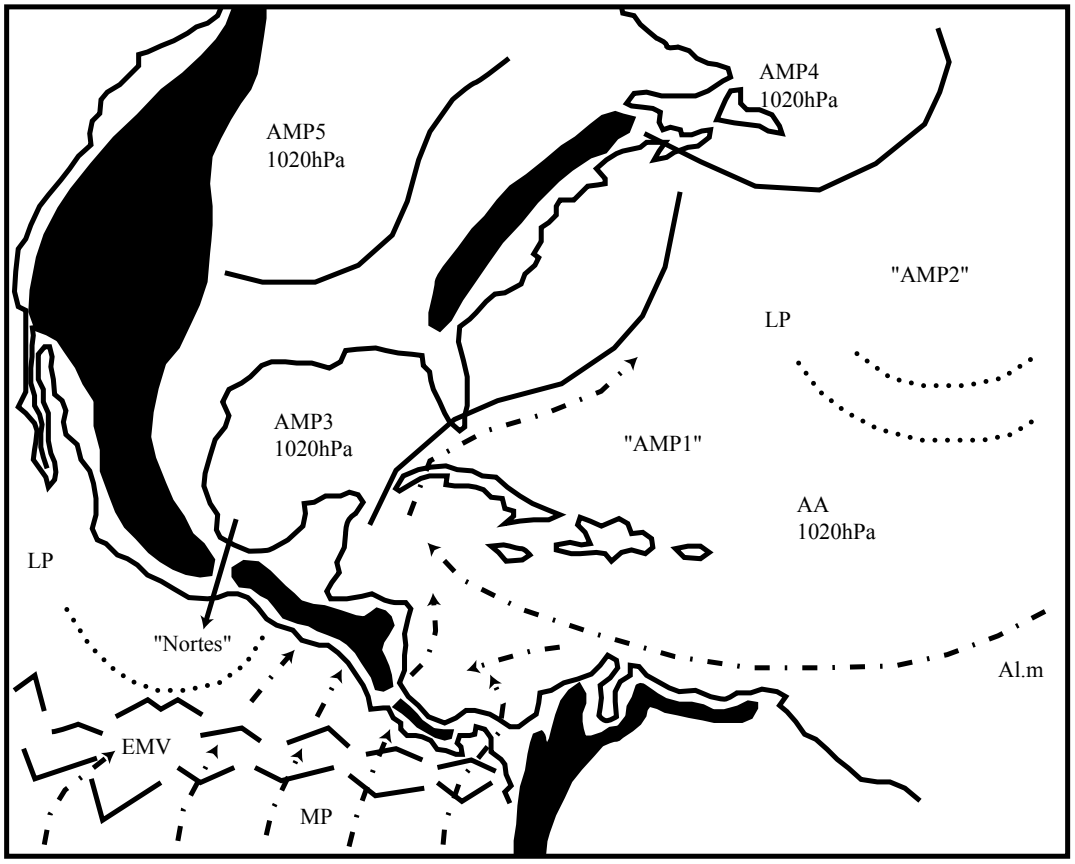


**Photo satellite n°73 : GOES 8, est, vis, le 29/5/2003, 18h15 T.U**

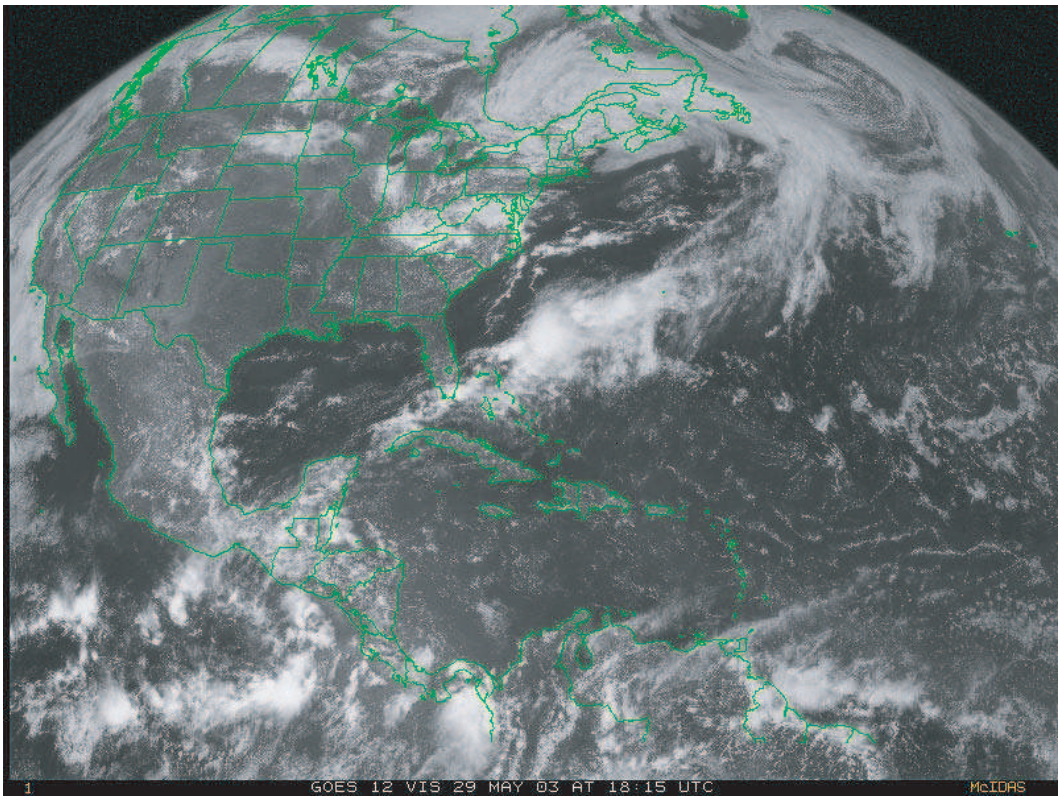



**Figure n°79 : Analyse de la photo satellite du 29/5/2003, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

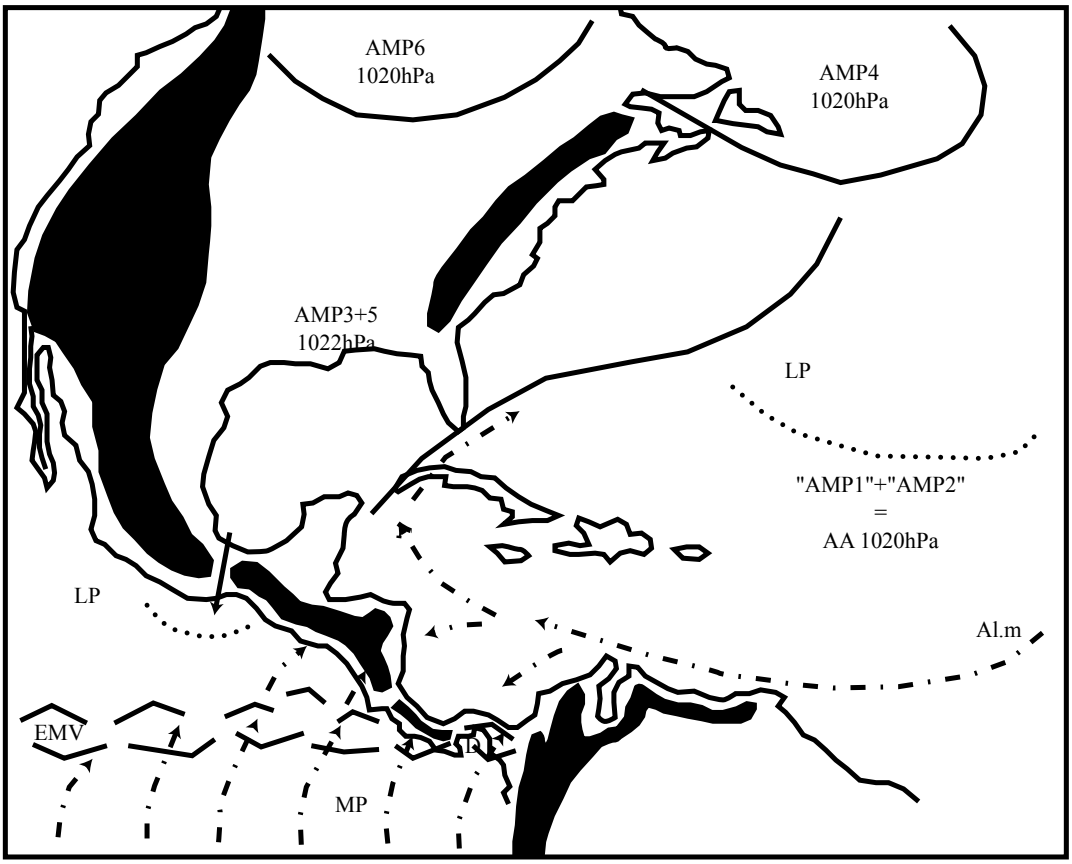


**Photo satellite n°74 : GOES 8, est, vis, le 30/5/2003, 18h15 T.U**

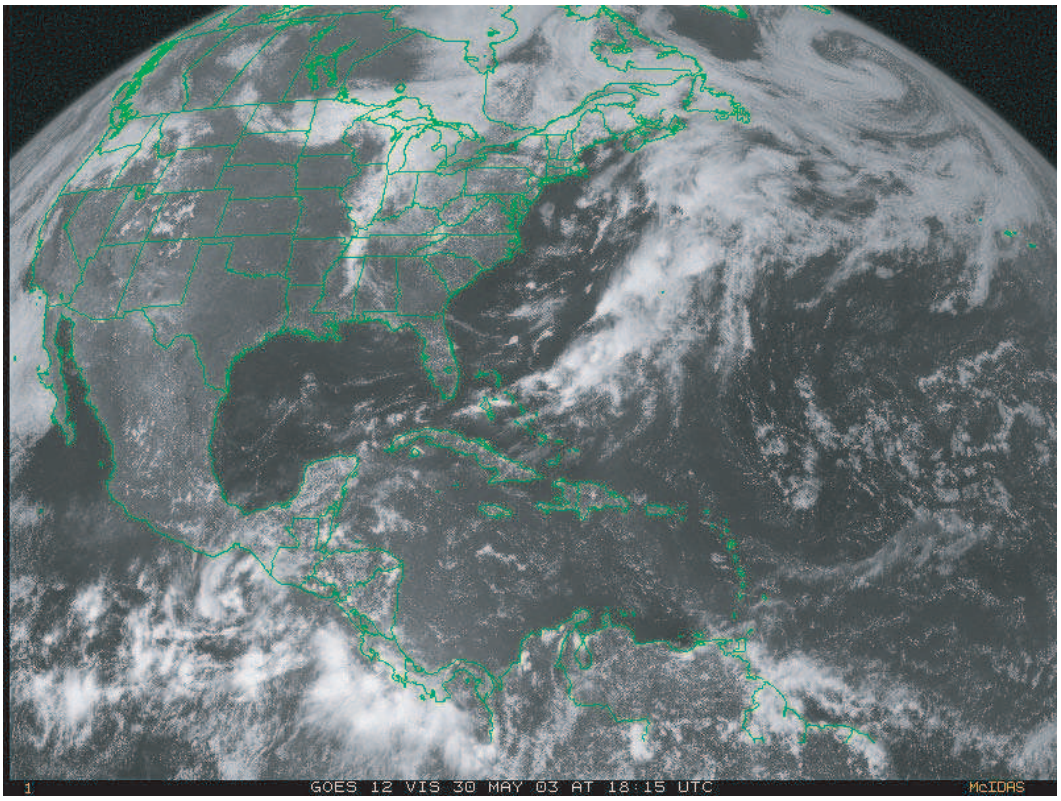



**Figure n°80 : Analyse de la photo satellite du 30/5/2003, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

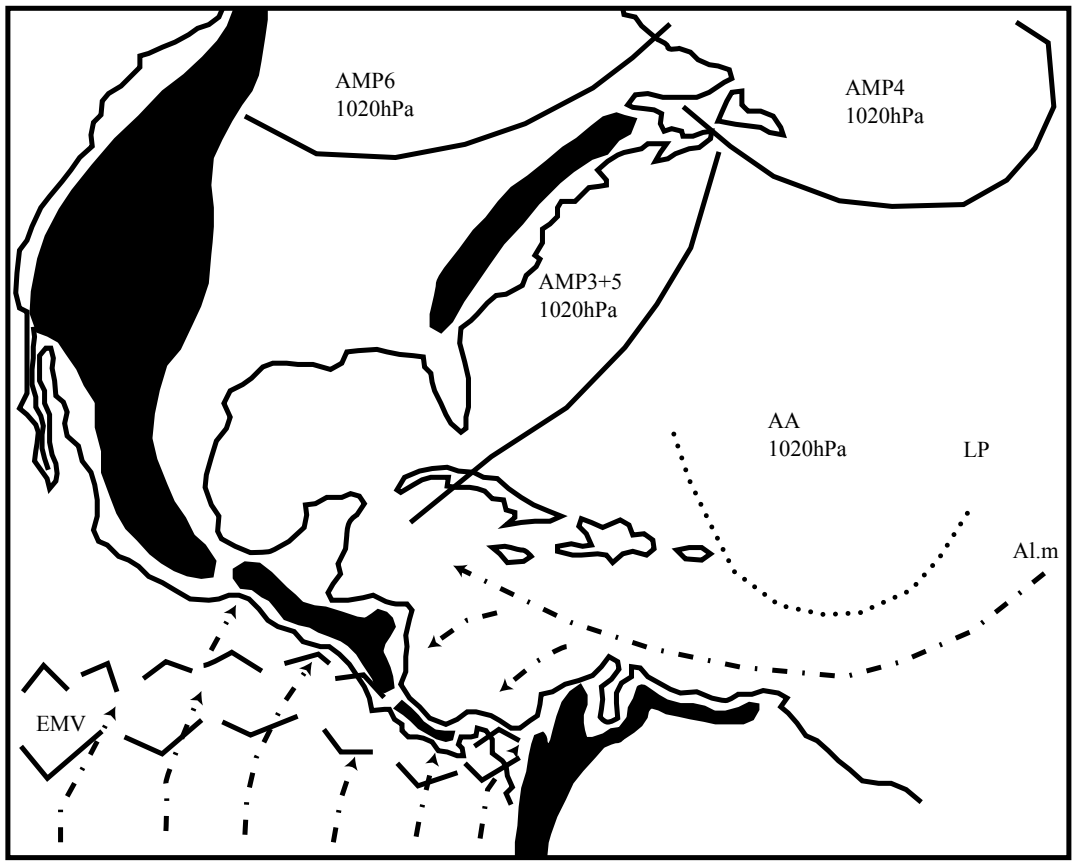


**Photo satellite n°75 : GOES 8, est, vis, le 31/5/2003, 18h15 T.U**

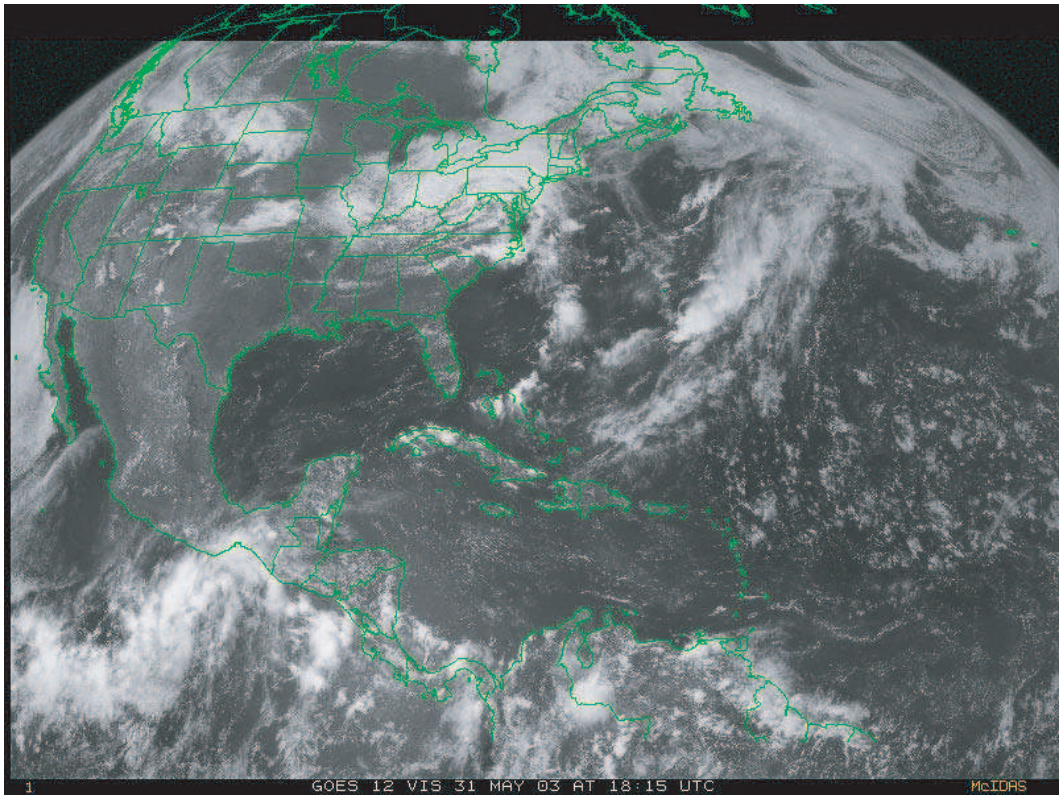



**Figure n°81 : Analyse de la photo satellite du 31/5/2003, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

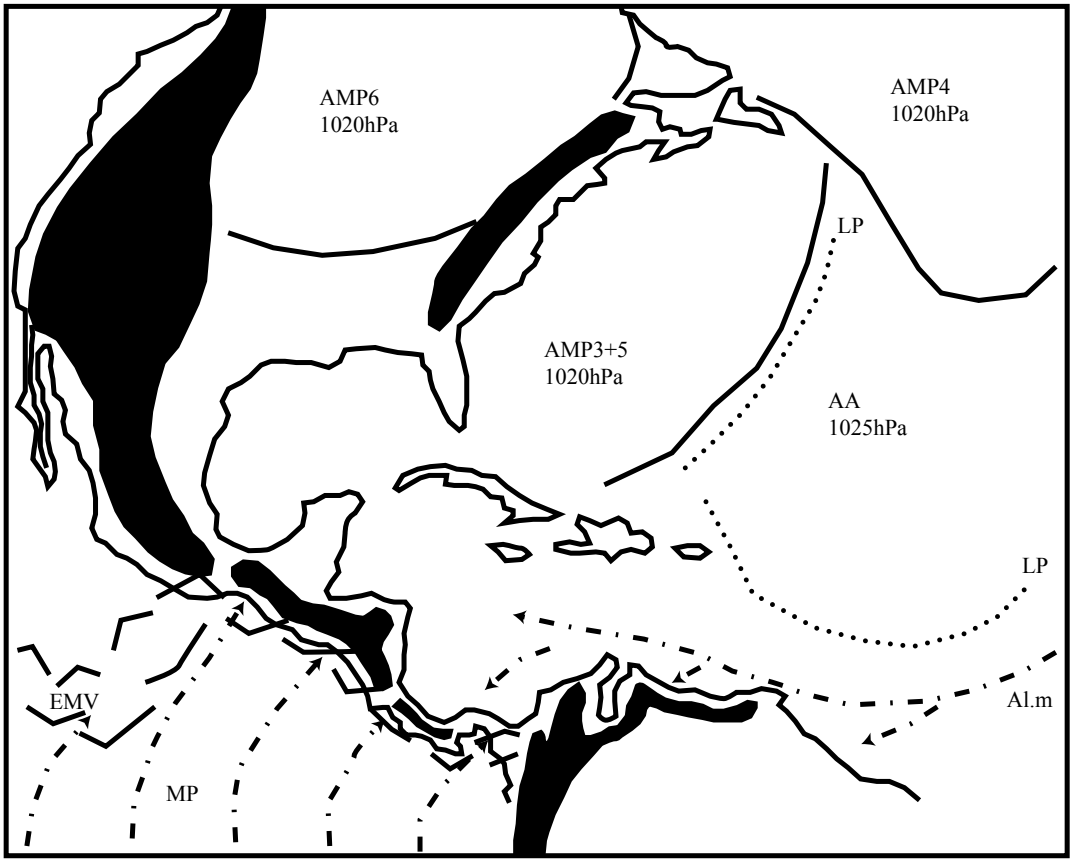


**Photo satellite n°76 : GOES 8, est, vis, le 1/6/2003, 18h15 T.U**

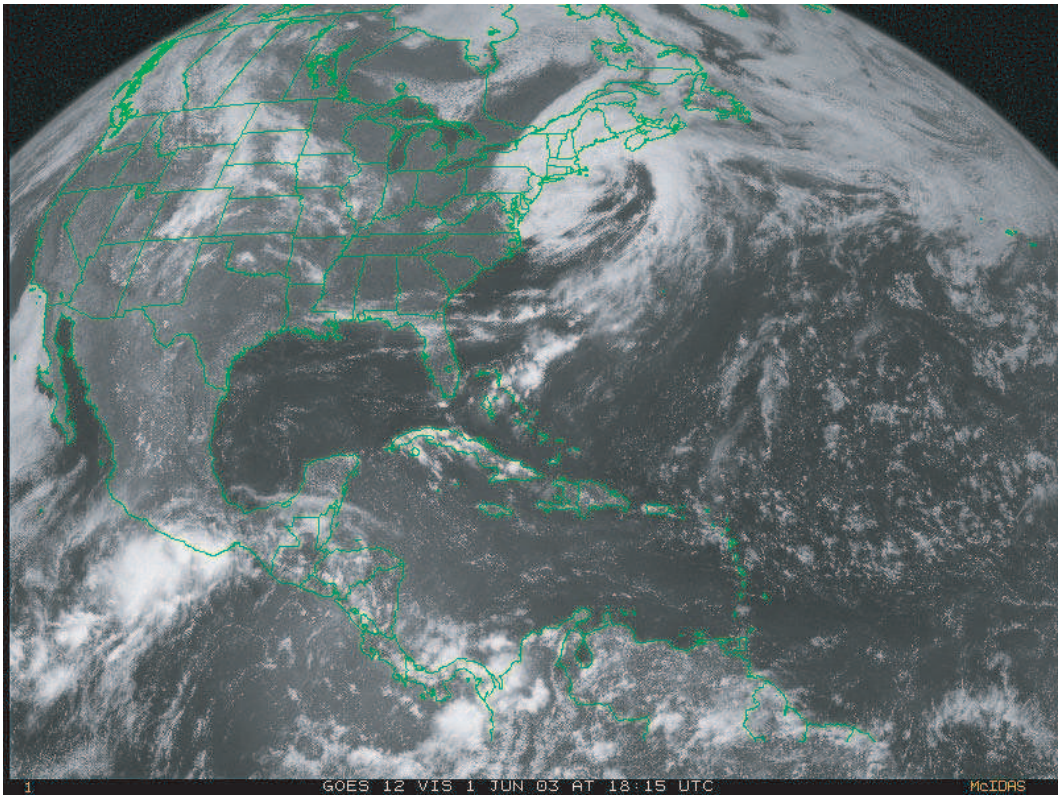



**Figure n°82 : Analyse de la photo satellite du 1/6/2003, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

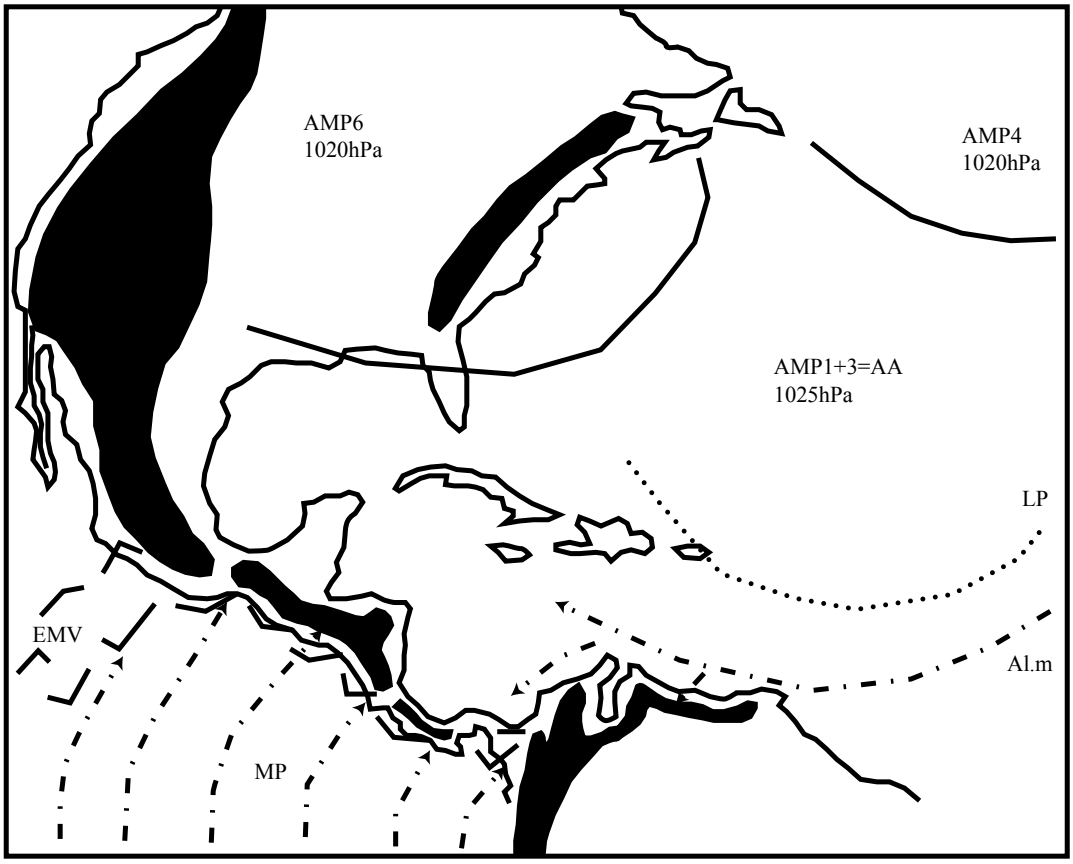


**Fig. n°83 : carte récapitulative de la position moyenne de l'équateur météorologique vertical (EMV) du 26/5 au 1/6/2003**



L'équateur météorologique vertical (EMV) est, sur le Pacifique, au sud, au débouché de Tehuantepec, repoussé vers le sud.

Dans la partie orientale de l'isthme centraméricain, l'EMV se situe à proximité du Panama, au niveau de la côte pacifique de la Colombie (Chocó) où d'importantes précipitations se déversent; au contact des reliefs côtiers (cordillère occidentale), les flux de la mousson panaméenne (MP) s'élèvent, la vapeur se condense et les pluies sont importantes.

- **Commentaire de la fig. n°77 (analyse de la photo satellite du 27/5/03) :**

Sur l'extrémité nord-ouest des Etats-Unis, à la frontière avec le Canada, nous observons un nouvel AMP, l'AMP5. Dans la partie occidentale de l'isthme, l'EMV est maintenu dans une position méridionale par l'écoulement de l'AMP1 vers le Pacifique. Dans la partie orientale de l'isthme, délaissée par l'AMP, le relief offrant une protection naturelle, l'EMV remonte vers le nord et derrière lui, les flux de la MP atteignent l'isthme. Les précipitations gagnent le Panama. Là où l'abaissement du relief le permet, les flux de la MP traversent l'isthme pour rejoindre la mer des Caraïbes.

- **Commentaire de la fig. n°78 (analyse de la photo satellite du 28/5/03) :**

Le déplacement de l'AMP3 vers le sud-sud-est favorise le déplacement vers l'est et l'intégration de l'AMP1 dans l'AA (« AMP »). Au niveau de Tehuantepec, l'AMP3 s'écoule en masse vers le Pacifique; les flux anticycloniques s'engouffrent dans l'isthme (« Norte »); l'EMV, dans cette partie de l'isthme est maintenu dans une position méridionale. Dans la partie orientale de l'isthme, l'EMV se situe plus au nord et derrière lui, les flux de la MP pénètrent violemment sur l'isthme et au contact des reliefs centraméricains (Costa Rica, Nicaragua) s'élèvent, des précipitations intenses se produisent.

- **Commentaire de la fig. n°79 (analyse de la photo satellite du 29/5/03) :**

Les AMP3 et 5 ont fusionné pour donner l'AMP3+5 qui continue à s'écouler, en partie, vers le Pacifique. Sur l'Atlantique, les AMP1 et 2 sont maintenant agglutinés dans l'AA dite « des Açores ».

Dand la partie est de l'isthme, l'EMV est acollé aux reliefs. Les flux de la MP atteignent les reliefs et les précipitations sont abondantes.

- **Commentaire de la fig. n°80 (analyse de la photo satellite du 30/5/03) :**

L'AMP3+5, progressivement tropicalisé et, en partie, écoulé vers le Pacifique libère progressivement le Golfe du Mexique. La poussée anticyclonique étant plus faible, les reliefs centraméricains offrant une protection naturelle, l'EMV peut remonter vers le nord et atteindre le Salvador. Sur la photo satellite, nous observons les flux de la MP qui pénètrent violemment sur l'isthme. L'EMV, souligné par d'intenses formations nuageuses est activé.

- **Commentaire de la fig. n°81 (analyse de la photo satellite du 31/5/03) :**

La poussée de la MP étant forte, l'EMV fait un véritable « bond en avant » vers le nord et vient maintenant toucher l'isthme de Tehuantepec. L'EMV est actif, les précipitations sont très intenses sur le sud du Mexique.

- **Commentaire de la fig. n°82 (analyse de la photo satellite du 1/6/03) :**

L'EMV pénètre encore plus au nord et gagne la Sierra Madre méridionale. A cet endroit, les formations nuageuses sont denses, l'EMV est actif. Sur la photo satellite, nous observons, très nettement que les flux de la MP incurvent progressivement leur course en direction de l'isthme.

- **Bilan de l'épisode pluvieux (fig. n°83) :**

Le 26/5/03, dans la partie orientale de l'isthme centraméricain, l'EMV est situé à proximité du Panama et vient toucher terre au niveau de la côte pacifique colombienne du Chocó qui reçoit d'importantes précipitations; dans la partie occidentale de l'isthme, l'écoulement en masse de l'AMP1 vers le Pacifique, maintient l'EMV dans une position méridionale.

Le 27, 28 et 29/5/03, l'EMV migre vers le nord dans l'est de l'isthme centraméricain et la MP pénètre violemment sur l'isthme (Le Panama, le Costa Rica et le Nicaragua subissent d'importantes précipitations); dans la partie ouest de l'isthme , l'écoulement en masse des AMP1, 3 puis 3+5, empêche l'EMV de remonter vers le nord.

A partir du 30/5/03, le déplacement de l'AMP3+5 vers l'est libère progressivement le Golfe du Mexique et la mer des Caraïbes où la pression diminue, l'orographie centraméricaine offrant une protection naturelle, la poussée de la MP étant forte, l'EMV peut remonter vers le nord et venir toucher l'isthme au niveau du Salvador-Guatemala où les pluies redoublent d'intensité.

Le 31/5 et le 1/6, l'EMV va atteindre sa position la plus septentrionale et venir toucher la côte mexicaine au pied de la Sierra Madre méridionale. Le Mexique voit s'abattre un déluge de précipitations.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

**Tableau n°2 : Précipitations cumulées (en millimètres) pendant la troisième décade de mai 2003 et anomalies (en %) par rapport aux normales historiques au Nicaragua**

| Stations : | III Décade mai-03 (mm) | Normales Historiques (mm) | Anomalies (mm) | Anomalies (%) | N° de j ours Sans Precipitation (<= 0.5 mm) | Maxima en 24 heures (mm) | Maxima en 24 heures (Jour) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **REGION DU PACIFIQUE :** | | | | | | | |
| **Corinto** | nc | 156.3 | nc | nc | nc | nc | nc |
| **Chinandega** | 198.4 | 189.5 | 8.9 | 4.7 | 2 | 58.0 | 31 |
| **León** | 135.8 | 161.8 | -26.0 | -16.1 | 5 | 47.4 | 28 |
| **Managua (Aéroport)** | 206.0 | 72.4 | 133.6 | 184.5 | 3 | 67.5 | 24 |
| **Managua (Ineter)** | 138.3 | 55.3 | 83.0 | 150.1 | 4 | 56.8 | 25 |
| **Masatepe** | 160.0 | 103.2 | 56.8 | 55.0 | 4 | 48.1 | 27 |
| **Nandaime** | 217.5 | 115.4 | 102.1 | 88.5 | 6 | 99.3 | 24 |
| **Rivas** | 100.1 | 92.5 | 7.6 | 8.2 | 5 | 53.1 | 26 |
| **REGIONS NORD ET CENTRALE :** | | | | | | | |
| **Ocotal** | 73.7 | 75.5 | -1.8 | -2.4 | 4 | 22.9 | 30 |
| **Condega** | 117.0 | 41.3 | 75.7 | 183.3 | 3 | 35.0 | 25 |
| **Jinotega** | 111.1 | 72.2 | 38.9 | 53.9 | 3 | 39.2 | 25 |
| **San Isidro** | nc | 51.8 | nc | nc | nc | nc | nc |
| **Muy Muy** | 88.1 | 74.3 | 13.8 | 18.6 | 3 | 47.3 | 27 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Juigalpa** | 130.8 | 72.8 | 58.0 | 79.7 | 5 | 57.4 | 25 |
| **REGIONS AUTONOMES DE L' ATLANTIQUE NORD ET SUD :** | | | | | | | |
| **Puerto Cabezas** | 53.8 | 110.6 | -56.8 | -51.4 | 7 | 47.7 | 23 |
| **Bluefields** | 183.1 | 108.1 | 75.0 | 69.4 | 4 | 127.4 | 28 |
| **San Carlos** | 142.2 | 63.0 | 79.2 | 125.7 | 3 | 41.8 | 27 |

**N.B :** L'observation de ce tableau montre que, pendant cette période (troisième décade de mai 2003), les précipitations cumulées ont été supérieures aux normales historiques dans toutes les stations du réseau d'observation nicaraguayen sauf à León, Ocotal et Puerto Cabezas.

**Tableau n°3 : Précipitations cumulées (en millimètres) en mai 2003 au Panama et anomalies (en %) par rapport aux normales historiques**

| Stations : | Versant : | P cumulées (mm) | Anomalies en % |
|---|---|---|---|
| **Bocas del Toro** | Caraïbes | 598 | **84,1** |
| **David** | Pacifique | 408 | 29,6 |
| **Ojo de Agua** | Pacifique | nc | 11,6 |
| **Santiago** | Pacifique | 380 | 19,5 |
| **Tonosi** | Pacifique | 250 | **53,7** |
| **Divisa** | Pacifique | 240 | **98,1** |
| **Los Santos** | Pacifique | 220 | 8,3 |
| **Anton** | Pacifique | 230 | **33,5** |
| **Hato Pintado** | Pacifique | 280 | 3,4 |
| **Tocumen** | Pacifique | 150 | **-33,2** |

**N.B :** L'observation de ce tableau montre que, pendant cette période (mai 2003), les précipitations cumulées ont été supérieures aux normales historiques dans toutes les stations du réseau d'observation panaméen sauf à Tocumen.

## 4) Conclusion :

De ces trois études de cas, celle du mois de mai 2002 restera gravée dans les mémoires des centraméricains. Alors que la partie septentrionale de l'isthme (Guatemala, El Salvador, Honduras et Nicaragua) entrait dans son dixième mois de sécheresse, la partie méridionale allait connaître une saison des pluies précoce et très virulente. Le coupable désigné : « El Niño » ! En effet, à propos de cet épisode pluvieux, nous pouvons lire que « le Niño est de retour, punissant l'Amérique latine et menaçant l'Asie » (dépêche de l'AFP de Miami, M. Enesco, 12 juin 2002). Dans cette dépêche, citant les propos de la NOAA, le journaliste nous indique que « cinq ans après avoir donné des coups de poing à la moitié de la planète, le Niño est de retour, frappant l'Amérique avec des pluies meurtrières et menaçant une grande partie du monde avec des sécheresses, des inondations et des destructions massives ». Nous apprenons qu'une « hausse de 1°C au-dessus de la température moyenne à la fin mai, des températures de surface océanique dans le Pacifique équatorial, a causé de violentes précipitations en Amérique Centrale, en Colombie et au Chili ainsi qu'une sécheresse en Indonésie, signal on ne peut plus clair d'un retour du Niño ». Une fois encore, faute d'explication rationnelle rendant compte de la réalité observée, le joker « El Niño » est agité !

En ce qui concerne la dynamique en jeu dans les deux autres épisodes pluvieux, les autorités climatiques locales se contentent de constater que la saison des pluies (« Invierno »)

est précoce et que les volumes de précipitations enregistrés sont bien supérieurs aux normales historiques !

Nous avons ici, la démonstration de la méconnaissance de l'importance de la structure EMV sur la répartition des pluies en Amérique Centrale.

Comme dans toute la zone tropicale, on se contente, au mieux, de repérer « l'ITCZ ». L'EM est mal défini, les études peu nombreuses, peu précises, effectuées sur une courte période de temps et sur un espace limité, n'apportent pas grand chose ! Aucune cartographie précise de son déplacement vers le sud en hiver boréal et inversement vers le nord en hiver austral n'est proposée (l'EM n'est même pas tracé sur les cartes de surface de la NOAA). Aucune différence n'est faite entre les basses couches et les couches moyennes (les notions d'équateur météorologique vertical (EMV) et d'équateur météorologique incliné (EMI) sont inconnues).

Pour nous permettre d'appréhender correctement l'EMV/EMI dans le secteur, il nous faudrait d'énormes moyens logistiques (une campagne d'envois de ballons sondes), moyens dont nous ne disposons évidemment pas.

Nous pouvons cependant proposer une mise au point, nécessaire, entre l'EM facteur de précipitations et l'EM lieu de naissance des perturbations.

- **L'EM facteur de précipitations et l'EM lieu de naissance des perturbations :**

Seul le modèle proposé par M. Leroux (1970, 1973, 1992, 2000) apporte une définition précise de cette structure (voir ci-dessus, partie 2, chapitre 4, 4, b) et des réponses simples aux questions soulevées.

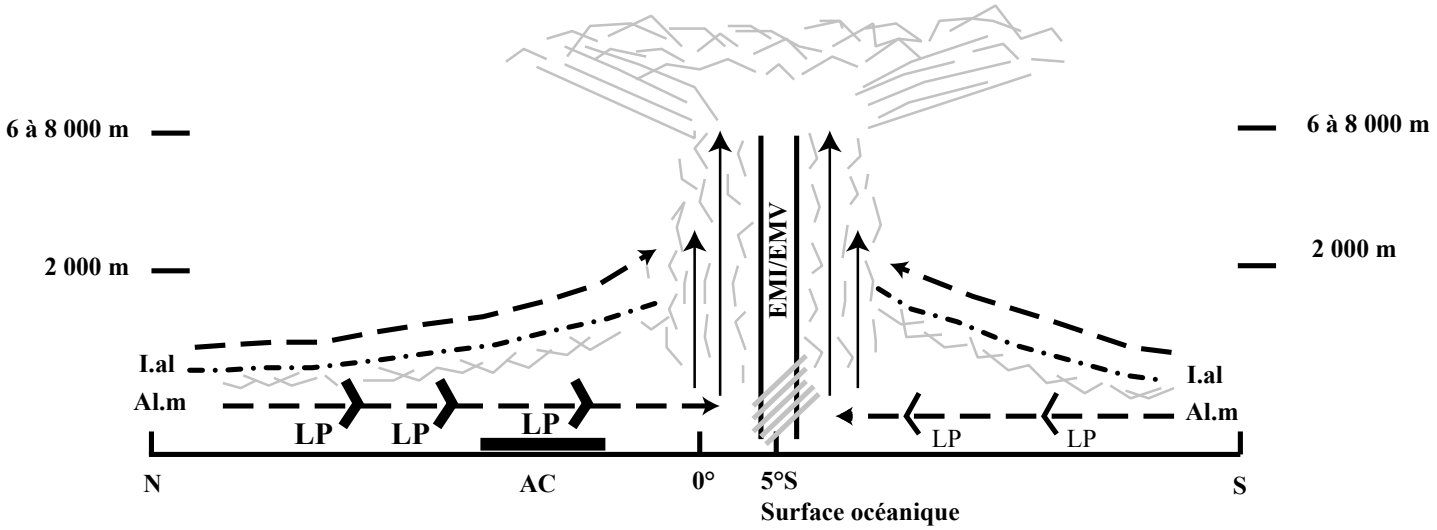
Rappelons que l'EM reconnu sur l'Afrique par M. Leroux présente, selon les niveaux, deux structures et deux comportements différents. Sur l'Afrique (vaste continent), la présence de dépressions thermiques crée un fort décalage entre l'EMV (situé dans les couches moyennes ; se déplaçant lentement au cours de l'année dans une bande zonale d'amplitude réduite ; sa position, sa migration annuelle, et ses caractères étant quasi-indépendants des conditions de surface, sa dynamique relevant de la circulation générale) et l'EMI (dans les basses couches, se déplaçant dans un bande zonale plus vaste, sa position, sa migration annuelle et ses caractères étant fortement liée au creusement et la migration des dépressions thermiques de surface).

Sur l'isthme centraméricain, le lien de terre ferme étant très étroit, nous n'observons pas (ou très peu) de dépression thermique mais des dépressions dynamiques (sur la face avant des AMP). En raison du caractère océanique très prononcé, la structure EM ne présente pas de grande différence selon les niveaux ; l'EMI connaît un faible déplacement et sa structure est très proche de celle de l'EMV(voir coupes A et B page 246 « bis »).

En Amérique centrale, l'EM va atteindre sa position la plus méridionale à la fin de la période hivernale boréale. En février-mars, il est situé entre le sud de l'Equateur et le nord du Pérou. L'EMV va atteindre sa position la plus septentrionale à la fin de la période hivernale australe. En septembre-octobre, il est situé sur la côte pacifique à proximité de la frontière entre le Guatemala et le Mexique voire un peu plus au nord, au pied de la Sierra Madre méridionale mexicaine (voir carte page 246 « ter »).

## A- Stucture verticale en février-mars :

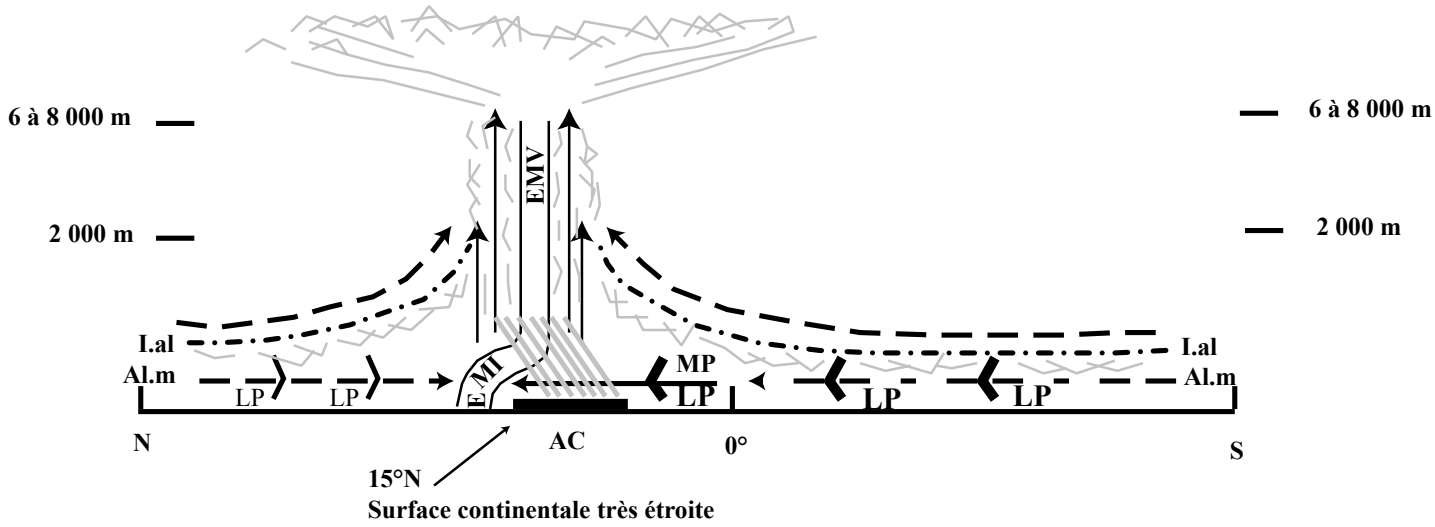
*Structures EMV et EMI très proches ou confondues; situées approximativement vers 5°S (i.e entre l'Equateur et le Perou)*




## B- Stucture verticale en septembre-octobre :

*Structures EMV située approximativement vers 15°N (i.e entre le Mexique et le Guatemala) ; structure EMI située plus au nord (à proximité de la presqu'île de Californie).*

*N.B: en été boréal, l'EM présente une structure EMI dont la pente est variable selon les longitudes et une structure EMV qui reste légèrement en retrait plus au sud*




**Equateur Météorologique**
**EMV = Equateur Météorologique Vertical**
**EMI = Equateur Météorologique Incliné**

**AC = Amérique Centrale**

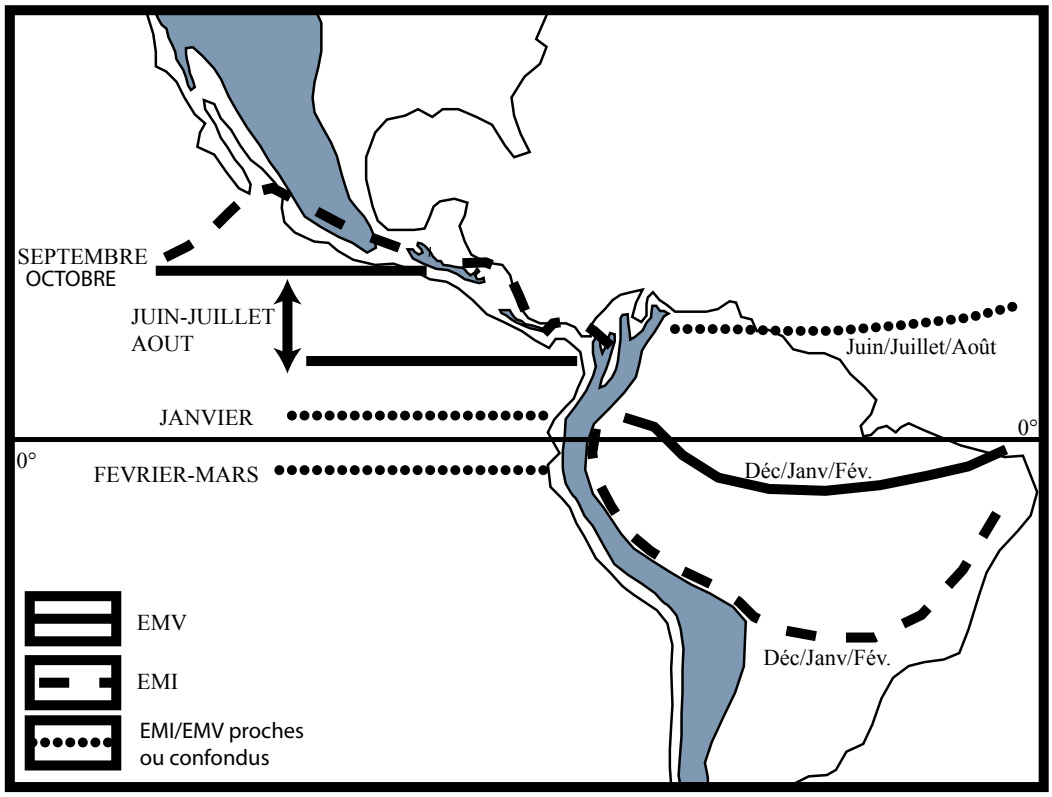
**I.al = inversion d'alizé**

**Al.m = alizé maritime**

**MP = Mousson Panaméenne**

**LP = ligne de Pulsation**

**Position moyenne de l'Equateur Météorologique :**




Janvier-février : en hiver boréal, sur l'océan, l'EMV et l'EMI sont confondus ou proches et se situent quelques degrés au nord de l'équateur géographique.

Février-mars : à la fin de l'hiver boréal, l'EM (EMI/EMV confondus ou proches) se situe dans sa position la plus méridionale, quelques degrés au sud de l'équateur géographique (en moyenne entre l'Equateur et le Perou).

Avril-mai-juin : l'EM (EMI/EMV confondus ou proches) se situe à proximité des côtes colombiennes et panaméennes. Au début de l'été boréal, à proximité du Panama, là où le relief s'abaisse, la trace au sol de l'EM (l'EMI) se situe légèrement plus au nord ; l'EMV reste quant à lui légèrement en retrait, plus au sud.

Juin-juillet-août-septembre : en hiver austral, l'EM se situe à proximité de l'Amérique Centrale ou sur l'isthme. A proximité du Nicaragua, là où le relief s'abaisse, la trace au sol de l'EM (l'EMI) se situe plus au nord ; l'EMV reste quant à lui légèrement en retrait, plus au sud.

Septembre-octobre : l'EMV va atteindre sa position la plus septentrionale (approximativemment vers 15°N, i.e entre le Mexique et le Guatemala) ; la trace au sol de l'EM (l'EMI) forme un "triangle" et se situe plus au nord (à proximité de la Sierra Madre méridionale dont les hauteurs sont dépressionnaires voire plus au nord, sur la presqu'île de Californie).

**La pente de l'EMI est donc variable selon les longitudes.**

Novembre-décembre : avec le retour de l'hiver boréal, l'EM commence sa migration vers le sud.

**N.B :** en Amérique du Sud, en hiver boréal, le facteur thermique n'intéressant que les couches proches du sol, l'EM poussé par un flux renforcé, attiré par une dépression surcreusée (située en janvier au sud de la forêt dense vers 20° de latitude sud), n'est fortement déplacé vers l'hémisphère en été que dans les basses couches. La partie non influencée de l'EM, dans les couches moyennes n'enregistre que le décalage d'ensemble de la circulation générale, le même que celui des AA. En Amérique du Sud, au-dessus de la cuvette amazonienne, l'EM possède alors deux structures, une structure inclinée (EMI) dans les basses couches qui superpose un alizé sur une mousson et une structure verticale (EMV) dans les couches moyennes où se rencontrent les strates supérieures des alizés nord et sud. En hiver austral, l'EM se situe sur l'extrémité nord de l'Amérique du Sud. Sur l'océan, l'EMI et l'EMV sont confondus ou proches.

L'EM, effectuant, au gré des saisons, un double passage sur l'Amérique Centrale est donc généralement un axe de précipitations abondantes, régulières, fines, continues, prolongées et non orageuses (procurant un régime bimodal des précipitations, expliquant l'alternance saison sèche/saison humide ainsi que la « Canícula », sur les versants et la plaine côtière du côté de l'océan Pacifique). L'EMV est alors, dans cette configuration là un formidable facteur de précipitations, « La » structure pluviogène par excellence.

En Amérique Centrale, en raison des discontinuités de caractères et de vents, la structure EM devrait être particulièrement stérilisante. Cependant, dans cette région, et c'est une particularité, en hiver austral, l'Al.m atlantique de type 2 issu de l'AA dite des « Bermudes/Açores », passe au-dessus de la MP issue de l'AA pacifique dite de « l'île de Pâques ». Ces flux, tous deux proches de la saturation se rencontrent selon des directions quasiment opposées le long de la structure EM. En raison de la très grande proximité de l'océan et du comportement thermique de type océanique de la forêt tropicale humide, l'EMI, presque vertical sur plus de 2 000 mètres d'épaisseur est alors susceptible d'une intense activité. Le handicap structural (cisaillement) est compensé par la richesse du potentiel précipitable advecté par le flux de mousson et l'Al.m de type2.

Dans des configurations dynamiques bien précises (voir ci-dessus, partie 3, chapitre 3, 3 a, b et c ; voir ci-dessous, chapitre 4, 3, a ainsi que chapitre 5, 3, a et c) le passage de LP, dans les basses couches, peut avoir de lourdes conséquences.

Sur le Pacifique, les LP dans l'Al.m issu de l'AA du Pacifique du sud-est dite « de l'île de Pâques » continuent leur route, au franchissement de l'équateur géographique, dans la mousson panaméenne (MP). En dessous de l'EM, la LP participe alors à l'activité de cette structure favorable aux ascendances (l'EMV/EMI présentant une structure proche, quasi verticale sur plus de 6 000 mètres). Le passage d'une LP peut provoquer l'ascendance directe vers cette structure du potentiel transporté par l'Al.m et/ou la mousson. Dans ce cas, l'EM disposant déjà d'un abondant potentiel précipitable et représentant encore l'axe de concentration de ce potentiel, des nuages et des pluies, la densité des formations nuageuses zonales et son activité (non constante) sont alors conditionnées par l'arrivée à son aplomb des LP ; des perturbations tropicales peuvent naître et se développer dans cette structure favorable aux ascendances, la déformer, entraîner sa remontée vers le nord, des précipitations orageuses, violentes et dévastatrices peuvent alors localement se produire. L'EM est alors un lieu de naissance des perturbations tropicales.

Une fois ces perturbations tropicales développées, l'EM peut alors être amené à pénétrer brusquement sur la côte pacifique de l'Amérique Centrale et, avec lui, les flux de la MP peuvent être amenés à franchir l'isthme (en empruntant les isthmes secondaires, les ensellements) et/ou à s'élever violemment au contact des reliefs et /ou de la face avant d'un AMP, déversant ainsi des quantités importantes de pluie (les manifestations orageuses peuvent être d'une rare violence d'autant que le relief centraméricain et/ou la face avant d'un AMP et/ou la présence d'un système dépressionnaire peuvent faciliter les ascendances donc le refroidissement donc la condensation donc les précipitations).

Nous pouvons donc, à nouveau nous étonner (comme nous l'avons fait pour les LP), du fait que cette structure EM ne soit pas l'objet d'études menées à grande échelle, avec les moyens logistiques adéquats pour enfin mieux cerner son déplacement saisonnier, son impact (essentiel en ce qui concerne la répartition annuelle et les différents régimes des précipitations) sur le climat de l'Amérique Centrale. A défaut d'avoir les moyens matériels

d'effectuer une recherche plus approfondie, il nous semble urgent de souligner que les spécialistes de la région devraient s'intéresser à cette structure, si visible, si réelle pour le satellite, tant son importance est grande pour le climat centraméricain.

**« Managua inondée en mai 2003 »**
**(cliché , El Mundo)**

*(Managua, le 29 mai 2003)*



Nous allons maintenant nous intéresser aux « Temporales ».

**UNIVERSITÉ JEAN MOULIN-LYON III**
UMR 5600 du CNRS
Laboratoire de Géographie Physique
Environnement-Ville-Société
18 rue Chevreul 69362 Lyon Cedex 07
Tél : 0478787403
Fax : 0478787185
**-Septembre 2004-**

# LA DYNAMIQUE DU TEMPS ET DU CLIMAT EN AMERIQUE CENTRALE

**Thèse présentée par Emmanuel BARBIER**
**Sous la direction du Professeur Marcel LEROUX**

**Devant un jury composé de :**

**Monsieur Jean-Pierre VIGNEAU, Professeur à l'Université Paris X - Nanterre**
**Monsieur Yannick LAGEAT, Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale**
**Monsieur Michel MIETTON, Professeur à l'Université Lyon III**
**Monsieur Marcel LEROUX, Professeur émérite à l'Université Lyon III**

**Tome 2**

LA DYNAMIQUE DU TEMPS ET DU CLIMAT EN AMERIQUE CENTRALE

**Tome 2 :**


Chapitre 4 : Les « Temporales » ..... 249
1) Introduction : ..... 249
2) Bilan bibliographique : ..... 249
3) Etudes de cas : ..... 251
a) Etude de cas n°1 : l'épisode du Chiapas (du 7 au 10/9/1998) ..... 251
b) Etude de cas n°2 : étude de l'épisode « Keith » (du 24/9 au 1/10/2000) : ..... 267
4) Conclusion : ..... 288
Chapitre 5 : Les cyclones tropicaux ..... 289
1) Introduction : ..... 289
2) Bilan bibliographique : ..... 289
a) La structure d'un cyclone (M. Leroux, 2000) : ..... 289
b) Les conditions de la cyclogenèse : ..... 290
c) La géographie des cyclones tropicaux dans notre espace d'étude : ..... 292
3) Etudes de cas de cyclone atlantiques : ..... 295
a) Etude de cas n°1 : le cyclone « Michelle » (du 27/10 au 7/11/2001) : ..... 295
b) Etude de cas n°2 : étude du cyclone « Mitch » (du 21/10/98 au 7/11/1998) : ..... 314
c) Etude de cas n°3 : l'étude du cyclone « Lenny » (du 13/11/99 au 23/11/1999) : ..... 343
4) Synthèse sur les cyclones atlantiques : ..... 363
5) Les cyclones pacifiques ; les « Cordonazos » : ..... 364
a) Bilan bibliographique : ..... 364
b) Etude de cas d'un « Cordonazo » : le cyclone « Kenna » (du 22 au 26/10/2002) : ..... 364
6) Synthèse sur les cyclones pacifiques (fig. n°161 : La dynamique propre aux « Cordonazos ») : ..... 374
Chapitre 6 : Les cyclones transisthmiques ..... 376
1) Introduction : ..... 376
2) Bilan bibliographique : ..... 376
3) Etudes de cas de cyclones transisthmiques : ..... 376
a) Etude de cas n°1 : la DT n°9 (du 19 au 20/9/2001) puis le cyclone/*Cordonazo* « Juliette » (du 21/9 au 3/10/2001) : ..... 376
b) Etude de cas n°2 : le cyclone « Iris » (du 4 au 10/10/2001 sur l'Atlantique) puis le cyclone « Manuel » (du 10 au 18/10/2001 sur le Pacifique) : ..... 405
4) Synthèse sur les cyclones transisthmiques : ..... 428
Chapitre 7 : Conclusion/Synthèse de la partie 3 ..... 430
1) Introduction : ..... 430
2) Les facteurs de la classification climatique du climat en Amérique Centrale : ..... 430
a) Les AMP : ..... 430
b) Le relief : ..... 431
c) Le critère aérologique : ..... 431
3) Les grands domaines aérologiques de l'isthme centraméricain (cartes n°42) : ..... 432
a) Introduction : Les types climatiques centraméricains ..... 432
b) Les domaines à tonalité climatique unique à proximité de l'Amérique Centrale (carte n°42) : ..... 432
c) Les domaines à tonalités climatiques alternées (ou saisonnières) en Amérique Centrale : ..... 432
4) Les régions climatiques de l'isthme centraméricain (carte n°43) : ..... 432

PARTIE 4 : L'ÉVOLUTION CLIMATIQUE RÉCENTE ..... 437
Introduction : ..... 437
Chapitre 1 : Etude des pressions de part et d'autre de l'isthme centraméricain : ..... 437
1) Introduction : ..... 437
a) Origine des données utilisées : ..... 437
b) Présentation des grilles de points utilisées (cartes n°44 et n°45) : ..... 437
c) La méthode : ..... 440
2) Etude de l'évolution climatique récente des pressions dans l'espace du Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et de la mer des Caraïbes (cartes n°46 à 48) : ..... 440
a) Introduction : ..... 440
b) Etude de l'évolution des pressions moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°46) : ..... 440
c) Etude des rythmes saisonniers (cartes n°47 et n°48) : ..... 446
3) Conclusion de l'étude des pressions dans le Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et la mer des Caraïbes : ..... 446
4) Etude de l'évolution climatique récente des pressions dans l'espace du Pacifique est (cartes n°49 à 55): ..... 447
a) Introduction : ..... 447
b) Etude des pressions moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°49) : ..... 447
c) Etude des « pressions moyennes annuelles » dans le sous-ensemble du Pacifique du nord-est 1948-1977 (carte n°50) et 1978-03 (carte n°51) : ..... 457
d) Etude des pressions moyennes annuelles dans le Pacifique centraméricain, 1948-1969 (carte n°52) et 1970-2003 (carte n°53) : ..... 458
e) Etude des « rythmes saisonniers » (carte n°54, pressions moyennes décembre/janvier/février (1949-2003) et n°55, pressions moyennes juin/juillet/août (1948-2003) : ..... 459
5) Conclusion sur l'étude des pressions (1948-2003) dans le Pacifique est : ..... 460
Chapitre 2 : étude des températures de part et d'autre de l'isthme centraméricain ..... 463
1) Introduction : ..... 463
a) Origine des données utilisées : ..... 463
b) Présentation des grilles de points utilisées (cartes n°44 et n°45) : ..... 463
c) La méthode : ..... 463
2) Etude de l'évolution climatique récente des températures dans l'espace du Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et de la mer des Caraïbes (cartes n°56 à 60) : ..... 464
a) Introduction : ..... 464
b) Etude de l'évolution des températures moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°56) : ..... 464
c) Etude des rythmes saisonniers (cartes n°57 et n°58) : ..... 471
d) Etude de l'évolution des températures moyennes annuelles 1948-1969 (carte n°59) et 1970-2003 (carte n°60) : ..... 471
3) Conclusion sur l'étude des températures dans l'espace de l'Atlantique du nord-est, le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes : ..... 472
4) Etude de l'évolution climatique récente des températures dans l'espace du Pacifique est (cartes n°61 à 68) : ..... 472
a) Introduction : ..... 472
b) Etude des températures moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°61) : ..... 483
c) Etude des températures moyennes annuelles dans le sous-espace du Pacifique du nord-est 1948-1977 (carte n°62) et 1978-2003 (carte n°63) : ..... 483
d) Etude des températures moyennes annuelles 1948-1969 (carte n°64) et 1970-2003 (carte n°65) dans le sous-ensemble du Pacifique centraméricain ..... 484
e) Etude des températures moyennes annuelles 1980-2003 (carte n°66) dans le sous-ensemble du Pacifique centraméricain, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale : ..... 484
f) Etude des rythmes saisonniers, les températures moyennes décembre, janvier, février 1949-2003 (carte n°67) et des températures moyennes juin, juillet, août 1948-2003 (carte n°68) : ..... 485
5) Conclusion sur l'étude des températures dans le Pacifique est : ..... 485
Chapitre 3 : Etude des précipitations en Amérique Centrale (1960-1995) ..... 487
1) Introduction : ..... 487
a) origine des données utilisées : ..... 487
b) Présentation du fichier utilisé : ..... 487
c) La méthode : ..... 488
2) Présentation, lecture et analyse de quelques courbes de références 1960-1995 (fig. n°220 à 242) : ..... 488

a) Présentation des courbes de références réalisées : ..... 488
b) Lecture et analyse des courbes de références : ..... 488
3) Présentation, lecture et analyse du tableau récapitulatif n°22 (accompagné des fig. n°220 à 242 et des cartes n°70 à 73) : ..... 488
a) Présentation du tableau réalisé : ..... 488
b) Lecture et analyse du tableau : ..... 500
4) Conclusion sur l'étude des précipitations : ..... 503
Chapitre 4 : Etude de l'évolution historique des cyclones et des tempêtes tropicales (1949-2003) dans l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes et dans l'espace du Pacifique du nord-est ..... 504
1) Introduction : ..... 504
a) Origine des données utilisées : ..... 504
b) Présentation des fichiers utilisés : ..... 504
c) la méthode : ..... 504
2) Présentation, Lecture et analyse des résultats graphiques de l'étude (Graphiques circulaires n°1 et 2 ; Fig. n°243 à 258 ; Tableau n°23) : ..... 504
a) Présentation des résultats graphiques de l'étude : ..... 504
b) Lecture et analyse des graphiques circulaires : ..... 513
c) lecture et analyse des courbes produites : ..... 513
d) Lecture et analyse du tableau récapitulatif : ..... 514
3) Conclusion sur l'évolution historique des cyclones : ..... 514
Chapitre 5 : Conclusion/Synthèse de la partie 4, la dilatation de l'hémisphère météorologique nord et ses conséquences climatiques en Amérique Centrale ..... 516
1) Introduction : ..... 516
2) Les conséquences climatiques : ..... 516
a) L'évolution des pressions de part et d'autre de l'isthme : ..... 516
b) L'évolution des températures de part et d'autre de l'isthme : ..... 516
c) L'évolution des précipitations en Amérique Centrale : ..... 516
d) L'évolution de l'activité cyclonique de part et d'autre de l'isthme : ..... 517
e) Le scénario *effet de serre* et les conséquences climatiques observées de part et d'autre de l'isthme centraméricain : ..... 517
3) Explications : la dilatation de l'hémisphère météorologique nord et un mode de circulation rapide : ... 519
a) La dilatation de l'hémisphère météorologique nord : ..... 519
b) Un mode de circulation générale rapide : ..... 519
4) Le phénomène « El Niño » (voir partie 1, chapitre 2, 3, carte n°6 et partie 1, chapitre 3, 5) : ..... 520
CONCLUSION GÉNÉRALE : ..... 523
BIBLIOGRAPHIE :……..529

# Chapitre 4 : Les « Temporales »

## 1) Introduction :

De toutes les perturbations affectant le temps et le climat en Amérique Centrale, les « Temporales » sont, sans aucun doute, celles qui prêtent le plus à confusion tant leur définition reste floue. Quelle est donc la dynamique propre aux « Temporales » ?

## 2) Bilan bibliographique :

Les « Temporales » ont été étudiés par de nombreux auteurs : Portig (1958, 1960) ; Pallmann et Reyes (1967) ; Pallmann et Murino (1967) ; (Guzman, 1971) ; Lamarre (1991)... Cependant, bizarrement, « les situations atmosphériques les plus terribles de la côte pacifique de l'Amérique Centrale » (Guzman, 1971), restent mal définies, mal comprises et source de nombreux malentendus. De plus, si les auteurs cités ci-dessus se sont intéressés en leur temps aux « Temporales », nous remarquons que dans notre quête bibliographique nous n'avons pas trouvé d'articles récents traitant de ce type de perturbation pourtant très violente et destructrice !

Si l'adjectif espagnol « temporal » (se rapportant à quelque chose qui se produit en un temps limité) fait l'unanimité, il n'en est pas de même avec le substantif. En Espagne, un « Temporal » se caractérise par de forts orages, en Argentine, il s'agit de vents puissants (minimum 8 sur l'échelle de Beaufort, 62 à 74 km/h), en Amérique Centrale, il s'agit généralement d'une « situation atmosphérique caractérisée par des pluies continues, étendues et sans décharges électriques, indépendamment du fait d'être ou non accompagnées de vents forts » (Portig, Wilfried H., 1958).

Selon Portig, (1976) les « Temporales » en Amérique Centrale sont caractéristiques de deux régions (la côte nord du Honduras et toute la côte pacifique de l'Amérique Centrale). Cependant, les auteurs s'accordent généralement pour dire que les « Temporales » de la côte atlantique diffèrent de ceux de la côte pacifique : « l'origine et la structure des *Temporales* de la côte du Pacifique n'ont pas été suffisamment étudiés, on sait cependant qu'ils sont quelque peu différents de ceux du Honduras » (Portig, 1976). « Les *Temporales* du Honduras se produisent pendant les invasions d'air froid depuis le nord » (Portig, 1976) ; Dans un « Temporal del Caribe », « la convection peut être activée plusieurs jours de suite à proximité d'une ligne de discontinuité dans l'alizé, elle même liée à un *Norte* » (Lamarre, 1991).

Les conditions dynamiques propices à l'apparition d'un Temporal sont parfois présentées.

Pallmann dans son modèle (1968) met en avant les conditions suivantes pour que puisse se développer un « Temporal » : « conditions isobariques anticycloniques sur les Antilles et sur le Pacifique tropical est ». Pallmann observant un important flux trans-équatorial résultant de l'activation de l'ITCZ, « les *Temporales* sont donc en fait des perturbations prenant naissance dans l'ITCZ sur la partie est du Pacifique » (Pallmann, 1968).

Guzman (1971) remarque lui aussi que « les *Temporales* ont presque toujours leur origine dans l'ITCZ ». Cet auteur nous propose un certain nombre de « systèmes atmosphériques » peuvant donner naissance à un « Temporal » :

- Un cyclone dans les Caraïbes peut induire une basse pression sur le Pacifique.
- Un cyclone qui traverse l'isthme.
- Un « Temporal » peut évoluer en « Cordonazo » et inversement.

- En octobre, novembre et décembre, lors des invasions d'air froid, quand les « Nortes » traversent l'isthme, l'ITCZ peut être activée.

Lamarre (1991), met lui aussi en avant le fait que « les épisodes pluvieux de type « Temporal » résultent de l'installation des amas convectifs de la CIT active sur une bonne partie de la bordure pacifique de l'isthme ». Certains « enchaînements » vont conduire à la formation d'une « CIT extensive méridienne » dans les parages de l'isthme. Si ces « enchaînements » sont les mêmes que ceux proposés par Guzman, Lamarre remarque pendant un « Temporal » :

- Un « renforcement de la circulation de sud-ouest sur le Pacifique oriental ».
- « Chaque fois que la circulation perturbée de sud-ouest atteint l'isthme, les conséquences pluviométriques sont amplifiées par la disposition des reliefs ».

Pour Lamarre (1991), « il semble, tout de même, que le facteur décisif réside dans la dynamique cyclonique, caraïbe ou pacifique, et dans sa capacité de déranger durablement sur la longitude de l'isthme, la CIT pacifique zonale ».

Quels sont les liens entre les « Temporales » et les cyclones ? Pour de nombreux auteurs, les « Temporales » du Pacifique apparaissent être des dépressions tropicales se déplaçant très lentement le long de la côte. « Une dépression tropicale pouvant se transformer en « Temporales » et inversement » (Lessmann, 1962).

Les « Temporales » ressemblent à des cyclones. D'après l'étude des clichés satellites, Portig, (1976) remarque qu'un « Temporal » possède comme un cyclone des bandes nuageuses organisées en spirale et qu'il en a grossièrement la taille. Mais contrairement à un cyclone, le vent est dans un « Temporal » (à quelques exceptions près) faible à modéré, les éclairs et le tonnerre qui peuvent se produire dans un cyclone sont presque complètement absents dans un « Temporal » du Pacifique. De plus, contrairement à un cyclone, « le *Temporal* se caractérise par une dépression qui s'étale sans un creusement significatif en altitude » (model de Pallmann, 1968).

Dans le Pacifique nord-est, « normalement, les *Temporales* se déplacent lentement au large de la côte pacifique de l'Amérique Centrale vers le nord-ouest pouvant cependant rester quasi stationnaires et occasionnellement suivre une direction complètement anormale » (Guzman, 1971).

« Un *Temporal* (...) peut se développer en cyclone », on parle alors de « Cordonazo » (Guzman, 1971).

Les impacts économiques et humains des « Temporales » sont nombreux. Ces perturbations déversent une quantité importante de pluie, entraînant des glissements de terrains, des coulées de boue, des inondations... dramatiques pour les populations locales qui souvent paient de leur vie. Dans la littérature, nous trouvons de nombreux exemples prouvant la violence de ces phénomènes : « en 24 heures, il peut tomber 426 millimètres » (Reyes, 1967), « 434 millimètres du 5 au 8 juin 1934 à San Salvador, plus de 800 millimètres dans certaines fermes de La Cumbre lors de ce même épisode, plus de 700 millimètres du 19 au 24 octobre 1923 à Cristobal (Colon) dont 255 millimètres le 22 octobre » (Guzman, 1971).

Quelques auteurs mettent cependant en avant le fait que « les *Temporales* peuvent avoir des effets bénéfiques, apportant à des régions qui manquent de précipitations une pluie attendue » (Hastenrath,1991) ; « beaucoup de perturbations tropicales (...) qui remontent vers le nord, le long du Golfe de Cortès (de Californie) ne se signalent pas par les pertes qu'elles

occasionnent. En revanche, elles apportent l'eau à une contrée qui, sans elle, serait marquée par l'aridité » (Lamarre, 1991).

La définition d'un « Temporal » reste floue et, de plus, comme le fait remarquer Portig, (1976) quelle est la différence entre un « Temporal » et un « Tiempo atemporalado », un type de temps qui tient du « Temporal » ?

Pour Guzman (1971), une situation dite « atemporalada » est « une situation qui ressemble à un *Temporal* ou qui constitue une phase de transition vers un *Temporal* ». « Elle peut être engendrée par un profond talweg dans les vents d'est, principalement quand se forme une dépression au sud de Cuba. Cette disposition de la pression induit dans toute la troposphère du côté pacifique de l'Amérique Centrale, un courant organisé du sud. Cet effet peut être renforcé par la formation de petits centres de basses pressions dans les eaux adjacentes de la côte pacifique ».

Pour Lamarre (1991), la différence doit être recherchée dans la nébulosité : « quand les nuages de l'étage moyen dominent », il s'agit d'une situation « atemporalada » ; dans un « Temporal » typique, « de nombreux cumulonimbus sont emballés dans un conglomérat nuageux dont l'épaisseur décroît de la côte vers l'intérieur ».

Pour en terminer avec ce bilan bibliographique, rappelons la définition proposée par la World Meteorological Organisation (1992) : ce sont d'intenses dépressions tropicales qui « se déplacent lentement et sont accompagnées de précipitations diluviennes ».

Remarquons que les « Temporales » n'ont jamais été définis de manière précise et que de ce fait, de nombreuses ambiguïtés demeurent. Il est en conséquence très difficile de savoir avec exactitude combien de « Temporales » se produisent chaque année : « il y a en moyenne deux *Temporales* par an qui affectent chaque localisation de la côte du Pacifique de l'Amérique Centrale » (Portig, 1976). La plus forte probabilité d'observer un « Temporal » c'est pendant les mois de septembre et d'octobre. Un second maximum apparaît en juin (Portig, 1976). « Ce double pic s'explique en raison de la course annuelle en latitude de l'ITCZ » (Pallmann, 1968).

En raison de ces incertitudes de perception, de définition, les météorologues centraméricains ne s'accordent pas souvent pour caractériser unanimement tel ou tel épisode très pluvieux et dévastateur se produisant en Amérique Centrale comme étant un « Temporal ».

Qu'est ce qu'un « Temporal » ?

## 3) Etudes de cas :

### a) Etude de cas n°1 : l'épisode du Chiapas (du 7 au 10/9/1998)

- **Introduction :**

Selon E. N. Rappaport, auteur du « Preliminary Report » (« National Hurricane Center » de Miami, NHC) daté du 6/1/99, la formation de la tempête tropicale « Javier » serait « probablement associée à une onde tropicale » ayant quitté la côte ouest africaine le 22 août 1998. Cette onde serait à l'origine, du « développement du cyclone Danielle » sur l'ouest de l'océan Atlantique. Le climatologue nous précise que « la partie méridionale de l'onde a été relativement inactive et de fait, difficile à suivre pendant son déplacement vers l'ouest, à travers l'océan Atlantique et l'Amérique Centrale». E. N. Rappaport, nous précise que c'est par « extrapolation » que l'on a situé cette onde tropicale « à proximité d'Acapulco, autour du

3 ou 4 septembre 1998 ». L'auteur de ce rapport constate ensuite que « c'est dans ce secteur que prend place une profonde convection » qui deviendra « Javier ». Il nous est ensuite précisé que « Javier semble avoir été initié pendant le passage de l'onde à travers une large zone de basses pressions et un flux cyclonique de type mousson (« low pressure and monsoon-like low level cyclonic flow ») qui se produit épisodiquement dans l'extrémité sud-ouest du Mexique ». « Javier » va, « au départ, se déplacer vers le nord-ouest, à une vitesse de 20 km/h pour, par la suite, rester dans le secteur compris entre Manzanillo, l'île de Socorro et Cabo San Lucas ». Le système dépressionnaire va connaître un « développement limité », « pas très bien organisé en bandes » et le « NHC, n'est pas au courant de dégâts provoqués par « Javier » (E. N. Rappaport).

Nous pouvons nous étonner de cette accumulation d'incertitudes quant aux origines de « Javier ». Le « NHC » de Miami dispose pourtant d'énormes moyens et il est pour le moins surprenant de voir autant de supputations.

Nous relevons également des incertitudes dans le rapport de M. B. Laurence, auteur du « Preliminary Report » (« NHC » de Miami) du 18/11/98. La tempête tropicale « Frances » aurait « peut-être » été induite par le passage de « deux ou trois ondes tropicales » dans le secteur… Nous apprenons en outre, que le système dépressionnaire qui commence à se développer lentement le 4/9/98, se déplace à une vitesse de 20 à 30 km/h vers le nord-ouest pour toucher terre le 11/9 juste au nord de Corpus Christi (Texas). Le système disparaîtra le 13/9 à proximité de la frontière entre le Texas et l'Oklahoma, au nord de Dallas.

Que nous apprend l'observation attentive des clichés satellite et des cartes de surface ?

**Tableau n°4 : historique de l'évolution de la tempête tropicale « Javier » (du 6 au 14/9/98)**

| Date/heure (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **6/1200** | 17.8 | 106.8 | 1001 | 50 | **Dépression Tropicale** |
| 1800 | 18.3 | 107.5 | 1001 | 50 | " " |
| 7/0000 | 18.8 | 108.3 | 1001 | 50 | " " |
| 0600 | 19.2 | 109.1 | 1000 | 60 | " " |
| 1200 | 19.6 | 109.7 | 999 | 60 | " " |
| **1800** | 20.2 | 110.5 | 998 | 70 | **Tempête Tropicale** |
| 8/0000 | 20.5 | 111.6 | 998 | 70 | " " |
| 0600 | 20.6 | 111.9 | 997 | 80 | " " |
| **1200** | 20.8 | 112.2 | **995** | **100** | " " |
| 1800 | 20.8 | 111.9 | 997 | 80 | " " |
| 9/0000 | 20.8 | 111.5 | 998 | 70 | " " |
| 0600 | 20.5 | 111.5 | 998 | 70 | " " |
| 1200 | 20.8 | 111.5 | 999 | 70 | " " |
| **1800** | 20.9 | 111.7 | 999 | 60 | **Dépression Tropicale** |
| 10/0000 | 21.1 | 111.0 | 1000 | 60 | " " |
| 0600 | 21.0 | 110.8 | 1000 | 50 | " " |
| 1200 | 20.8 | 110.6 | 1000 | 50 | " " |
| 1800 | 20.6 | 110.3 | 1000 | 50 | " " |
| 11/0000 | 20.3 | 110.1 | 1000 | 50 | " " |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 11/0000 | 20.3 | 110.1 | 1000 | 50 | " " |
| 0600 | 20.1 | 109.8 | 1000 | 50 | " " |
| 1200 | 19.8 | 109.6 | 1000 | 50 | " " |
| 1800 | 19.2 | 109.2 | 1001 | 50 | " " |
| 12/0000 | 18.6 | 108.7 | 1001 | 50 | " " |
| 0600 | 18.2 | 108.2 | 1000 | 60 | " " |
| **1200** | 17.9 | 107.6 | 999 | 70 | **Tempête Tropicale** |
| 1800 | 18.0 | 106.9 | 997 | 90 | " " |
| 13/0000 | 18.4 | 106.4 | 999 | 80 | " " |
| 0600 | 18.8 | 106.1 | 1000 | 70 | " " |
| 1200 | 19.3 | 105.8 | 1000 | 70 | " " |
| **1800** | 19.8 | 105.6 | 1001 | 60 | **Dépression Tropicale** |
| 14/0000 | 20.0 | 105.5 | 1001 | 60 | " " |
| 0600 | 20.2 | 105.3 | 1002 | 60 | " " |
| 1200 | 20.5 | 105.2 | 1002 | 60 | " " |
| **1800** | | | | | **Résorbée** |
| **14/0000** | 20.0 | 105.5 | 1001 | 60 | **Touche terre à 56 km au SSE du « Cabo Corrientes »** |
| **8/1200** | 20.8 | 112.2 | **995** | 100 | **Pression minimale** |

**Tableau n°5 : historique de l'évolution de la tempête tropicale « Frances » (du 8 au 13/9/98)**

| Date/heure (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie : |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **08/1800** | 25.5 | 94.5 | 1000 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 09/0000 | 25.3 | 94.4 | 1000 | 60 | " |
| 0600 | 25.0 | 94.5 | 999 | 60 | " |
| 1200 | 24.6 | 94.7 | 998 | 60 | " |
| **1800** | 24.2 | 95.5 | 997 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 10/0000 | 23.5 | 95.6 | 995 | 80 | " |
| 0600 | 24.2 | 95.0 | 995 | 80 | " |
| 1200 | 25.3 | 95.2 | 996 | 90 | " |
| 1800 | 26.6 | 95.2 | 996 | 90 | " |
| **11/0000** | 27.2 | 95.9 | 994 | **110** | " |
| **0600** | 28.2 | 96.9 | **990** | 90 | " |
| 1200 | 28.4 | 97.6 | 992 | 80 | ' |
| 1800 | 28.5 | 97.0 | 994 | 70 | " |
| **12/0000** | 29.3 | 96.9 | 996 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 0600 | 30.2 | 96.8 | 998 | 60 | " |
| 1200 | 31.0 | 96.8 | 1000 | 60 | " |
| 1800 | 31.3 | 96.8 | 1001 | 60 | " |
| 13/0000 | 31.5 | 96.8 | 1002 | 50 | " |
| 0600 | 31.7 | 96.9 | 1002 | 40 | " |
| 1200 | 32.0 | 96.9 | 1003 | 40 | " |
| 1800 | 33.0 | 97.0 | 1003 | 40 | " |
| **11/0000** | 27.2 | 95.9 | 994 | **110** | **Vitesse maximale du vent** |
| **11/0600** | 28.2 | 96.9 | **990** | 90 | **Pression minimale** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **11/0600** | 28.2 | 96.9 | 990 | 90 | **Touche terre juste au nord de « Corpus Christi » (Texas)** |

- **Etude pas à pas des cyclones « Javier » et « Frances » :**

- **Commentaire de la fig. n°84 (analyse de la photo satellite du 7/9/98) :**

Sur le Canada, l'AMP1 se dirige vers le sud, canalisé entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches. L'AMP2, au large de Terre Neuve se dirige vers le sud-est. Un AMP plus ancien (AMP) s'intègre dans l'agglutination anticyclonique nord atlantique (AA) dite « des Açores ». Au sud de l'AA dite « des Açores », les flux de l'alizé maritime atlantique de type 2 (Al.m) se dirigent vers l'ouest.

Sur le Pacifique, l'équateur météorologique vertical (EMV) est situé dans sa position la plus septentrionale. Accompagnant l'arrivée de cette structure pluviogène fondamentale, les flux de la MP pénètrent sur l'isthme (ces flux chauds, humides et très instables, s'élèvent violemment au contact des reliefs vigoureux de la côte pacifique centraméricaine) et là où l'abaissement du relief le permet (isthme de Tehuantepec, ensellement du Nicaragua), franchissent l'isthme, rejoignent les flux de l'Al.m atlantique pour être ensuite déviés vers le système dépressionnaire qui se creuse sur la face avant de l'AMP3, en face du Texas. En rencontrant la face avant de l'AMP3 et/ou le relief, ces flux instables n'ont d'autre choix que de s'élever et/ou fuir vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique de l'AMP3, en direction sa dépression associée (la face avant est soulignée par d'intenses formations nuageuses).

Au sud de la presqu'île de Californie, la dépression tropicale (DT) « Javier » dispose également d'excellentes conditions pour pouvoir se creuser (proximité de l'EMV qui favorise les ascendances et flux de la MP).

- **Commentaire de la fig. n°85 (analyse de la photo satellite du 7/9/98, ouest) :**

L'AMP1, descendu directement par la mer de Béring, vient renforcer au nord l'AMP2 et accélérer le déplacement de ce dernier vers le sud, en direction de l'agglutination anticyclonique dite « des Hawaii » (AA). La DT « Javier » se trouve à proximité du « Cabo Corrientes » (Mexique) ; les descentes d'AMP empêchent la DT de suivre la trajectoire habituelle vers l'ouest et la poussée anticyclonique l'envoie à proximité du continent voisin. Ce type de situation est connue dans cette région sous le nom de « Cordonazo ».

- **Commentaire de la fig. n°86 (analyse de la photo satellite du 8/9/98) :**

L'AMP2, poussé par l'AMP4, est quasi intégré dans l'AA dite « des Bermudes ». L'AMP1 continue sa descente vers le sud et s'intègre peu à peu dans l'AMP3. Sur la face avant de l'AMP3, la dépression observée la veille a évolué au stade de dépression tropicale (DT « Frances »). Située au sud-est de Corpus Christi (Texas), la DT « Frances » est née de l'association AMP (face avant), EMV, Al.m de type 2 et MP.

Dans l'espace aérologique pacifique, l'EMV est acollé aux relliefs centraméricains ; les flux de la MP se dirigent vers le sud du Mexique.

- **Commentaire de la fig. n°87 (analyse de la photo satellite du 8/9/98, ouest) :**

L' AMP1 a continué son déplacement vers le sud et a forcé l'intégration de l'AMP2 dans l'AA dite « des Hawaii » comme en témoignent les lignes de pulsation (LP). Disposant d'excellentes conditions (EMV proche et LP favorisant les ascendances, MP), guidée vers le

**Photo satellite n°77 : GOES 8, est, vis, le 7/9/1998, 18h15 T.U**

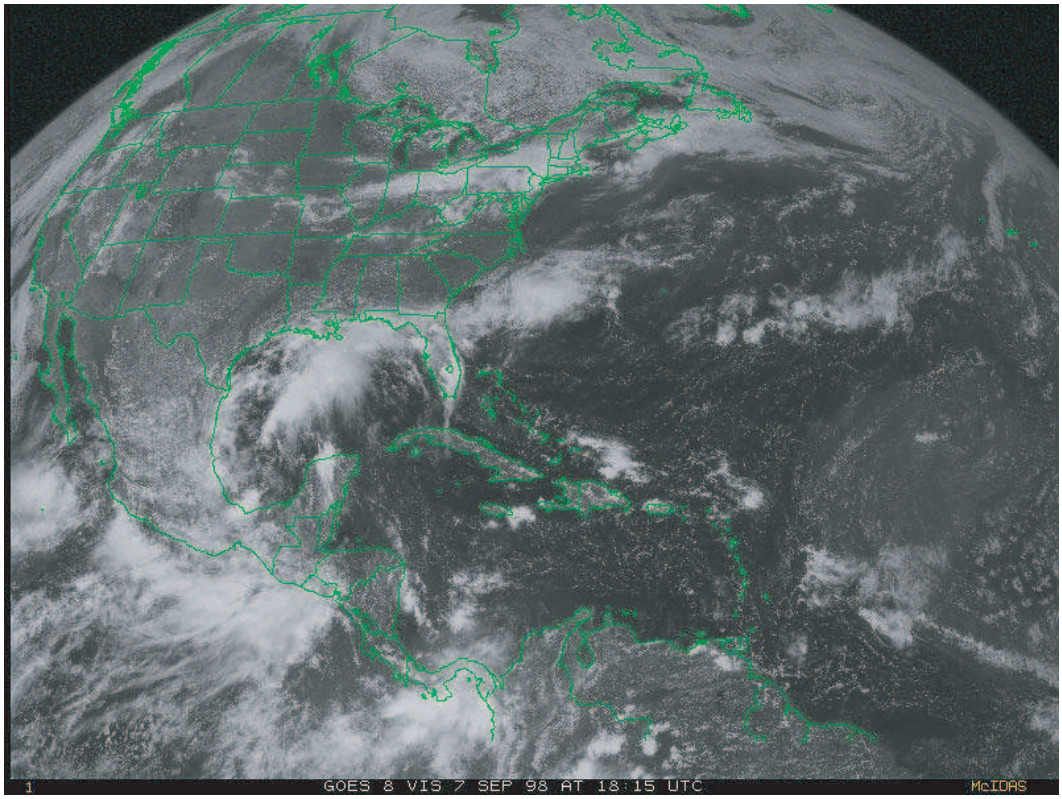



**Figure n°84 : Analyse de la photo satellite du 7/9/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

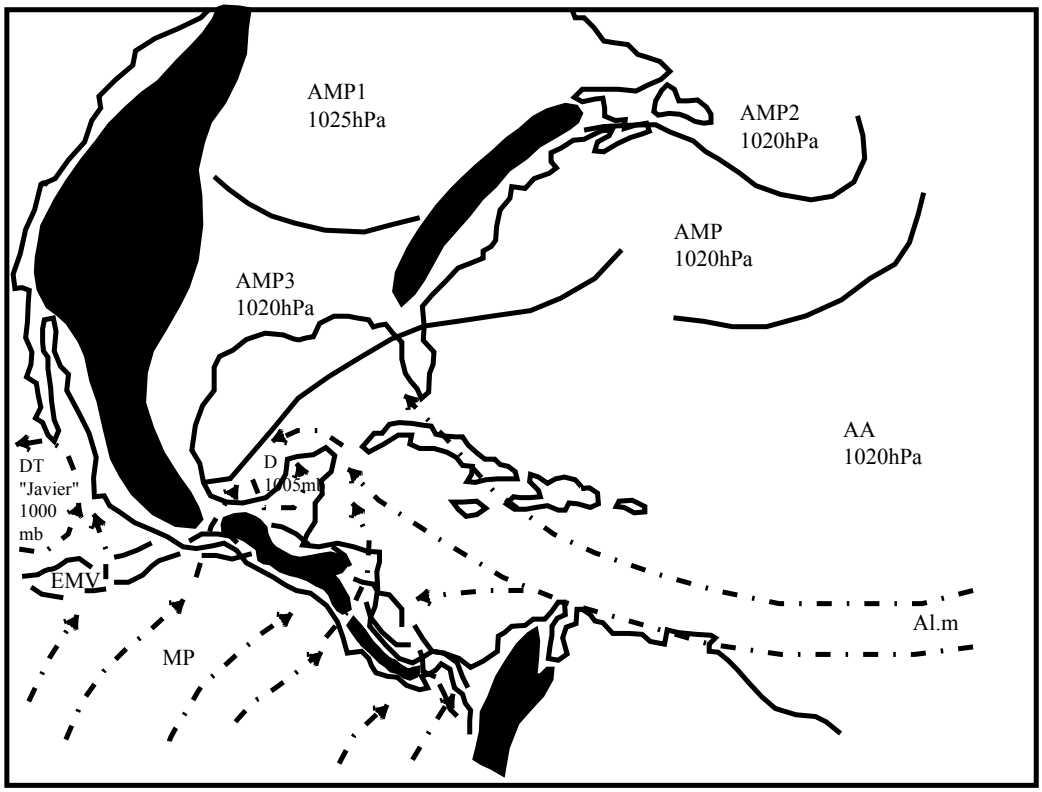


**Photo satellite n°78 : GOES 10, ouest, vis, le 7/9/1998, 18h30 T.U**

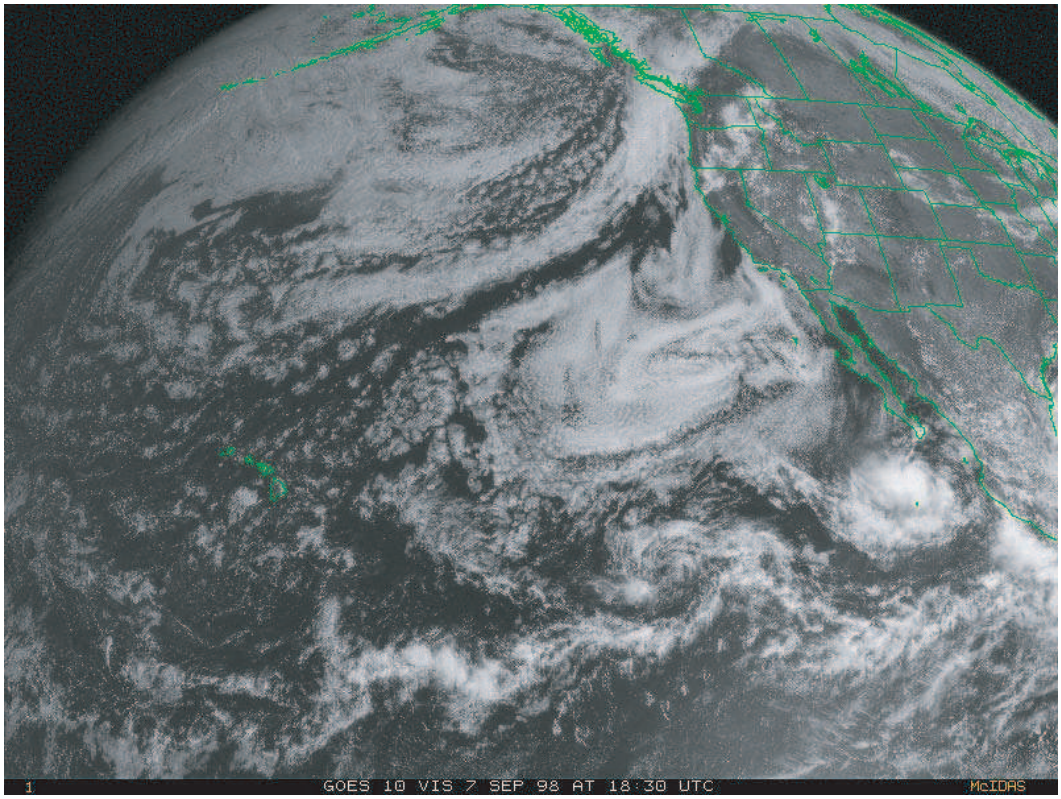



**Figure n°85 : Analyse de la photo satellite du 7/9/1998, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

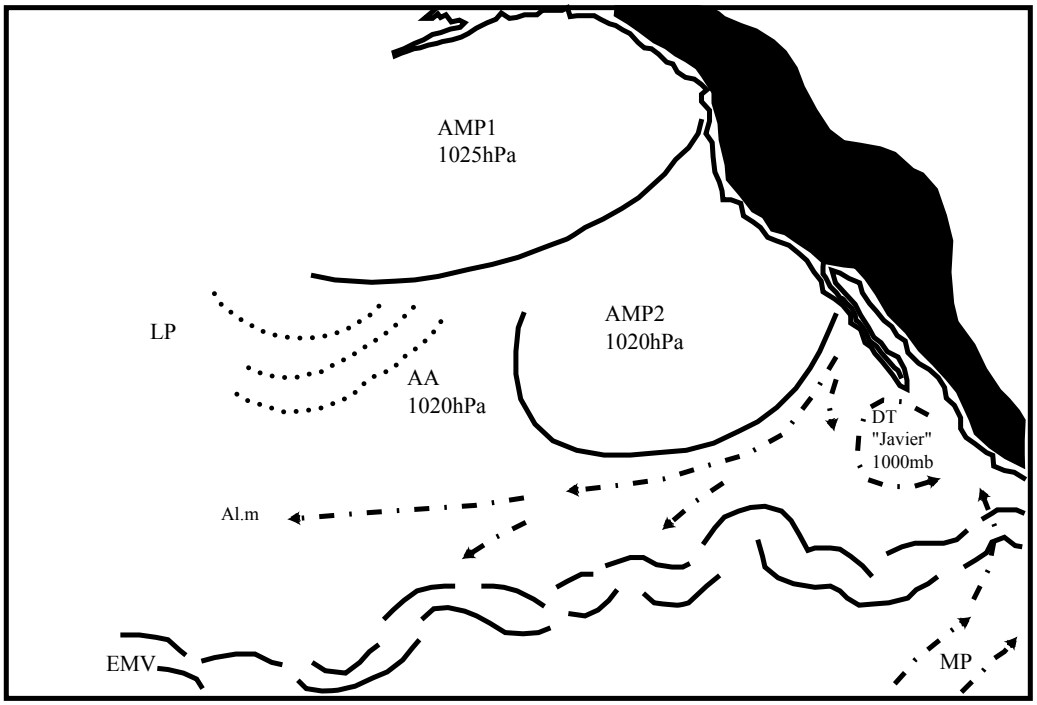


**Photo satellite n°79 : GOES 8, est, vis, le 8/9/1998, 18h15 T.U**

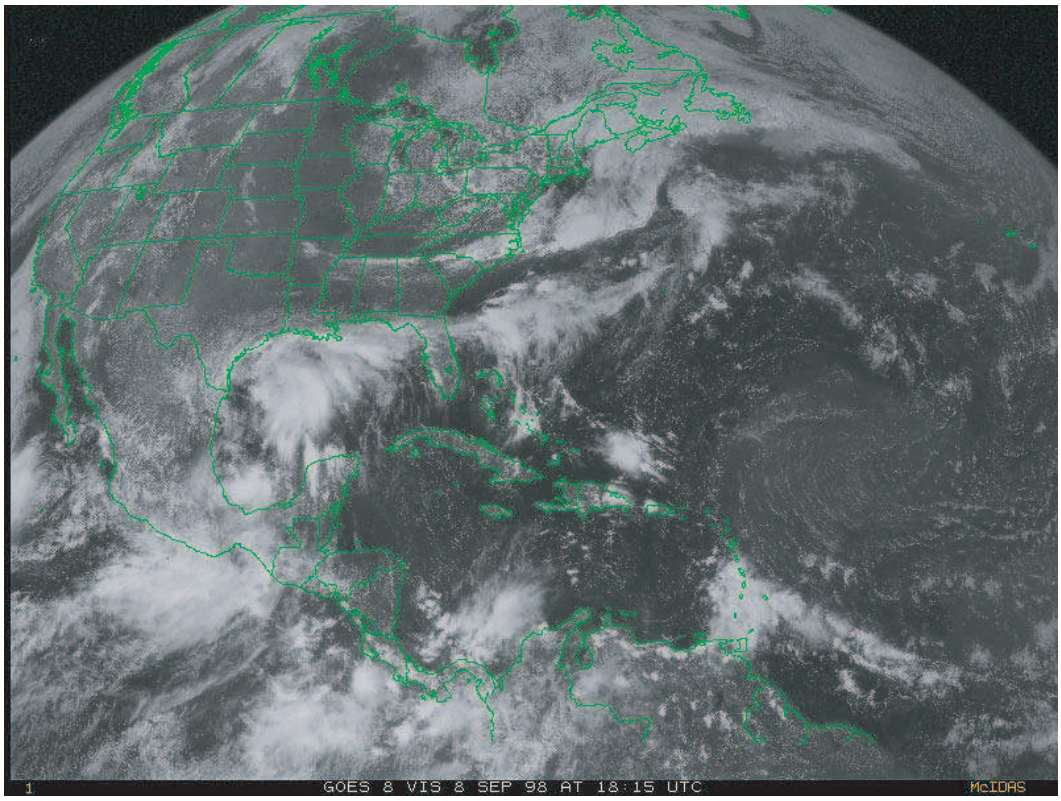



**Figure n°86 : Analyse de la photo satellite du 8/9/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

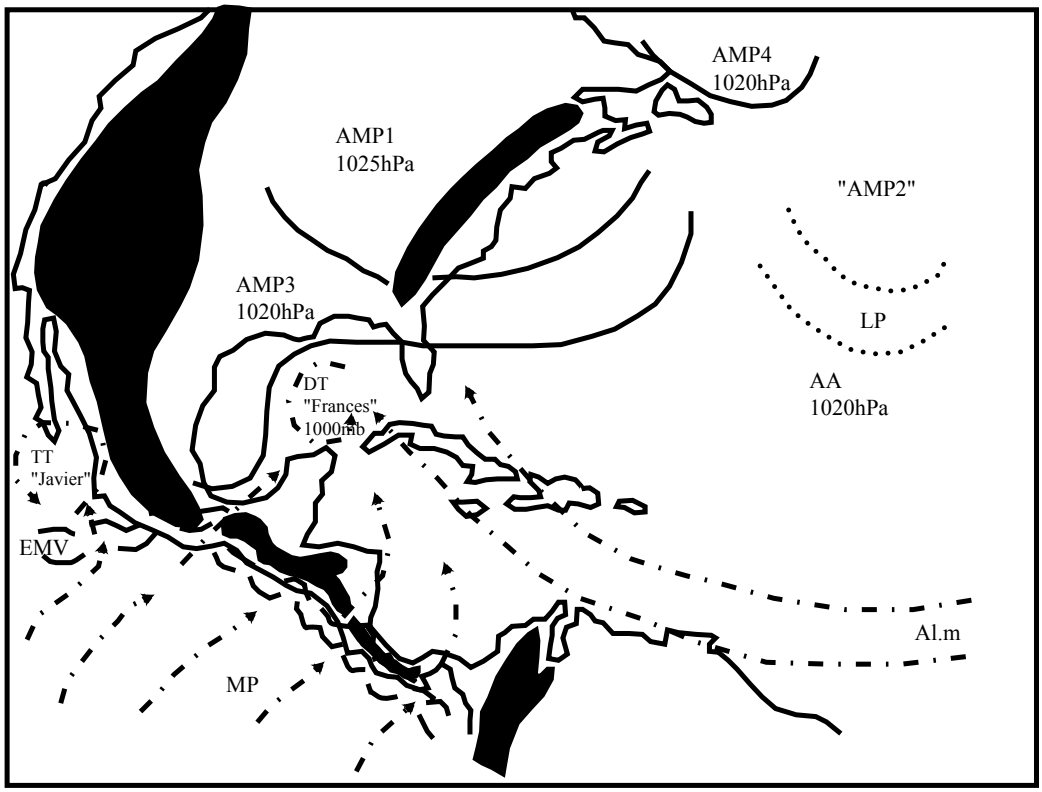


**Photo satellite n°80 : GOES 10, ouest, vis, le 8/9/1998, 18h30 T.U**

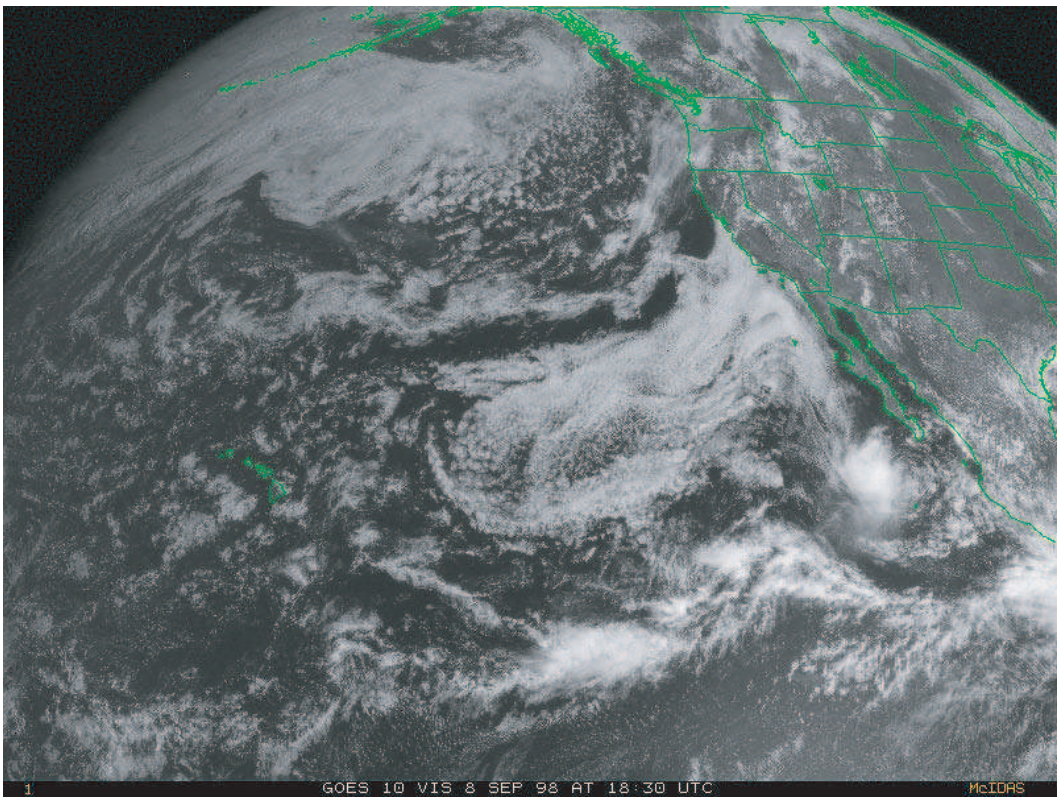



**Figure n°87 : Analyse de la photo satellite du 8/9/1998, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

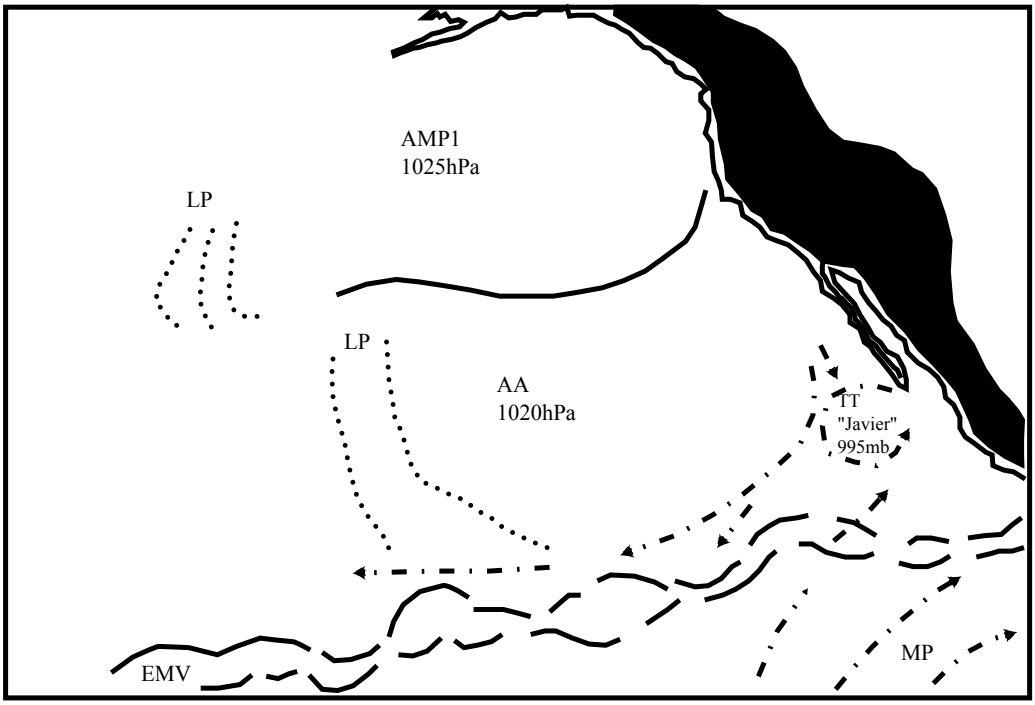


**Photo satellite n°81 : GOES 8, est, vis, le 9/9/1998, 18h15 T.U**

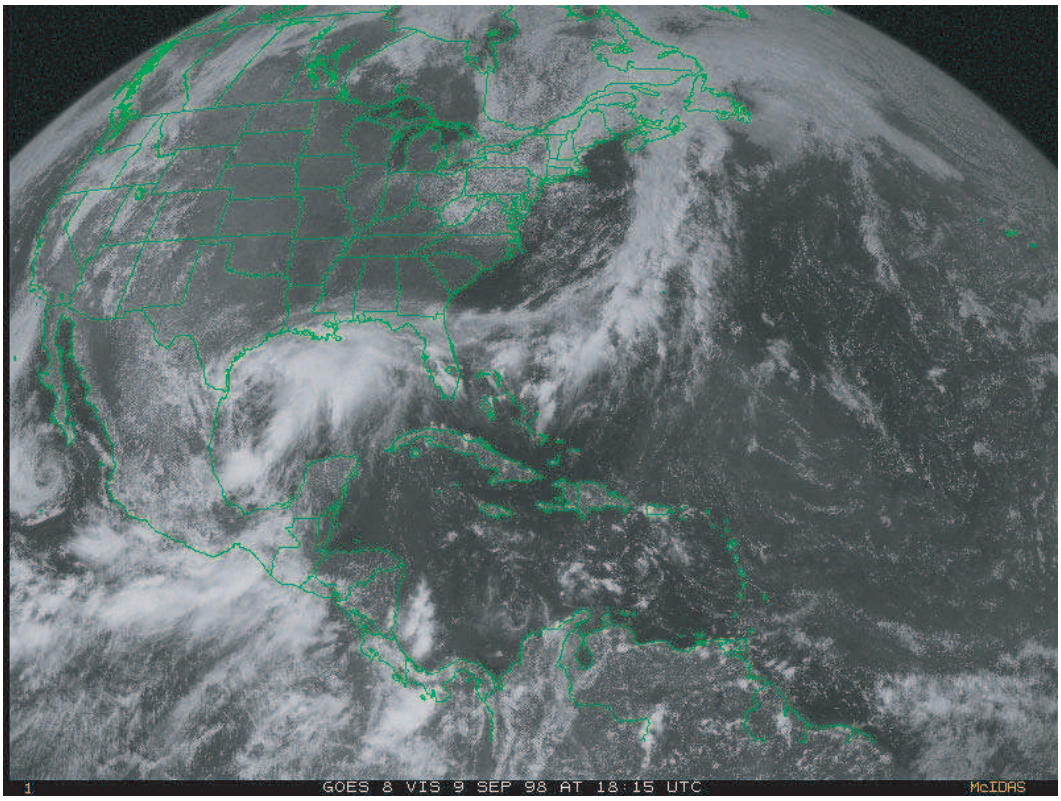



**Figure n°88 : Analyse de la photo satellite du 9/9/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

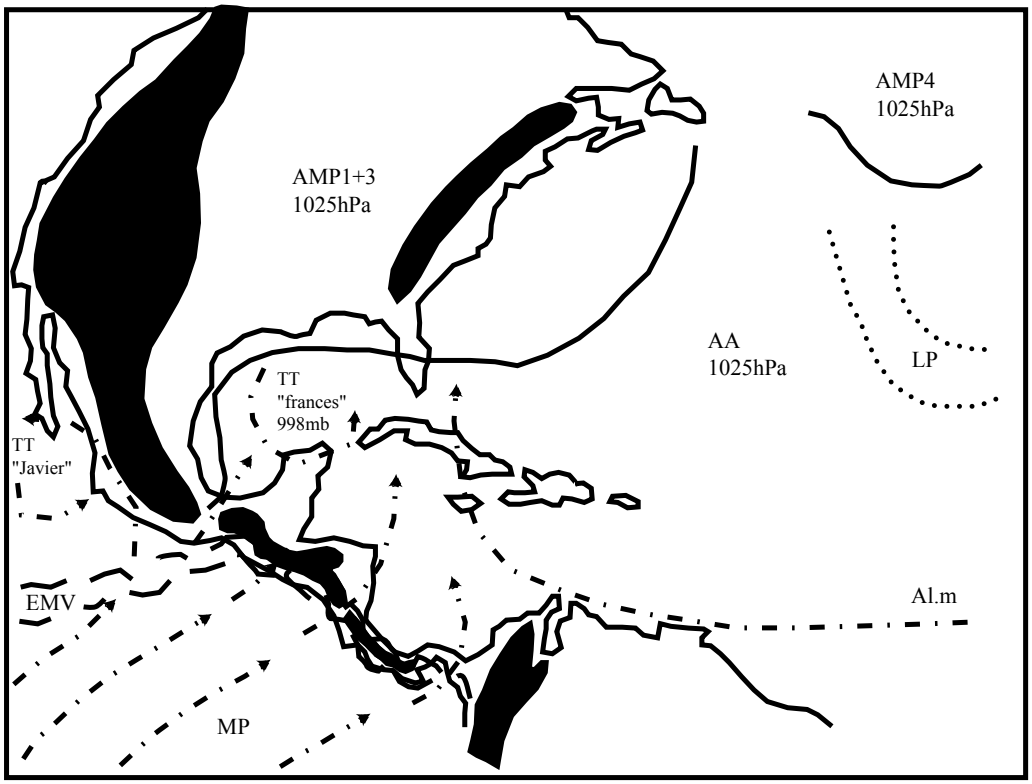


**Photo satellite n°82 : GOES 10, ouest, vis, le 9/9/1998, 18h30 T.U**

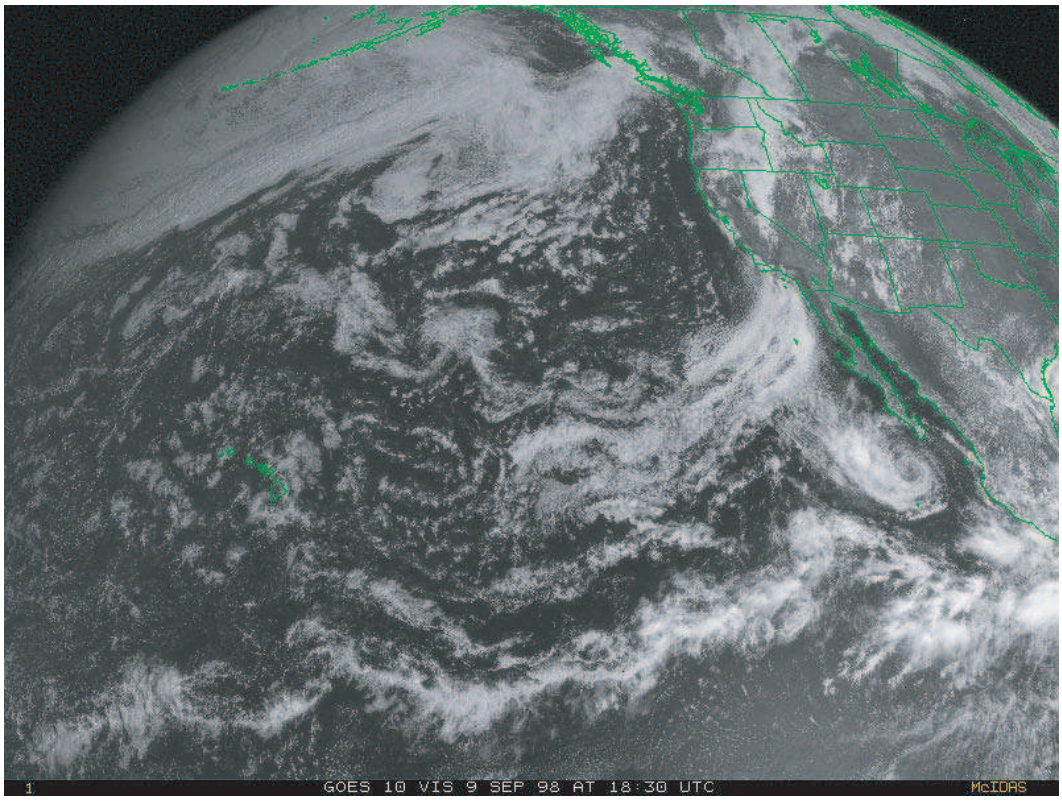



**Figure n°89 : Analyse de la photo satellite du 9/9/1998, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

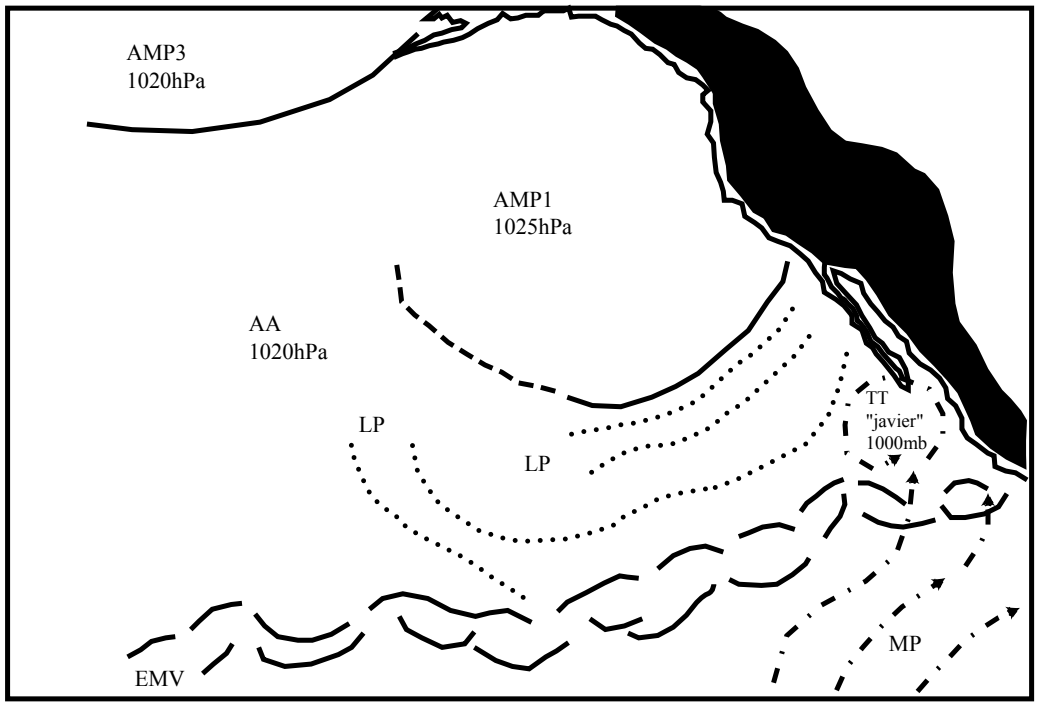


**Photo satellite n°83 : GOES 8, est, vis, le 10/9/1998, 18h15 T.U**

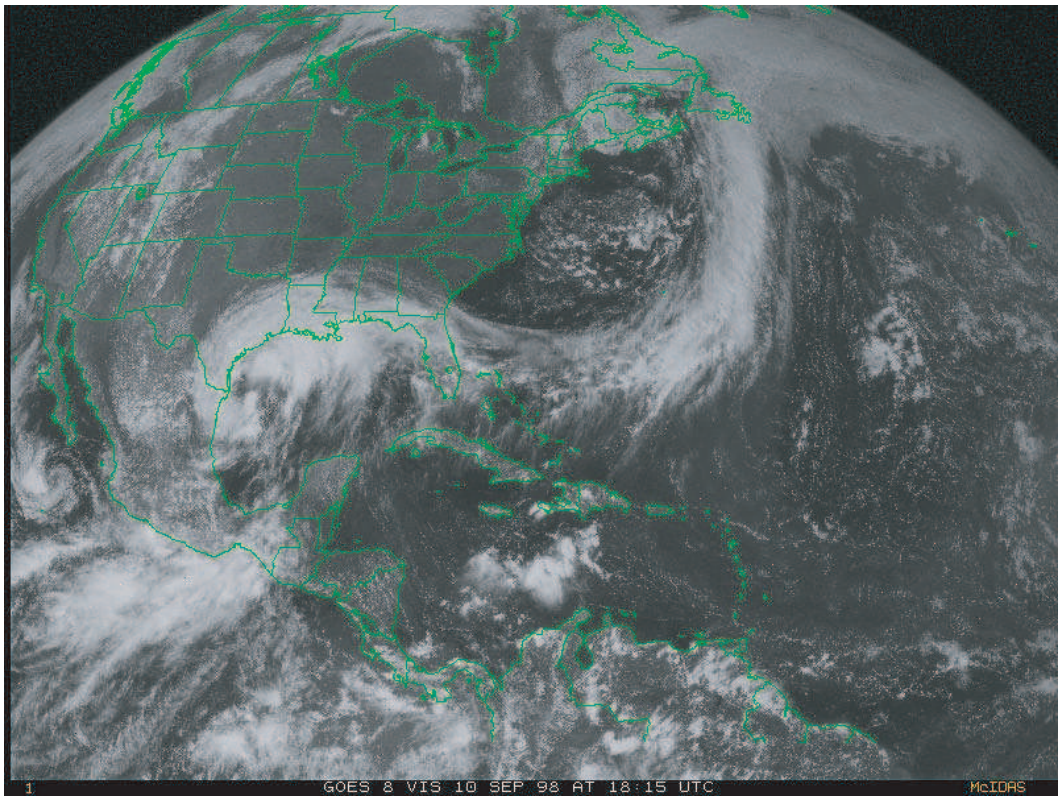



**Figure n°90 : Analyse de la photo satellite du 10/9/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

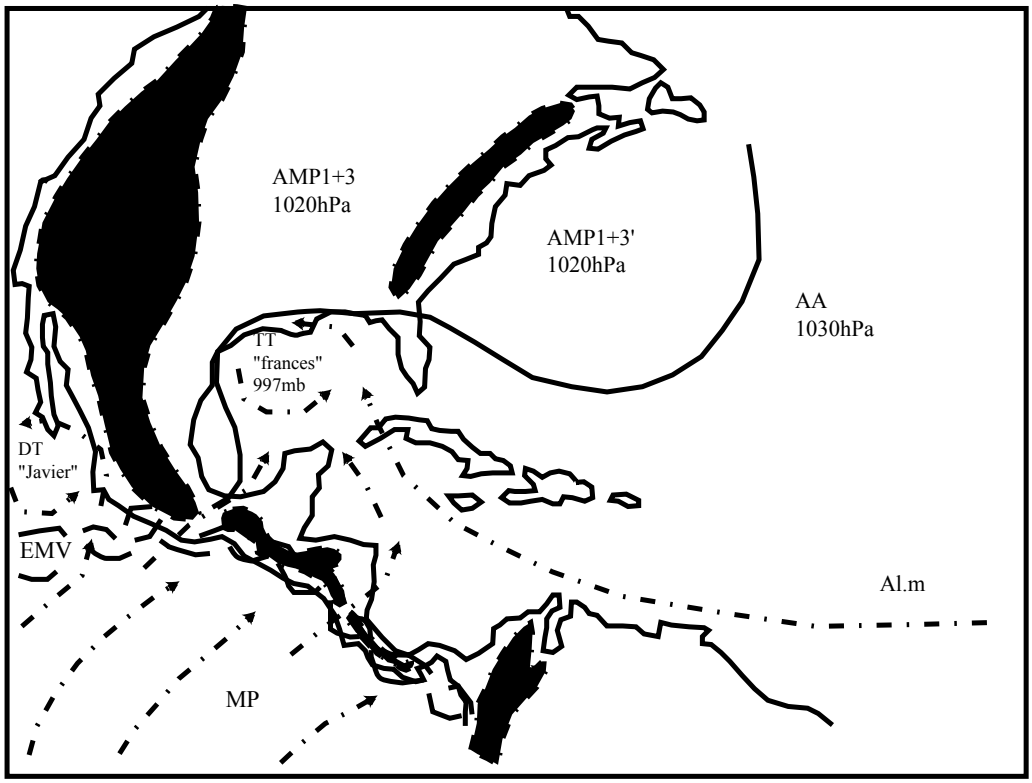


**Photo satellite n°84 : GOES 10, ouest, vis, le 10/9/1998, 18h30 T.U**

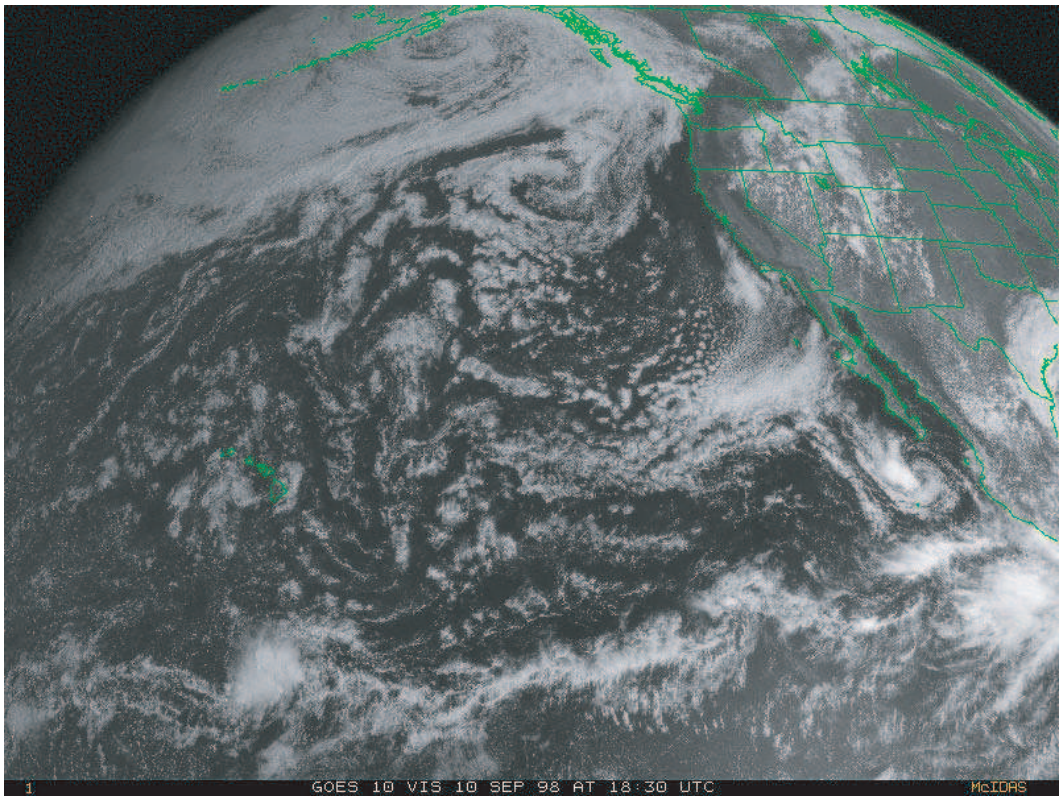



**Figure n°91 : Analyse de la photo satellite du 10/9/1998, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

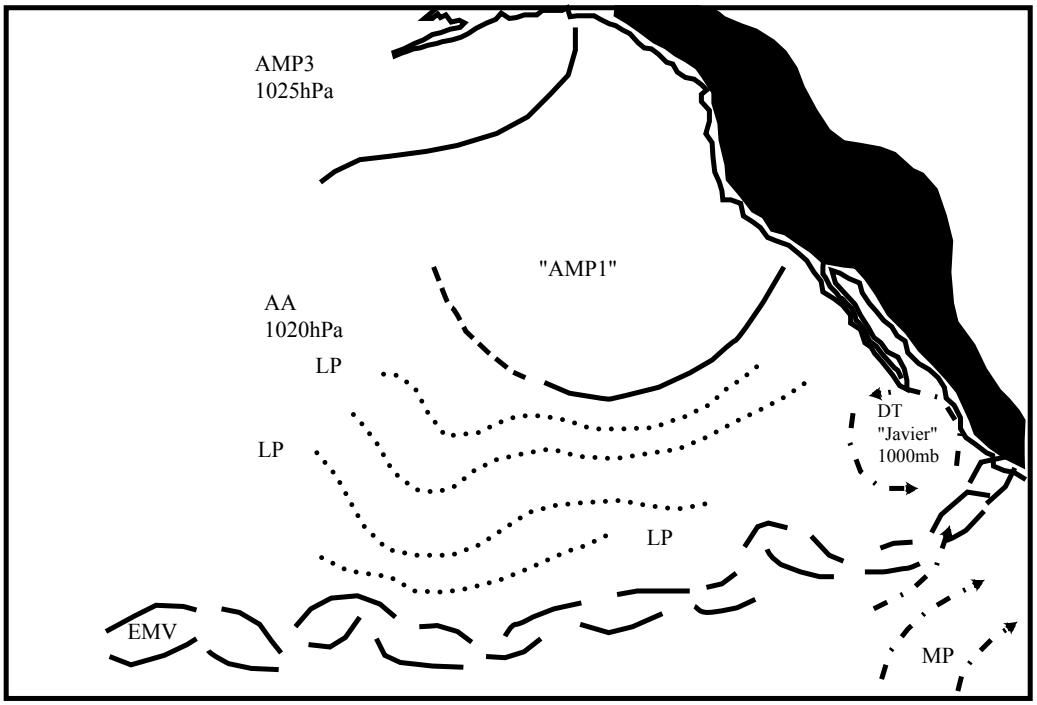
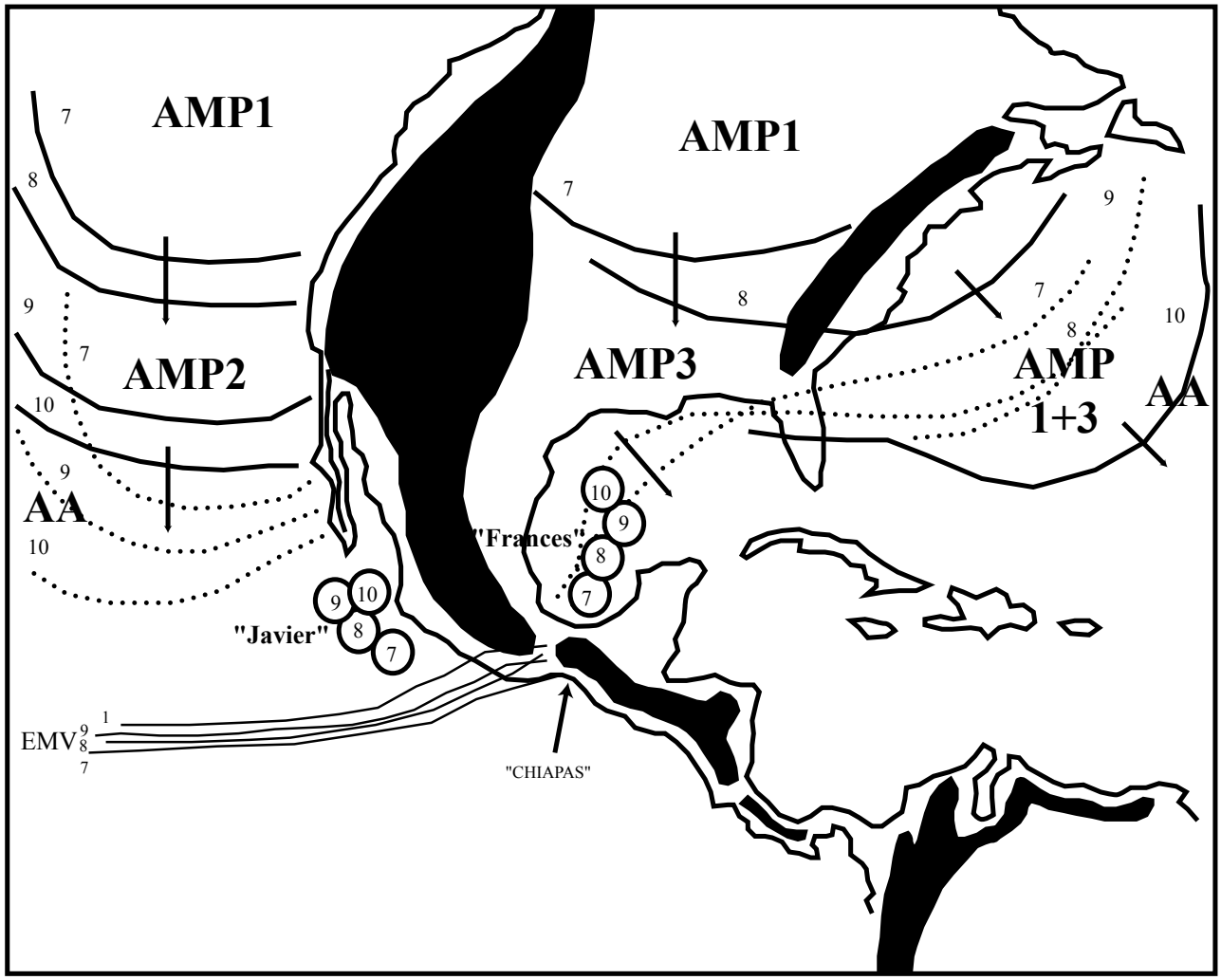


**Fig. n°92 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP1 et AMP3 (Atlantique); des AMP1 et AMP2 (Pacifique); déplacement de l'EMV, trajectoires de "Javier" et "Frances" du 7 au 10 septembre 1998**



nord-est par la descente vers le sud de ces AMP, « Javier » s'est creusée pour atteindre le stade de tempête tropicale (TT).

- **Commentaire de la fig. n°88 (analyse de la photo satellite du 9/9/98) :**

L'AMP1 et l'AMP3 ont fusionné pour ne former qu'une seule et même masse anticyclonique, l'AMP1+3. Sur la face avant de cet AMP1+3, « Frances » se creuse pour atteindre le stade de tempête tropicale (TT) tout en migrant vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire. La TT « Frances » bénéficie d'une excellente alimentation (Al.m et MP qui, profitant de l'abaissement du relief au niveau de l'isthme de Tehuantepec, de l'ensellement du Nicaragua et de l'isthme du Panama vient alimenter la TT). La face avant de l'AMP1+3 force les ascendances et la TT se creuse à proximité du continent (toute fuite vers l'ouest et le nord lui est interdite par la présence de l'AMP1+3).

Dans l'espace aérologique pacifique, l'EMV touche le sud du Mexique et les flux de la MP se dirigent vers l'Etat du Chiapas ; la rencontre entre ces flux chauds, humides, très instables et les reliefs vigoureux de la côte pacifique mexicaine (Sierra Madre du Chiapas) conduit à de violentes ascendances. Des précipitations diluviennes se produisent localement.

Il est à noter que la présence de la TT « Javier » à proximité des côtes mexicaines contribue elle aussi à la gravité de cette situation. Les deux systèmes dépressionnaires, de part et d'autre de l'isthme centraméricain, agissent « comme des engrenages », canalisant, accélèrant les flux de la MP qui sont violemment « déviés » vers le nord. L'EMV, lui aussi connaît une remontée vers le nord.

- **Commentaire de la fig. n°89 (analyse de la photo satellite du 9/9/98, ouest) :**

Un nouvel AMP, l'AMP3 est individualisable sur le détroit de béring et poursuit sa descente vers le sud. Ce dernier a forcé l'intégration de l'AMP1 dans l'AA dite « des Hawaii », comme en témoignent les LP. Au sud-est, la TT « Javier » a légèrement reculé vers le sud en raison de la descente incessante d'AMP constituant un véritable rempart aérologique infranchissable.

Dans l'hémisphère météorologique sud, la MP se dirige vers l'extrémité méridionale du Mexique. Les formations nuageuses sont denses. L'EMV proche remonte vers le nord et les flux de la MP contribuent à l'alimentation de la TT « Javier ».

- **Commentaire de la fig. n°90 (analyse de la photo satellite du 10/9/98) :**

La face avant de l'AMP1+3 provoque un intense soulèvement des flux de l'Al.m renforcés par ceux de la MP comme en témoignent les formations nuageuses denses qui s'étirent depuis le Golfe du Mexique jusqu'à Terre Neuve et traduisent le transfert de l'énergie tropicale vers les latitudes tempérées. Dans le Golfe du Mexique, bloqué par la face avant de l'AMP1+3 qui lui barre la route vers l'ouest et le nord, « Frances » a peu bougé.

Les deux systèmes dépressionnaires, situés de part et d'autre de l'isthme centraméricain, contribuent à la remontée vers le nord de l'EMV (sur la photo satellite, l'EMV est bien dessiné sur le sud du Mexique, dans l'Etat du Chiapas, il est actif). La pénétration violente des flux de la MP, orientés sud-nord, venant heurter les reliefs côtiers, provoquent d'intenses précipitations dans l'Etat mexicain du Chiapas.

- **Commentaire de la fig. n°91 (analyse de la photo satellite du 10/9/98, ouest) :**

Au large de l'Alaska, nous observons un nouvel AMP descendu directement par la mer de Béring (l'AMP3) Cet AMP, guidé vers le sud par les Montagnes Rocheuses infranchissables, force la fusion des AMP précédents (comme en témoignent les nombreuses LP), l'AMP1 est quasi intégré dans l'AA dite « des Hawaii ». Au sud-est, « Javier » est toujours présent même s'il s'affaiblit légèrement.

Dans l'hémisphère météorologique sud, les flux de la MP se dirigent vers le sud du Mexique. Les formations nuageuses très denses attestent de la richesse du potentiel précipitable advecté.

- **Bilan de l'épisode du Chiapas (fig. n°92) :**

De part et d'autre de l'isthme de Tehuantepec (Mexique), les deux systèmes dépressionnaires, « Javier » (côté océan Pacifique) et « Frances » (côté océan Atlantique) sont « victimes » de la descente incessante d'AMP depuis le nord.

Sur l'océan Pacifique, les AMP1 et 2, passés pas le détroit de Béring, incapables de s'élever (air froid, lourd, dense), se laissent guider vers le sud par la puissante barrière orographique que constitue les Montagnes Rocheuses. Progressivement tropicalisés, ralentis, ces AMP s'agglutinent les uns dans les autres pour former l'AA dite « des Hawaii ». Cette AA interdit toute fuite du système dépressionnaire « Javier » vers l'ouest (route « habituelle ») et maintient le système dépressionnaire à proximité des côtes mexicaines, au sud de la presqu'île de Californie.

Sur le Golfe du Mexique, « Frances » connaît le même cas de figure. Les AMP1 et 3, incapables de s'élever (air froid, lourd, dense), sont guidés par l'orographie de l'Amérique du Nord, canalisés entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches. Ces AMP se tropicalisent peu à peu, sont ralentis, fusionnent pour donner naissance à l'AA dite « des Bermudes/Açores ». Ces descentes d'AMP interdisent le passage vers l'ouest-nord-ouest au système dépressionnaire « Frances » et le maintiennent dans le Golfe de Campeche, accolé à la face avant de l'AMP3 puis de l'AMP1+3.

De part et d'autre de l'isthme de Tehuantepec, les deux systèmes dépressionnaires agissent comme des engrenages, l'EMV est, fin septembre dans sa position la plus septentrionale, les flux de la MP, qui se dirigent vers cette structure, sont violemment accélérés, s'élèvent au contact des reliefs et/ou de la face avant des AMP, de violentes précipitations se produisent.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

M. B. Laurence, auteur du « Preliminary Report » (« NHC » de Miami) du 18/11/98 ne se préoccupe que des précipitations totales accumulées pendant la durée de l'épisode et qui se sont déversées sur les Etats-Unis (381 millimètres dans la partie est du Texas ; 254 millimètres dans le sud de la Louisiane et, dans une bien moindre mesure, à travers l'Oklahoma, l'Arkansas, le Kansas, le Missouri et l'Iowa. « Les seuls événements tragiques connus, à déplorer et directement imputables à Frances » sont : deux morts et six blessés au Texas ; le fait que la côte nord du Texas et ouest de la Louisiane aient connu une érosion modérée ; le fait que les dommages soient estimés à 500 millions de dollars.

Dans ce rapport, aucune indication n'est donnée sur les lourdes conséquences matérielles et humaines observées dans l'Etat du Chiapas (Mexique) où, les averses

torrentielles qui se sont abattues sur la côte et le sud de la Sierra de Chiapas, depuis Tonalá (à la limite de l'Etat de Oaxaca) jusqu'à Tapachula et la frontière avec le Guatemala ont ravagé 20 500 km² et affecté 1 200 000 habitants ! Quinze cours d'eau ont débordé, la majorité d'entre eux, très violemment (l'Etat est très montagneux, les versants abrupts). Entre les montagnes, les gorges se sont transformées en véritables couloirs d'avalanches d'eau, de boue, de pierre, d'arbres... Ces coulées dévastatrices ont, en quelques heures, tout emporté sur leur passage (maisons, routes, cultures) ; des villages entiers furent recouverts jusqu'au toit des maisons ! Beaucoup d'infrastructures routières furent détruites : la voie ferrée fut coupée en de nombreux endroits ; même Tapachula (capitale de l'Etat) fut complètement isolée ; 400 000 habitants furent coupés du monde extérieur... Le bilan provisoire fait état de plusieurs centaines de morts et de nombreux disparus sont à déplorer.

Nous avons eu du mal à nous procurer quelques statistiques liées à cet événement. Le NHC n'a connaissance de rien, l'Etat du Chiapas, très montagneux, en guerre civile contre le pouvoir central n'est pas l'endroit idéal pour la collecte d'informations climatiques...

Voici ce que j'ai pu glaner personnellement lorsque je me suis rendu sur place pour observer les dégâts encore bien visibles en décembre 1998.

**Tableau n°6 : Précipitations cumulées (en millimètres) pendant 3 jours consécutifs entre le 7 et le 10/9/98**

| Stations : | Précipitations accumulées (en mm) |
|---|---|
| **Margaritas** | 715 |
| **Escuintla** | 329 |
| **Despoblado** | 489 |
| **Tapachula** | 401 |
| **Huixtla** | 323 |

**N.B :** 3 stations installées dans la vallée du fleuve Huelhuetán ont enregistré 80 millimètres en moins d'une heure ; 110 millimètres en moins en deux heures !

**« Précipitations diluviennes, Chiapas, septembre 1998 »**
**(clichés AFP)**
*(Rio Huelhuetán)*



## b) Etude de cas n°2 : étude de l'épisode « Keith » (du 24/9 au 6/10/2000) :

- **Introduction :**

D'après J. Bever (« NHC » de Miami), dans son « Tropical Cyclone Report », du 29/1/01, une « onde tropicale » a quitté l'Afrique de l'Ouest le 16/9, traversé l'océan Atlantique pour atteindre la mer des Caraïbes le 27/9. Le 28/9 à 18h00 T.U, à environ 110 kilomètres au nord-nord-est du cap Gracias a Dios (Nicaragua), une dépression tropicale se creuse puis se déplace vers le nord-ouest. Le 29/9 à 18h00 T.U, le système dépressionnaire se creuse encore pour devenir la tempête tropicale « Keith ». Cette dernière va connaître une rapide intensification (entre le 29/9 et le 1/10) pour atteindre le stade de cyclone relèvant de la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson et menaçant les îles côtières du Belize. Le cyclone va rester plusieurs jours à proximité du Belize, à cause « d'un système de hautes pressions situé sur le Golfe du Mexique ». Le système dépressionnaire n'est plus qu'une tempête tropicale lorsqu'il pénètre sur le continent, entre les villes de Belize City et Chetumal (Mexique) le 3/10 vers 3h00 T.U. Sur la péninsule du Yucatán, le système dépressionnaire adopte une trajectoire vers l'ouest-nord-ouest et redevient une dépression tropicale avant de reprendre des forces sur le Golfe de Campeche. Le 4/10, « Keith » redevient une tempête tropicale ; le 5/10, « Keith » est à nouveau un cyclone quand elle touche, une nouvelle fois, terre à environ 35 kilomètres de la ville de Tampico (Mexique) vers 18h00 T.U ; le système se dissipera peu après sur le nord-est du Mexique.

**Tableau n°7 : historique de l'évolution du cyclone « Keith » (du 28/9 au 6/10/00)**

| Date : heure : (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent : (km/h) | Catégorie : |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **28/1800** | 16.1 | 82.9 | 1005 | 50 | **Dépression tropicale** |
| 29/0000 | 16.2 | 83.3 | 1004 | 50 | " |
| 29/0600 | 16.6 | 83.6 | 1003 | 60 | " |
| 29/1200 | 16.9 | 84.0 | 1002 | 60 | " |
| **29/1800** | 17.4 | 84.8 | 1000 | 80 | **Tempête tropicale** |
| 30/0000 | 17.7 | 85.4 | 993 | 90 | " |
| 30/0600 | 17.9 | 86.0 | 987 | 110 | " |
| **30/1200** | 17.9 | 86.4 | 982 | 130 | **Cyclone 1** |
| **30/1800** | 17.9 | 86.7 | 977 | 150 | **Cyclone 2 (à 21h00)** |
| **01/0000** | 17.9 | 86.9 | 955 | 200 | **Cyclone 3 (à 03h00)** |
| **01/0600** | 17.9 | 87.2 | **941** | **240** | **Cyclone 4 (à 09h00)** |
| 01/1200 | 17.9 | 87.4 | 944 | 230 | " |
| **01/1800** | 17.9 | 87.7 | 950 | 220 | **Cyclone 3 (à 21h00)** |
| **02/0000** | 17.8 | 87.9 | 959 | 200 | **Cyclone 2 puis cyclone 3 (à 03h00)** |
| **02/0600** | 17.6 | 87.8 | 974 | 160 | **Cyclone 2 (à 09h00)** |
| **02/1200** | 17.7 | 87.8 | 980 | 140 | **Cyclone 1** |
| 02/1800 | 17.7 | 87.9 | 987 | 130 | " |
| **03/0000** | 17.9 | 88.0 | 989 | 120 | **Tempête tropicale** |
| 03/0600 | 18.0 | 88.4 | 990 | 90 | " |
| **03/1200** | 18.3 | 88.8 | 995 | 60 | **Dépression tropicale (à 15h00)** |
| 03/1800 | 18.6 | 89.5 | 998 | 60 | " |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 04/0000 | 19.0 | 90.4 | 1000 | 50 | " |
| 04/0600 | 19.5 | 91.4 | 1000 | 60 | " |
| **04/1200** | 19.9 | 92.5 | 999 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 04/1800 | 20.3 | 93.5 | 996 | 80 | " |
| 05/0000 | 20.7 | 94.8 | 988 | 120 | " |
| **05/0600** | 21.2 | 96.1 | 987 | 130 | **Cyclone 1 (à 09h00)** |
| 05/1200 | 21.8 | 97.0 | 983 | 150 | " |
| 05/1800 | 22.6 | 97.9 | 980 | 160 | " |
| **06/0000** | 23.2 | 99.0 | 988 | 90 | **Tempête tropicale** |
| **06/0600** | 23.5 | 100.0 | 1002 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 06/1200 | 23.8 | 101.0 | 1007 | 40 | " |
| **06/1800** | | | | | **Résorbé** |
| **01/0700** | 17.9 | 87.3 | **939** | **240** | **Pression minimale** |
| **02/2300** | 17.9 | 88.0 | 988 | 130 | **Touche terre à Ambergris Cay, Belize** |
| **03/0300** | 17.9 | 88.2 | 990 | 120 | **Touche terre au nord de Belize City, Belize** |
| **05/1800** | 22.6 | 97.9 | 980 | 160 | **Touche terre au nord de Tampico, Mexique** |

- **<u>Etude pas à pas du cyclone/ « Temporal » « Keith » :</u>**

- **<u>Commentaire de la fig. n°93 (analyse de la photo satellite du 24/9/00) :</u>**

L'AMP1 descend vers le sud-sud-est, canalisé entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches. L'air de cet AMP, froid, dense, incapable de s'élever, épouse parfaitement le relief et en dessine les parfaitement les contours au nord du Texas.

Au nord des Grandes Antilles, nous observons un AMP (« AMP ») quasi intégré dans l'agglutination anticyclonique dite « des Bermudes/Açores » (AA) comme en témoignent les lignes de pulsation (LP). A proximité de la côte nord du Panama, un système dépressionnaire se développe et dispose de toutes les conditions nécessaires pour se creuser rapidement (présence d'un ou plusieurs facteurs déclanchant une ascendance : la descente de l' « AMP », son intégration dans l'AA et les LP qui en résultent, le relief, favorisent l'élévation des flux environnants ; une bonne alimentation : les flux chauds, humides et instables de l'alizé maritime de type 2, Al.m et de la mousson panaméenne, MP ; la proximité de l'équateur météorologique vertical, EMV, favorisant, lui aussi les ascendances).

- **<u>Commentaire de la fig. n°94 (analyse de la photo satellite du 25/9/00) :</u>**

Les Etats-Unis sont recouverts par l'AMP1. Sur l'Atlantique, nous observons le cyclone « Isaac ».

Le système dépressionnaire, sur la bordure méridionale de l'AA dite « des Bermudes/Açores », s'organise peu à peu. Une forte pulsation dans la MP fait remonter l'EMV vers le nord. Là où le relief s'abaisse (isthme de Panama), les flux de la MP gagnent la mer des Caraïbes et, aves les flux de l'Al.m, sont déviés vers le système dépressionnaire.

- **<u>Commentaire de la fig. n°95 (analyse de la photo satellite du 26/9/00) :</u>**

L'AMP1 pénètre sur le Golfe du Mexique. Le système dépressionnaire est maintenant situé à proximité de la frontière entre le Nicaragua et le Honduras, près des côtes de la mer des Caraïbes. La forte poussée de la MP fait remonter l'EMV vers le nord. De ce fait, le système dépressionnaire bénéficie toujours d'une bonne alimentation (Al.m et MP).

Sur le Pacifique, l'EMV est activé. Un système dépressionnaire s'organise au large de l'isthme de Tehuantepec (Mexique).

**Photo satellite n°85 : GOES 8, est, vis, le 24/9/2000, 18h15 T.U**

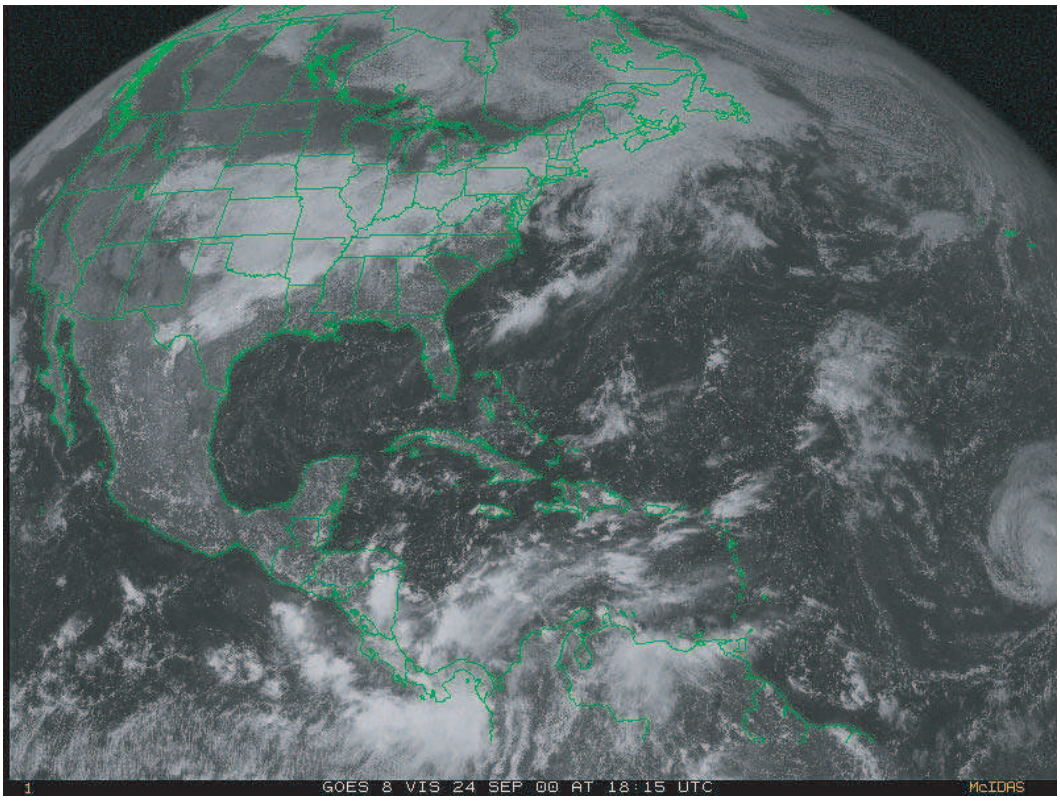



**Figure n°93 : Analyse de la photo satellite du 24/9/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

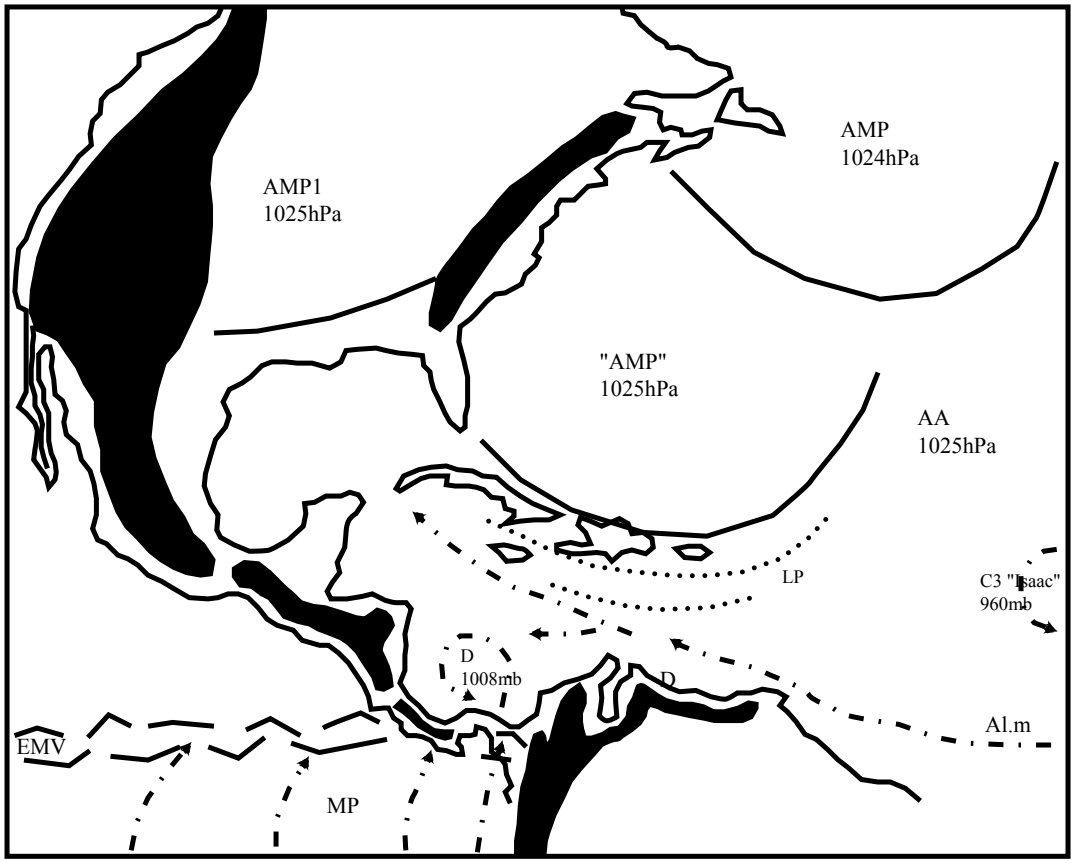


**Photo satellite n°86 : GOES 8, est, vis, le 25/9/2000, 18h15 T.U**

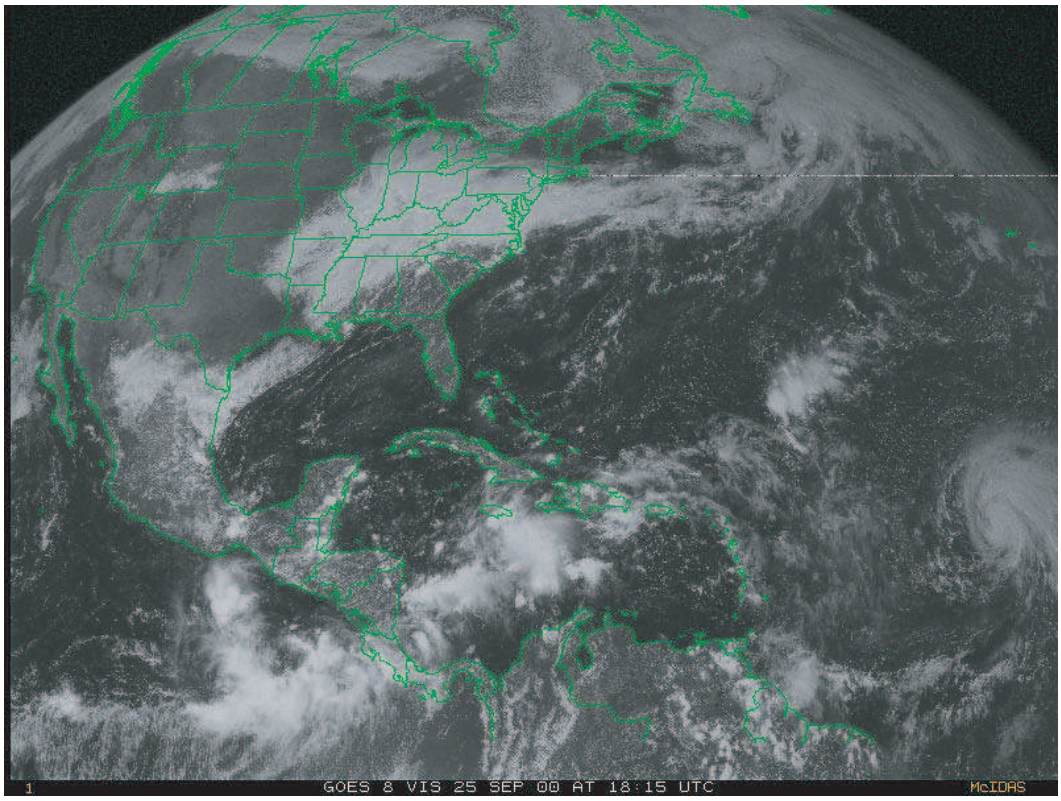



**Figure n°94 : Analyse de la photo satellite du 25/9/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

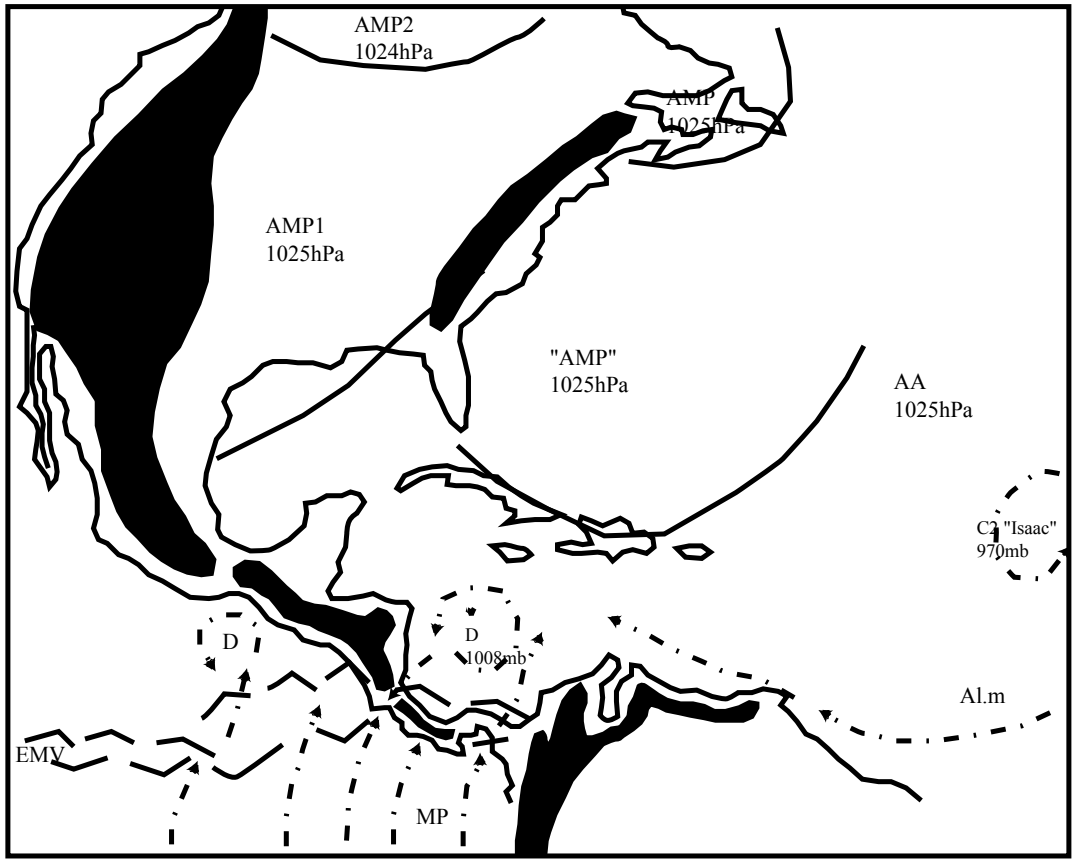


**Photo satellite n°87 : GOES 8, est, vis, le 26/9/2000, 18h15 T.U**

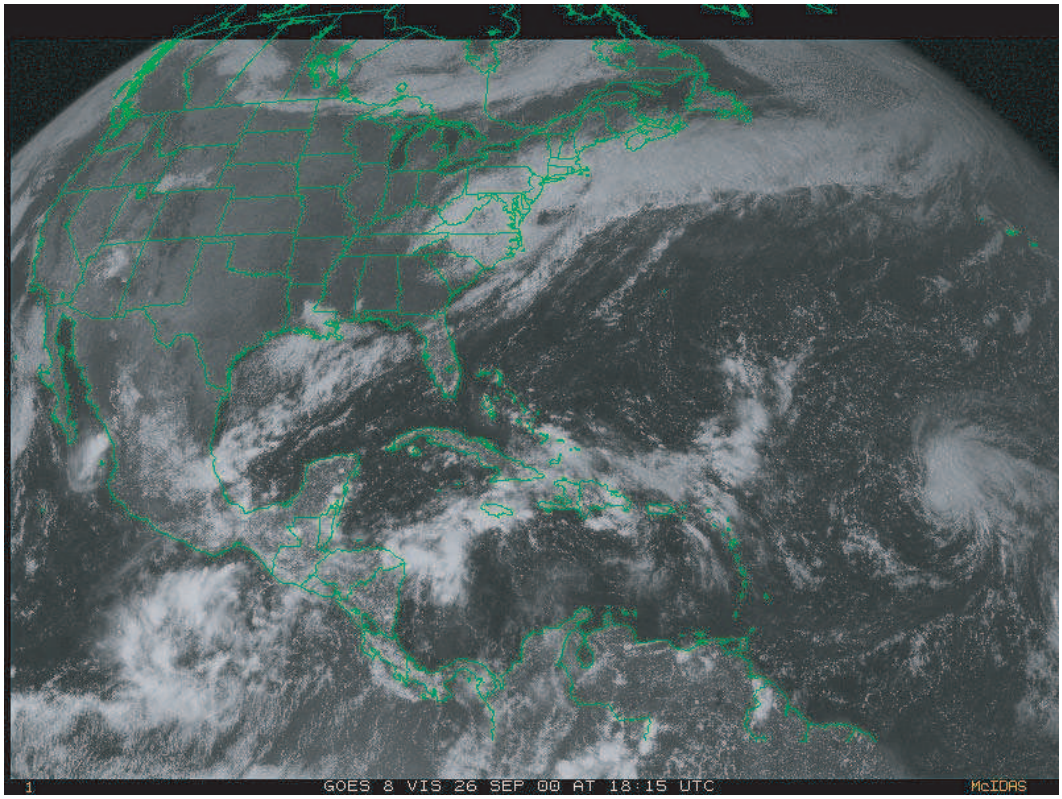



**Figure n°95 : Analyse de la photo satellite du 26/9/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

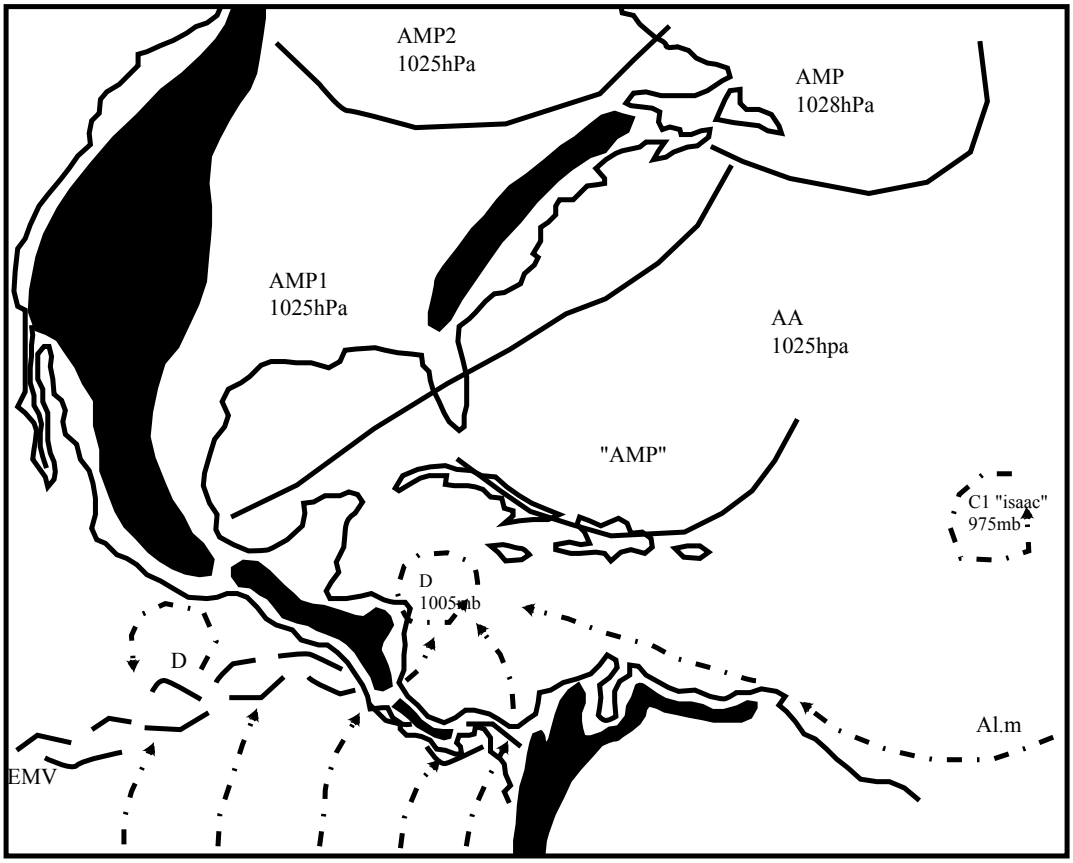


**Photo satellite n°88 : GOES 8, est, vis, le 27/9/2000, 18h15 T.U**

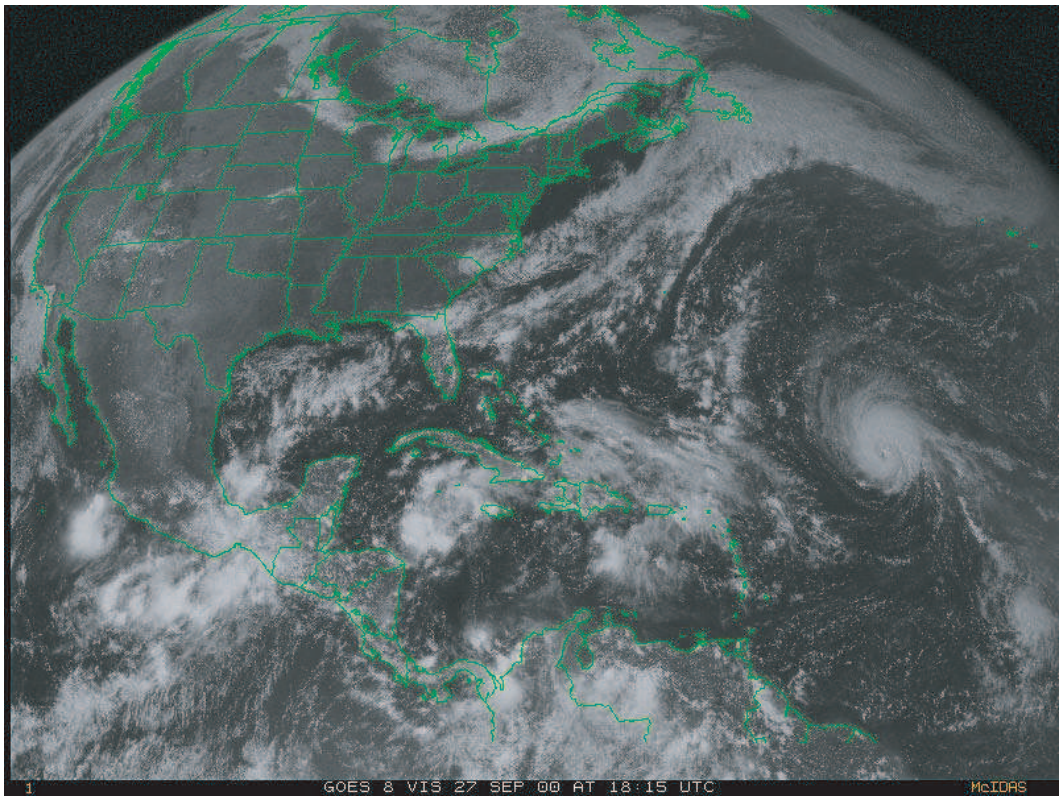



**Figure n°96 : Analyse de la photo satellite du 27/9/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

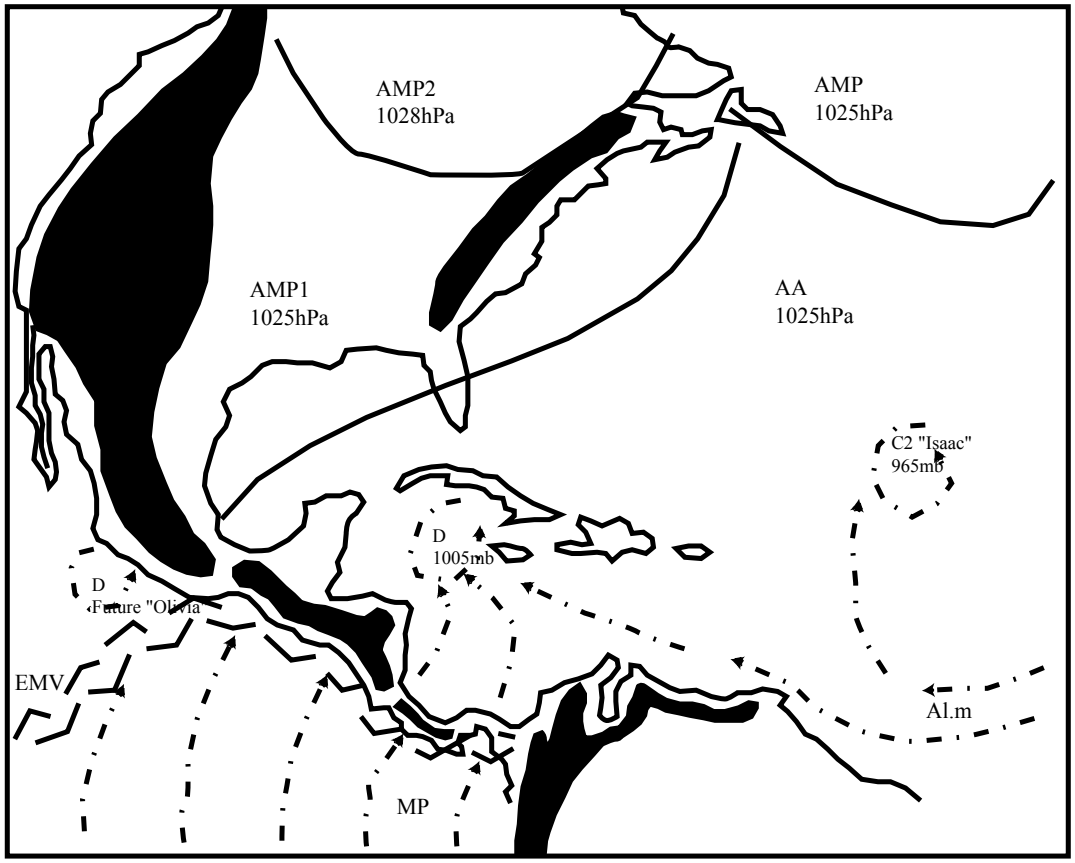


**Photo satellite n°89 : GOES 8, est, vis, le 28/9/2000, 18h15 T.U**

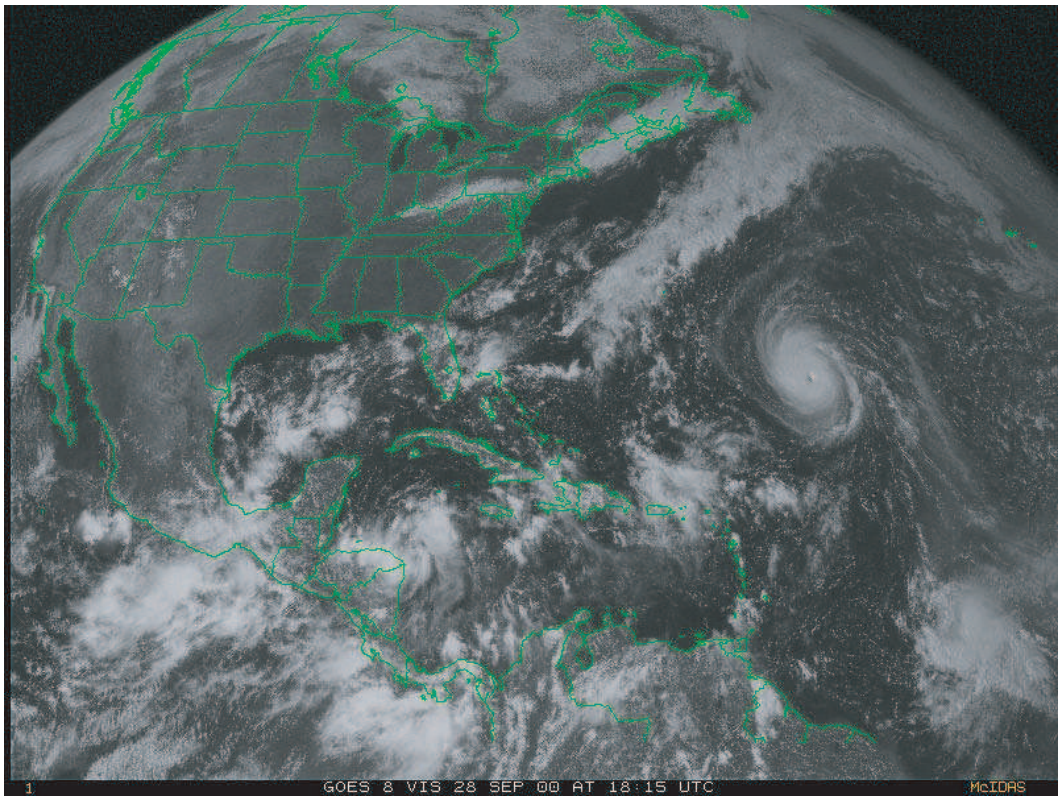



**Figure n°97 : Analyse de la photo satellite du 28/9/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

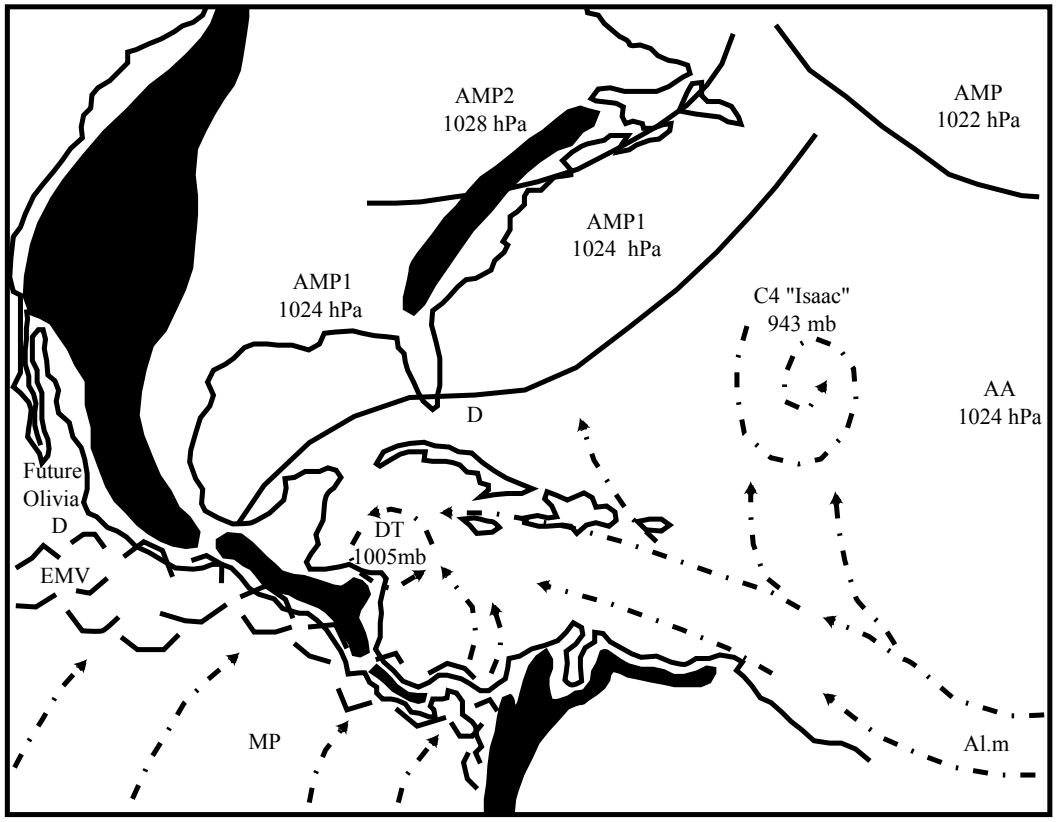


**Photo satellite n°90 : GOES 8, est, vis, le 29/9/2000, 18h15 T.U**

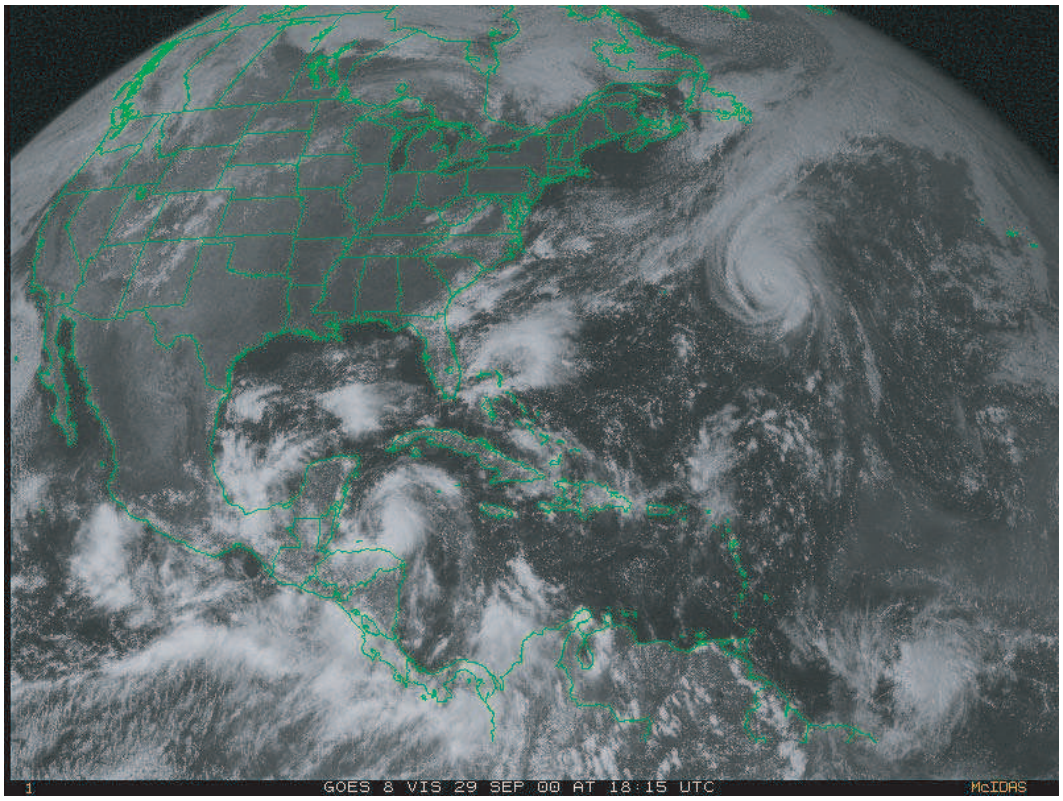



**Figure n°98 : Analyse de la photo satellite du 29/9/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

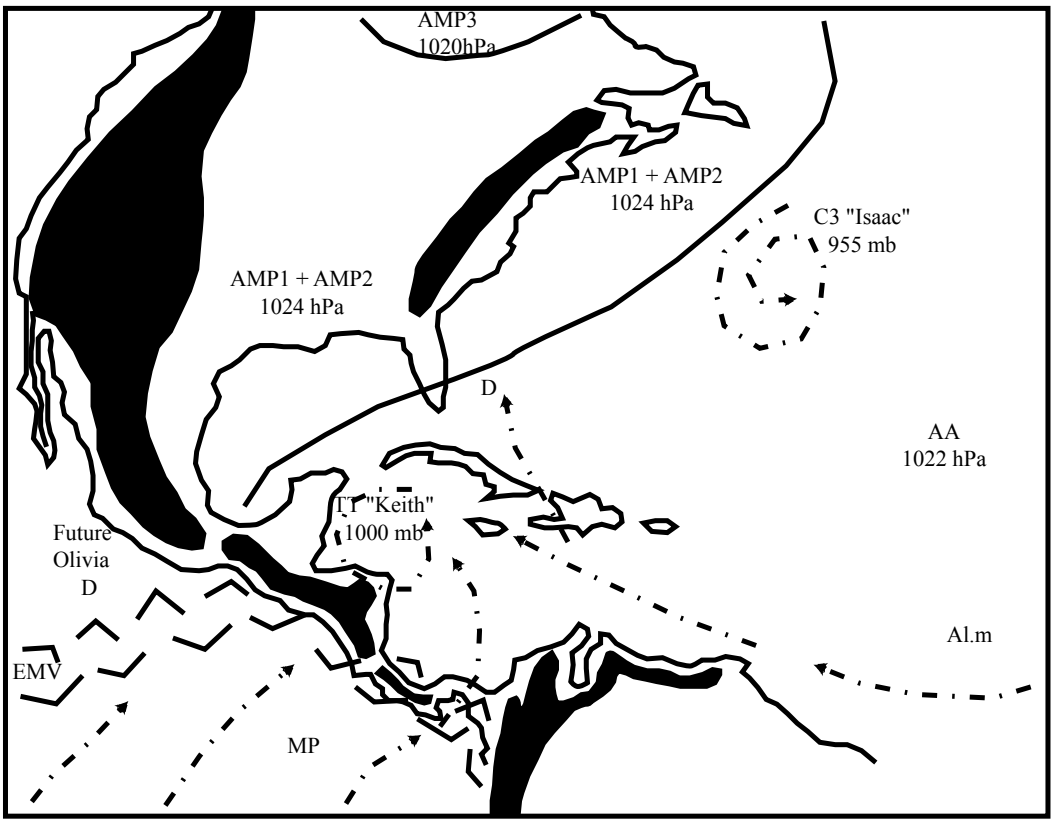


**Photo satellite n°91 : GOES 8, est, vis, le 30/9/2000, 18h15 T.U**

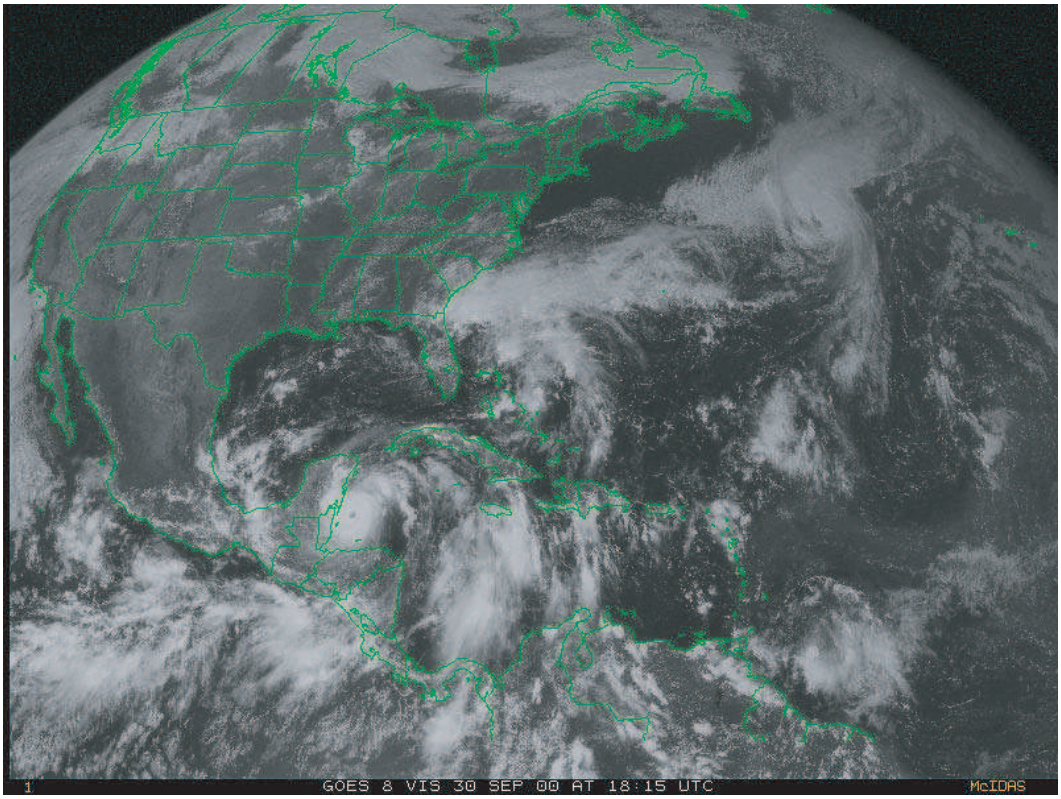



**Figure n°99 : Analyse de la photo satellite du 30/9/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

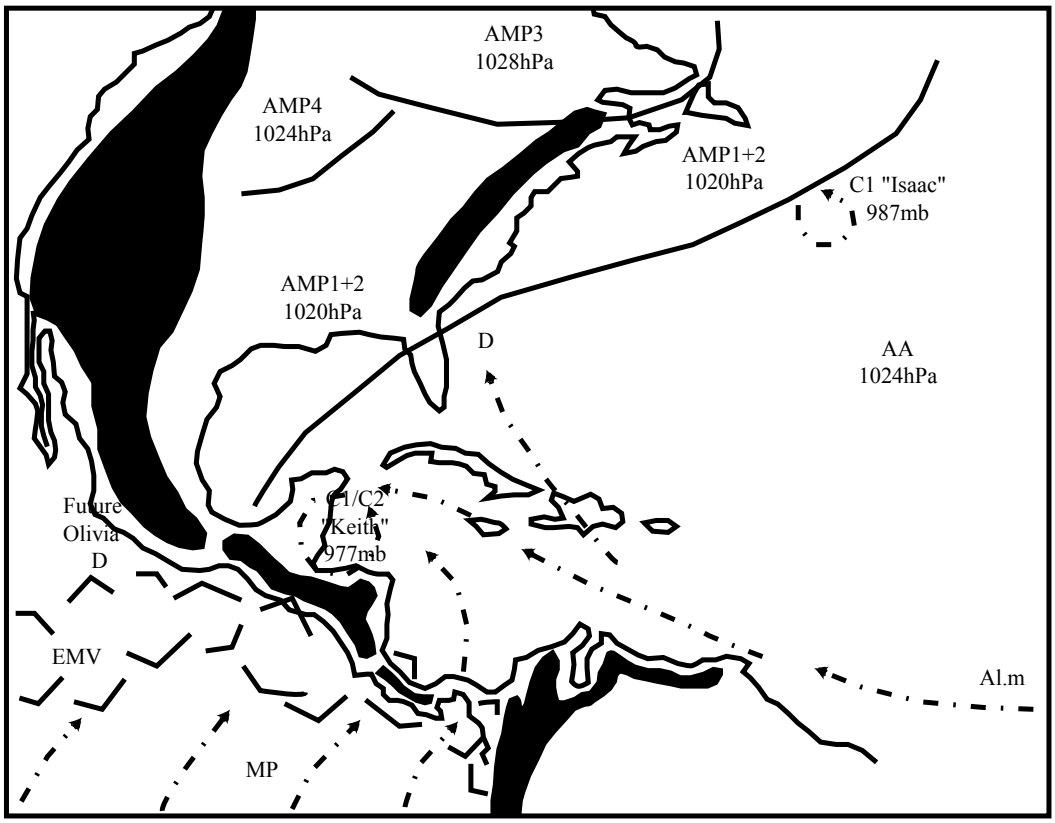


**Photo satellite n°92 : GOES 8, est, vis, le 1/10/2000, 18h15 T.U**

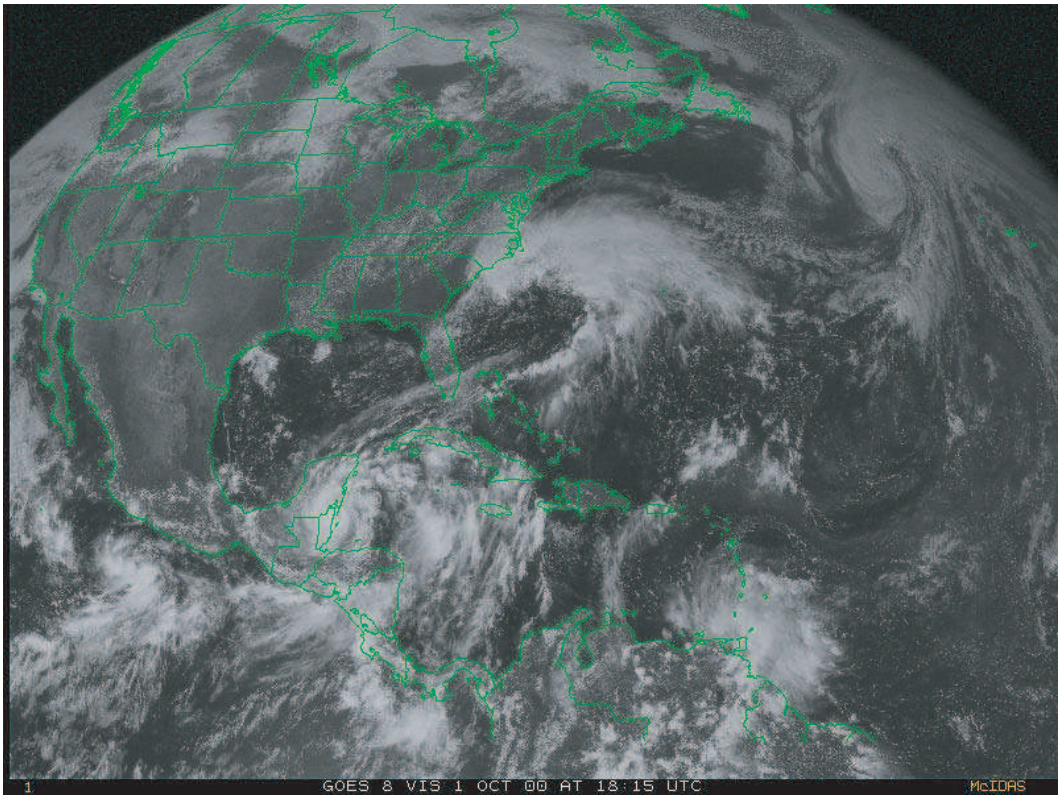



**Figure n°100 : Analyse de la photo satellite du 1/10/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

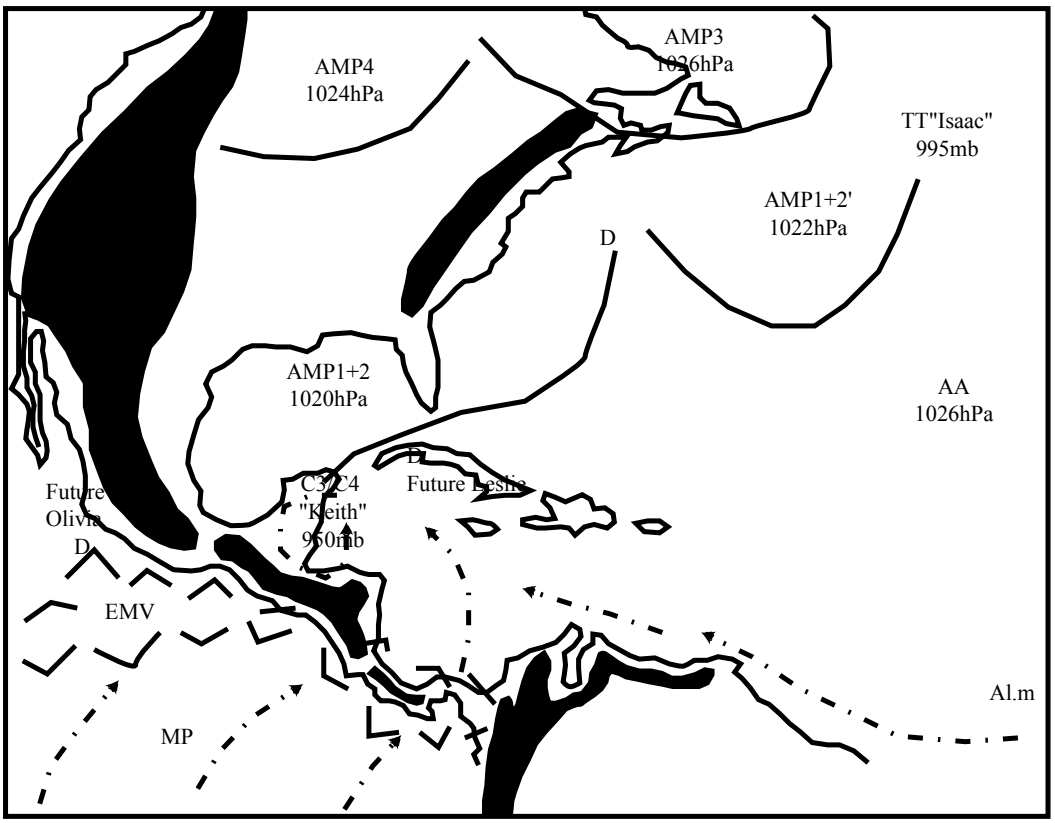


**Photo satellite n°93 : GOES 8, est, vis, le 2/10/2000, 18h15 T.U**

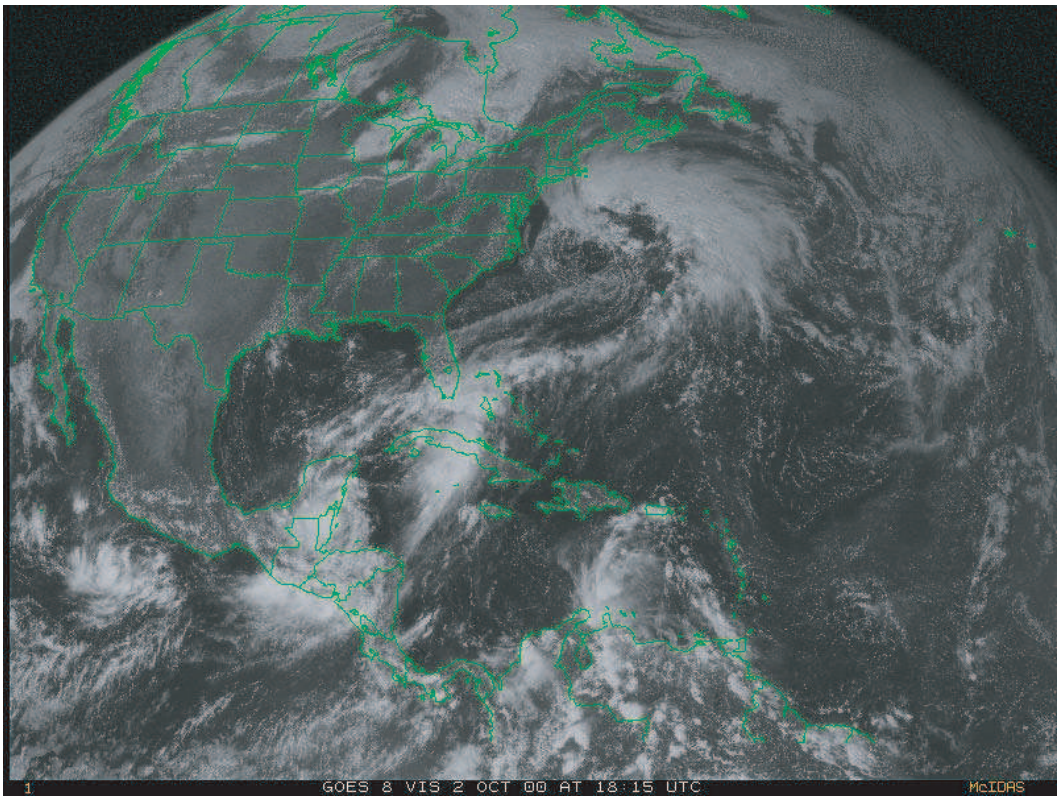



**Figure n°101 : Analyse de la photo satellite du 2/10/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

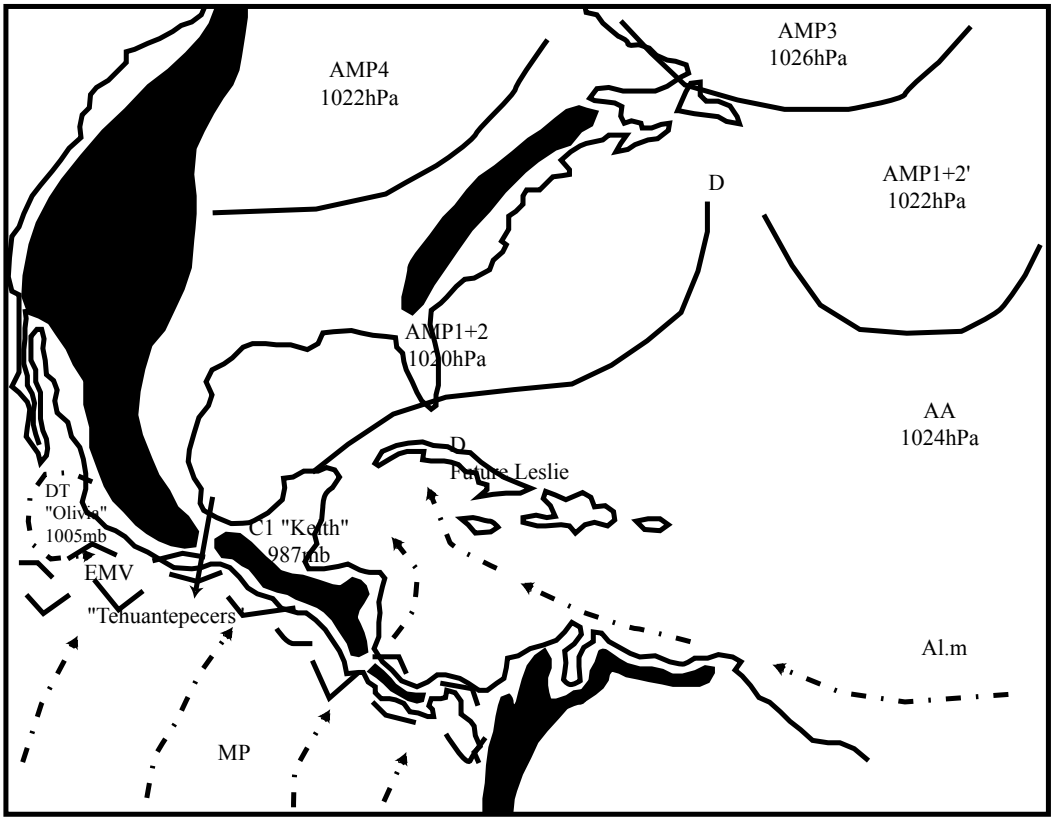


**Photo satellite n°94 : GOES 8, est, vis, le 3/10/2000, 18h15 T.U**

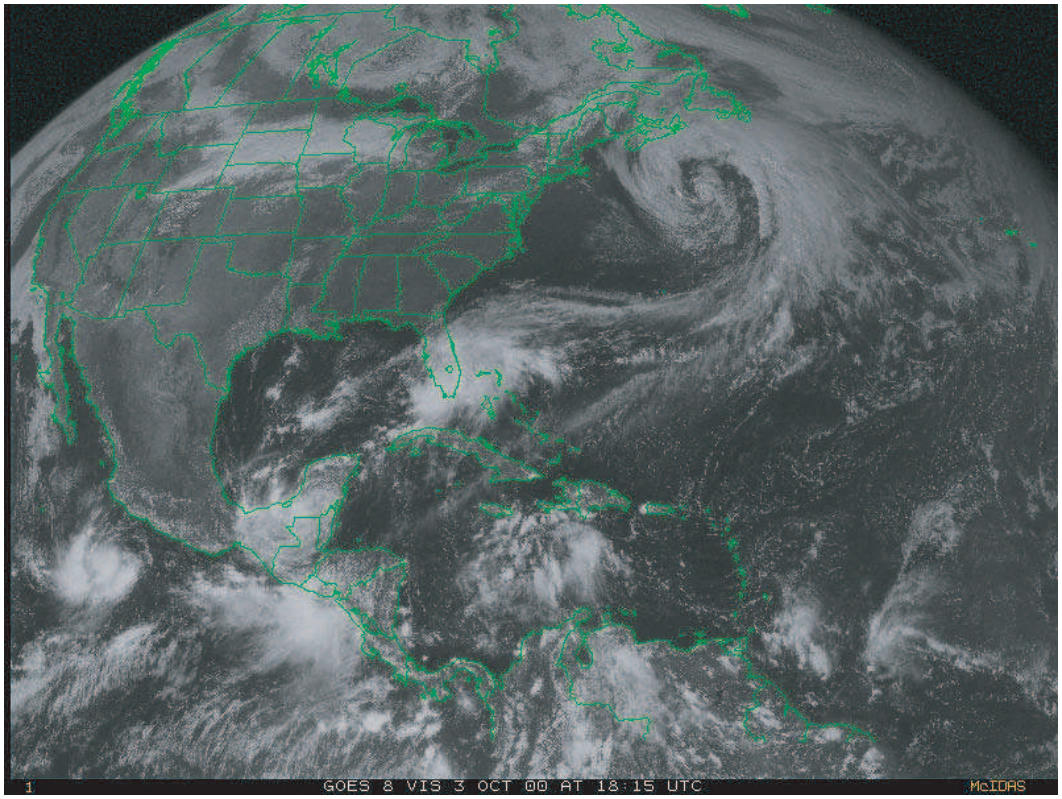



**Figure n°102 : Analyse de la photo satellite du 3/10/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

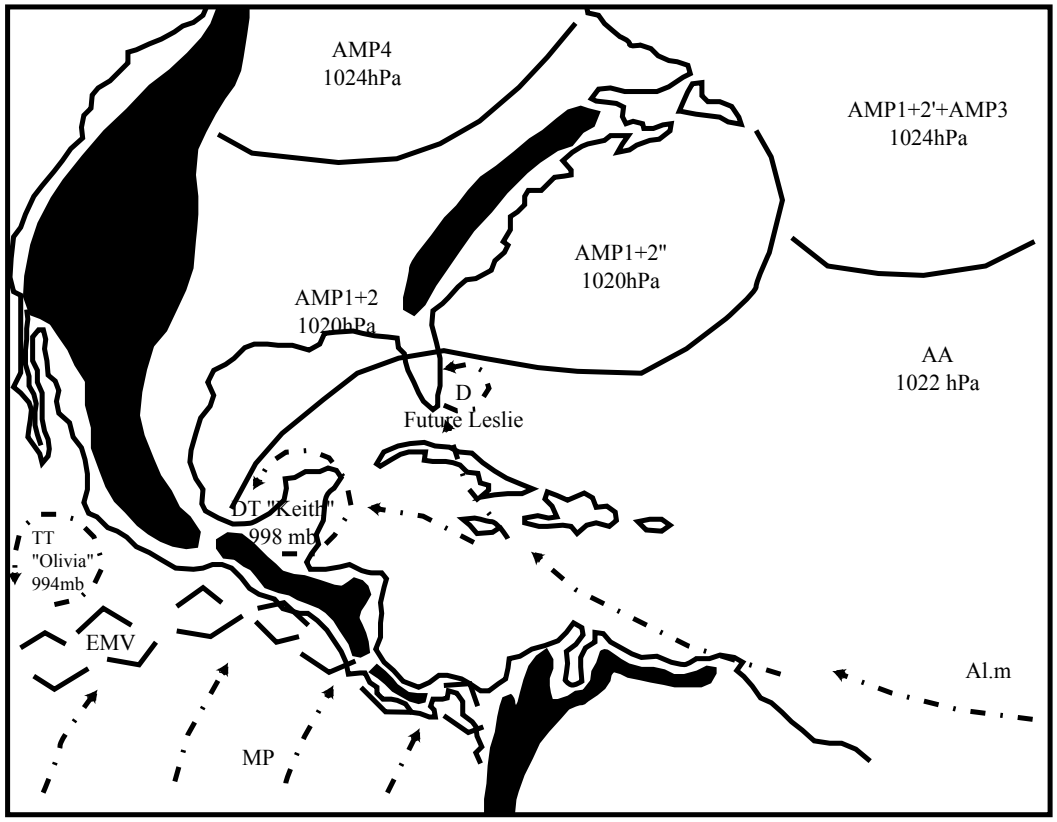


**Photo satellite n°95 : GOES 8, est, vis, le 4/10/2000, 18h15 T.U**

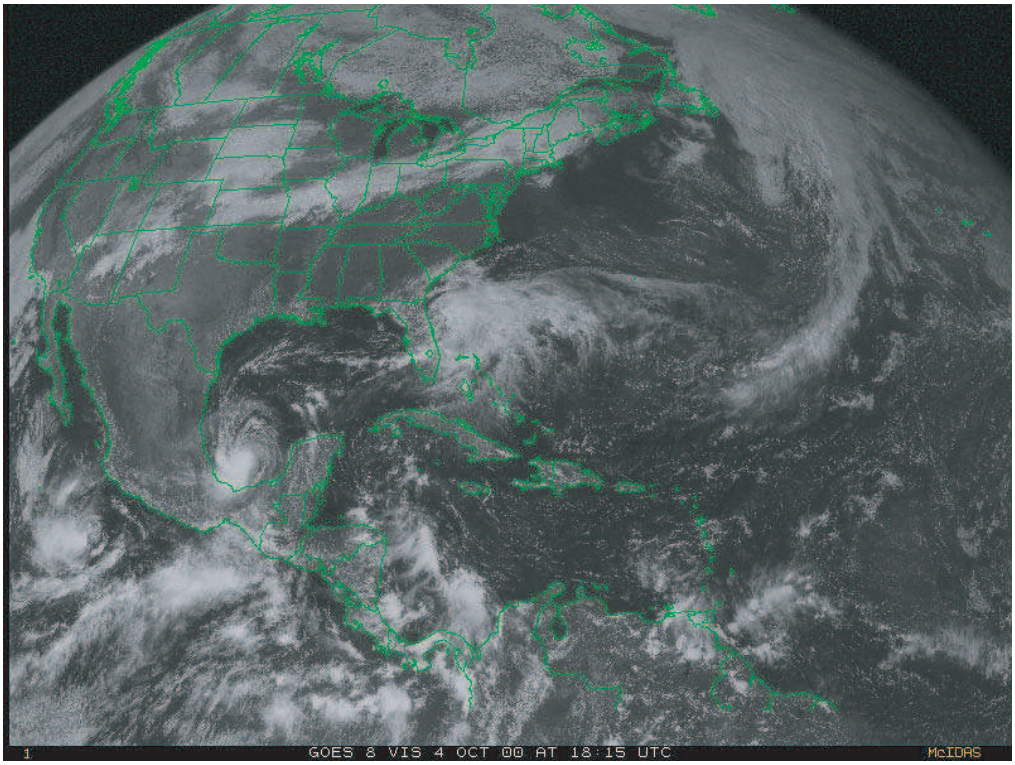



**Figure n°103 : Analyse de la photo satellite du 4/10/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

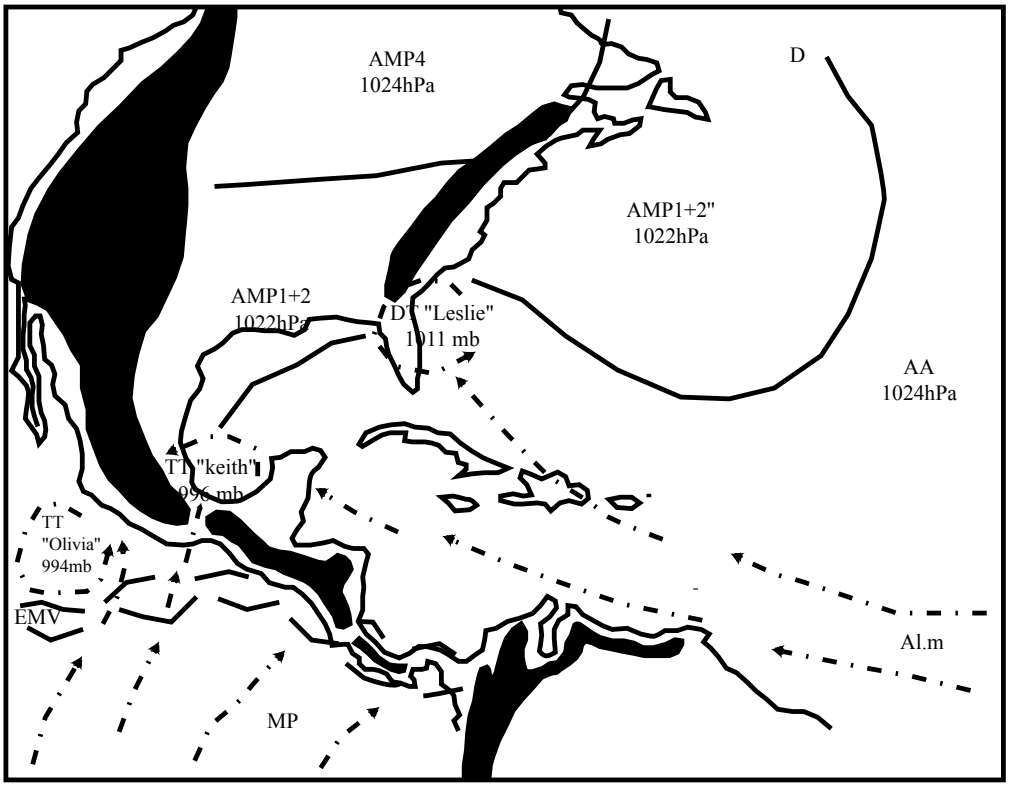


**Photo satellite n°96 : GOES 8, est, vis, le 5/10/2000, 18h15 T.U**

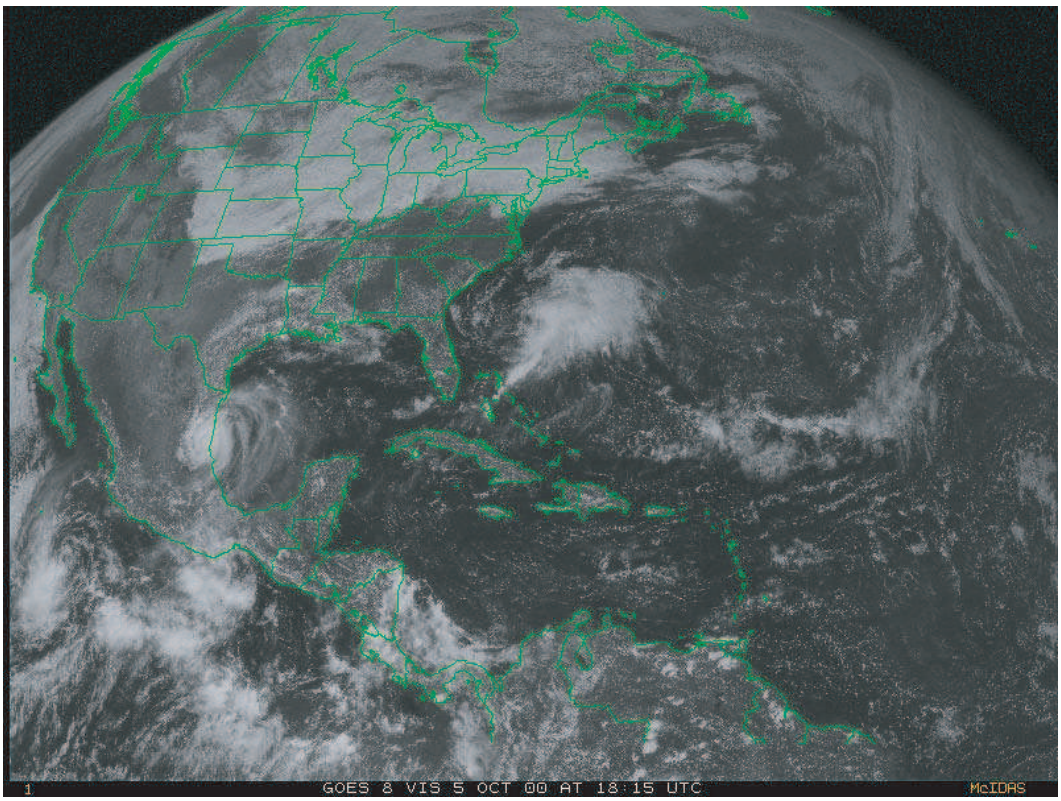



**Figure n°104 : Analyse de la photo satellite du 5/10/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

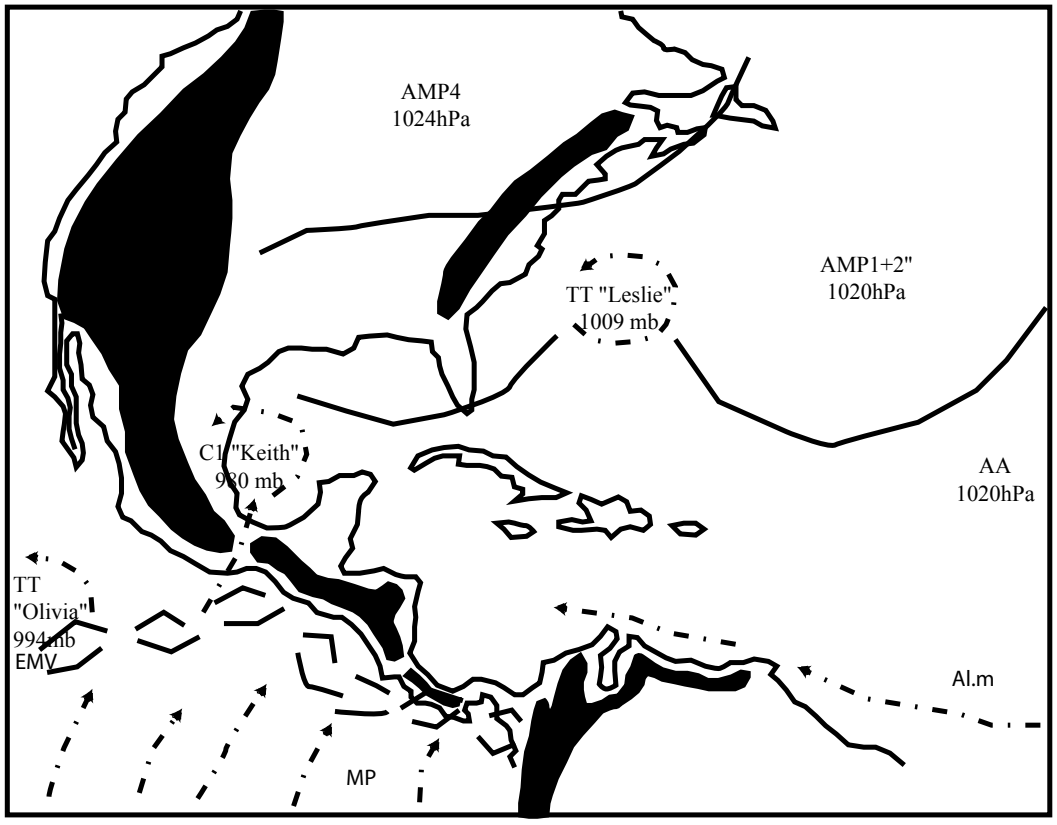


**Photo satellite n°97 : GOES 8, est, vis, le 6/10/2000, 18h15 T.U**

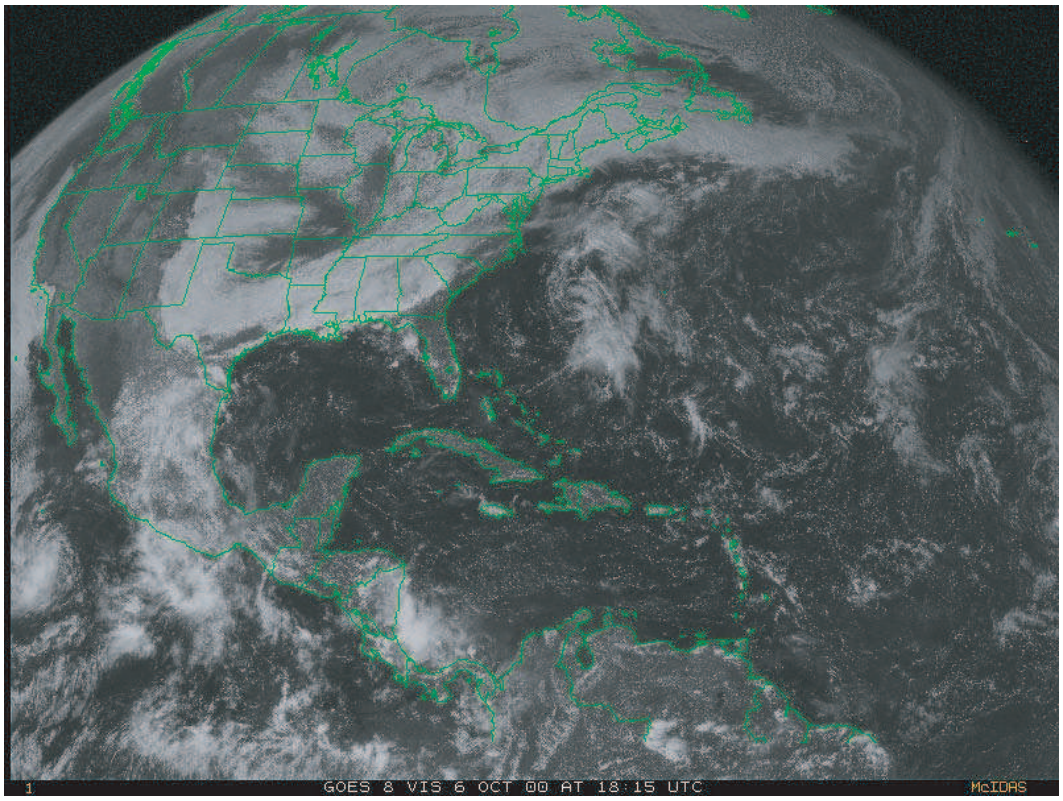



**Figure n°105 : Analyse de la photo satellite du 6/10/2000, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

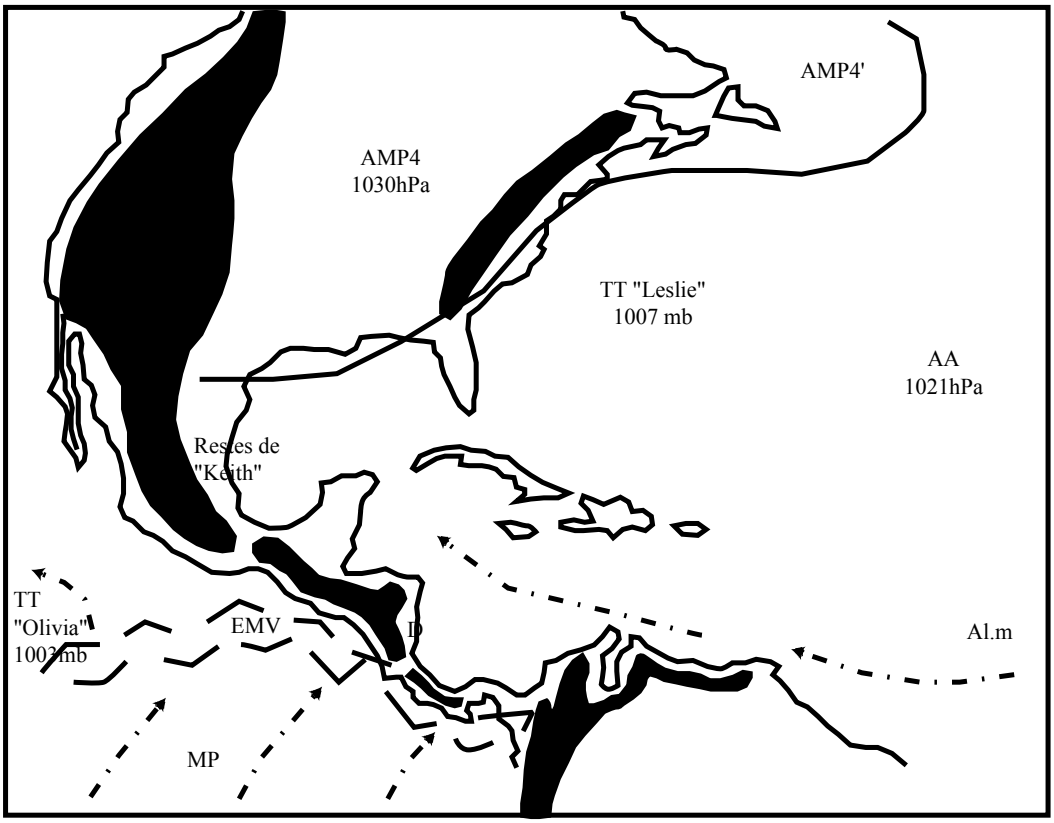


**Fig. n°106 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP1 et "AMP", trajectoire de "Keith" du 24 au 28 septembre 2000**

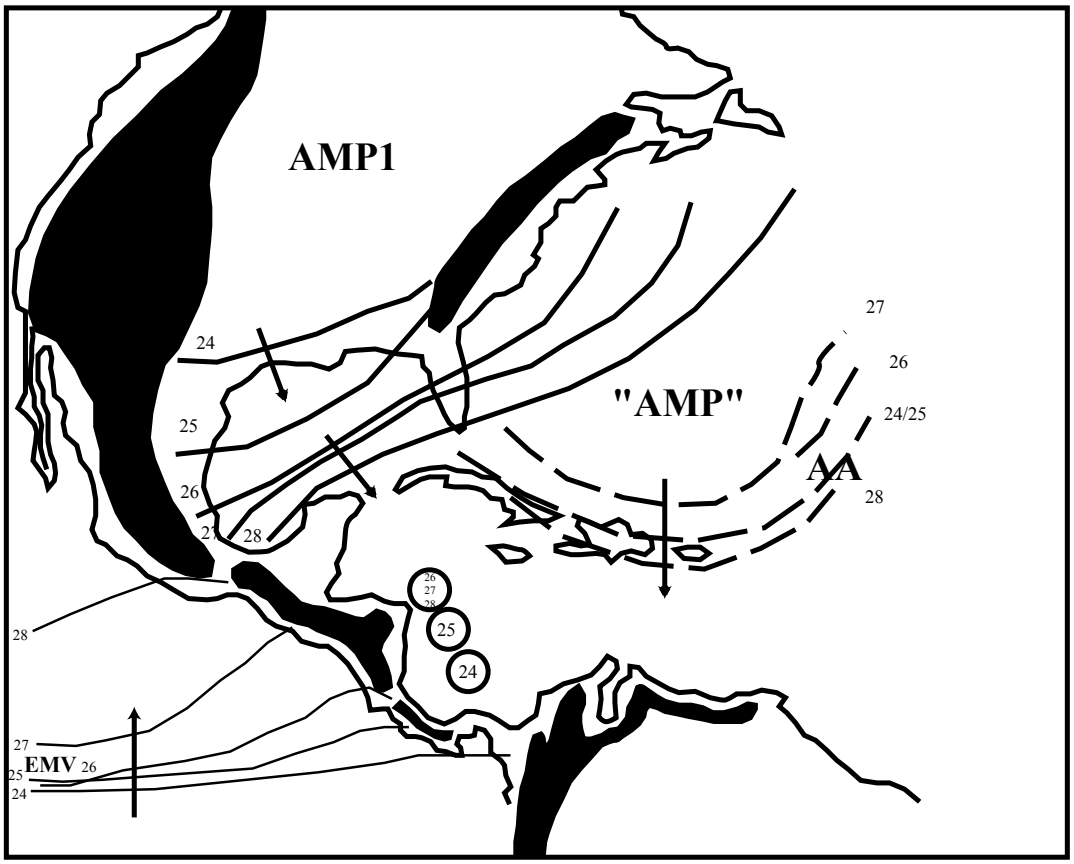
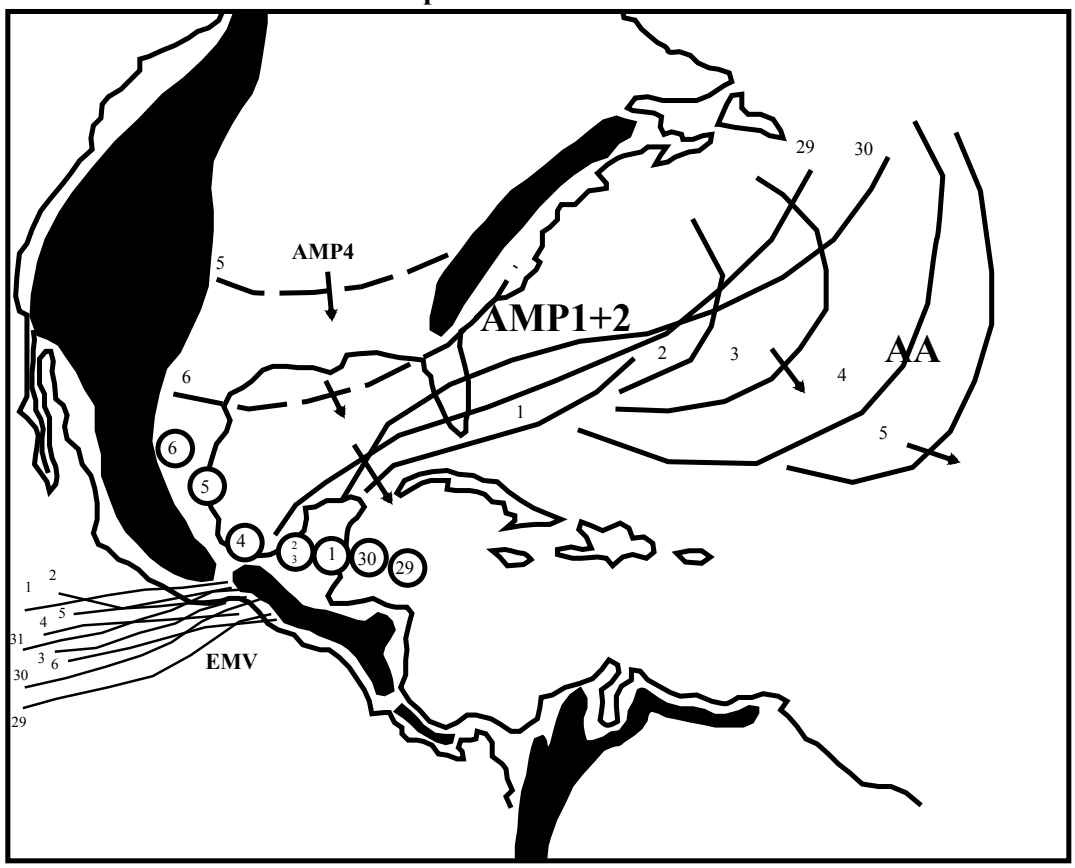



**Fig. n°107 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP1+2 et de l'AMP4, trajectoire de "Keith" du 29 septembre au 6 octobre 2000**



- **Commentaire de la fig. n°96 (analyse de la photo satellite du 27/9/00) :**

Le système dépressionnaire s'organise, des bandes nuageuses en spirale sont visibles sur la photo satellite.

Sur le Pacifique, l'EMV est toujours situé très au nord, acollé aux reliefs centraméricains (la poussée de la MP est très forte). Une dépression s'organise peu à peu sur l'extrémité sud-ouest du Mexique (future « Olivia »).

- **Commentaire de la fig. n°97 (analyse de la photo satellite du 28/9/00) :**

Sur l'Amérique du Nord, la face avant de l'AMP1, soulignée par d'intenses formations nuageuses témoignant de la violence des ascendances, s'étend depuis l'isthme de Tehuantepec au Mexique jusqu'au large de Terre Neuve. Sur l'extrémité nord-est du Canada, nous observons un AMP plus récent, l'AMP2. Sur l'océan Atlantique, le cyclone « Isaac », formé le 21/9/00 relève le 28/9/00 de la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson. Nous voyons que ce cyclone, potentiellement très dangereux, se déplaçant vers l'ouest, devrait logiquement rencontrer la face avant de l'AMP1 (AMP renforcé par l'arrivée de l'AMP2) et de ce fait, épargner le continent. Au sud de l'AA dite des « Açores », les flux d'Al.m se dirigent vers la mer des Caraïbes et le Golfe du Mexique. Une partie de ces flux d'alizé est cependant déviée en direction d' « Isaac ».

A proximité des côtes de l'Amérique Centrale, sur le Pacifique, l'EMV, situé très au nord, est souligné par d'intenses formations nuageuses témoignant de l'activité de ce dernier. Les flux de la MP parviennent jusqu'à l'isthme centraméricain, rencontrent les reliefs, s'élèvent violemment et provoquent d'intenses précipitations du côté pacifique. Une partie de ces flux de la MP profite de l'abaissement du relief dans l'isthme de Panama et l'ensellement du Nicaragua pour franchir l'isthme et rejoindre, sur la mer des Caraïbes, les flux de l'Al.m avant d'être progressivement déviés vers la dépression tropicale (DT) n°15 maintenant dissociée de l'EMV et située approximativement à 110 kilomètres au nord-nord-est du cap « Gracias a Dios » (Nicaragua).

- **Commentaire de la fig. n°98 (analyse de la photo satellite du 29/9/00) :**

La DT n°15 s'est rapidement creusée et intensifiée pour devenir la tempête tropicale (TT) « Keith ». Les flux tropicaux n'ont d'autre possibilité que celle de s'élever sur la face avant de l'AMP1+2 et/ou au contact de l'orographie centraméricaine. Le 29/9/00, des précipitations très intenses affectent la zone occidentale et le sud de la région pacifique du Nicaragua. La région de « Corinto » (Nicaragua) est victime d'inondations et de glissements de terrains, les premières victimes sont à déplorer. Les pays voisins sont eux aussi concernés par d'intenses précipitations (voit tableau statistique).

- **Commentaire de la fig. n°99 (analyse de la photo satellite du 30/9/00) :**

La TT « Keith » s'est encore creusée et intensifiée (atteignant le stade de cyclone catégorie 1 sur l'échelle Saffir-Simpson à 12h00 T.U puis le stade de cyclone catégorie 2 à 21h00 T.U). « Keith » a doucement tourné vers l'ouest et se trouve maintenant au sud-est des îles côtières du Belize. Nous pouvons observer que le système dépressionnaire est parfaitement organisé, l'oeil est à présent bien visible. Les flux tropicaux, chauds, humides, instables s'élèvent sur la face avant de l'AMP1+2 ainsi qu'au contact des reliefs centraméricains. La position géographique de « Keith » favorise sur le Pacifique la remontée de l'EMV vers le nord. Cette structure pluviogène fondamentale ainsi que la présence de

« Keith » entraîne des précipitations violentes sur la région pacifique du Nicaragua (essentiellement l'occcident et le sud de la région du Pacifique mais aussi le nord des régions centrales et atlantiques ainsi que dans les autres pays de l'isthme). Les flux de la MP, franchissant l'isthme centraméricain au niveau de l'isthme du Panama et de l'ensellement du Nicaragua sont nettement visibles sur la photo satellite. Ces flux sont violemment déviés vers « Keith » et provoquent d'intenses précipitations du côté atlantique.

- **Commentaire de la fig. n°100 (analyse de la photo satellite du 1/10/00) :**

Sur la face avant de l'AMP1+2, « Keith » évolue très rapidement. La pression centrale du système dépressionnaire a baissé de 1000 millibars à 18h14 T.U le 29/9/00 à 939 millibars à 7h08 T.U le 1/10/00 (minimum de pression). Cela représente donc une baisse de 61 millibars en 37 heures ! De plus, nous observons une baisse de 38 millibars entre 18h08 T.U le 30/9/00 et 7h08 T.U le 1/10/00 (heure du minimum de pression) ! La vitesse maximale du vent mesurée fut de 240 km/h vers 7h08 T.U, heure du minimum de pression. « Keith » relève alors de la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson. Un peu plus tard, vers 21h00 T.U, « Keith » va perdre un peu de puissance et relever de la catégorie 3. En effet, sous l'influence de l'AMP1+2, le 1/10/00, le cyclone touche terre vers 18h00 T.U, au Belize entre « Ambergris Cay » et « Caye Caulker » et connaît de ce fait un affaiblissement. L'EMV est toujours situé très au nord ; un peu partout en Amérique Centrale, les précipitations sont intenses, le risque d'inondations est très fort, le niveau des fleuves augmente dangereusement. La zone centrale et nord du Nicaragua, essentiellement dans le département du Léon est particulièrement affectée.

La presence de l'AMP1+2 sur le Golfe du Mexique, empêche le déplacement du cyclone vers l'ouest et maintient « Keith » entre le nord du Honduras, le Belize et le Yucatán, au pied de la cordillère centraméricaine. « Keith », sur terre, perd certes de sa puissance mais ne se résorbe pas pour autant (l'alimentation est encore bonne, Al.m et MP).

- **Commentaire de la fig. n°101 (analyse de la photo satellite du 2/10/00) :**

L'AMP1+2 interdit le passage vers l'ouest et le nord à « Keith ». A 00h00 T.U, « Keith » relève de la catégorie 2 de l'échelle Saffir-Simpson. A 3h00 T.U, le cyclone connaît un léger regain d'activité et relève à nouveau de la catégorie 3. A 09h00 T.U, « Keith » rétrograde à la catégorie 2 puis à la catégorie 1 à 12h00 T.U. Le cyclone ne bénéficie plus d'une bonne alimentation. Si les flux d'Al.m arrivent encore jusqu'à lui, une bonne partie de ces derniers est maintenant déviée vers un système dépressionnaire qui se creuse entre l'île de Cuba et la Floride, sur la face avant de l'AMP1+2 (ce système dépressionnaire deviendra plus tard la tempête tropicale « Leslie »). Les flux de la MP franchissent encore l'isthme centraméricain, en empruntant l'ensellement du Nicaragua mais l'alimentation est réduite par la présence de l'orographie centraméricaine. Plus tard, « Keith » qui était jusqu'à présent bloqué par la présence de l'AMP1+2, voit le passage en partie autorisé. En effet, l'AMP1+2 a poursuivit son déplacement vers l'est (aidé par le glissement vers le sud de l'AMP4).

- **Commentaire de la fig. n°102 (analyse de la photo satellite du 3/10/00) :**

L'AMP 1+2 s'est progressivement déplacé vers l'est et autorise ainsi le déplacement de « Keith » vers l'ouest. Le système dépressionnaire passe du stade de TT à 00h00 T.U à celui de DT à 15h00 T.U. « Keith » se déplace sur terre, à travers le Yucatán ; le centre de « Keith » se situe à 32 kilomètres au sud-ouest de « Chetumal » (Mexique). Le système se déplace vers le nord-ouest et des vents ayant une vitesse de 80 km/h sont enregistrés. Coupé de l'essentiel

de son alimentation, sur terre, « Keith » va progressivement s'affaiblir. Notons cependant que d'intenses précipitations continuent d'affecter le Nicaragua et les pays limitrophes (présence de l'EMV actif).

- **Commentaire de la fig. n°103 (analyse de la photo satellite du 4/10/00) :**

« Keith » n'est plus, dans un premier temps, qu'une simple DT. Cette DT est située à environ 500 kilomètres à l'est-sud-est de « Tampico » (Mexique) quand elle va peu à peu reprendre des forces sur le Golfe du Mexique. « Keith » se réorganise et va se renforcer pour, à nouveau, devenir une TT sur la baie de « Campeche » (Mexique). Les flux de la MP profitent de l'abaissement du relief au niveau de l'isthme de Tehuantepec pour rejoindre le Golfe du Mexique. Sur le Pacifique, au large des côtes mexicaines, « Olivia » est mieux organisée. Les deux systèmes dépressionnaires, situés de part et d'autre de l'isthme, agissent comme des « engrenages » et favorisent la remontée vers le nord de l'EMV ainsi que l'accélération des flux de la MP qui s'engouffrent dans l'isthme de Tehuantepec pour rejoindre « Keith ».

- **Commentaire de la fig. n°104 (analyse de la photo satellite du 5/10/00) :**

« Keith » va se renforcer (nouvelle alimentation grâce à la MP) et relever à nouveau de la catégorie 1 de l'échelle de Saffir-Simpson. Des vents ayant une vitesse de 170 km/h sont enregistrés quand le cyclone touche à nouveau terre, approximativement à 37 kilomètres au nord de « Tampico » (Mexique) et ce vers 18h00 T.U. « Keith » va rapidement s'affaiblir et se dissiper.

- **Commentaire de la fig. n°105 (analyse de la photo satellite du 6/10/00) :**

« Keith » ayant touché terre, coupé de toute alimentation, va rapidement se dissiper (TT à 00h00 T.U, DT à 06h00 T.U, se résorbe à 18h00 T.U).
« Keith », aura entraîné des pluies torrentielles en Amérique Centrale (surtout au Nicaragua et au Belize où à « Philipe Goodson International Airport, Belize city », 830 millimètres accumulés entre le 28/9/00 et le 6/10/00 ont été relevés).

Souligons que l'AMP4 épouse parfaitement les contours du relief (cela était déjà bien visible la veille, au nord-est des Montagnes Rocheuses).

- **Bilan de l'épisode « Keith » (fig. n°106 et 107) :**

- **Bilan 1(fig. n°106) :**

La descente et l'intégration progressive d'un AMP (« AMP ») dans l'AA dite « des Bermudes/Açores » (AA) se traduit par la formation de LP. La face avant de cet « AMP », les LP, la proximité de l'EMV et le relief vont favoriser les ascendances et le creusement d'une dépression au nord du Panama. Dans ce secteur, l'abaissement du relief autorise la MP à pénétrer sur l'espace atlantique (nous sommes fin septembre et l'EMV est situé dans sa position la plus septentrionale, à proximité du littoral pacifique centraméricain); les flux de la MP rejoignent les flux de l'Al.m atlantique avant d'être progressivement déviés vers le système dépressionnaire qui dispose donc d'une excellente alimentation. Sur la face avant de l'AMP et /ou au contact du relief, ces flux instables s'élèvent et le système dépressionnaire se creuse. En dépit de toute l'énergie concentrée dans ce système dépressionnaire, la route vers le nord lui est interdite par la présence de l'AMP (« AMP ») quasi intégré dans l'AA. Le

système dépressionnaire n'a d'autre choix que celui de rester à proximité des côtes caraïbes centraméricaines, le long du relief côtier.

- **Bilan2 (fig. n°107) :**

« Keith » va continuer son cheminement vers l'ouest-nord-ouest puis rencontrer la face avant de l'AMP1+2. « Keith », va rester quelques jours « stationnaire » avant de pouvoir reprendre son déplacement vers l'ouest-nord-ouest. L'AMP1+2, poussé vers le sud-sud-est par la descente d'un nouvel AMP (l'AMP4) sur les Etats-Unis va autoriser le passage et « Keith » va pouvoir continuer son déplacement. « Keith » mourra quelques temps après, coincé entre la face avant de l'AMP4 et le relief mexicain. Pendant toute cette période, l'EMV est situé très au nord et derrière lui, la MP pénètre sur l'isthme où des précipitations diluviennent se produisent.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

Ce cyclone, entraînant des précipitations diluviennes, des inondations, des glissements de terrain, a longuement affecté les côtes de l'Amérique Centrale. Avec un total de 25 morts (12 au Nicaragua, 6 au Honduras, 1 au Salvador, 5 au Belize et 1 au Mexique), le bilan humain est très lourd et restera malheureusement provisoire. Le bilan matériel est lui aussi conséquent : 3 962 personnes déplacées au Nicaragua ; 1 360 dans l'Etat de « Tabasco » au Mexique (au total, 25 000 personnes furent plus ou moins affectées par les inondations) ; plus de 500 personnes furent évacuées au Costa Rica. Les destructions matérielles furent également très importantes (les routes et les ponts endommagés coupèrent 80 000 honduriens du reste de leur pays) et les pertes économiques se comptent en millions de dollars (essentiellement au Belize, où l'on parle de 225 millions de dollars) ; le Guatemala a lui aussi été affecté par de fortes précipitations qui ont entraîné des glissements de terrains.

**Tableau n°8 : Précipitations totales cumulées (en millimètres) entre le 28/9 et le 6/10/00**

| Stations : | Précipitations accumulées (en mm) : |
|---|---|
| **Belize :** | |
| **Philip Goodson International airport** | **830** |
| **Libertad** | 190 |
| **Towerhill** | 204 |
| **Central Farm** | 265 |
| **Belmopan** | **329** |
| **Barton Creek** | 75 |
| **Chaa Creek** | 167 |
| **Belize Zoo** | **451** |
| **Melinda** | 167 |
| **Middlesex** | 254 |
| **Pomona** | 165 |
| **Mayan King** | 92 |
| **Savannah** | 62 |
| **Bigfalls Plan.** | 142 |
| **P.G.Agstat** | 48 |
| **Blue Creek O.Walk** | **449** |
| **Spanish Lookout** | 251 |
| **Rum Point** | 79 |

| | |
|---|---|
| Rum Point | 79 |
| Consejo | 227 |
| St Johns College | 627 |
| Gallon Jug1 | 206 |
| Gallon Jug2 | 209 |
| Gallon Jug3 | 209 |
| Gallon Jug4 | 244 |
| Mexique : | |
| Chetumal | 245 |
| Obregon | 213 |
| Juan Serabia | 356 |
| Sabinas | 367 |

**« Précipitations et inondations au Nicaragua »**
**(clichés, AFP)**

*(A proximité de Managua)*



## 4) Conclusion :

Ces épisodes pluvieux furent caractérisés de « Temporal » par les autorités climatiques locales mais qu'est ce qu'un « Temporal » ?

Le « Temporal » repose sur l'activation et la remontée vers le nord, le long du littoral pacifique de l'Amérique Centrale de l'équateur météorologique vertical (EMV) c'est à dire l'EMV actif.

Il y a une gradation entre l'EMV (activité normale), le « Temporal » (EMV actif), la DT, TT ou le Cyclone . Tout est une question d'intensité.

Le « Temporal » correspond à une phase particulièrement active de l'EMV (zone de mouvements ascendants) ; de fortes poussées (LP) dans la MP entraînant la remontée de cette structure vers le nord.

Il ne faut pas oublier le rôle joué par les AMP et le relief :

- Importance de leur face avant, leur couloir dépressionnaire, lieu privilégié pour que naissent et se développent les systèmes dépressionnaires.
- Importance de leur écoulement en masse éventuel là où le relief s'abaisse (isthme de Tehantepec, dépression du Nicaragua, isthme de Panama) qui peut activer l'EMV (arrivée de LP favorisant les ascendances au sein d'une structure déjà propice), le repousser vers le sud et le maintenir à distance de l'isthme. Au contraire, si leur intensité est faible (AMP tropicalisé et/ou en partie écoulé vers le Pacifique), voire si le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes sont délaissés par les AMP, la remontée vers le nord de l'EMV est facilitée par la baisse des pressions.
- Importance du relief centraméricain qui favorise les ascendances, offre une protection naturelle. Le relief peut interdire l'écoulement en masse des AMP depuis l'Atlantique vers le Pacifique, permettant ainsi à l'EMV de remonter vers le nord ou, au contraire, autoriser l'écoulement en masse des AMP vers le Pacifique, repoussant l'EMV vers le sud.

Le système dépressionnaire, la DT ou la TT ainsi formé (par la descente d'un AMP et/ou l'arrivée d'une ou plusieurs LP atlantiques et /ou pacifique) peut devenir un cyclone, redevenir une TT voir une DT ou évoluer carrément en cyclone « Cordonazo ». Tous les cas de figure sont permis, ce n'est qu'une question d'intensité !

Un épisode de « Temporal » désigne donc une situation intermédiaire entre l'EMV (activité normale) et le cyclone, une situation pendant laquelle l'EMV, particulièrement actif, arrive sur l'isthme centraméricain.

Nous allons maintenant nous intéresser aux cyclones tropicaux, degré d'intensité au-dessus.

# Chapitre 5 : Les cyclones tropicaux

## 1) Introduction :

En ce qui concerne les cyclones tropicaux, la littérature spécialisée abonde et nous sommes contraints (devant la masse d'articles s'y référant) d'opérer un tri sélectif (bon nombre d'articles reprenant les mêmes informations). Nous allons donc tenter de présenter un bilan objectif des connaissances générales en la matière, bilan bien évidemment centré sur le cadre géographique de notre espace d'étude.

## 2) Bilan bibliographique :

### a) La structure d'un cyclone (M. Leroux, 2000) :

Le cyclone se présente comme une nébuleuse spirale qui couvre plusieurs centaines de kilomètres (de 500 à 1 000 kilomètres, voire le double dans les supers-typhons). Des bandes nuageuses séparées par des « rues » convergent vers un anneau compact autour de la dépression proprement dite.

L'œil forme un immense colisée entouré d'une muraille de cumulonimbus qui s'élèvent jusqu'à la tropopause. Zone généralement calme (de 10 à 50 kilomètres de large, voire davantage). L'œil bien formé au stade de la maturité, renseigne sur l'intensité du phénomène : étroit il indique un cyclone violent, large il appartient à un cyclone peu violent, l'élargissement de l'œil étant souvent le signal du déclin.

Le cyclone est une perturbation à cœur chaud, l'intense convergence dans la ceinture de cumulonimbus libérant d'énormes quantités d'énergie, qui entretient à son tour les violentes ascendances.

La vitesse de déplacement de l'ensemble de la nébuleuse, très variable et avec des accélérations brutales, est de l'ordre de 50 à 60 km/h, la vitesse s'accélérant aux latitudes élevées.

Les manifestations des cyclones sont essentiellement des dégâts, causés par le vent, la pluie et les effets sur la mer.

Le vent est le critère le plus fréquent de différenciation du type de perturbation dont l'intensité est progressive : dans la dépression tropicale, les vitesses du vent sont inférieures à 34 nœuds (60 km/h), la tempête tropicale a des vitesses comprises entre 34 et 63 nœuds, et au-delà de 64 nœuds (plus de 119 km/h) le cyclone atteint le stade de maturité. À ce niveau la vitesse peut dépasser 200 km/h, voire 300 km/h (le cyclone Gilbert, en septembre 1988 à la Jamaïque, a entraîné des pointes de vents à 325 km/h !), aux facteurs d'accélération s'ajoutant la réutilisation d'une partie de l'air soulevé, qui redescend à l'extérieur de la perturbation. La force du vent est associée aux rafales qui équivalent à des coups de boutoir : à 240 km/h la pression exercée est de l'ordre de 600 kg/m$^2$.

Pour différencier les types de perturbation, une échelle internationale à été mise en place. Le critère de différenciation étant le vent.

- **L'échelle « Saffir-Simpson » :**

- Cyclone catégorie 1 : vents compris entre 74 et 95 mph (119-153 km/h)
- Cyclone catégorie 2 : vents compris entre 96 et 110 mph (154-177 km/h)
- Cyclone catégorie 3 : vents compris entre 111 et 130 mph (178-209 km/h)

- Cyclone catégorie 4 : vents compris entre 131 et 155 mph (210-249 km/h)
- Cyclone catégorie 5 : vents supérieurs à 155 mph (>250 km/h)

Les précipitations se produisent sous l'anneau de cumulonimbus, elles sont considérables et violentes, les records pluviométriques appartenant aux cyclones.

Les effets des inondations sont aggravés par le relèvement du niveau de la mer, qui accompagne la marée d'ouragan et l'onde d'ouragan :

La marée d'ouragan est formée par les vents de la face polaire du cyclone, où ils sont les plus forts. Elle se propage sous la forme d'une houle à plus de 1 000-1 500 kilomètres à l'avant du cyclone, provoquant une remontée du niveau marin d'environ 1 mètre.

L'onde d'ouragan est plus dangereuse car elle est directement associée au cyclone, dont elle accompagne la baisse de pression en formant un véritable dôme d'eau. L'élévation due à la baisse de pression est de 1 centimètre par hPa (pour une chute de 100 hPa, le niveau de la mer s'élève de 1 mètre !), mais cette hausse est fortement accrue par la tension du vent sur l'eau orientée vers le centre du cyclone. L'onde d'ouragan élève le niveau de base des fleuves au moment où se produisent les pluies intenses et les inondations. Ses effets peuvent être amplifiés par la forme du littoral.

**b) Les conditions de la cyclogenèse :**

Les paramètres physiques favorables à la cyclogenèse ont été résumés par Gray (1968, 1975, 1979, 1981). Gray individualise six facteurs nécessaires à la cyclogenèse tout en reconnaissant que « les processus qui sont à l'origine du développement d'un cyclone tropical ne sont que partiellement compris ». Les paramètres énoncés ci-dessous sont donc « insuffisants pour que se produise la cyclogenèse » mais quand ces paramètres sont réunis, « la formation d'un cyclone est favorisée » (Gray, 1975, 1981).

Pour Gray, les trois premiers paramètres (vorticité relative élevée dans les basses couches, intervention de la force de Coriolis et faible cisaillement vertical des flux horizontaux) relèvent du « potentiel dynamique » ; les trois derniers (températures de surface océanique supérieures à 26°C (souvent considérée comme « La » condition !) et présence d'une thermocline profonde, instabilité conditionnelle tout au long d'une importante couche de l'atmosphère et humidité relative élevée dans la basse et moyenne troposphère) relèvent du « potentiel thermodynamique ».

Une fois ces six conditions préalables réunies, il faut un facteur déclencheur. Pour Frank (1987) comme pour la quasi totalité des météorologues centraméricains, « les perturbations noyées dans les flux d'alizé d'est conduisent à la formation de cyclones tropicaux ». Les « ondes d'est », formées au large de la côte africaine, se déplaçant ensuite vers l'ouest seraient pour Hastenrath (1991) à l'origine de « la moitié des cyclones atlantiques » et pour Lamarre (1991), à « l'origine de la plupart des cyclones du Pacifique oriental ». Il est donc « généralement admis que les ondes d'est originaires d'Afrique constituent un mécanisme de formation des cyclones tropicaux dans le Pacifique ». « D'autres mécanismes peuvent être impliqués dans la cyclogenèse de cet espace » (J. A. Zehnder, R. L. Gall, 1991). Selon ces derniers, l'interaction du flux de grande échelle (alizés d'est) avec la topographie (Sierras Madre) conduirait à la formation de « systèmes convectifs d'échelle moyenne » sur le continent qui seraient par la suite repoussés vers l'océan Pacifique par le

vent. Ces auteurs reconnaissent cependant que « les preuves apportées (dans leur étude) à ces mécanismes sont loin d'être concluantes ».

Selon M. Leroux (2000), la naissance et le maintien des cyclones exigent la réunion simultanée de cinq conditions essentielles :

- **L'existence d'un champ dépressionnaire de basses couches :**

Il favorise le creusement initial de la dépression. Cette condition est fournie par les BPIT (basses pressions intertropicales), et surtout par leur axe l'EM. Ce champ de basses pressions préalable peut être aussi la dépression sur la face avant d'un AMP. Une fois le cyclone formé, il a tendance à suivre les pressions les plus faibles, tropicales et extratropicales.

- **Le déclenchement de l'ascendance :**

Le déclenchement de l'ascendance est dynamique. L'EM (sauf l'EMI continental) est activé par l'arrivée de puissantes LP qui provoquent la formation de concentrations nuageuses zonales, l'enfoncement de l'EM, vers le nord ou vers le sud et le déclenchement d'une amorce de tourbillon. Dans le concept « onde d'est », l'effet pulsation n'est pas évoqué mais il existe !

- **Le cyclone doit s'auto-entretenir :**

Le cyclone s'auto-entretient à condition que la formidable énergie qui lui est nécessaire soit constamment renouvelée, de manière puissante et régulière. Les cyclones se forment et se maintiennent lorsqu'ils sont alimentés par des flux tropicalisés, chauds et surtout très riches en énergie (c'est-à-dire très humides). Ces conditions sont remplies par les flux de mousson et d'Al.m évolué (type 2).

A cause de l'inertie thermique océanique la qualité des flux humides est meilleure à la fin de l'été et en automne. Le renouvellement de l'alimentation doit être rapide et ininterrompu, au stade de la naissance où il exige des flux vecteurs puissants (animés par des pulsations), puis ensuite par des vents accélérés, le cyclone dirigeant vers lui quasiment toute l'énergie environnante dans un espace de rayon supérieur à 1 000 kilomètres. Une eau ayant une température supérieure à 26°C relève de la simple covariation !

- **Le cyclone doit pouvoir se développer dans toute la troposphère :**

C'est-à-dire qu'au stade initial, il ne doit y avoir ni subsidence, ni cisaillement. Les meilleures conditions sont donc offertes par l'EMV où naissent plus de 80% des cyclones. Le cyclone trouve encore d'excellentes conditions de développement vertical sur la face avant d'un AMP, mais les conditions énergétiques sont alors nettement moins favorables.

- **La formation ou l'accentuation d'un tourbillon (vortex) est nécessaire :**

La formation d'un vortex est indispensable à l'attraction et à l'accélération de l'alimentation et à la concentration de la convergence. Elle dépend de la force géostrophique. Celle-ci (fonction de la latitude) étant quasiment nulle à l'équateur, la cyclogenèse est impossible dans l'espace compris entre les latitudes 4 et 5 degrés nord et sud. Ainsi, l'EM doit être suffisamment éloigné pour devenir le point de départ privilégié des cyclones.

## c) La géographie des cyclones tropicaux dans notre espace d'étude :

En moyenne annuelle 80 à 90 tempêtes tropicales, d'une intense dépression tropicale au cyclone, se produisent au cours d'une année sur l'ensemble de la zone tropicale, la répartition en étant très inégale (Gray, 1979 ; Anthes, 1982 ; Leborgne, 1986 ; Frank, 1987 ; Hastenrath, 1991 ; McBride, 1995).

La plupart des cyclones (87%) se forment entre 20° de latitude nord et 20° de latitude sud. Les deux tiers des cyclones tropicaux se forment dans l'hémisphère Nord, le nombre de cyclones tropicaux se produisant dans l'hémisphère occidental est deux fois plus important que le nombre de cyclones observés dans l'hémisphère oriental (A. Henderson-Sellers et al., 1998).

« La plupart des bassins océaniques tropicaux connaissent un maximum d'intensité cyclonique depuis la fin de l'été jusqu'au début de l'automne. Ceci est à mettre en relation avec la période où les températures de surface océanique sont les plus chaudes » (A. Henderson-Sellers et al., 1998). Cependant, « d'autres facteurs comme la variation saisonnière de la position de la zone dépressionnaire de mousson (« monsoon trough ») sont importants » (Frank, 1987 ; McBride, 1995).

Les deux secteurs géographiques correspondant à notre cadre d'étude comptent parmi les plus actifs : d'après les cartes proposées par Gray (1968, 1975), « les dépressions tropicales se forment essentiellement dans l'ouest de l'Atlantique et l'est du Pacifique ».

### - Dans l'Atlantique nord, la mer des Caraïbes et le Golfe du Mexique :

« La fréquence moyenne est de 9 ou 10 tempêtes par an, 5 ou 6 atteignent le stade de cyclone ». Ceci représente « seulement environ 12% du total mondial » (A. Henderson-Sellers et al., 1998). La saison cyclonique va de mai à novembre et « commence à devenir hautement active entre le mois d'août et le mois d'octobre, avec un maximum d'intensité en septembre » (Neumann et al., 1985).

L'étude du nombre de tempêtes tropicales atlantiques montre « des variations annuelles substantielles mais pas de tendance significative » (Landsea et al., 1996). En revanche, l'étude des cyclones intenses montre « une nette tendance à la baisse entre le début des années 1940 et la fin des années 1990, à l'exception des années 1995-1996 où l'on observe un regain d'activité cyclonique » (A. Henderson-Sellers et al., 1998). « En plus de ces changements de fréquence, on observe une baisse de l'intensité moyenne des cyclones tropicaux atlantiques ». Par contre, « il n'y a pas de changement significatif dans le pic d'intensité atteint par les cyclones les plus violents chaque année » (A. Henderson-Sellers et al., 1998).

Les observations de A. Henderson-Sellers et al. (1998) à l'échelle du bassin atlantique peuvent être complétées par celles de l'étude des cyclones intenses qui ont touché les côtes orientales américaines, de la péninsule de Floride à la Nouvelle Angleterre réalisée par Landsea (1993). Cet auteur remarque « une période calme des années 1970 au début des années 1990, comparable à celle des premières décades du siècle » (1900 et 1910). Les « conditions actives commencent à la fin de la décade 1910 et se poursuivent jusqu'au début de la décade 1960. Deux périodes particulièrement actives d'une périodicité de 7 ans sont relevées : 1944-1950 et 1954-1960.

« Il a été suggéré que l'hyperactivité de la saison cyclonique dans l'Atlantique en 1995 et 1996 pouvait annoncer un retour à une période active similaire à ce qui a été observé entre les années 1940 et 1960 » (A. Henderson-Sellers et al.,1998). « Dans la mesure où l'activité cyclonique atlantique observée entre les années 1970 et les années 1990 était anormalement

faible en comparaison des deux première décades du siècle, un retour à un régime plus actif n'est pas surprenant » (A. Henderson-Sellers et al.,1998).

« La fréquence cyclonique globale annoncée par les données de la National Climatic Data Center Global Tropical Cyclone Data Set montre que le nombre de cyclone tropicaux a augmenté depuis 1970 » A. Henderson-Sellers et al. (1998).

Dans ce bilan bibliographique propre à l'Amérique Centrale, nous trouvons parfois des propos susceptibles de faire naître en nous quelques interrogations… I. Perez Garcia (1990), reprenant l'idée du météorologiste Lucio (1930), publie un article mettant en évidence des corrélations positives entre la présence d'un cyclone tropical dans le Golfe du Mexique et les gelées tardives ou précoces qui se produisent sur le plateau central mexicain. Cet auteur constate que « la présence d'un cyclone tropical est l'une des conditions pour qu'il y ait gelée sur les hautes terres de l'Altiplano central mexicain » tout en reconnaissant que « les connaissances actuelles des mécanismes dynamiques et physiques associés à ces phénomènes sont inconnus à l'heure actuelle » et en ajoutant également que « le problème irrésolu qui persiste toujours est de savoir ce qui provoque le refroidissement ». Nous pouvons nous interroger sur la valeur de ce type de corrélation statistique, quel peut être le lien entre la présence d'un cyclone tropical sur le Golfe du Mexique et les gelées sévères observées sur le plateau mexicain ?

- **<u>Le Pacifique nord-est :</u>**

Prolonge vers l'ouest la zone atlantique, et avec 18 tempêtes par an  dont 10 atteignent le stade de cyclone constitue la deuxième région cyclonique (A. Henderson et al., 1998).

L'espace du Pacifique du nord-est est l'objet de beaucoup moins d'attention pourtant, « on sait depuis longtemps que le Pacifique du nord-est subtropical, juste à l'ouest de la côte mexicaine connaît un regain d'activité cyclonique » (J. A. Zehnder, R. L. Gall, 1991). Dans cette même étude, les auteurs reprennent les constatations de Renard et Bowman (1976) qui relèvent le fait que « près de 75% des cyclones tropicaux du Pacifique est se forment dans l'espace compris entre 10° de latitude nord et 20° de latitude nord, 115° de longitude ouest et la côte mexicaine ». A. Henderson-Sellers et al. (1998), remarquent également que « le Pacifique du nord-est a connu une nette tendance à l'augmentation de l'activité cyclonique» mais ces auteurs nous précisent cependant que « la collecte des données s'est faite sur une trop courte période » pour être exploitable scientifiquement.

« La zone source la plus importante se trouve entre 13° et 15° de latitude nord, en particulier au sud d'Acapulco. Les cyclones, en petit nombre, naissent aussi à des latitudes plus basses, entre 7° et 9° de latitude nord. Environ la moitié des cyclones nés au sud des côtes mexicaines s'échappe vers le Pacifique central, entre 15° et 20° de latitude nord ; les autres ne s'éloignent pas du continent ; leurs trajectoires s'incurvent vers le nord, puis vers le nord-est et touchent les côtes vers 20°-25° de latitude nord » (Lamarre, 1991). Au Mexique, ces cyclones qui incurvent leur trajectoire et viennent toucher le continent sont appelés *Cordonazos* (voir ci-dessous, 6).

<u>N.B :</u> Voir également page suivante carte n°41 des trajectoires moyennes suivies par les cyclones atlantiques et pacifiques (source NOAA).

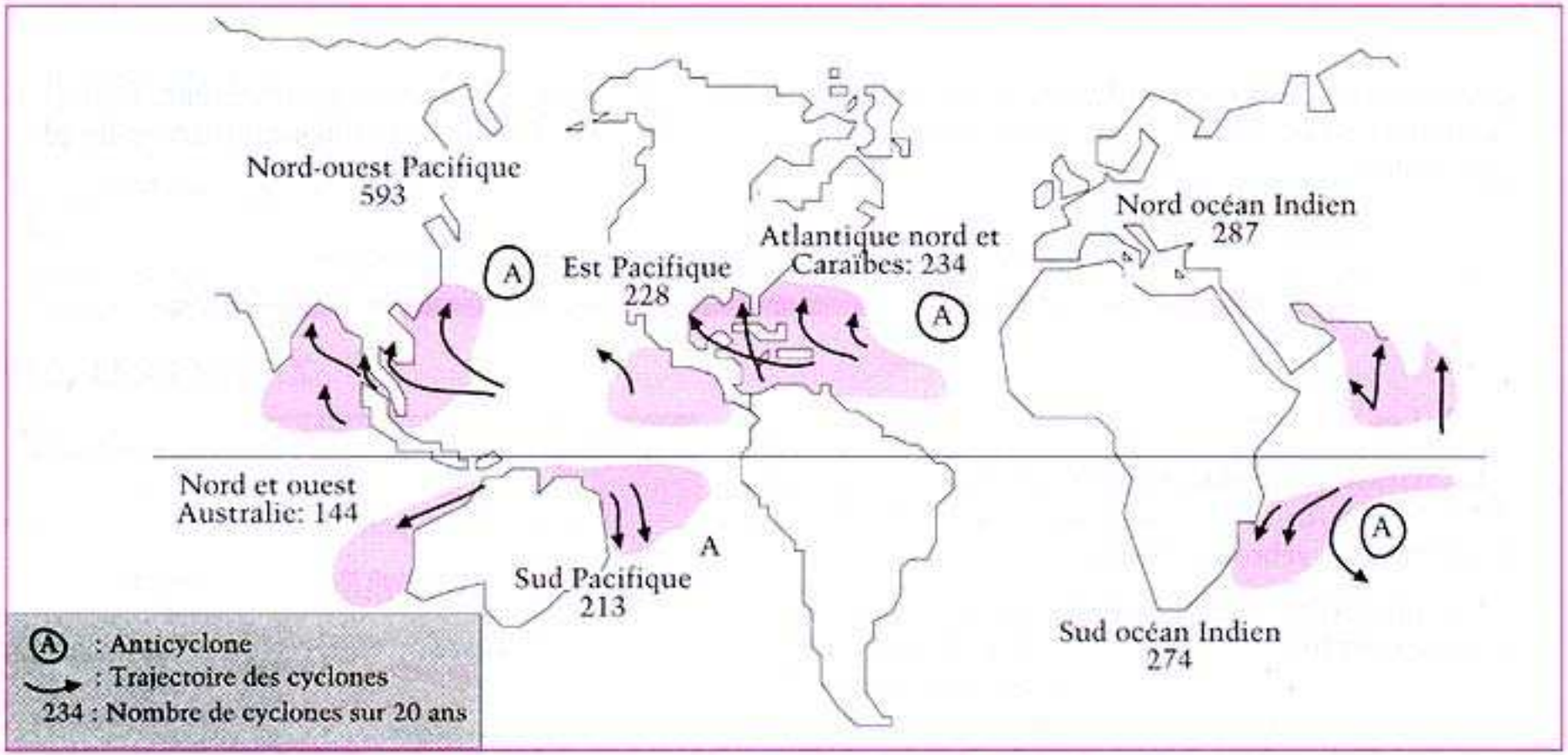



*Fig. 1 : Trajectoires des cyclones (20 ans d'observations)*

## 3) Etudes de cas de cyclone atlantiques :

### a) Etude de cas n°1 : le cyclone « Michelle » (du 27/10 au 7/11/2001) :

- **Introduction :**

Selon le météorologue du « NHC », Jack Beven (« Tropical Cyclone Report » du 23/1/02), « Michelle a été un cyclone de catégorie 4 très tardif ». L'agence de presse Reuters (La Havane, 10/11/02) fait la même remarque et présente « Michelle » comme un cyclone qui « arrive étonnamment tard dans la saison ». Faut-il réellement s'étonner de voir un cyclone aussi redoutable se former à cette époque de l'année ?

Toujours selon Jack Beven du « NHC », (« Tropical Cyclone Report» du 23/1/02), la formation et le développement du cyclone « Michelle » sont à mettre en relation avec « une onde tropicale formée au large de l'Afrique, le 16 octobre 2001, s'étant par la suite déplacée d'est en ouest, traversant l'océan Atlantique pour gagner les Antilles (le 23 octobre) puis l'ouest de la mer des Caraïbes (le 26 octobre) » ; « Le 29 octobre, à 18h00 T.U, sur la côte du Nicaragua, entre Puerto Cabezas et Bluefields, une dépression se creuse ».

**Tableau n°9 : historique de l'évolution du cyclone « Michelle » (du 29/10 au 8/11/2001)**

| Date/heure (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **29 / 1800** | 13.3 | 83.6 | 1004 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 30 / 0000 | 13.7 | 83.6 | 1004 | 60 | " |
| 30 / 0600 | 13.7 | 84.1 | 1005 | 60 | " |
| 30 / 1200 | 13.3 | 83.9 | 1005 | 60 | " |
| 30 / 1800 | 13.0 | 83.5 | 1006 | 60 | " |
| 31 / 0000 | 13.7 | 83.6 | 1004 | 60 | " |
| 31 / 0600 | 14.3 | 83.4 | 1005 | 60 | " |
| 31 / 1200 | 14.8 | 83.2 | 1004 | 60 | " |
| 31 / 1800 | 15.3 | 83.1 | 1004 | 60 | " |
| **01 / 0000** | 15.8 | 83.1 | 1001 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 01 / 0600 | 16.5 | 83.4 | 999 | 90 | " |
| 01 / 1200 | 16.8 | 83.6 | 995 | 100 | " |
| 01 / 1800 | 17.0 | 83.8 | 993 | 100 | " |
| 02 / 0000 | 17.3 | 83.9 | 991 | 110 | " |
| 02 / 0600 | 17.5 | 83.9 | 988 | 120 | " |
| **02 / 1200** | 17.8 | 84.0 | 979 | 140 | **Cyclone 1** |
| 02 / 1800 | 18.0 | 84.0 | 969 | 160 | " |
| 03 / 0000 | 18.5 | 84.0 | 957 | 180 | " |
| **03 / 0600** | 18.8 | 84.3 | 942 | 210 | **Cyclone 3** |
| **03 / 1200** | 18.9 | 84.3 | 937 | 230 | **Cyclone 4** |
| **03 / 1800** | 19.3 | 84.1 | **933** | 220 | " |
| 04 / 0000 | 19.7 | 83.7 | 938 | 230 | " |
| **04 / 0600** | 20.1 | 83.3 | 944 | **240** | " |
| **04 / 1200** | 20.8 | 82.5 | 947 | **240** | " |
| **04 / 1800** | 21.5 | 81.8 | 949 | **240** | " |
| 05 / 0000 | 22.3 | 80.9 | 953 | 210 | **Cyclone 3, Cyclone 2 à 03h00 T.U** |
| 05 / 0600 | 23.1 | 79.7 | 972 | 160 | " |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **05 / 1200** | 24.3 | 78.0 | 974 | 160 | **Cyclone 1** |
| 05 / 1800 | 25.4 | 76.4 | 980 | 150 | " |
| **06 / 0000** | 26.3 | 74.5 | 980 | 150 | **Extratropical** |
| 06 / 0600 | 26.9 | 72.6 | 980 | 150 | " |
| 06 / 1200 | 27.3 | 69.7 | 984 | 130 | " |
| 06 / 1800 | 28.7 | 66.5 | 989 | 110 | " |
| **07 / 0000** | | | | | **Tempête tropicale puis se résorbe** |
| **03 / 2100** | 19.4 | 83.9 | **933** | 220 | **Pression minimale** |
| **04/ 1800** | 21.5 | 81.8 | 949 | 240 | **Touche terre à « Cayo Largo », Cuba** |
| **04/ 2300** | 22.1 | 81.2 | 950 | 300 | **Touche terre à « Bay of Pigs », Cuba** |
| **05/ 1200** | 24.3 | 78.0 | 973 | 160 | **Touche terre à « Andros Island », Bahamas** |
| **05/ 1800** | 25.4 | 76.4 | 980 | 150 | **Touche terre à « Eleuthera Island »** |

- **Etude pas à pas du cyclone « Michelle » :**

- **Commentaire de la fig. n°108 (analyse de la photo satellite du 27/10/01) :**

Le continent nord-américain est recouvert par l'AMP1. L'air froid et dense de cette immense masse anticyclonique , incapable de s'élever, vient heurter les reliefs mexicains. La masse épouse les puissants reliefs du versant est de la Sierra Madre orientale. Au niveau de l'isthme de Tehuantepec (Mexique), l'abaissement du relief autorise l'écoulement de l'air froid en direction de l'océan Pacifique (« Tehuantepecers », « Nortes »). L'effet Venturi provoque l'accélération des flux anticycloniques pelliculaires (froids, denses). L'écoulement de l'air froid se fait sous forme de pulsations (LP). Ces LP contribuent à l'activation de l'équateur météorologique vertical (EMV).

Au sud de l'Agglutination Anticyclonique dite des « Bermudes/Açores » (AA), les flux de l'alizé maritime de type 2 (Al.m), chauds et humides se dirigent vers la mer des Caraïbes. Ces flux instables, au contact des reliefs et/ou de la face avant de l'AMP1, s'élèvent et des zones dépressionnaires se creusent au large du Nicaragua.

- **Commentaire de la fig. n°109 (analyse de la photo satellite du 28/10/01):**

L'AMP1 se déplace vers le sud-sud-est ; sa face avant est soulignée par d'intenses formations nuageuses qui s'étendent depuis le Honduras jusqu'à Terre Neuve. Les flux de la mousson panaméenne (MP), profitent de l'abaissement du relief au niveau de l'isthme du Panama pour gagner la mer des Caraïbes, rejoindre les flux de l'Al.m atlantique avant d'être progressivement déviés vers la face avant de l'AMP1. Ces flux chauds, humides, instables n'ont d'autre possibilité que de s'élever au contact de la face avant de l'AMP1 et/ou du relief ou de fuir, vers le nord-nord-est, le long du couloir dépressionnaire périphérique, en direction de la dépression associée à l'AMP1. Les dépressions se creusent au large du Nicaragua, au nord du Honduras et au sud de Cuba.

- **Commentaire de la fig. n°110 (analyse de la photo satellite du 29/10/01):**

Sur le Canada, nous observons un nouvel AMP (l'AMP2).

**Photo satellite n°98 : GOES 8, est, vis, le 27/10/2001, 18h15 T.U**

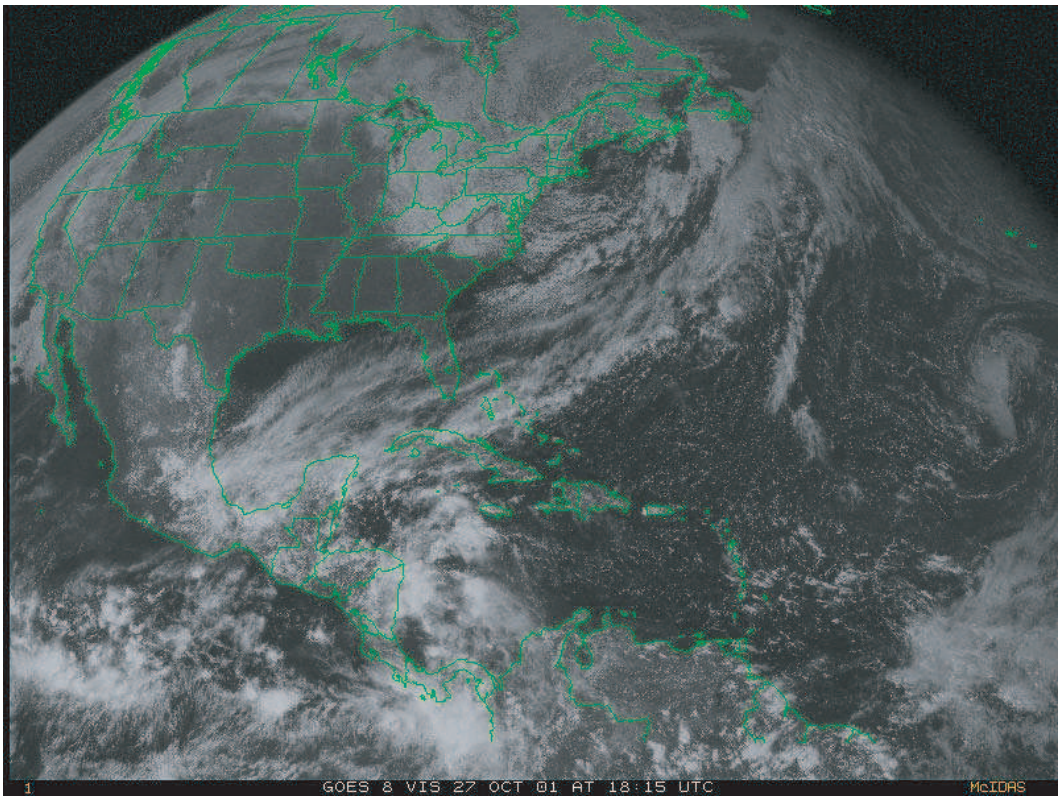



**Figure n°108 : Analyse de la photo satellite du 27/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

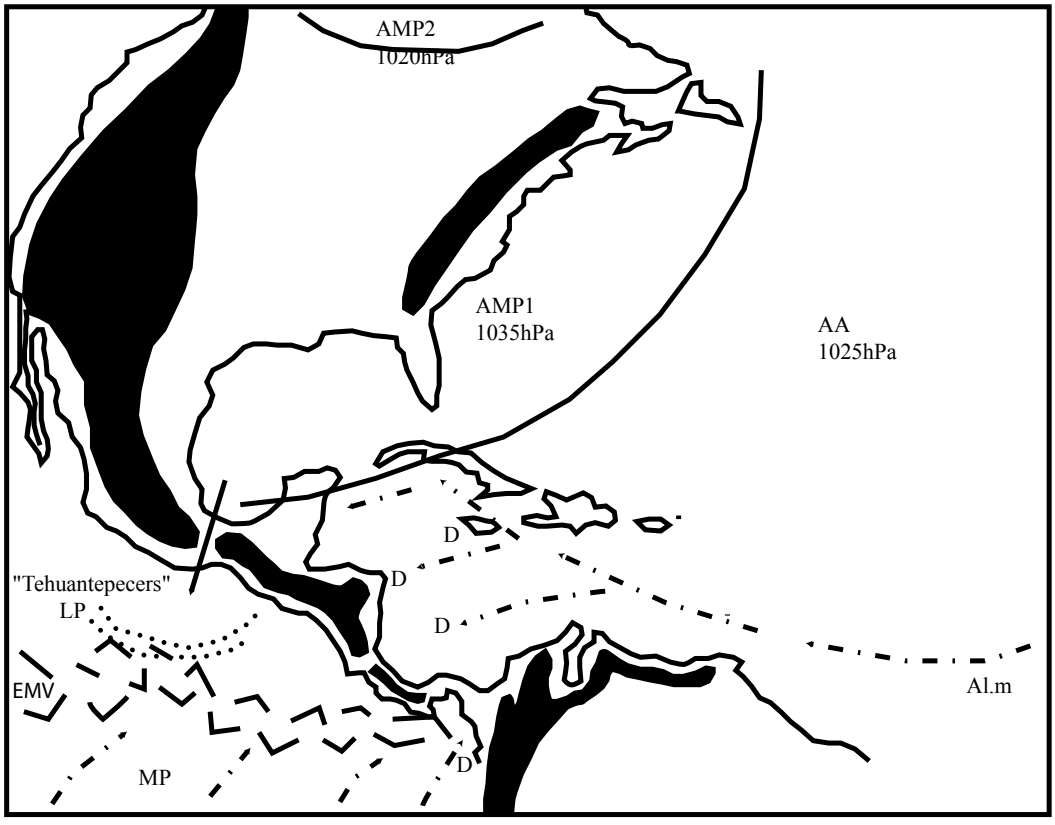


**Photo satellite n°99 : GOES 8, est, vis, le 28/10/2001, 18h15 T.U**

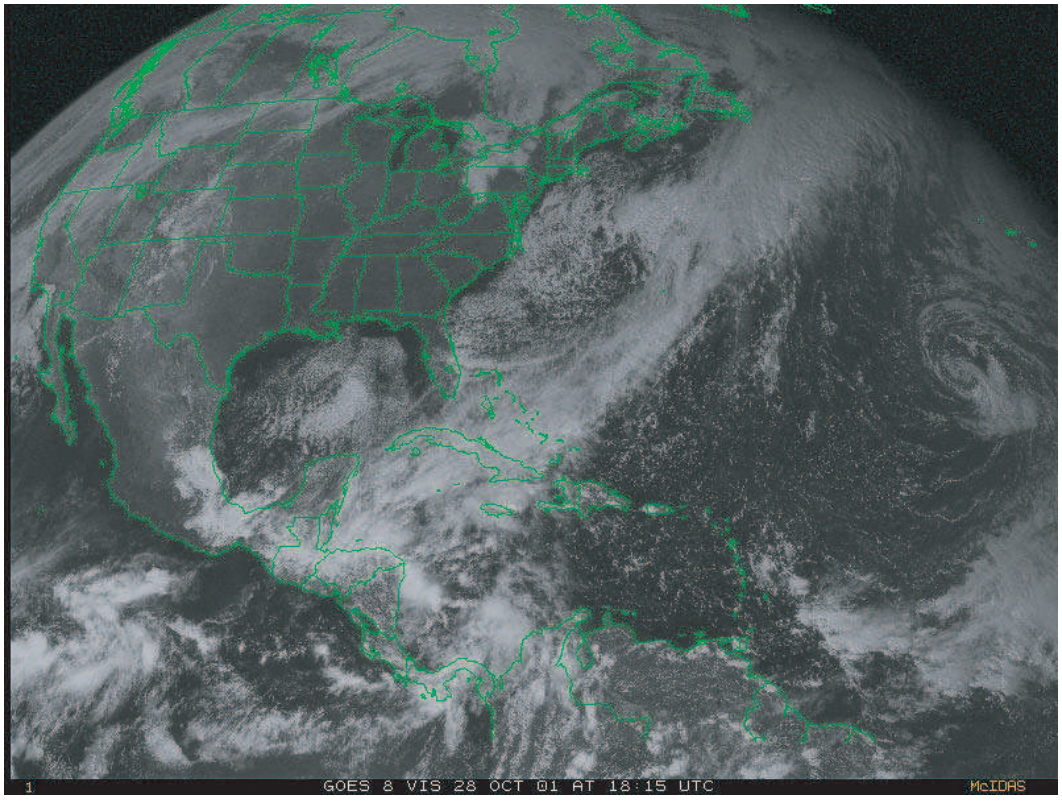



**Figure n°109 : Analyse de la photo satellite du 28/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

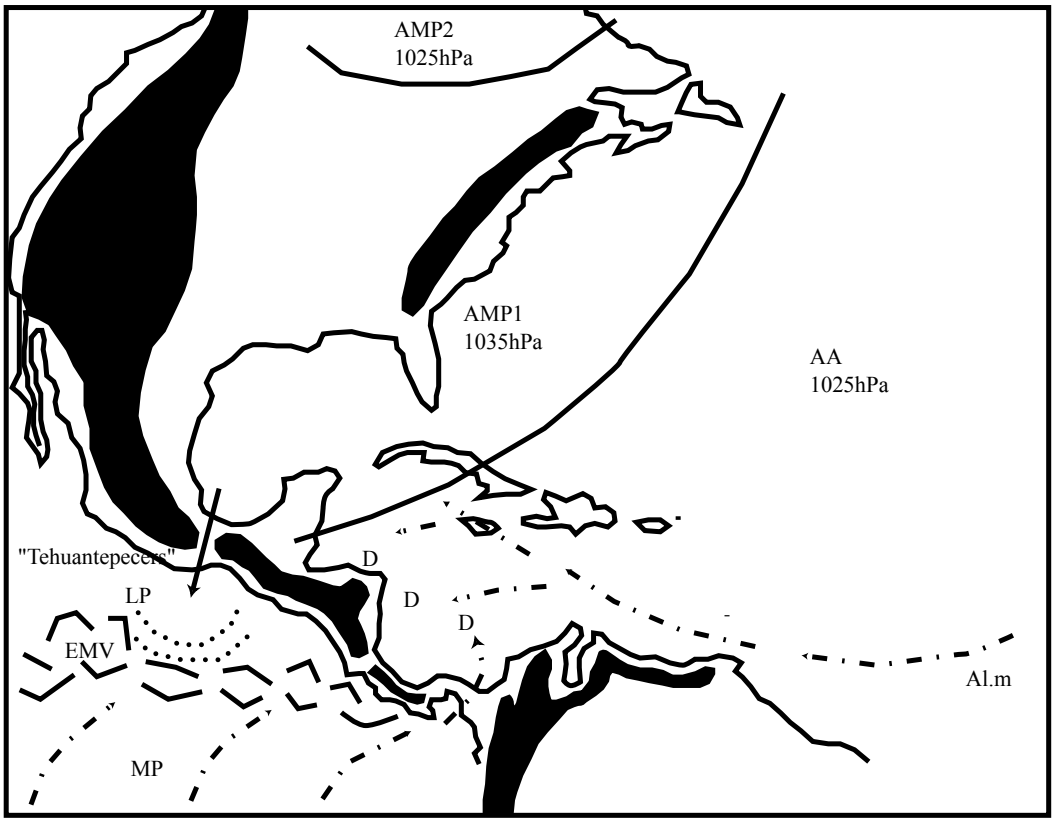


**Photo satellite n°100 : GOES 8, est, vis, le 29/10/2001, 18h15 T.U**

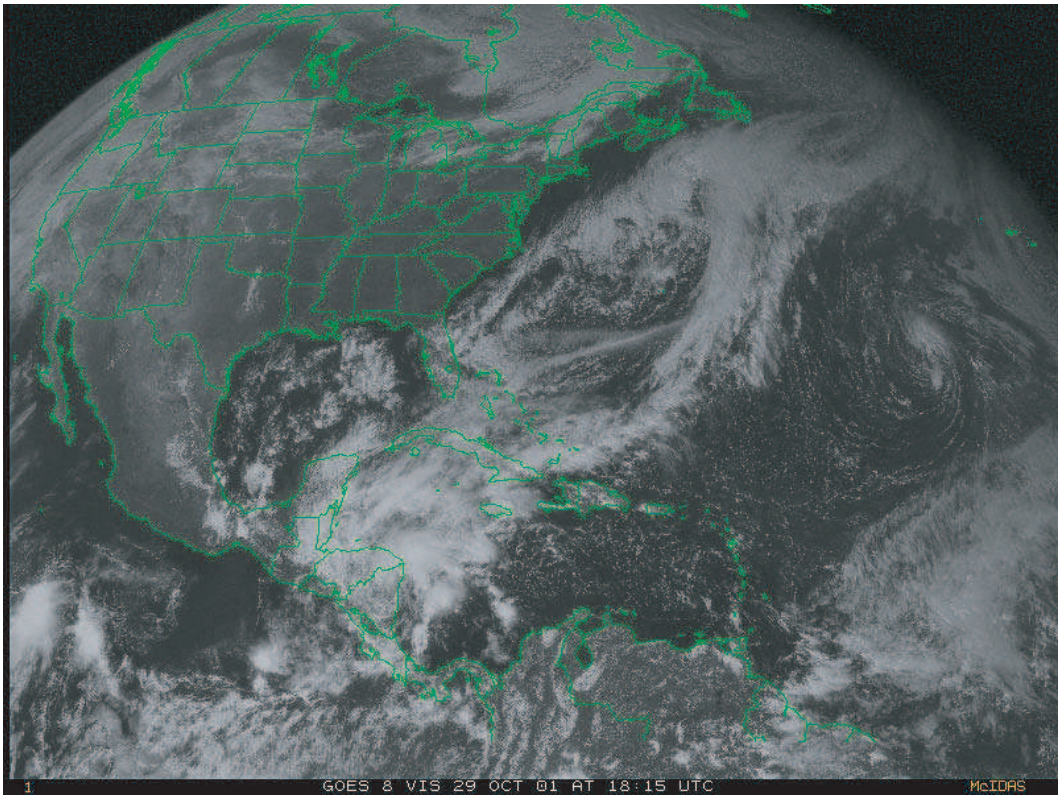



**Figure n°110 : Analyse de la photo satellite du 29/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

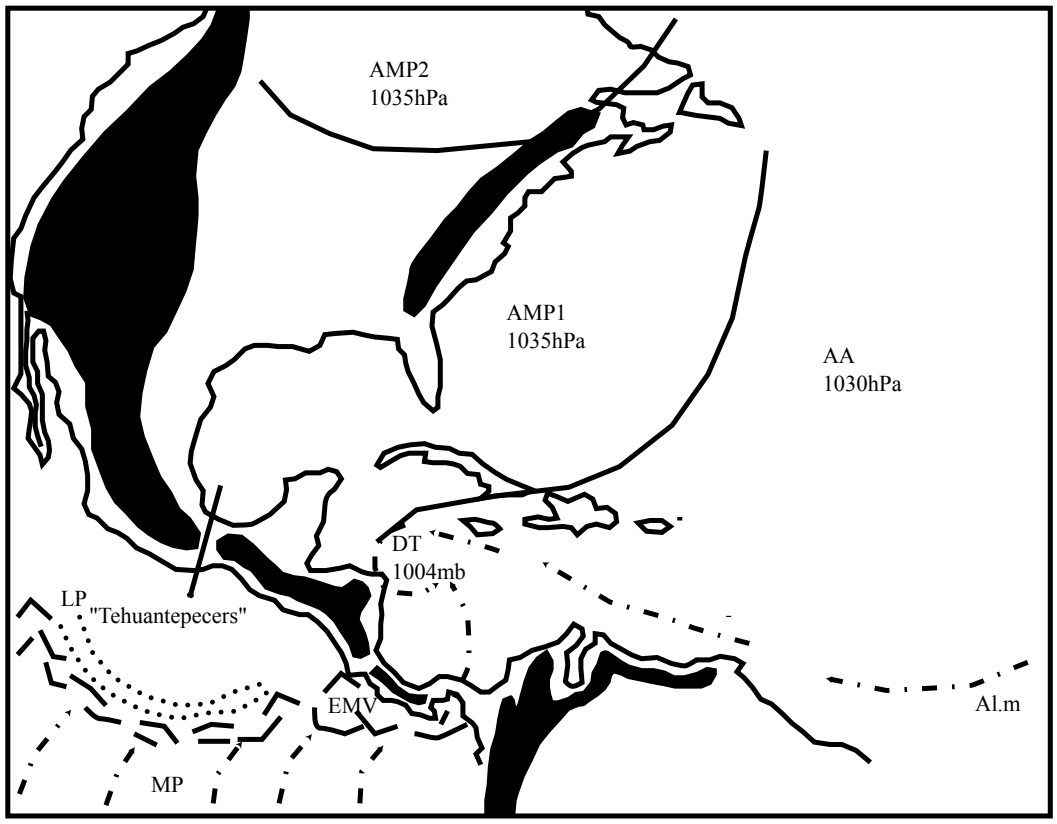


**Photo satellite n°101 : GOES 8, est, vis, le 30/10/2001, 18h15 T.U**

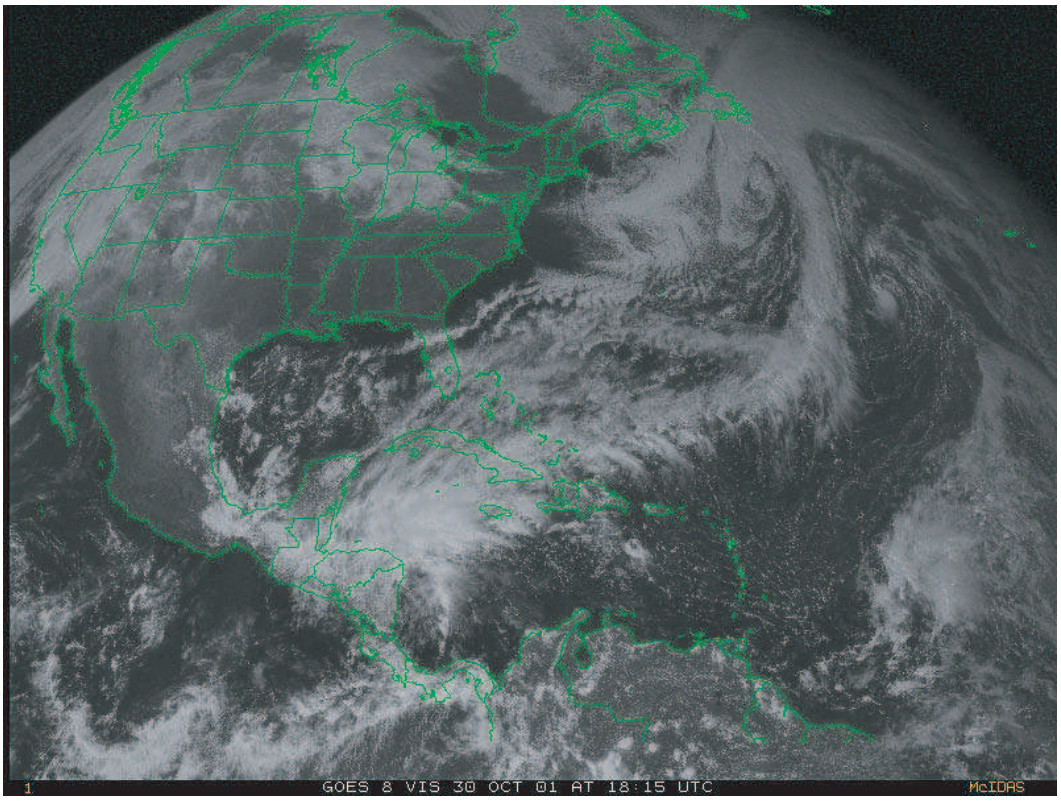



**Figure n°111 : Analyse de la photo satellite du 30/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

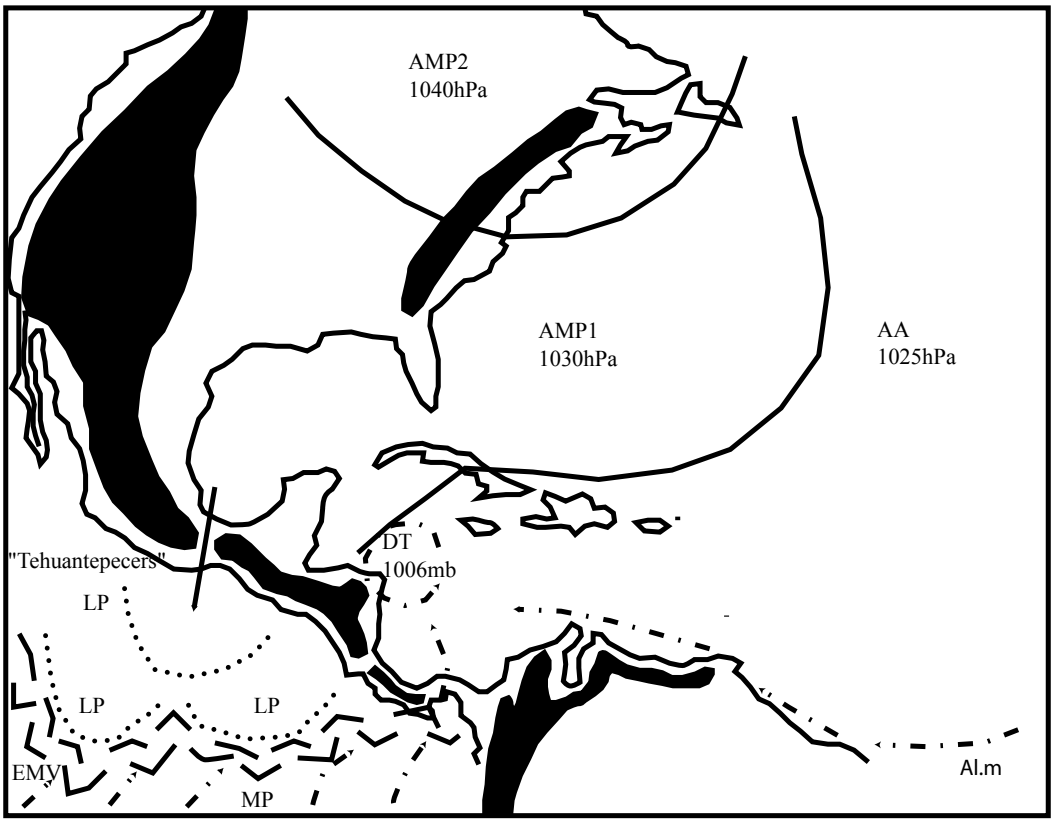


**Photo satellite n°102 : GOES 8, est, vis, le 31/10/2001, 18h15 T.U**

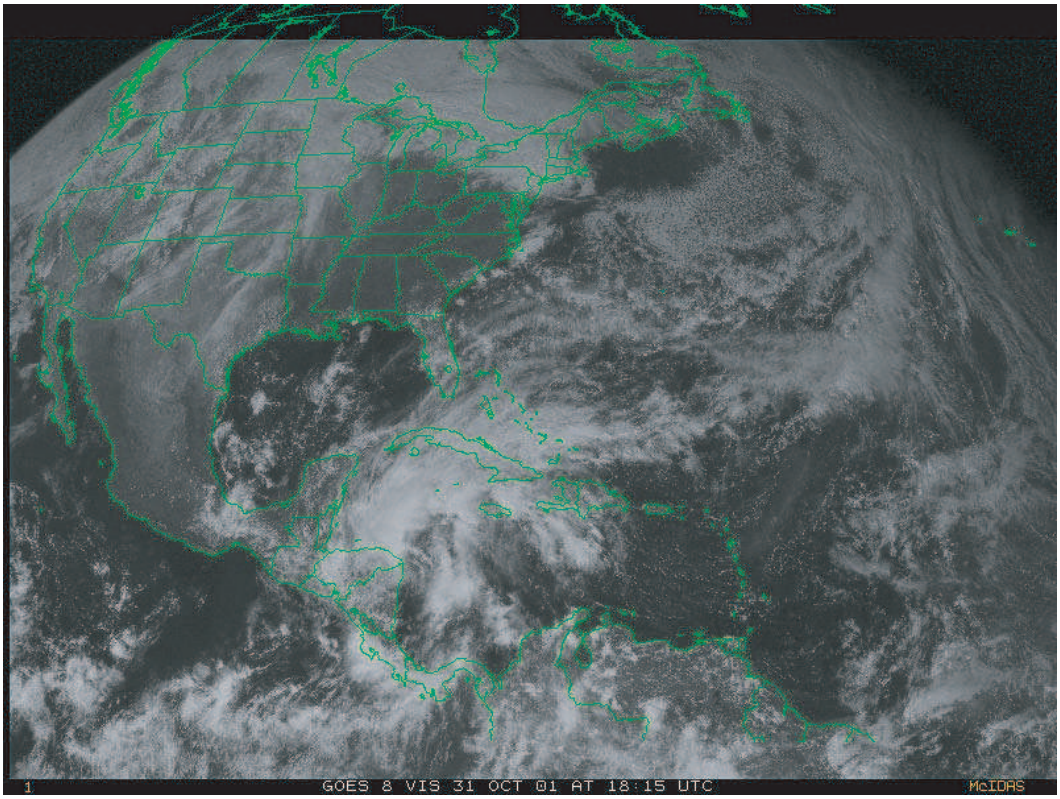



**Figure n°112 : Analyse de la photo satellite du 31/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

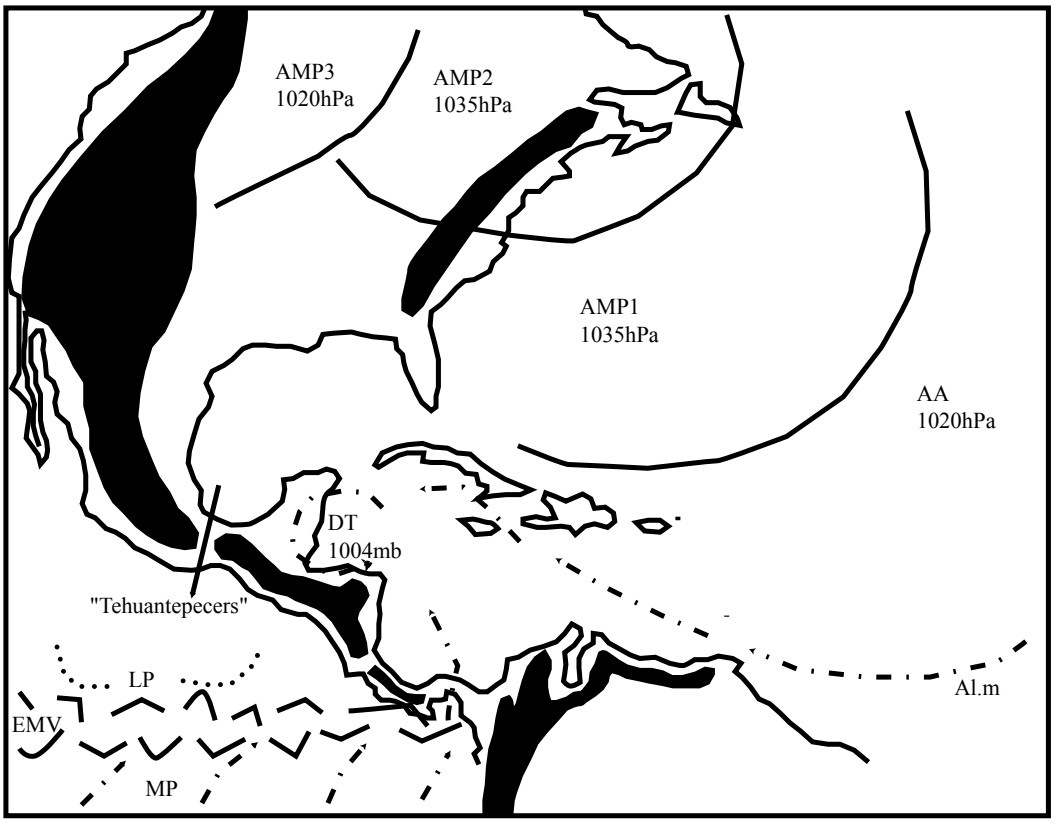


**Photo satellite n°103 : GOES 8, est, vis, le 1/11/2001, 18h15 T.U**

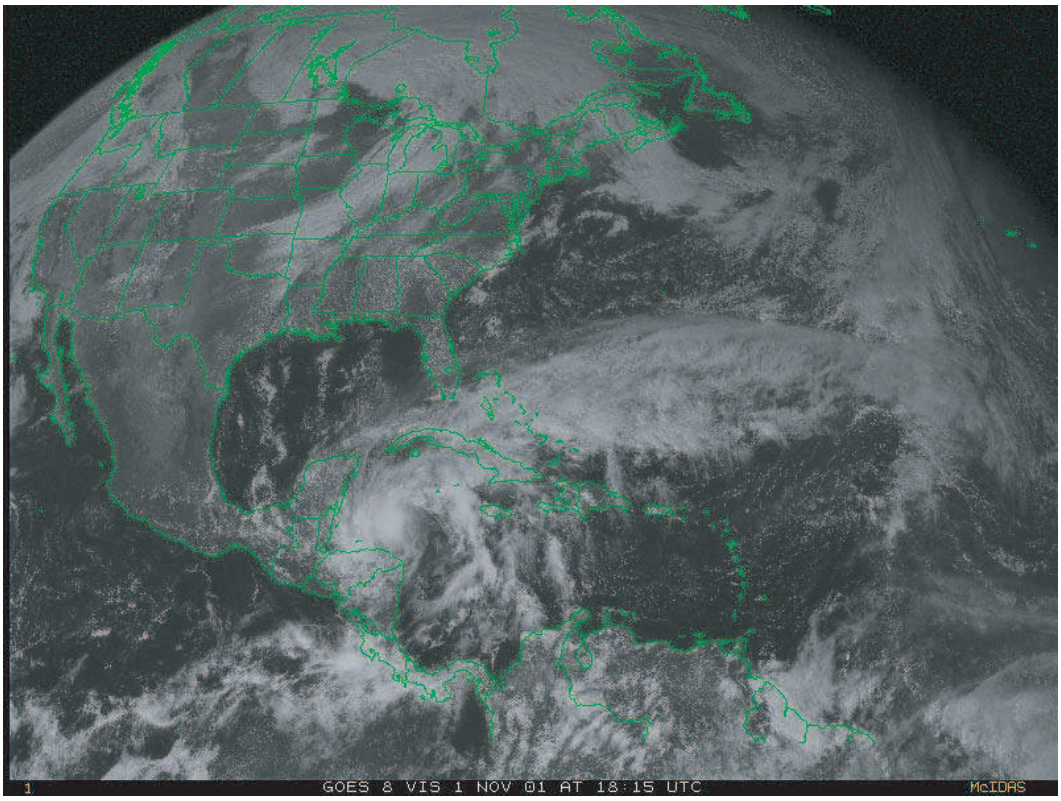



**Figure n°113 : Analyse de la photo satellite du 1/11/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

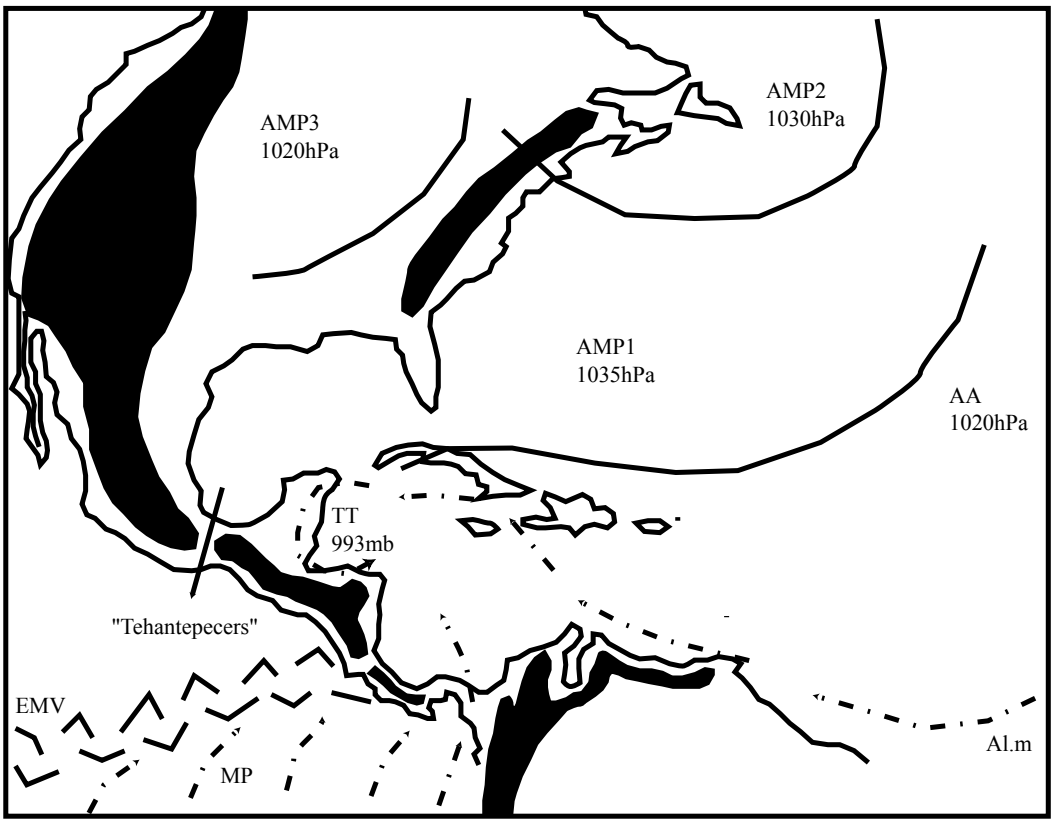


**Photo satellite n°104 : GOES 8, est, vis, le 2/11/2001, 18h15 T.U**

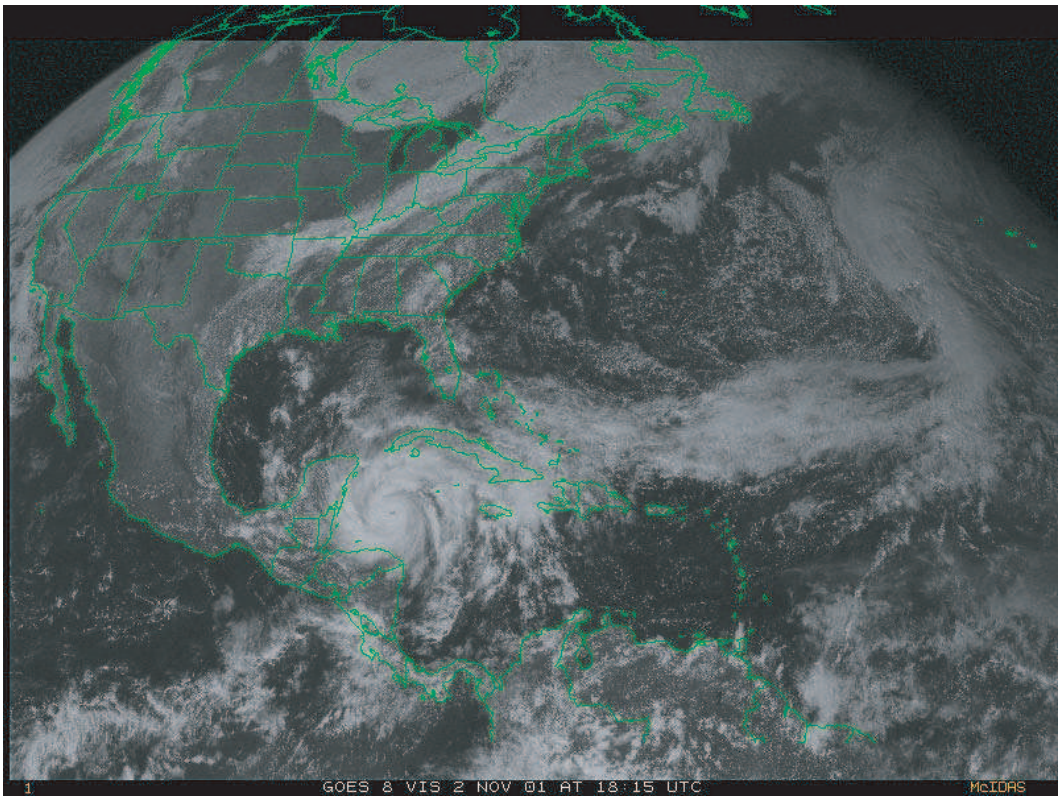



**Figure n°114 : Analyse de la photo satellite du 2/11/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

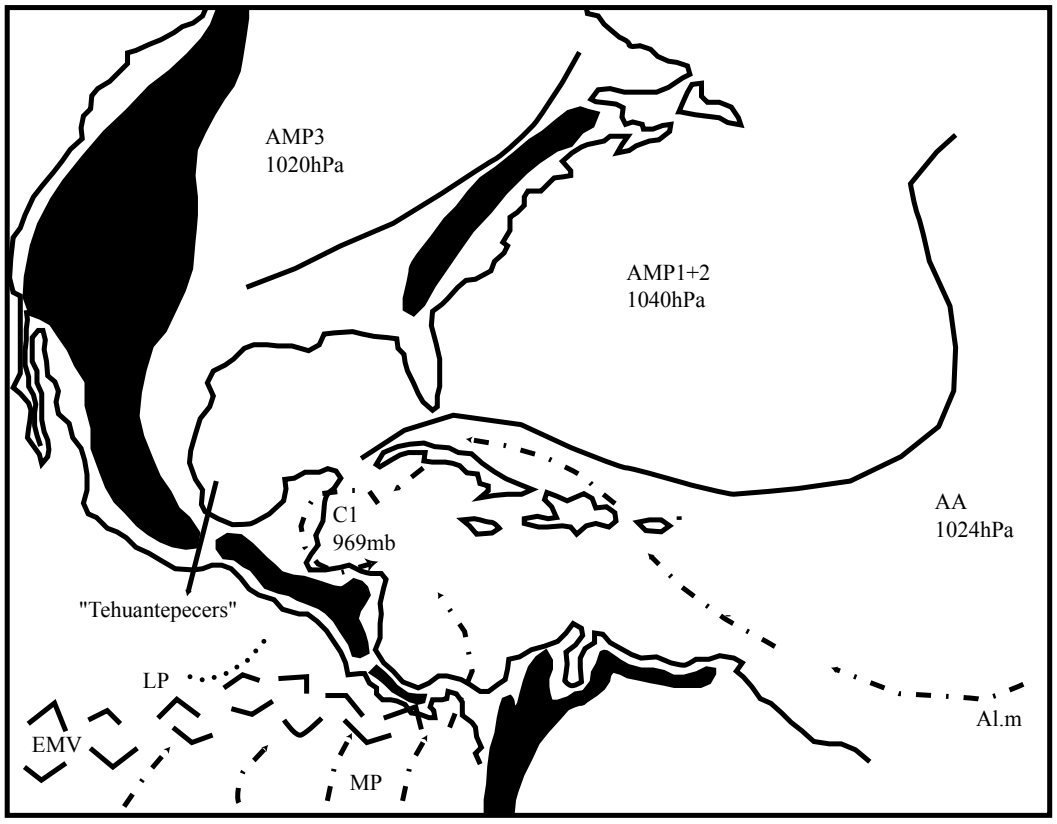


**Photo satellite n°105 : GOES 8, est, vis, le 3/11/2001, 18h15 T.U**

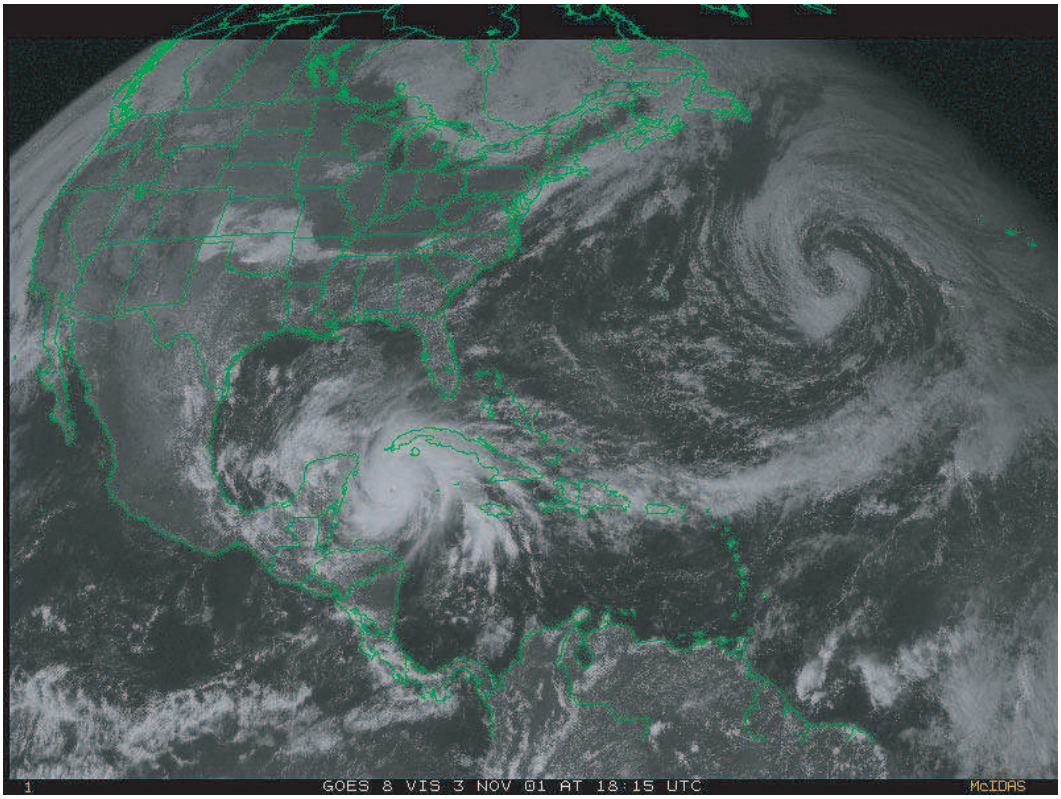



**Figure n°115 : Analyse de la photo satellite du 3/11/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

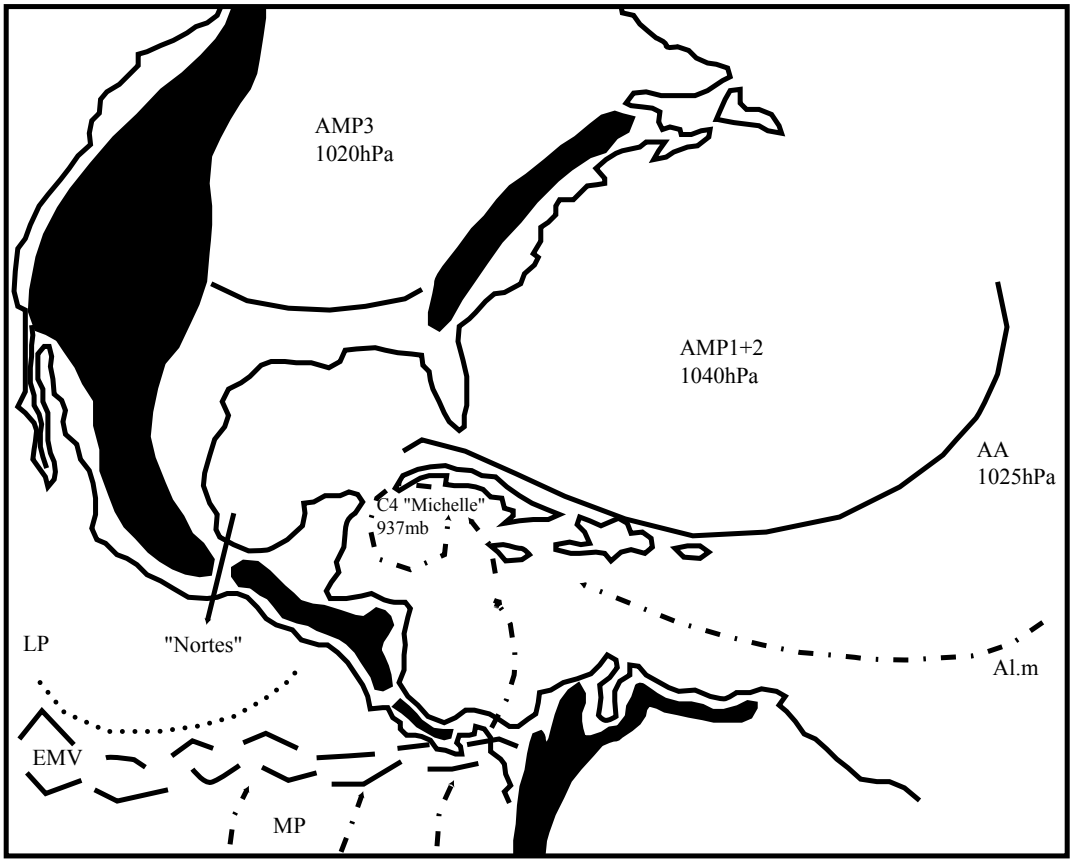


**Photo satellite n°106 : GOES 8, est, vis, le 4/11/2001, 18h15 T.U**

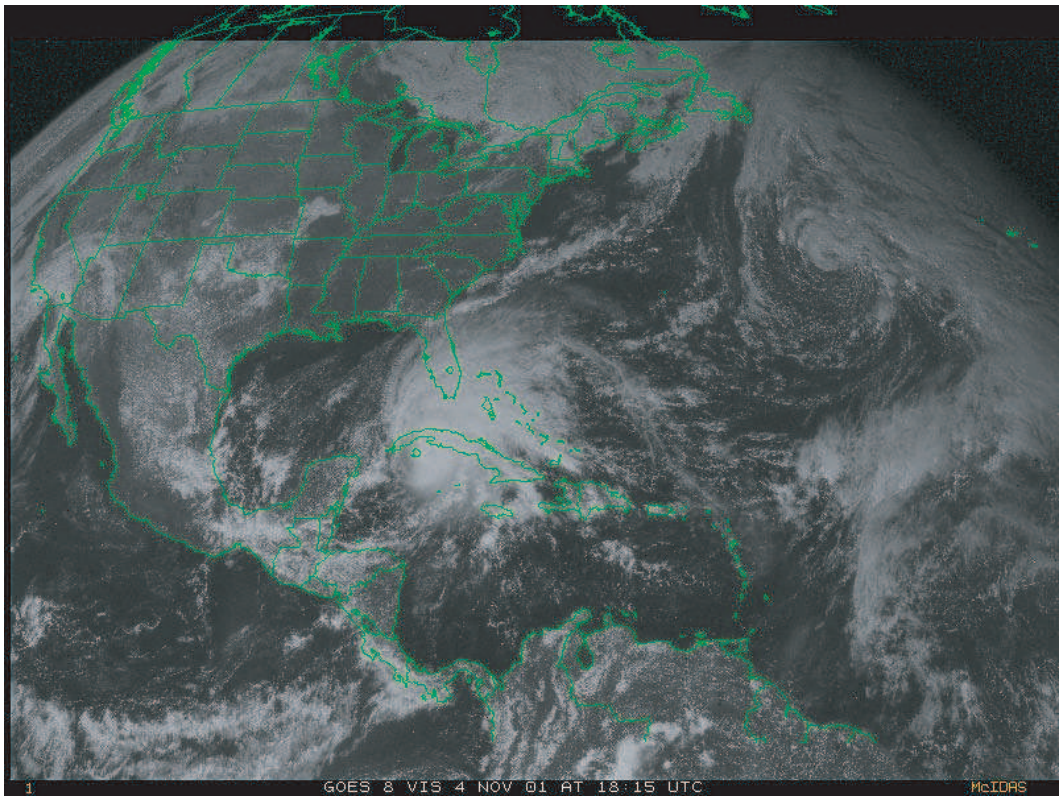



**Figure n°116 : Analyse de la photo satellite du 4/11/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

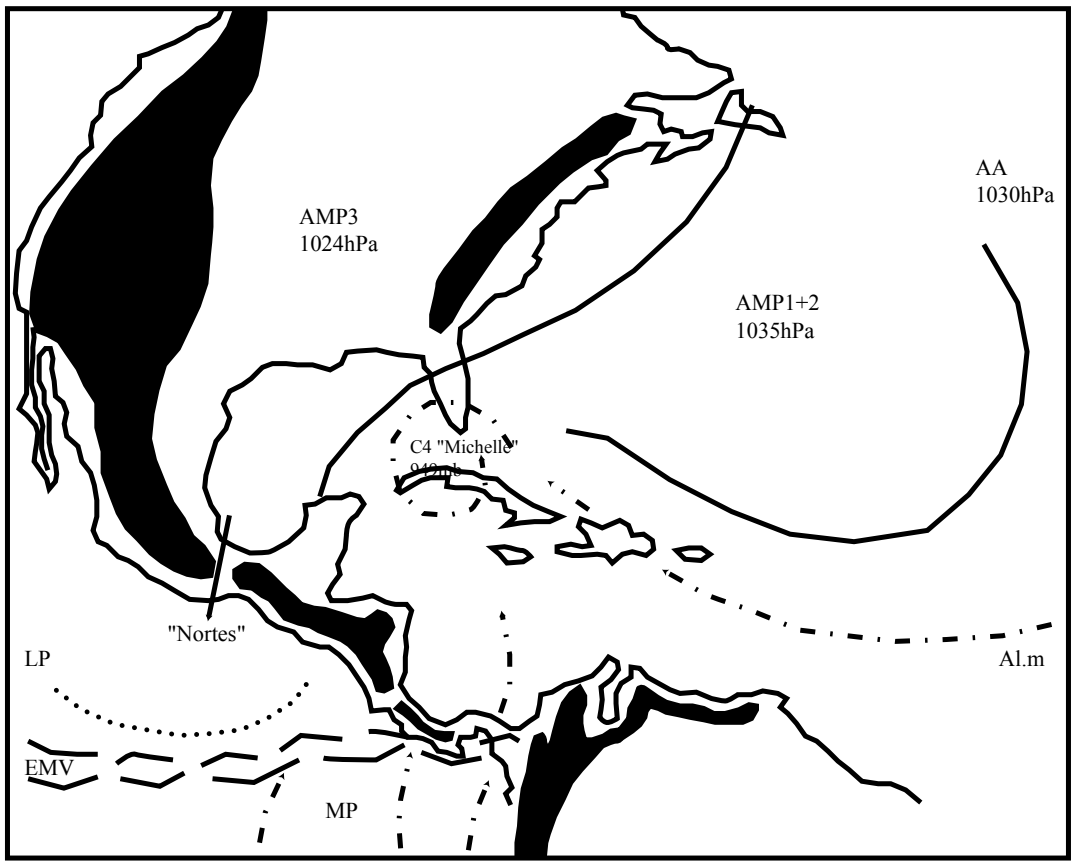


**Photo satellite n°107 : GOES 8, est, vis, le 5/11/2001, 18h15 T.U**

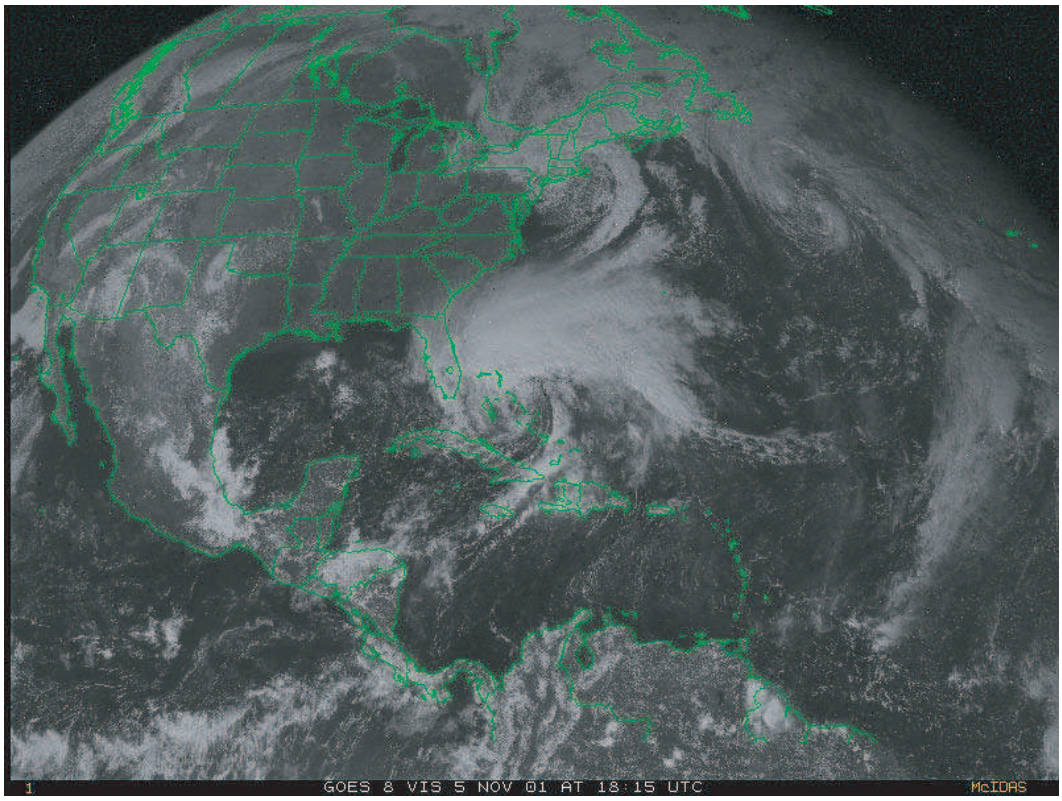



**Figure n°117 : Analyse de la photo satellite du 5/11/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

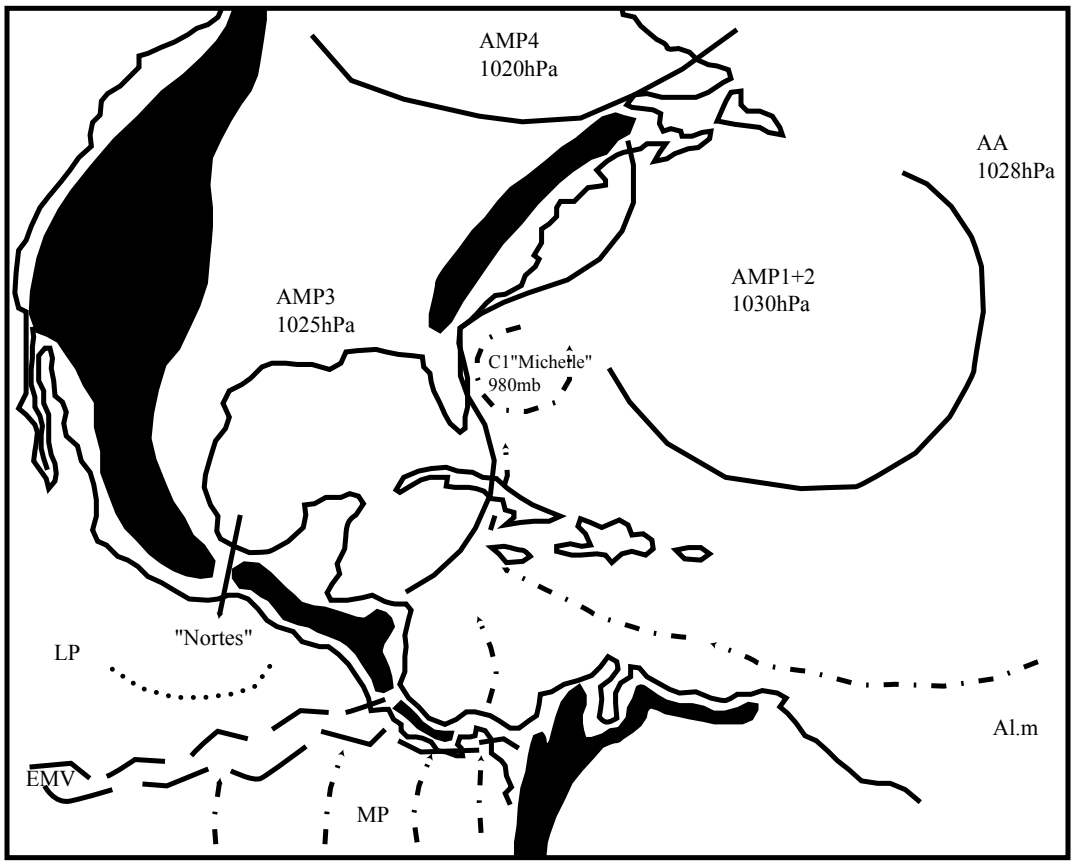


**Photo satellite n°108 : GOES 8, est, vis, le 6/11/2001, 18h15 T.U**

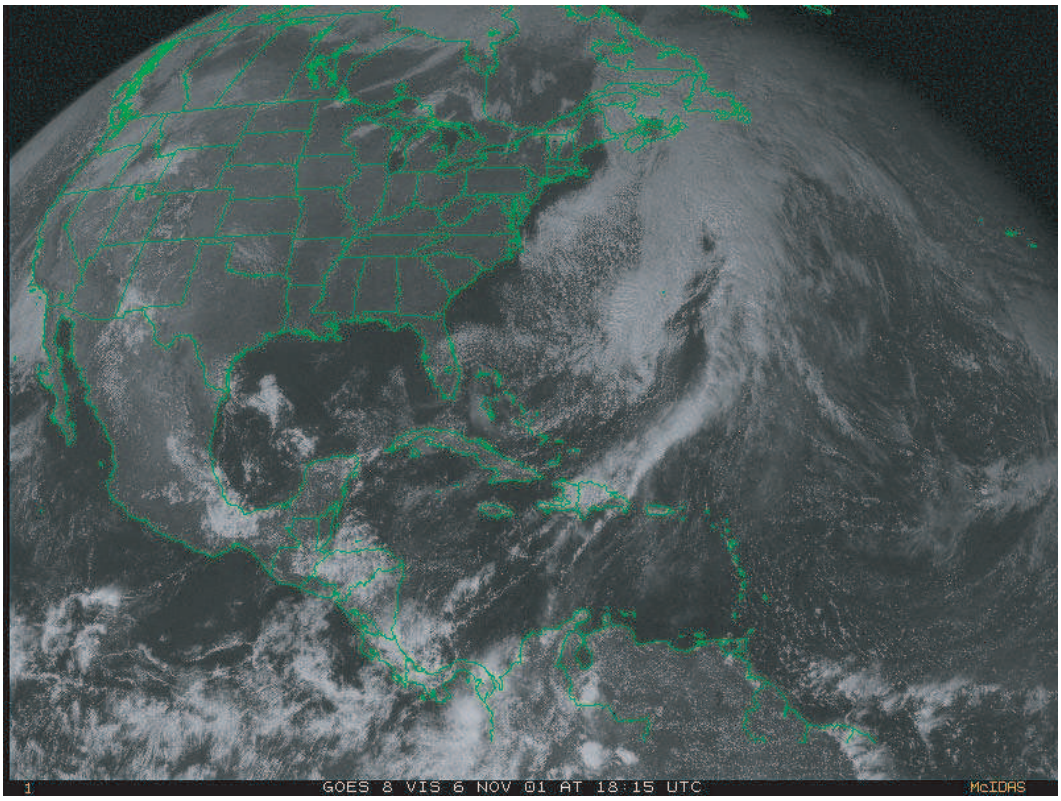



**Figure n°118 : Analyse de la photo satellite du 6/11/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

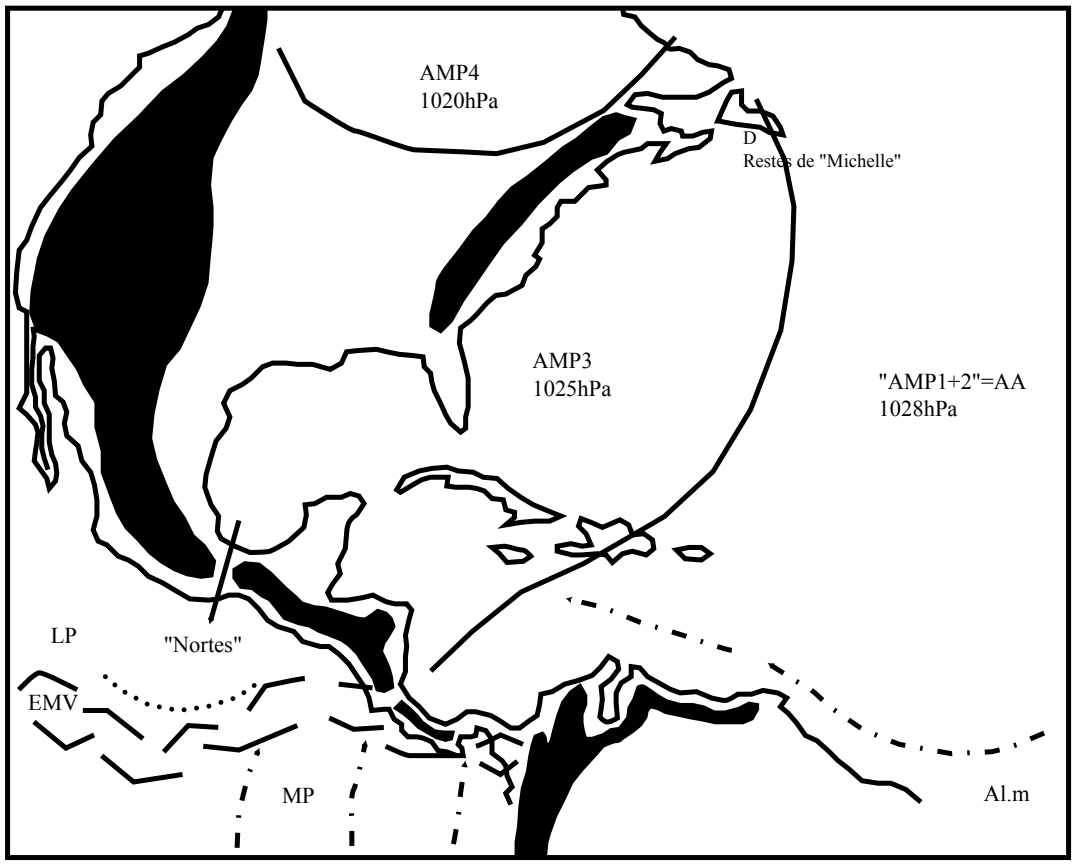


**Photo satellite n°109 : GOES 8, est, vis, le 7/11/2001, 18h15 T.U**

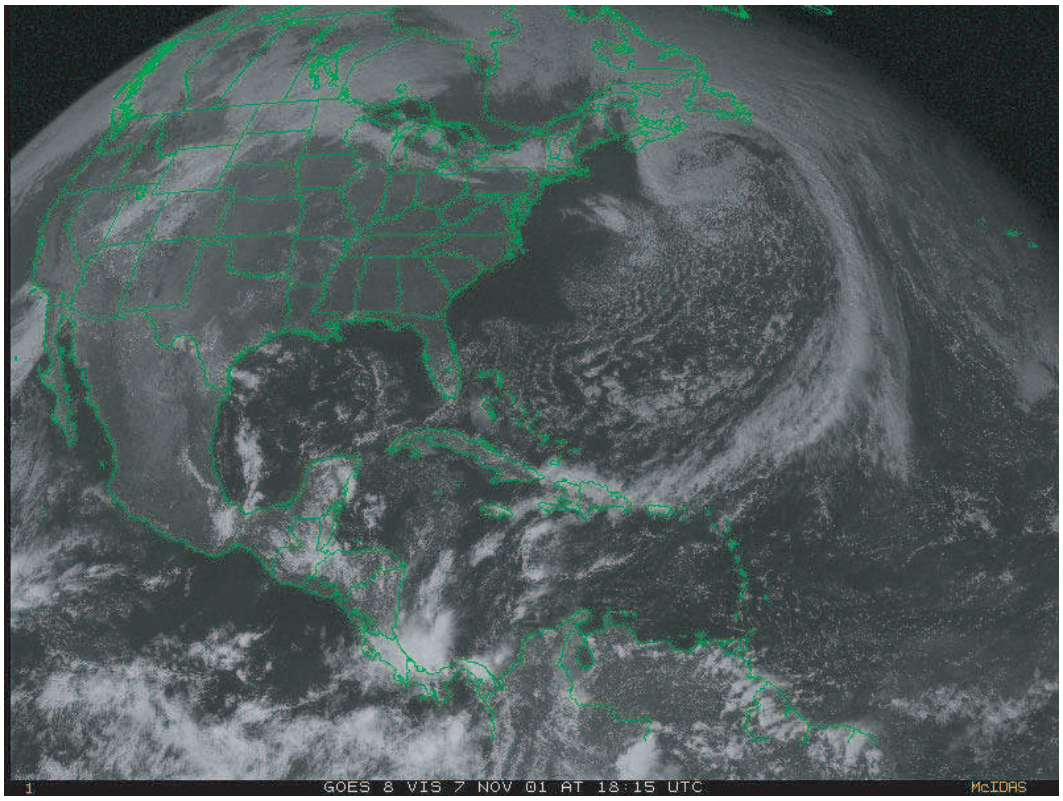



**Figure n°119 : Analyse de la photo satellite du 7/11/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

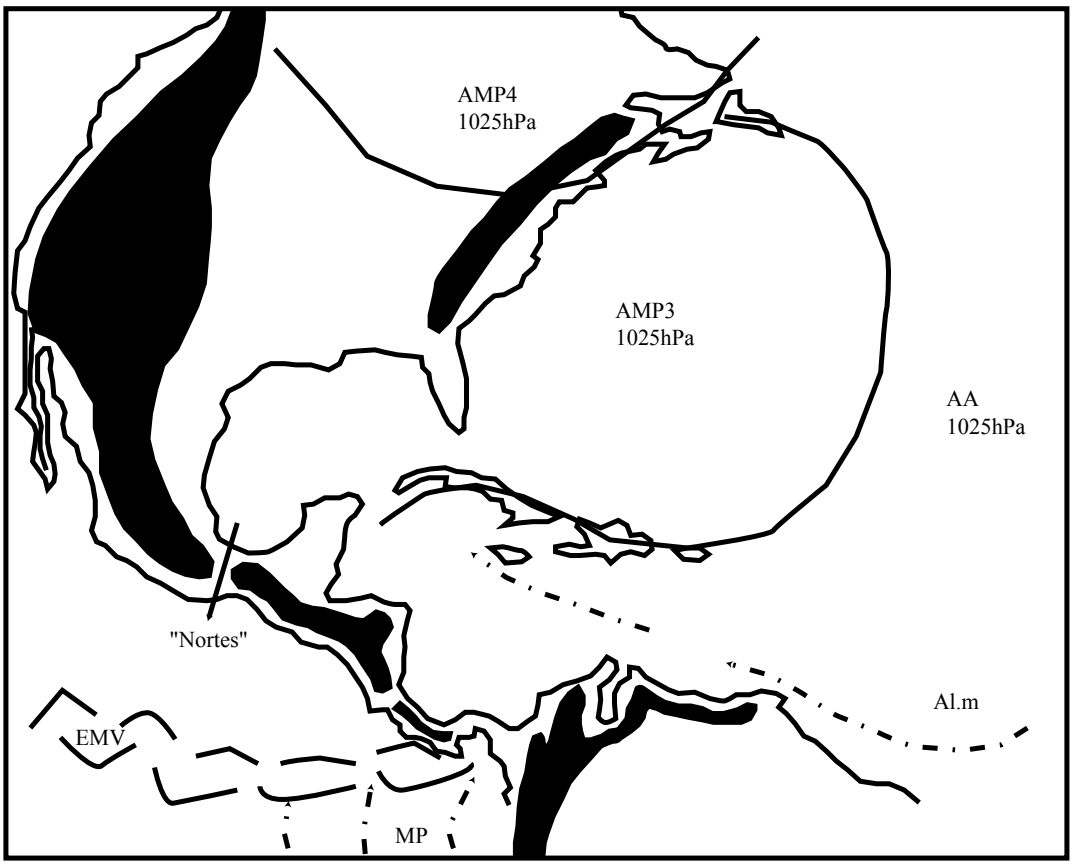


**Fig. n°120 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP1 et AMP2, trajectoire de "Michelle" du 27 octobre au 2 novembre 2001**

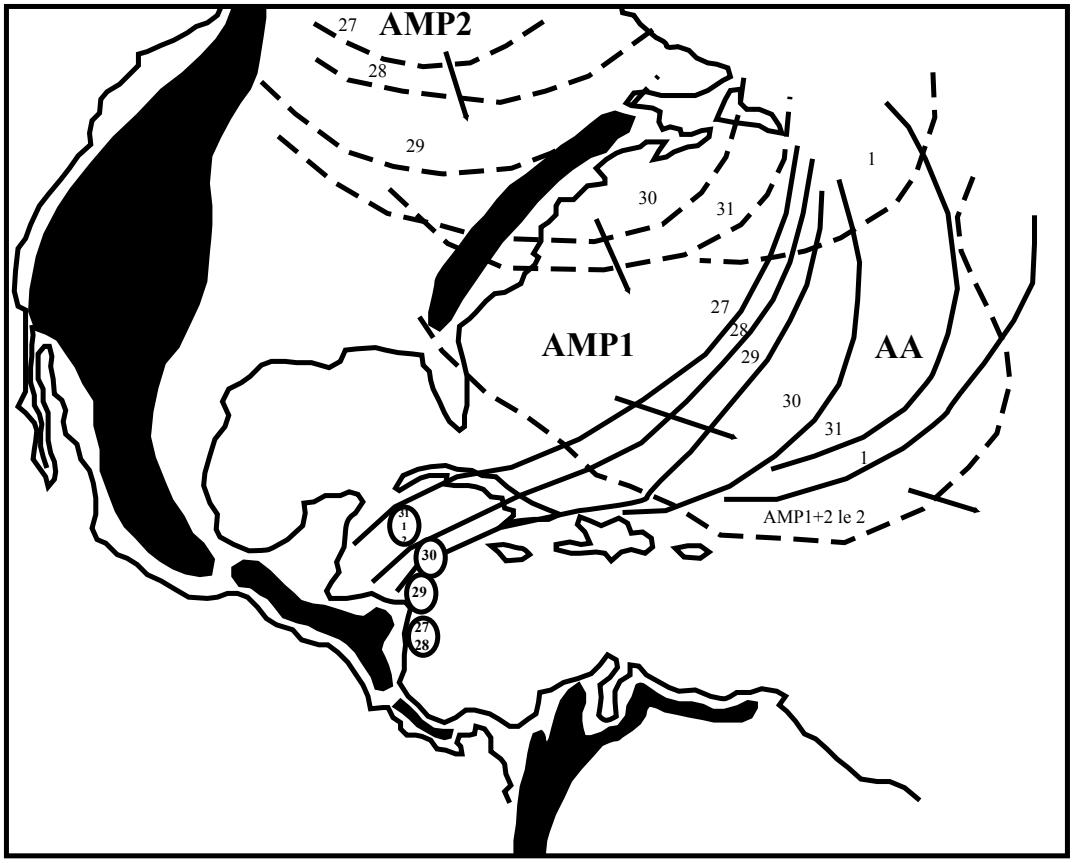
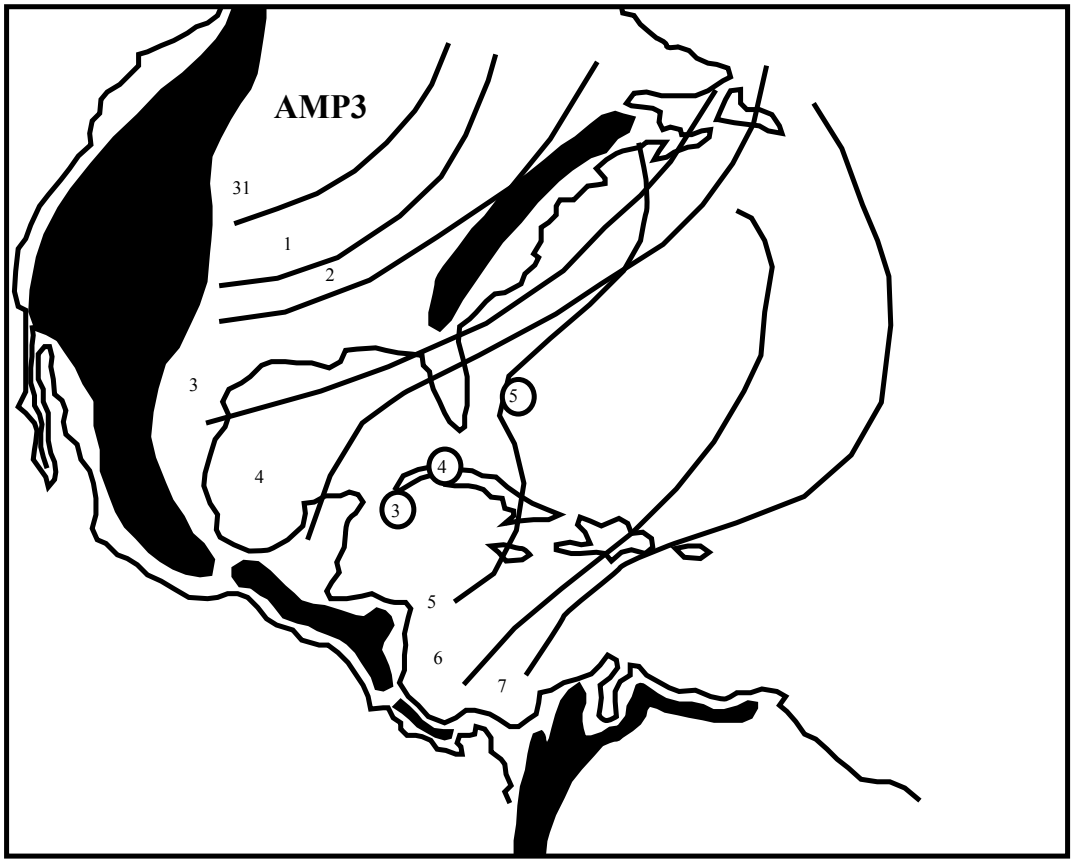



**Fig. n°121 : Carte récapitulative de l'évolution de surface de l'AMP3, trajectoire de "Michelle" du 31 octobre au 7 novembre 2001**



Le système dépressionnaire situé entre « Puerto Cabezas » et « Bluefields », au Nicaragua atteint le stade de dépression tropicale (DT). La pression observée est de 1004 millibars et des vents ayant une vitesse moyenne de 80 km/h sont enregistrés.

Dans la partie ouest de l'isthme, l'air froid anticyclonique s'engouffre dans l'isthme de Tehuantepec (Mexique). Les « Tehuantepecers » gagnent l'océan Pacifique, l'écoulement en masse de l'AMP1, les LP, contribuent à repousser l'EMV vers le sud ; dans la partie est de l'isthme, l'EMV remonte vers le nord (présence du système dépressionnaire).

- **Commentaire de la fig. n°111 (analyse de la photo satellite du 30/10/01):**

La DT se situe toujours au même endroit (l'AMP1 lui barre le passage et, constitue avec le relief un bel entonnoir emprisonnant le système dépressionnaire). A 18h00 T.U, une pression de 1006 millibars est relevée, des vents ayant une vitesse de 60 km/h sont enregistrés. Dans la partie ouest de l'isthme, les vents de secteur nord (« Tehuantepecers ») sont forts (80 km/h) et repoussent l'EMV vers le sud. Ce dernier, en face de l'isthme de Tehuantepec, adopte une forme concave.

- **Commentaire de la fig. n°112 (analyse de la photo satellite du 31/10/01):**

La DT, tôt dans la journée, se déplace vers le nord-nord-est (l'AMP1, poussé vers le sud-sud-est par l'AMP2, « ouvre » le passage vers l'ouest). L'AMP1 se tropicalise, l'intensité des « Tehuantepecers » diminue. La pression minimale de la DT est de 1004 millibars. Des vents ayant une vitesse de 60 km/h sont observés.

- **Commentaire de la fig. n°113 (analyse de la photo satellite du 1/11/01) :**

A 00h00 T.U, le système dépressionnaire atteint le stade de tempête tropicale (TT) ; la pression enregistrée est de 1001 millbars et des vents ayant une vitesse de 70 km/h sont relevés. A 18h00 T.U, la pression est de 993 millibars et des vents de 100 km/h sont enregistrés. Le système s'organise, se creuse et ce, très rapidement. La présence de l'AMP1 (dont la face avant se déplace vers l'est) interdit encore le passage (mais le barrage s'affaiblit) et les flux tropicaux déviés vers le système dépressionnaire (Al.m et MP) sont obligés de s'élever violemment sur la face avant de l'AMP1 et/ou au contact des reliefs centraméricains.

- **Commentaire de la fig. n°114 (analyse de la photo satellite du 2/11/01) :**

La TT connaît une rapide intensification. En effet, la vitesse maximale des vents passe de 140 km/h le 2 novembre à 12h00 T.U à 230 km/h le 3 novembre à 12h00 T.U ! La pression centrale chute de 988 millibars le 2 novembre à 06h05 TU à 937 millibars le 3 novembre à 11h15 TU ! Soit une baisse de 51 millibars en 29 heures ! Un oeil apparaît sur la photo satellite et une organisation classique en bandes nuageuses circulaires, séparées par des « rues » s'observe.

Le 2 novembre à 18h00 T.U, la pression centrale est de 969 millibars et les vents observés ont une vitesse de 160 km/h. L'AMP1 fusionne progressivement avec l'AMP2 (AMP1+2). Nous remarquons la présence d'un nouvel AMP sur l'Amérique du Nord (l'AMP3).

- **Commentaire de la fig. n°115 (analyse de la photo satellite du 3/11/01) :**

Sur l'Amérique du Nord, l'AMP3 descend vers le sud, canalisé entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches.

Sur la face avant de l'AMP1+2, le cyclones dispose d'excellentes conditions pour se creuser. A 06h00 T.U, le cyclone « Michelle » atteint le stade 3 de l'échelle de Saffir-Simpson. Des vents ayant une vitesse de 210 km/h sont enregistrés. La pression centrale est de 942 millibars. A 12h00 T.U, le cyclone relève de la catégorie 4 de l'échelle de saffir-Simpson; des vents de 230 km/h sont renregistrés. A 18h00 T.U, la pression centrale minimale est relevée (934 millibars).

- **Commentaire de la fig. n°116 (analyse de la photo satellite du 4/11/01) :**

Entre 06h00 et 18h00 T.U, des vents ayant une vitesse de 240 km/h sont relevés. Vers 18h00 T.U, le cyclone se trouve alors à proximité de la Baie des Cochons (Cuba). A 18h00 T.U, « Michelle » touche une première fois terre à « Cayo Largo » (Cuba) puis arrive sur la Baie des Cochons à 23h00 T.U. « Michelle » est le cyclone le plus puissant à toucher Cuba depuis 1952. Par bonheur pour les Etats-Unis, l'AMP3 vient barrer l'entrée dans le Golfe du Mexique d'où la remontée de « Michelle » vers le nord-est, sur la face avant de l'AMP3 et la face arrière de l'AMP1+2.

- **Commentaire de la fig. n°117 (analyse de la photo satellite du 5/11/01) :**

A 00h00 T.U, le cyclone « Michelle » relève de la catégorie 3 de l'échelle Saffir-Simpson; la pression centrale est de 953 millibars et des vents ayant une vitesse de 210 km/h sont enregistrés. A 03h00 T.U, « Michelle » relève de la catégorie 2 de l'échelle saffir-Simpson; la pression centrale est de 972 millibars et des vents de 160 km/h sont relevés. A 12h00 T.U, « Michelle » touche terre sur l'île d'Andros (Bahamas), le cyclone relève de la catégorie 2 de l'échelle Saffir-Simpson; la pression centrale est de 974 millibars et les vents conservent une vitesse de 160 km/h. A 18h00 T.U, le cyclone est sur l'île d'Eleuthera (Bahamas), il ne relève plus que de la catégorie 1 de l'échelle saffir-Simpson; la pression centrale est de 980 millibars et les vents ont une vitesse de 150 km/h. Le cyclone connaît un rapide déplacement vers le nord-est, dans le couloir dépressionnaire, sur la face avant de l'AMP3. L'AMP3 protège le continent, les Etats-Unis ont frôlé la catastrophe!

- **Commentaire de la fig. n°118 (analyse de la photo satellite du 6/11/01) :**

A 18h00 T.U, la pression centrale est de 989 millibars, des vents de 110 km/h sont enregistrés. « Michelle », à ces latitudes, disparaît rapidement sur la face avant de l'AMP.

- **Commentaire de la fig. n°119 (analyse de la photo satellite du 7/11/01) :**

A 00h00 T.U, « Michelle » disparaît. A 18h00 T.U, nous observons l'AMP3, au déplacement rapide et dont la face avant apparaît clairement (soulignée par d'intenses formations nuageuses) sur la photo satellite.

- **Bilan de l'épisode « Michelle » (fig. n°120 et 121) :**

- **Bilan 1 (fig. n°120) :**

Du 27 octobre au 2 novembre 2001, nous observons la descente vers le sud-sud-est de l'AMP1 et de l'AMP2. Ces deux AMP vont emprunter des trajectoires légèrement différentes mais finissent par ne former qu'une seule et même masse anticyclonique mobile polaire le 2 novembre (l'AMP1+2) à la latitude de l'AA dite « des Bermudes/Açores ». C'est la descente vers le sud de l'AMP1 qui va provoquer, sur sa face avant, la naissance et le développement de « Michelle » au large du Nicaragua, à proximité des côtes. Le système dépressionnaire bénéficie d'excellentes conditions pour pouvoir se creuser (les ascendances sont facilitées par la face avant de l'AMP1 et par le relief centraméricain ; le système dépressionnaire bénéficie d'une excellente alimentation, les flux de la MP et de l'Al.m atlantique de type 2). L'AMP1, dans un premier temps interdit le déplacement vers l'ouest et le nord-nord-ouest au cyclone. La descente de l'AMP2, accélérant le déplacement vers l'est et l'intégration dans l'AA de l'AMP1, le passage vers l'ouest va ainsi être progressivement libéré ; « Michelle » qui était bloqué à proximité des côtes centraméricaines va pouvoir enfin reprendre sa course vers le nord-nord-est, entre la face arrière de l'AMP1+2 et la face avant de l'AMP3 (voir deuxième carte bilan).

- **Bilan 2 (fig. n°121) :**

Le 2 novembre, l'AMP1 et l'AMP2 ont fusionné pour ne former plus qu'une seule et même masse anticyclonique mobile, l'AMP1+2 (voir première carte bilan). Sur l'Amérique du Nord, l'AMP3, apparu le 31 octobre, continue sa descente vers le sud-sud-est, entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches. La descente de cet AMP contribue au déplacement vers l'est de l'AMP1+2 qui, de ce fait, libère enfin le passage vers l'ouest-nord-ouest à « Michelle ». Le 3 et le 4 novembre, « Michelle », libre de ses mouvements, adopte une trajectoire « classique », vers le nord-nord-ouest. Cependant, dès le 5 novembre, « Michelle » se heurte à la face avant de l'AMP3 qui protège le continent. « Michelle » n'a d'autre possibilité que celle de remonter vers le nord-nord-ouest entre la face avant de l'AMP3 et la face arrière de l'AMP1+2 (voir première carte bilan). « Michelle » va rapidement atteindre des latitudes beaucoup plus nordiques et disparaître dans la dépression associée à l'AMP3.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

L'onde d'ouragan la plus haute a eu une hauteur comprise entre 2.8 et 3.04 mètres à Cayo Largo (archipel de los Canareos, Cuba). Cette onde d'ouragan a submergé toute l'île ! Des vagues ayant une hauteur comprise entre 4 à 5 mètres ont affecté les côtes ouest et centrales cubaines. Dans l'île de New Providence (Bahamas), l'onde d'ouragan a eu une hauteur comprise entre 1.5 et 2.5 mètres. La marée d'ouragan (dont on ne connaît pas la hauteur) a affecté les îles d'Andros, d'Eleuthera, de Cat island, d'Exuma et d'Abaco (Bahamas). En Floride et dans les Keys, l'onde d'ouragan a eu une hauteur comprise en 0.3 et 0.9 mètre.

« Michelle » qui, s'est déplacée fort lentement au début de sa vie, a entraîné de fortes précipitations au Honduras, dans l'est du Nicaragua, le nord du Costa-Rica et la Jamaïque. Pendant les 10 jours de l'épisode « Michelle » en Jamaïque, 950 millimètres ont été relevés à Confort Castle. Dans de nombreuses stations jamaïcaines, les précipitations totales avoisinent les 380 millimètres. Cuba, les îles Caïman et les Bahamas ont également été affectées par de

fortes précipitations. A Nassau (Bahamas) 321 millimètres ont été relevés ; sur l'île de Youth (Bahamas) et à Punta del Este, 300 millimètres. En Floride les totaux pluviométriques liés à l'épisode « Michelle » sont compris entre 3 et 8 millimètres.

« Michelle » laisse derrière elle 17 morts (6 au Honduras, 5 à Cuba, 4 au Nicaragua et 2 en Jamaïque) ; 36 personnes sont portés disparues en Amérique Centrale (14 au Honduras et 12 au Nicaragua) ; ces deux pays, à eux seuls totalisent plus de 100 000 personnes évacuées. Les parties les plus affectées par des glissements de terrains se concentrent autour de Gracias a Dios (nord-est du Honduras) où plus de 100 villages furent complètement isolés du reste du pays et Puerto Cabezas (nord-est du Nicaragua). Le nord du Costa-Rica fut également affecté et 1 000 personnes furent évacuées.

**« La ville de Matanzas (Cuba) après le passage de Michelle »**
**(cliché, AFP)**



**b) Etude de cas n°2 : étude du cyclone « Mitch » (du 21/10/98 au 7/11/1998) :**

- **Introduction :**

Selon J. L. Guiney et M. B. Lauwrence du « NHC » de Miami, dans leur rapport (« Preliminary Report ») du 28/1/99, une « onde tropicale » africaine, apparue le 8 ou le 9 octobre au large de la Côte d'Ivoire, après avoir traversé l'océan Atlantique, atteint l'est de la mer des Caraïbes le 18 ou le 19/10/98 et serait à l'origine du développement d'un amas nuageux organisé dans la partie centrale et sud de la mer des Caraïbes le 20/10/98.

« Mitch » s'est formé à la fin de la journée du 21 octobre 1998, au sud-ouest de la mer des Caraïbes, à environ 580 kilomètres au sud de Kingston (Jamaïque). Ce système (simple dépression tropicale du 21/10 au 22/10/98) s'est d'abord déplacé lentement vers l'ouest tout en s'intensifiant progressivement pour atteindre le stade de tempête tropicale (le 22/10/98). « Mitch » s'est par la suite déplacé lentement vers le nord puis en direction du nord-nord-ouest (le 23 et 24/10/98), tout en se renforçant pour atteindre le stade de cyclone (le 24/10/98). Ce même jour, «Mitch » a commencé à se déplacer en direction de l'ouest et à s'intensifier rapidement (en 24 heures, la pression centrale a baissé de 52 millibars, atteignant 924 millibars le 25/10/98). La pression minimale (906 millibars) est atteinte le 26/10/98 après-midi, à environ 65 kilomètres au sud-est de l'île de Swan (Etats-Unis). Cette pression est la quatrième plus basse observée au cours de ce siècle pour un cyclone atlantique ! C'est également la plus basse observée pour un cyclone se produisant en octobre dans l'océan Atlantique ! « Mitch » va relever de la catégorie 5 de l'échelle Saffir-Simpson (le 26 et 27/10/98). Des rafales de vent (à 1 mètre du sol) d'une vitesse de 360 km/h vont être enregistrées ! Soulignons que J. L. Guiney et M. B. Lauwrence se contentent de constater le changement de trajectoire sans l'expliquer !

Après être passé sur l'île de Swan, le 27/10/98, «Mitch » a commencé à perdre de sa puissance tout en se déplaçant lentement vers l'ouest puis vers le sud-ouest, en direction de « las Islas de la Bahía » (Honduras). L'œil est passé très près de l'île de Guanaja (Honduras) et a entraîné des dégâts importants à proximité de l'île de Ruatán (Honduras). Entre le milieu de la journée du 27/10/98 et le 29/10/98, la pression centrale minimum s'est relevée de 59 millibars. L'œil du cyclone a erré à proximité des côtes nord du Honduras pour migrer ensuite vers le sud, en direction des terres. Soulignons à nouveau que J. L. Guiney et M. B. Lauwrence se contentent de constater le changement de trajectoire sans l'expliquer ! Cette pénétration sur le continent a progressivement « affaibli » le système. Le 29/10/98, «Mitch » redevient une tempête tropicale. Le 30/10/98 et le 31/10/98, «Mitch » va alors se déplacer lentement à travers le Honduras et le Guatemala, s'affaiblissant progressivement pour redevenir une dépression tropicale. « Mitch » rejoindra par la suite le Golfe du Mexique et migrera en direction des côtes de la Floride.

Alors que tous les modèles de prévision américains annonçaient que le cyclone allait se déplacer vers le nord, nord-est, épargnant de ce fait les pays de l'isthme. Alors que toutes les télés du Honduras (où j'étais présent) et du Nicaragua diffusaient des messages rassurants à leurs populations, évoquant « un véritable miracle divin » (encore un, avec celui de « l'Invierno de las Chicharras », voir ci-dessus, partie 1, chapitre 2, 5, a), « Mitch » incurva brutalement sa course pour pénétrer sur le continent voisin ! Comment rendre compte de ce brusque changement de direction ?
Que nous apprend l'observation attentive des cartes de surface et des photos satellites ?

**Tableau n°10 : historique de l'évolution du du cyclone « Mitch » (du 22/10 au 7/11/98)**

| Date et heure (T.U) | Latitude (°N) | Longitude (°O) | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie |
|---|---|---|---|---|---|
| **22/10/1998, 2100** | 11.50 | 77.60 | 1000 | 80 | **Dépression tropicale** |
| 23/10/98, 2100 | 13.00 | 78.10 | 997 | 100 | Dépression tropicale |
| **24/10/98, 0900** | 14.30 | 77.70 | 988 | 160 | **Cyclone 1** |
| **24/10/98, 1500** | 14.90 | 77.90 | 987 | 170 | **Cyclone 2** |
| 24/10/98, 2100 | 15.30 | 78.20 | 976 | 180 | Cyclone 2 |
| **25/10/98, 0300** | 15.70 | 78.40 | 965 | 210 | **Cyclone 3** |
| 25/10/98, 1200 | 16.20 | 79.50 | 945 | 220 | Cyclone 3 |
| **25/10/98, 2100** | 16.60 | 80.70 | 924 | 260 | **Cyclone 4** |
| **26/10/98, 1200** | 16.60 | 82.60 | 923 | 270 | **Cyclone 5** |
| **26/10/98, 2100** | 17.10 | 83.60 | **906** | **310** | Cyclone 5 |
| 27/10/98, 2100 | 16.80 | 85.80 | 929 | 270 | Cyclone 5 |
| **28/10/98, 0000** | 16.60 | 85.60 | 932 | 260 | **Cyclone 4** |
| **28/10/98, 1200** | 15.40 | 85.60 | 949 | 210 | **Cyclone 3** |
| 28/10/1998, 2100 | 16.40 | 85.90 | 960 | 200 | Cyclone 3 |
| **29/10/98, 0000** | 16.30 | 86.00 | 966 | 180 | **Cyclone 2** |
| **29/10/98, 0900** | 16.00 | 85.90 | 979 | 150 | **Cyclone 1** |
| **29/10/98, 2100** | 15.90 | 85.80 | 994 | 100 | **Tempête tropicale** |
| 30/10/98, 2100 | 15.10 | 86.80 | 998 | 100 | Tempête tropicale |
| **31/10/98, 1500** | 14.50 | 88.70 | 1001 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 31/10/98, 2100 | 14.50 | 89.90 | 1001 | 60 | Dépression tropicale |
| 01/11/98, 2100 | 15.00 | 92.30 | 1005 | 50 | Dépression tropicale |
| 02/11/98, 0000 | 16.30 | 92.70 | 1005 | 40 | Dépression tropicale |
| 02/11/98, 0600 | 17.10 | 93.1 | 1005 | 40 | Dépression tropicale |
| 02/11/98, 1200 | 17.90 | 93.40 | 1005 | 40 | Dépression tropicale |
| 02/11/98, 1800 | 18.7 | 93.7 | 1005 | 40 | Dépression tropicale |
| **03/11/98, 2100** | 19.40 | 91.30 | 997 | 80 | **Tempête tropicale** |
| 04/11/98, 2100 | 23.50 | 85.80 | 993 | 80 | Tempête tropicale |
| 05/11/98, 2100 | 28.20 | 76.90 | 992 | 100 | Tempête tropicale |
| 06/11/98, 1800 | 33.70 | 64.80 | * | 100 | Tempête tropicale |
| 07/11/98, 0600 | 37.30 | 56.40 | * | 100 | Tempête tropicale |
| **26/10/98, 1800** | 16.9 | 83.1 | **310** | **905** | **Pression minimale** |
| **29/10/98, 1200** | 15.9 | 85.7 | 140 | 987 | **Touche terre à 134 km à l'est de La Ceiba (Honduras).** |
| **04/11/98, 0200** | 20.1 | 90.5 | 70 | 998 | **Touche terre à 28 km au nord-nord-est de Campeche (Mexique).** |
| **05/11/98, 1100** | 26.2 | 81.9 | 110 | 989 | **Touche terre à 10 km à l'ouest de Naples, Floride (Etats-Unis).** |

- **Evolution « pas à pas » du cyclone Mitch :**

- **Commentaire de la fig. n°122 (analyse de la photo satellite du 21/10/98):**

Le continent nord américain est recouvert par un l'AMP1 qui provoque sur sa face avant un intense soulèvement (les formations nuageuses s'étirent depuis le nord du Mexique jusqu'au large de l'île de Terre-Neuve). L'air de cet AMP1 s'humidifie en arrivant sur l'océan Atlantique (nous observons des brouillards et des formations nuageuses de basse couche de la

**Photo satellite n°111 : GOES 8, est, vis, le 21/10/1998, 18h15 T.U**

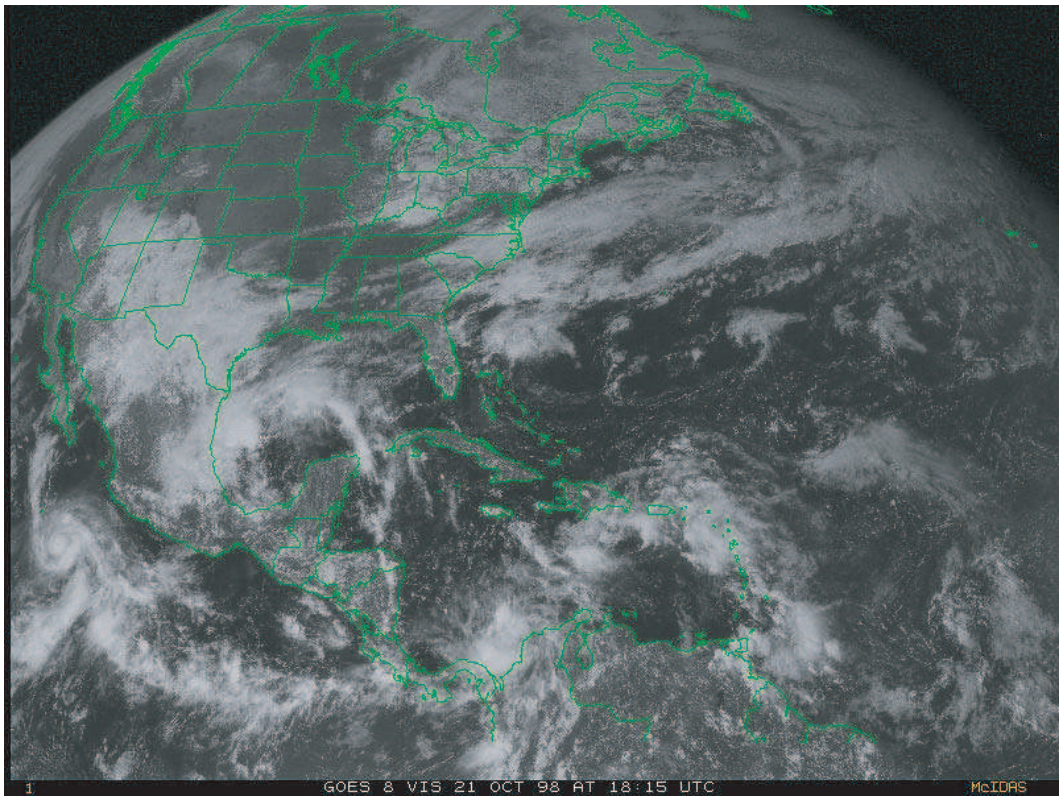



**Figure n°122 : Analyse de la photo satellite du 21/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

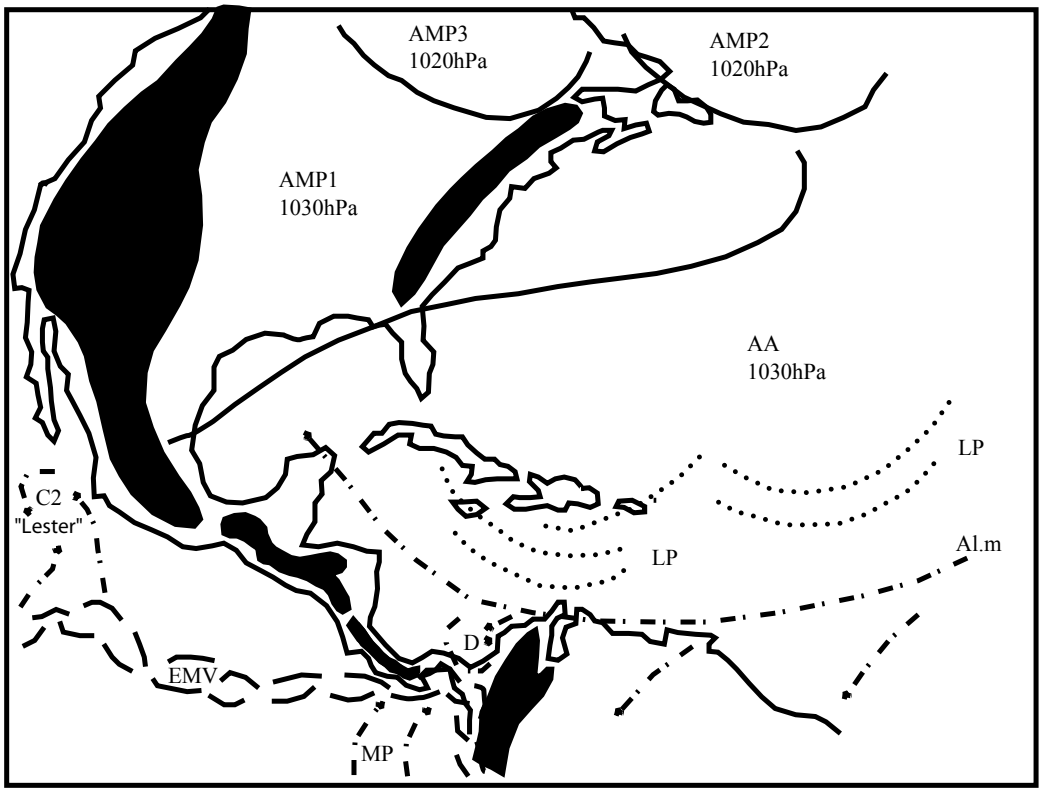


**Photo satellite n°112 : GOES 8, est, vis, le 22/10/1998, 18h15 T.U**

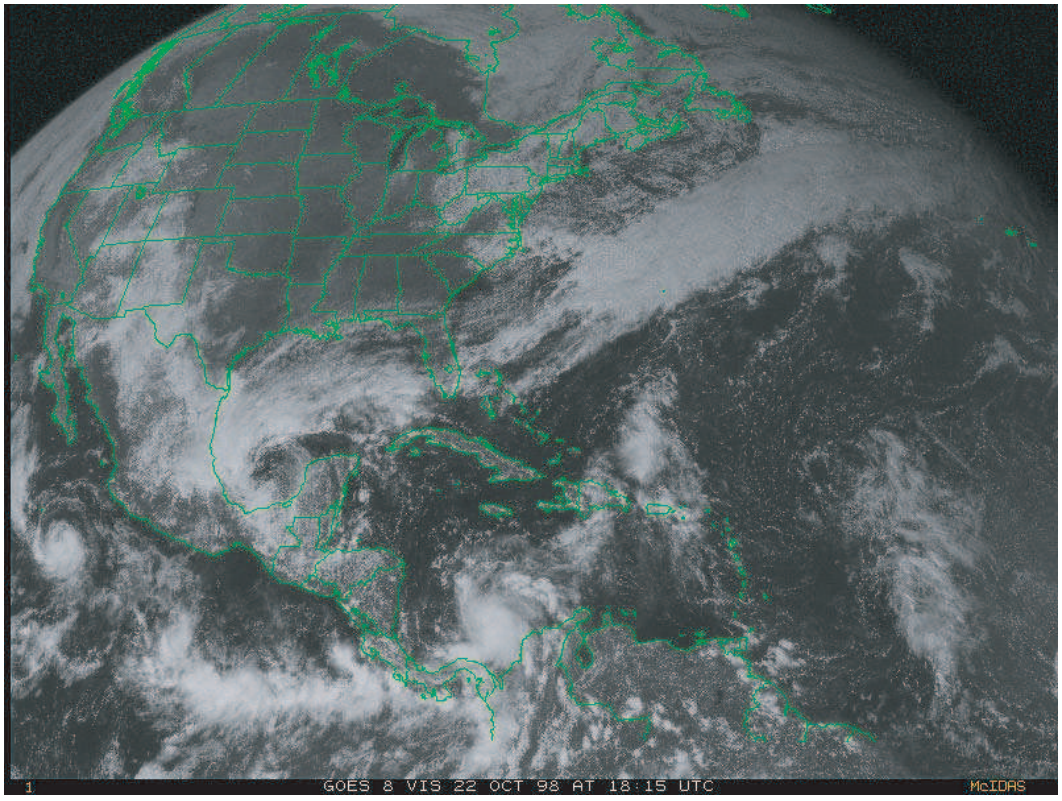



**Figure n°123 : Analyse de la photo satellite du 22/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

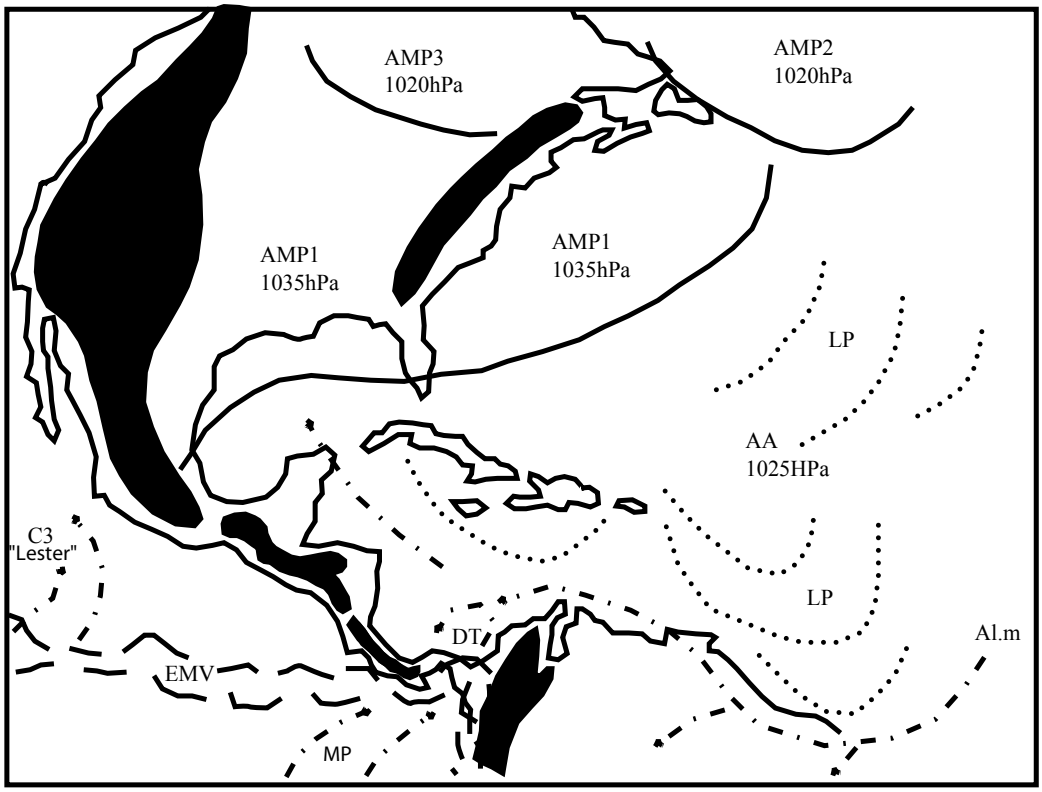


**Photo satellite n°113 : GOES 8, est, vis, le 23/10/1998, 18h15 T.U**

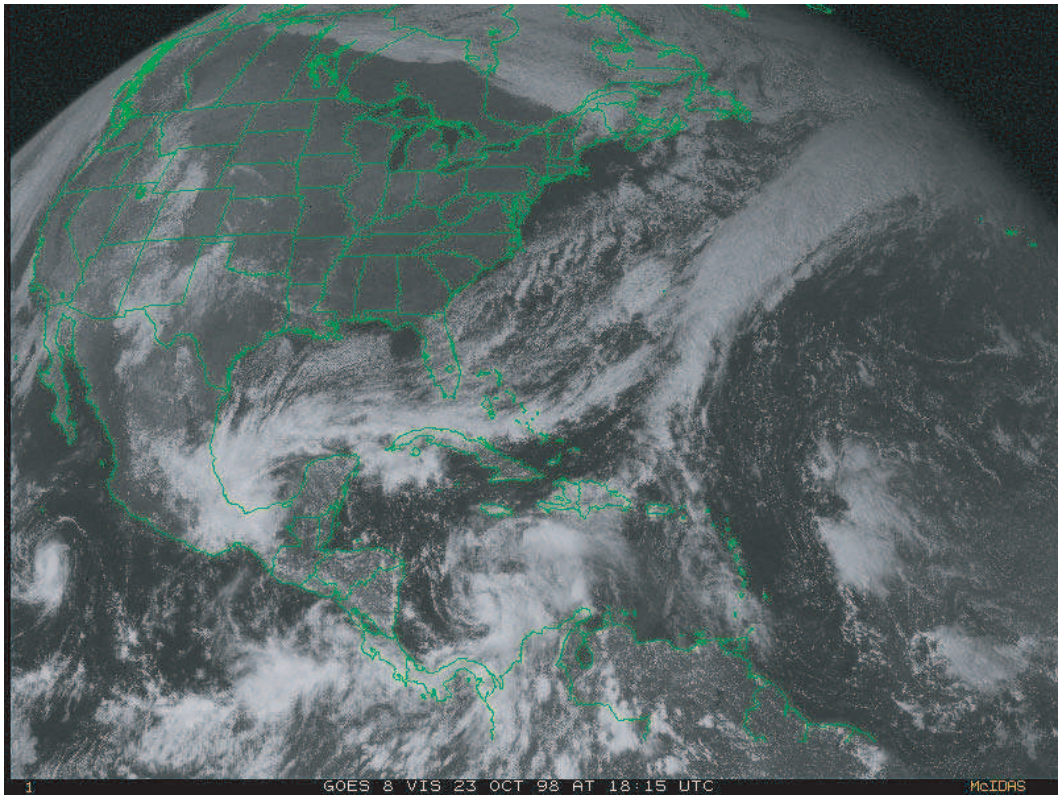



**Figure n°124 : Analyse de la photo satellite du 23/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

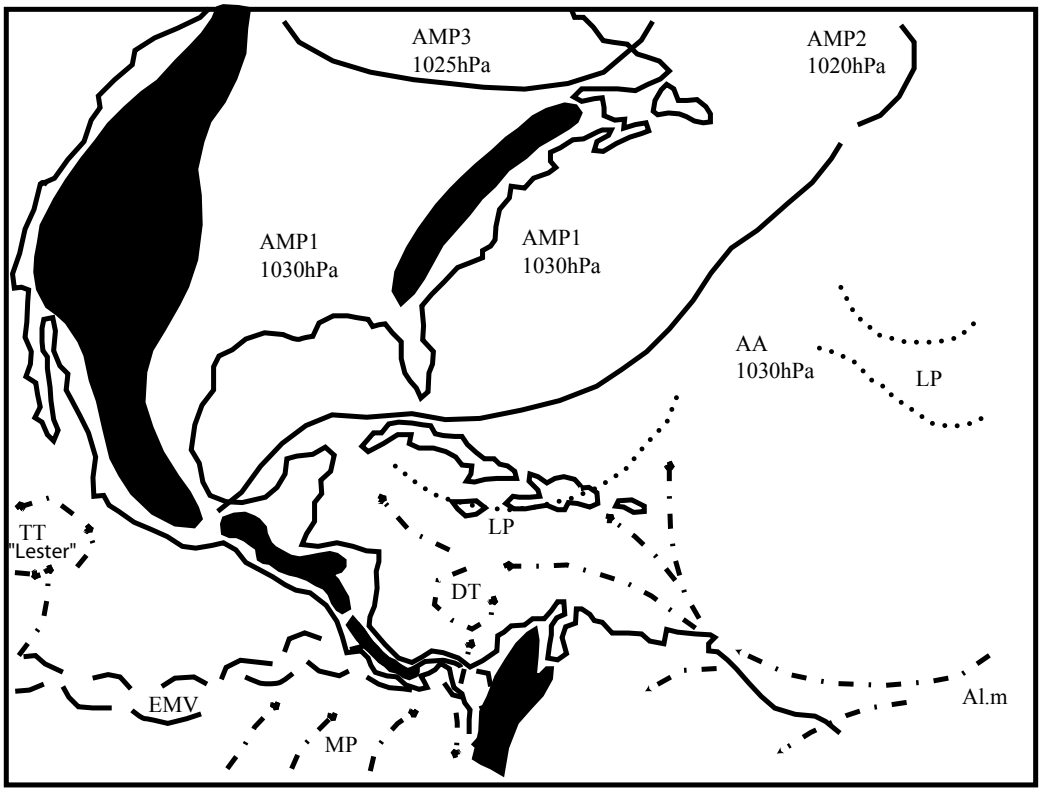


**Photo satellite n°114 : GOES 8, est, ir, le 24/10/1998, 12h15 T.U**

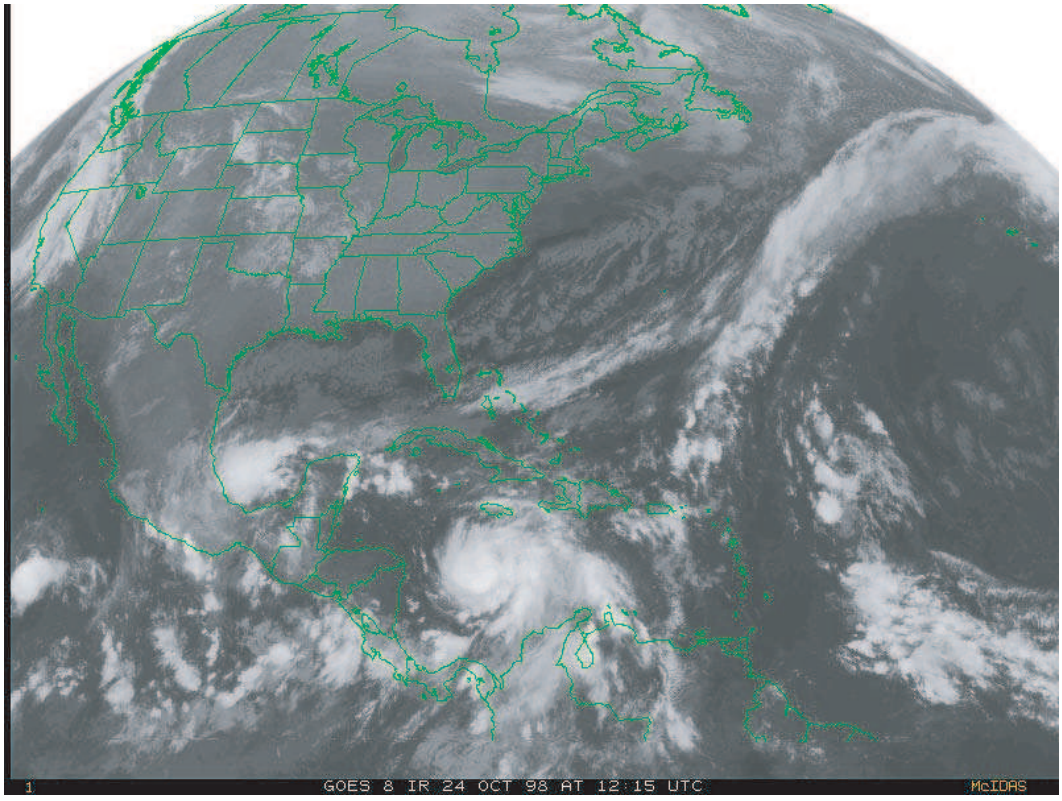



**Figure n°125 : Analyse de la photo satellite du 24/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

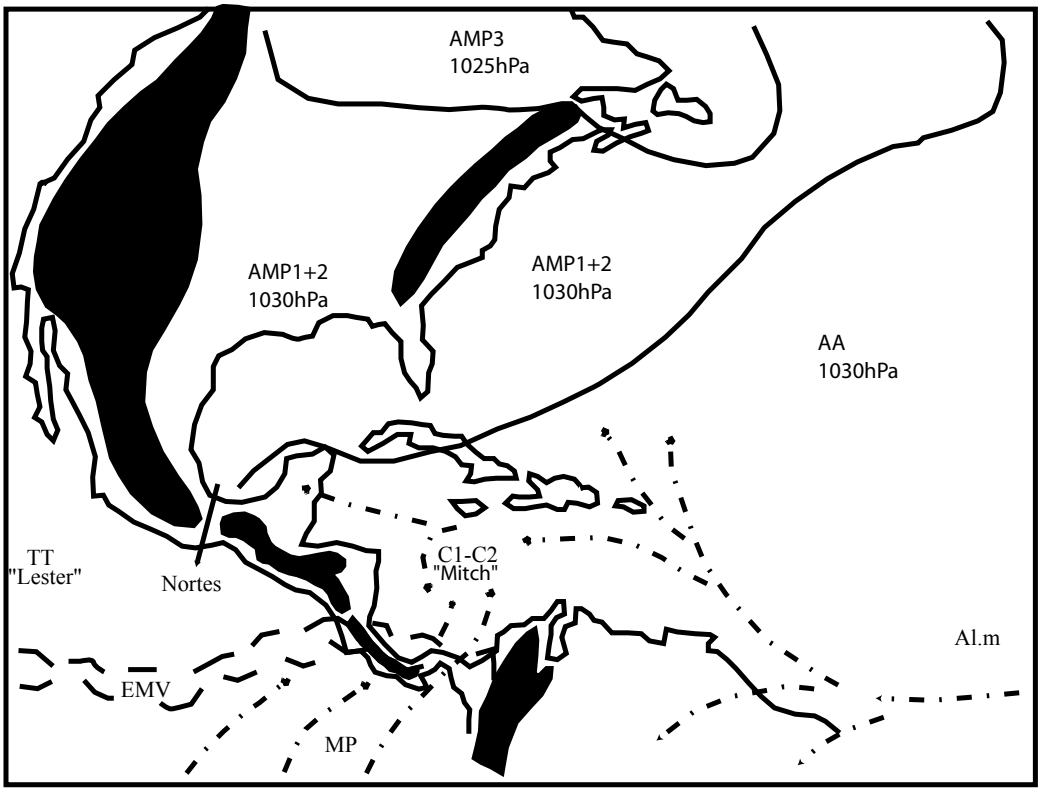


**Photo satellite n°115 : GOES 8, est, vis, le 25/10/1998, 18h15 T.U**

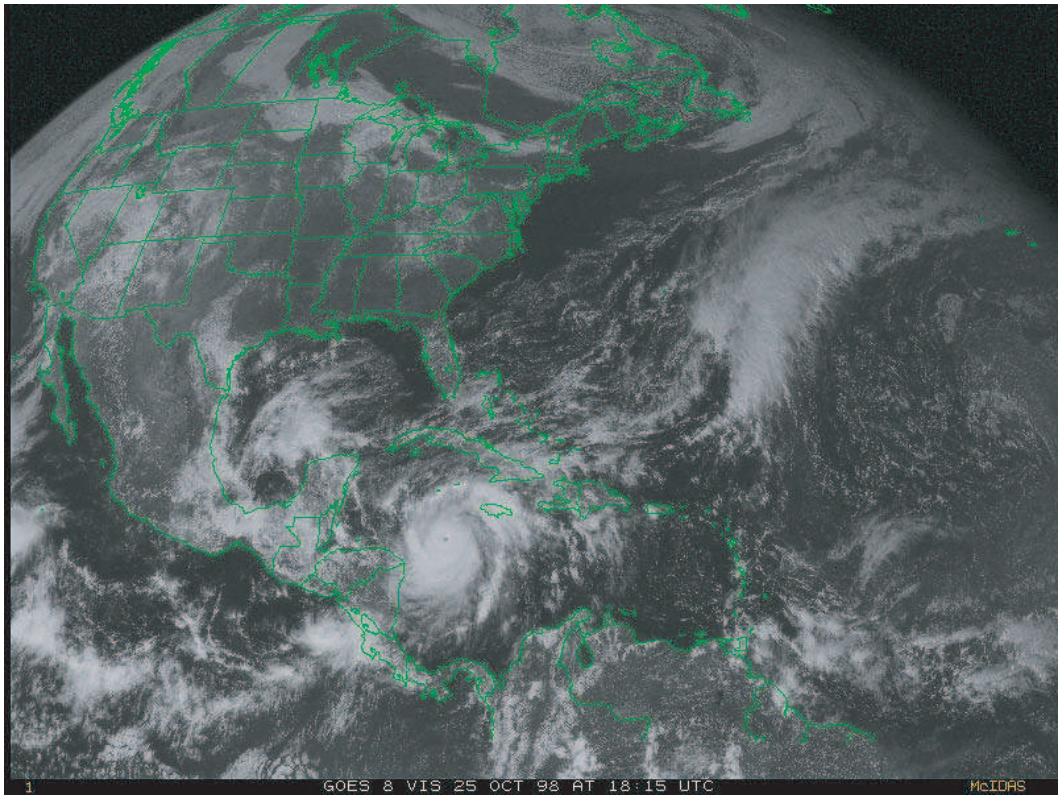



**Figure n°126 : Analyse de la photo satellite du 25/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

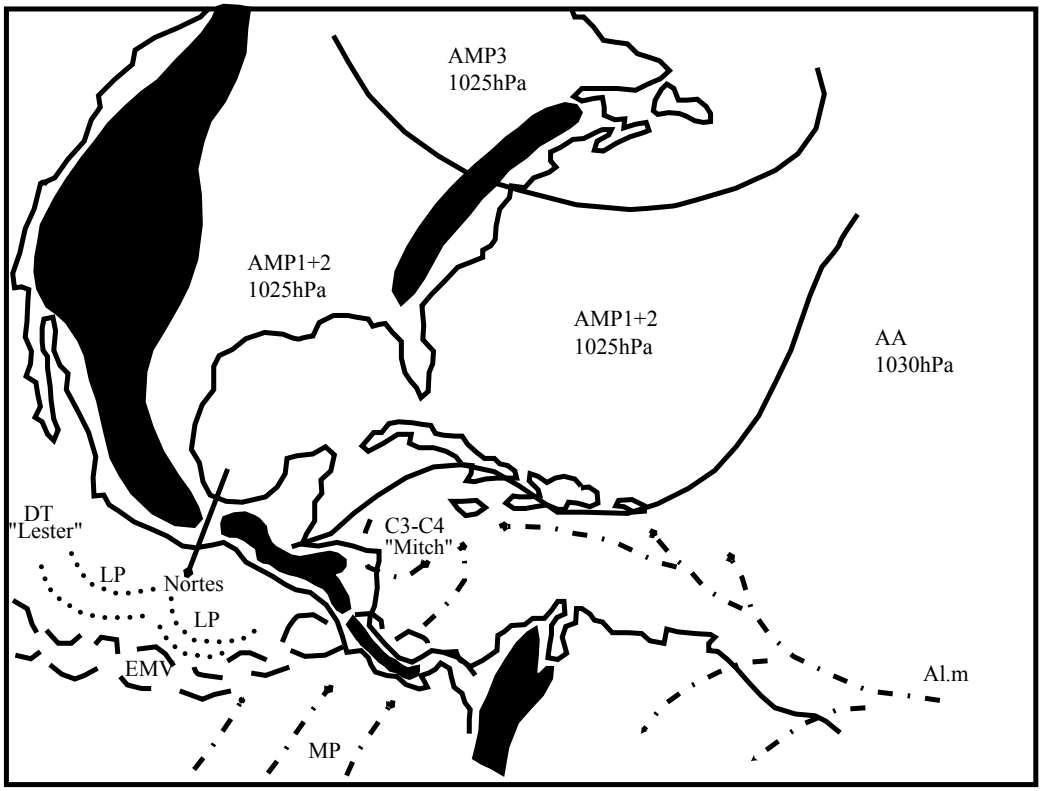


**Photo satellite n°116 : d'après GOES 8, full, est, vis, le 26/10/1998, 18h15 T.U**

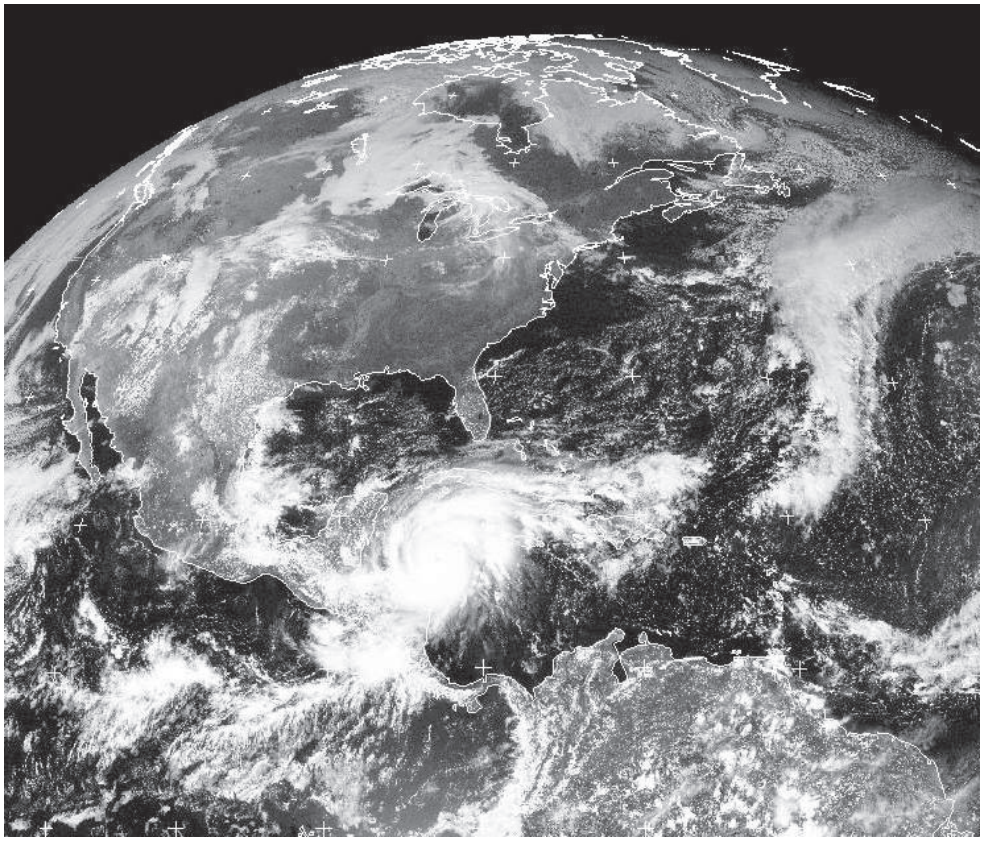


**Figure n°127 : Analyse de la photo satellite du 26/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

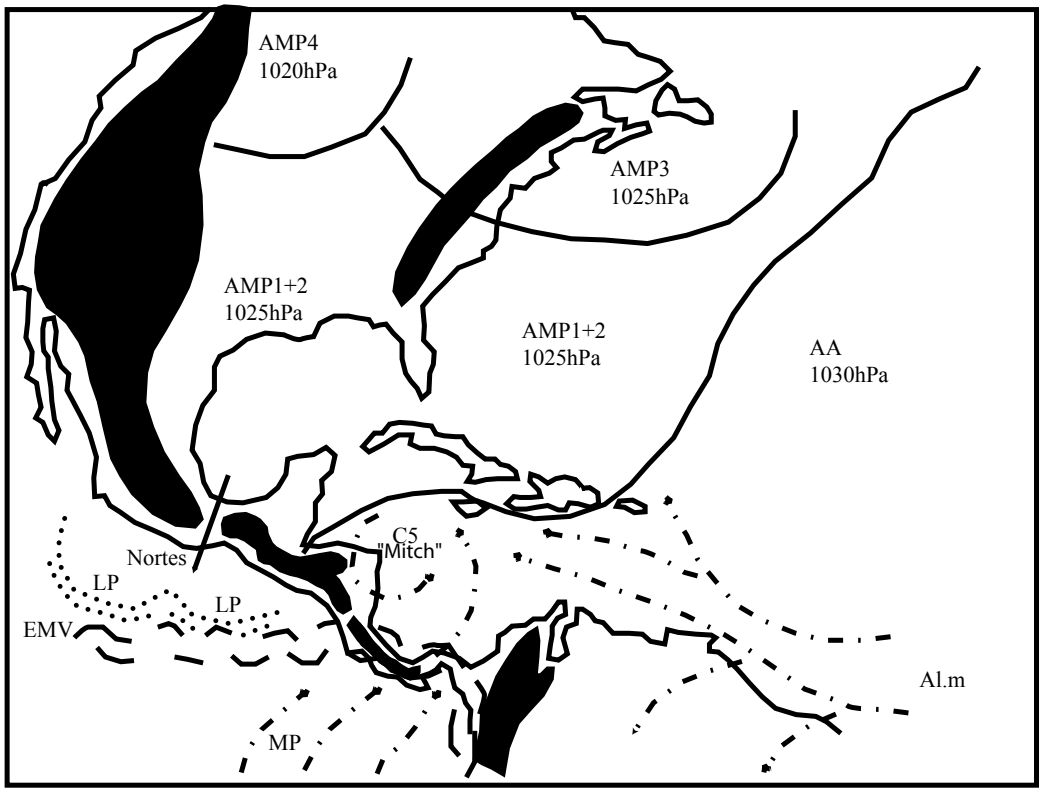


**Photo satellite n°117 : d'après GOES 8, full, est, ir, le 27/10/1998, 18h15 T.U**

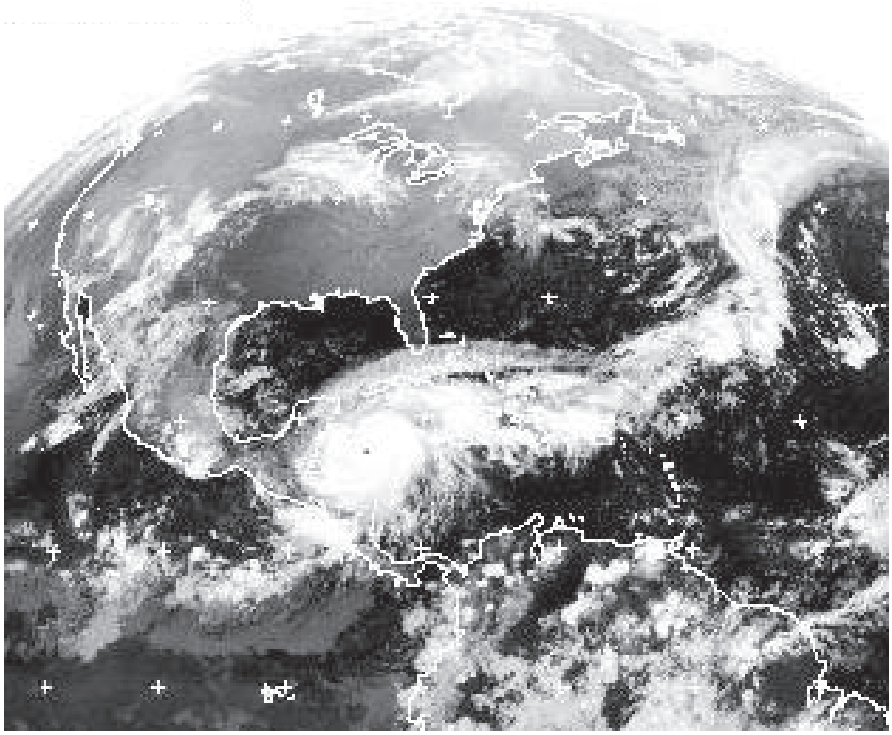


**Figure n°128 : Analyse de la photo satellite du 27/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

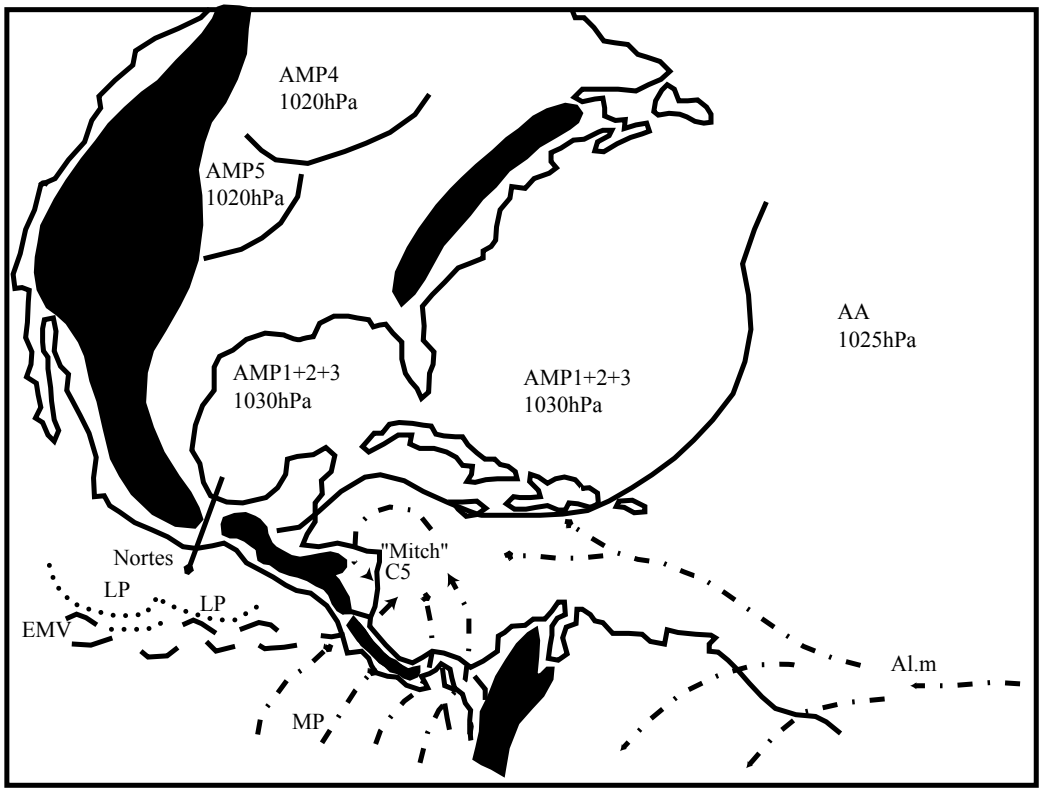


**Photo satellite n°118 : GOES 8, est, vis, le 28/10/1998, 18h15 T.U**

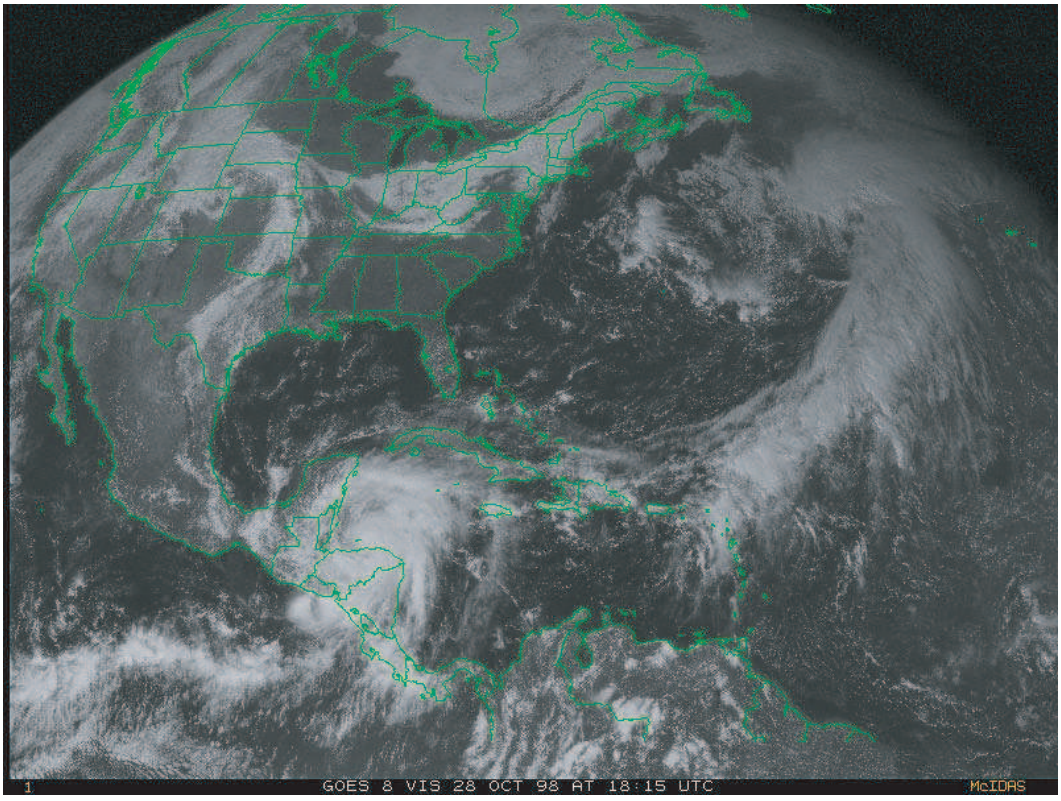



**Figure n°129 : Analyse de la photo satellite du 28/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

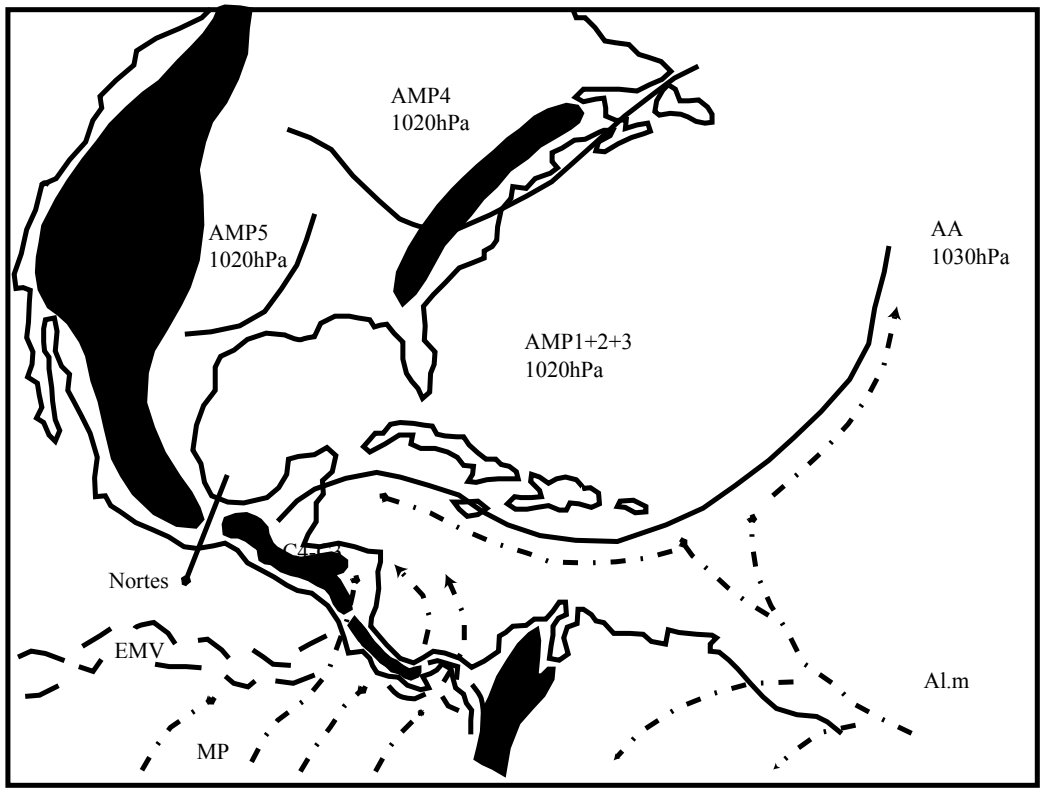


**Photo satellite n°119 : GOES 8, est, vis, le 29/10/1998, 18h15 T.U**

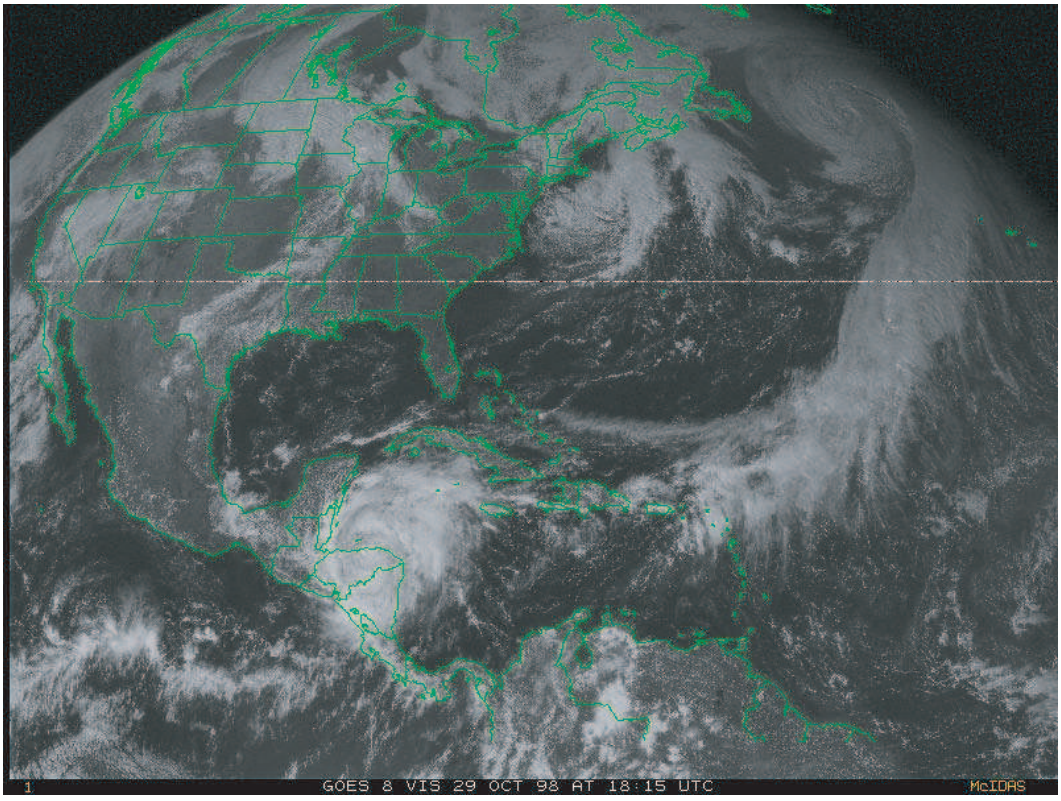



**Figure n°130 : Analyse de la photo satellite du 29/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

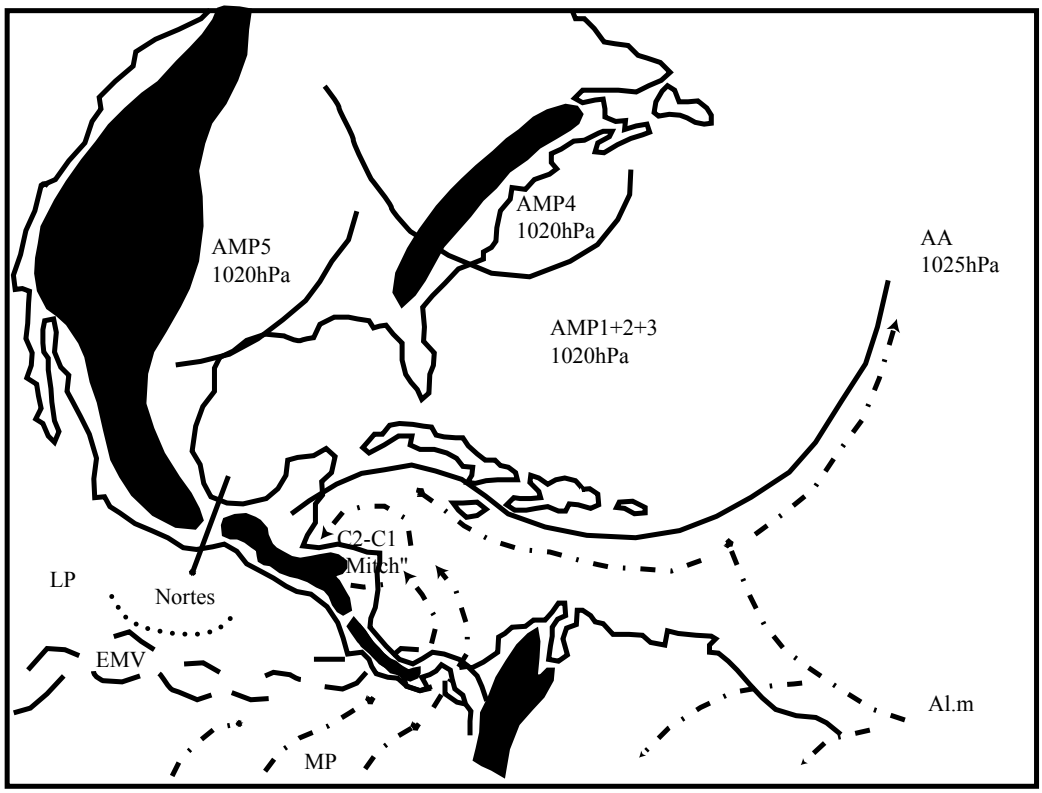


**Photo satellite n°120 : GOES 8, est, vis, le 30/10/1998, 18h15 T.U**

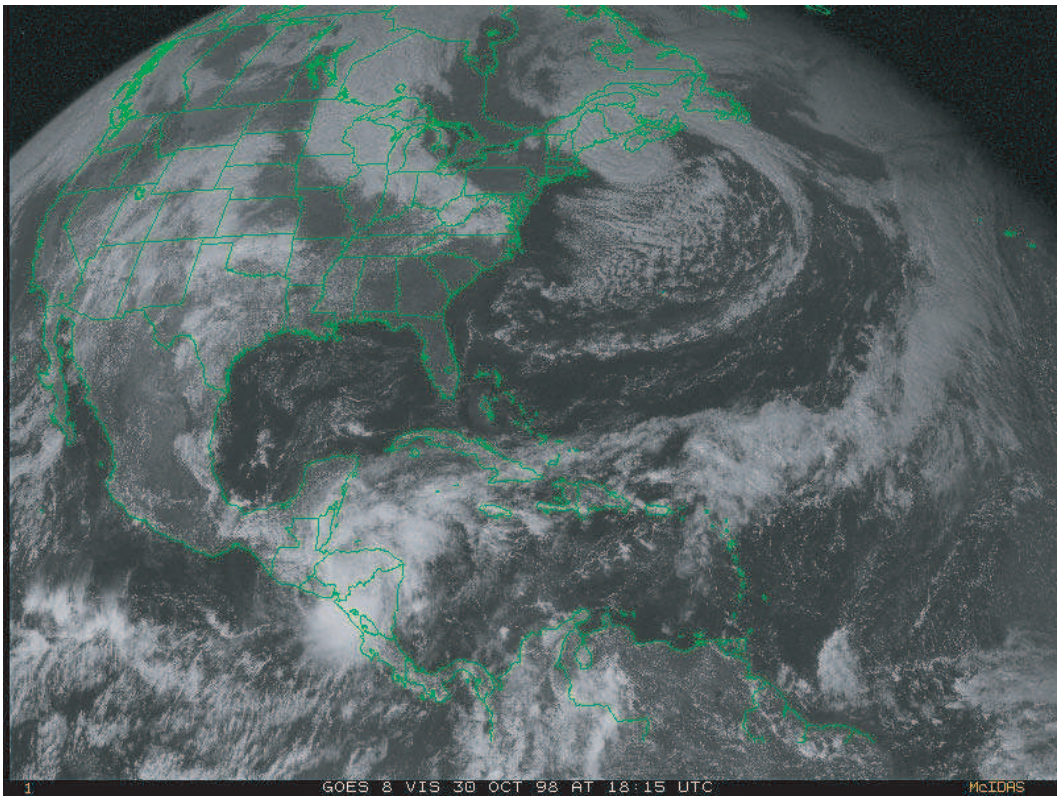



**Figure n°131 : Analyse de la photo satellite du 30/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

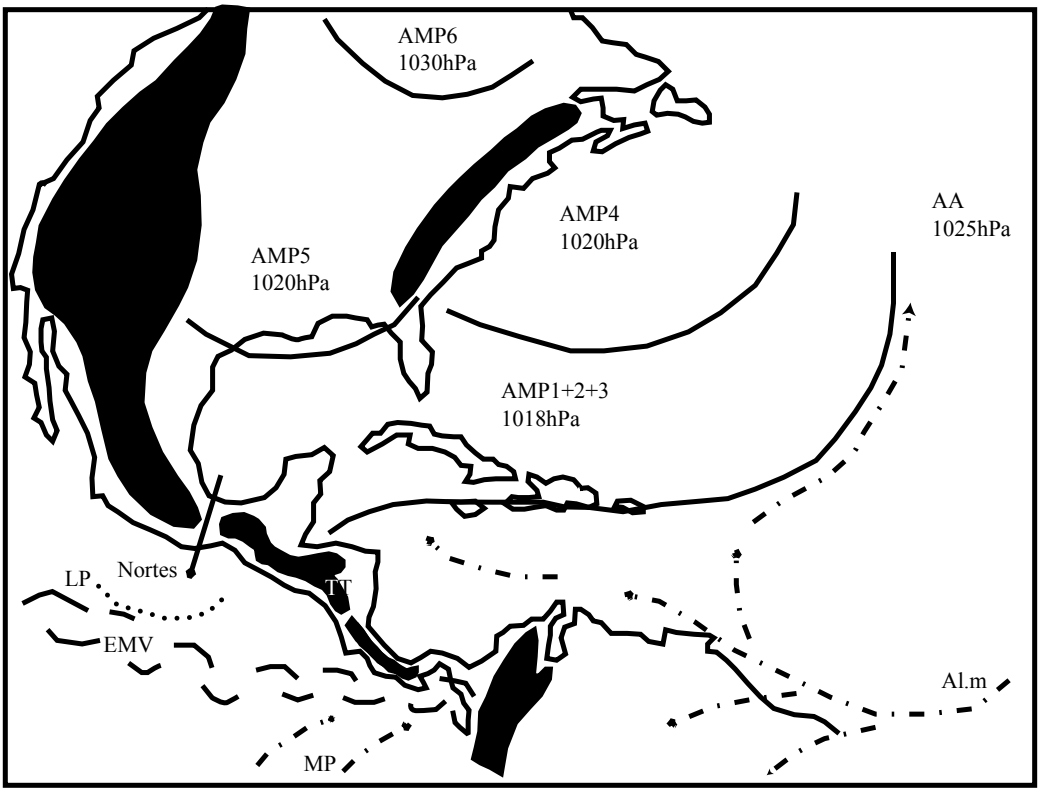


**Photo satellite n°121 : GOES 8, est, vis, le 31/10/1998, 18h15 T.U**

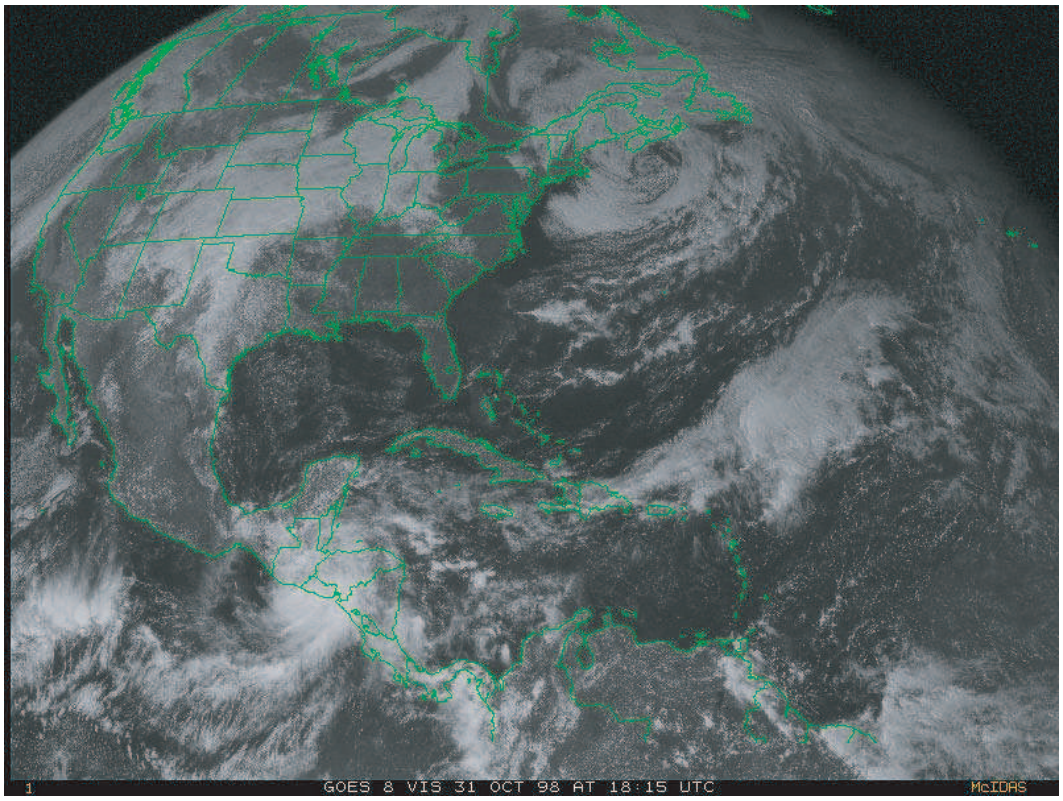



**Figure n°132 : Analyse de la photo satellite du 31/10/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

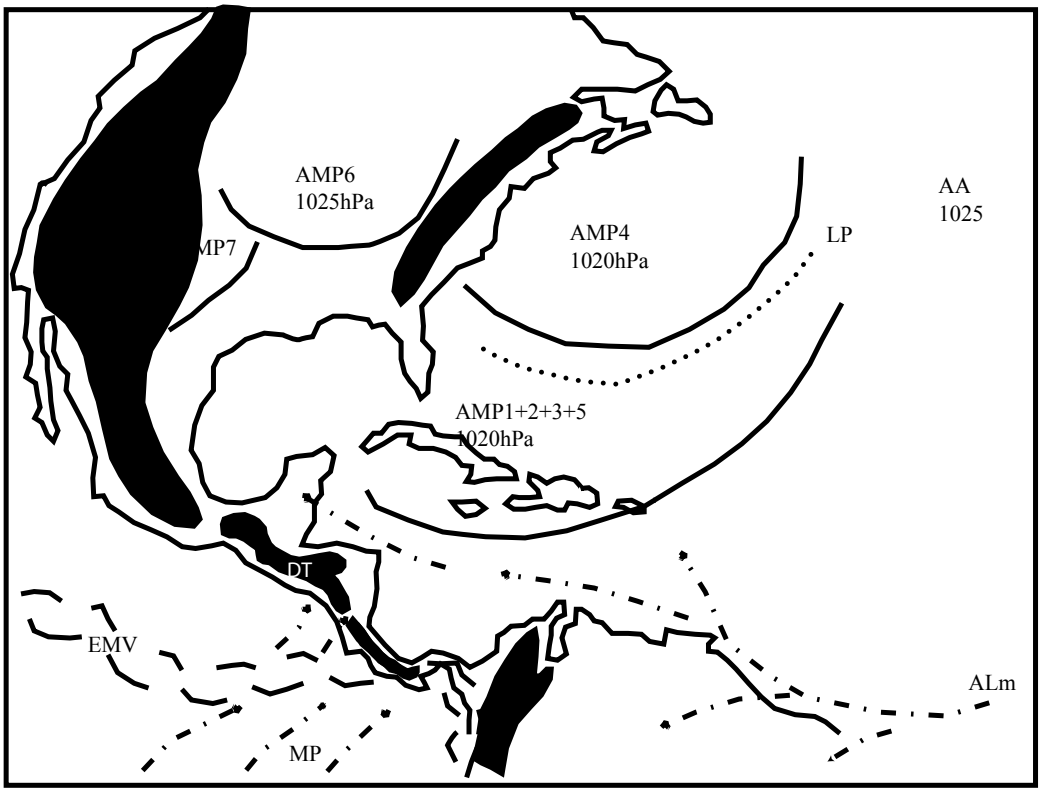


**Photo satellite n°122 : GOES 8, est, vis, le 1/11/1998, 18h15 T.U**

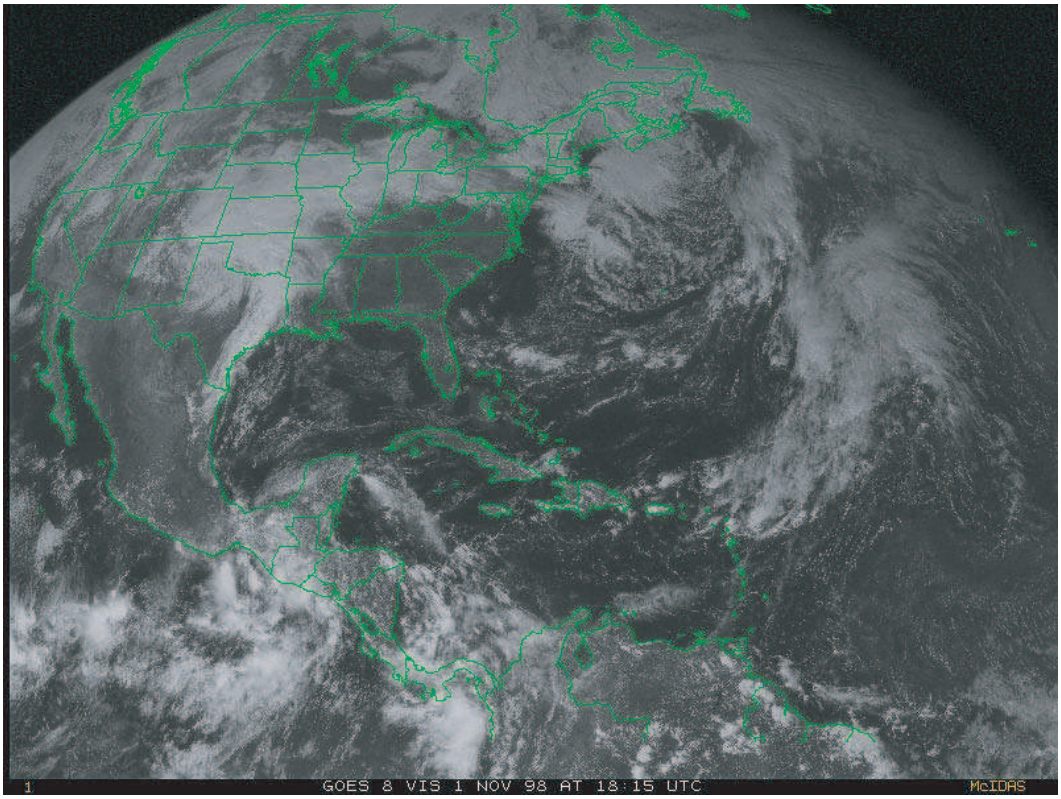



**Figure n°133 : Analyse de la photo satellite du 1/11/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

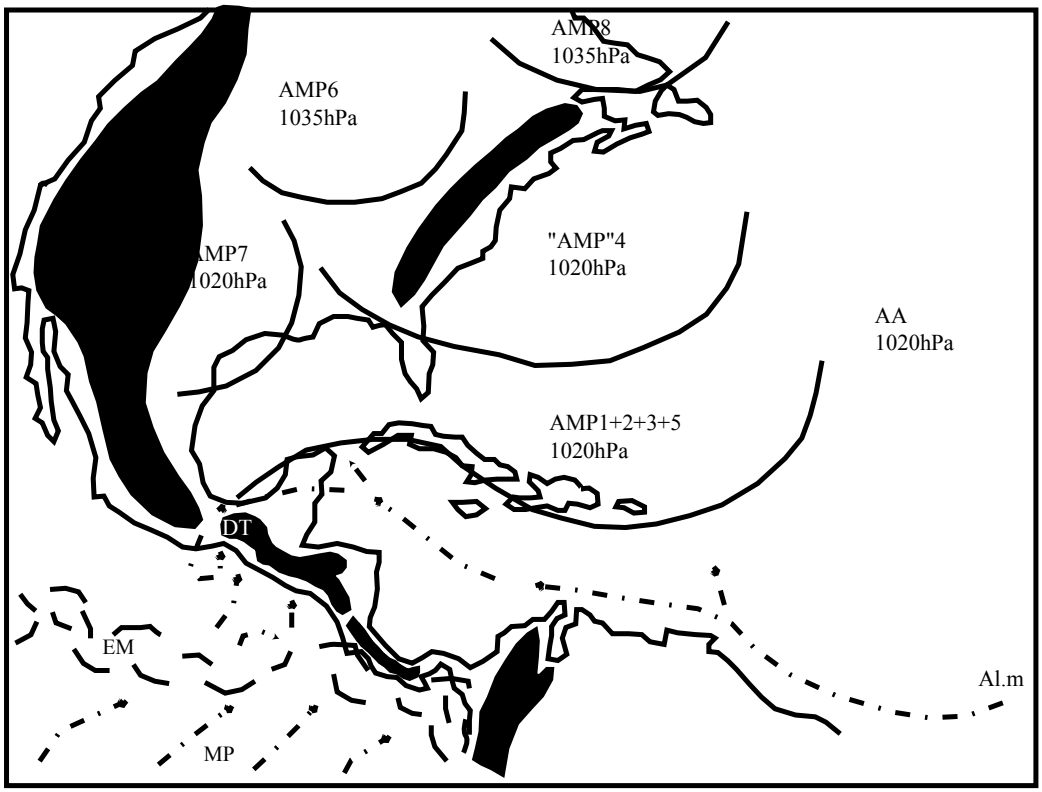


**Photo satellite n°123 : GOES 8, est, vis, le 2/11/1998, 18h15 T.U**

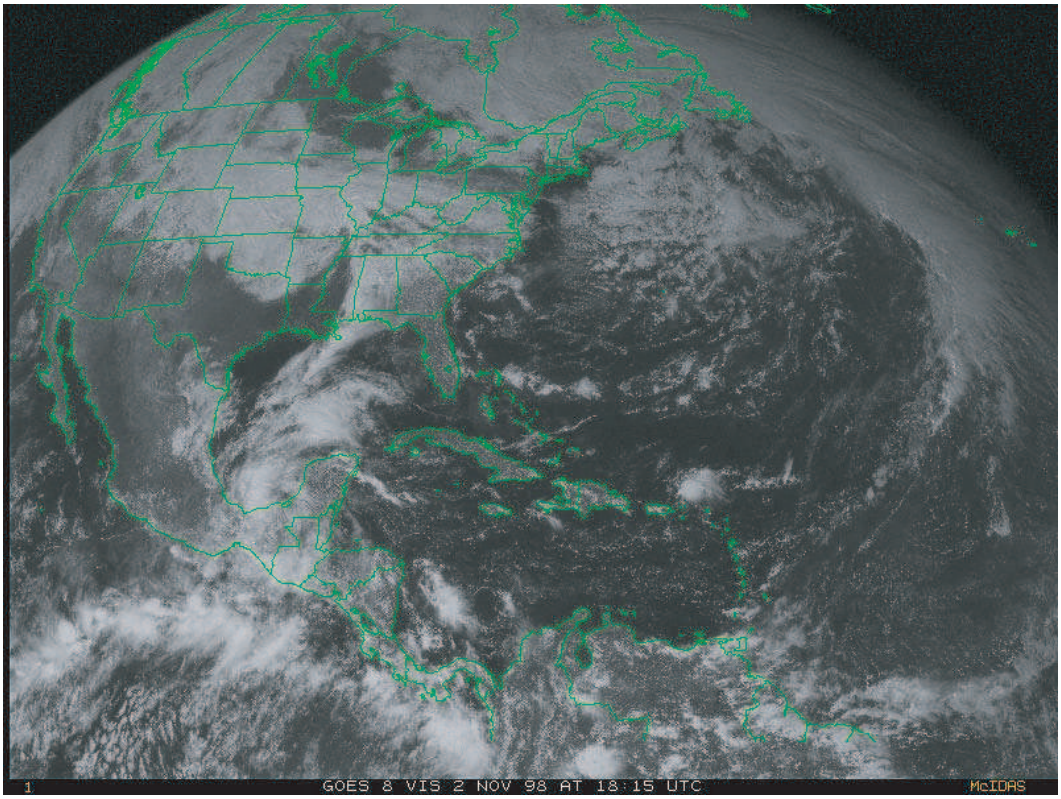



**Figure n°134 : Analyse de la photo satellite du 2/11/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

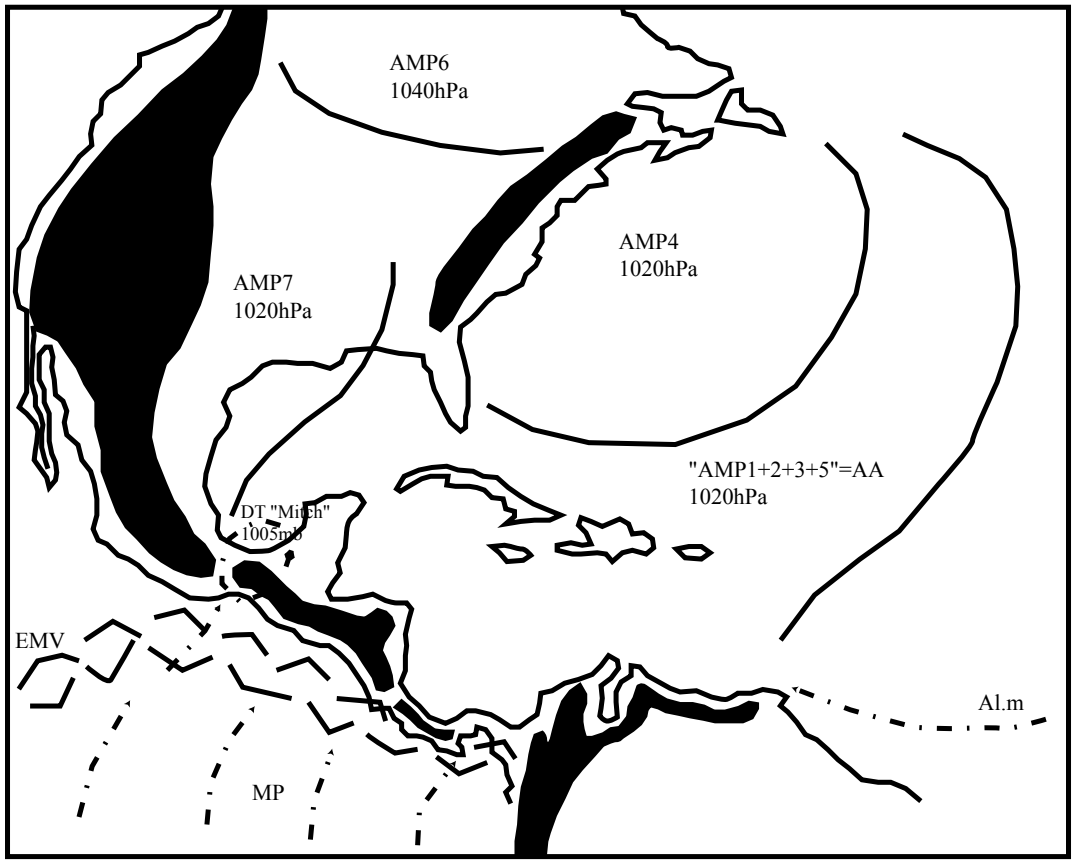


**Photo satellite n°124 : GOES 8, est, vis, le 3/11/1998, 18h15 T.U**

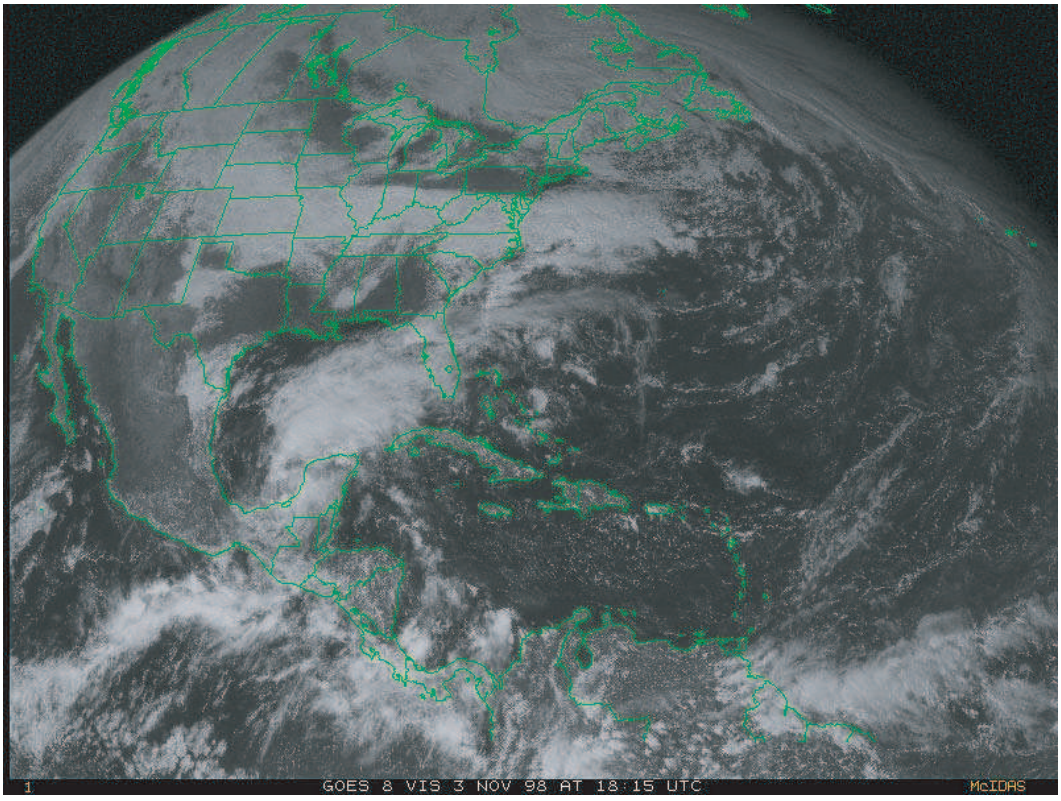



**Figure n°135 : Analyse de la photo satellite du 3/11/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

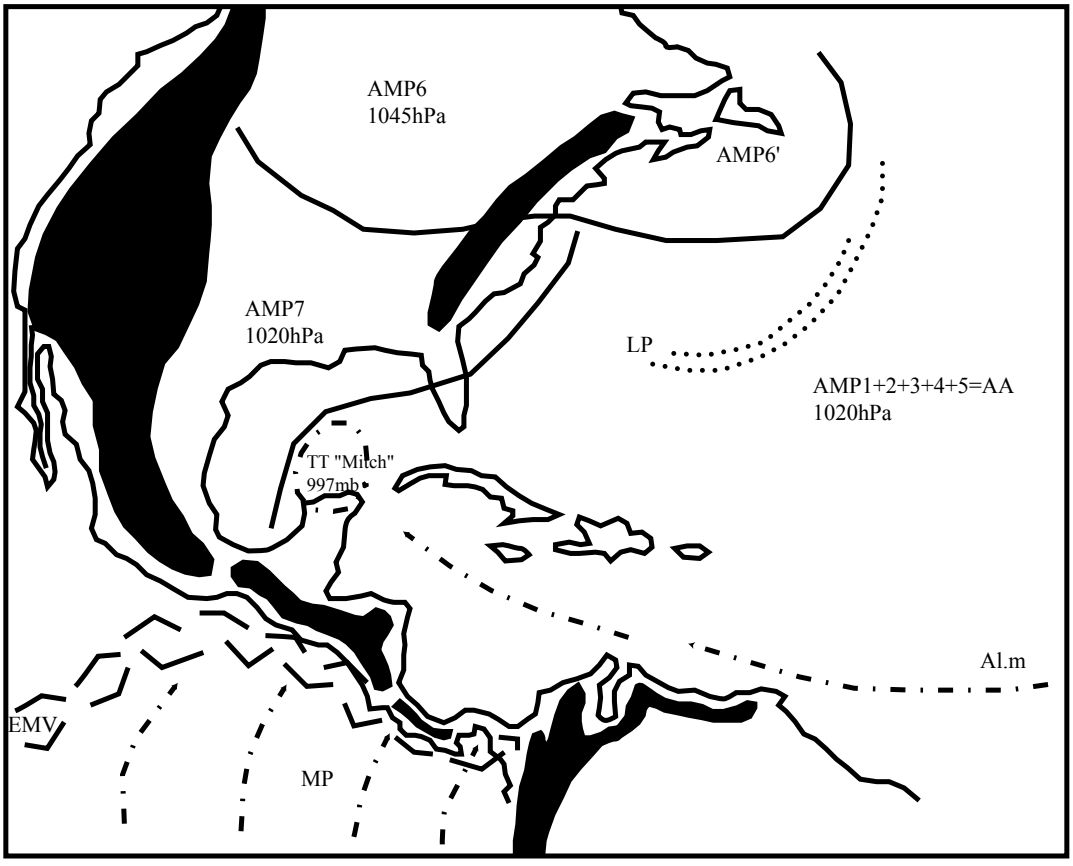


**Photo satellite n°125 : GOES 8, est, vis, le 4/11/1998, 18h15 T.U**

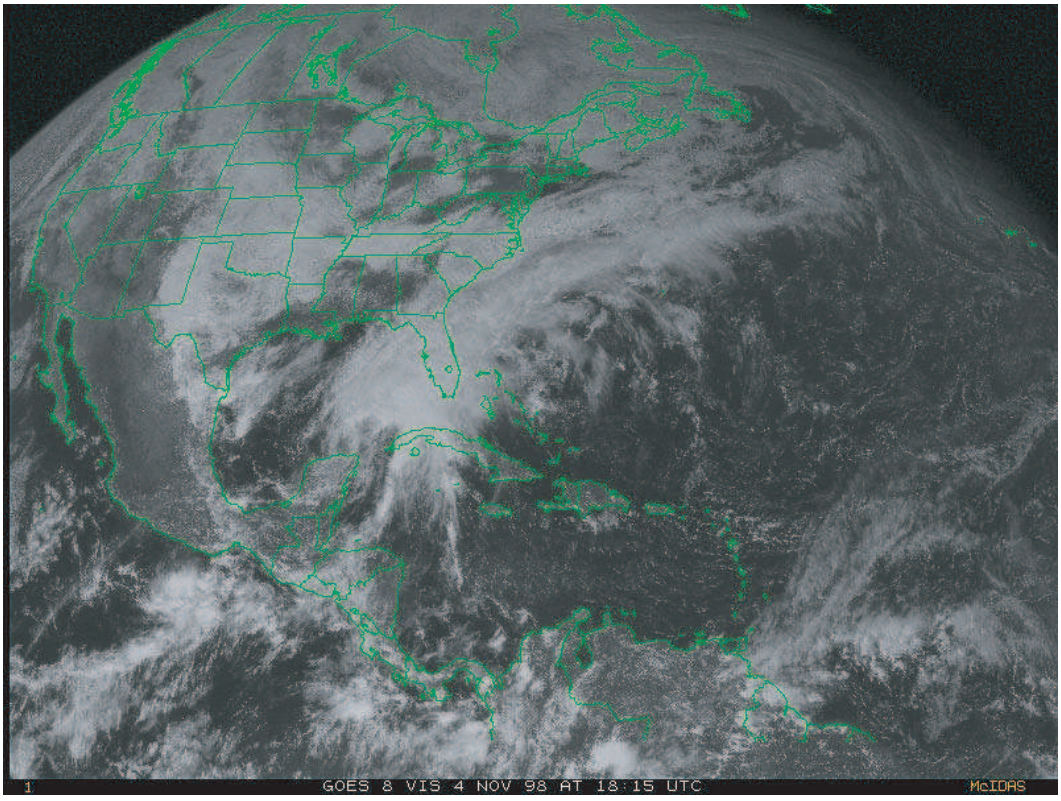



**Figure n°136 : Analyse de la photo satellite du 4/11/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

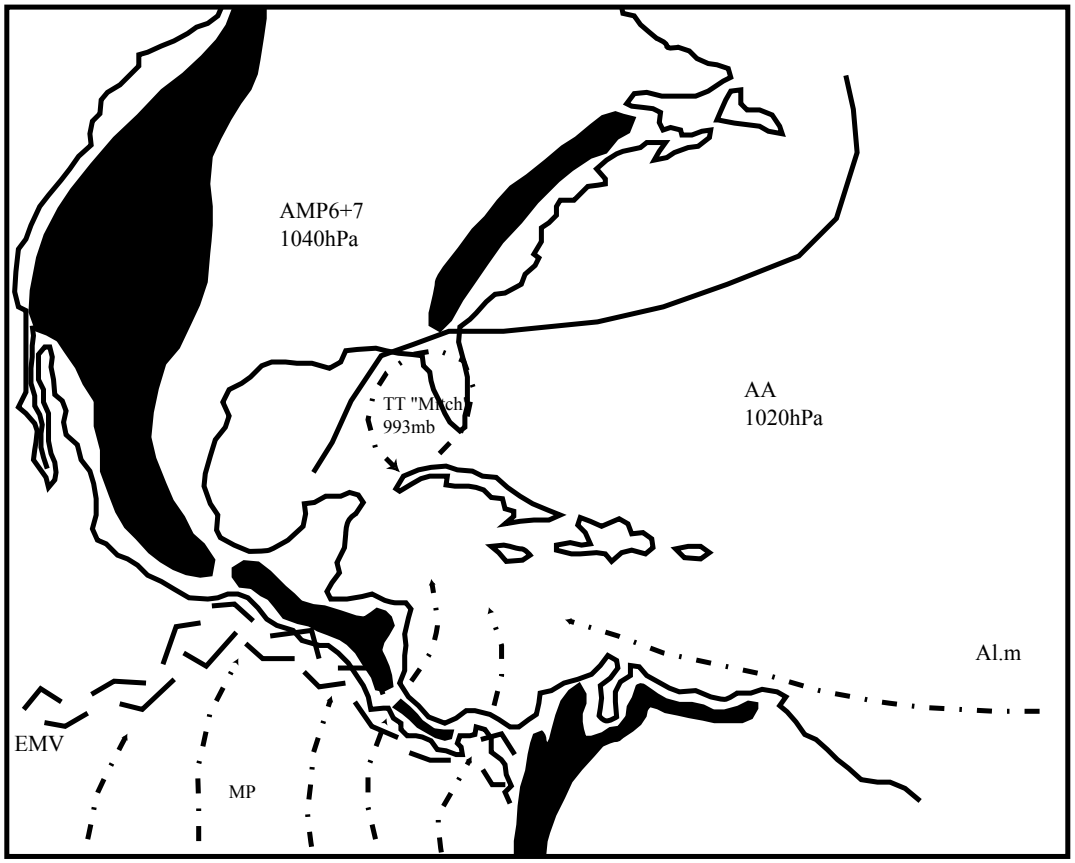


**Photo satellite n°126 : GOES 8, est, vis, le 5/11/1998, 18h15 T.U**

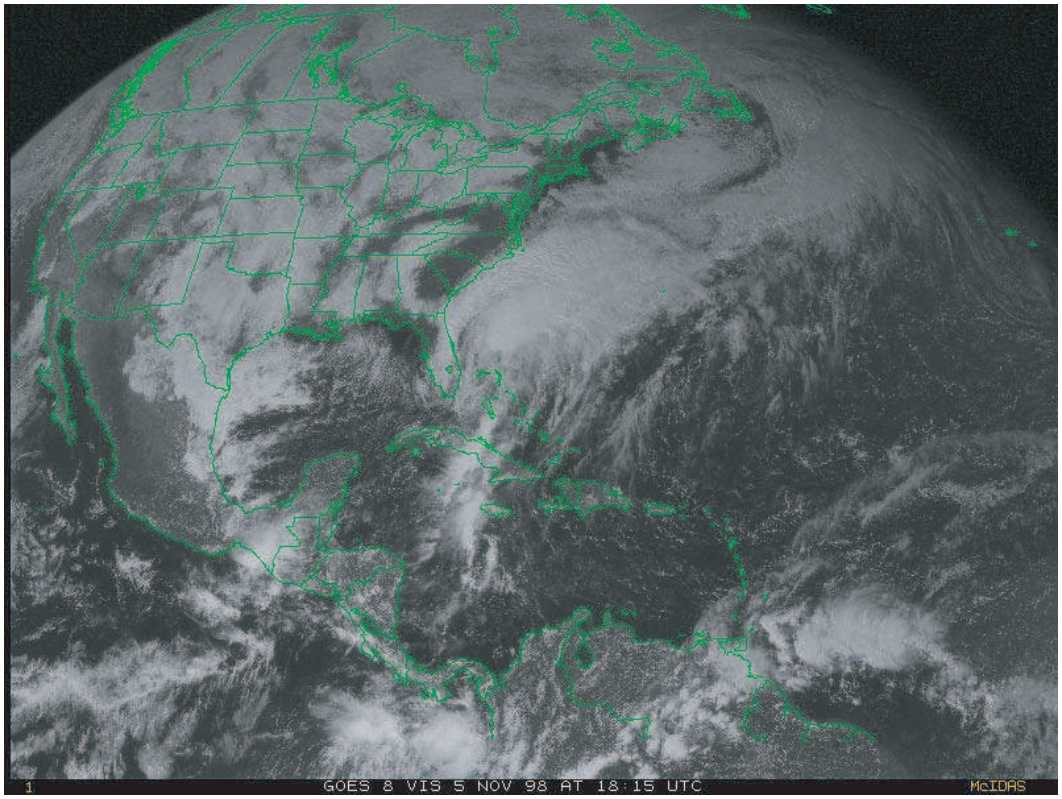



**Figure n°137 : Analyse de la photo satellite du 5/11/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

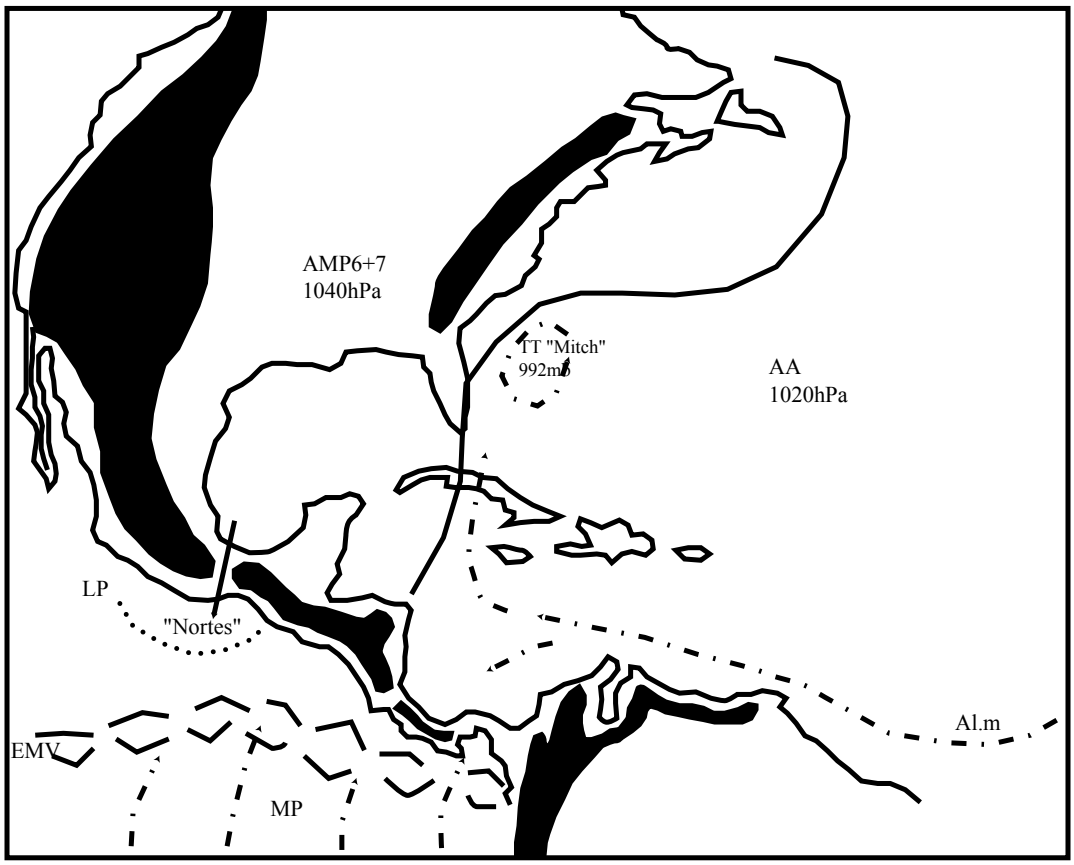


**Photo satellite n°127 : GOES 8, est, ir, le 6/11/1998, 12h15 T.U**

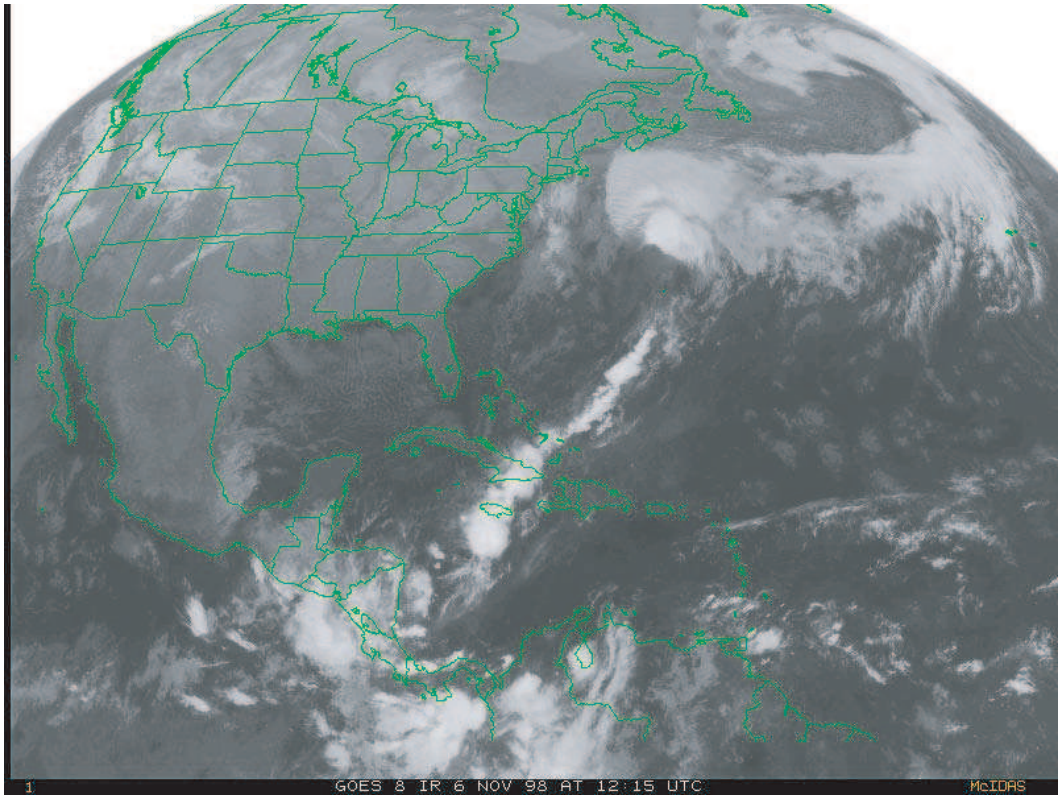



**Figure n°138 : Analyse de la photo satellite du 6/11/1998, GOES 8, est, ir, 12h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

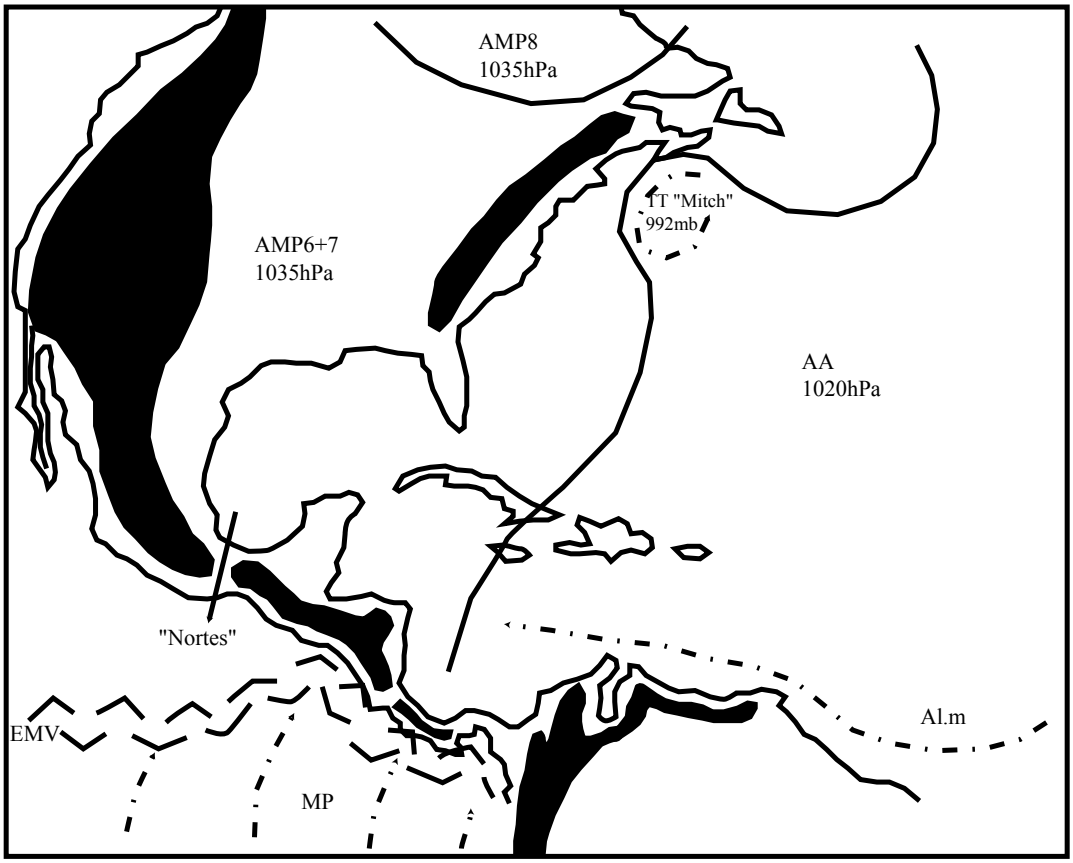


**Photo satellite n°128 : GOES 8, est, vis, le 7/11/1998, 18h15 T.U**

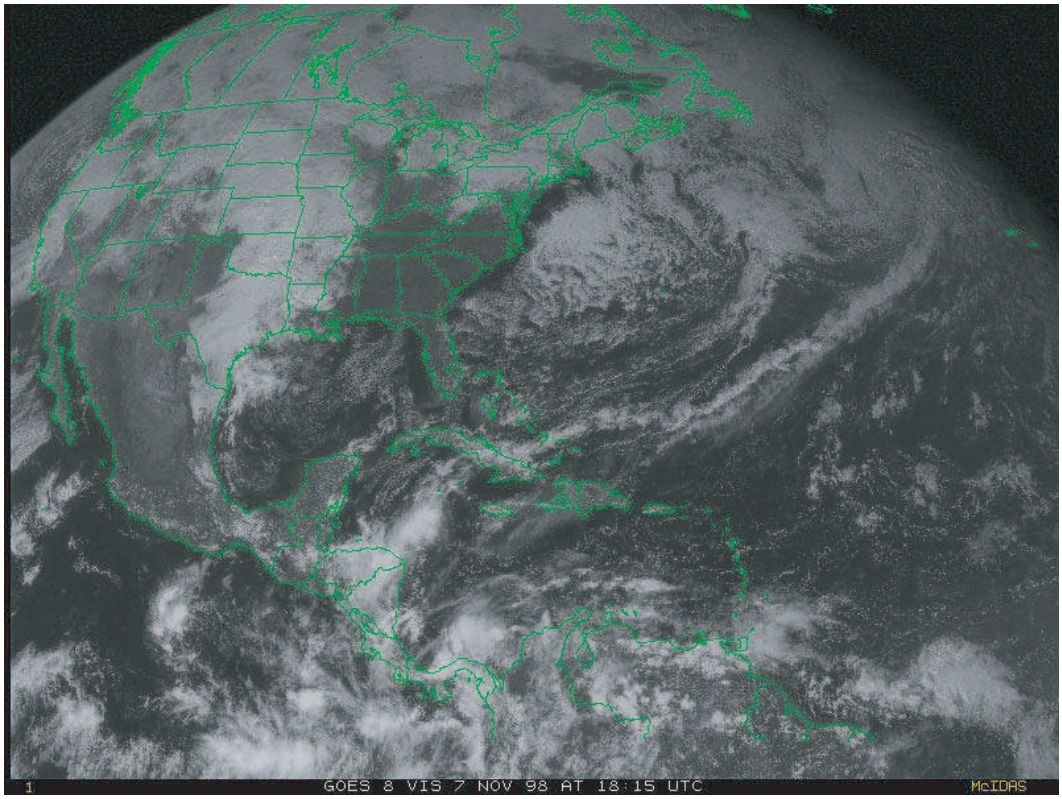



**Figure n°139 : Analyse de la photo satellite du 7/11/1998, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

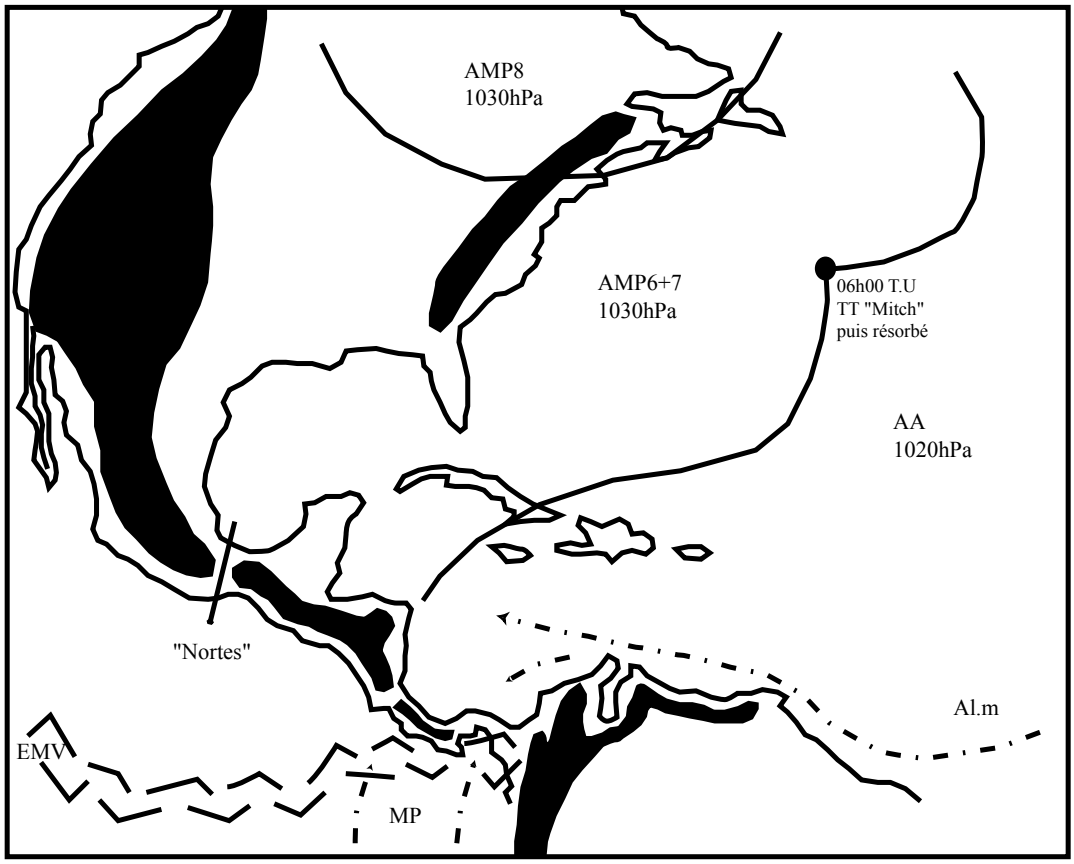


**Fig. n°140 : Carte récapitulative de l'évolution de surface de l'AMP1 et ses apports, trajectoire de "Mitch" du 21 au 31/10/1998**

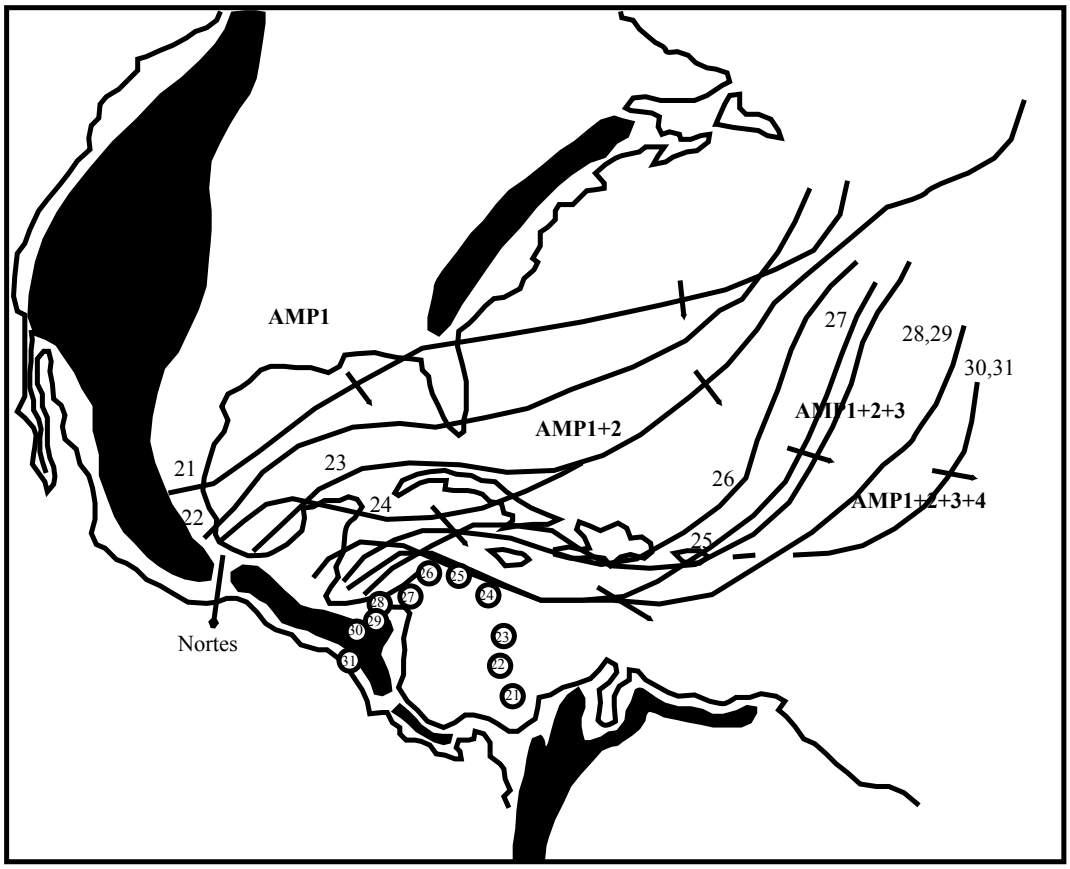
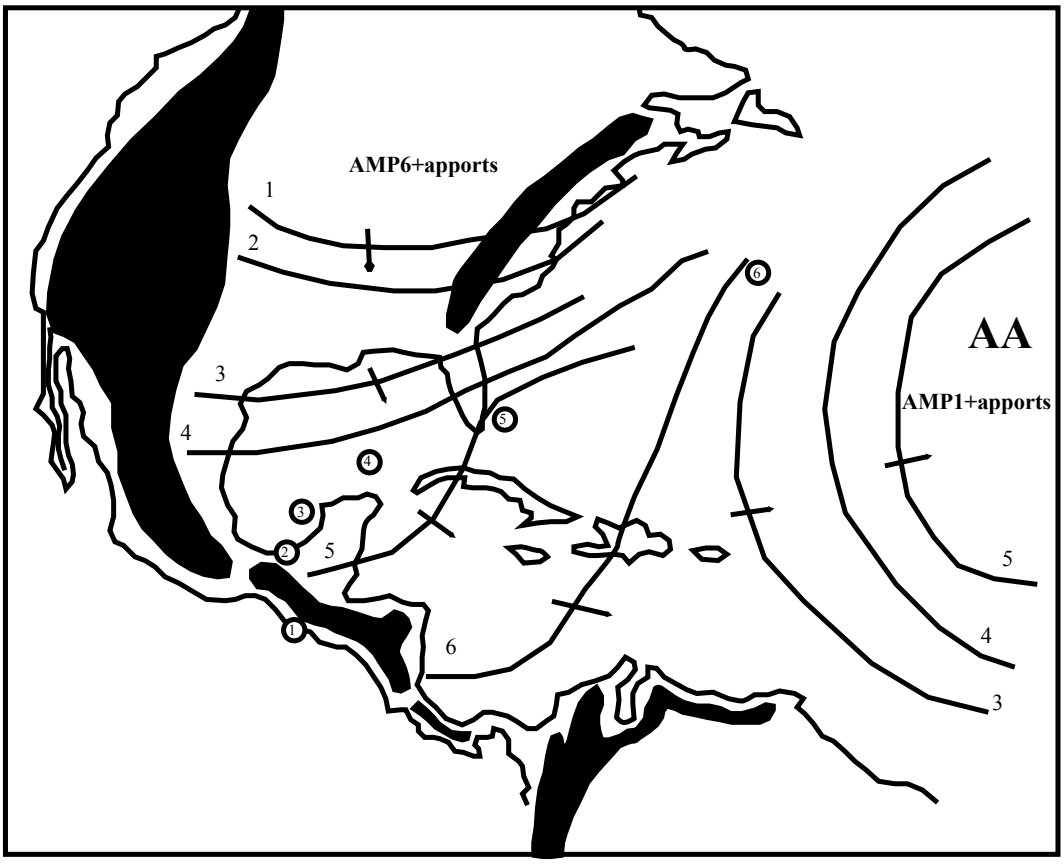



**Fig. n°141 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP1 (et ses apports) et AMP6, trajectoire de "Mitch" du 1 au 6/11/1998**



Floride à Terre-Neuve). Sur l'extrémité nord du Canada, nous pouvons individualiser deux autres AMP (l'AMP2 et l'AMP3). L'agglutination anticyclonique de l'Atlantique nord, dite « des Açores » (AA), est renforcée à l'ouest par la présence inhabituellement précoce d'AMP emboîtés les uns dans les autres (comme en témoignent les Lignes de Pulsations, LP), AMP formant l'AA saisonnière dite « des Bermudes ». Sur la partie sud de cette puissante AA dite « des Bermudes-Açores », les flux d'alizé maritime atlantique de type 2 (Al.m) sont déviés vers la dépression qui se creuse dans la mer des Caraïbes, entre le Panama et la Colombie. Une partie de ces flux d'Al.m continue son cheminement vers l'ouest et rencontre la face avant de l'AMP1. Les flux d'Al.m, contraints à s'élever, provoquent le creusement d'une dépression sur le Golfe du Mexique. Côté Pacifique, l'équateur météorologique vertical (EMV) est nettement individualisable. Nous repérons les flux de la mousson panaméenne (MP). Au large du Mexique, au sud de la presqu'île de Californie, nous observons le cyclone « Lester » qui bénéficie de la proximité de l'EMV et puise son alimentation dans la MP.

Sur ce cliché, nous voyons que les 5 conditions essentielles à la formation d'un cyclone sont réunies :

- L'existence d'un champ dépressionnaire de basse couche (proximité de l'EMV).
- Le déclenchement d'une ascendance (l'arrivée de LP provoque la formation de concentrations nuageuses zonales, l'enfoncement de l'EMV vers le sud et l'amorce d'un tourbillon).
- L'auto-entretien (l'Al.m et la MP, chauds, humides, fournissent une bonne alimentation).
- La présence de l'EMV offre à la dépression la possibilité de pouvoir se développer dans toute la troposphère.
- Cette dépression se creusant à proximité de la latitude 10° nord, l'amorce d'un tourbillon est autorisée.

- **Commentaire de la fig. n°123 (analyse de la photo satellite du 22/10/98):**

L'AMP1 se déplace vers le sud. L'AA dite « des Açores » est considérablement renforcée à l'ouest par la présence de nombreux AMP emboîtés les uns dans les autres (AA dite « des Bermudes ») comme en témoignent les LP. Au sud de cette AA dite « des Bermudes-Açores », les flux d'Al.m sont déviés vers la dépression tropicale (DT) qui se creuse.

Du côté Pacifique, le cyclone « Lester » continue sa fuite vers l'ouest. Nous repérons l'EMV vers lequel convergent les flux de la MP. Les flux de la MP sont eux aussi déviés vers la DT et contribuent à son creusement ; le passage est aisé au-niveau de l'isthme de Panama où le relief s'abaisse.

- **Commentaire de la fig. n°124 (analyse de la photo satellite du 23/10/98):**

L'AMP1 continue son déplacement vers le sud et l'est.

N.B : d'ores et déjà, nous voyons que cette DT (qui ne peut que continuer à se creuser en raison des conditions dont elle dispose) ne pourra pas se déplacer vers le nord-nord-est (trajectoire habituellement suivie par les cyclones de ce secteur) comme l'annonce les modèles de prévision numérique américains. La présence de l'AMP1 (renforcé par l'AMP2) lui interdisent le passage vers le nord et vers l'ouest.

- **Commentaire de la fig. n°125 (analyse de la photo satellite du 24/10/98):**

L'AMP1 et l'AMP2 ont fusionné pour ne former qu'une seule et même masse anticyclonique, l'AMP1+2. Nous observons la concentration de l'énergie dans un véritable « cul de sac » formé par la face avant de l'AMP1+2 d'un côté et le relief centraméricain de l'autre. Les flux chauds et humides donc instables de l'Al.m et de la MP s'élèvent violemment. La DT se creuse rapidement pour atteindre successivement les stades de tempête tropicale (TT) puis cyclone 1, cyclone 2 sur l'échelle Saffir-Simpson.

- **Commentaire de la fig. n°126 (analyse de la photo satellite du 25/10/98):**

L'œil du cyclone est nettement visible sur la photo satellite. Sur le Canada, l'alimentation se poursuit, nous observons le renforcement de l'AMP3. L'AMP1+2 enveloppe le cyclone et lui barre le passage, interdisant toute fuite vers le nord-nord-est et l'ouest (« cul de sac », entonnoir). Au Mexique, profitant de l'abaissement du relief dans l'isthme de Tehuantepec, une partie de la masse anticyclonique de l'AMP1+2 s'écoule vers le Pacifique comme en témoignent les LP et le glissement vers le sud de l'EMV qui adopte une forme concave. La rotation anticyclonique plaque l'air froid contre les reliefs et nous observons des vents violents de secteur nord (« Nortes »). Cette circulation de secteur nord contribue également à interdire au cyclone la route vers l'ouest. Nous voyons d'ores et déjà que « Mitch » ne pourra que pénétrer sur le continent, seule fuite autorisée.

- **Commentaire de la fig. n°127 (analyse de la photo satellite du 26/10/98):**

La descente d'AMP depuis le nord du Canada continue (AMP4). « Mitch » s'est considérablement renforcé (il relève de la catégorie 5 de l'échelle de Saffir-Simpson) en raison de la superbe alimentation dont il dispose (Al.m, MP). Son déplacement vers le nord est bloqué par la présence de l'AMP1 et ses apports (AMP2 et bientôt AMP3). La présence de cette immense masse anticyclonique contribue également, avec le relief, à favoriser l'ascendance des flux sur sa face avant et par-là même rend le cyclone plus violent et dangereux.

- **Commentaire de la fig. n°128 (analyse de la photo satellite du 27/10/98):**

Remarquons la présence d'un anticyclone (AMP5) sur les hauts plateaux des Montagnes Rocheuses. Cet anticyclone est formé d'air catabatique venant du grand plateau central, comme ceux qui descendent du Groenland. L'air froid s'accumule puis se déverse sur les grandes plaines américaines avant d'être canalisé vers le sud, entre les Appalaches et les Rocheuses pour gagner progressivement le Golfe du Mexique. Le barrage dynamique se renforce, « Mitch » reste « collé » à la face avant de l'AMP1 qui lui interdit le passage.

Sur l'océan Pacifique, l'AMP1, continue à s'écouler vers le pacifique où les LP sont bien individualisables, leur forme arquée se détache nettement au large du Mexique et du Guartemala-El Salvador.

- **Commentaire de la fig. n°129 (analyse de la photo satellite du 28/10/98):**

« Mitch » perd progressivement de sa puissance (il relève de la catégorie 4 puis 3 de l'échelle Saffir-Simpson), l'alimentation dont il dispose est moindre. L'arrivée incessante d'AMP depuis le Canada (AMP4, AMP5) provoque le glissement de l'AMP1+2+3 vers le sud et le sud-est. Les flux d'Al.m sont en grande partie soulevés sur la face avant de ce dernier ce qui a pour effet de couper partiellement l'alimentation du cyclone (une partie de l'Al.m part vers le nord-est). De plus, « Mitch » étant stationnaire à proximité des côtes, la présence des chaînes montagneuses honduriennes gêne le passage de la MP (flux pelliculaire de basse couche).

- **Commentaire de la fig. n°130 (analyse de la photo satellite du 29/10/98):**

« Mitch » continue à s'affaiblir (catégorie 2 puis 1 de l'échelle Saffir-Simpson). L'Al.m ne constitue plus une source principale d'alimentation. De plus la présence et la descente vers le sud de puissants AMP au large de la Californie et les vents du nord (« Nortes ») qui s'engouffrent dans l'isthme secondaire de Tehuantepec contribuent au glissement de l'EMV vers le sud. Ceci a pour effet de « couper » quelque peu l'alimentation du cyclone. Le glissement vers le sud-sud-est des AMP4 et 5 va contribuer au déplacement vers l'est de l'AMP1+2+3 qui devrait ainsi ouvrir le passage à « Mitch ».

- **Commentaire de la fig. n°131 (analyse de la photo satellite du 30/10/98):**

L'AMP1+2+3 s'est déplacé vers le sud et l'est. L'AMP1+2+3 et l'AMP4 vont bientôt fusionner. « Mitch » est repoussé vers l'intérieur des terres. Ce contact avec la terre va affaiblir le système qui redevient une TT.

- **Commentaire de la fig. n°132 (analyse de la photo satellite du 31/10/98):**

Le système dépressionnaire a trouvé refuge au pied du versant pacifique de la cordillère centraméricaine. « Mitch » dispose à nouveau d'une bonne alimentation (il puise sons énergie dans la MP) et il cause des précipitations diluviennes sur les pays de l'isthme. L'éloignement de l'AMP1+2+3+5 vers l'est libère enfin le passage vers le nord et « Mitch » peut donc remonter.

- **Commentaire de la fig. n°133 (analyse de la photo satellite du 1/11/98) :**

« Mitch », abrité au sud du relief, continue à puiser son énergie dans la MP et cause des précipitations diluviennes sur les pays de l'isthme.

- **Commentaire de la fig. n°134 (analyse de la photo satellite du 2/11/98) :**

L'éloignement vers l'est de l'AMP1+2+3+5 libère progressivement le passage et autorise enfin la remontée de la DT « Mitch » vers le nord. Cette remontée ne peut se faire que sur la face avant de l'AMP7 et par l'isthme de Tehuantepec. Remarquons la présence, sur le nord de l'Amérique du Nord, de l'AMP6.

- **Commentaire de la fig. n°135 (analyse de la photo satellite du 3/11/98) :**

La remontée de « Mitch » vers le nord se poursuit. Sur le continent nord américain, l'AMP6 continue sa descente vers le sud-sud-est.

- **Commentaire de la fig. n°136 (analyse de la photo satellite du 4/11/98) :**

L'AMP6 et l'AMP7 ne forment plus qu'une seule et même masse anticyclonique mobile, l'AMP6+7. La remontée de « Mitch » se poursuit. La TT se trouve à proximité de la Floride.

- **Commentaire de la fig. n°137 (analyse de la photo satellite du 5/11/98) :**

Le Golfe du Mexique est envahi par l'AMP6+7. La TT « Mitch » est repoussé, dans le couloir dépressionnaire, vers le nord-est.

- **Commentaire de la fig. n°138 (analyse de la photo satellite du 6/11/98) :**

La TT « Mitch » est maintenant située à proximité de l'extrémité nord-est du Canada. Cette latitude extrême ainsi que l'arrivée d'un nouvel AMP, l'AMP8, conduisent rapidement à sa disparition (intégration dans le couloir dépressionnaire).

- **Commentaire de la fig. n°139 (analyse de la photo satellite du 7/11/98) :**

A 06h00 T.U, la TT « Mitch » est encore individualisable. Rapidement, elle va disparaître. L'AMP8 poursuit son déplacement vers le sud-sud-est et accélère le déplacement de l'AMP6+7 dans la même direction. « Mitch » est repoussé vers l'est puis se résorbe. Pendant ce temps, le Golfe du Mexique est envahi par l'AMP6+7, nous observons des vents de secteurs nord (« Nortes ») dans l'isthme de Tehuantepec et, sur le Pacifique, l'EMVest repoussé vers le sud.

- **Bilan de l'épisode « Mitch » (fig. n°140 et 141) :**

- **Bilan 1 (fig. n°140) :**

L'AMP1, canalisé entre les Montagnes Rocheuses à l'ouest et les Appalaches à l'est est descendu les jours précédents sur le Golfe du Mexique et sur l'océan Atlantique. Cet AMP1 contribue dans un premier temps à l'intensification du cyclone. En effet, l'AMP1, provoque sur sa face avant la concentration de l'énergie dans le couloir dépressionnaire qui l'entoure et, avec l'aide du relief, favorise les ascensions). Les apports de l'AMP1 (AMP2, AMP3, AMP4), passés plus au nord, sur l'extrémité nord-est du Canada avant de gagner l'Atlantique (AMP2, AMP3) adoptent une trajectoire plus méridienne et constituent l'AA saisonnière dite « des Bermudes ». Ces apophyses de l'AMP1, interdisent au cyclone le passage vers le nord. La trajectoire de « Mitch » est donc bloquée vers le nord et vers l'ouest. De ce fait, le cyclone ne peut que pénétrer sur le continent. En touchant terre, le cyclone va rapidement perdre de son intensité (DT). « Mitch » se réfugie sur le versant pacifique du relief centraméricain (la façade nord de la dorsale arrêtant la poussée anticyclonique). Soulignons que la route vers l'ouest est également barrée par une circulation de nord (« Nortes »).

- **Bilan 2 (fig. n°141) :**

L'éloignement progressif de l'AMP1 (et ses apports) vers l'est, sa perte de puissance (tropicalisation et/ou écoulement vers le Pacifique), la fin de l'épisode de « Nortes », libèrent enfin le passage et autorisent le cyclone « Mitch » à remonter vers le nord entre la face arrière de l'AMP1 (et ses apports) et le couloir dépressionnaire qui ceinture la face avant de l'AMP6 (AMP qui descend vers le Golfe du Mexique, canalisé entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches). « Mitch » effectue sa remontée vers le nord en tant que TT, le 5 il se situe sur le sud de la Floride, le 6, il est au large des deux Caroline et le 7, le système se comble.

La trajectoire suivie par « Mitch » est organisée, d'abord par la force géostrophique qui éloigne « Mitch » vers le nord-nord-ouest, puis par la face avant (couloir dépressionnaire) de l'AMP1 (et ses apports) qui s'oppose au déplacement et infléchit sa course vers le sud, puis par le relief de l'isthme, puis par la face arrière de l'AMP1 (et ses apports) et la face avant de l'AMP6 (couloir dépressionnaire).

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

« Mitch » a entraîné des précipitations diluviennes sur certaines zones du Honduras et du Nicaragua. Les terribles inondations ont ravagé ces pays. De très fortes pluies se sont également abattues sur les pays voisins (El Salvador). « Mitch » s'est par la suite affaibli tout en se déplaçant en direction du sud-ouest du Guatemala mais il a cependant continué à provoquer localement de fortes précipitations sur l'Amérique centrale et le sud du Mexique.

Le bilan humain et matériel malheureusement énorme restera provisoire. Les autorités locales parlent d'environ 30 000 morts (la plupart au Honduras, un pays complètement dévasté ) et de milliers de personnes portées disparues. On dénombre 3 millions de sinistrés, de sans-abri. Epidémie de choléra, paludisme et dingue. Dispersion au Nicaragua de 75 000 mines antipersonnel, datant de la guerre civile et déterrées par les coulées de boue. Des pluies diluviennes se sont abattues sur l'Amérique Centrale, jusqu'à 300 à 400 litres d'eau par $m^2$ en 24 heures à la frontière entre le Honduras et au Nicaragua! Ce sont d'ailleurs ces trombes d'eau qui ont causé les dégâts car « Mitch » a commencé à s'essouffler en arrivant sur terre. Précisons quand même, même si cela relève du style « journalistique à sensation », qu'Isabelle Arriola, jeune mère de famille (34 ans), a été emportée par une rafale de vent d'une violence inouïe en compagnie de son mari et de leurs trois enfants ; arrachés à leur lopin de terre, situé sur la côte du Honduras, tous les 4 ont été projetés dans l'eau à une distance de 75 km de leur domicile ! Seule rescapée de cette tragédie, la jeune femme , a dérivé pendant près de 6 jours au-milieu d'une mer démontée avant d'être sauvée par un bâtiment de guerre britannique, à quelques 120 kilomètres des côtes.

**Tableau n°11 : Précipitations (en millimètres) dans les principales stations climatiques du Salvador du 30/10 au 6/11/98**

| Stations | 30/10 | 31/10 | 1/11 | 2/11 | 3/11 | 4/11 | 5/11 | 6/11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sta Ana | 0 | 27.7 | 88.8 | 46.8 | 18.1 | 15.6 | 9.2 | 0 |
| Acajutla | 11.7 | 49.1 | **237** | 95.3 | 74.4 | 57 | 14.7 | 1.7 |
| Sonsonate | 1.8 | 23.8 | **238** | 76.1 | 60.5 | 40.8 | 27.8 | 0.5 |
| Ahuachapan | 0 | 18.5 | **186** | 37.2 | 17.3 | 18.7 | 2.5 | 0 |
| El Salvador | 1.5 | 30.4 | **168** | 41.4 | 15.2 | 22.6 | 7.2 | 0 |
| Lempa | 3.6 | 28 | **188** | 33.3 | 10.5 | 6.5 | 0.9 | 0 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **San Miguel** | 6.3 | 103 | **113** | 46 | 33.3 | 6 | 4.9 | 0.9 |
| **Entre Rios** | 13.2 | 47 | **287** | 47.8 | 17.1 | 35.4 | 4.7 | 0 |
| **Cutuco** | 2.6 | 260 | **201** | 3.7 | 18.2 | 22.9 | 0 | 12.7 |
| **Aguilares** | 0 | 57.5 | 67.5 | 50 | 42.5 | 20 | 0 | 0 |
| **La Union** | 4 | **232** | **235** | 5.8 | 10.9 | 13.5 | 1.6 | 0.6 |
| **Triunfo** | 8.7 | **109** | **254** | 38.5 | 30.5 | 15.8 | 28.5 | 0 |
| **Metapan** | 0 | 57.5 | 87.4 | 35 | 35.4 | 3.4 | 0 | 5.2 |
| **Usuluta** | 43.2 | 172 | - | - | 291 | 8.1 | 41.2 | 0 |
| **Los Nar** | 0 | 35.3 | **193** | 78.2 | 66.5 | 71.5 | 15.2 | 0 |
| **Izalco** | 0 | 37.2 | **304** | 53.6 | 70.4 | 44.5 | 21.5 | 0 |
| **La Palma** | - | - | **134.2** | 32.3 | 13 | 11.9 | 0 | 0 |

Le Salvador est loin d'avoir été le plus affecté par les pluies liées à la présence de « Mitch » et nous voyons en observant ce petit tableau récapitulatif que des quantités très importantes de pluie qui se sont abattues, essentiellement le 31 octobre sur ce petit Etat centraméricain.

**Tableau n°12 : Précipitations totales (en millimètres) observées entre le 25 et le 31/10/98**

| Stations | Totaux pluviométriques (mm) | Maximum observé en 1 jour | Date |
|---|---|---|---|
| **Choluteca** | 911 | **466** | 31/10 |
| **La Ceiba** | 877 | 285 | 27/10 |
| **Balfate** | 672 | 261 | 26/10 |
| **Tela** | 566 | 171 | 28/10 |
| **Yoro** | 521 | 236 | 28/10 |
| **Orica** | 455 | 111 | 30/10 |
| **Santa Lucia** | 386 | 140 | 30/10 |
| **Sabana Grande** | 370 | 187 | 30/10 |
| **Lepaguare** | 336 | 91 | 26/10 |
| **Amapala** | 315 | 261 | 31/10 |
| **Colonia 21 De Octubre** | 301 | 161 | 31/10 |
| **Santa Barbara** | 300 | 101 | 31/10 |
| **Unah (Tegucigalpa)** | 295 | 130 | 31/10 |
| **Moroceli** | 271 | 190 | 31/10 |
| **Roatan** | 271 | 94 | 27/10 |
| **La Mesa** | 268 | 150 | 28/10 |
| **Catacamas** | 258 | 101 | 30/10 |
| **Gracias** | 226 | 83 | 25/10 |

N.B : Voir également page suivante la carte n°42 des précipitations totales (en millimètres) du 25/10 au 17/11/98 en Amérique Centrale.

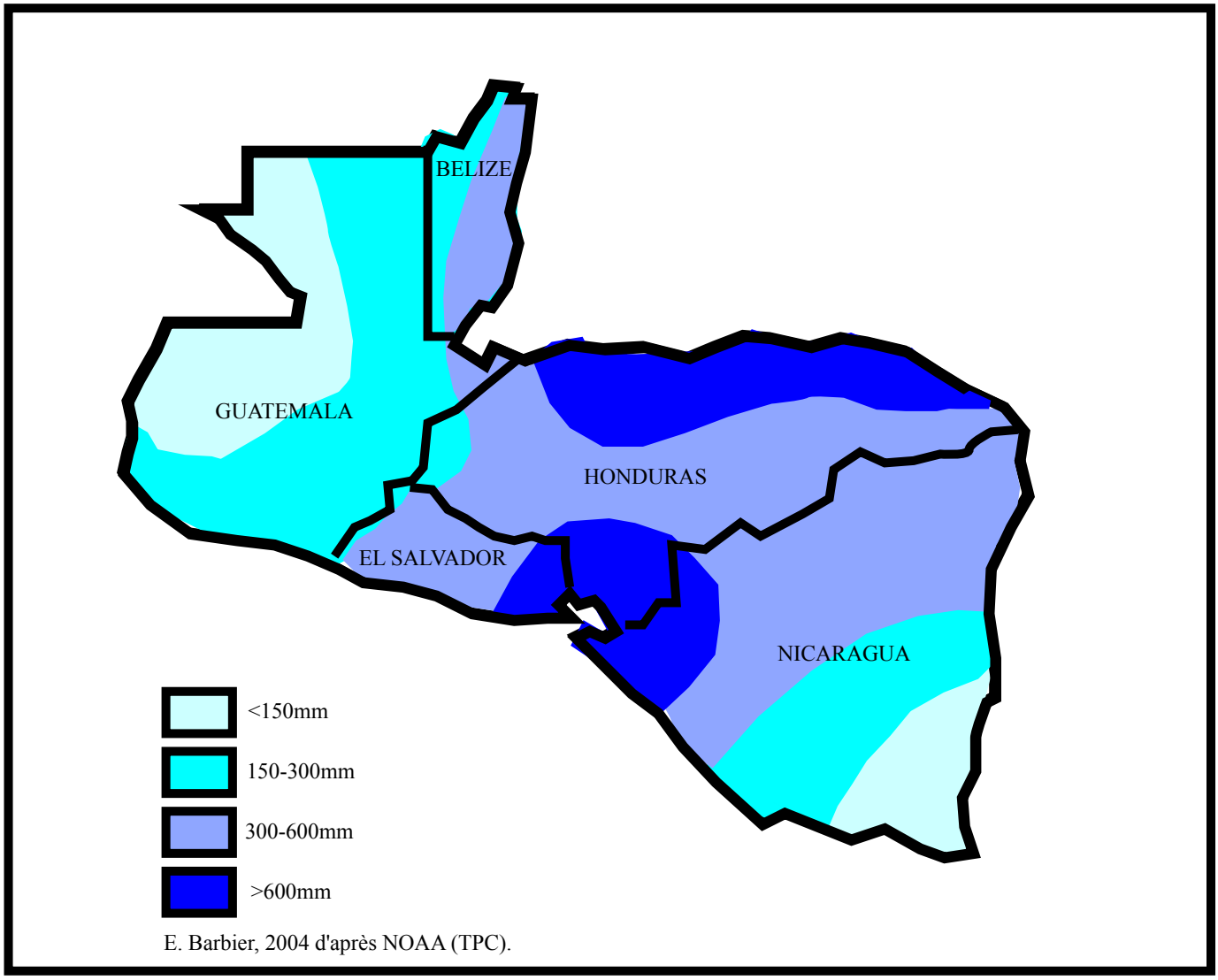
N.B : Voir également page suivante la carte n°42 des précipitations totales (en millimètres) du 25/10 au 17/11/98 en Amérique Centrale.

**« Le Honduras (Tegucigalpa) après le passage du cyclone Mitch »**
**(clichés, El National)**





**Carte n°42 : "Précipitations totales du 25/10 au 17/11/98 dans les pays centraméricains les plus affectés par le cylone "Mitch"**




E. Barbier, 2004 d'après NOAA (TPC).

**Commentaires :**

Le Honduras, le Nicaragua, le Belize, El Salvador et le Guatemala sont les pays centraméricains les plus affectés par les précipitations liées au cylone "Mitch".

Nous remarquons que les zones géographiques les plus touchées par les précipitations se situent sur le pourtour du Golfe de Fonseca (El Salvador, Honduras, Nicaragua ) ainsi que la côte caraïbe du Honduras. Le Honduras est sans aucun doute le pays qui a reçu le plus de précipitations. De part et d'autre de ces zones où les précipitations furent diluviennes, une immense zone qui s'étend de la moitié orientale du Belize jusqu'à la moitié nord-occidentale du Nicaragua, englobant le reste du Honduras et du Salvador a reçu des trombes d'eau. Plus on s'éloigne vers le sud-sud-est et le nord-nord-ouest, plus les volumes des précipitations diminuent mais restent néanmoins impressionnants. N'oublions pas que tous ces pays sont traversés par des chaînes montagneuses aux versants abrupts et que par conséquent, les effets dévastateurs des précipitations furent décuplés. Ce secteur de l'Amérique Centrale ne compte plus les glissements de terrains, les éboulements, les coulées de boue... Le bilan humain et matériel est catastrophique!

**c) Etude de cas n°3 : l'étude du cyclone « Lenny » (du 13/11/99 au 23/11/1999) :**

- **Introduction :**

Le cyclone « Lenny » fut le cinquième cyclone de catégorie 4 (sur l'échelle Saffir/Simpson) observé dans l'espace de l'Atlantique du nord-ouest pendant la saison cyclonique 1999.

Si le cyclone « Lenny » a eu un impact négatif majeur sur de nombreuses terres situées dans la mer des Caraïbes, l'aspect le plus intéressant de ce cyclone fut sans aucun doute son long déplacement d'ouest en est ; « déplacement jamais observé en 113 ans d'observations du bassin atlantique tropical » (John L. Guiney, « Preliminary Report », « NHC », Miami, décembre 1999) !

Ce déplacement « inhabituel », chose étonnante, est simplement souligné par les climatologues/météorologues américains du « Miami Hurricane Center ». Aucune explication (même succincte) n'est proposée pour rendre compte de cette trajectoire « à l'envers ». Comment expliquer la trajectoire suivie par « Lenny » ?

**Tableau n°13 : historique de l'évolution du cyclone « Lenny » (du 13 au 23/11/99)**

| Date/Heure (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **13/21h00** | 16.50 | 81.50 | 1003 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 14/03h00 | 15.90 | 80.60 | 1003 | 60 | Dépression tropicale |
| 14/09h00 | 15.90 | 79.80 | 1003 | 60 | Dépression tropicale |
| 14/15h00 | 15.90 | 79.50 | 1002 | 60 | Dépression tropicale |
| **14/19h00** | 16.40 | 79.30 | 992 | 110 | **Tempête tropicale** |
| 14/21h00 | 16.40 | 78.90 | 988 | 120 | Tempête tropicale |
| **15/00h00** | 16.20 | 78.60 | 988 | 140 | **Cyclone 1** |
| 15/03h00 | 16.10 | 78.30 | 988 | 140 | Cyclone 1 |
| 15/06h00 | 15.60 | 77.60 | 988 | 140 | Cyclone 1 |
| **15/09h00** | 15.40 | 77.10 | 971 | 170 | **Cyclone 2** |
| 15/12h00 | 15.40 | 76.70 | 971 | 170 | Cyclone 2 |
| 15 /15h00 | 15.00 | 76.20 | 971 | 170 | Cyclone 2 |
| 15/18h00 | 14.80 | 74.90 | 983 | 170 | Cyclone 2 |
| **15/21h00** | 14.90 | 74.10 | 984 | 150 | **Cyclone 1** |
| 16/00h00 | 15.00 | 73.50 | 982 | 150 | Cyclone 1 |
| 16/03h00 | 15.20 | 73.00 | 982 | 140 | Cyclone 1 |
| 16/06h00 | 15.20 | 72.10 | 977 | 150 | Cyclone 1 |
| **16/09h00** | 15.20 | 71.50 | 971 | 170 | **Cyclone 2** |
| 16/12h00 | 15.20 | 70.60 | 971 | 170 | Cyclone 2 |
| 16/15h00 | 15.30 | 69.80 | 973 | 170 | Cyclone 2 |
| 16/18h00 | 15.40 | 69.10 | 973 | 170 | Cyclone 3 |
| **16/21h00** | 15.80 | 68.20 | 965 | 200 | **Cyclone 3** |
| 17/00h00 | 15.90 | 67.60 | 960 | 200 | Cyclone 3 |
| 17/03h00 | 16.20 | 67.00 | 958 | 200 | Cyclone 3 |
| 17/05h00 | 16.30 | 66.70 | 958 | 200 | Cyclone 3 |
| 17/07h00 | 16.50 | 66.20 | 952 | 210 | Cyclone 3 |
| 17/09h00 | 16.70 | 66.00 | 950 | 220 | Cyclone 3 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 17/11h00 | 16.80 | 65.70 | 949 | 220 | Cyclone 3 |
| **17/13h00** | 16.90 | 65.40 | 948 | 230 | **Cyclone 4** |
| 17/15h00 | 17.10 | 65.10 | 942 | 230 | Cyclone 4 |
| 17/17h00 | 17.20 | 64.80 | 933 | 240 | Cyclone 4 |
| **17/19h00** | 17.50 | 64.70 | 936 | **260** | Cyclone 4 |
| **17/21h00** | 17.60 | 64.30 | 934 | **260** | Cyclone 4 |
| **17/23h00** | 17.70 | 64.20 | **929** | **260** | Cyclone 4 |
| 18/01h00 | 17.70 | 64.20 | 939 | 260 | Cyclone 4 |
| 18/03h00 | 17.70 | 64.10 | 939 | 250 | Cyclone 4 |
| 18/05h00 | 17.70 | 64.00 | 944 | 250 | Cyclone 4 |
| 18/07h00 | 17.70 | 63.80 | 944 | 250 | Cyclone 4 |
| 18/09h00 | 17.80 | 63.60 | 947 | 250 | Cyclone 4 |
| 18/11h00 | 17.80 | 63.60 | 951 | 230 | Cyclone 4 |
| 18/13h00 | 17.80 | 63.60 | 952 | 230 | Cyclone 4 |
| 18/15h00 | 17.80 | 63.60 | 952 | 230 | Cyclone 4 |
| 18/17h00 | 17.90 | 63.20 | 955 | 230 | Cyclone 4 |
| 18/19h00 | 18.00 | 63.20 | 966 | 230 | Cyclone 4 |
| **18/21h00** | 18.10 | 63.10 | 966 | 21 | **Cyclone 3** |
| 19/00h00 | 18.10 | 63.10 | 975 | 200 | Cyclone 3 |
| **19/06h00** | 18.00 | 62.90 | 978 | 190 | **Cyclone 2** |
| 19/09h00 | 18.10 | 62.80 | 982 | 170 | Cyclone 2 |
| **19/12h00** | 17.90 | 63.00 | 986 | 160 | **Cyclone 1** |
| 19/15h00 | 18.00 | 62.80 | 986 | 160 | Cyclone 1 |
| 19/18h00 | 17.50 | 62.50 | 987 | 130 | Cyclone 1 |
| **19/21h00** | 17.50 | 62.20 | 994 | 120 | **Tempête tropicale** |
| 20/00h00 | 17.40 | 61.90 | 994 | 120 | Tempête tropicale |
| 20/03h00 | 17.10 | 61.80 | 995 | 120 | Tempête tropicale |
| 20/06h00 | 17.10 | 61.30 | 999 | 100 | Tempête tropicale |
| 20/09h00 | 16.90 | 60.90 | 995 | 100 | Tempête tropicale |
| 20/15h00 | 16.00 | 59.70 | 996 | 100 | Tempête tropicale |
| 21/00h00 | 15.70 | 58.60 | - | 100 | Tempête tropicale |
| 21/12h00 | 16.00 | 57.50 | - | 90 | Tempête tropicale |
| 22/00h00 | 17.50 | 56.00 | - | 80 | Tempête tropicale |
| 22/12h00 | 20.00 | 55.00 | - | 70 | Tempête tropicale |
| **23/12h00** | 24.50 | 52.50 | - | 60 | **Dépression tropicale puis résorbé** |
| **17/23h00** | 17.7 | 64.2 | **929** | 260 | **Pression minimale** |
| **17/18h00** | 17.4 | 64.8 | 933 | 270 | **Touche terre àSainte Croix** |
| **18/18h00** | 18.0 | 63.3 | 966 | 220 | **Touche terre à Saint Martin** |
| **19/00h00** | 18.1 | 63.1 | 975 | 170 | **Touche terre à Arguilla** |
| **19/06h00** | 18.0 | 62.9 | 979 | 150 | **Touche terre à Saint Barthélémy** |
| **20/00h00** | 17.3 | 61.8 | 994 | 110 | **Touche terre à Antigua** |

- **<u>Etude pas à pas du cyclone « Lenny » :</u>**

- **<u>Commentaire de la fig. n°142 (analyse de la photo satellite du 12/11/99):</u>**

Dès le 8 novembre, une très large zone dépresionnaire apparaît dans la partie sud-ouest de la mer des Caraïbes. Les flux d'alizé maritime de type 2 (Al.m), chauds et humides, après

**Photo satellite n°129 : GOES 8, est, vis, le 12/11/1999, 18h15 T.U**

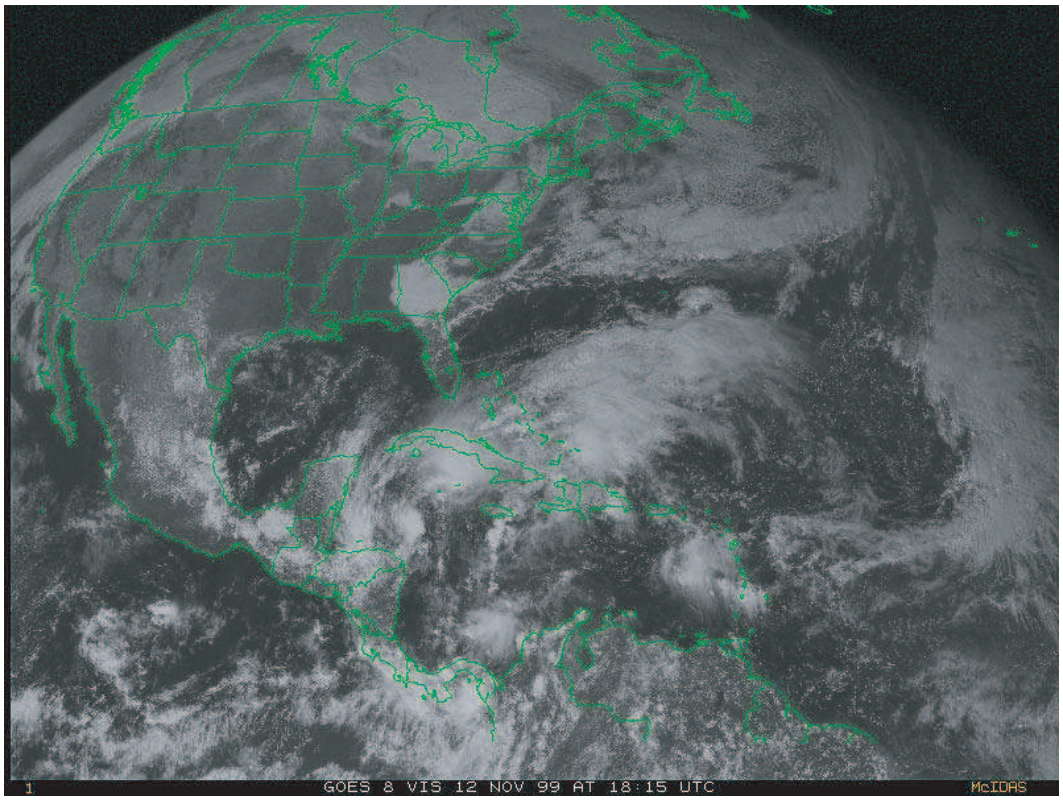



**Figure n°142 : Analyse de la photo satellite du 12/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

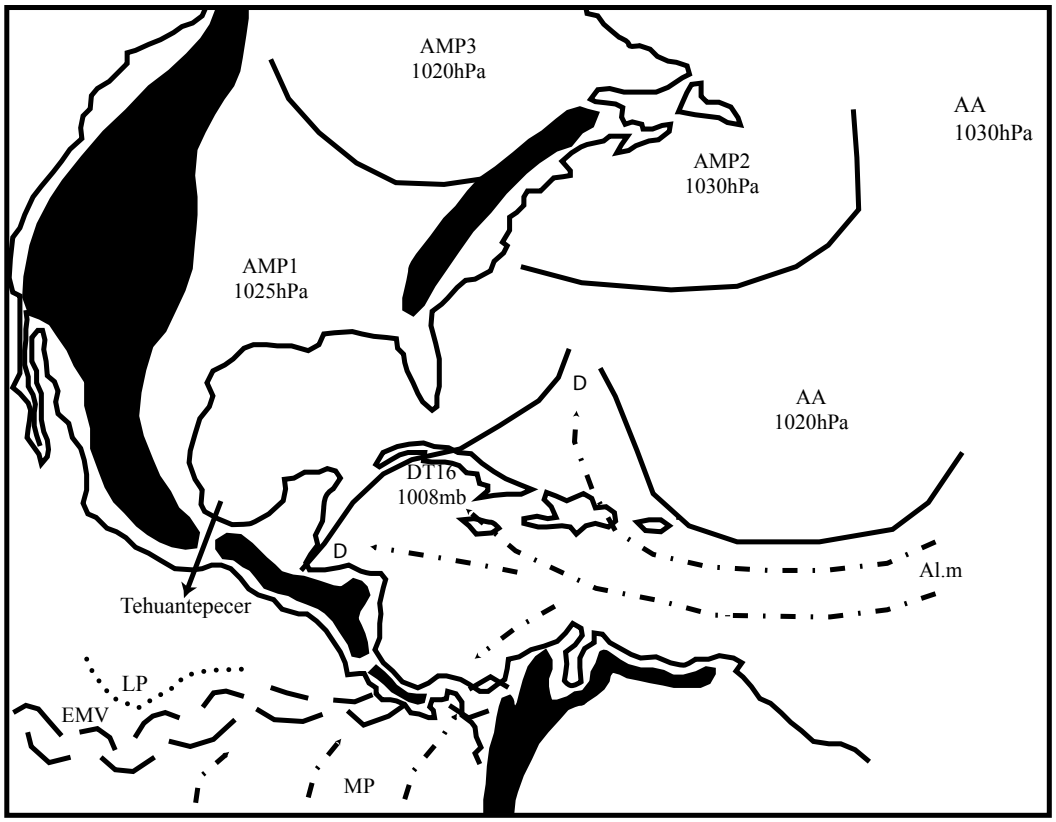


**Photo satellite n°130 : GOES 8, est, vis, le 13/11/1999, 18h15 T.U**

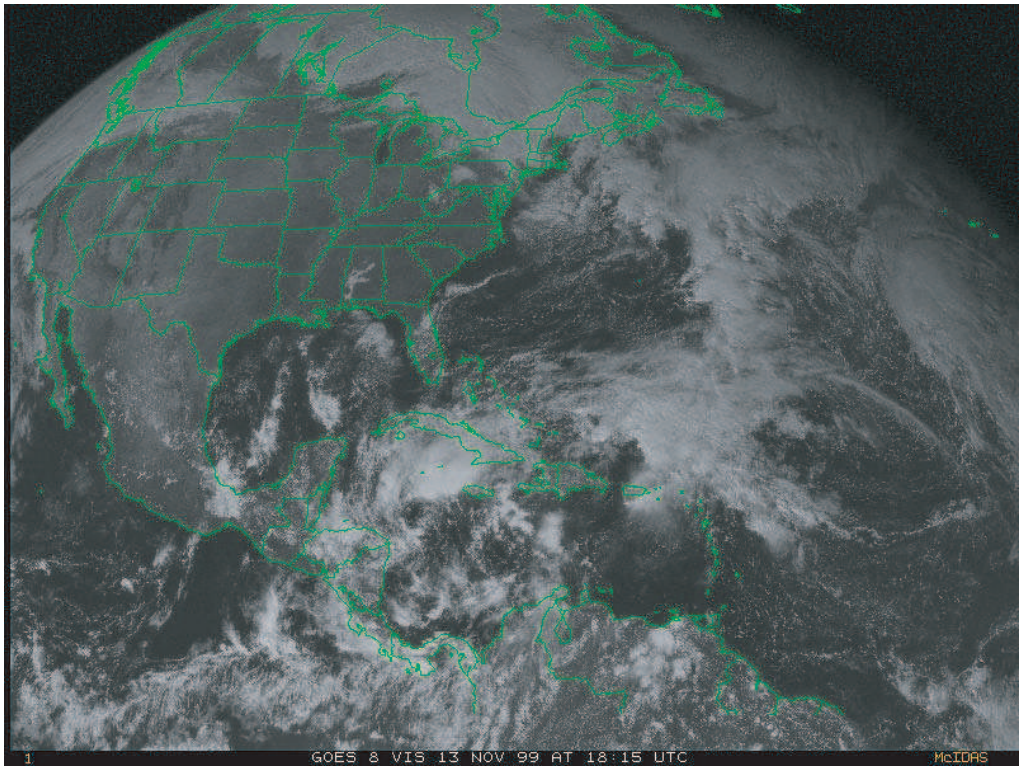



**Figure n°143 : Analyse de la photo satellite du 13/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

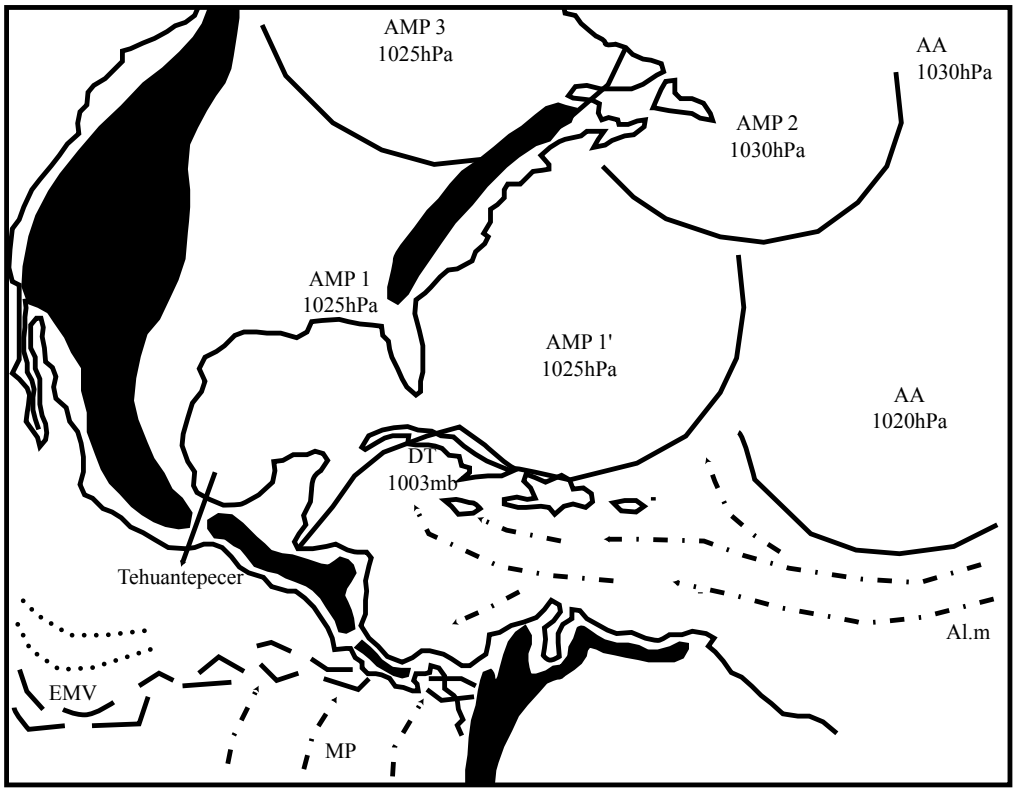


**Photo satellite n°131 : GOES 8, est, vis, le 14/11/1999, 18h15 T.U**

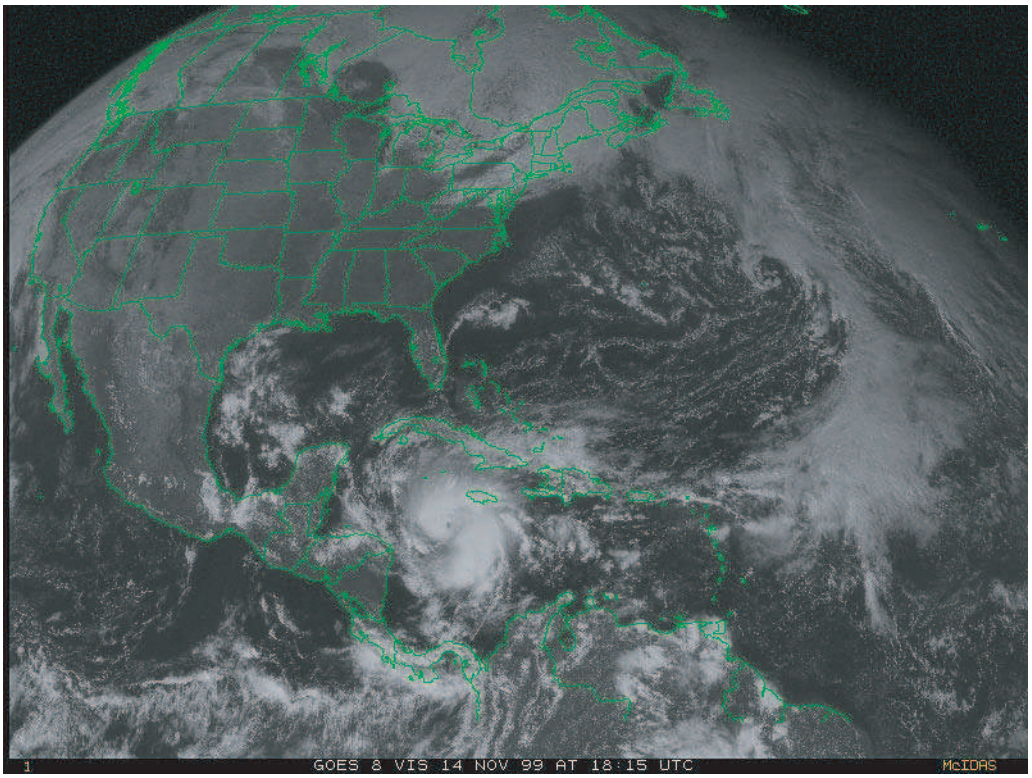



**Figure n°144 : Analyse de la photo satellite du 14/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

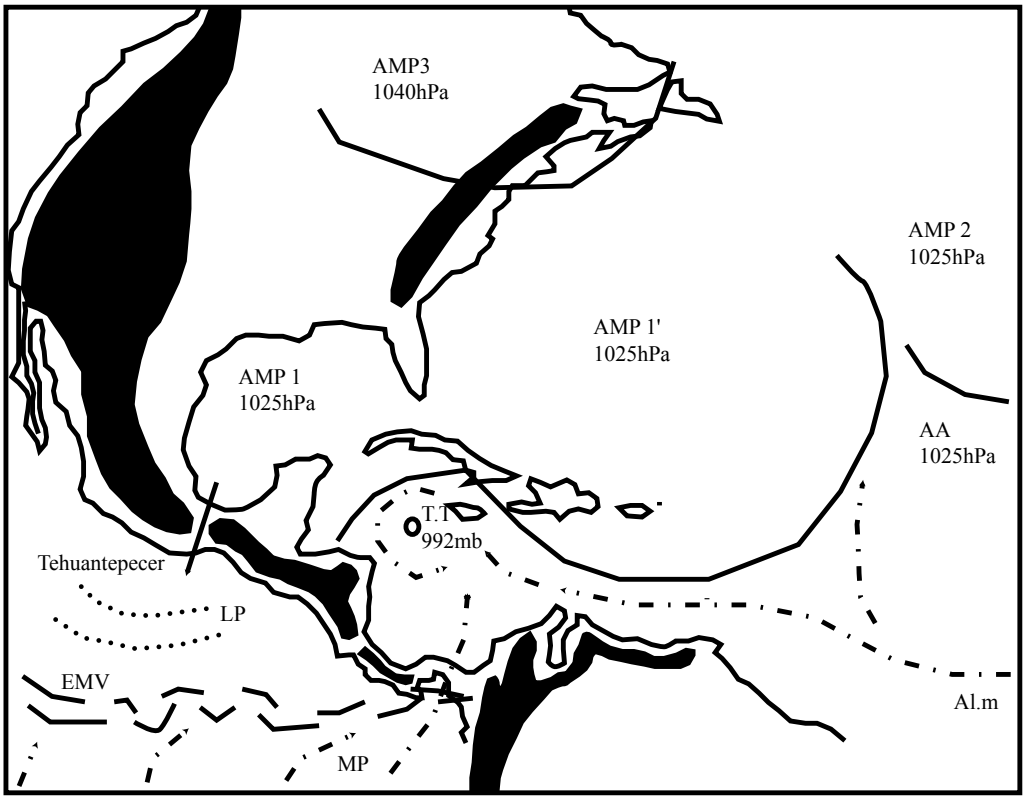


**Photo satellite n°132 : GOES 8, est, vis, le 15/11/1999, 18h15 T.U**

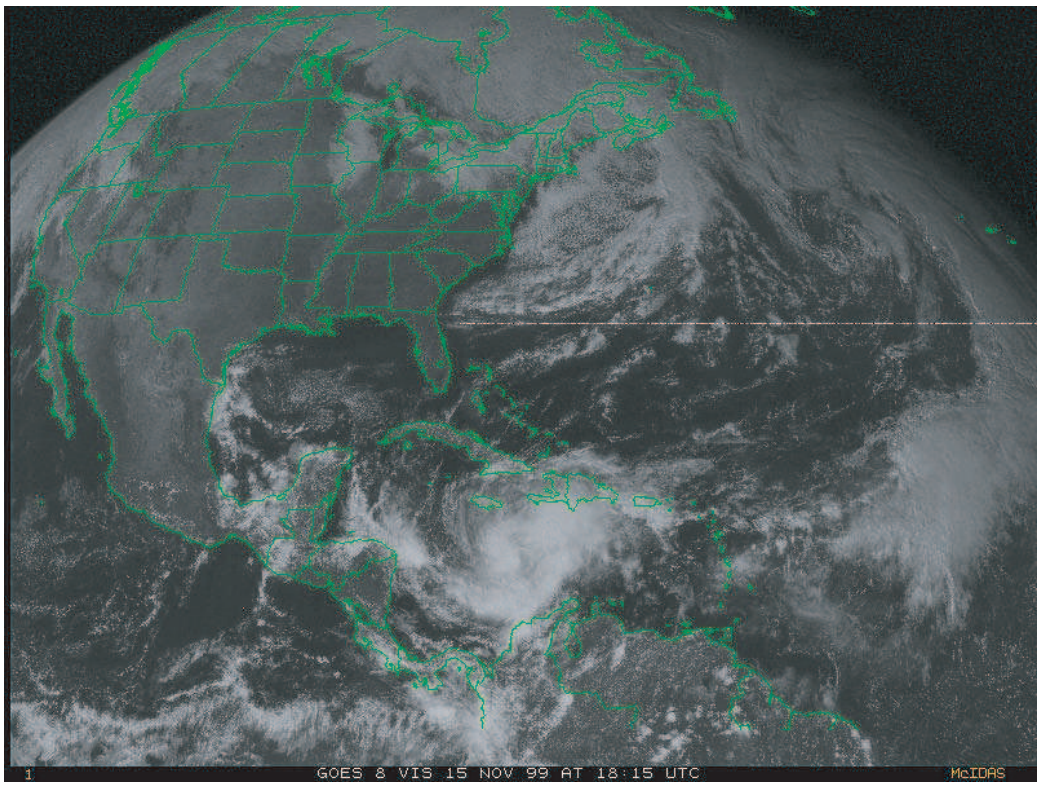



**Figure n°145 : Analyse de la photo satellite du 15/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

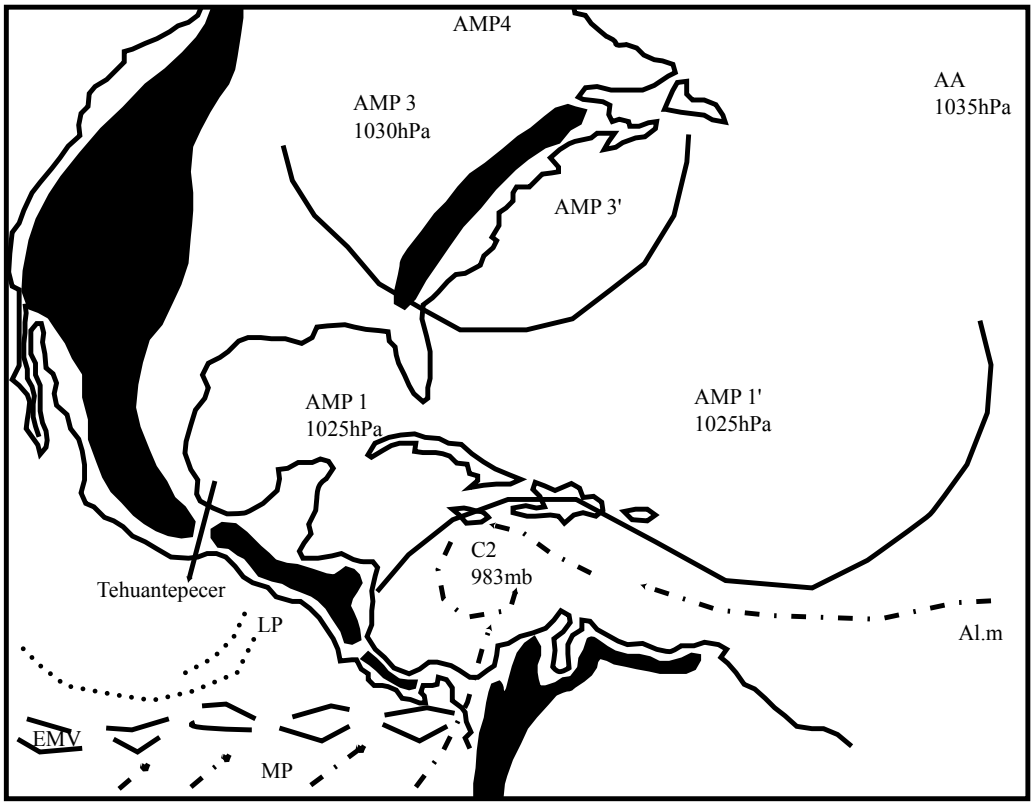


**Photo satellite n°133 : GOES 8, est, vis, le 16/11/1999, 18h15 T.U**

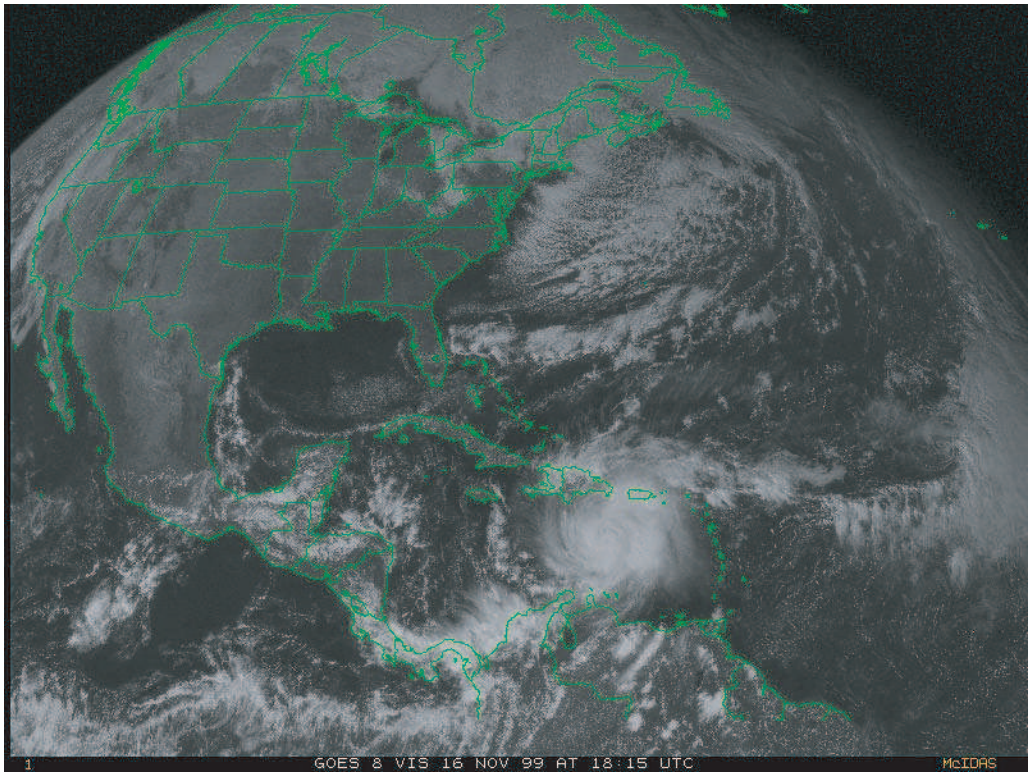



**Figure n°146 : Analyse de la photo satellite du 16/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

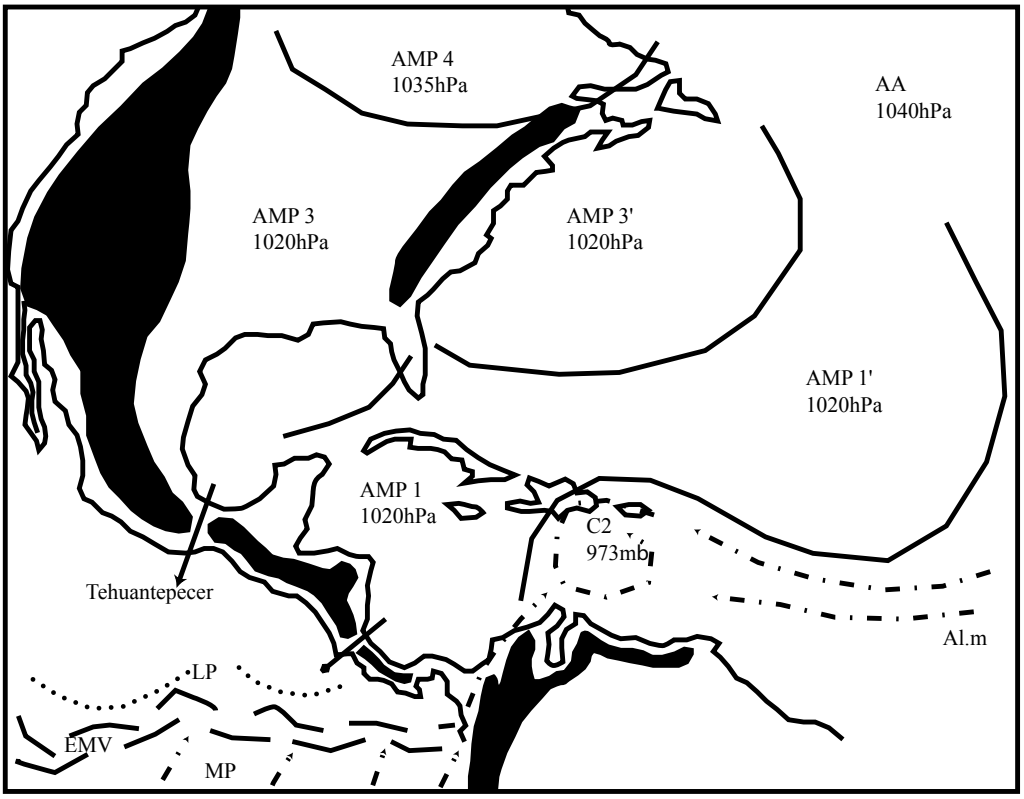


**Photo satellite n°134 : GOES 8, est, vis, le 17/11/1999, 18h15 T.U**

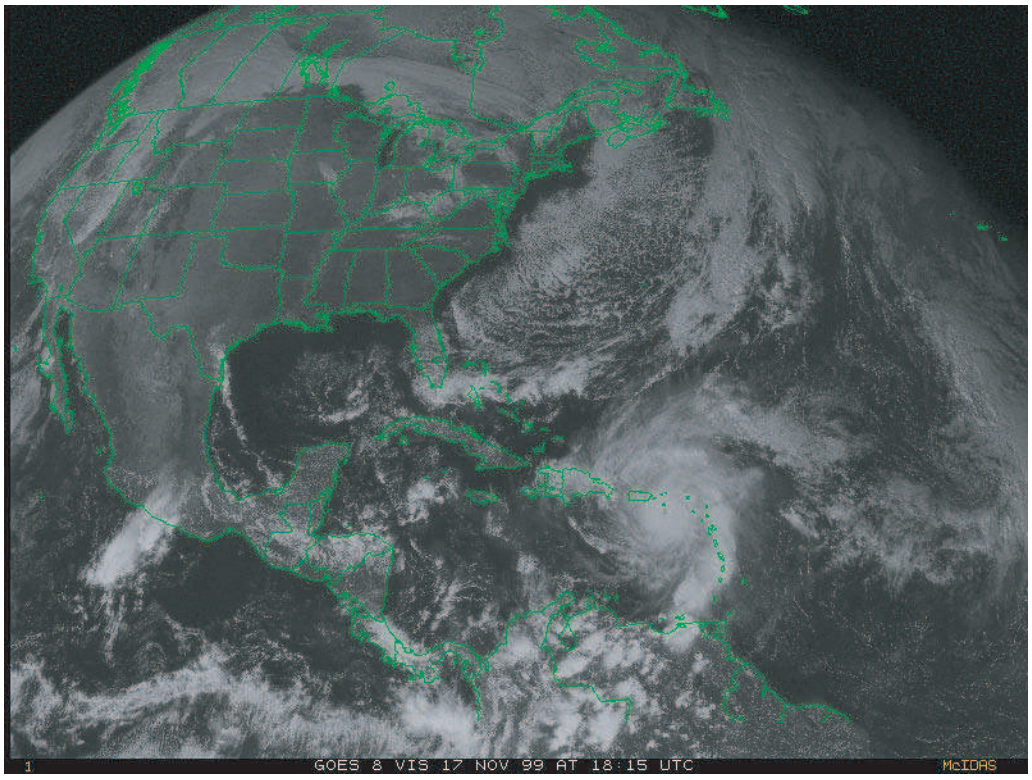



**Figure n°147 : Analyse de la photo satellite du 17/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

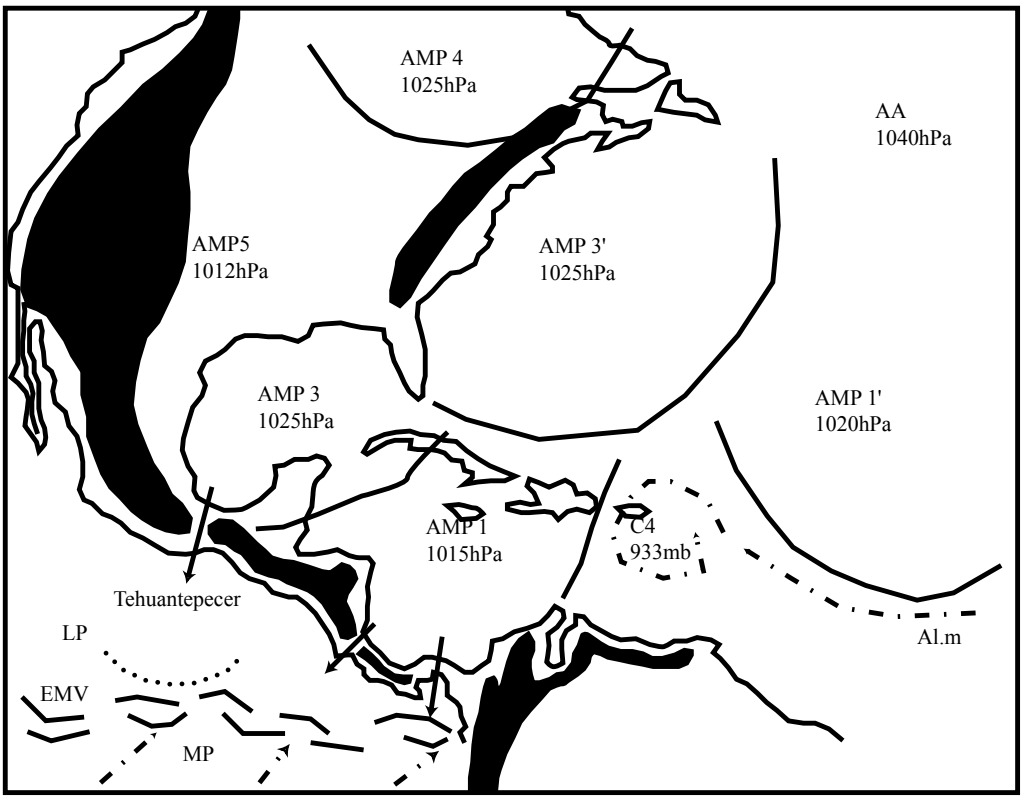


**Photo satellite n°135 : GOES 8, est, vis, le 18/11/1999, 18h15 T.U**

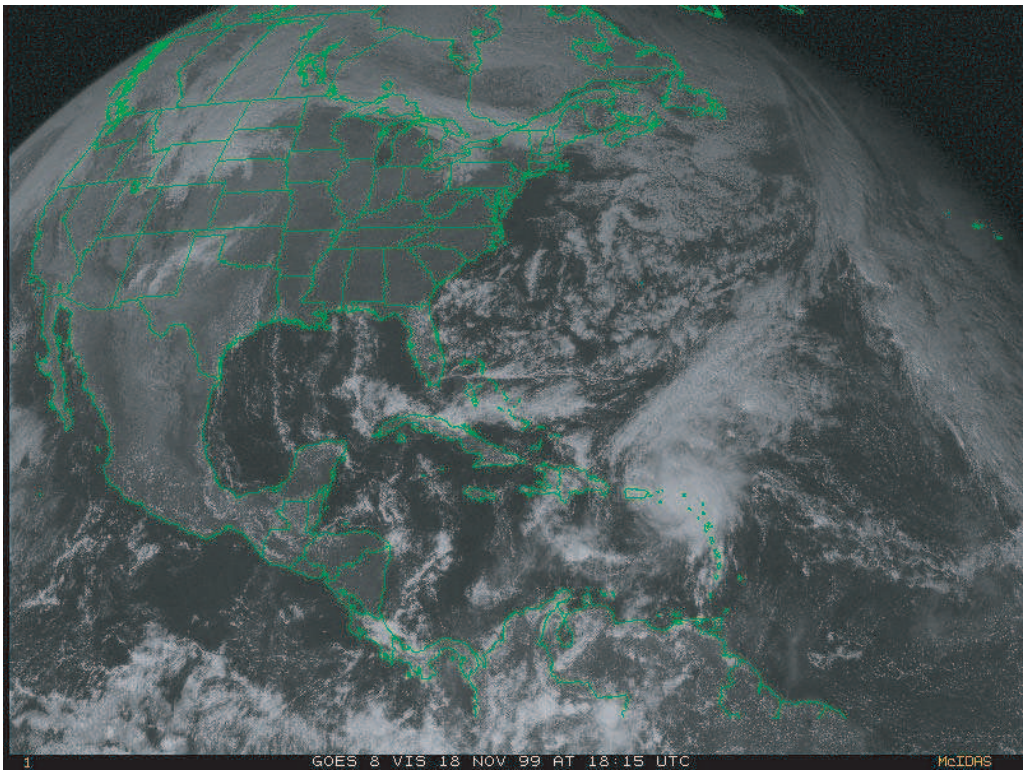



**Figure n°148 : Analyse de la photo satellite du 18/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

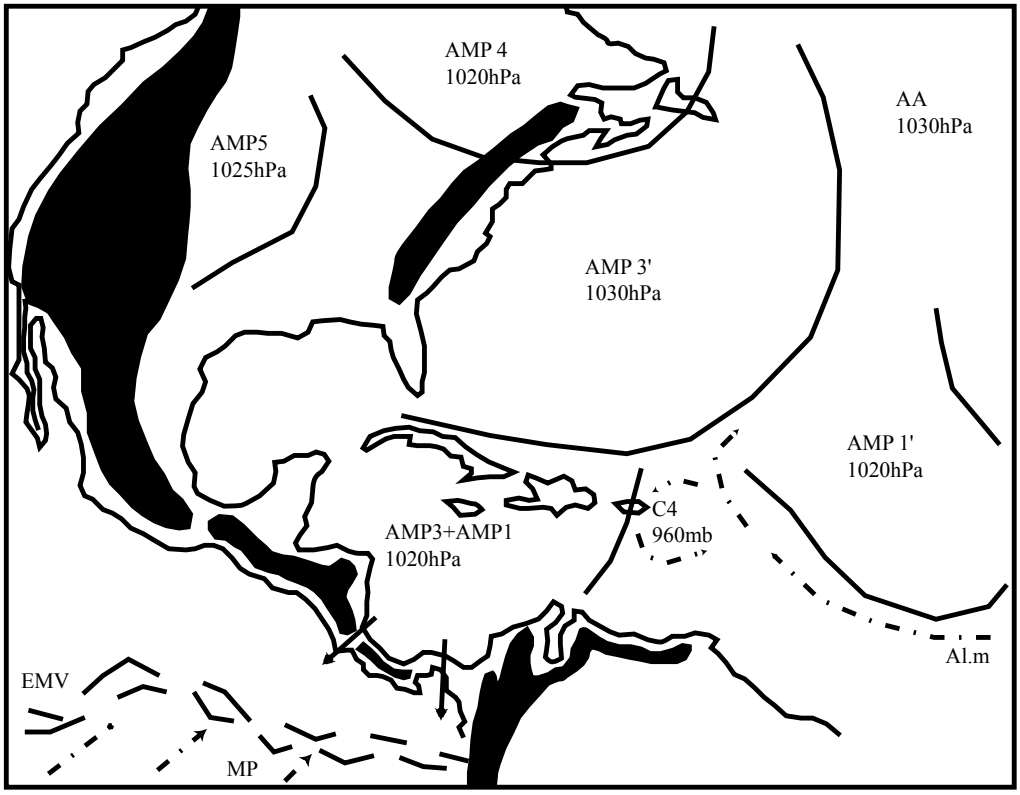


**Photo satellite n°136 : GOES 8, est, vis, le 19/11/1999, 18h15 T.U**

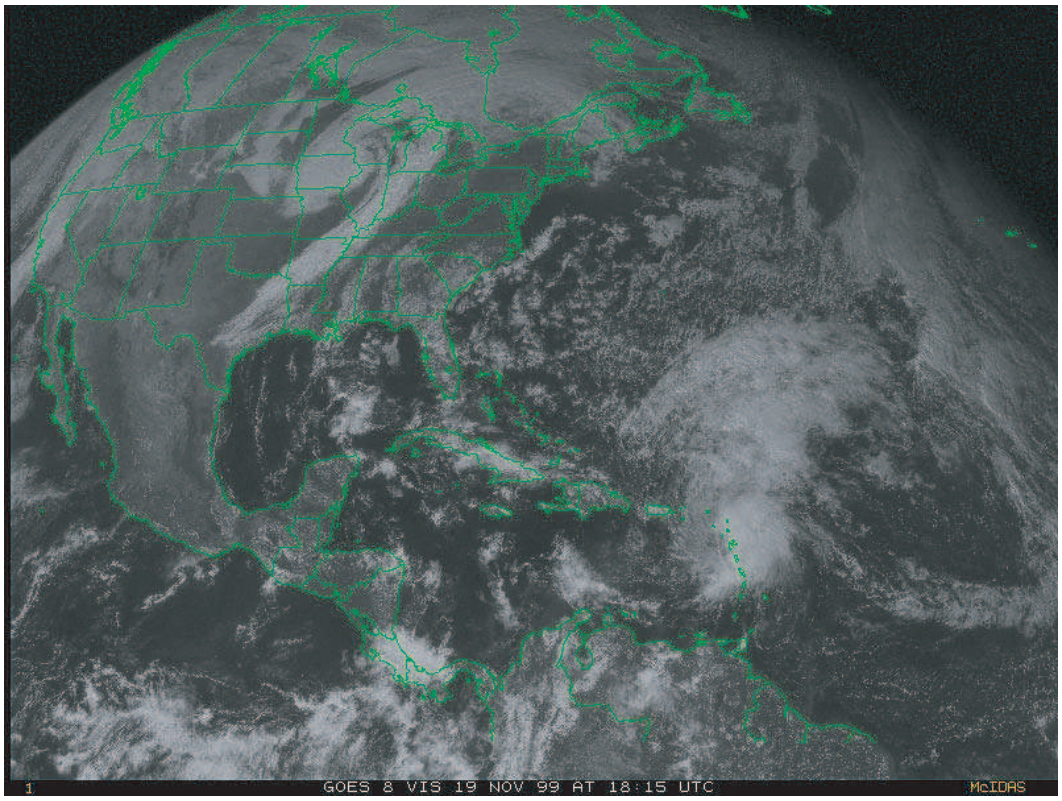



**Figure n°149 : Analyse de la photo satellite du 19/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

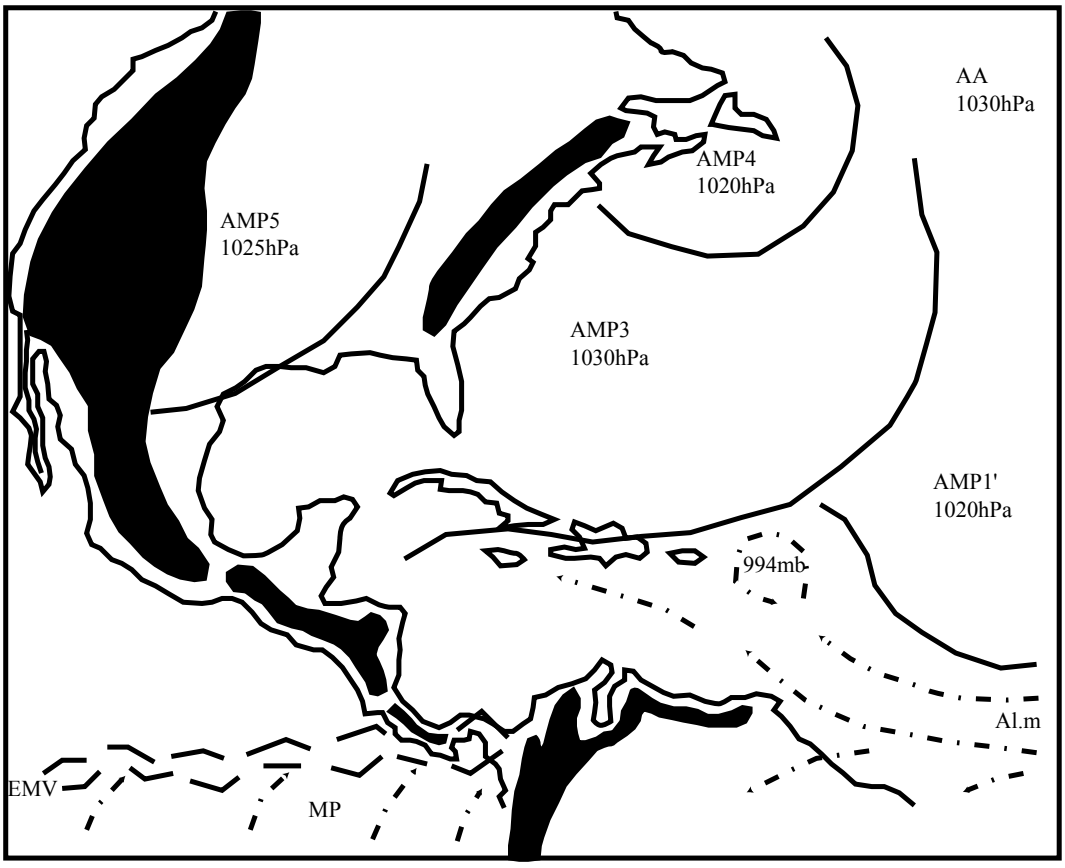


**Photo satellite n°137 : GOES 8, est, vis, le 20/11/1999, 18h15 T.U**

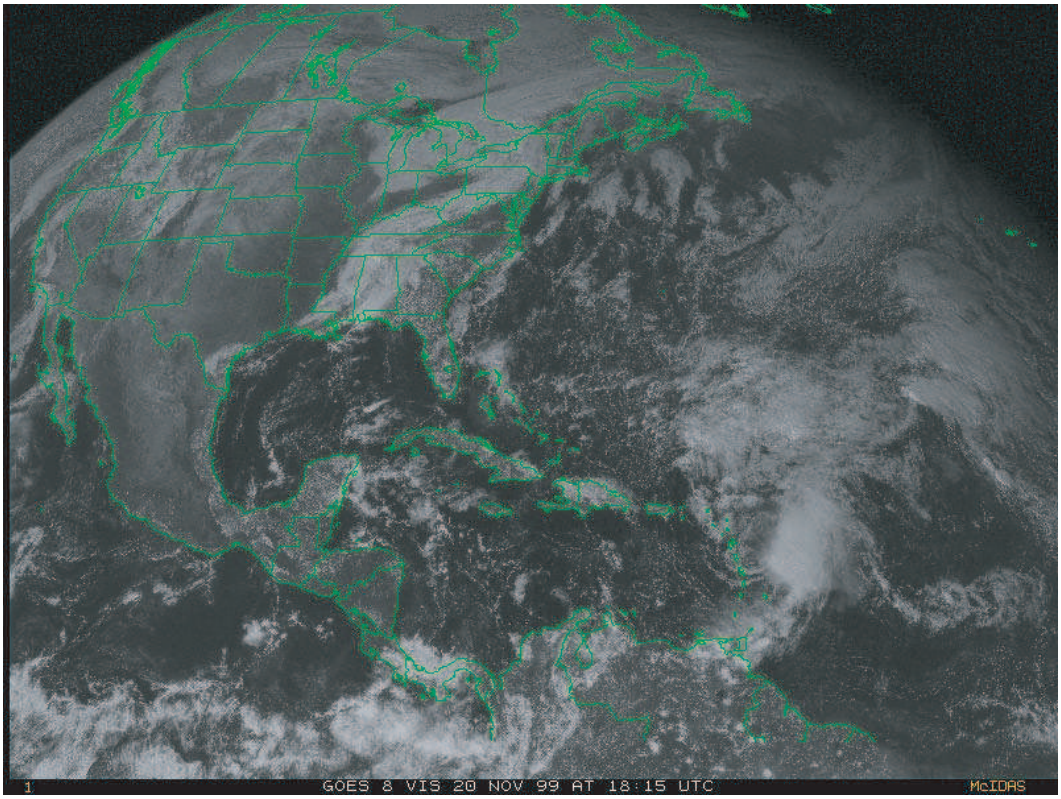



**Figure n°150 : Analyse de la photo satellite du 20/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**
*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

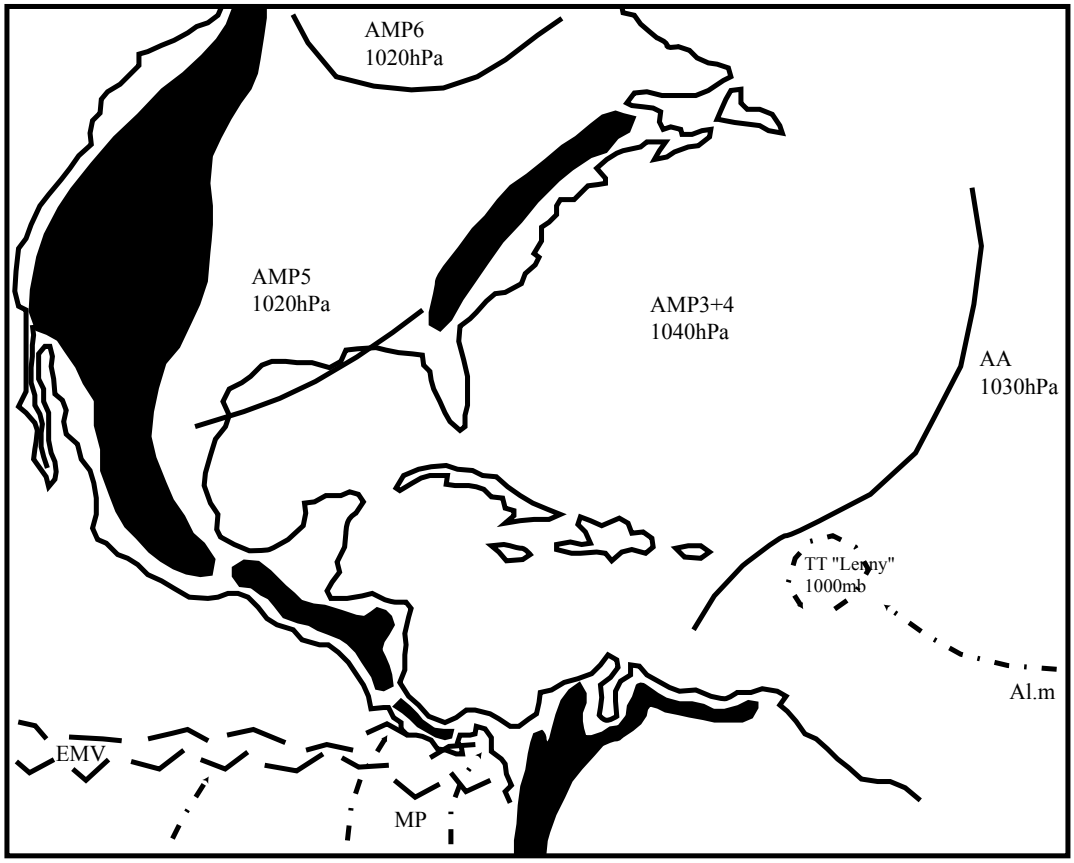


**Photo satellite n°138 : GOES 8, est, vis, le 21/11/1999, 18h15 T.U**

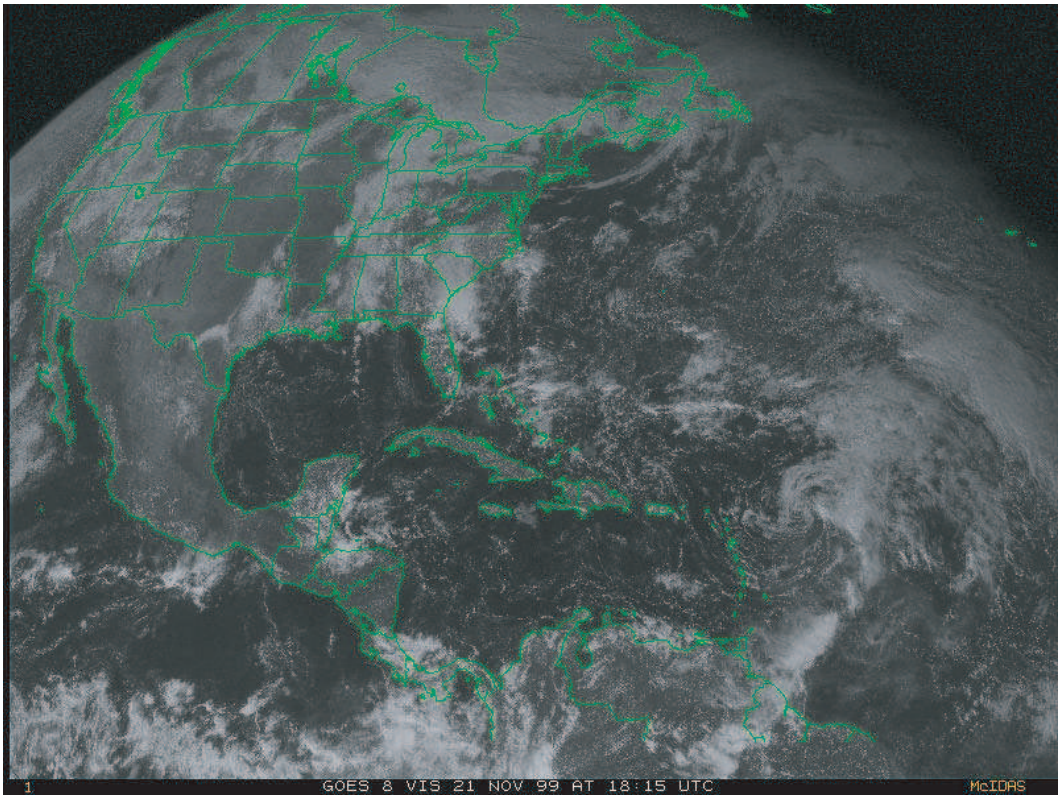



**Figure n°151 : Analyse de la photo satellite du 21/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

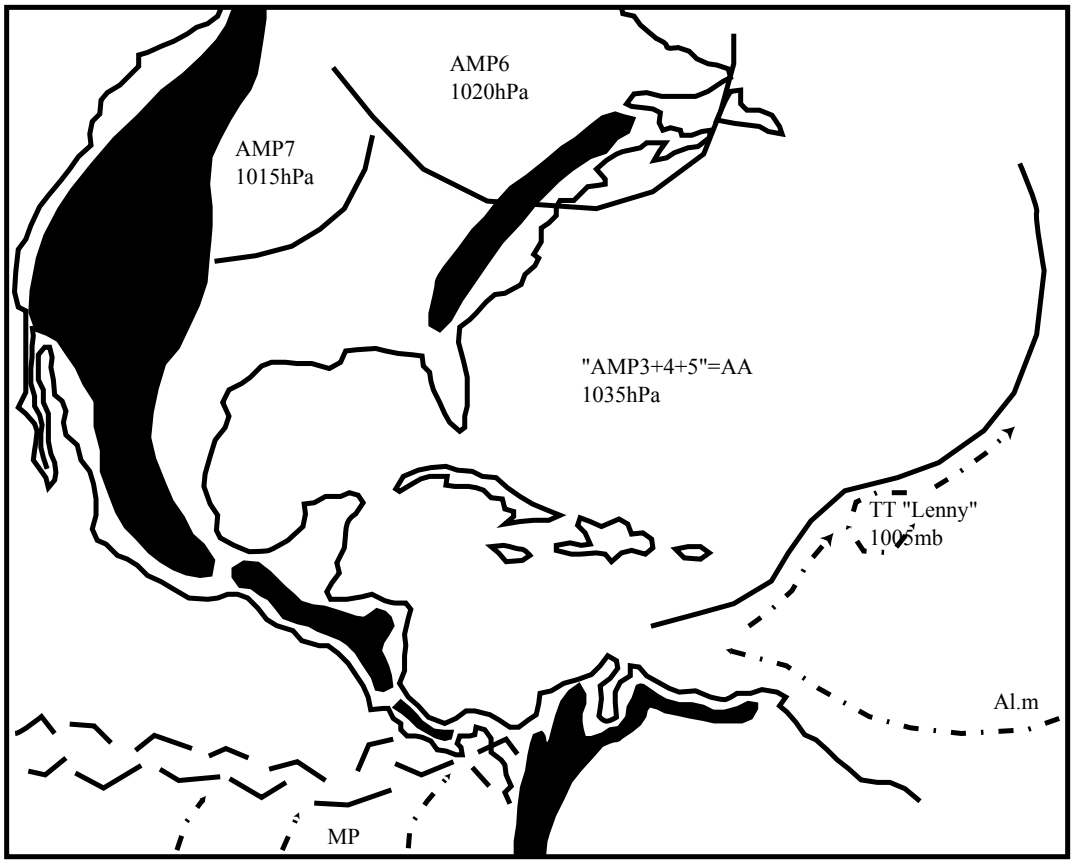


**Photo satellite n°139 : GOES 8, est, vis, le 22/11/1999, 18h15 T.U**

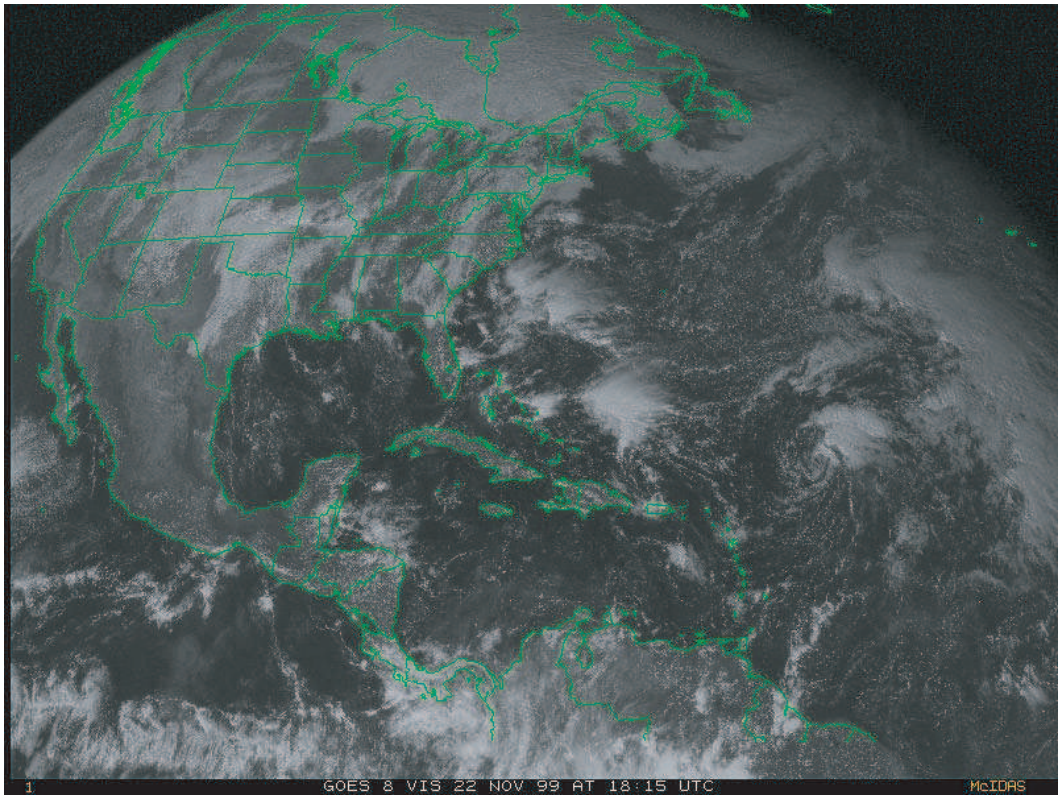



**Figure n°152 : Analyse de la photo satellite du 22/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

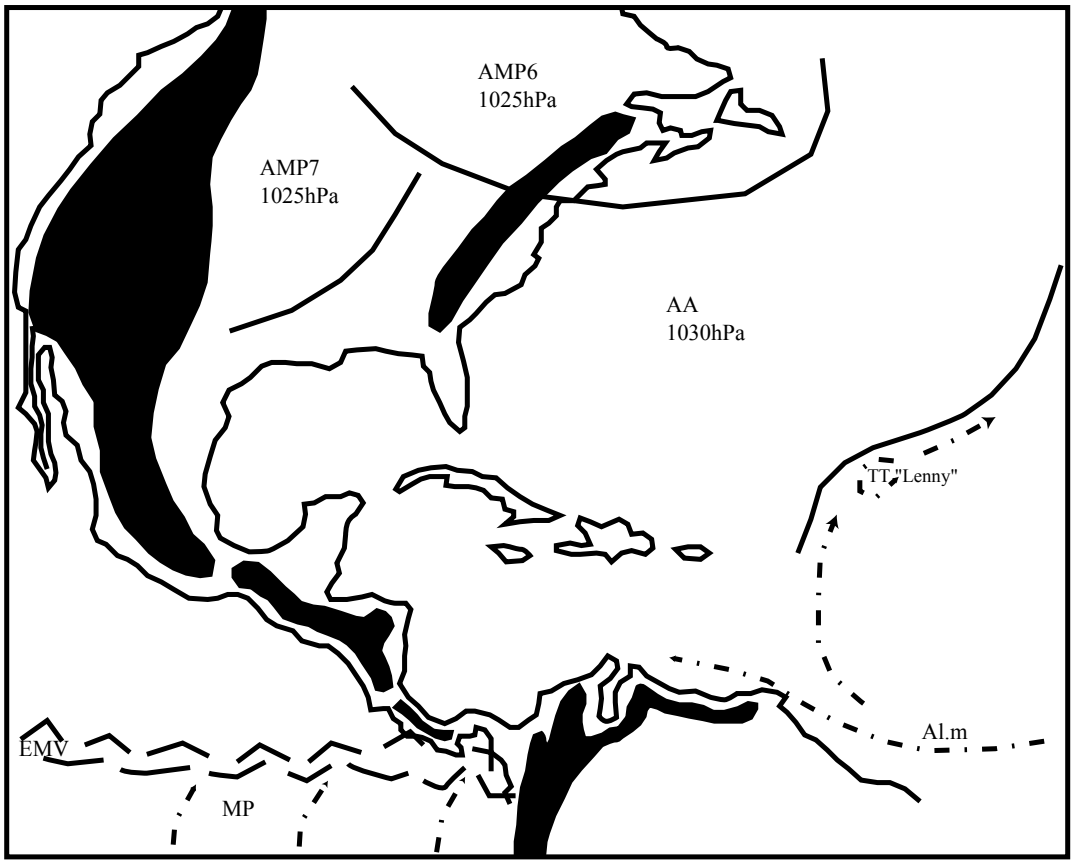


**Photo satellite n°140 : GOES 8, est, vis, le 23/11/1999, 18h15 T.U**

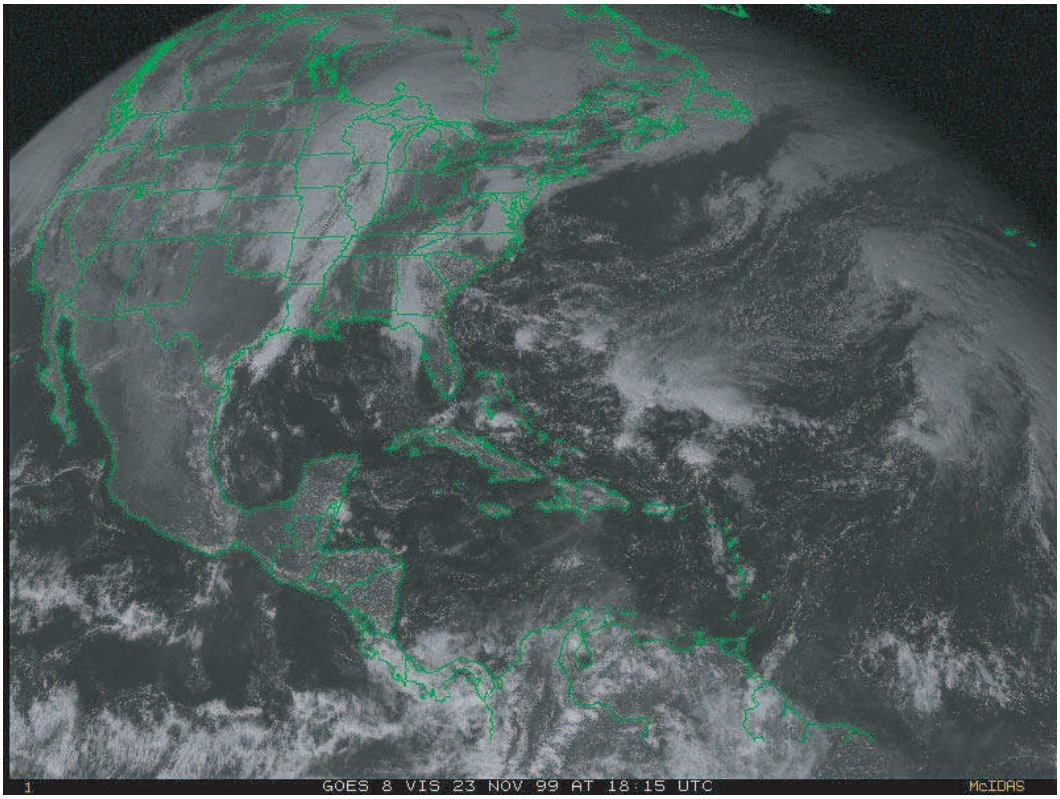



**Figure n°153 : Analyse de la photo satellite du 23/11/1999, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

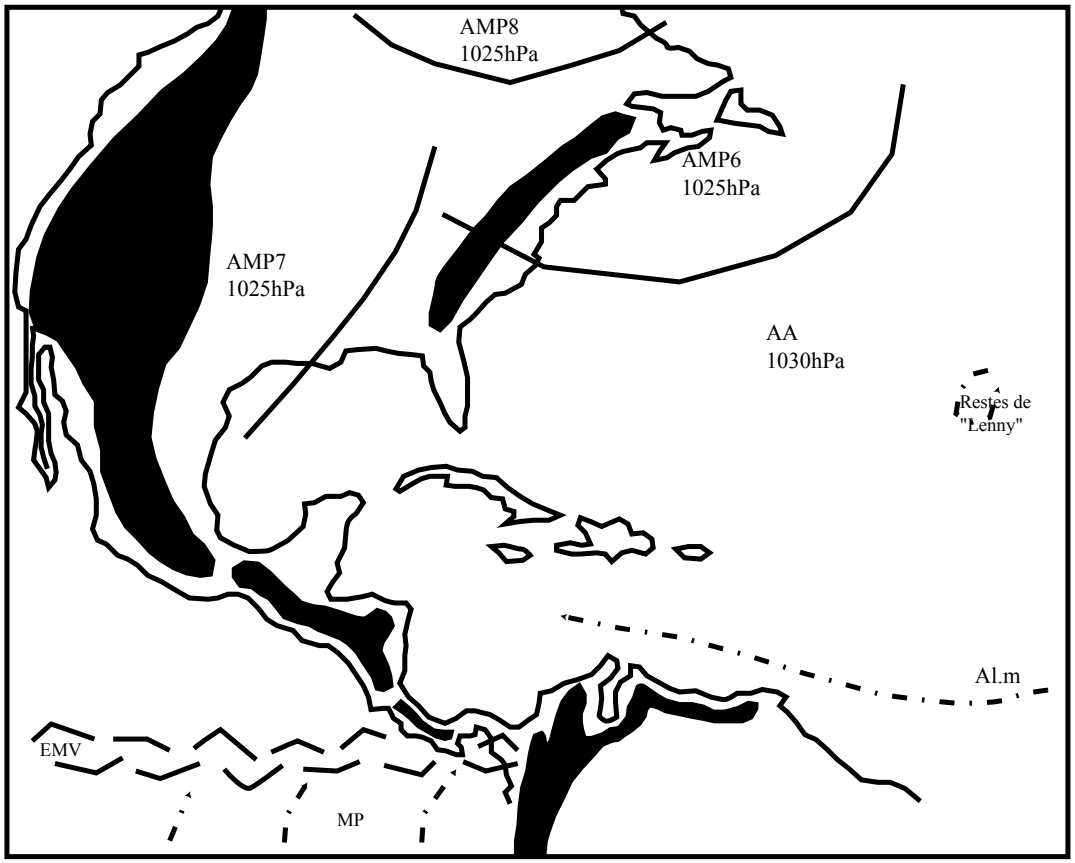
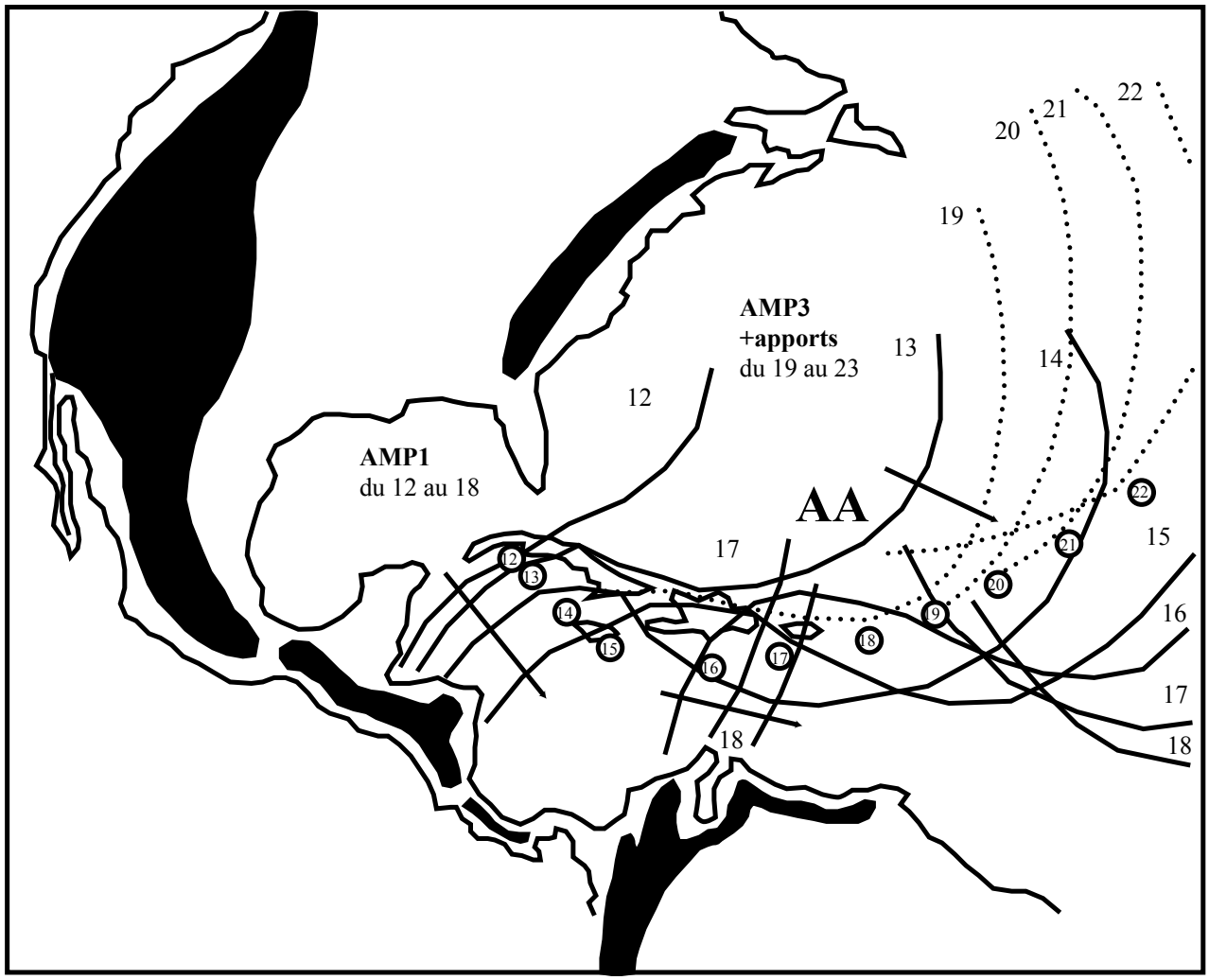


**Fig. n°154 : Carte récapitulative de l'évolution de surface des AMP1 et AMP3 (+ ses apports), trajectoire de "Lenny" du 12 au 23 novembre 1999**



avoir cheminé au sud de l'agglutination anticyclonique dite « des Bermudes/Açores » (AA) viennent heurter la face avant de l'AMP1 qui recouvre le continent américain ainsi que le Golfe du Mexique. Ces flux instables n'ont d'autre possibilité que celle de s'élever violemment dans l'espace compris entre le Yucatán, le nord du Honduras et le sud de Cuba. L'Al.m est également dévié en direction de l'entonnoir formé par la face avant de l'AMP1, la bordure occidentale de l'AA dite « des Bermudes » et le relief. Au niveau de l'isthme de Tehuantepec, les flux anticycloniques profitant de l'abaissement du relief, s'engouffrent dans l'isthme, sont canalisés par le relief, accélérés (effet Venturi) et rejoignent l'océan Pacifique (« Nortes », « Tehuantepecers »). Nous remarquons la formation de lignes de pulsation (LP) au débouché de l'isthme de Tehuantepec, une partie de l'AMP1 s'écoule vers le Pacifique.

Le dépression tropicale (DT) n°16 (formée au sud des îles Caiman, née sur la face avant de l'AMP1) se creuse rapidement. Sur le nord du continent américain, en provenance du Groenland, nous remarquons la présence de l'AMP2 (au large de Terre Neuve et de la Nouvelle Ecosse) ainsi que celle de l'AMP3 (sur le grand nord canadien).

- **Commentaire de la fig. n°143 (analyse de la photo satellite du 13/11/99):**

En fin d'après midi, des vents de surface ayant une vitesse moyenne de 60 km/h sont enregistrés. La pression centrale du système dépressionnaire est de 1003 millibars. L'AMP1 qui recouvre le continent américain reste stationnaire sur le Golfe du Mexique. Au large de la Floride, l'apophyse de l'AMP1, l'AMP1' s'étend vers l'est et contribue à l'alimentation de l'AA dite « des Bermudes/Açores ». Sur la bordure méridionale de l'AA, les flux de l'Al.m se dirigent vers l'ouest. En venant heurter la face avant de l'AMP1, ils sont contraints à s'élever et contribuent ainsi au creusement de la DT. Au niveau de l'isthme de Tehuantepec, l'air anticyclonique continue à s'engouffrer pour rejoindre l'océan Pacifique. les LP témoignent de l'écoulement de l'air dans cette direction.

L'AMP2 continue son déplacement vers le sud-sud-est. L'AMP3 reste stationnaire.

- **Commentaire de la fig. n°144 (analyse de la photo satellite du 14/11/99):**

C'est vers le milieu de la matinée que la DT n°16 va devenir la tempête tropicale (TT) puis le cyclone « Lenny » (un oeil est visible sur la photo satellite). Nous avons donc la confirmation que c'est bien l'AMP1 qui est à l'origine de la naissance de ce cyclone. Le centre de la dépression se creuse (992 millibars), les vents se font plus violents (110 à 120 km/h en moyenne, des rafales à 130 km/h étant enregistrées). L'AMP1 et son apophyse l'AMP1' barre toujours le passage à ce centre dépressionnaire. « Lenny » dispose d'une excellente alimention : aux flux de l'Al.m, il nous faut maintenant ajouter les flux de la mousson panaméenne (MP) qui sont déviés vers le système dépressionnaire qui a pris de l'importance et qui s'est également déplacé vers l'est, à proximité de l'isthme du Panama où l'abaissement du relief autorise le passage des flux de la MP.

Sur le nord du continent nord américain, l'AMP3 en glissant vers le sud et le sud-sud-est contribue au déplacement de l'AMP1 et de son apophyse vers le sud-sud-est ; « Lenny », en fermé dans l'entonnoir (AMP1, AMP1' et relief) ne peut que subir et s'éloigner vers l'est. Son déplacement inhabituel d'ouest en est va commencer.

- **Commentaire de la fig. n°145 (analyse de la photo satellite du 15/11/99):**

« Lenny » relève de la catégorie 1 sur l'échelle Saffir/Simpson le 15 novembre à 00h00 T.U puis, de la catégorie 2 à 09h00 T.U . La présence de l'AMP1 empêche « Lenny » de suivre la route « classique » vers le nord-nord-est. Au contraire, le renfort que constitue l'AMP3 (avec son apophyse, l'AMP3') contribue à rendre ce barrage aérologique infranchissable. Le déplacement de l'AMP3 vers le sud-sud-est contribue au déplacement de l'AMP1 et de son apophyse l'AMP1' dans la même direction. « Lenny » se retrouve ainsi repoussé vers l'est par cette immense masse anticyclonique qui l'enveloppe. A 21h00 T.U, « Lenny », repoussé vers l'est, se trouve ainsi privé d'une partie de son alimentation (les flux de la MP ont du mal à rejoindre le cyclone en raison de l'orographie colombienne) ; « Lenny » relève à nouveau de la catégorie 1 de l'échelle Saffir/Simpson.

- **Commentaire de la fig. n°146 (analyse de la photo satellite du 16/11/99):**

Le 16 novembre à 09h00 T.U, « Lenny » relève à nouveau de la catégorie 2 de l'échelle Saffir/Simpson. La présence de l'immense masse anticyclonique (AMP1+AMP1') constitue un véritable rempart aérologique favorisant la concentration de l'énergie (entonnoir) et l'ascendance rapide des flux instables déviés par le cyclone (Al.m et MP, en partie). A 21h00 T.U, le cyclone relève de la catégorie 3 de l'échelle Saffir/Simpson. La pression centrale est de 965 millibars et des vents de 200 km/h sont enregistrés. « Lenny », ne pouvant opposer de résistance à l'avancée vers l'est de l'immense masse anticyclonique, se laisse repousser dans cette direction, acollé à la face avant de l'AMP1 et de son apophyse l'AMP1'.

- **Commentaire de la fig. n°147 (analyse de la photo satellite du 17/11/99):**

Le 17 novembre à 13h00 T.U, « Lenny » relève de la catégorie 4 de l'échelle Saffir/Simpson. Ce même jour, à 23h00 T.U, le cyclone atteint son maximum d'intensité (l'oeil apparaît clairement sur la photo satellite). La pression centrale est de 929 millibars et des vents de 260 km/h sont enregistrés. L'AMP1 et son apophyse l'AMP1' se sont progressivement « tropicalisés » tout en se déplaçant vers l'est et le barrage aérologique a perdu de sa vigueur (l'AMP1 se « vide » vers le sud en s'écoulant vers le Pacifique, par l'isthme de Panama). Le cyclone en profite immédiatement pour migrer vers le nord-nord-est. Cependant, nous voyons que cette course plus proche d'une trajectoire « habituelle » ne va pas pouvoir se poursuivre. En effet, la présence de l'AMP 3' va contraindre le cyclone à reprendre un déplacement vers l'est. Sur le grand nord canadien, relevons la présence d'un nouvel AMP (l'AMP 4). « Lenny » touche terre à 18h00 T.U à Sainte Croix (Îles Vierges, Etats-Unis).

- **Commentaire de la fig. n°148 (analyse de la photo satellite du 18/11/99):**

« Lenny » va peu à peu perdre de sa puissance (l'alimentation dont dispose le cyclone n'est plus constituée que par l'Al.m, la MP est repoussée depuis la veille par l'écoulement vers le Pacifique de l'AMP1+3 au niveau de l'isthme de Panama). A 18h00 T.U, sa pression centrale est de 960 millibars et des vents de 230 km/h sont enregistrés. , le 18 novembre à 18h00 T.U, « Lenny » se trouve sur Saint Martin. A 21h00 T.U, « Lenny » relève de la catégorie 3 de l'échelle saffir/Simpson.

- **Commentaire de la fig. n°149 (analyse de la photo satellite du 19/11/99):**

A 06h00 T.U, « Lenny » est à Saint Barthélémy; à 12h00 T.U, le cyclone relève de la catégorie 1 de l'échelle Saffir-Simpson; à 21h00 T.U, il redevient une TT.

L'effet entonnoir cesse entre l'AMP1' et l'AMP1+3; l'Al.m peut s'écouler vers l'ouest, l'alimentation est alors mauvaise et le cyclone se meurt.

- **Commentaire de la fig. n°150 (analyse de la photo satellite du 20/11/99):**

« Lenny », en tant que TT, continue son déplacement vers l'est sur la face avant de l'AMP3+4. Cet AMP3+4 va bientôt être difficilement individualisable puisque étant quasi intégré à l'AA dite « des Bermudes/Açores ».

- **Commentaire de la fig. n°151 (analyse de la photo satellite du 21/11/99):**

L'AMP3+4+5 constitue l'AA dite « des Bermudes/Açores ». « Lenny » s'éloigne toujours vers l'est et remonte sur la face avant de l'AMP3+4+5.

- **Commentaire de la fig. n°152 (analyse de la photo satellite du 22/11/99):**

La descente vers le sud-sud-est des AMP6 et 7 a forcé l'intégration de l'AMP3+4+5 dans l'agglutination anticyclonique dite « des Bermudes/Açores ». « Lenny » continue son déplacement vers l'est-nord-est.

- **Commentaire de la fig. n°153 (analyse de la photo satellite du 23/11/99):**

A 12h00 T.U, « Lenny » n'est plus qu'une simple DT qui disparaît peu de temps après.

- **Bilan de l'épisode « Lenny » (fig. n°154) :**

L'AMP1, canalisé entre les Montagnes Rocheuses à l'ouest et les Appalaches à l'est, pénètre sur le Golfe du Mexique. La face avant de l'AMP1 provoque la concentration de l'énergie dans le couloir dépressionnaire qui l'entoure et favorise les ascendances donc le creusement de la DT n°16. L'AMP1 et son apophyse, l'AMP1', interdisent le passage au nord et à l'ouest. La trajectoire de « Lenny » est ainsi bloquée vers le nord et l'ouest, le cyclone est progressivement repoussé vers l'est. « Lenny », « marche à l'envers » et suit la dynamique de l'AMP! L'AMP1 va progressivement se déplacer vers l'est, se tropicaliser, perdant de son intensité. Le 19 novembre, « Lenny » va alors rencontrer la face avant de l'AMP3', apophyse de l'AMP3. Le cyclone va remonter vers le nord-nord-est, entre la face arrière de l'AMP1 et la face avant de l'AMP3, le long du couloir dépressionnaire périphérique.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

« Lenny » n'est pas seulement un cyclone ayant eu un déplacement atypique, il a également laissé derrière lui son cortège de morts (17 au total, 3 à Saint Martin, 2 en Colombie, 5 en Guadeloupe, 1 en Martinique et 6 en mer) et de destructions (nombreuses habitations détruites, infrastructures routières détruites, nombreux bateaux détruits, au total on estime que le montant total des dégâts s'élève à 330 millions de dollars. Le cyclone « Lenny » a entraîné des précipitations très importantes sur les Petites Antilles.

**Tableau n°14 : Précipitations totales relevées (en millimètres) et imputables au passage de « Lenny »**

| Stations : | Précipitations (en mm) et date : |
|---|---|
| **Gendarmerie de Saint Martin (France)** | **483**, en 24 heures le 18/11 |
| **DDE de Saint Martin Marigot (France)** | 663 (dont **576** en 24 heures le 17/11) |
| **Saint Bathélémy** | 381 |
| **Guadeloupe** | Entre 153 et 305 |
| **Phillpsburg, Saint Martin (Hollande)** | 701 |
| **VC Bird international airport (Antigua)** | 466 |
| **Partie sud d'Antigua** | 635 |
| **Îles Vierges (E.U & G.B)** | Entre 77 et 101 |
| **Hamilton airport, Sainte Croix (Îles Vierges, E.U)** | 205 |
| **Îles Magueyes et Lajas (Porto Rico)** | 239 |
| **Porto Rico** | Entre 102 et 204 |
| **Toro Negro Orocovis (Porto Rico)** | 315 |

**Tableau n°15 : hauteur (en mètres) de l'onde d'ouragan, de la marée d'ouragan et des vagues**

| Stations : | Onde d'ouragan (en mètres) : | Marée d'ouragan/hauteur des vagues (en mètres) : |
|---|---|---|
| **Fredericksted (Sainte Croix)** | Entre 3.5 et **6** | |
| **Lime tree Bay (Sainte Croix)** | | 0.89 (marée d'ouragan) |
| **Saint Thomas (San Juan,Porto Rico)** | | 0.55 (marée d'ouragan) |
| **Gustavia (Saint Barthélémy)** | | **4.9** (vagues) le 17/11 |
| **La Désirade, plateforme (à l'est de Grande Terre, Guadeloupe)** | | 3 à 4(vagues) le 20/11 |
| **La Guajira (Colombie), Aruba, Bonaire, Curaçao** | | Les vagues ont occasionné des dégâts. |

**« Sainte Croix (Etats-Unis) après le passage de Lenny »**
**(cliché AFP)**



## 4) Synthèse sur les cyclones atlantiques :

Ces trois études de cas présentent des déroulements fort différents :

- Le cyclone « Michelle » est un cyclone « classique », né en zone tropicale, mort en zone tempérée après avoir suivi une trajectoire « classique » vers le nord-nord-est, sur la face avant d'un AMP (le long de son couloir dépressionnaire périphérique, en direction de sa dépression associée).

- Le cyclone « Mitch », en ne suivant pas une trajectoire « classique » a, quant à lui, montré l'insuffisance des modèles de prévision qui tous annonçaient la fuite du cyclone vers le nord/nord-est (cas statistiquement le plus fréquent). Pourtant, l'observation attentive des photos satellites et des cartes de surface permettait de voir très tôt (à condition de prendre en compte la présence de l'AMP, ignoré de la « scène météorologique internationale ») que « Mitch » ne pouvant pas suivre une trajectoire habituelle, menaçait le continent voisin.

- Dans le cas du cyclone « Lenny », qui se « déplace à l'envers », la dynamique tropicale est secondaire (la zone tropicale apporte l'énergie) ; la dynamique tempérée (l'AMP) impose le déplacement d'ouest en est.

Ainsi, ces trois études de cas démontrent que malgré les quantités considérables d'énergie utilisée, les cyclones « Michelle », « Mitch » et « Lenny » sont, comme toutes les autres perturbations, assujettis à des conditions dynamiques strictes qui leur dictent leur déplacement.

La trajectoire des cyclones est dite « capricieuse » et imprévisible. En fait, elle laisse très peu de place au hasard parce qu'elle est rigoureusement commandée d'abord par la dynamique tropicale, puis par la dynamique tempérée, voire même par l'orographie !

Il n'y a donc rien d'inexplicable dans un brusque changement de trajectoire ou dans une « course à l'envers » ; le déplacement d'un cyclone tropical est toujours parfaitement intelligible et ne relève en rien du miracle divin !

La trajectoire des cyclones est donc « prévisible », à condition toutefois d'observer attentivement la réalité au lieu de faire confiance aveuglément à la réponse donnée par des modèles fondés sur des statistiques et des concepts dépassés, erronés.

Des ordinateurs surpuissants, des modèles de prévision obsolètes (nés dans les années 30), ne doivent pas nous faire oublier que le climatologue doit avant tout être un observateur attentif de la réalité.

Ces trois études de cas ont également démontré que l'AMP constitue une des causes de la naissance, du développement, de l'intensification et de la trajectoire de ces perturbations reines que sont les cyclones tropicaux.

Quand on ne connaît pas l'AMP, le concept des « ondes d'est » est censé expliquer, à lui seul, la naissance et le développement de plus de la moitié des cyclones dans ce secteur (et l'autre moitié ?). Force est de constater, en lisant les rapports du « NHC » de Miami que ce concept est insuffisant, inapte à rendre compte de la réalité (surtout quand elle sort quelque peu de l'ordinaire)!

Seul l'AMP apporte des réponses simples et concrètes aux questions soulevées.

L'intégrer dans les modèles de prévison numérique, permettrait d'éviter bien des catastrophes !

## 5) Les cyclones pacifiques ; les « Cordonazos » :

### a) Bilan bibliographique :

Dans la littérature propre à l'Amérique Centrale, bon nombre d'articles traitent de ces cyclones qui atteignent la presqu'île de Basse Californie du Sud et où ils sont plutôt perçus positivement en raison des précipitations précieuses qu'ils amènent sur cette région désertique. Si « les cyclones tropicaux contribuent modérément (20 % en moyenne) à la quantité précipitée annuellement sur la région de Basse Californie du Sud (…), ils contribuent à la recharge des aquifères » (C. Latorre D., L. Penilla, 1988). « La Basse Californie du Sud est l'une des régions du littoral mexicain les plus exposées aux cyclones de l'océan Pacifique » (C. Latorre D., L. Penilla, 1988). « En un an, la probabilité qu'un cyclone s'approche à moins de 350 kilomètres des côtes de Basse Californie du Sud est de 0,97 % et la probabilité qu'au moins un de ces cyclones pénètre sur le territoire est de 0,46 % ; ces valeurs sont les plus hautes rencontrées dans les zones côtières mexicaines » (Serra, 1971 in C. Latorre D., L. Penilla, 1988).

### b) Etude de cas d'un « Cordonazo » : le cyclone « Kenna » (du 22 au 26/10/2002) :

- **Introduction :**

D'après le « Tropical Cyclone Report » du 26/12/02 de James L. Franklin (« NHC », Miami), « Kenna » serait le fruit d'une perturbation apparue le 19 octobre et qui se serait « déplacée vers l'ouest, à travers l'Amérique Centrale et le bassin cyclonique du Pacifique du nord-est ». La naissance et le développement de cette perturbation « peut avoir été associée avec le passage, le 14 octobre, d'une onde tropicale sur la Barbade ». La perturbation s'est progressivement organisée dans la soirée du 20 octobre 2002. Elle devient une dépression tropicale le 22 octobre à 00h00 T.U, à environ 600 kilomètres au sud d'Acapulco (Mexique). Le système dépressionnaire va connaître une rapide intensification tout en suivant une route « classique » vers l'ouest-nord-ouest. Puis, le cyclone va brusquement incurver sa course vers l'est-nord-est, en direction des côtes pacifiques du Mexique méridional. James L. Franklin constate ce changement de direction sans proposer une quelconque explication ? Que nous apporte l'observation attentive des photos satellite et des cartes de surface ? Pouvons-nous rendre compte de ce brusque changement de trajectoire ?

**Tableau n°16 : historique de l'évolution du cyclone « Kenna » (du 22 au 26/10/02)**

| Date/Heure (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie : |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **22 / 0000** | 11.4 | 99.4 | 1006 | 60 | **Depression tropicale** |
| **22 / 0600** | 11.5 | 100.4 | 1004 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 22 / 1200 | 11.7 | 101.4 | 1003 | 70 | " |
| 22 / 1800 | 12.1 | 102.5 | 1003 | 70 | " |
| 23 / 0000 | 12.6 | 103.6 | 1002 | 80 | " |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 23 / 0600 | 13.1 | 104.6 | 997 | 100 | " |
| 23 / 1200 | 13.6 | 105.7 | 990 | 120 | " |
| **23 / 1800** | 14.2 | 106.9 | 980 | 150 | **Cyclone 1 (dès 15h00 T.U)** |
| 24 / 0000 | 14.9 | 108.0 | 970 | 180 | " |
| **24 / 0600** | 15.5 | 108.5 | 955 | 210 | **Cyclone 2 (dès le 24 à 03h00 T.U), Cyclone 3 (à 09h00 T.U)** |
| **24 / 1200** | 16.4 | 108.8 | 935 | 250 | **Cyclone 4** |
| **24 / 1800** | 17.3 | 108.8 | 917 | 280 | **Cyclone 5 (à 21h00 T.U)** |
| **25 / 0000** | 18.3 | 108.3 | **913** | **290** | " |
| **25 / 0600** | 19.3 | 107.5 | 915 | **290** | " |
| 25 / 1200 | 20.4 | 106.5 | 939 | 260 | **Cyclone 4 (à 15h00 T.U)** |
| **25 / 1800** | 22.1 | 105.1 | 960 | 200 | **Cyclone 1 (à 21h00 T.U)** |
| **26 / 0000** | 23.7 | 103.5 | 1000 | 70 | **Tempête tropicale** |
| **26 / 0600** | | | | | **Résorbée** |
| **25 / 0000** | 18.3 | 108.3 | **913** | 290 | **Pression minimale** |
| **25 / 1630** | 21.7 | 105.4 | 950 | 40 | **Touche terre près de San Blas, Mexique** |

- **Etude pas à pas du cyclone « Kenna » :**

- **Commentaire de la fig. n°155 (analyse de la photo satellite du 22/10/02):**

La tempête tropicale (TT) « Kenna » est à environ 615 kilomètres d'Acapulco (Mexique). La TT se déplace vers l'ouest à une vitesse de 19 km/h. Des vents ayant une vitesse de 65 km/h (rafales de 85 km/h) sont enregistrés. « Kenna », à proximité de l'équateur météorologique vertical (EMV) dispose d'excellentes conditions pour pouvoir se développer rapidement (l'EMV proche favorise les ascendances ; les flux de la mousson panaméenne (MP) chauds et humides fournissent l'alimentation; la latitude autorise la formation d'un vortex).

- **Commentaire de la fig. n°156 (analyse de la photo satellite du 22/10/02, ouest) :**

Sur l'océan Pacifique du nord-est, l'AMP1 vient de passer le détroit de Béring ; sa face avant est soulignée par d'intenses formations nuageuses qui témoignent de la violence des ascendances. L'air froid de l'AMP1, dense, incapable de s'élever, se laisse guider vers le sud (en direction de l'agglutination anticyclonique dite « des Hawaii », AA) par la puissante barrière orographique que constituent les Montagnes Rocheuses. Les AMP se tropicalisent peu à peu, perdent de leur puissance, sont ralentis, se télescopent et s'agglutinent les uns dans les autres pour former l'AA (nous observons deux autres AMP quasi intégrés dans l'AA, « AMP »). A proximité de l'EMV, des dépressions se creusent.

- **Commentaire de la fig. n°157 (analyse de la photo satellite du 23/10/02, ouest) :**

L'AMP1 continue sa descente vers le sud, en direction de l'AA dite « des Hawaii ». Les deux AMP (« AMP ») quasi intégrés dans l'AA la veille ne sont plus que difficilement individualisables sur la photo satellite. A 15H00 T.U, la TT « Kenna » a atteint le stade de cyclone de catégorie 1 sur l'échelle de Saffir-Simpson. Le centre du cyclone est situé

approximativement à 590 kilomètres de Manzanillo (Mexique) et se déplace vers l'ouest-nord-est à une vitesse de 20 km/h. La vitesse moyenne du vent est de 120 km/h et des rafales à 150

**Photo satellite n°141 : GOES 8, est, vis, le 22/10/2002, 18h15 T.U**

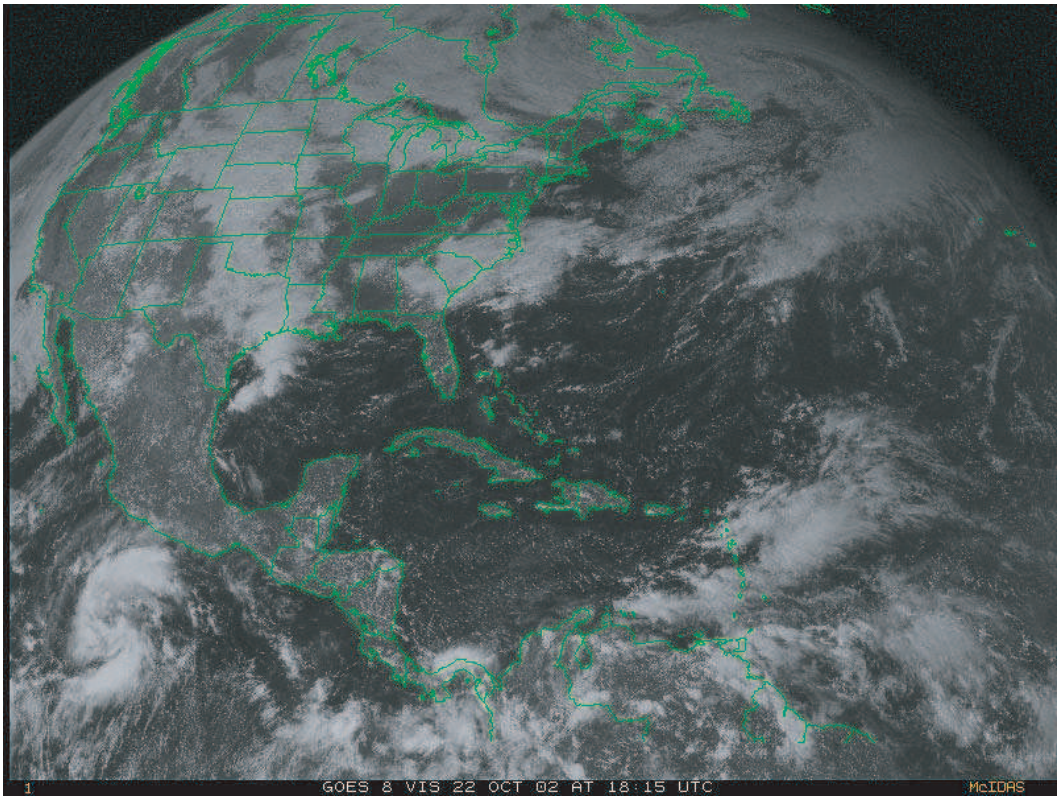



**Figure n°155 : Analyse de la photo satellite du 22/10/2002, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

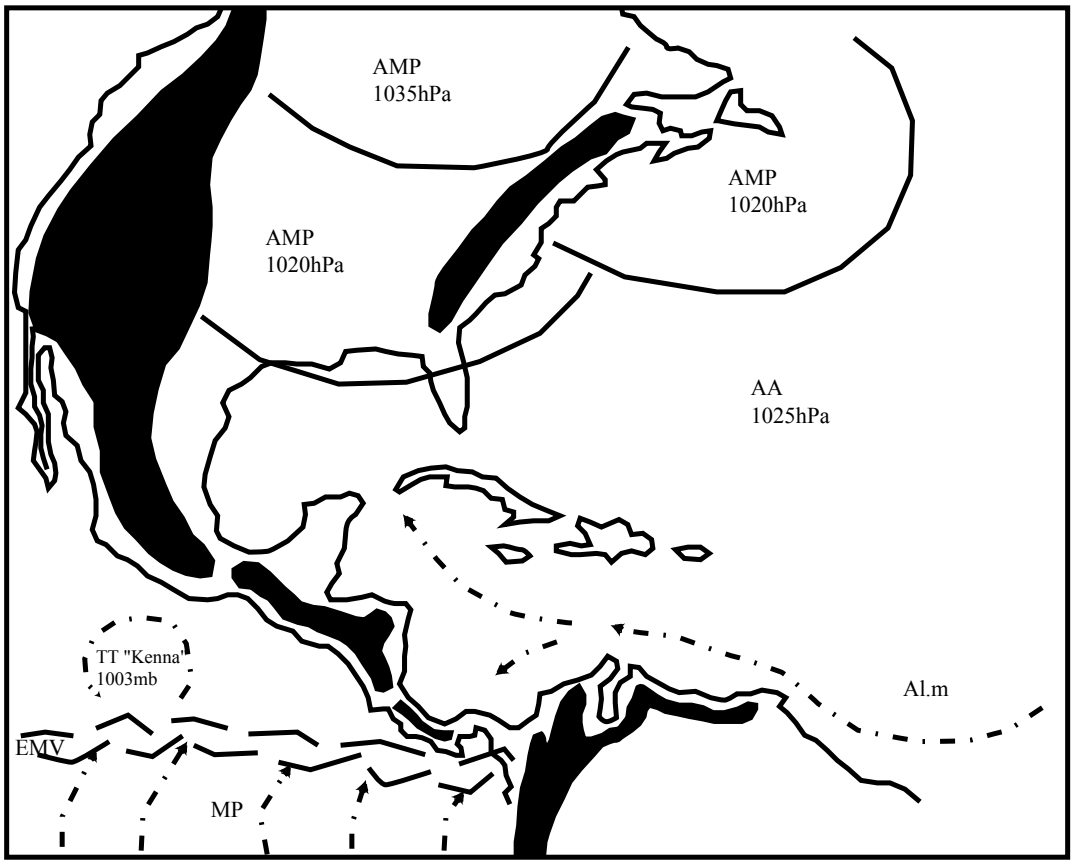


**Photo satellite n°142 : GOES 10, ouest, vis, le 22/10/2002, 18h30 T.U**

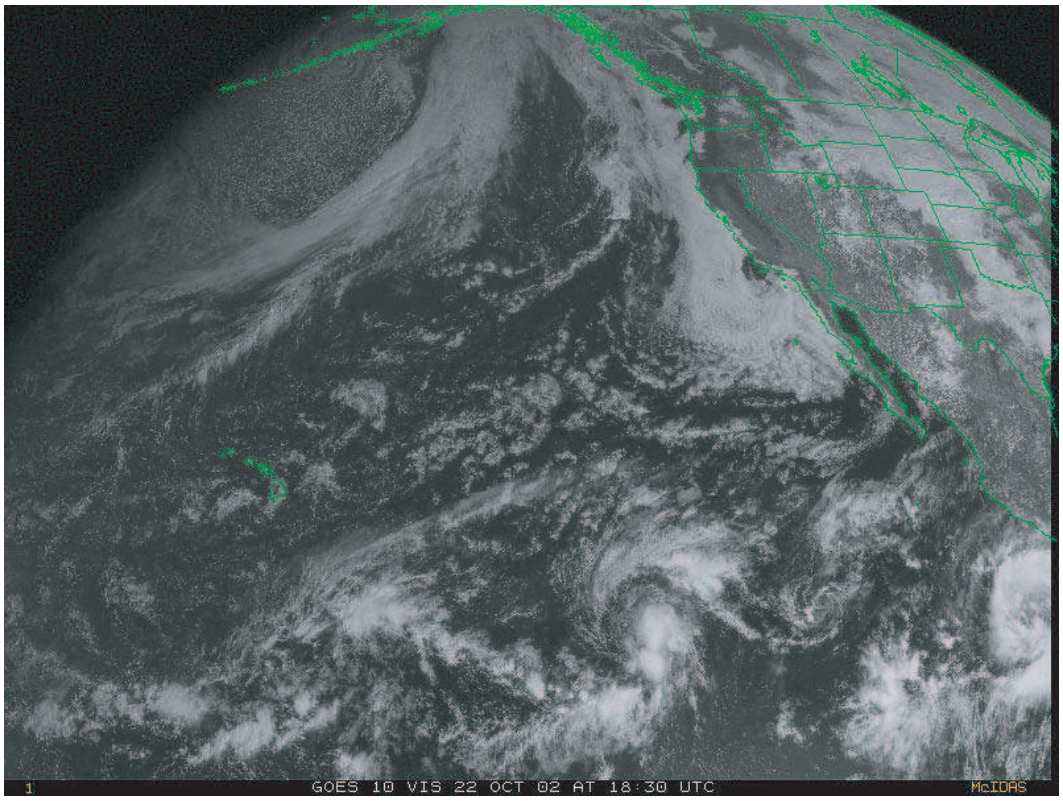



**Figure n°156 : Analyse de la photo satellite du 22/10/2002, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

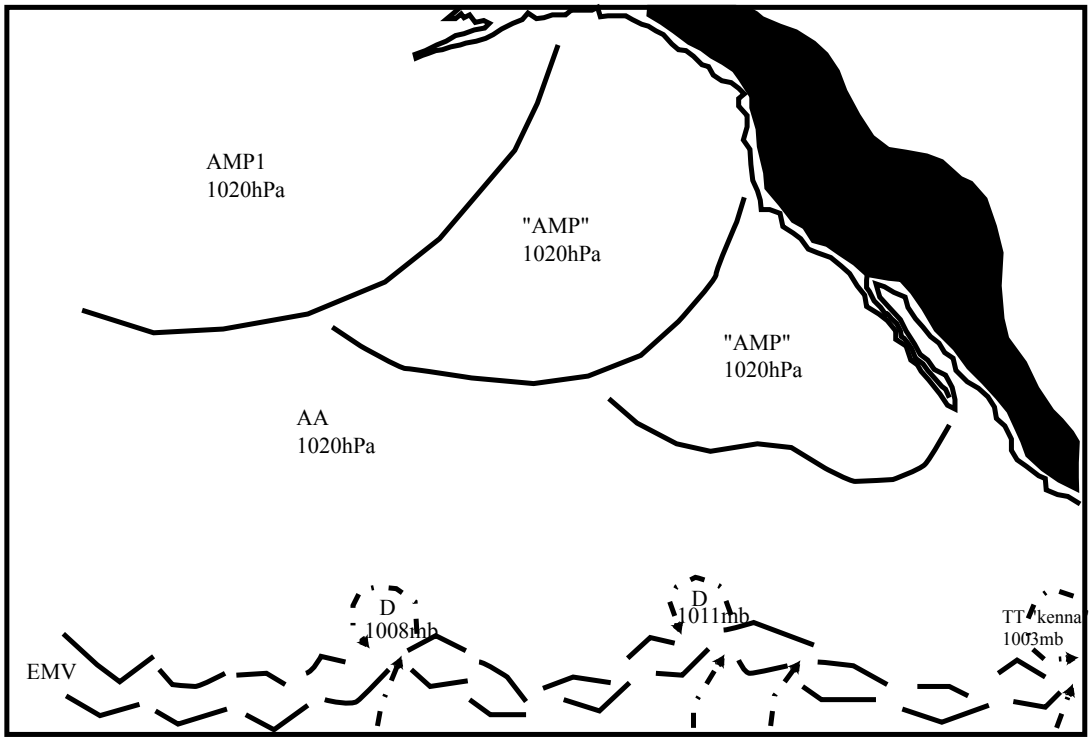


**Photo satellite n°143 : GOES 10, ouest, vis, le 23/10/2002, 18h30 T.U**

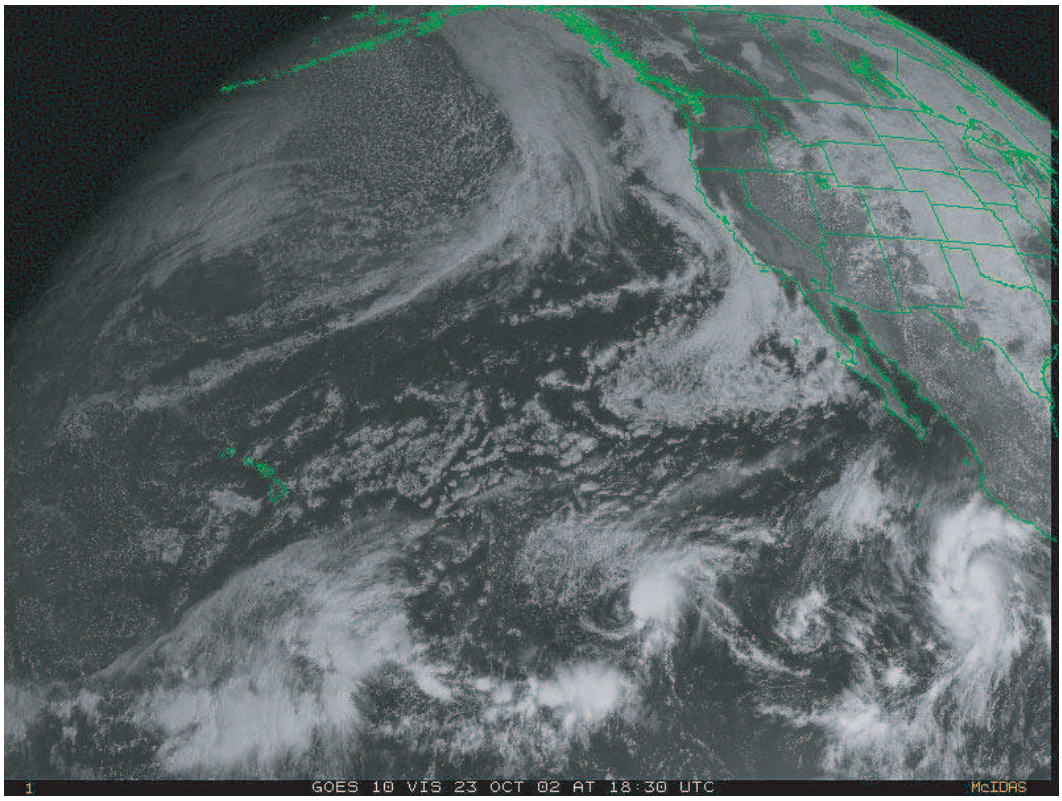



**Figure n°157 : Analyse de la photo satellite du 23/10/2002, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

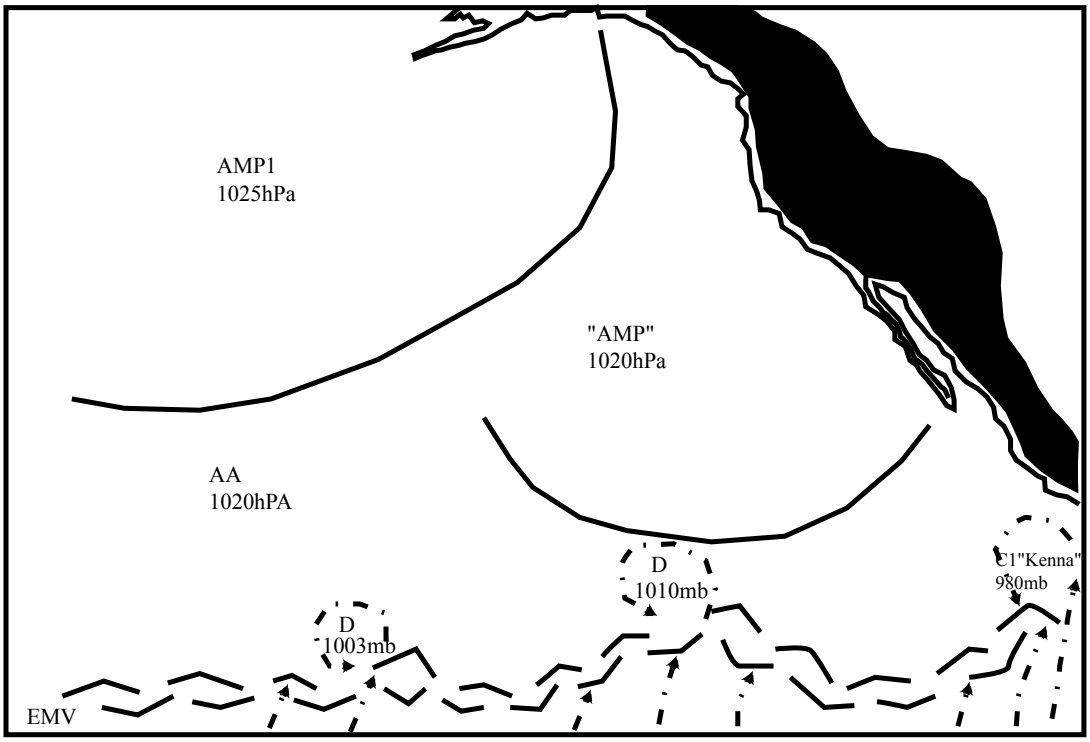


**Photo satellite n°144 : GOES 10, ouest, vis, le 24/10/2002, 18h30 T.U**

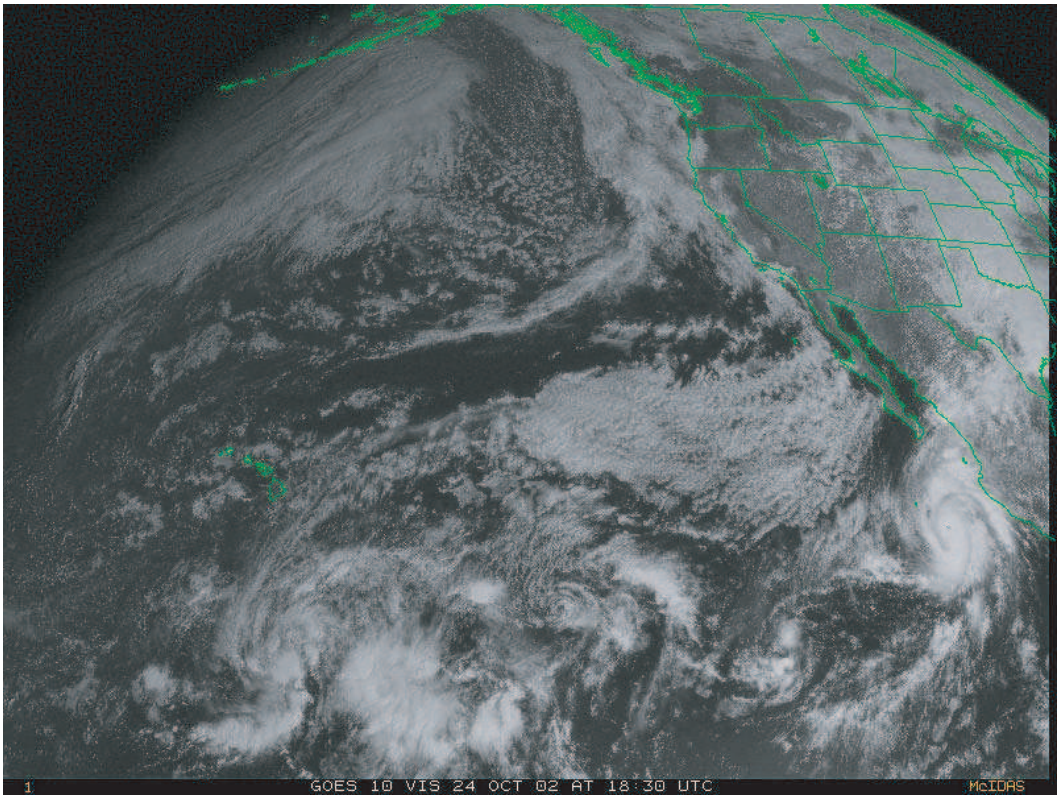



**Figure n°158 : Analyse de la photo satellite du 24/10/2002, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

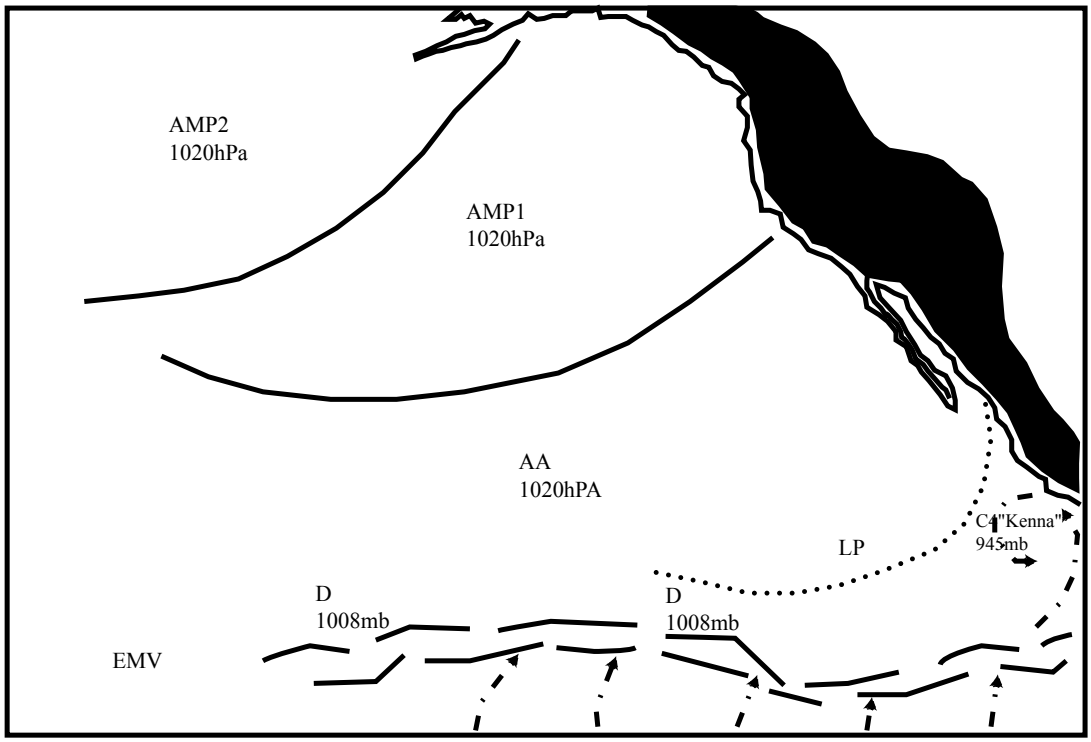


**Photo satellite n°145 : GOES 10, ouest, vis, le 25/10/2002, 18h30 T.U**

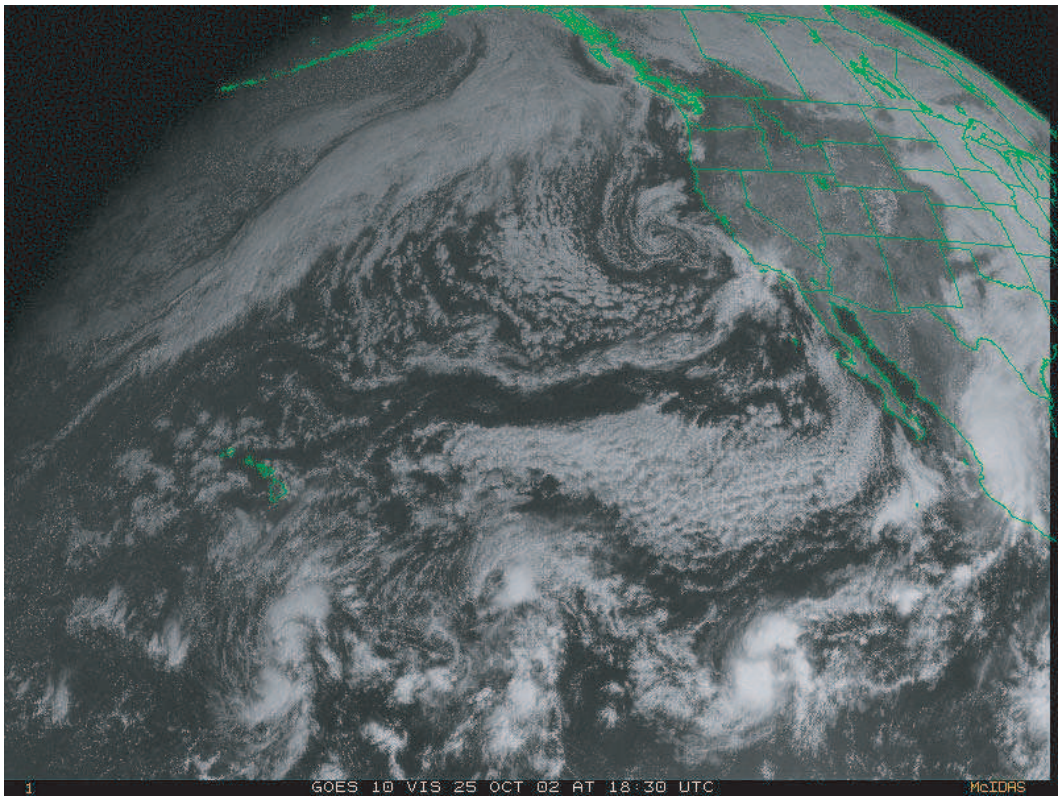



**Figure n°159 : Analyse de la photo satellite du 25/10/2002, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

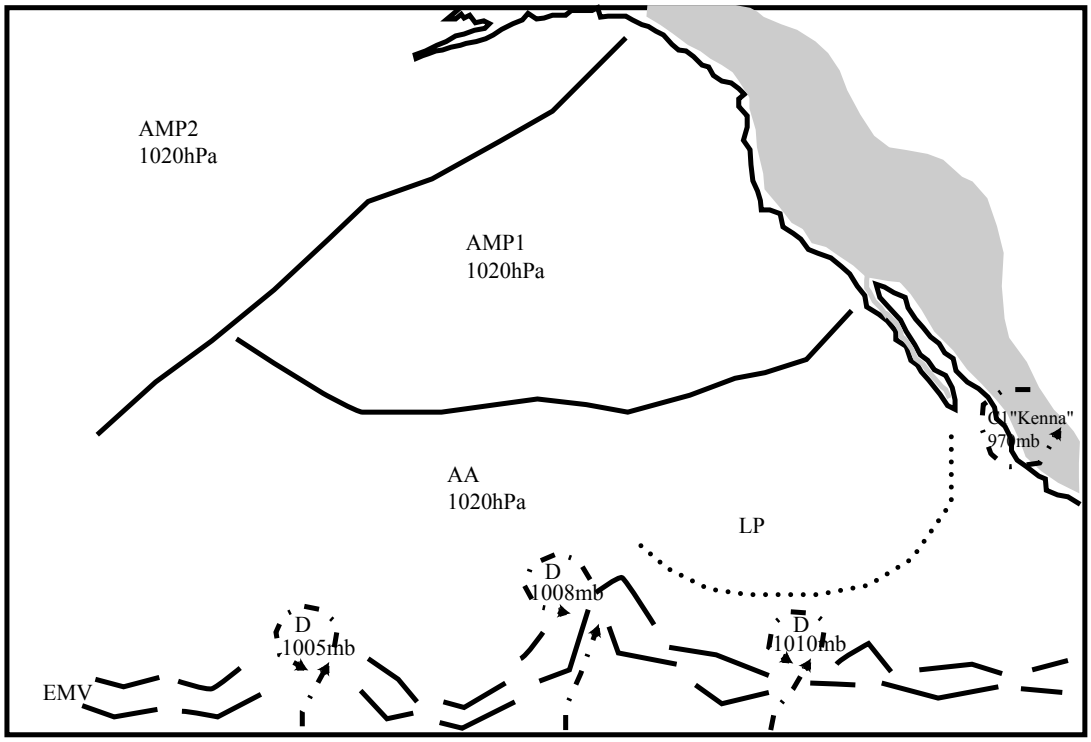
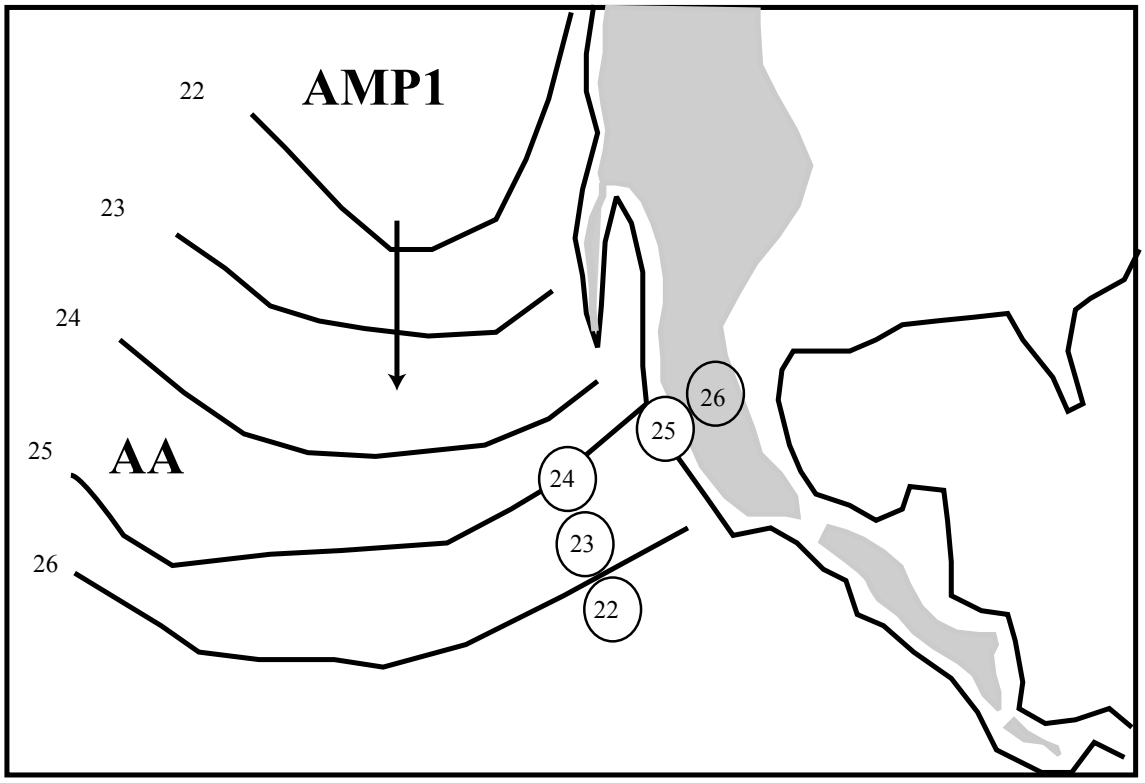


**Fig. n°160 : carte récapitulative de l'évolution de surface de l'AMP1 (AA) et trajectoire de "Kenna" du 22 au 26 octobre 2001**



km/h sont enregistrées. Nous observons des vents ayant une vitesse de 120 km/h dans un rayon de 25 kilomètres par rapport au centre du cyclone; des vents ayant une vitesse de 95 km/h dans un rayon de 35 kilomètres par rapport au centre du cyclone et des vents ayant une vitesse de 65 km/h ainsi qu'une houle de 4 mètres de hauteur dans un rayon de 130 kilomètres par rapport au centre du cyclone.

- **Commentaire de la fig. n°158 (analyse de la photo satellite du 24/10/02, ouest) :**

Nous observons un nouvel AMP (l'AMP2) au niveau des îles Aléoutiennes qui contribue au glissement vers le sud et à l'intégration de l'AMP1 et des anciens AMP dans l'AA dite « des Hawaii » comme en témoignent les LP.

Le cyclone « Kenna » s'est fortement intensifié ces dernières heures et relève de la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson (la face avant d'un ancien AMP intégré dans l'AA et le relief constituent un entonnoir, un triangle, emprisonnant le cyclone, les ascendances sont facilitées). Il se déplace vers le nord à une vitesse de 15 km/h. Des vents ayant une vitesse moyenne de 220 km/h et des rafales de 270 km/h sont enregistrés.Le centre du cyclone est situé approximativement à 525 kilomètres de Manzanillo (Mexique). Nous observons des vents ayant une vitesse de 120 km/h dans un rayon de 45 kilomètres par rapport au centre du cyclone; des vents ayant une vitesse de 95 km/h dans un rayon de 95 kilomètres par rapport au centre du cyclone et des vents ayant une vitesse de 65 km/h dans un rayon de 185 kilomètres par rapport au centre du cyclone. Une houle de 4 mètres de hauteur s'observe jusqu'à 325 kilomètres du centre du cyclone.

- **Commentaire de la fig. n°159 (analyse de la photo satellite du 25/10/02):**

Sous l'effet de la poussée anticyclonique (LP), « Kenna » a touché terre et, rapidement, ne relève plus que de la catégorie 1 de l'échelle Safir-Simpson. Dans la nuit du 25 au 26 octobre 2002, « Kenna » se dissipe.

L'AMP2 continue sa progression vers l'est-sud-est contribuant de ce fait à l'intégration de l'AMP1 dans l'AA dite « des Hawaii ». Sur la photo satellite, nous observons que la face avant de l'AMP1 se déforme et nous remarquons également, au niveau de l'EMV, des dépressions qui apparaissent.

- **Bilan de l'épisode « Kenna » (fig. n°160) :**

Du 22 au 26 octobre 2002, nous observons, sur le Pacifique du nord-est, la descente incessante, vers le sud, de puissants AMP passés par le détroit de Béring. Ces AMP, composés d'air froid, dense, incapable de s'élever, sont guidés vers le sud, le long des Montagnes Rocheuses. Ces AMP se tropicalisent peu à peu, perdent de leur puissance, ralentissent, se télescopent, s'agglutinent les uns dans les autres pour former l'AA dite « des Hawaii ».

Ces descentes d'AMP, l'extension méridionale de l'AA dite « des Hawaii » interdisent au cyclone « Kenna » de suivre la route « classique » vers l'ouest et, conduisent celui-ci à incurver sa course vers le nord-nord-est, vers les côtes mexicaines toutes proches.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

« Kenna » a touché terre près du Village de pêcheurs de San Blas (Mexique). Le cyclone relevait alors de la catégorie 4 (avec des vents ayant une vitesse de 240 km/h !) de l'échelle Saffir-Simpson. « Kenna » est le cyclone le plus puissant à toucher terre depuis un cyclone sans nom en 1959 et « Madeleine » en 1976 !

Comme le souligne James L. Franklin du « NHC » de Miami, « il y a peu d'observations quand Kenna a touché terre ».

A Tepic, Etat de Nayarit (Mexique), ville située à environ 30 kilomètres à l'intérieur du continent, la vitesse maximale du vent mesurée a été de 152 km/h et le volume total des précipitations mesuré a été de 85 millimètres.

Dans les îles Marias, situées à environ 75 kilomètres à l'est du trajet emprunté par « Kenna », l'on a relevé 35 millimètres de pluie.

Les secteurs où les précipitations totales furent les plus importantes sont l'Etat de Colima où l'on a relevé un total de 250 millimètres pendant la durée de l'épisode pluvieux et celui de Nayarit où l'on a relevé 120 millimètres.

L'onde d'ouragan, mesurée à San Blas, a eu une hauteur de 5 mètres ! A Puerto Vallarta, il n'y a pas eu de mesure mais l'on rapporte des vagues de 4 mètres de haut dans la baie ; dans ce village, 80 à 90% des habitations ont été détruites ou sérieusement endommagées ; le montant total des dégâts s'élève à 5 millions de dollars ; de grosses embarcations commerciales ont même été emportées à plus de 500 mètres de leurs ancrages !

On déplore 4 morts aux alentours du village de pêcheurs de San Blas ; 100 blessés ; 200 évacués. Ce bilan certes dramatique reste peu « conséquent » si on le compare à la violence du cyclone et cela tient surtout au fait que le secteur est « peu » peuplé (9 000 habitants à San Blas).

**« San Blas » (Mexique) après le passage de « Kenna »(cliché, AFP)**



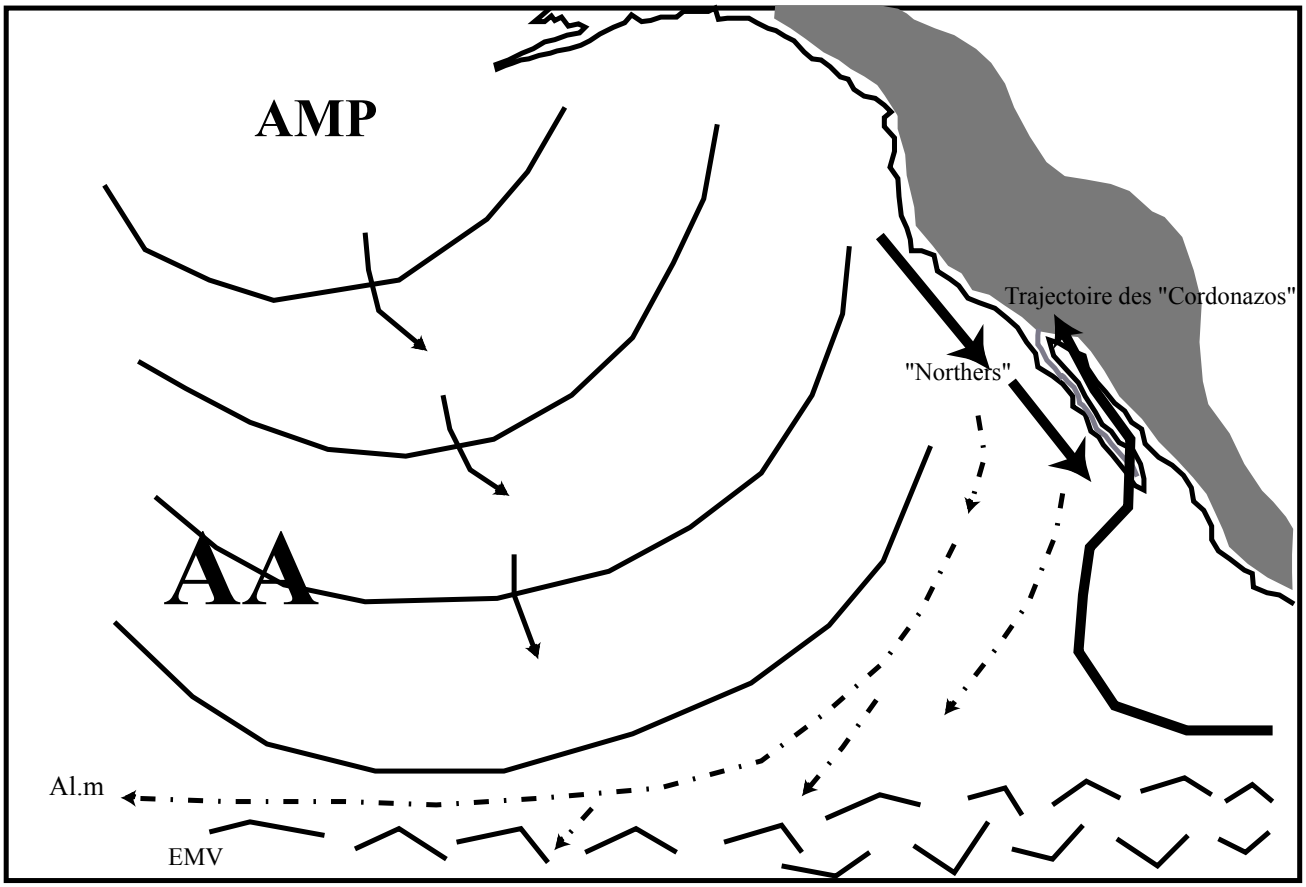
## 6) Synthèse sur les cyclones pacifiques (fig. n°161 : La dynamique propre aux « Cordonazos ») :

Nous avons analysé ici un très bel exemple de « Cordonazo » que nous pouvons rapprocher de l'étude de cas présentée ci-dessus (partie 3, chapitre 4, 3, a « Javier » étant un « Cordonazo » mais de faible intensité) ainsi que de l'étude de cas présentée ci-dessous (partie 3, chapitre 6, 3, a « Juliette » étant à la fois un cyclone transisthmique et un « Cordonazo »).

Dans l'espace du Pacifique du nord-est, les systèmes cycloniques, dont la vorticité est faible en raison de la latitude, et dont le tiers seulement atteint le stade de cyclone, s'éloignent habituellement vers l'ouest sur l'océan où ils se résorbent généralement assez vite. Les côtes de l'Amérique Centrale et du Mexique devraient être protégées. Mais les descentes de puissants AMP le long des côtes californiennes, qui d'ailleurs protègent le continent, peuvent épisodiquement provoquer ici sur leur face antérieure la déviation de ces systèmes cycloniques de courte durée, vers les côtes ouest du Mexique. Avec une fréquence de 2 à 3 « Cordonazos » par an, les côtes occidentales mexicaines (jusqu'à la Californie du Sud, les déserts Mojave et de la Sonora) sont plus exposées que les côtes orientales. Ces « Cordonazos » apportent des précipitations exceptionnelles dans ces régions désertiques.

La route « habituelle » vers l'ouest lui est interdite par la descente de l'AMP1 (puis celle de l'AMP2) qui s'intègre progressivement dans l'AA dite « des Hawaii » (AA). L'AA constitue une véritable barrière aérologique. La poussée anticyclonique (LP) le long des Montagnes Rocheuses, jusqu'à la presqu'île de Californie, s'accompagne de vents violents de secteur nord (« Northers » de Californie) qui contribuent à interdire au cyclone la route vers le nord. A l'est, les puissantes montagnes centraméricaines (Sierra Madre méridionale puis Sierra Madre occidentale) constituent une barrière orographique infranchissable. La barrière orographique à l'est, la barrière aérologique à l'ouest forment un entonnoir, un « triangle des Cordonazos » qui emprisonne le cyclone. Le cyclone « Kenna », comme les cyclones atlantiques, précédemment étudiés, en dépit de toute sa force dévastatrice, se laisse dicter sa trajectoire. Le système dépressionnaire, soumis à la force de Coriolis est naturellement dévié vers le nord-nord-est mais c'est la présence de l'AMP qui lui impose une trajectoire « anormale » vers l'est-nord-est, le long de son couloir dépressionnaire!

**Fig. n°161 : La dynamique propre aux "Cordonazos"**



# Chapitre 6 : Les cyclones transisthmiques

## 1) Introduction :

Comme nous l'avons vu, dans la première et la deuxième partie, l'isthme centraméricain ne constitue pas une barrière infranchissable. Au contraire, à certains endroits, la communication entre l'espace atlantique et l'espace pacifique est facilitée par l'abaissement du relief. Les cyclones transisthmiques constituent sans doute l'illustration la plus spectaculaire de cet état de fait. Les cyclones qui traversent d'un bassin cyclonique à l'autre sont considérés comme étant rares ; mais dans quelle mesure ? Comment expliquer le fait que le cyclone ne suive pas une trajectoire habituelle vers le nord-nord-est et franchisse l'isthme ?

## 2) Bilan bibliographique :

Lamarre (1991) s'intéresse aux cyclones qui traversent l'isthme centraméricain. Les cyclones transisthmiques sont rares, « quatre cas entre 1971 et 1990 » (Lamarre, 1991). « Deux passages sont empruntés par les cyclones transisthmiques : celui du nord (Belize, Guatemala) et celui du sud (Nicaragua). L'orientation est-ouest et surtout la latitude trop basse de l'isthme de Panama n'y autorise pas la venue des cyclones. En revanche, l'isthme du Nicaragua se présente comme un couloir ouvert au passage des cyclones caraïbes les plus méridionaux ; en outre, un bon tiers du parcours se fait sur une surface lacustre chaude, ce qui réduit l'amortissement continental du système cyclonique » (Lamarre, 1991). L'abaissement du relief est-il le seul responsable de la traversée des systèmes cycloniques d'un espace vers l'autre ?

De nombreuses études américaines traitent du sujet ; le travail de Stephen Caparotta, D. Walston, Steven Young and Gary Padgett (2004) qui ont étudié les cyclones transisthmiques, synthétise le tout. Selon ces auteurs qui se contentent de constater les franchissements de l'isthme sans les expliquer, pour être pris en considération, le cyclone tropical doit, au moins, avoir atteint le stade de tempête tropicale dans les deux bassins. Leurs constations seront reprises dans notre bilan mais comment expliquer de manière rationnelle ces franchissements de l'isthme ?

## 3) Etudes de cas de cyclones transisthmiques :

### a) Etude de cas n°1 : la DT n°9 (du 19 au 20/9/2001) puis le cyclone/*Cordonazo* « Juliette » (du 21/9 au 3/10/2001) :

- **Introduction :**

Selon J. Beven (« NHC » de Miami), dans son rapport (« Tropical Cyclone Report ») du 24/10/01, une « onde tropicale » africaine, apparue le 11/9 au large de l'Afrique de l'ouest, après avoir traversé l'océan Atlantique, après avoir atteint la mer des Caraïbes le 16/9, après s'être déplacée sur le sud-ouest des Caraïbes le 19/9, aurait entraîné un développement de la convection dans ce secteur. La dépression tropicale (DT) n°9 prend officiellement naissance le 19/9/2001 à 18h00 T.U, à environ 93 kilomètres de l'île de « San Andres » (Colombie). La DT n°9 va se déplacer vers l'ouest-nord-ouest à une vitesse de 32 km/h et toucher terre le 20/9/2001, à 00h00 T.U près de « Puerto Cabezas » (Nicaragua). Le système dépressionnaire continue son déplacement vers l'ouest-nord-ouest pour se « dissiper » partiellement sur les montagnes centraméricaines dans la soirée du 20/9/2001.

Comment expliquer le franchissement de l'isthme ?

Selon M. B. Lauwrence et M. Mainelli du « NHC » de Miami, dans leur rapport (« Tropical Cyclone Report ») du 30/11/01, l' « onde tropicale » qui est à l'origine de la DT n°9, après avoir traversé l'isthme, est à l'origine de l'apparition de « Juliette » sur l'océan Pacifique, le 21/9/2001. Le cyclone « Juliette » (catégorie 4 sur l'échelle de Saffir-Simpson) prend naissance à proximité des côtes centraméricaines (à environ 166 kilomètres au sud de la côte du Guartemala). « Juliette » va, dans un premier temps (du 21 au 26/9/2001), suivre un déplacement « classique », vers l'ouest-nord-ouest, longeant la côte mexicaine. « Juliette » va rapidement s'intensifier (atteignant le stade de cyclone le 23/9/2001). Le 26/9/2001, « Juliette » va progressivement tourner vers le nord tout en s'affaiblissant pour toucher terre le 30/9/2001 près de « San Carlos », sur la côte ouest de Basse Californie (Mexique). « Juliette » va par la suite remonter le Golfe de Californie en tant que simple dépression pour finalement se résorber le 3/10/2001 au nord du Golfe de Californie. M. B. Lauwrence et M. Mainelli, pour expliquer ce brusque changement de direction, invoquent la présence et le creusement, le 26/9, d'une forte dépression sur l'ouest de la côte ouest des Etats-Unis. Une dépression peut-elle « se » creuser toute seule ? Quelle est la cause réelle ?

**Tableau n°17 : historique de l'évolution de la dépression tropicale n°9 (du 19 au 20/9/01)**

| Date : Heure : (T.U) | Position : | | Pression : (mb) | Vitesse du vent : (km/h) | Catégorie : |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **19 / 1800** | 13.4 | 81.9 | 1008 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 20 / 0000 | 13.9 | 83.5 | 1006 | 60 | " |
| 20 / 0600 | 14.5 | 85.1 | 1008 | 50 | " |
| **20 / 1200** | | | | | **résorbée** |
| **19 / 2100** | 13.6 | 82.7 | **1005** | 60 | **minimum de pression** |
| **20/0000** | 13.9 | 83.5 | 1006 | 60 | **Touche terre à Puerto Cabezas, Nicaragua** |

**Tableau n°18 : historique de l'évolution du cyclone « Juliette » (du 21/9/01 au 3/10/01)**

| Date : Heure : (T.U) | Position : | | Pression : (mb) | Vitesse du vent : (km/h) | Catégorie : |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **21 / 0600** | 12.6 | 91.1 | 1007 | 60 | **Dépression tropicale** |
| **21 / 1200** | 13.0 | 92.8 | 1005 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 21 / 1800 | 13.5 | 94.3 | 997 | 70 | " |
| 22 / 0000 | 13.6 | 95.8 | 996 | 80 | " |
| 22 / 0600 | 13.6 | 97.3 | 996 | 90 | " |
| 22 / 1200 | 13.5 | 98.5 | 995 | 90 | " |
| 22 / 1800 | 13.5 | 99.7 | 994 | 90 | " |
| 23 / 0000 | 14.2 | 100.4 | 992 | 100 | " |
| 23 / 0600 | 14.6 | 101.3 | 986 | 110 | " |
| **23 / 1200** | 14.8 | 102.2 | 976 | 130 | **Cyclone 1 (à 15h00 T.U)** |
| **23 / 1800** | 14.9 | 102.8 | 960 | 170 | **Cyclone 3 (le 23/09/01 à 21h00 T.U)** |
| **24 / 0000** | 14.8 | 103.3 | 941 | 220 | **Cyclone 4 ( à 03h00 T.U)** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 24 / 0600 | 15.0 | 103.5 | 941 | 230 | " |
| 24 / 1200 | 15.1 | 103.8 | 952 | 200 | " |
| **24 / 1800** | 15.2 | 104.1 | 957 | 180 | **Cyclone 3 (Cyclone 2 à 21h00 T.U)** |
| **25 / 0000** | 15.4 | 104.7 | 941 | 230 | **Cyclone 3 (à 03h00 T.U)** |
| **25 / 0600** | 15.9 | 105.3 | 935 | 250 | **Cyclone 4 (à 09h00 T.U)** |
| 25 / 1200 | 16.2 | 106.2 | 928 | 250 | " |
| **25 / 1800** | 16.4 | 107.2 | **923** | 250 | " |
| 26 / 0000 | 16.8 | 107.9 | 925 | 250 | " |
| 26 / 0600 | 17.5 | 108.6 | 930 | 230 | " |
| 26 / 1200 | 18.2 | 109.1 | 935 | 210 | " |
| **26 / 1800** | 18.8 | 109.8 | 940 | 200 | **Cyclone 3** |
| **27 / 0000** | 19.4 | 110.3 | 942 | 190 | **Cyclone 2 (à 03h00 T.U)** |
| 27 / 0600 | 20.1 | 110.5 | 949 | 180 | " |
| 27 / 1200 | 20.7 | 110.8 | 955 | 170 | " |
| **27 / 1800** | 21.4 | 110.7 | 961 | 160 | **Cyclone 1 (à 21h00 T.U)** |
| 28 / 0000 | 22.3 | 110.7 | 968 | 160 | " |
| 28 / 0600 | 22.8 | 111.0 | 971 | 150 | " |
| 28 / 1200 | 23.0 | 111.1 | 981 | 140 | " |
| **28 / 1800** | 23.2 | 111.1 | 987 | 120 | **Tempête tropicale (à 21h00 T.U)** |
| **29 / 0000** | 23.4 | 111.2 | 987 | 120 | **Cyclone 1 (à 03h00 T.U)** |
| 29 / 0600 | 23.6 | 111.3 | 983 | 120 | " |
| **29 / 1200** | 23.8 | 111.5 | 985 | 130 | **Tempête tropicale (à 15h00 T.U)** |
| 29 / 1800 | 24.0 | 111.7 | 990 | 90 | " |
| 30 / 0000 | 25.0 | 112.0 | 1000 | 70 | " |
| **30 / 0600** | 26.1 | 111.8 | 1003 | 60 | **Dépression tropicale (à 09h00 T.U)** |
| 30 / 1200 | 27.1 | 111.8 | 1005 | 60 | " |
| 30 / 1800 | 28.2 | 112.0 | 1005 | 60 | " |
| 01 / 0000 | 28.7 | 112.2 | 1005 | 50 | " |
| 01 / 0600 | 29.2 | 112.5 | 1006 | 50 | " |
| 01 / 1200 | 29.7 | 112.7 | 1006 | 50 | " |
| 01 / 1800 | 30.2 | 113.1 | 1006 | 60 | " |
| 02 / 0000 | 30.4 | 113.3 | 1006 | 60 | " |
| 02 / 0600 | 30.6 | 113.6 | 1006 | 60 | " |
| 02 / 1200 | 30.5 | 113.8 | 1006 | 60 | " |
| 02 / 1800 | 30.4 | 114.4 | 1007 | 60 | " |
| 03 / 0000 | 30.2 | 114.6 | 1008 | 50 | " |
| **03 / 0600** | | | | | **Résorbé** |
| **30 / 0000** | 25.0 | 112.0 | 1000 | 70 | **Touche terre à San Carlos, Mexico, Basse Californie** |
| **25 / 1800** | 16.4 | 107.2 | **923** | 250 | **Minimum de pression** |

- **<u>Etude pas à pas de la dépression tropicale n°9 et du cyclone/ « Cordonazo » « Juliette » :</u>**

- **<u>Commentaire de la fig. n°162 (analyse de la photo satellite du 19/9/01, E) :</u>**

La dépression tropicale (DT) n°9 prend naissance, approximativement à 90 kilomètres au nord-nord-ouest de l'île de San Andres (Colombie). Le système dépressionnaire se déplace vers l'ouest-nord-ouest à une vitesse de 32 km/h. La DT n°9 dispose d'une excellente

alimentation. En effet, au sud de l'agglutination anticyclonique (AA) dite des « Açores », les flux d'alizé maritime de type 2 (Al.m), chauds et humides, se dirigent vers la mer des Caraïbes et le Golfe du Mexique. Sur l'océan Pacifique, à proximité des côtes centraméricaines, nous

**Photo satellite n°146 : GOES 8, est, vis, le 19/9/2001, 18h15 T.U**

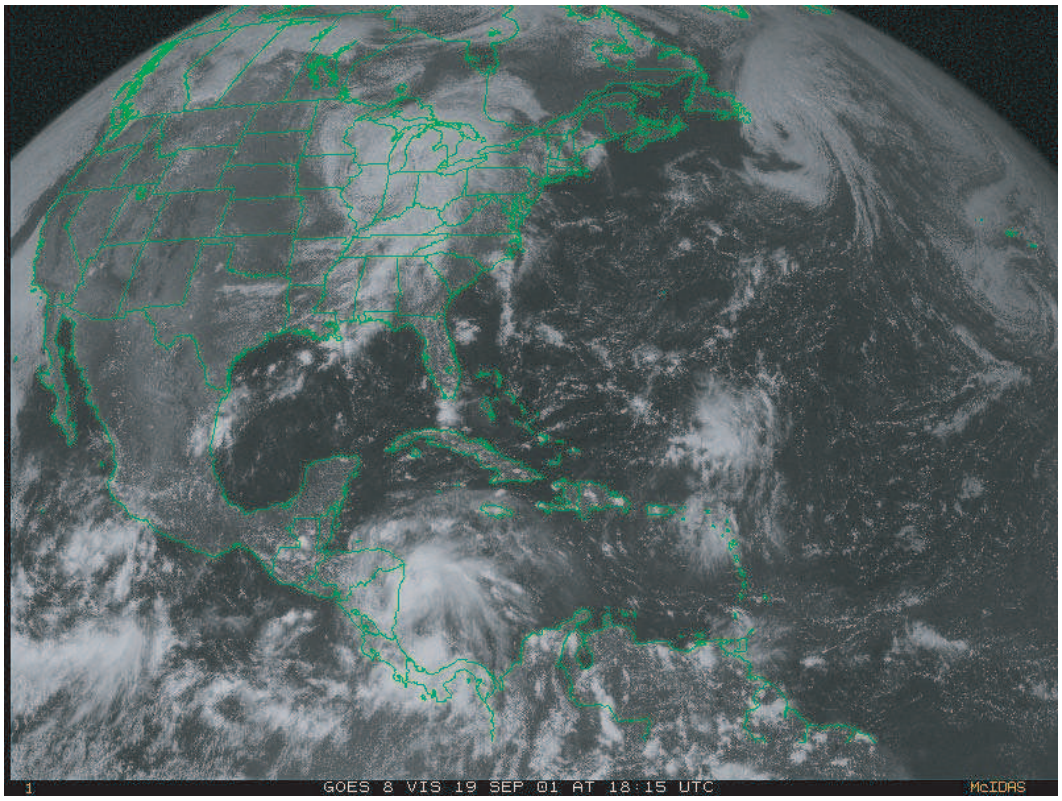



**Figure n°162 : Analyse de la photo satellite du 19/9/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

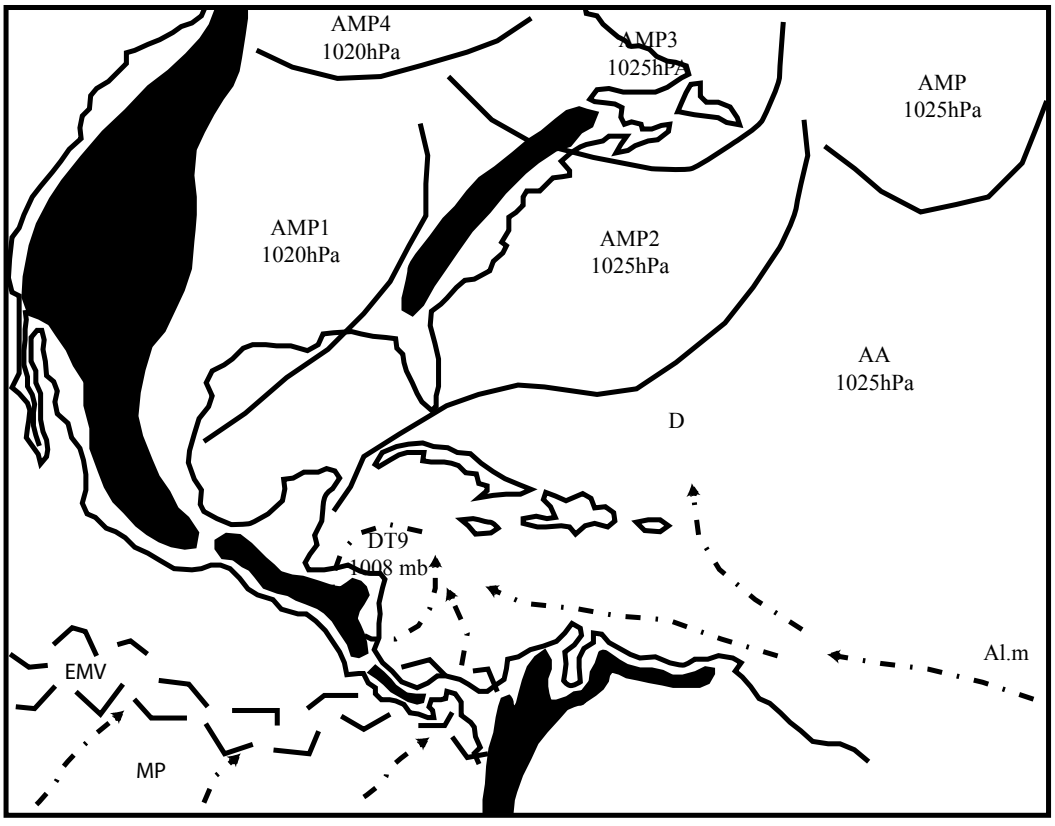


**Photo satellite n°147 : GOES 8, est, vis, le 20/9/2001, 18h15 T.U**

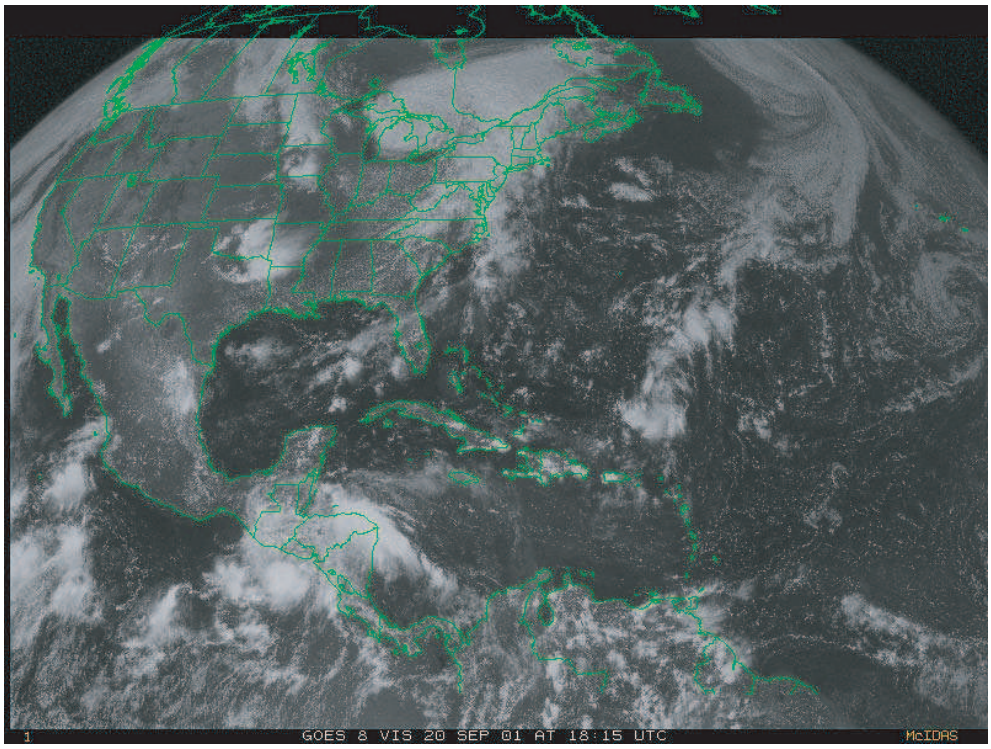



**Photo satellite n°148 : GOES 10, ouest, vis, le 20/9/2001, 18h30 T.U**

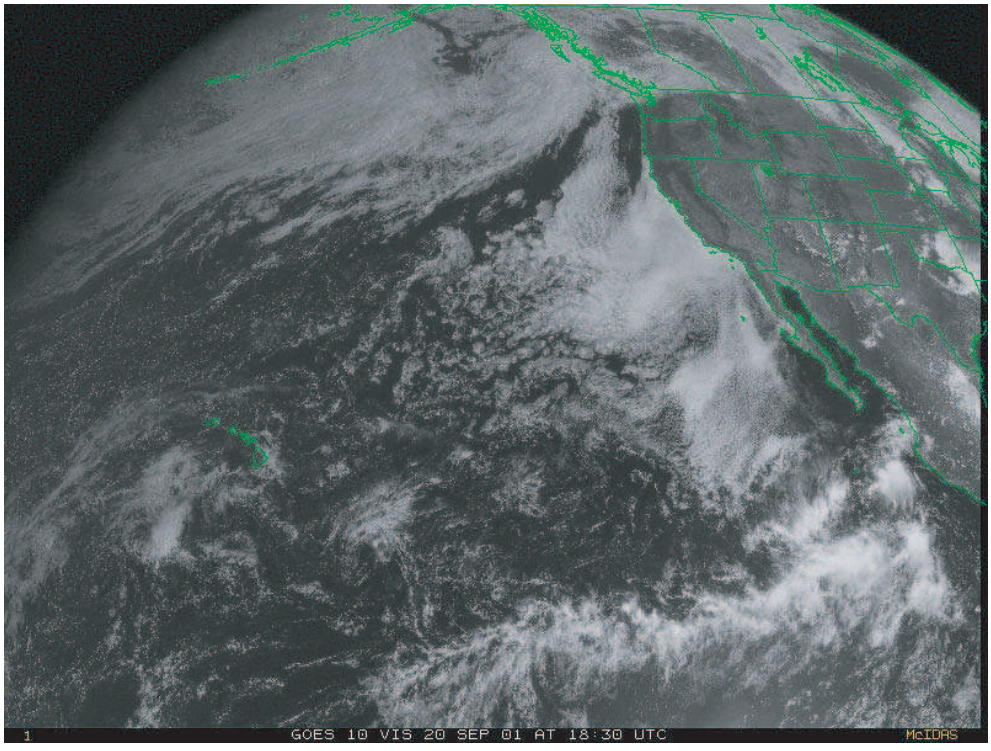


**Figure n°163 : Analyse de la photo satellite du 20/9/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

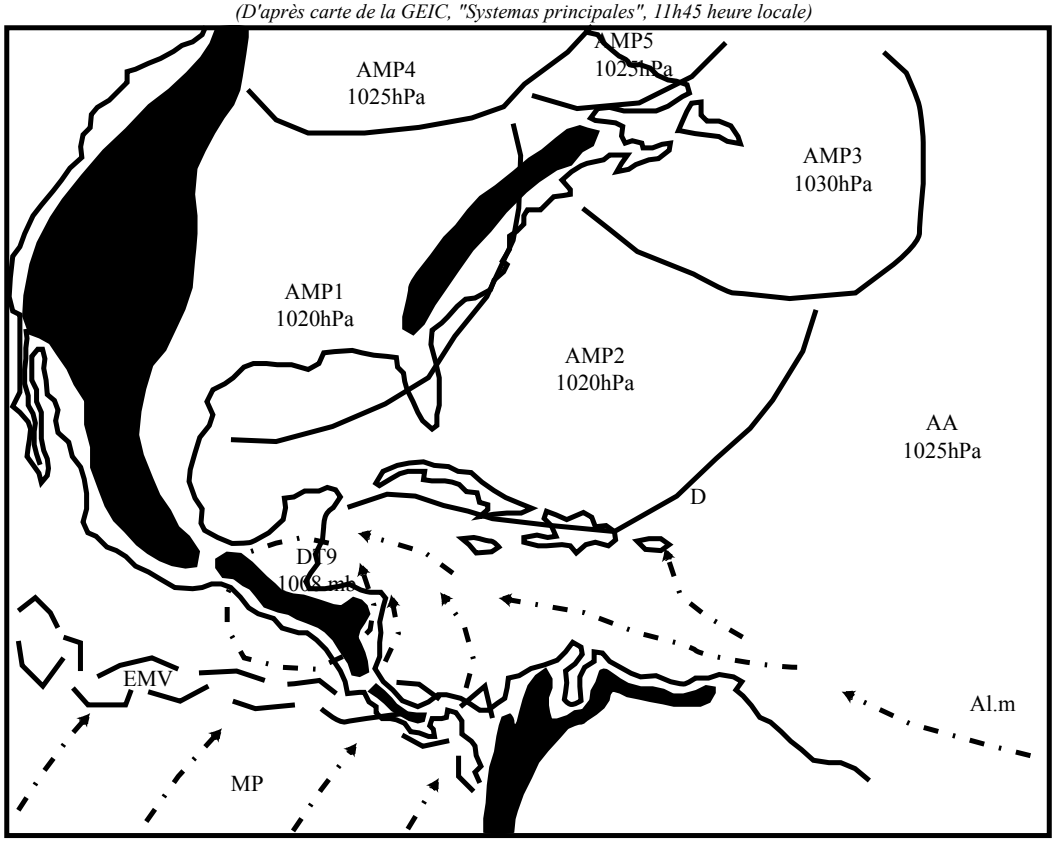



**Figure n°164 : Analyse de la photo satellite du 20/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

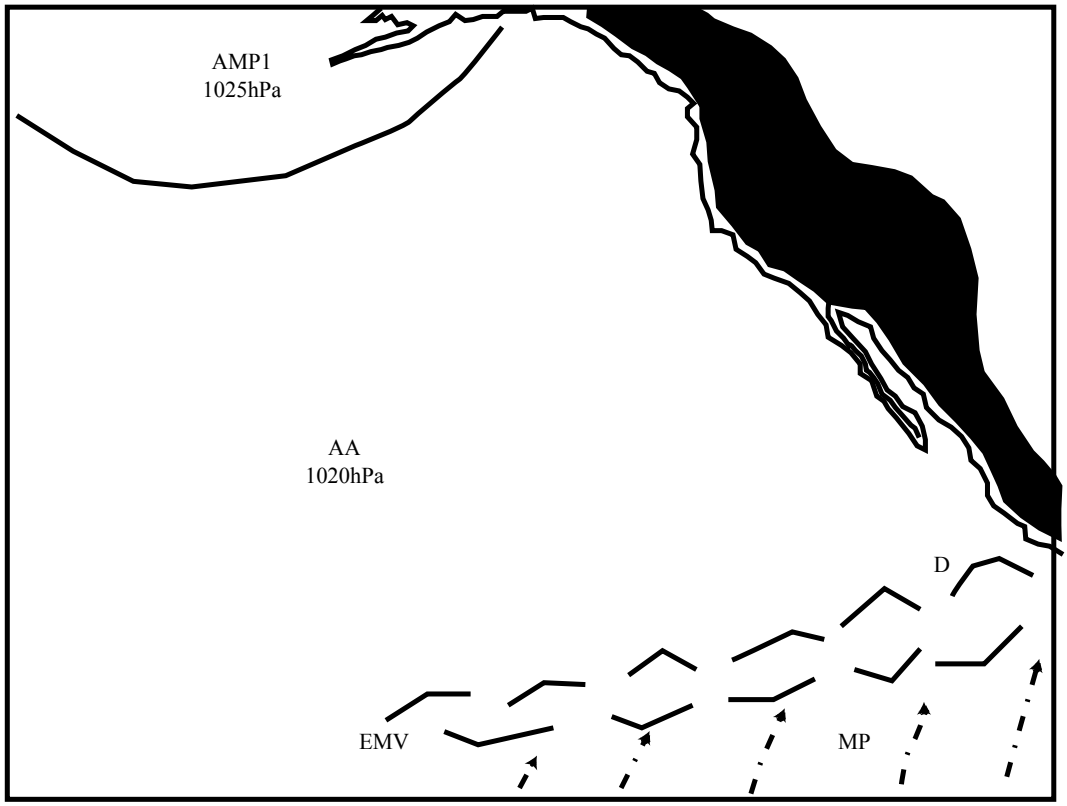


**Photo satellite n°149 : GOES 8, est, vis, le 21/9/2001, 18h15 T.U**

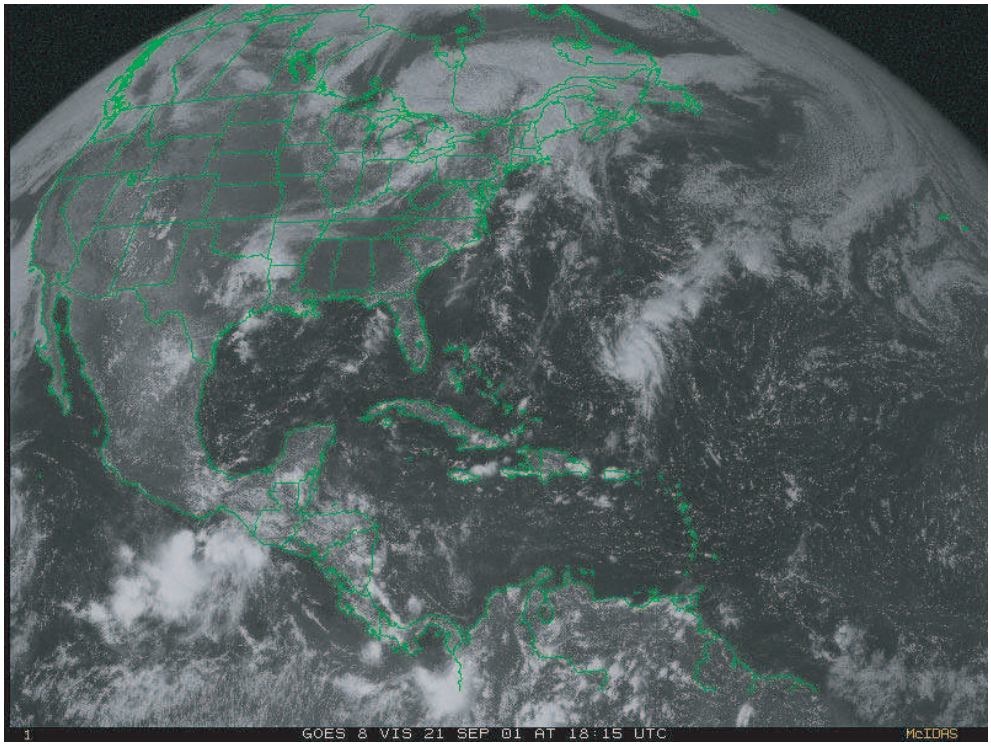



**Photo satellite n°150 : GOES 10, ouest, vis, le 21/9/2001, 18h30 T.U**

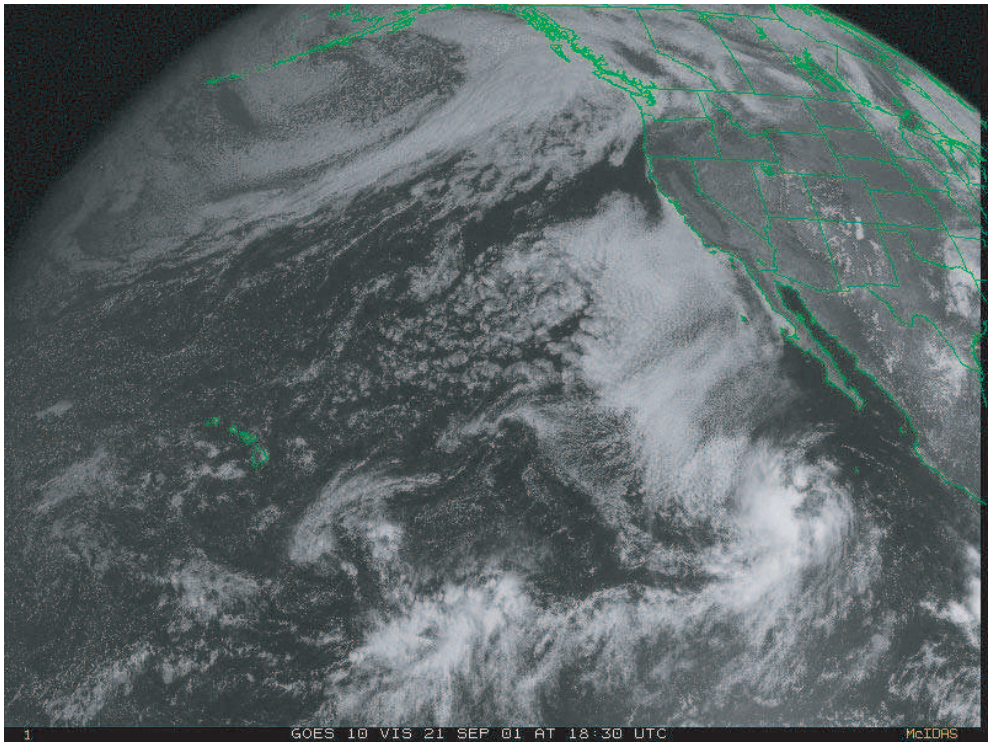


**Figure n°165 : Analyse de la photo satellite du 21/9/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

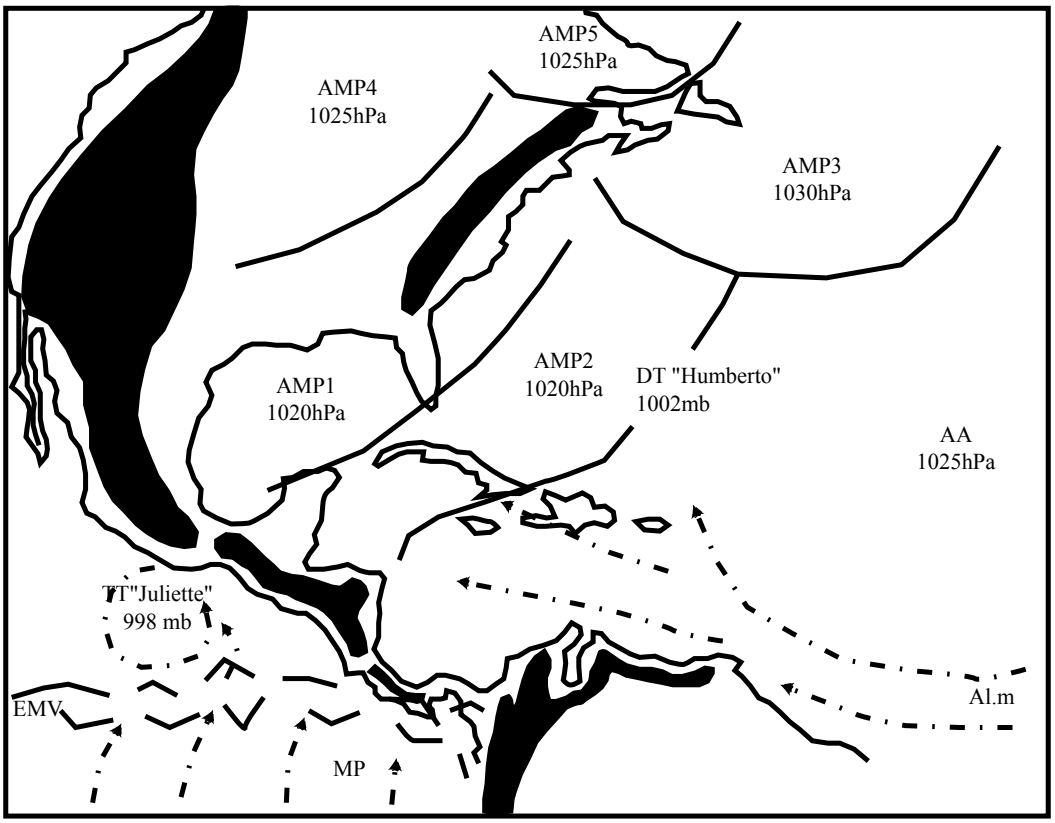



**Figure n°166 : Analyse de la photo satellite du 21/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

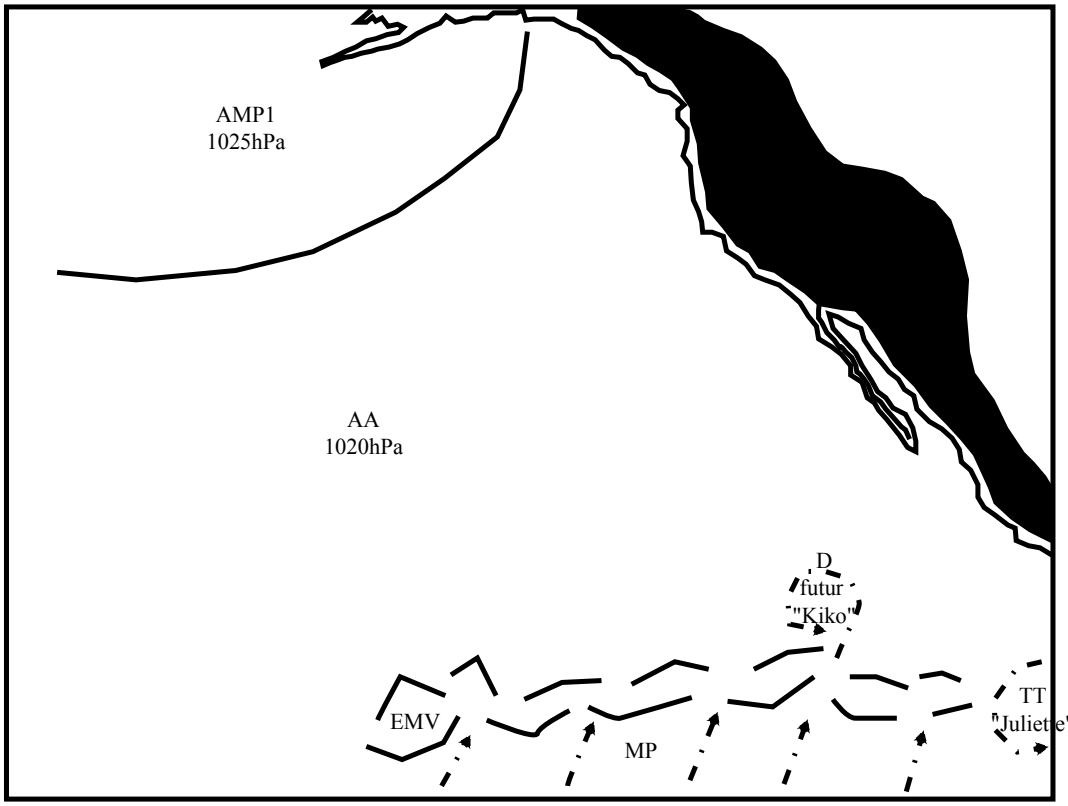


**Photo satellite n°151 : GOES 8, est, vis, le 22/9/2001, 18h15 T.U**

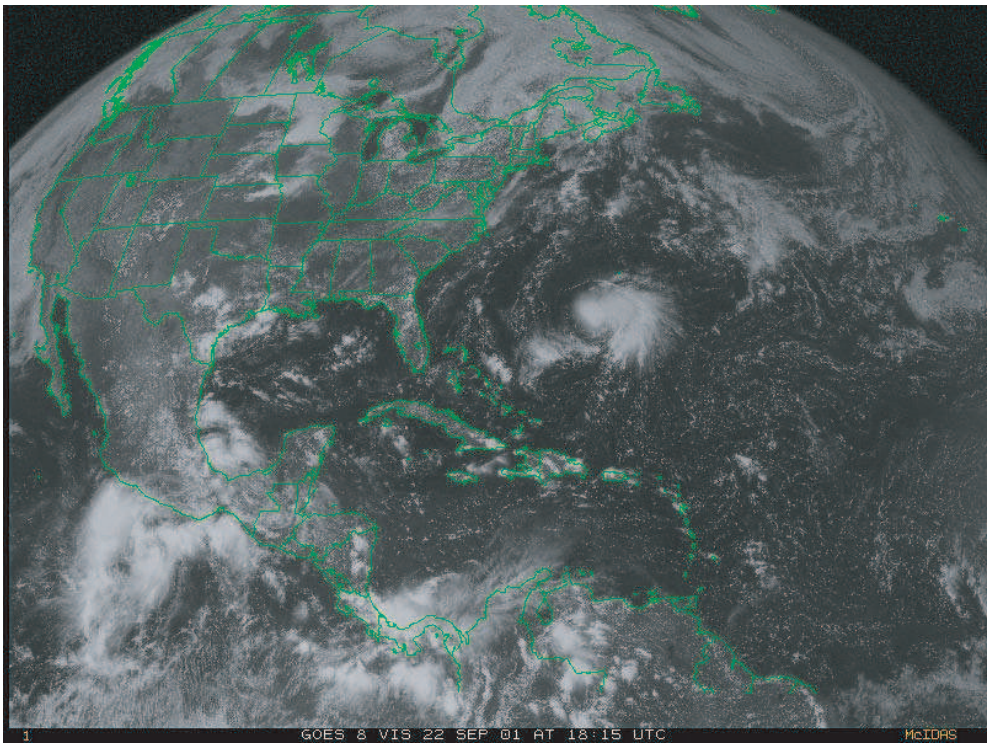



**Photo satellite n°152 : GOES 10, ouest, vis, le 22/9/2001, 18h30 T.U**

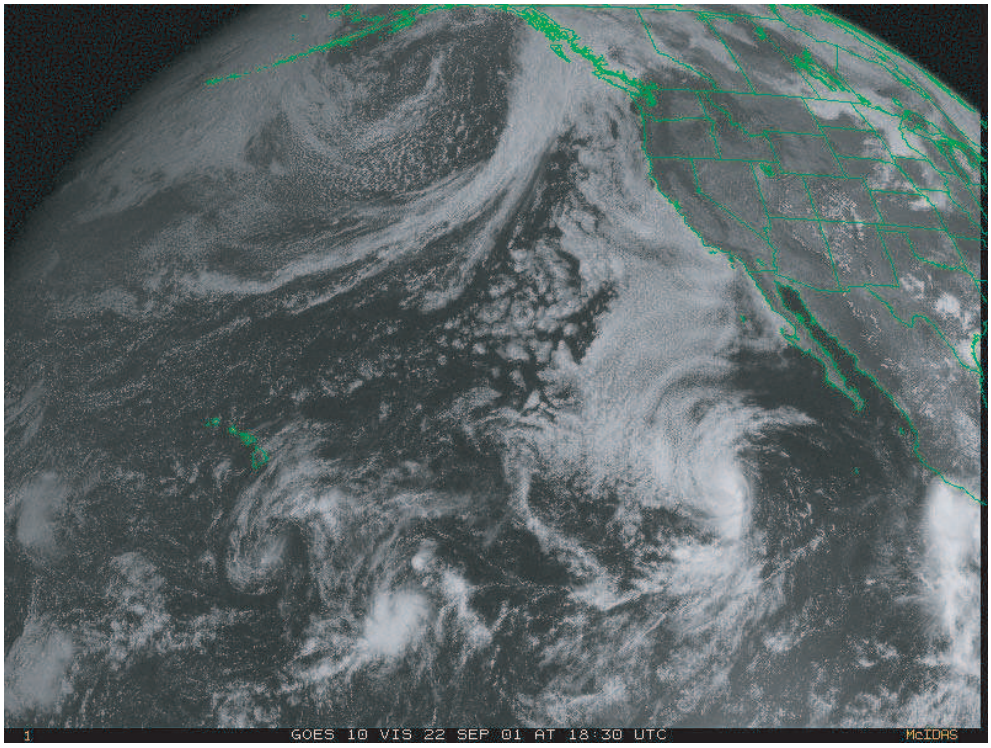


**Figure n°167 : Analyse de la photo satellite du 22/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

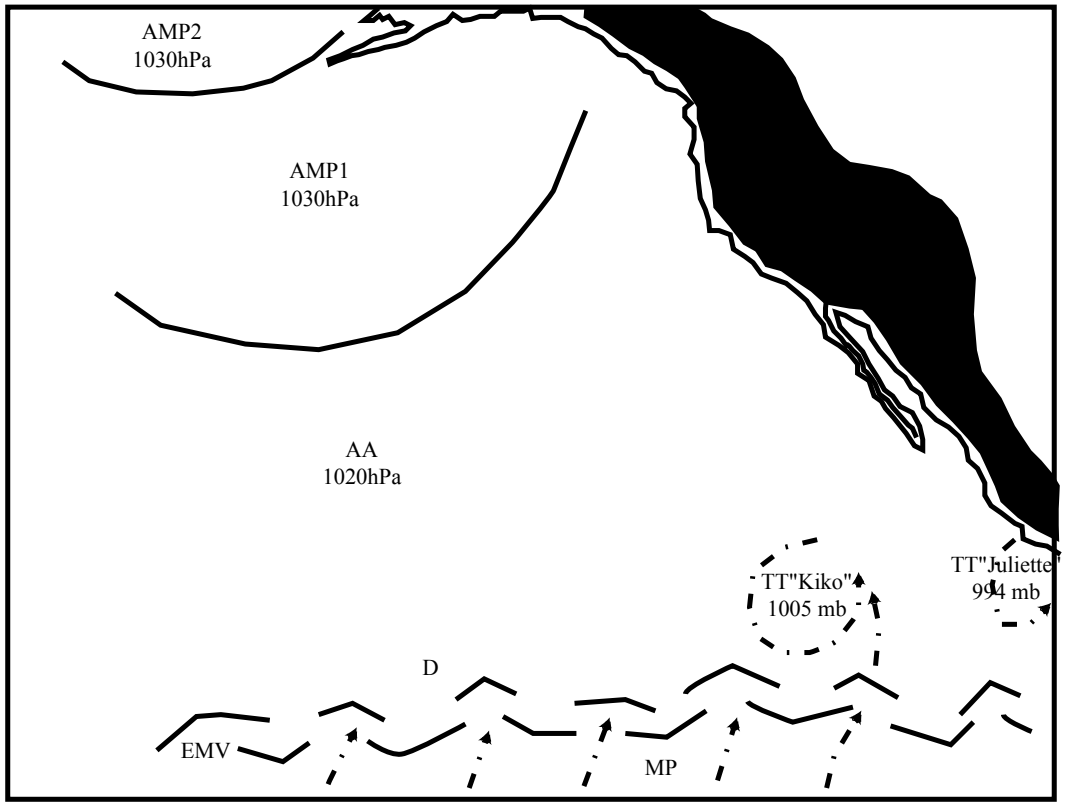



**Figure n°168 : Analyse de la photo satellite du 23/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

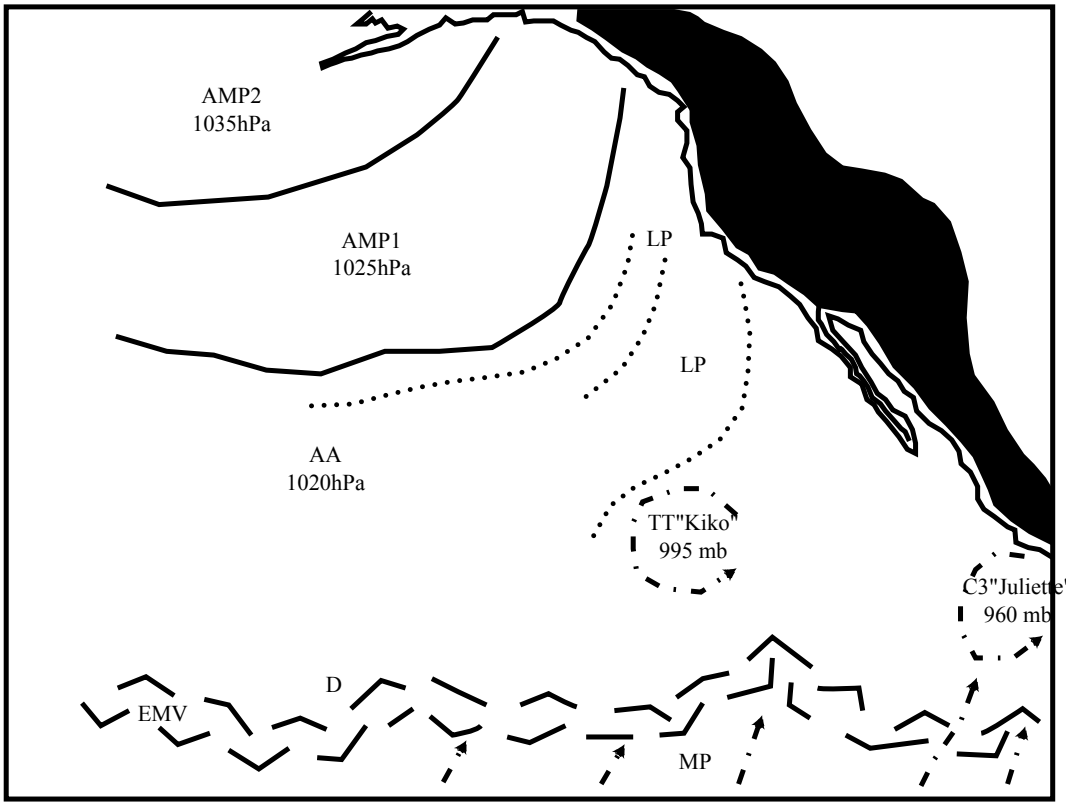


**Photo satellite n°153 : GOES 8, est, vis, le 23/9/2001, 18h15 T.U**

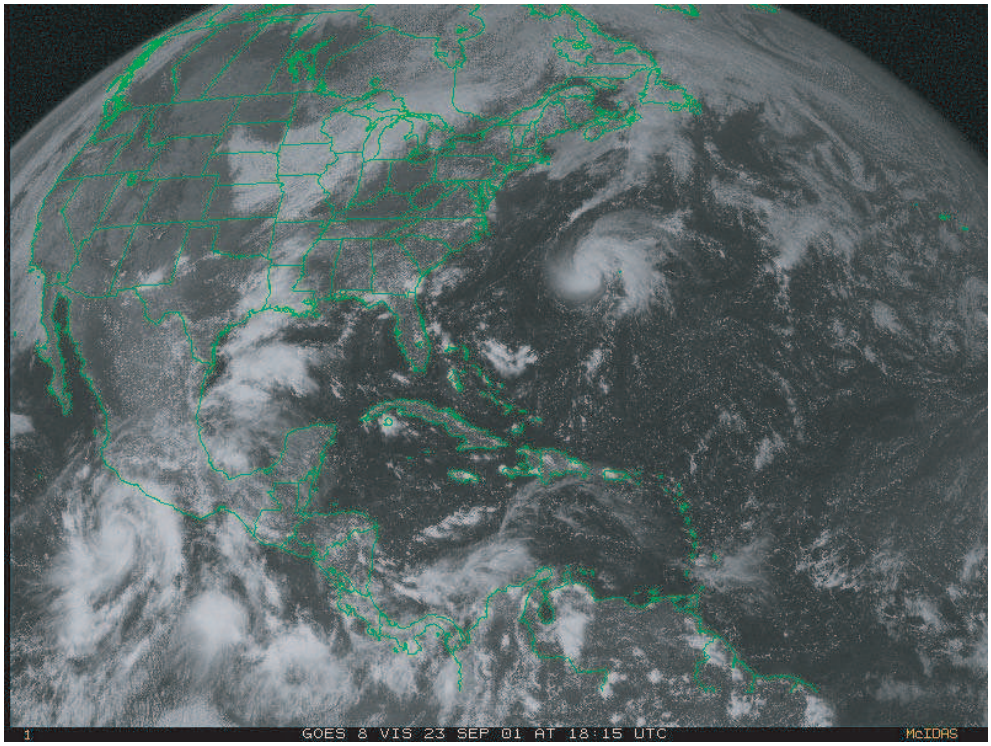



**Photo satellite n°154 : GOES 10, ouest, vis, le 23/9/2001, 18h30 T.U**

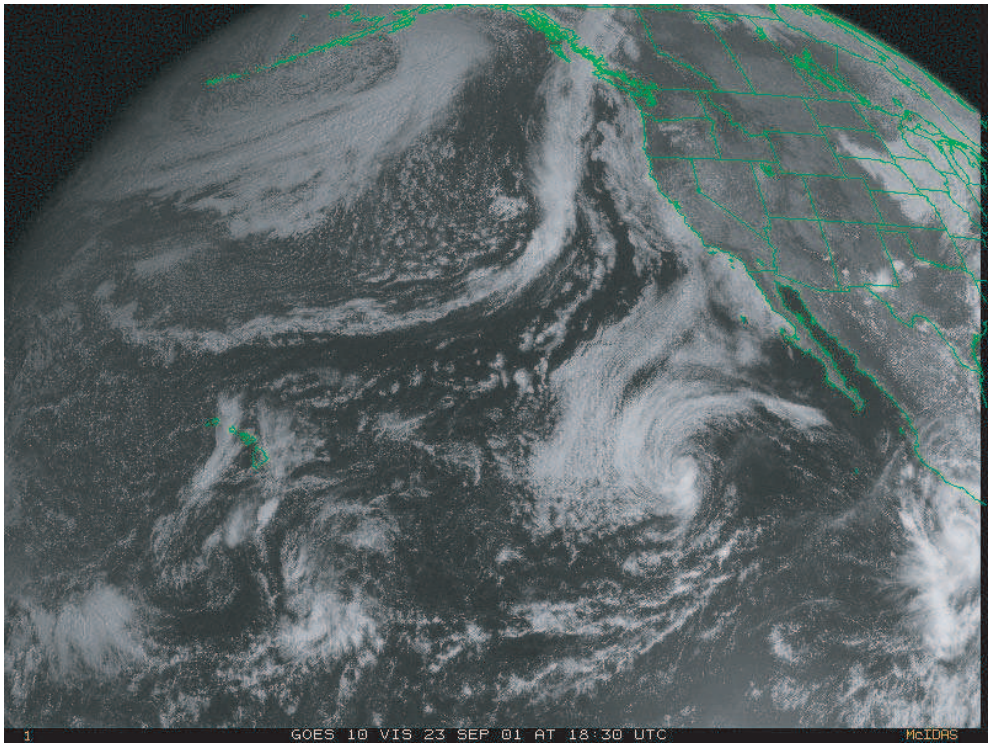


**Photo satellite n°155 : GOES 8, est, vis, le 24/9/2001, 18h15 T.U**

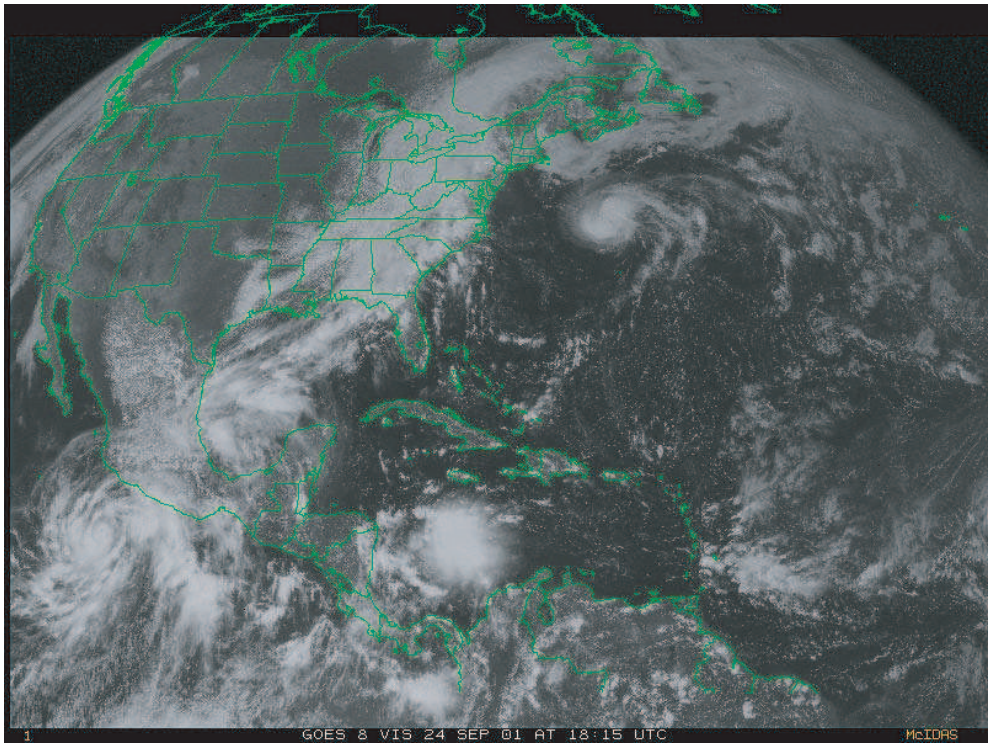



**Photo satellite n°156 : GOES 10, ouest, vis, le 24/9/2001, 18h30 T.U**

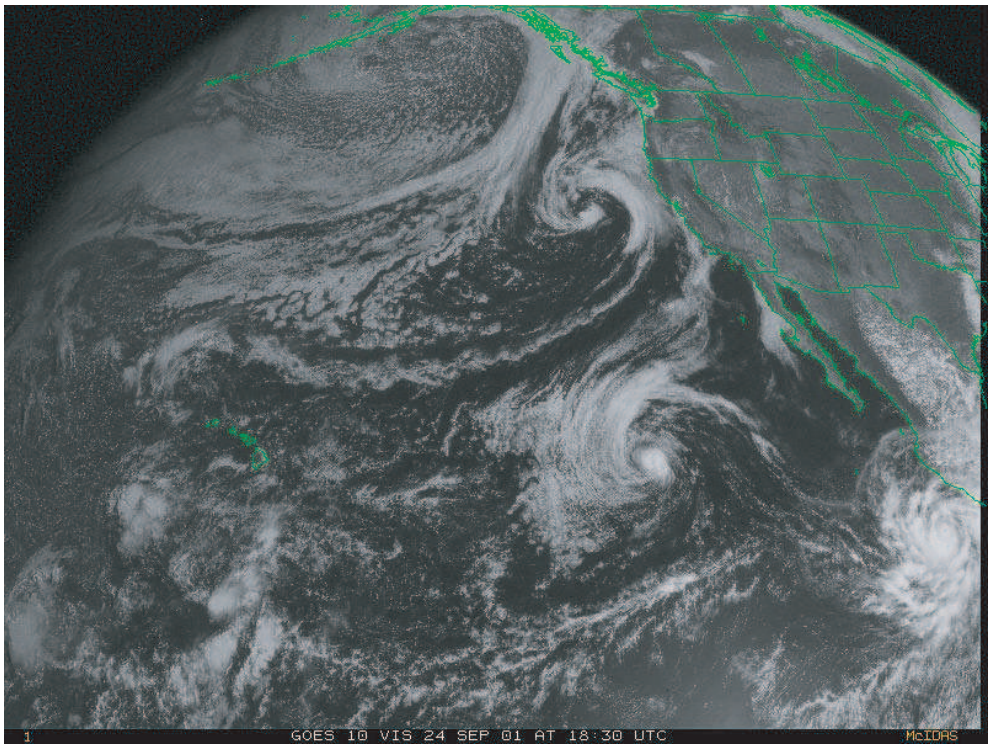


**Figure n°169 : Analyse de la photo satellite du 24/09/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

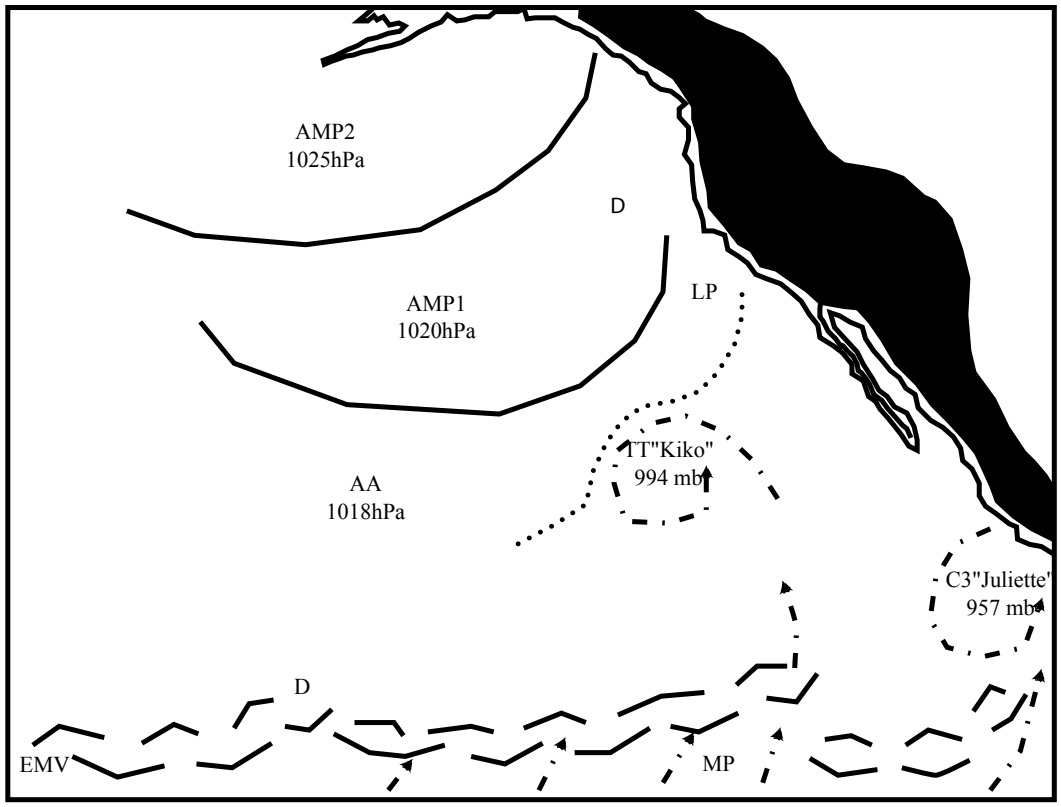



**Figure n°170 : Analyse de la photo satellite du 25/09/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

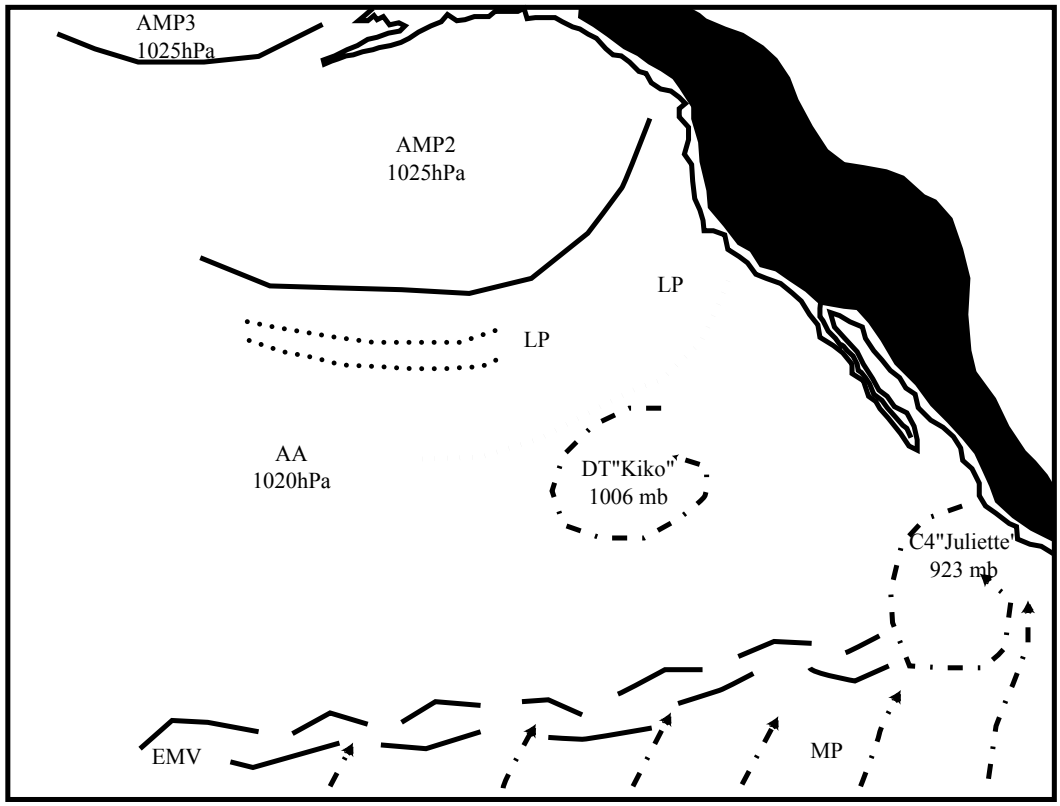


**Photo satellite n°157 : GOES 8, est, vis, le 25/9/2001, 18h15 T.U**

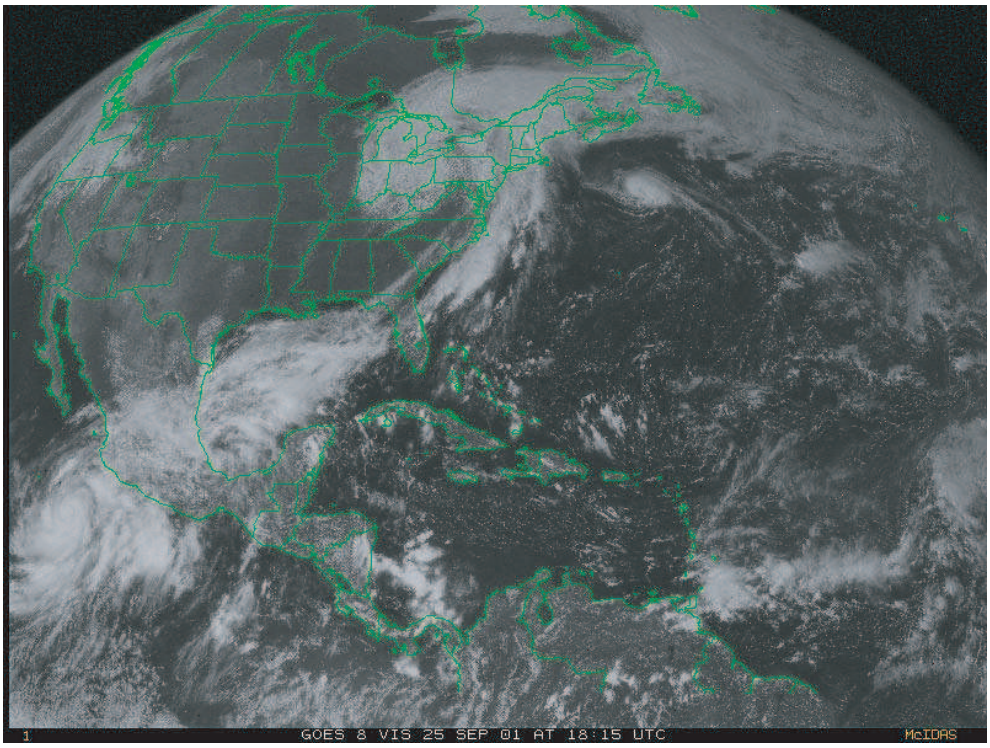



**Photo satellite n°158 : GOES 10, ouest, vis, le 25/9/2001, 18h30 T.U**

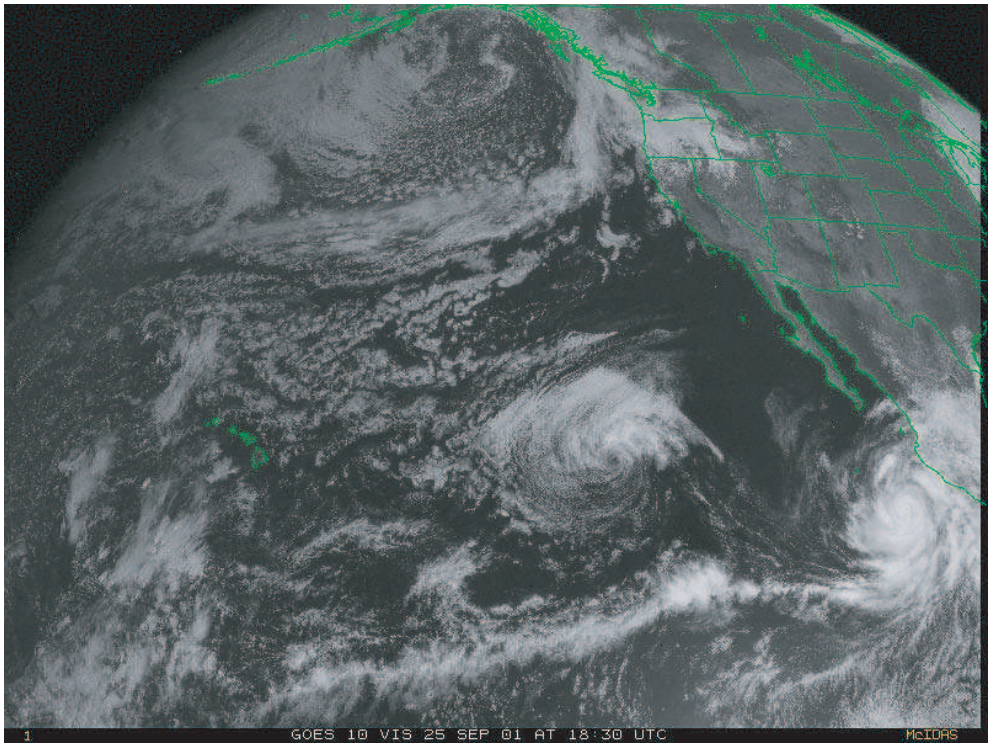


**Photo satellite n°159 : GOES 8, est, vis, le 26/9/2001, 18h15 T.U**

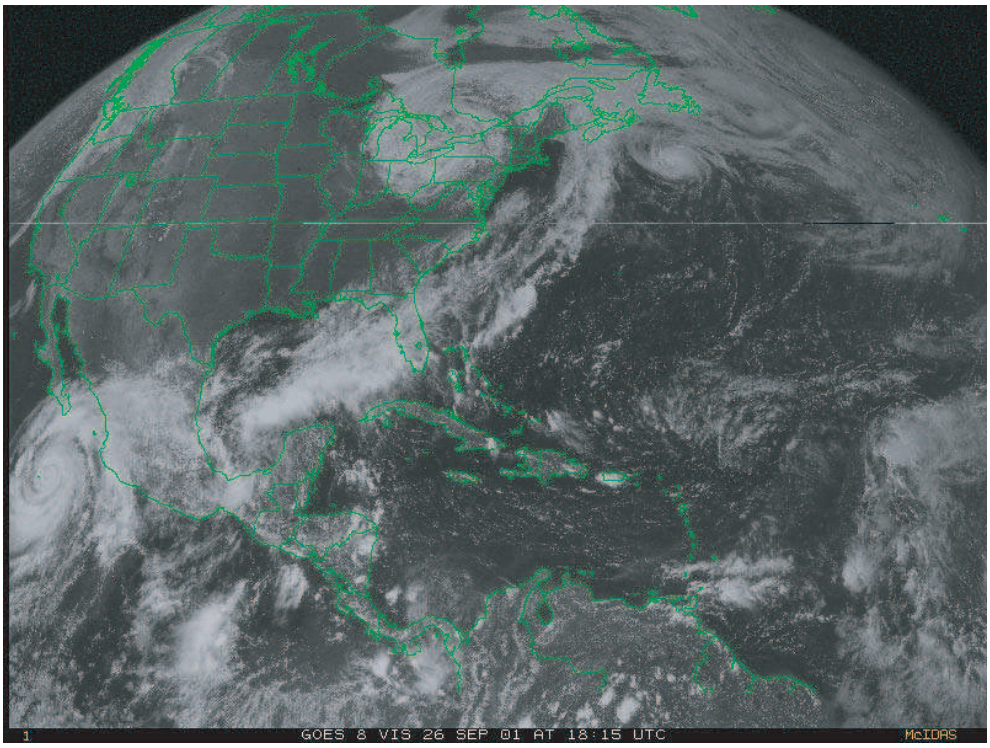



**Photo satellite n°160 : GOES 10, ouest, vis, le 26/9/2001, 18h30 T.U**

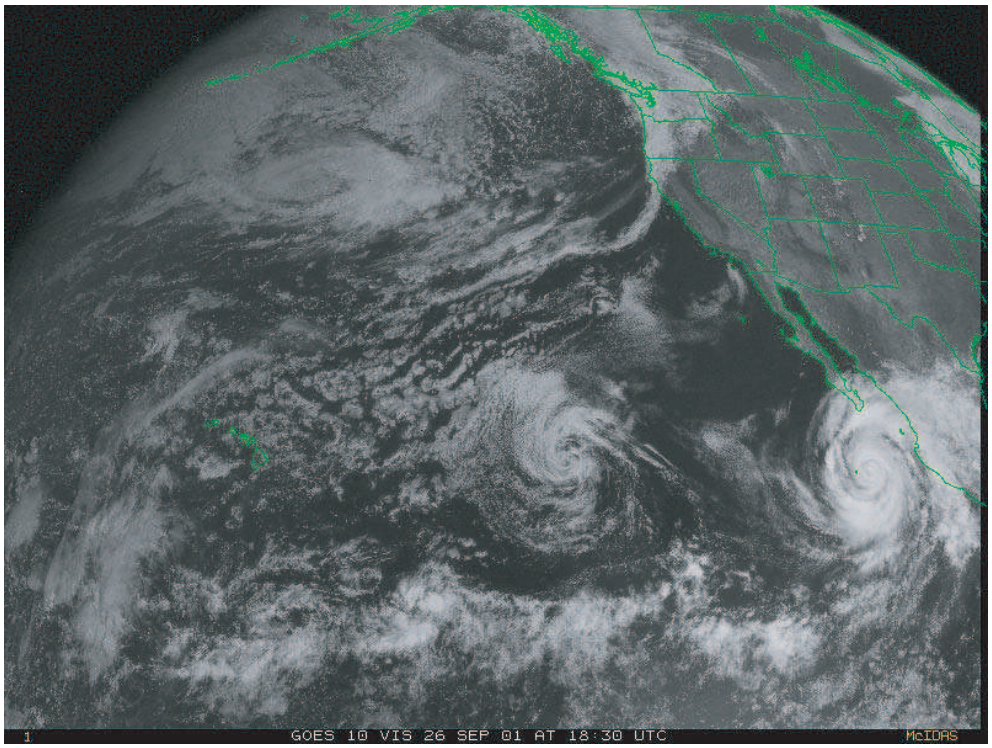


**Figure n°171 : Analyse de la photo satellite du 26/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

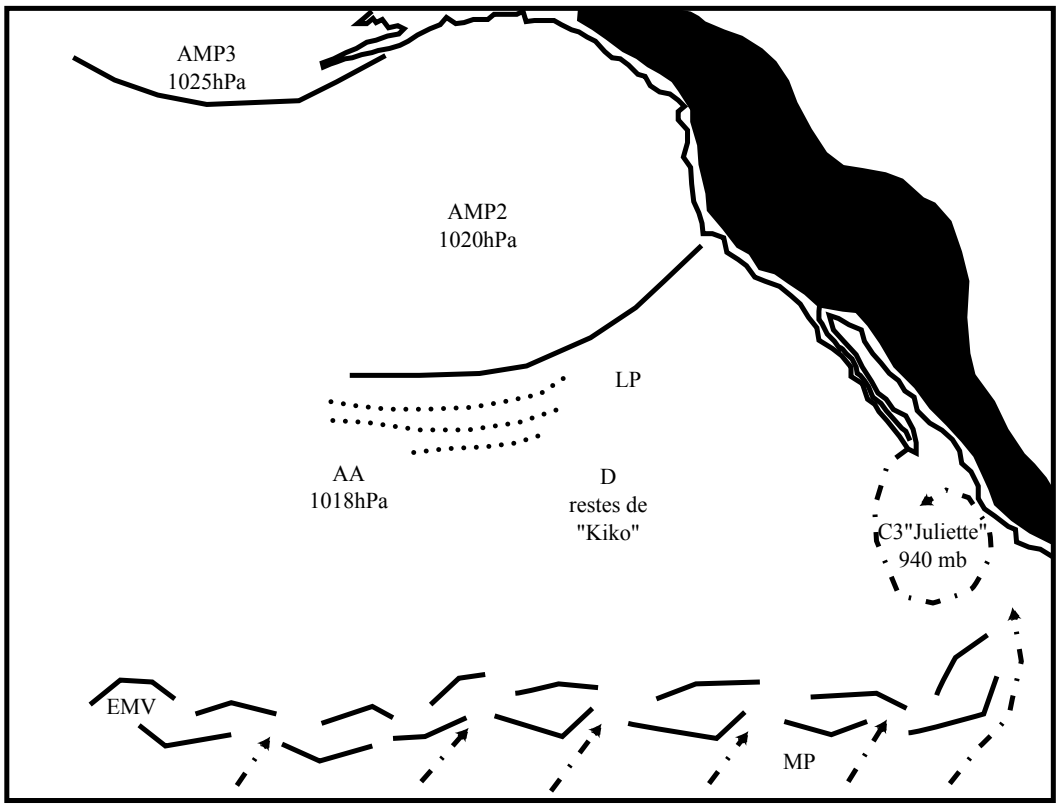



**Figure n°172 : Analyse de la photo satellite du 27/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

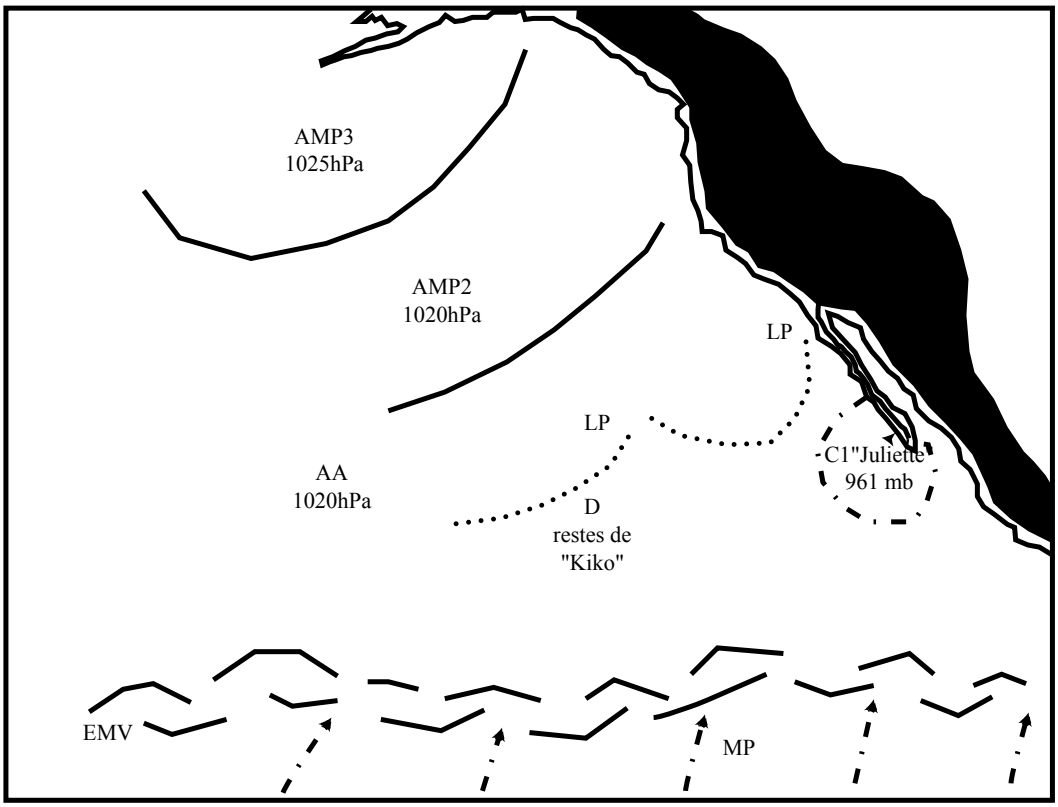


**Photo satellite n°161 : GOES 8, est, vis, le 27/9/2001, 18h15 T.U**

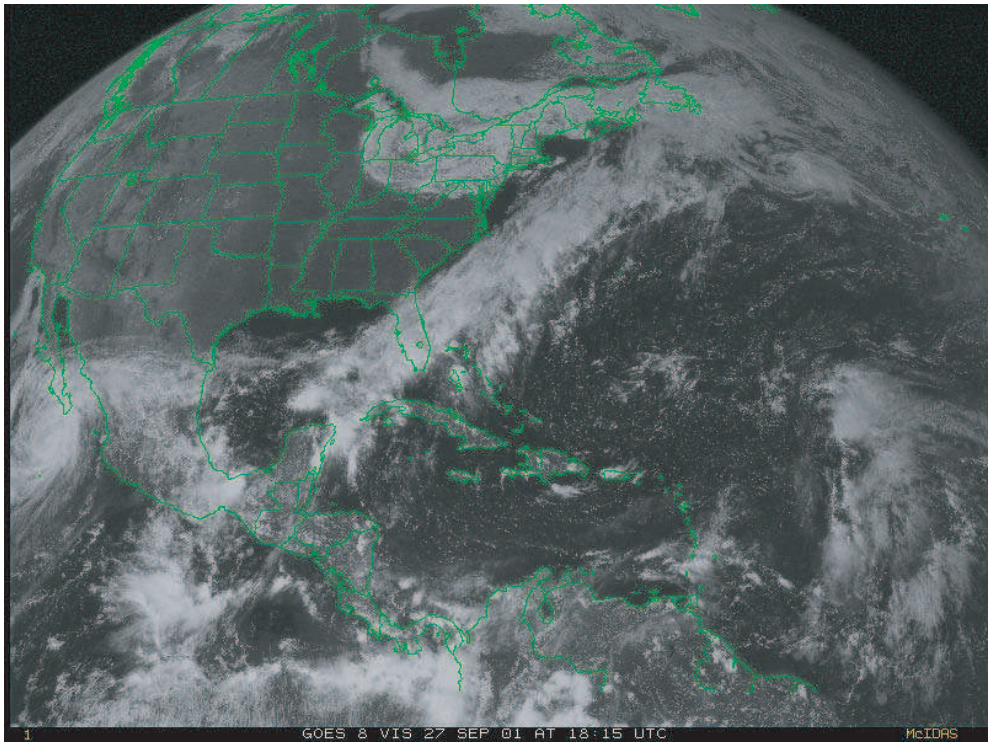



**Photo satellite n°162 : GOES 10, ouest, vis, le 27/9/2001, 18h30 T.U**

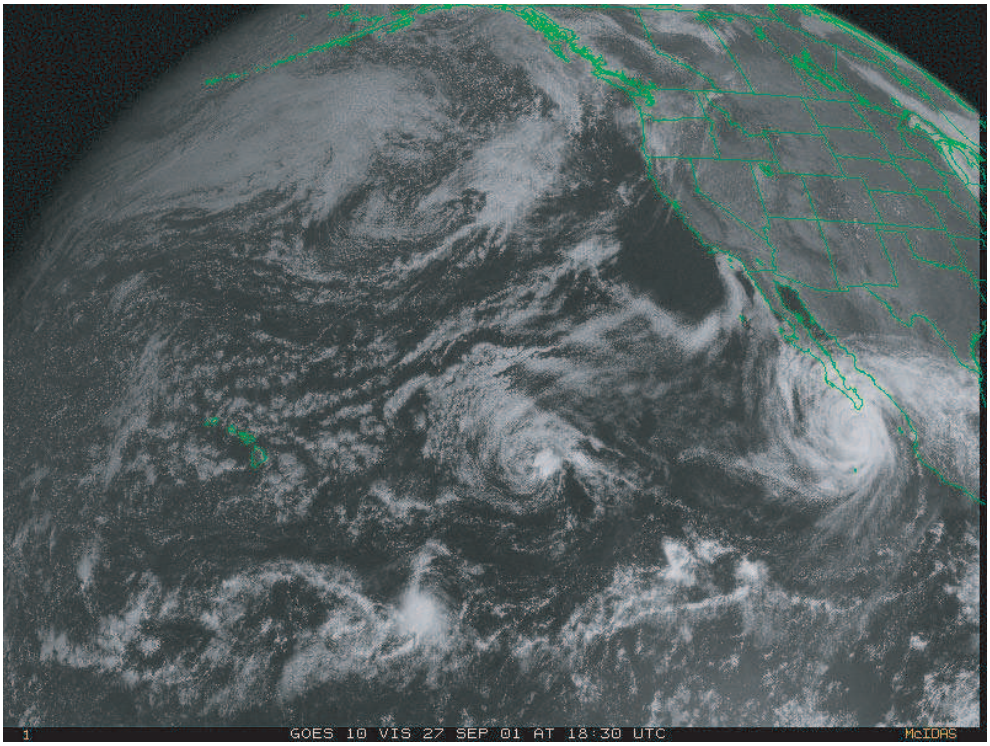


**Photo satellite n°163 : GOES 8, est, vis, le 28/9/2001, 18h15 T.U**

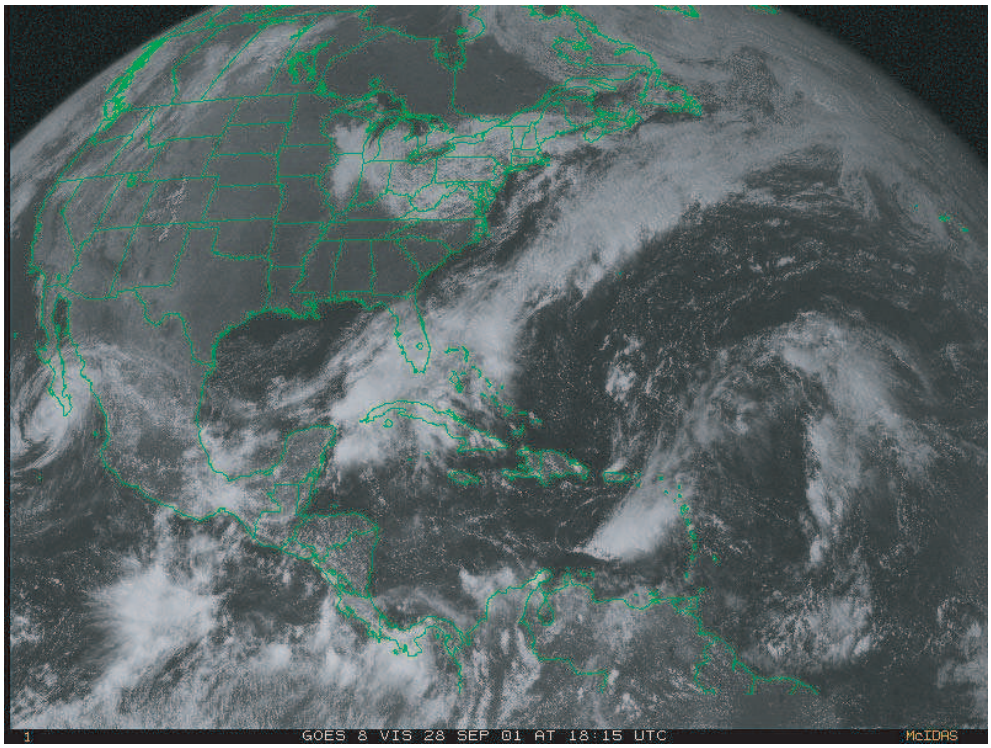



**Photo satellite n°164 : GOES 10, ouest, vis, le 28/9/2001, 18h30 T.U**

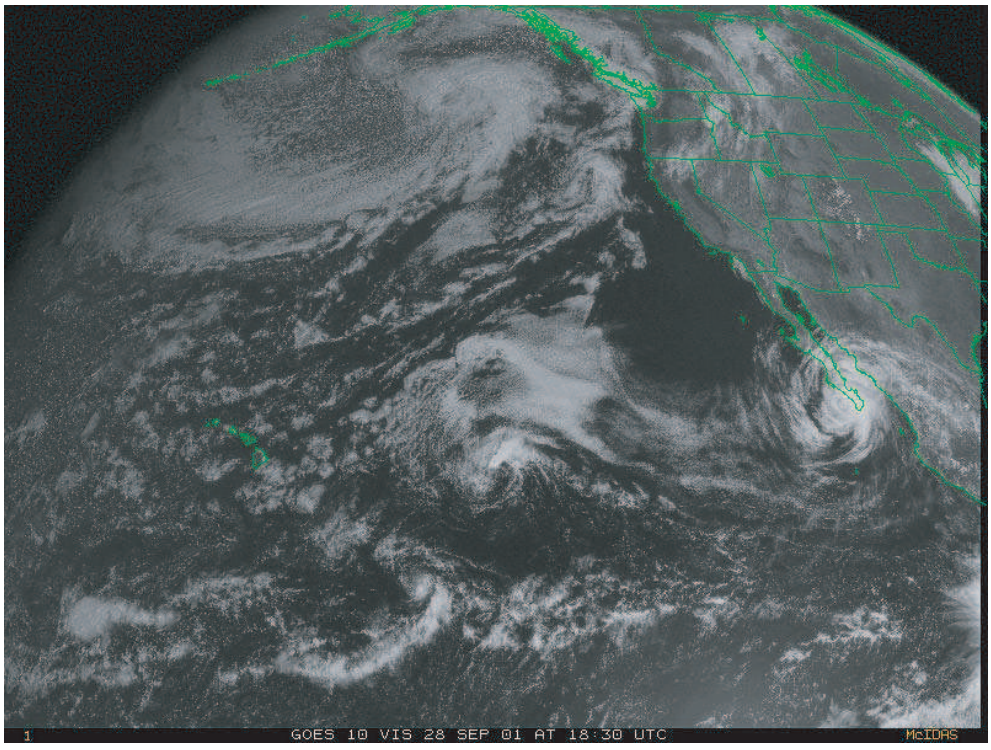


**Figure n°173 : Analyse de la photo satellite du 28/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

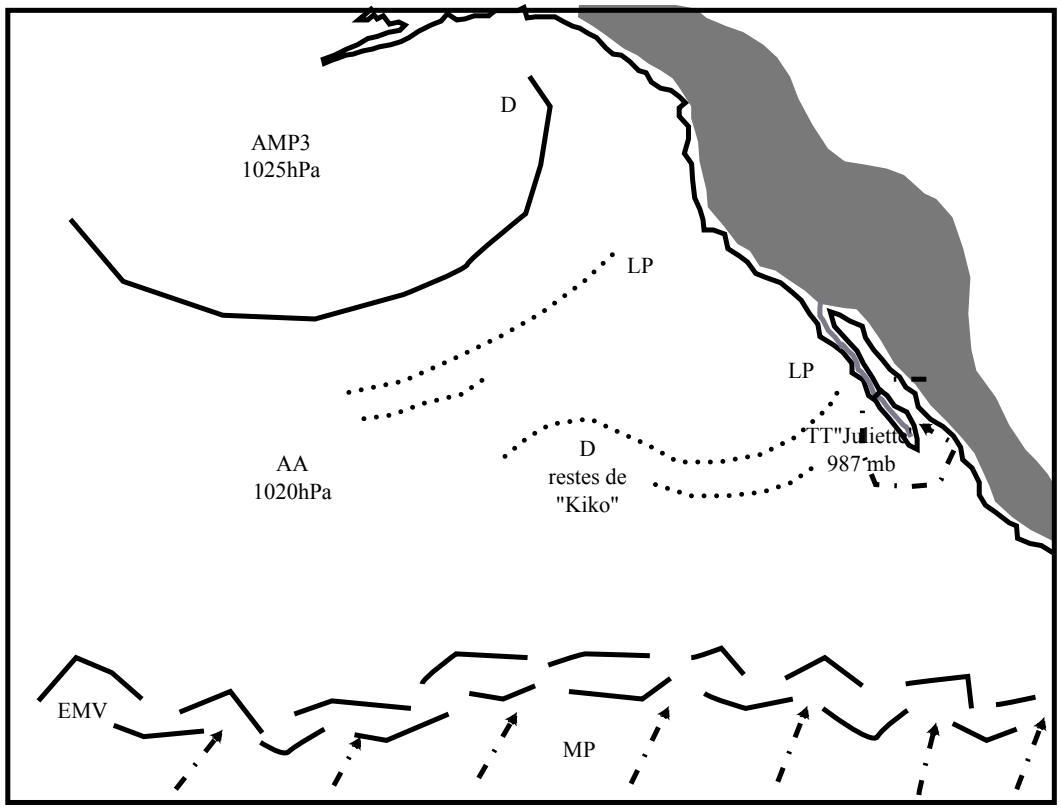



**Figure n°174 : Analyse de la photo satellite du 29/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

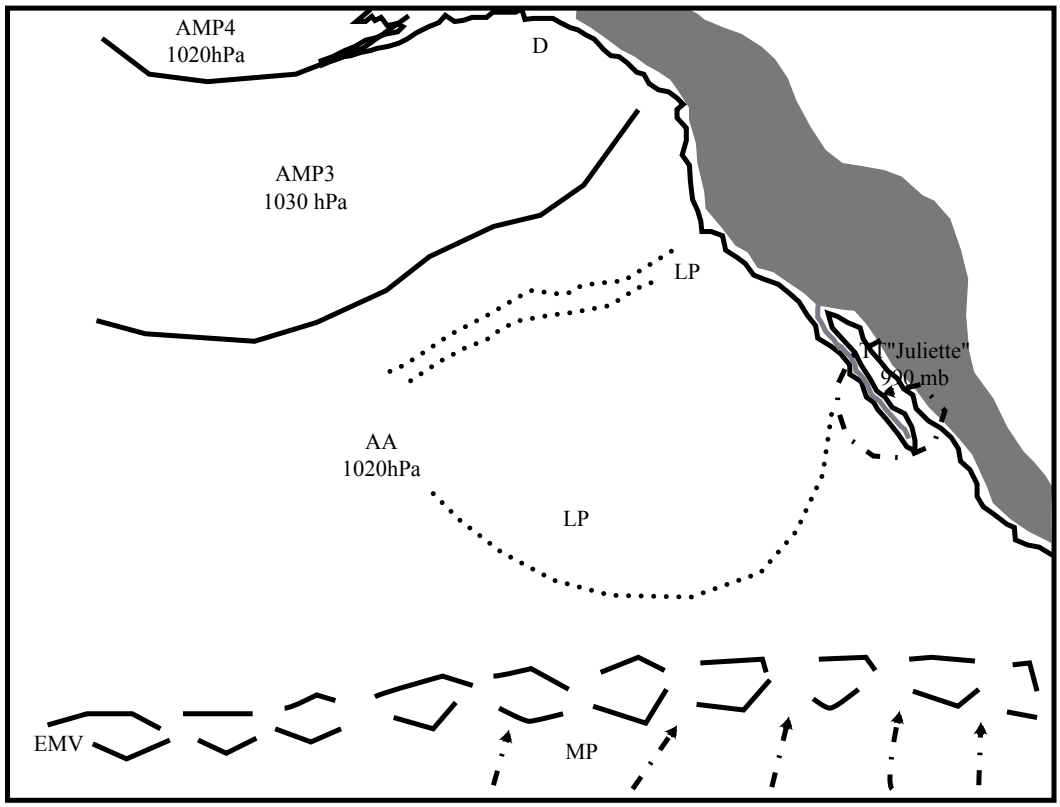


**Photo satellite n°165 : GOES 8, est, vis, le 29/9/2001, 18h15 T.U**

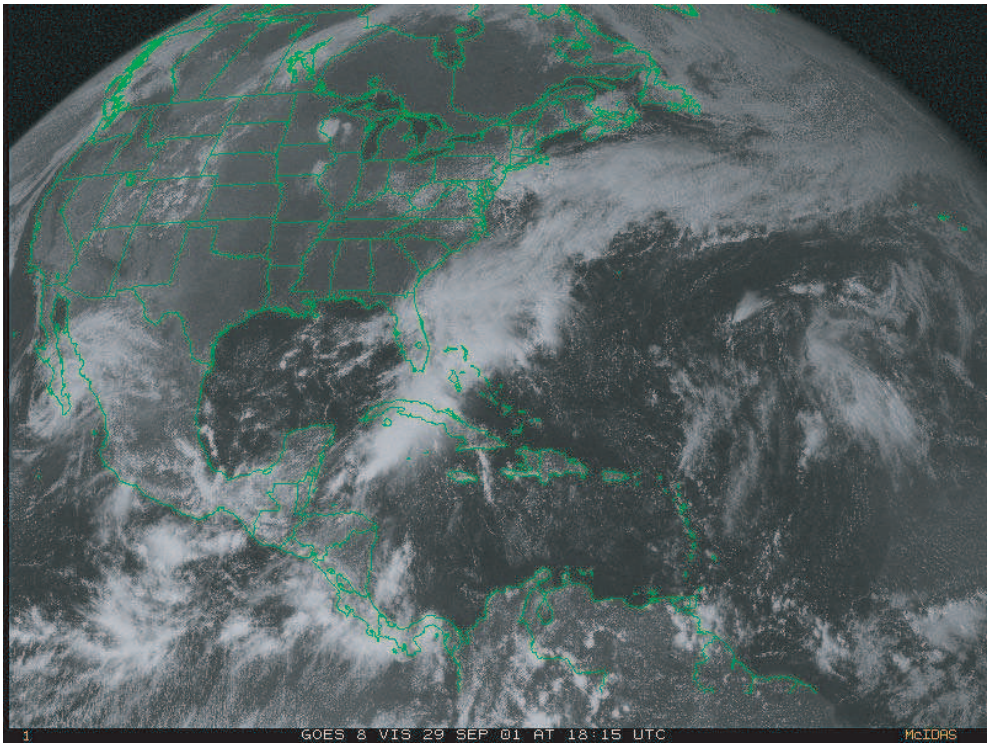



**Photo satellite n°166 : GOES 10, ouest, vis, le 29/9/2001, 18h30 T.U**

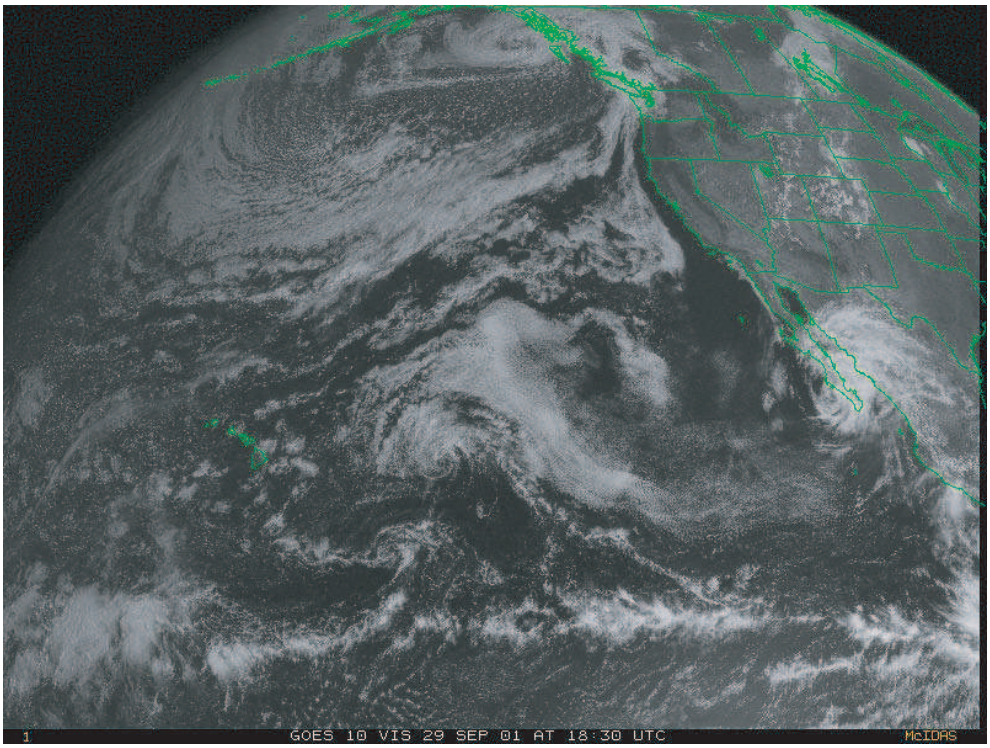


**Photo satellite n°167 : GOES 8, est, vis, le 30/9/2001, 18h15 T.U**

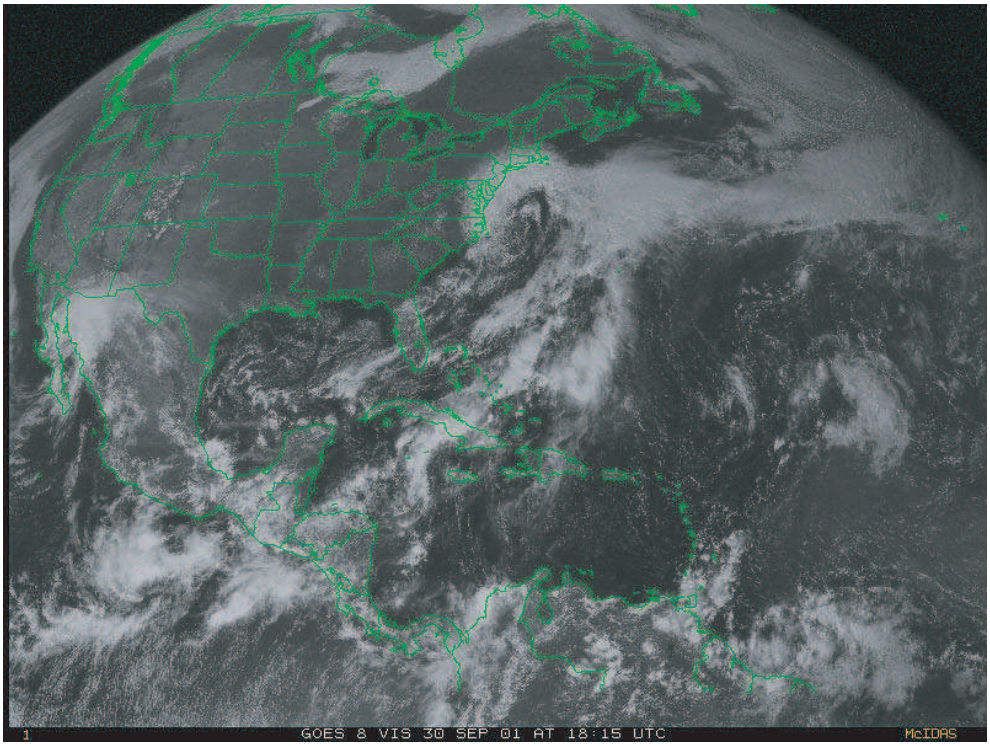



**Photo satellite n°168 : GOES 10, ouest, vis, le 30/9/2001, 18h30 T.U**

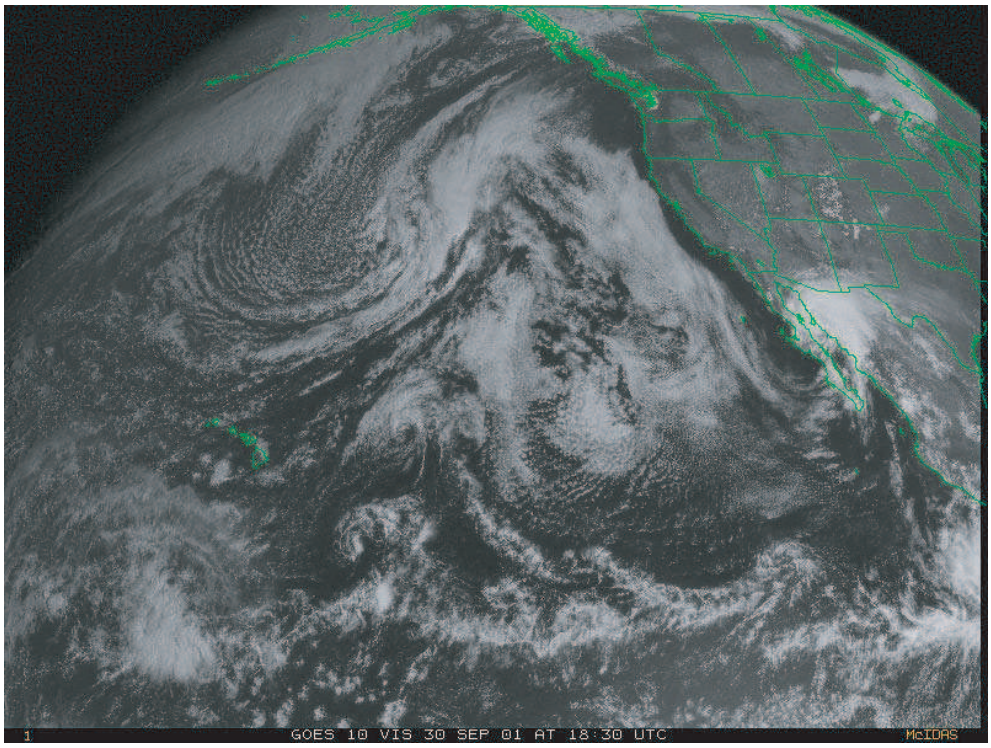


**Figure n°175 : Analyse de la photo satellite du 30/9/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

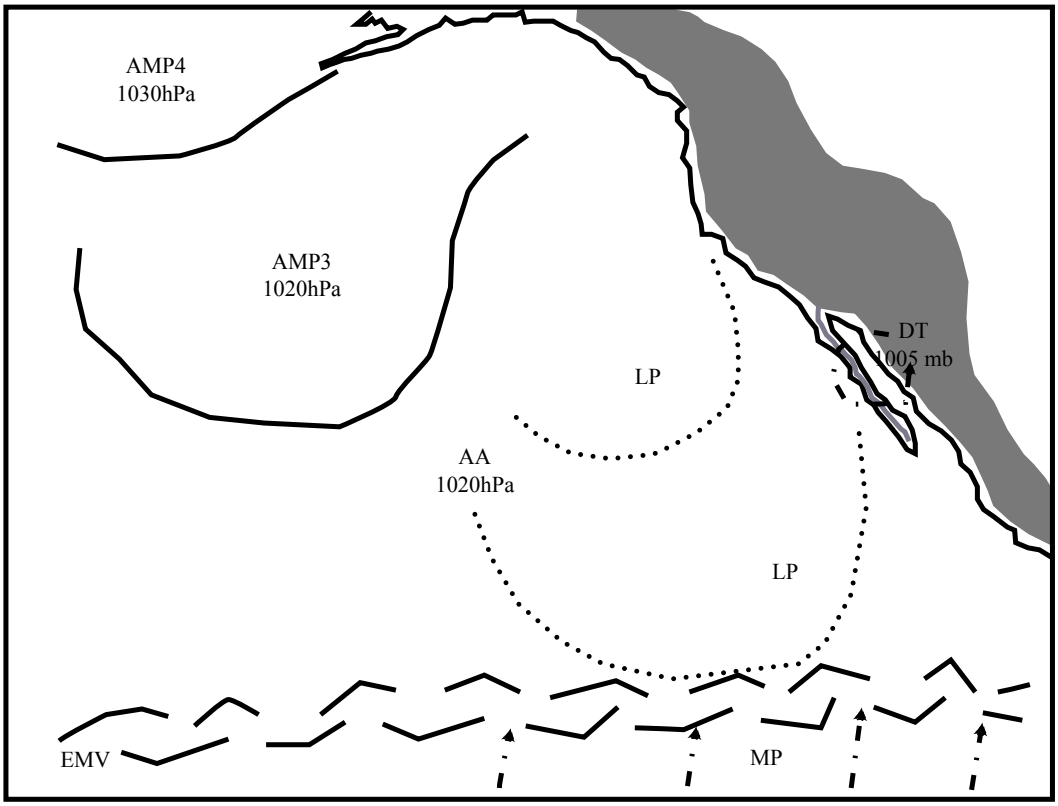



**Figure n°176 : Analyse de la photo satellite du 1 au 3/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

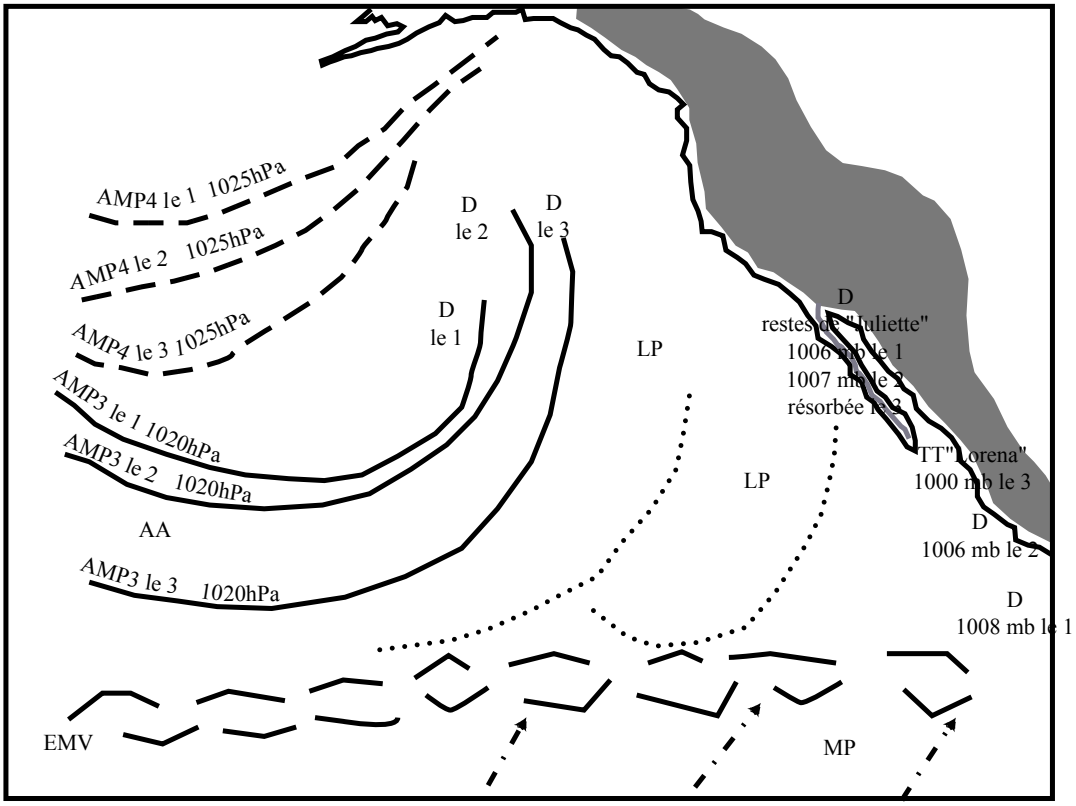


**Photo satellite n°169 : GOES 10, ouest, vis, le 1/10/2001, 18h30 T.U**

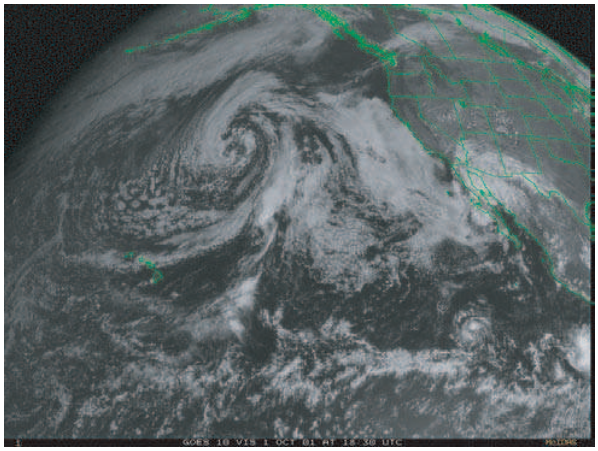


**Photo satellite n°170 : GOES 10, ouest, vis, le 2/10/2001, 18h30 T.U**

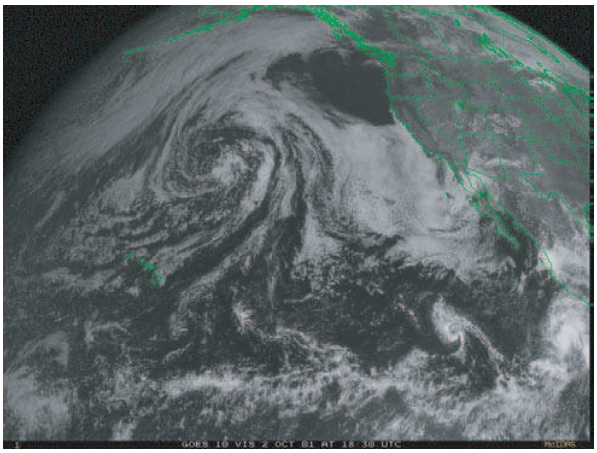


**Photo satellite n°171 : GOES 10, ouest, vis, le 3/10/2001, 18h30 T.U**

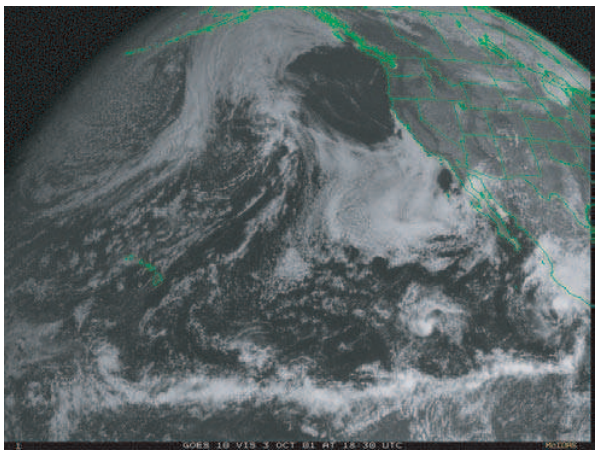


**Fig. n°177 : Carte récapitulative de l'évolution de surface de l'AMP2 et trajectoire de la DT n°9 du 19 au 20 septembre 2001 et Fig. n°178 :cartes récapitulatives de l'évolution de surface des AMP1 à 4; limite méridionale de l'AA et trajectoire de "Juliette" du 22/9 au 3/10/2001**

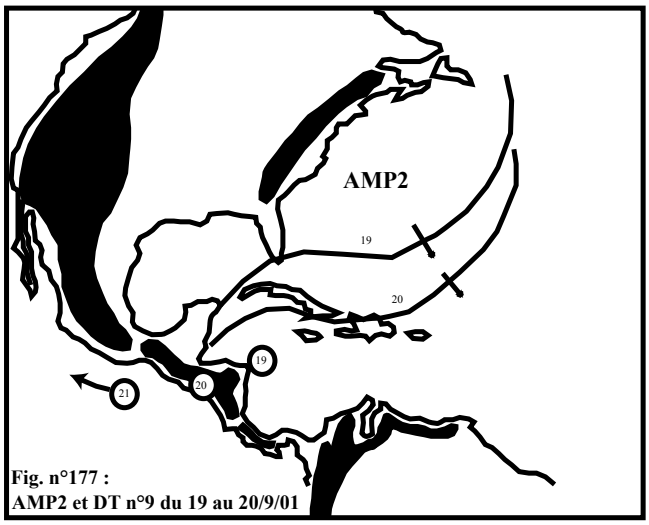



**Fig. n°177 :**
**AMP2 et DT n°9 du 19 au 20/9/01**

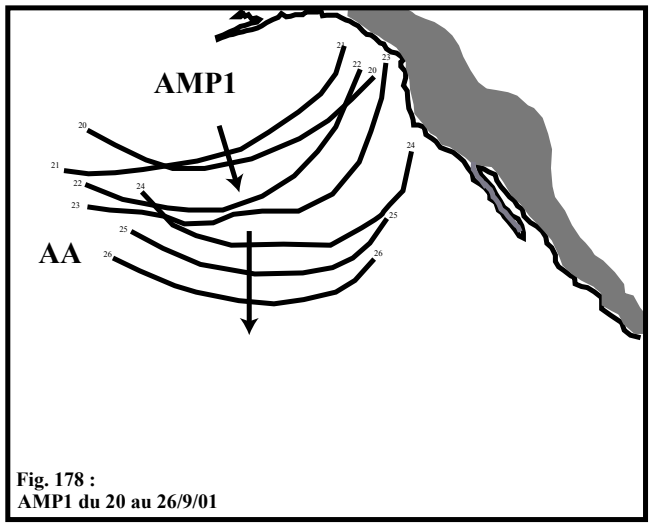



**Fig. 178 :**
**AMP1 du 20 au 26/9/01**

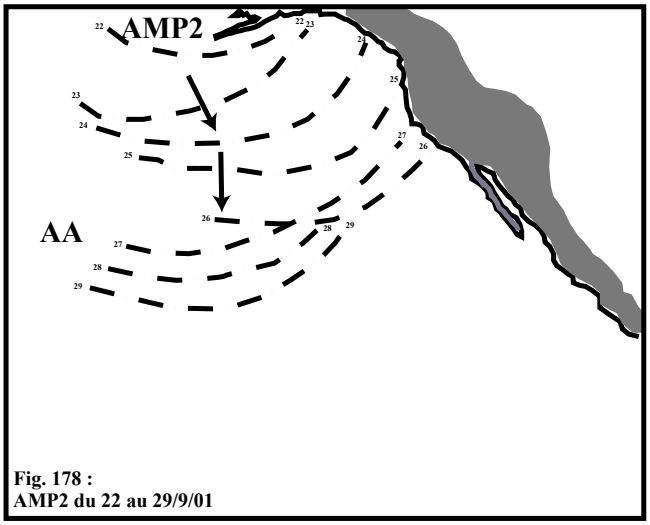



**Fig. 178 :**
**AMP2 du 22 au 29/9/01**

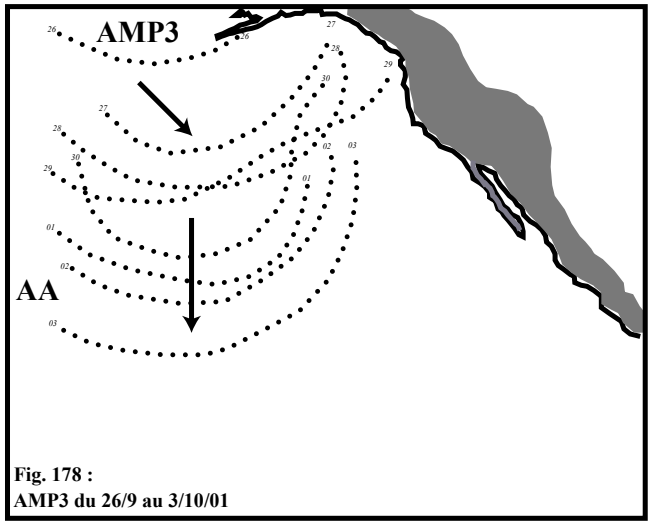



**Fig. 178 :**
**AMP3 du 26/9 au 3/10/01**

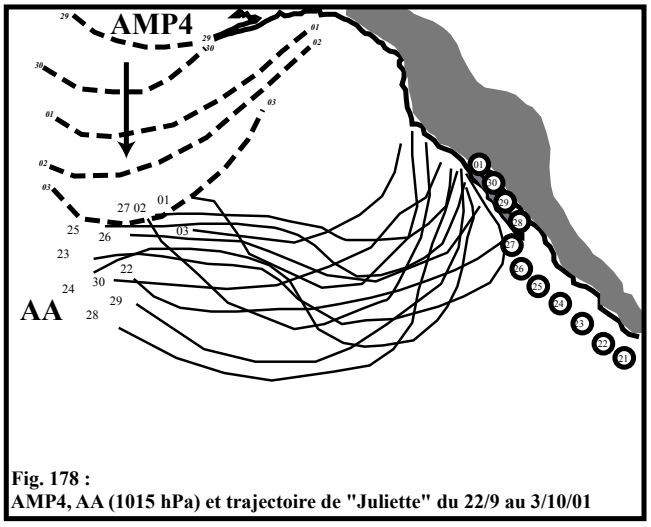



**Fig. 178 :**
**AMP4, AA (1015 hPa) et trajectoire de "Juliette" du 22/9 au 3/10/01**

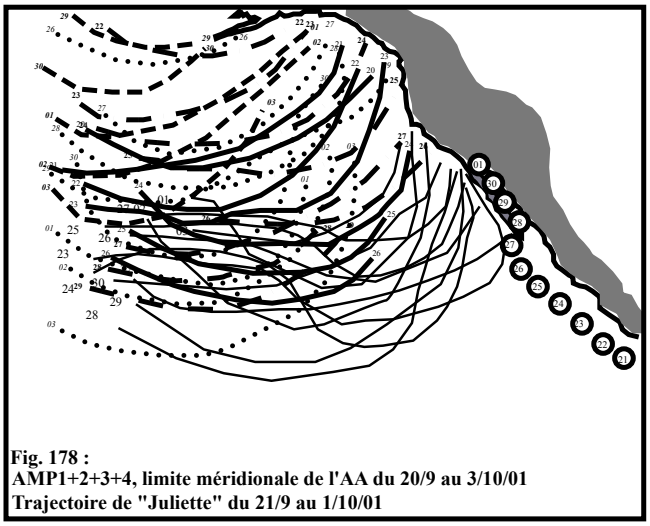


**Fig. 178 :**
**AMP1+2+3+4, limite méridionale de l'AA du 20/9 au 3/10/01**
**Trajectoire de "Juliette" du 21/9 au 1/10/01**

observons l'équateur météorologique vertical (EMV) et les flux de la mousson panaméenne (MP) qui se dirigent vers ce dernier. Au niveau de l'isthme secondaire du Panama, les flux de la MP, eux aussi chauds et humides, profitent de l'abaissement du relief pour rejoindre la mer des Caraïbes et se diriger vers la DT n°9 (comme en témoigne l'enroulement des nuages). La présence du système dépressionnaire ajoutée à celle de la face avant de l'AMP2 et la puissante orographie centraméricaine favorisent les ascendances; la DT n°9 se creuse.

Le nord du Mexique et la quasi totalité des Etats-Unis sont recouverts par l'AMP1. Dans l'océan Atlantique, l'AMP2 est en train de s'agglutiner dans l'AA dite des « Açores » ; sur la face avant de cet AMP2, au nord des Antilles, un système dépressionnaire se creuse (futur cyclone « Humberto » de catégorie 2). Sur l'extrémité nord du Canada, nous observons plusieurs autres AMP.

- **Commentaire de la fig. n°163 (analyse de la photo satellite du 20/9/01, E) :**

La DT n°9 touche terre le 20/9/01 à 00h00 T.U près de la ville de « Puerto Cabezas » (Nicaragua), ne se dissipe pas complètement (bénéficiant d'une excellente alimentation, Al.m et MP), et traverse l'isthme pour gagner l'océan Pacifique.

C'est la présence de l'AMP1 sur le Golfe du Mexique et l'intégration de l'AMP2 dans l'AA qui ont « envoyé » le système dépressionnaire du côté pacifique (poussée anticyclonique, barrage aérologique interdisant tout déplacement vers le nord-nord-est).

- **Commentaire de la fig. n°164 (analyse de la photo satellite du 20/9/01, O) :**

Au nord, au large des côtes de l'Alaska, nous remarquons la présence de l'AMP1. L'air froid, dense étant incapable de s'élever, l'AMP se laisse guider vers le sud, le long des puissantes Montagnes Rocheuses. Plus au sud, nous observons l'agglutination anticyclonique (AA) dite « des Hawaii ».

L'équateur météorologique vertical (EMV) est souligné par une ligne de nuages témoignant de l'intensité des ascendances. Au sud de l'EMV, nous observons les flux de la MP.

- **Commentaire de la fig. n°165 (analyse de la photo satellite du 21/9/01, E) :**

La DT n°9, profitant de conditions à nouveau favorables va se renforcer pour devenir progressivement la tempête tropicale (TT) « Juliette » (située approximativement à 170 kilomètres au sud de la côte du Guatemala). La tempête tropicale se déplace vers l'ouest-nord-ouest, le long de la côte, le centre du système dépressionnaire restant situé entre 185 et 370 kilomètres au large des côtes.

- **Commentaire de la fig. n°166 (analyse de la photo satellite du 21/9/01, O) :**

L'AMP1 continue sa descente vers le sud en direction de l'AA dite « des Hawaii ».

A proximité des côtes mexicaines, nous observons le creusement d'un système dépressionnaire (futur cyclone « Kiko » de catégorie 1).

- **Commentaire de la fig. n°167 (analyse de la photo satellite du 22/9/01, O) :**

La TT « Juliette » continue son déplacement vers l'ouest-nord-ouest, longeant les côtes mexicaines. L'AMP1 continue sa descente vers le sud et, sur sa face avant, provoque l'élévation des flux environnants (plus chauds) et/ou leur fuite vers le nord-nord-est, en direction de sa dépression associée (située à l'intérieur des terres, sur l'extrémité nord-ouest de l'Amérique du Nord). Le glissement vers le sud de cet AMP, son intégration progressive dans l'AA, font que cette dernière s'étend vers le sud et le sud-est. Au sud de l'AA, l'EMV est activé. La dépression remarquée la veille se creuse pour devenir la tempête tropicale (TT) « Kiko » qui dispose d'une excellente alimentation (MP) et bénéficie de la proximité de l'EMV (qui favorise les ascendances). Nous observons, plus à l'ouest le creusement d'une autre petite dépression. « Juliette », « Kiko » et la petite dépression déforment l'EMV. Ce dernier n'est plus linéaire mais prend une forme ondulée.

- **Commentaire de la fig. n°168 (analyse de la photo satellite du 23/9/01, O) :**

« Juliette » s'intensifie rapidement et relève de la catégorie 3 de l'échelle de Saffir-Simpson. L'enroulement des bandes nuageuses (bien visible sur la photo satellite) témoigne de la meilleure organisation de ce système dépressionnaire (un œil est visible).

La TT « Kiko » reste située plus ou moins au même endroit. La descente vers le sud du puissant AMP1 et la présence de l'AA lui interdisent le passage vers l'ouest.
L'AMP1, en s'intégrant progressivement dans l'AA, provoque la formation de lignes de pulsation (LP). Au sud du détroit de Béring, un nouvel AMP apparaît (l'AMP2). La petite dépression repérée la veille ne semble pas pouvoir se creuser (elle bénéficie certes de la présence de l'EMV mais l'essentiel des flux de la MP sont concentrés beaucoup plus à l'est, en partie déviés vers « Juliette »).

- **Commentaire de la fig. n°169 (analyse de la photo satellite du 24/9/01, O) :**

« Juliette » progresse toujours vers l'ouest-nord-ouest mais très lentement. La présence de l'AA dite « des Hawaii », bien alimentée par la descente d'AMP depuis le détroit de Béring, n'autorise pas le passage « classique » vers l'ouest. « Kiko » est victime de cette situation et se résorbe. Remarquons la présence et la descente vers le sud de l'AMP2. Ce dernier contribue à l'intégration de l'AMP1 dans l'AA comme en témoignent les LP.

- **Commentaire de la fig. n°170 (analyse de la photo satellite du 25/9/01, O) :**

L'AMP1, intégré dans l'AA n'est plus individualisable sur la photo satellite. Seules les LP restent visibles. « Kiko », victime de cette nouvelle intégration dans l'AA, se résorbe.

« Juliette » se transforme en « Cordonazo » et relève maintenant de la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson. Les côtes mexicaines et la presqu'île de Basse Californie sont menacées.

- **Commentaire de la fig. n°171 (analyse de la photo satellite du 26/9/01, O) :**

« Juliette », ne pouvant se déplacer vers l'ouest en raison de la présence de l'AA, va progressivement se déplacer vers le nord tout en s'affaiblissant (puisque se coupant peu à peu de la MP et de l'EMV).

« Kiko » n'est plus qu'une simple dépression. L'AMP2 continue son déplacement vers le sud le long des Montagnes Rocheuses et les LP témoignent de son intégration progressive dans l'AA.

- **Commentaire de la fig. n°172 (analyse de la photo satellite du 27/9/01, O) :**

« Juliette » qui ne relève plus que de la catégorie 1 de l'échelle Saffir Simpson menace le sud de la presqu'île de Basse Californie.

En face de Tehuantepec, l'écoulement en masse d'un AMP depuis le Golfe du Mexique vers le Pacifique s'accompagne de LP. La poussée de la MP étant forte, l'EMV s'active et nous observons le creusement d'une nouvelle dépression (future « Lorena ») à proximité de l'EMV (structure facilitant les ascendances).

La dépression « Kiko » est réduite à sa plus simple expression mais reste cependant encore visible sur la photo satellite. L'AMP2 s'intègre à l'AA et nous pouvons voir la présence d'un nouvel AMP, l'AMP3 au niveau du détroit de Béring.

- **Commentaire de la fig. n°173 (analyse de la photo satellite du 28/9/01, O) :**

Le centre de « Juliette » est passé juste à l'ouest du cap « San Lucas » dans le sud de la presqu'île de Basse Californie. Cette région désertique voit s'abattre de fortes précipitations. L'AMP3 est maintenant bien individualisable et continue son déplacement vers le sud, forçant de ce fait l'intégration de l'AMP2 dans l'AA comme en témoignent lesLP.

- **Commentaire de la fig. n°174 (analyse de la photo satellite du 29/9/01, O) :**

« Juliette » touche terre près de « San Carlos », sur la côte ouest de Basse Californie et s'affaiblit. L'AMP3, aidé par la venue de l'AMP4, va progressivement s'intégrer dans l'AA comme en témoignent les LP.

- **Commentaire de la fig. n°175 (analyse de la photo satellite du 30/9/01, O) :**

Au-dessus du Golfe de Californie « Juliette » n'est plus qu'une simple dépression tropicale qui poursuit une lente remontée vers le nord. L'AMP4 accélère le glissement vers le sud de l'AMP3 ; ce dernier vient s'intégrer dans l'AA. Les LP atteignent l'EMV.

- **Commentaire de la fig. n°176 (analyse des photos satellites du 1 au 3/10/01, O) :**

« Juliette » remonte le Golfe de Californie vers le nord pour finalement se résorber et disparaître le 3/10/01.

Remarquons qu'un autre système dépressionnaire, la tempête tropicale (TT) « Lorena » (le 3/10/01) suit le même chemin que « Juliette ». La descente de puissants AMP depuis le détroit de Béring continue (AMP4), l'AA reste bien alimentée et les LP descendent jusqu'à l'EMV. Le passage vers l'ouest est interdit et « Lorena » n'a d'autre possibilité que de pénétrer sur le continent mexicain voisin.

- **Bilan de l'épisode « DTn°9 » et « Juliette » (fig. n°177 et 178) :**

- **Bilan 1 (fig. n°177) :**

La DT n°9 prend naissance le 19 septembre 2001 à proximité des côtes atlantique du Nicaragua. La DT n°9 a été engendrée par la descente de l'AMP2 sur le Golfe du Mexique puis sur la mer des Caraïbes, la face avant de l'AMP2 ainsi que le relief centraméricain favorisant les ascendances des flux tropicaux chauds, humides et instables (Al.m et MP). L'AMP2 interdit tout déplacement vers l'ouest et/ou le nord. La DT n°9, poussée anticyclonique oblige, se réfugie sur l'isthme, là où le relief centraméricain s'abaisse (passage du Belize-Guatemala) et passe de l'autre côté de l'isthme où elle reçoit le nom de « Juliette » (voir deuxième carte bilan).

- **Bilan 2 (fig. n°178) :**

Du 22/9 au 3/10/01, les AMP1, 2, 3 et 4 se succèdent les uns derrière les autres. Après être passés par le détroit de Béring. Ces AMP viennent rapidement heurter les puissantes Montagnes Rocheuses et continuent leur déplacement vers le sud le long de cette barrière orographique infranchissable. Les AMP se tropicalisent peu à peu, perdent de leur puissance, ralentissent et finissent par s'agglutiner pour former l'AA dite « des Hawaii ».

La descente incessante d'AMP, l'AA interdisant à « Juliette » de suivre une route « classique » vers l'ouest, ce cyclone fut à la fois un cyclone transisthmique et un « Cordonazo ».

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

« Juliette » a entraîné de très fortes précipitations dans le sud de la presqu'île de Californie, des glissements de terrains et des inondations dans l'Etat de la « Sonora » au Mexique où deux morts sont à déplorer. Les observations de surface furent cependant très peu nombreuses.

**Tableau n°19 : « Précipitations totales cumulées (en millimètres) et vitesse du vent enregistrée (en km/h) dans quelques stations mexicaines »**

| Stations : | Précipitations totales (en mm)<br>Vent (en km/h) : |
|---|---|
| **Cabo San Lucas (station automatique)** | 152 km/h |
| **Santiago (extrémité sud de la péninsule de Basse Californie)** | 136 mm le 27/09 |
| **Empalme (Etat de Sonora)** | 168 mm le 30/09 |
| **San Felipe (extrémité nord de la péninsule de Basse Californie)** | 208 mm le 03/10 |

« Cabo San Lucas (Mexique) pendant le passage de « Juliette »
(cliché, AFP)



**b) Etude de cas n°2 : le cyclone « Iris » (du 4 au 10/10/2001 sur l'Atlantique) puis le cyclone « Manuel » (du 10 au 18/10/2001 sur le Pacifique) :**

- **Introduction :**

Selon L. A. Avila (« NHC » de Miami), dans son rapport (« Tropical Cyclone Report ») du 30/10/01, une « onde tropicale » peu organisée, qui s'est déplacée, fin septembre d'est en ouest à travers l'océan Atlantique est à l'origine de la formation du cyclone « Iris »qui va atteindre la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson avant de toucher terre et de ravager le sud du Belize.

Le 9/10, à 12h00 T.U, une dépression tropicale (DT) ayant un centre peu organisé, apparaît à environ 150 kilomètres au sud-est de La Barbade. Cette DT peu organisée va se déplacer vers l'ouest et atteint le stade de tempête tropicale (TT) le 5/10 à 12h00 T.U, à environ 440 kilomètres au sud-sud-est de San Juan (Porto Rico). La TT va atteindre le stade de cyclone le 6/10, très près de Barahona (république Dominicaine). Le 8/10 à 12h00 T.U, le cyclone relève de la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson. La pression minimale chute de 990 millibars à 950 millibars en 18 heures ! La vitesse moyenne du vent passe de 150 km/h à 240 km/h. Le cyclone touche terre au sud du Belize avant de continuer sa route vers l'ouest tout en s'affaiblissant avant de disparaître, très tôt le 9/10.

Selon J. L. Franklin (« NHC » de Miami), dans son rapport (« Tropical Cyclone Report ») du 31/10/01, « Manuel » s'est formé à partir des « restes d'Iris ».

Une nouvelle convection se développe pas très loin de l'endroit où « Iris » a disparu. Le 10/10 à 12h00 T.U, la dépression tropicale (DT) 15-E est située à environ 325 kilomètres au sud-sud-est d'Acapulco (Mexique). Elle se déplace vers l'ouest à une vitesse de 25 à 30 km/h puis vers l'ouest-nord-ouest. Le 11/10, à 6h00 T.U, la DT atteint le stade de tempête tropicale (TT). « Manuel » est alors situé à environ 370 kilomètres au sud-sud-ouest de Zihuatanejo (Mexique). Par la suite, « Manuel » ne va cesser d'alterner les phases d'affaiblissement, renforcement avant de finalement se dissiper le 18/10.

Comment expliquer ce franchissement de l'isthme centraméricain ?

**Tableau n°20 : historique de l'évolution du cyclone « Iris » (du 4 au 9/10/01)**

| Date/heure (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie : |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **04 / 1200** | 12.3 | 58.2 | 1011 | 50 | **Dépression tropicale** |
| 04 / 1800 | 12.8 | 59.9 | 1010 | 60 | " |
| 05 / 0000 | 13.4 | 61.4 | 1010 | 60 | " |
| 05 / 0600 | 14.0 | 63.0 | 1010 | 60 | " |
| **05 / 1200** | 14.8 | 64.5 | 1008 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 05 / 1800 | 15.5 | 66.0 | 1005 | 90 | " |
| 06 / 0000 | 15.7 | 67.7 | 1001 | 100 | " |
| 06 / 0600 | 16.0 | 69.0 | 998 | 110 | " |
| 06 / 1200 | 16.5 | 70.5 | 998 | 110 | " |
| **06 / 1800** | 16.9 | 72.2 | 992 | 130 | **Cyclone 1** |
| 07 / 0000 | 16.9 | 74.0 | 993 | 150 | " |
| 07 / 0600 | 16.9 | 75.3 | 989 | 150 | " |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 07 / 1200 | 17.3 | 77.0 | 989 | 150 | " |
| 07 / 1800 | 17.4 | 78.9 | 991 | 150 | " |
| 08 / 0000 | 17.3 | 80.6 | 988 | 160 | " |
| **08 / 0600** | 17.2 | 82.3 | 963 | 180 | **Cyclone 2 (09h00 UTC)** |
| **08 / 1200** | 17.1 | 84.0 | 950 | 240 | **Cyclone 3 (12h00 UTC)** |
| **08 / 1800** | 16.8 | 86.0 | 950 | 230 | **Cyclone 4 (15h00 UTC)** |
| **09 / 0000** | 16.5 | 88.0 | **948** | **250** | **Cyclone 1 (03h00 UTC)** |
| **09 / 0600** | 16.2 | 89.9 | 1005 | 120 | **Tempête tropicale** |
| **09 / 1200** | 16.2 | 91.9 | 1004 | 60 | **Dépression tropicale** |
| **09 / 1800** | | | | | **Résorbé** |
| **09/ 0200** | 16.3 | 88.4 | 948 | 250 | **Touche terre près de « Monkey River Town », Belize** |
| **09 / 0000** | 16.5 | 88.0 | **948** | 250 | **Pression minimale** |

**Tableau n°21 : historique de l'évolution du cyclone « Manuel » (du 10 au 18/10/01)**

| Date/heure (T.U) | Position | | Pression (mb) | Vitesse du vent (km/h) | Catégorie : |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lat. (°N) | Lon. (°O) | | | |
| **10 / 1200** | 14.1 | 99.2 | 1007 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 10 / 1800 | 14.0 | 100.6 | 1006 | 60 | " |
| 11 / 0000 | 14.4 | 102.0 | 1006 | 60 | " |
| **11 / 0600** | 14.7 | 103.3 | 1005 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 11 / 1200 | 15.2 | 104.7 | 1003 | 80 | " |
| 11 / 1800 | 15.7 | 105.9 | 1000 | 90 | " |
| 12 / 0000 | 15.9 | 107.3 | 1000 | 90 | " |
| 12 / 0600 | 15.7 | 108.4 | 1003 | 80 | " |
| **12 / 1200** | 15.4 | 109.5 | 1005 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 12 / 1800 | 14.9 | 110.5 | 1005 | 60 | " |
| 13 / 0000 | 14.8 | 111.2 | 1005 | 60 | " |
| 13 / 0600 | 14.6 | 111.9 | 1005 | 60 | " |
| 13 / 1200 | 14.3 | 112.6 | 1005 | 60 | " |
| 13 / 1800 | 14.1 | 113.0 | 1005 | 60 | " |
| 14 / 0000 | 13.9 | 113.3 | 1005 | 60 | " |
| 14 / 0600 | 13.9 | 113.6 | 1005 | 60 | " |
| 14 / 1200 | 14.0 | 113.8 | 1005 | 60 | " |
| 14 / 1800 | 14.3 | 113.9 | 1005 | 60 | " |
| 15 / 0000 | 14.7 | 114.1 | 1005 | 60 | " |
| **15 / 0600** | 15.3 | 114.4 | 1004 | 70 | **Tempête tropicale** |
| 15 / 1200 | 15.9 | 114.8 | 1004 | 70 | " |
| 15 / 1800 | 16.5 | 115.3 | 1004 | 70 | " |
| 16 / 0000 | 17.1 | 115.9 | 1002 | 80 | " |
| 16 / 0600 | 17.5 | 116.9 | 1000 | 90 | " |
| **16 / 1200** | 18.0 | 118.1 | **997** | **100** | " |
| 16 / 1800 | 18.6 | 119.3 | 1000 | 90 | " |
| 17 / 0000 | 19.2 | 120.2 | 1000 | 90 | " |
| 17 / 0600 | 19.8 | 120.8 | 1003 | 80 | " |
| 17 / 1200 | 20.5 | 121.3 | 1005 | 70 | " |
| **17 / 1800** | 21.1 | 121.6 | 1007 | 60 | **Dépression tropicale** |
| 18 / 0000 | 21.8 | 121.8 | 1009 | 50 | " |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **18 / 0600** | | | | | **Résorbé** |
| **16 / 1200** | 18.0 | 118.1 | **997** | **100** | **Pression minimale** |

- **Etude pas à pas du cyclone « Iris » et du cyclone « Manuel » (du 4 au 18/10/01) :**

- **Commentaire de la fig. n°179 (analyse de la photo satellite du 4/10/01) :**

Une dépression tropicale (DT) s'est formée le 4 octobre 2001, à 12h00 T.U, à environ 160 kilomètres au sud-est de la Barbade. A 18h00 T.U, au sud de l'agglutination anticyclonique dite « des Bermudes/Açores » (AA), nous remarquons la présence de deux systèmes dépressionnaires. Sur l'extrémité sud des Antilles, nous observons, sur la photo satellite des concentrations nuageuses qui commencent à être très organisées en bandes circulaires. Ce système dépressionnaire constitue les prémices de ce que sera quelques jours plus tard le cyclone « Iris ». Un peu plus à l'est, nous observons un deuxième système dépressionnaire, moins organisé. Il s'agit des prémices de ce que sera le cyclone « Jerry ». Au large des côtes orientales des Etats-Unis, un AMP est quasi intégré dans l'AA dite « des Bermudes/Açores » (« AMP »). Sur le nord de l'Amérique du Nord, remarquons la présence de l'AMP1 qui se dirige vers le sud-sud-est, canalisé entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches.

- **Commentaire de la fig. n°180 (analyse de la photo satellite du 5/10/01) :**

La DT, après s'être déplacée en direction de l'ouest/ouest-nord-ouest, atteint le stade de tempête tropicale (TT) le 5 octobre, à 12h00 T.U, à 445 kilomètres au sud-sud-est de la ville de San Juan (Puerto Rico). Le 5 octobre 2001 à 18h00 T.U, au large des côtes orientales des Etats-Unis, l'AMP repéré la veille (« AMP ») est quasi intégré dans l'AA dite « des Bermudes/Açores », comme en témoignent les lignes de pulsation (LP). Au sud de cette AA, les deux systèmes dépressionnaires continuent leur déplacement vers l'ouest et bénéficient d'une bonne alimentation (flux d'alizé maritime de type 2, Al.m). Sur le continent, l'AMP1 continue sa descente vers le sud-sud-est, entre les reliefs de l'Amérique du Nord. L'air de cet AMP, froid, dense, incapable de s'élever, épouse parfaitement le relief (Texas, Nouveau Mexique, Colorado).

- **Commentaire de la fig. n°181 (analyse de la photo satellite du 6/10/01) :**

Au sud de l'AA dite « des Bermudes/Açores », les deux systèmes dépressionnaires poursuivent leur déplacement vers l'ouest (en se décalant lentement vers le nord à cause de la force de Coriolis); C'est à proximité de la péninsule de Barahona (République dominicaine), le 6 octobre, à 18h00 T.U que la TT devient un cyclone tropical relèvant de la catégorie 1 de l'échelle Saffir-Simpson. L'AMP1 a continué sa descente vers le sud-sud-est et pénètre maintenant sur le Golfe du Mexique.

- **Commentaire de la fig. n°182 (analyse de la photo satellite du 7/10/01) :**

La Jamaïque est évitée de justesse, le cyclone passe au sud de l'île le 7 octobre au matin et menace le Belize. Le cyclone s'intensifie rapidement (Al.m et MP qui profite de l'abaissement du relief dans l'isthme secondaire panaméen pour pénétrer sur les Caraïbes). La pression minimale relevée se creuse rapidement, elle passe de 990 millibars à 950 millibars en

18 heures; La vitesse maximale des vents passe de 150 km/h à 240 km/h. L'AMP1 pénètre sur le Golfe du Mexique.

**Photo satellite n°172 : GOES 8, est, vis, le 4/10/2001, 18h15 T.U**

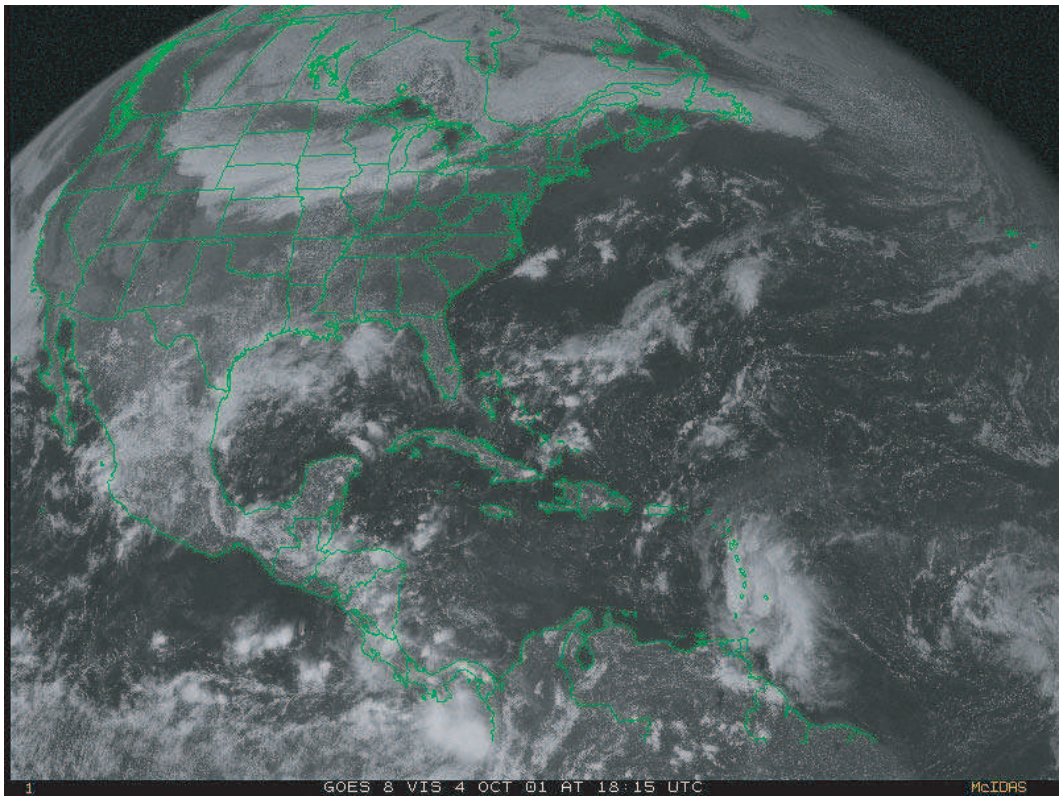



**Figure n°179 : Analyse de la photo satellite du 4/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

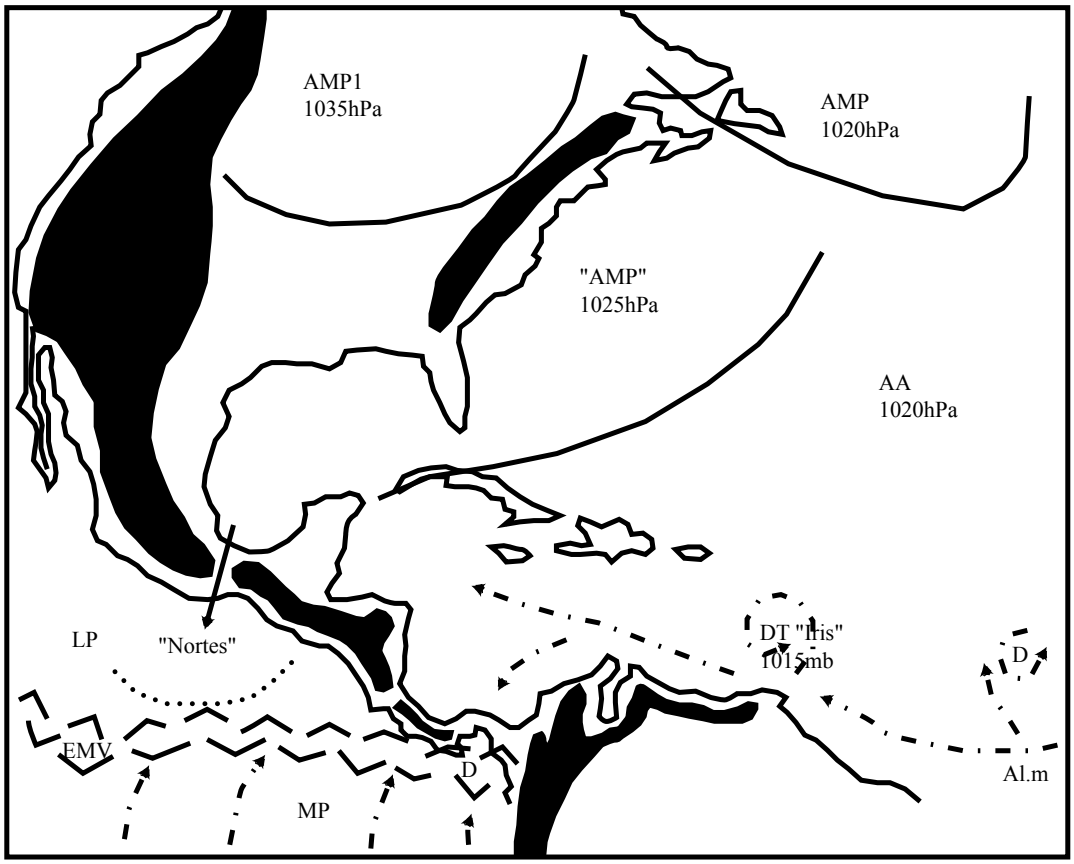


**Photo satellite n°173 : GOES 8, est, vis, le 5/10/2001, 18h15 T.U**

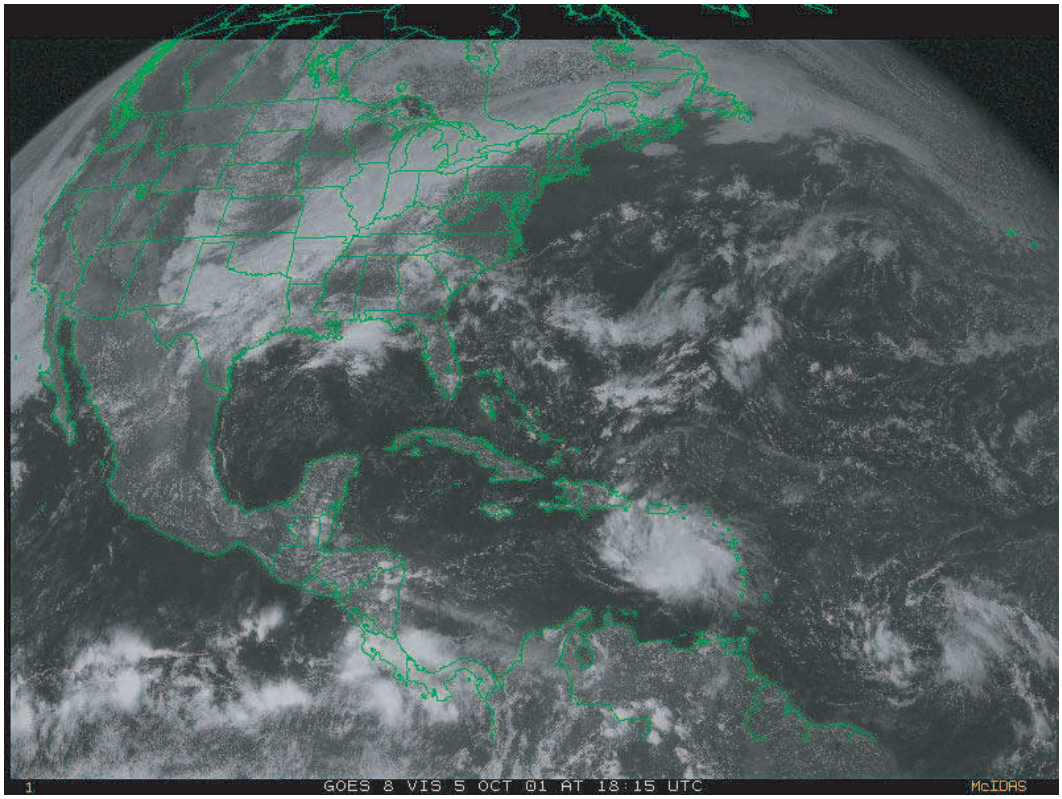



**Figure n°180 : Analyse de la photo satellite du 5/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

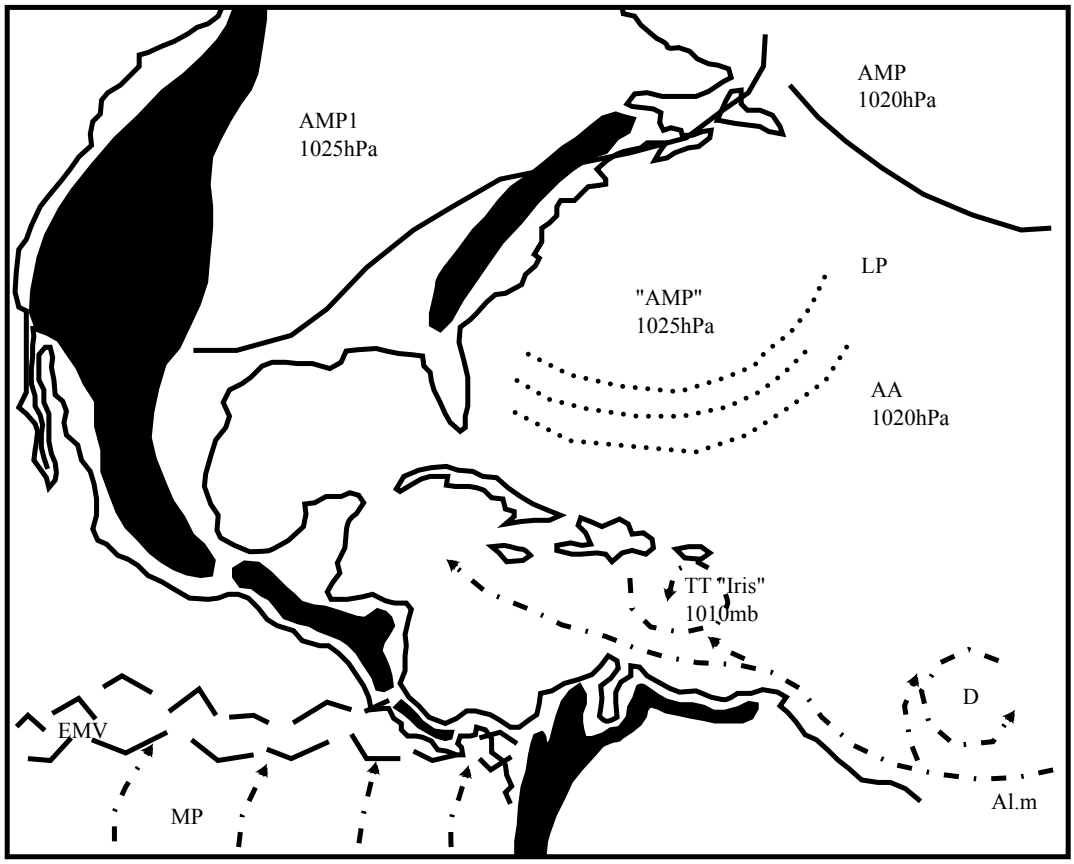


**Photo satellite n°174 : GOES 8, est, ir, le 6/10/2001, 12h15 T.U**

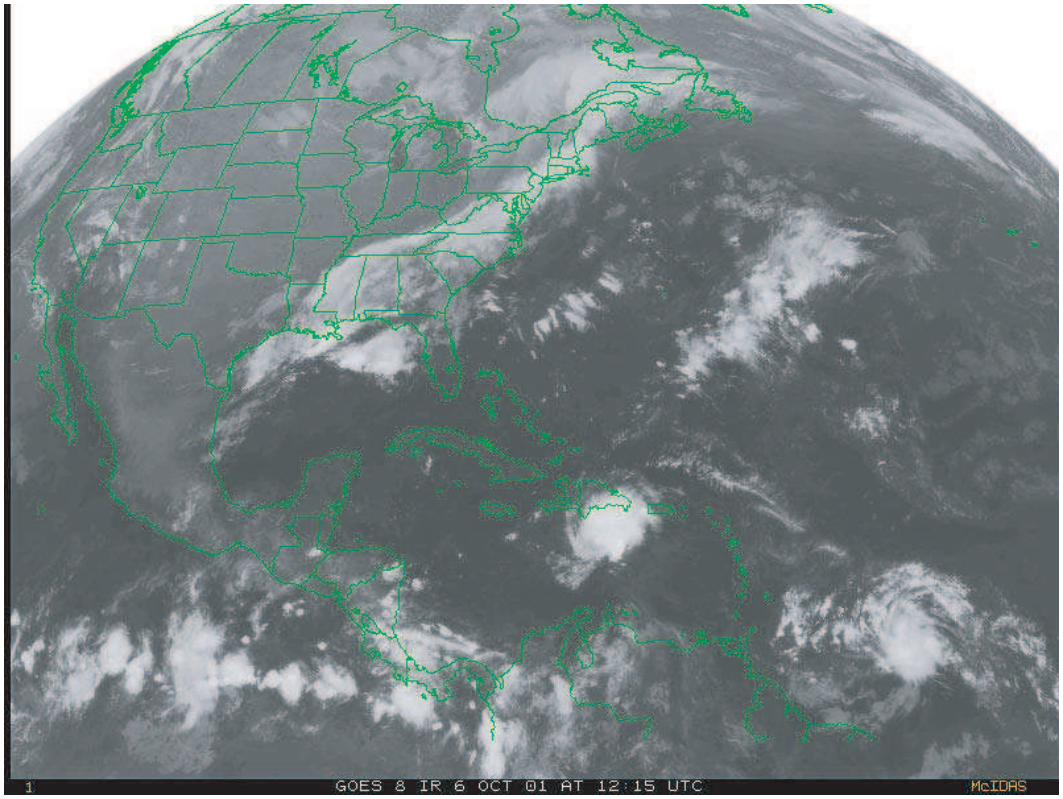



**Figure n°181 : Analyse de la photo satellite du 6/10/2001, GOES 8, est, ir, 12h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

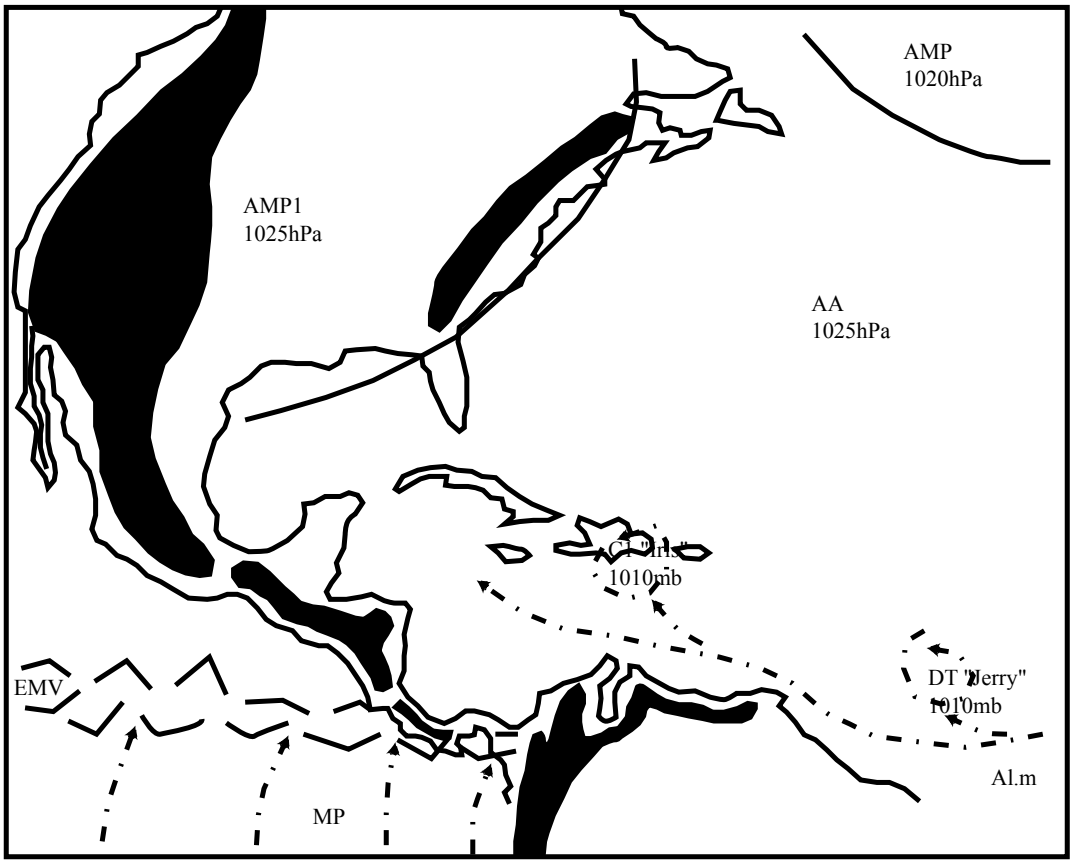


**Photo satellite n°175 : GOES 8, est, vis, le 7/10/2001, 18h15 T.U**

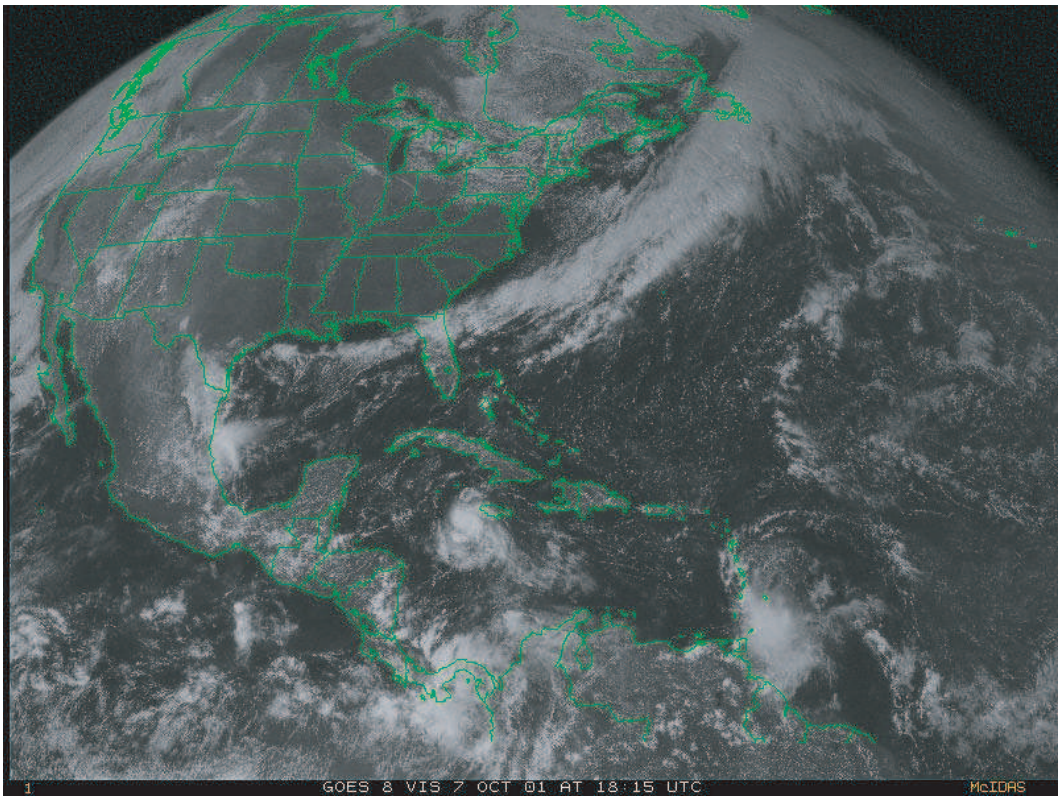



**Figure n°182 : Analyse de la photo satellite du 7/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

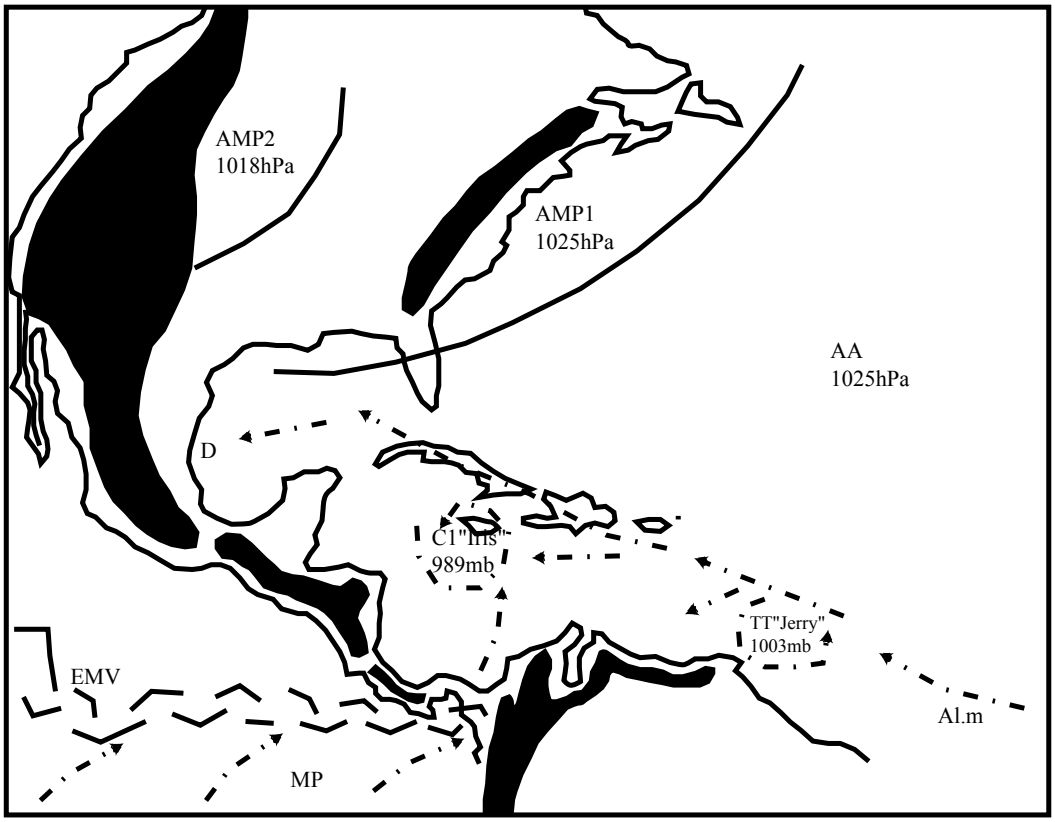


**Photo satellite n°176 : GOES 8, est, vis, le 8/10/2001, 18h15 T.U**

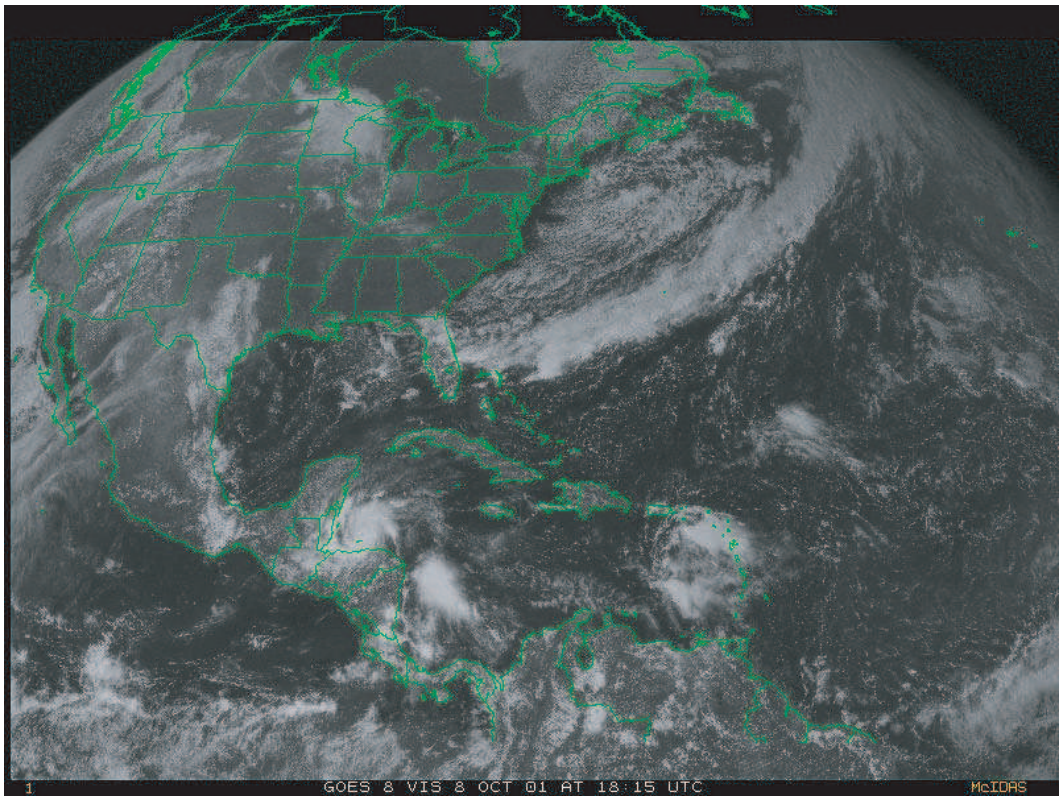



**Figure n°183 : Analyse de la photo satellite du 8/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

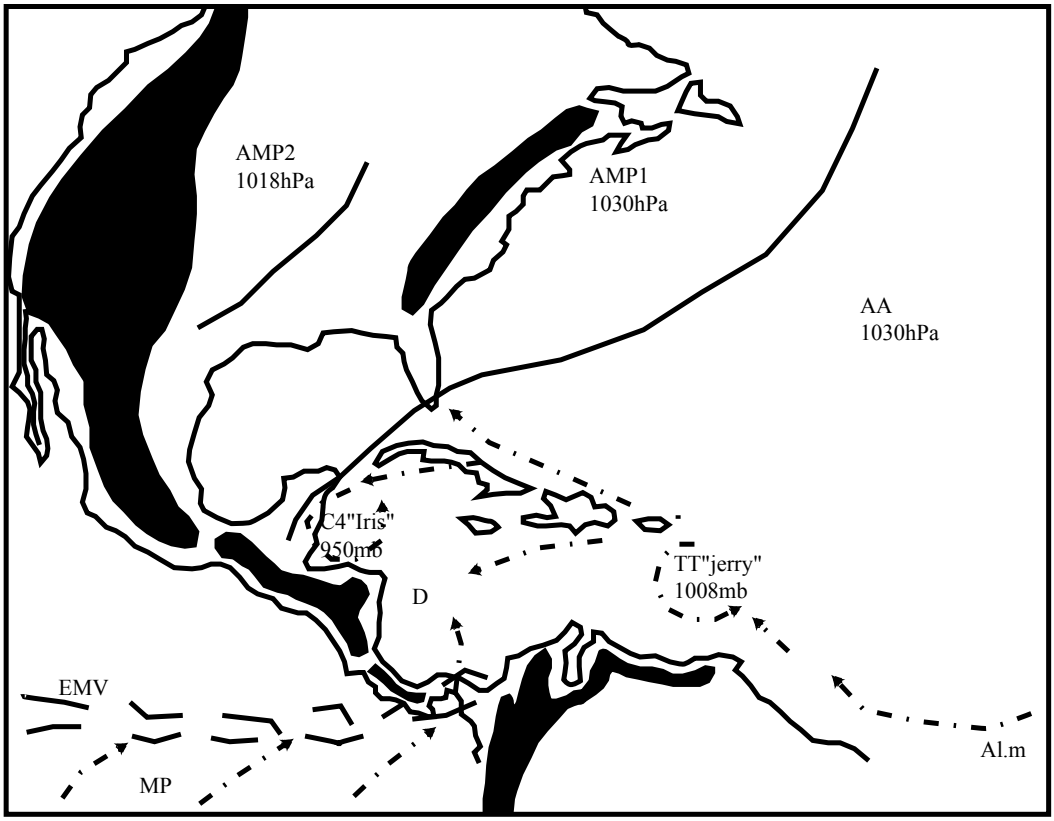


**Photo satellite n°177 : GOES 8, est, vis, le 9/10/2001, 18h15 T.U**

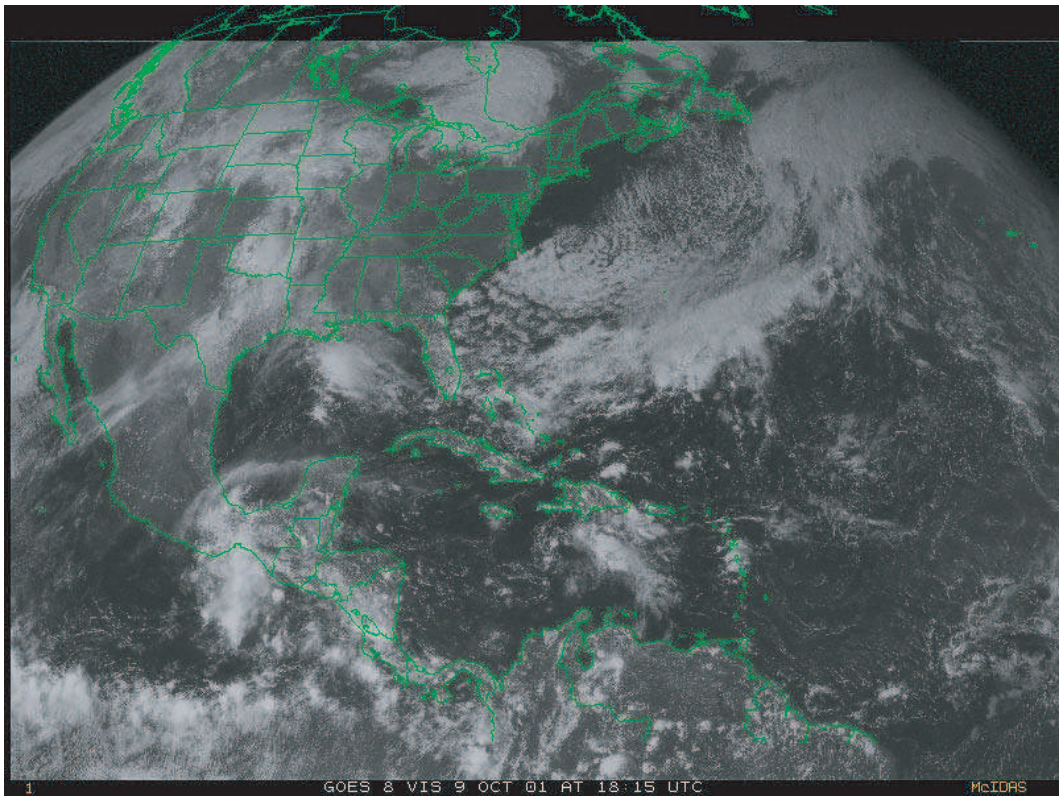



**Figure n°184 : Analyse de la photo satellite du 9/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

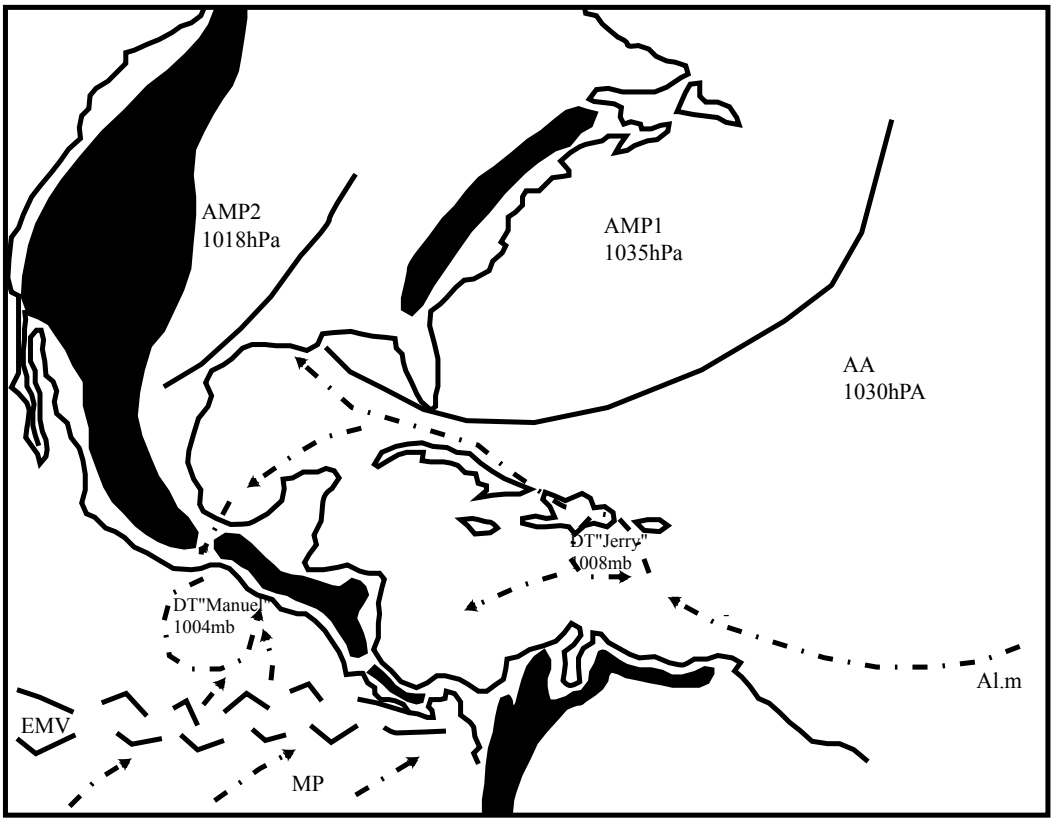


**Photo satellite n°178 : GOES 8, est, vis, le 10/10/2001, 18h15 T.U**

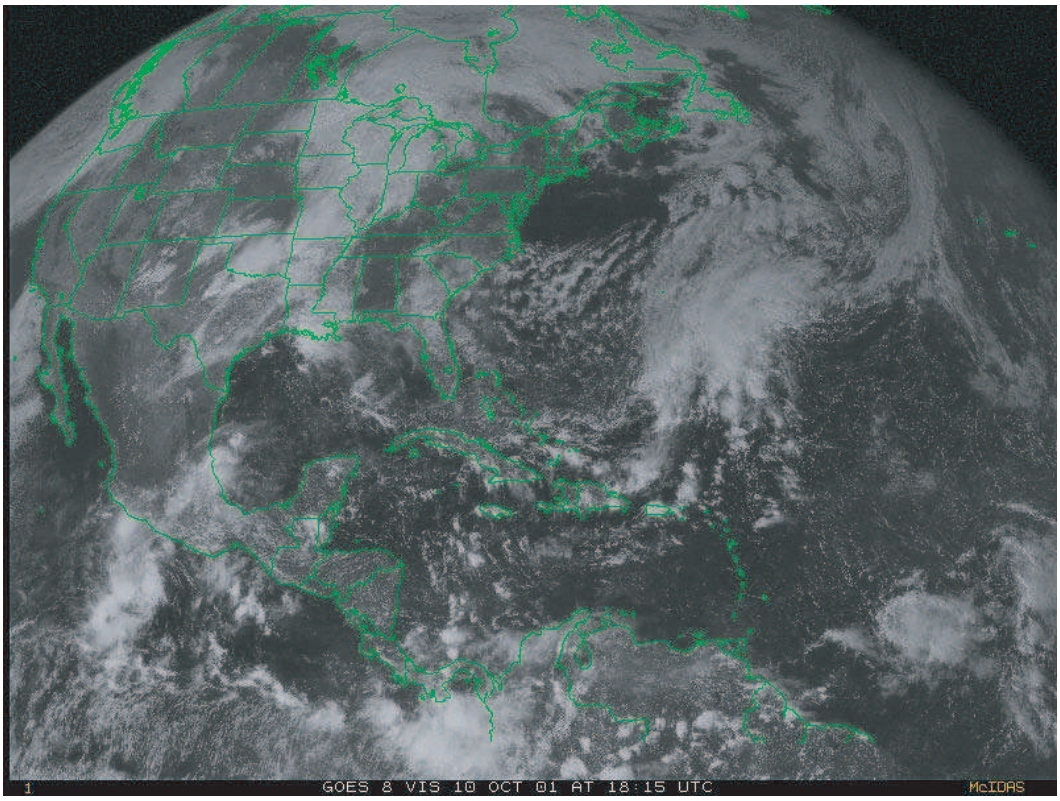



**Figure n°185 : Analyse de la photo satellite du 10/10/2001, GOES 8, est, vis, 18h15 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

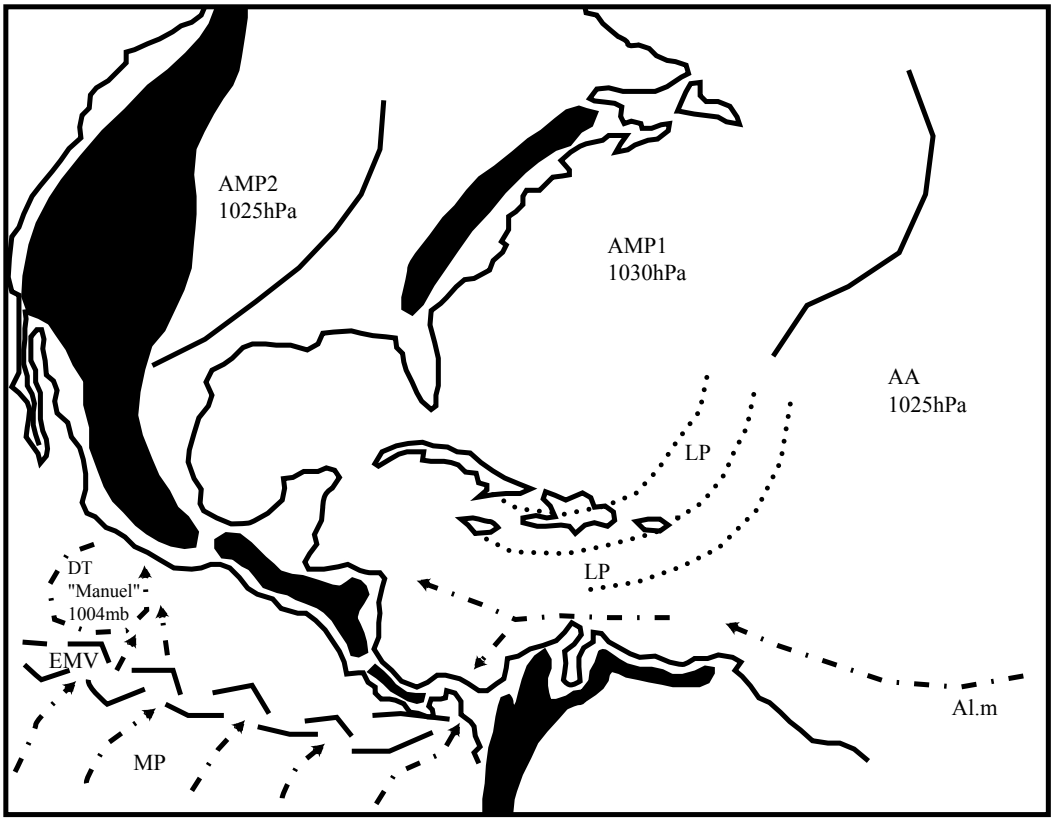


**Photo satellite n°179 : GOES 10, ouest, vis, le 11/10/2001, 18h30 T.U**

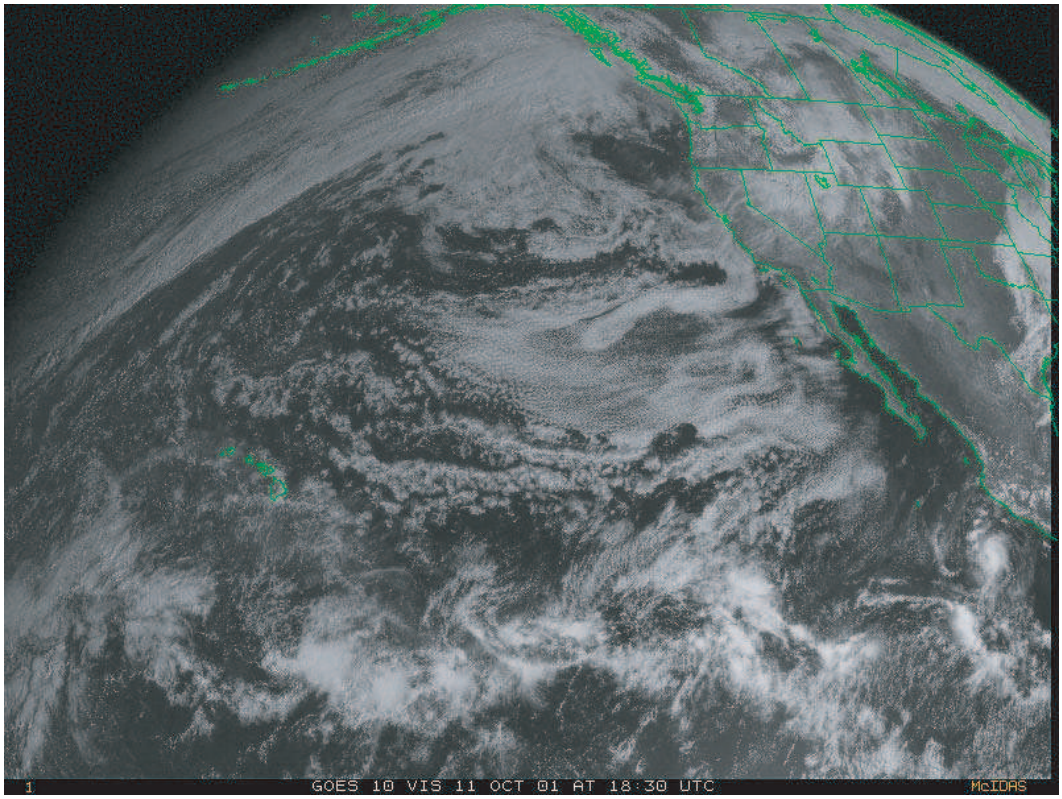



**Figure n°186 : Analyse de la photo satellite du 11/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

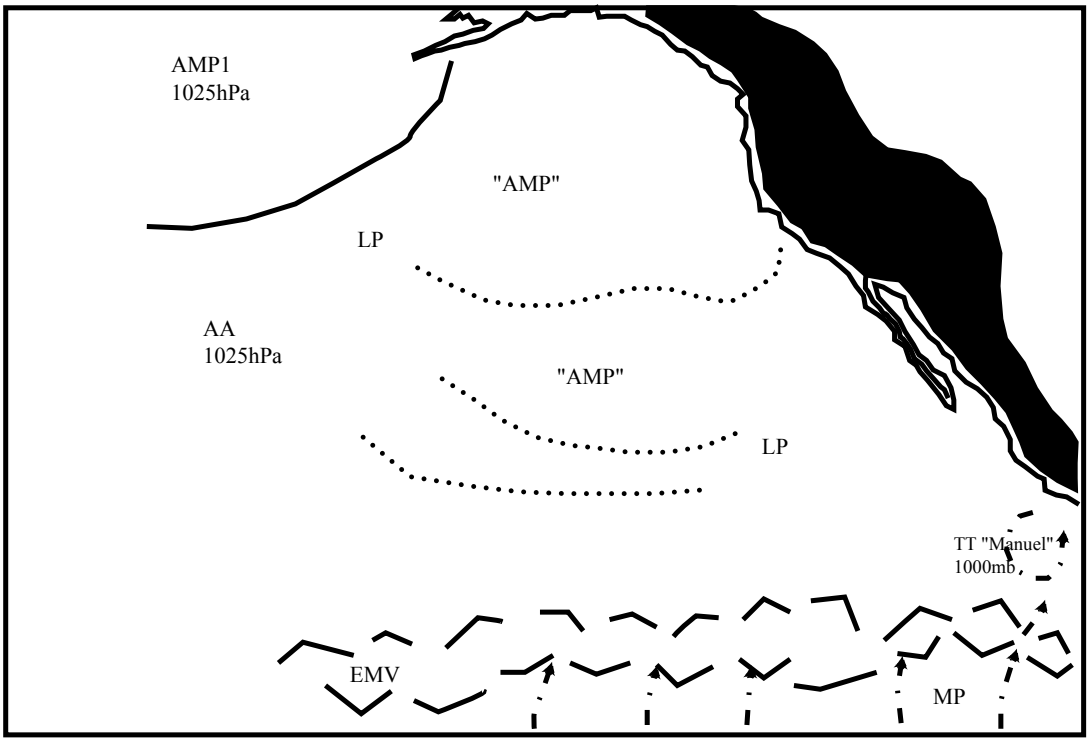


**Photo satellite n°180 : GOES 10, ouest, vis, le 12/10/2001, 18h30 T.U**

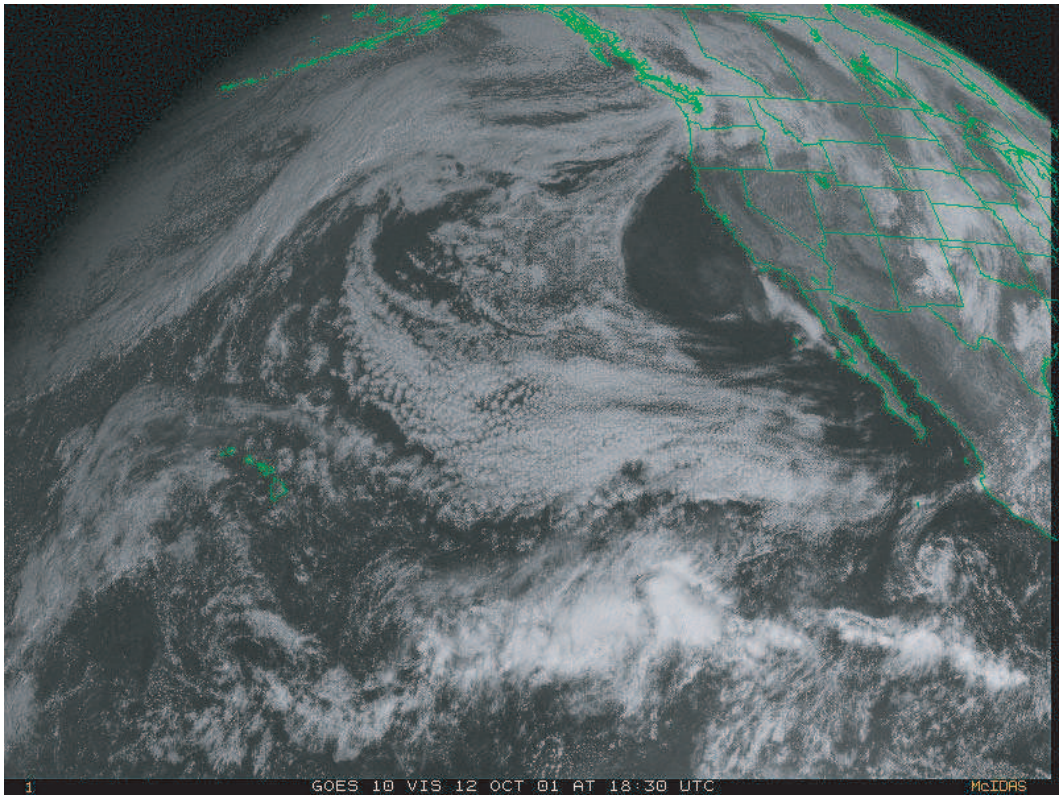



**Figure n°187 : Analyse de la photo satellite du 12/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

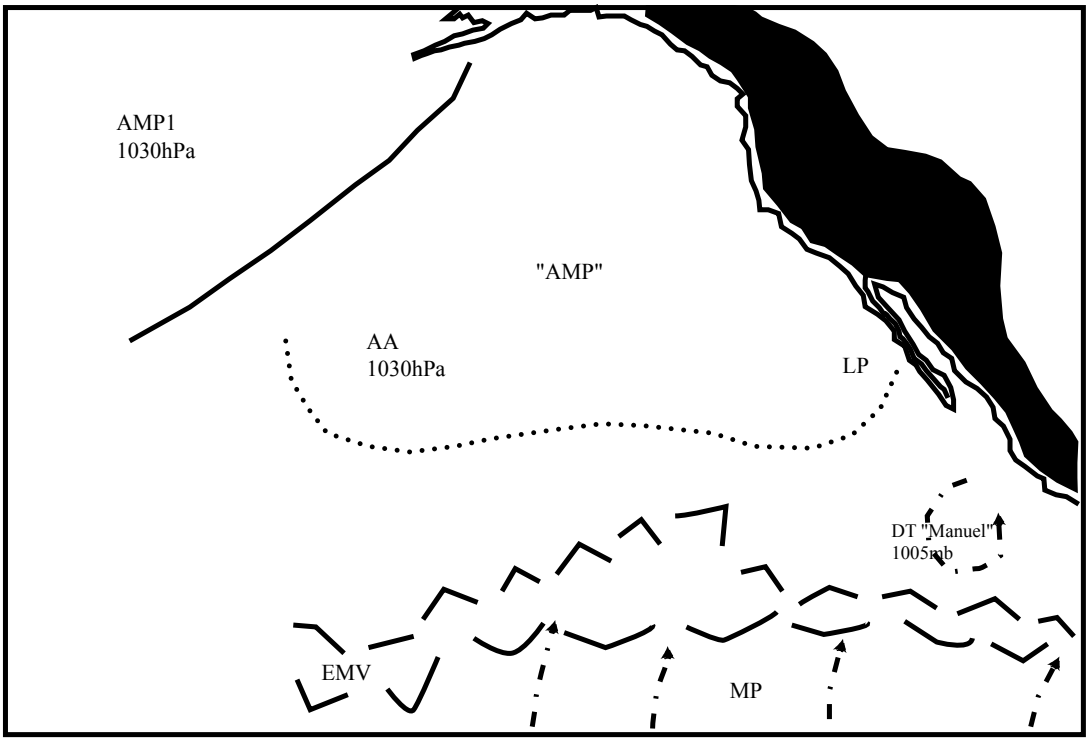


**Photo satellite n°181 : GOES 10, ouest, vis, le 13/10/2001, 18h30 T.U**

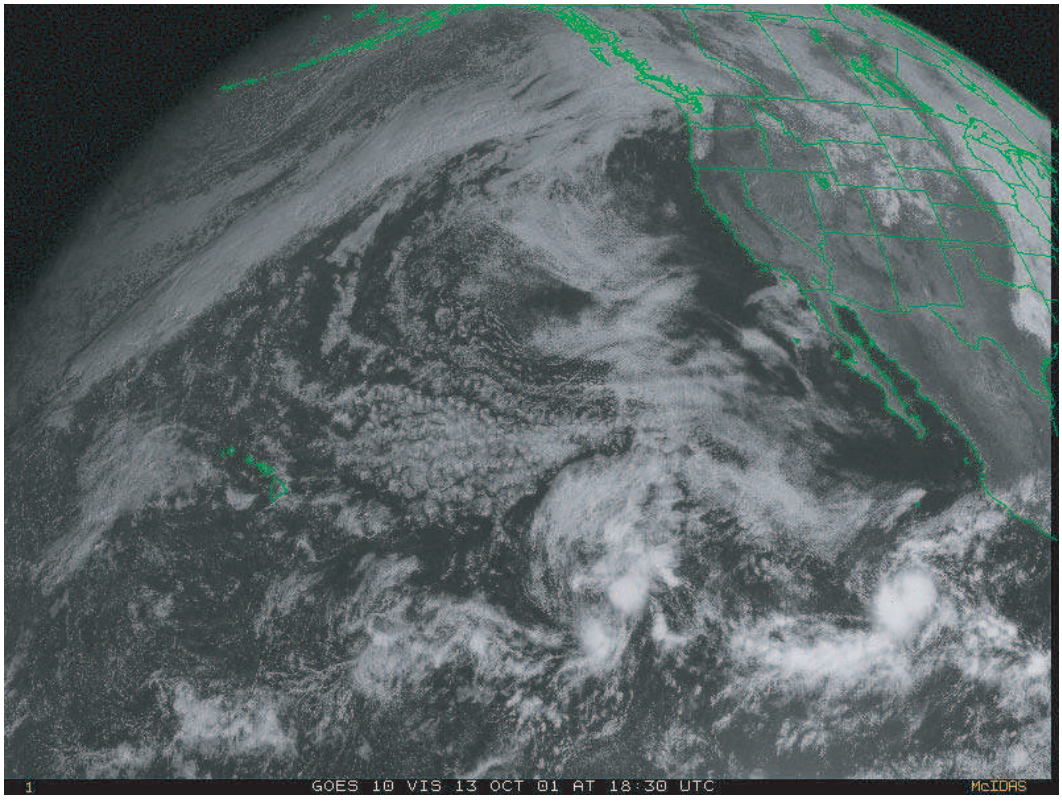



**Figure n°188 : Analyse de la photo satellite du 13/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

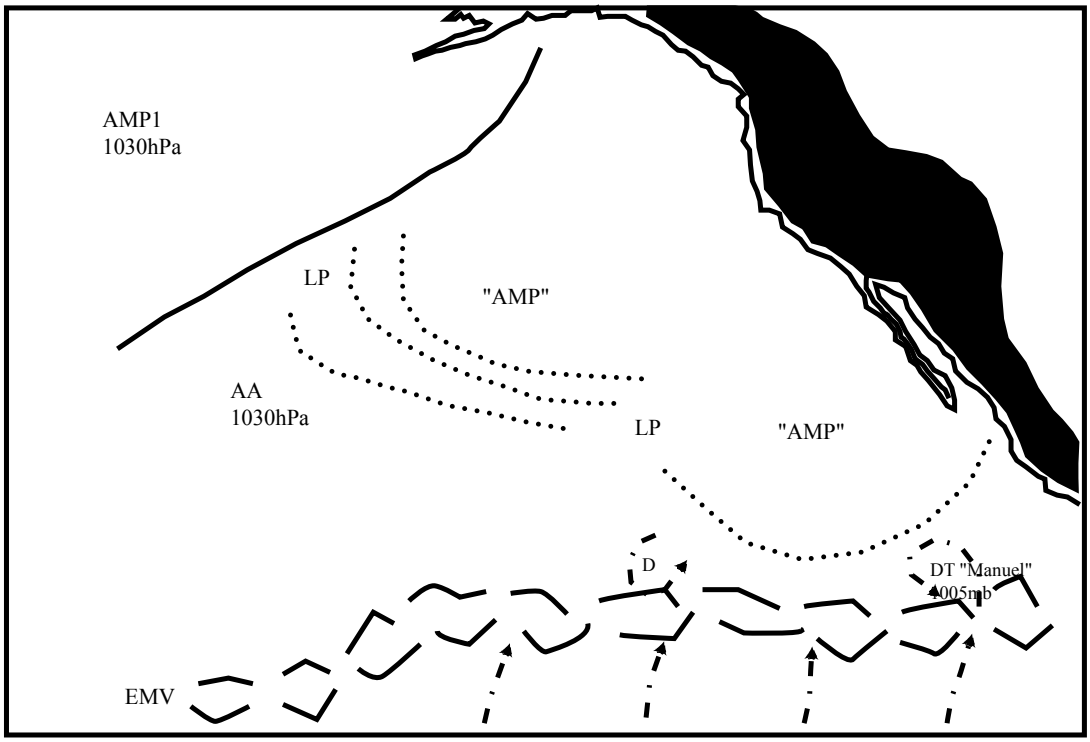


**Photo satellite n°182 : GOES 10, ouest, vis, le 14/10/2001, 18h30 T.U**

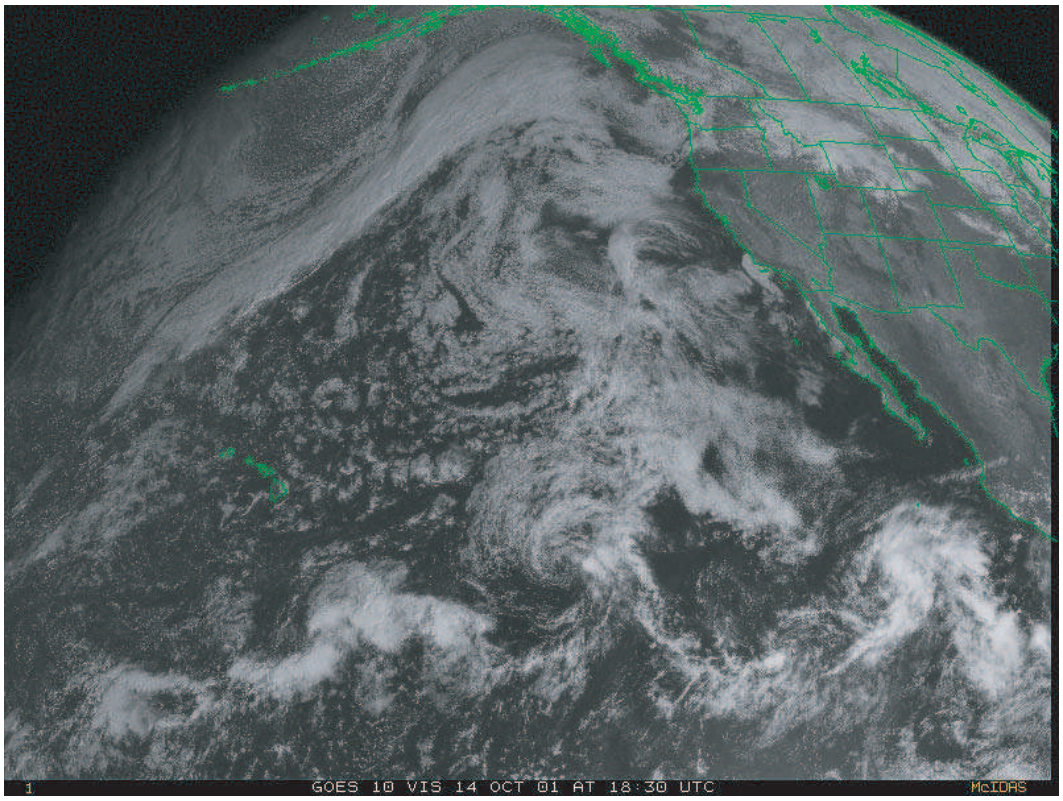



**Figure n°189 : Analyse de la photo satellite du 14/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

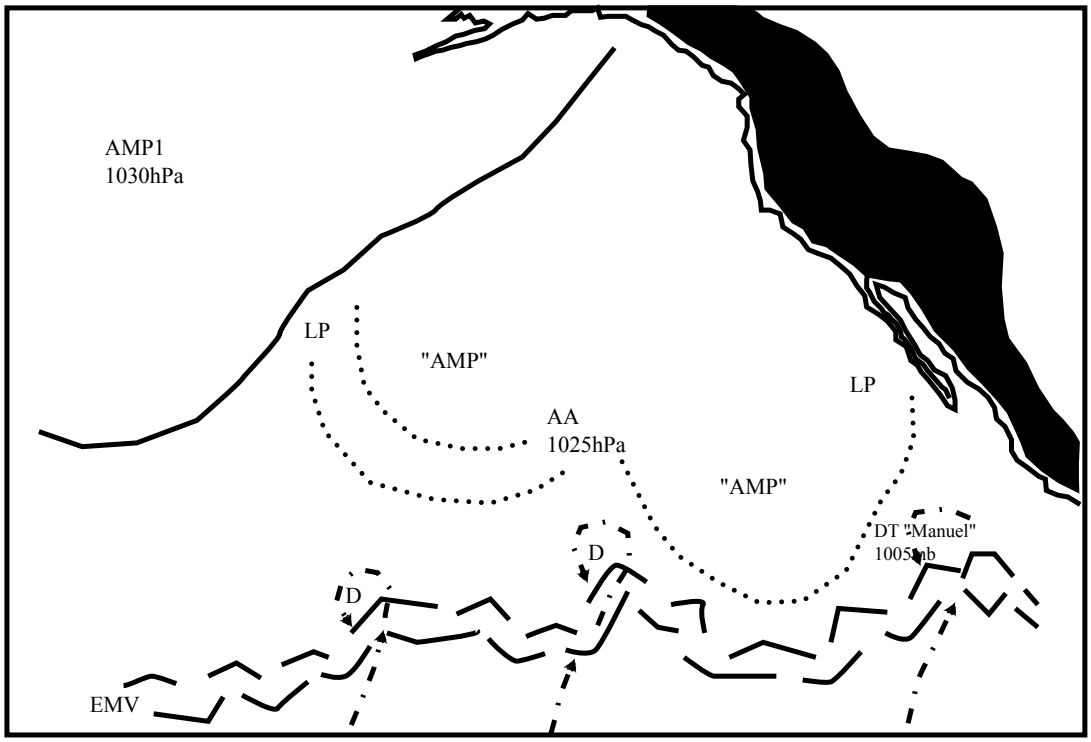


**Photo satellite n°183 : GOES 10, ouest, vis, le 15/10/2001, 18h30 T.U**

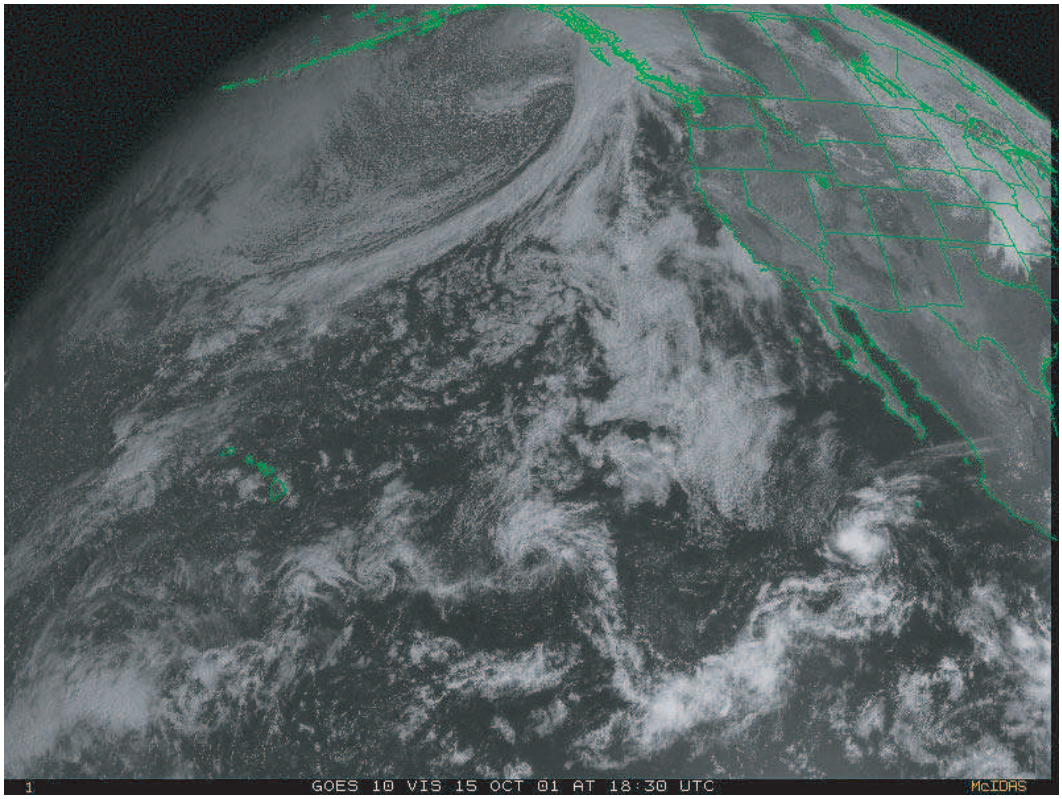



**Figure n°190 : Analyse de la photo satellite du 15/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

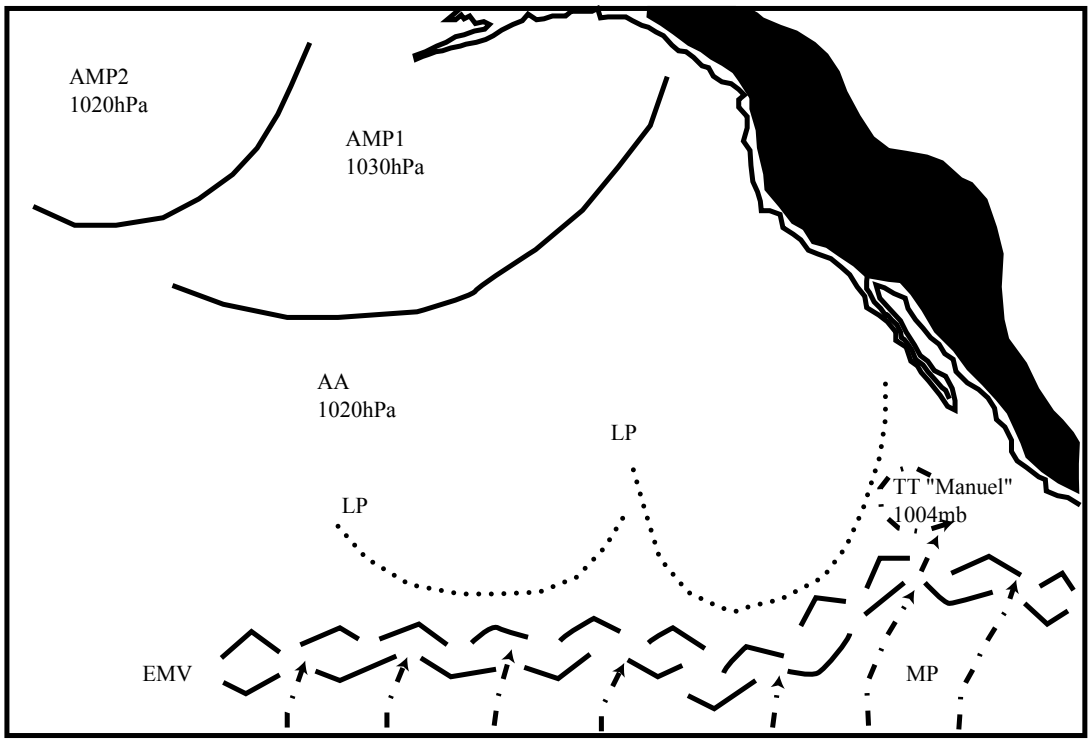


**Photo satellite n°184 : GOES 10, ouest, vis, le 16/10/2001, 18h30 T.U**

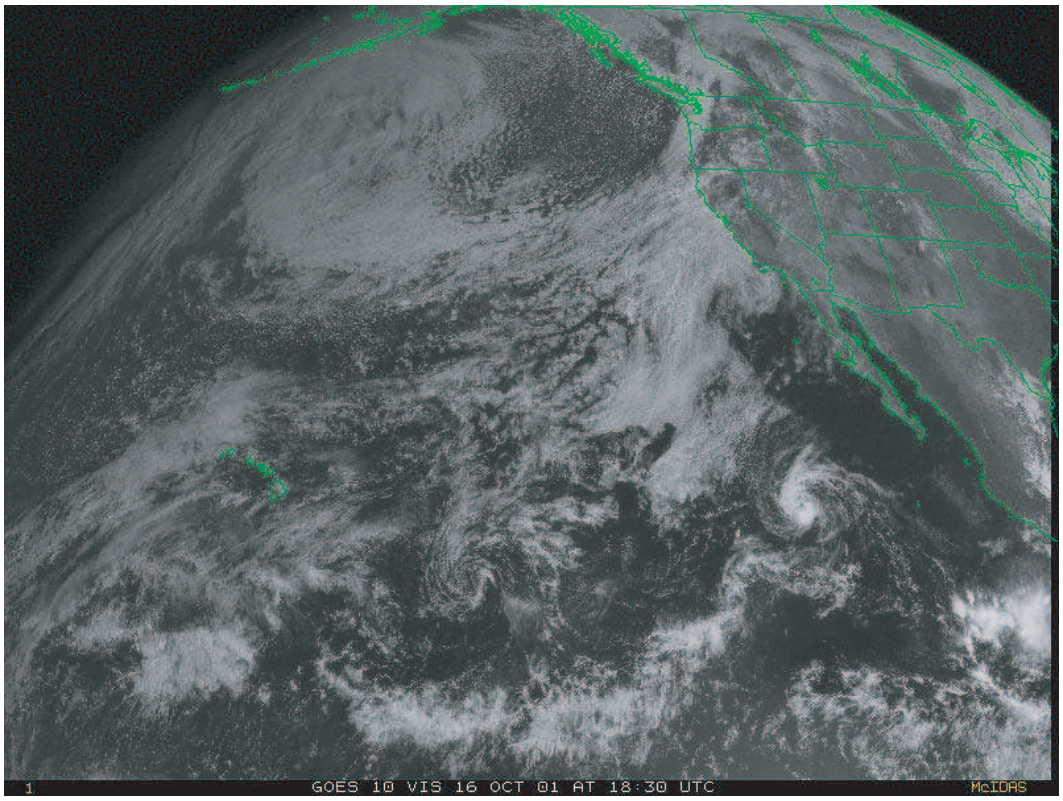



**Figure n°191 : Analyse de la photo satellite du 16/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

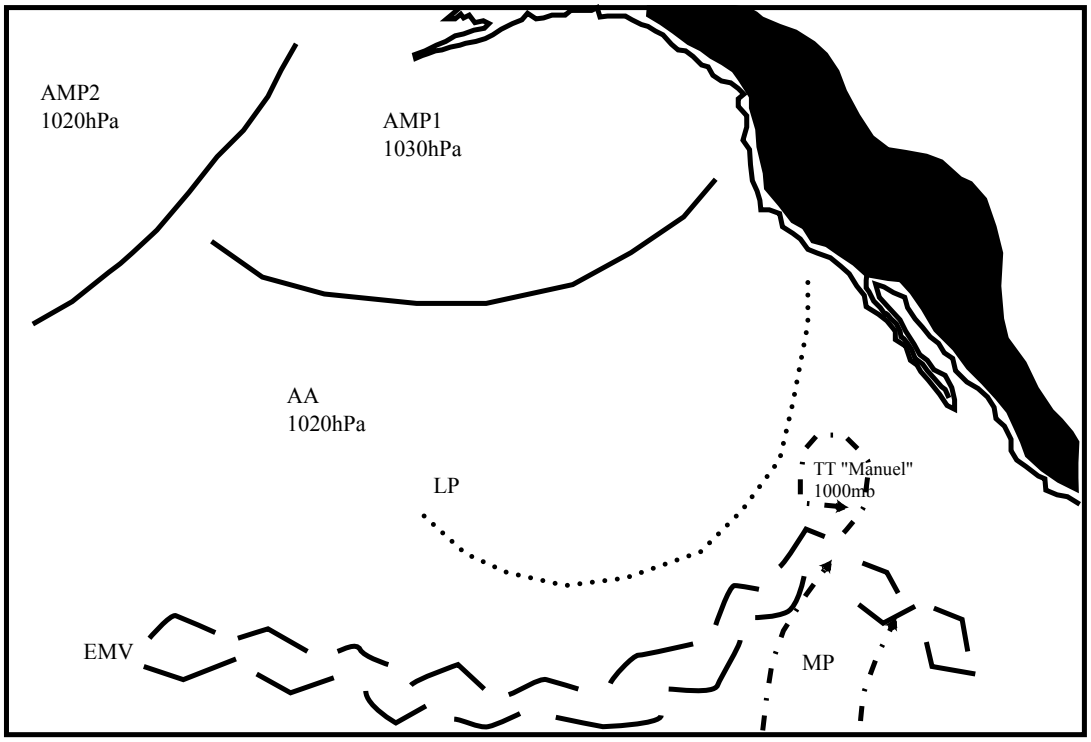


**Photo satellite n°185 : GOES 10, ouest, vis, le 17/10/2001, 18h30 T.U**

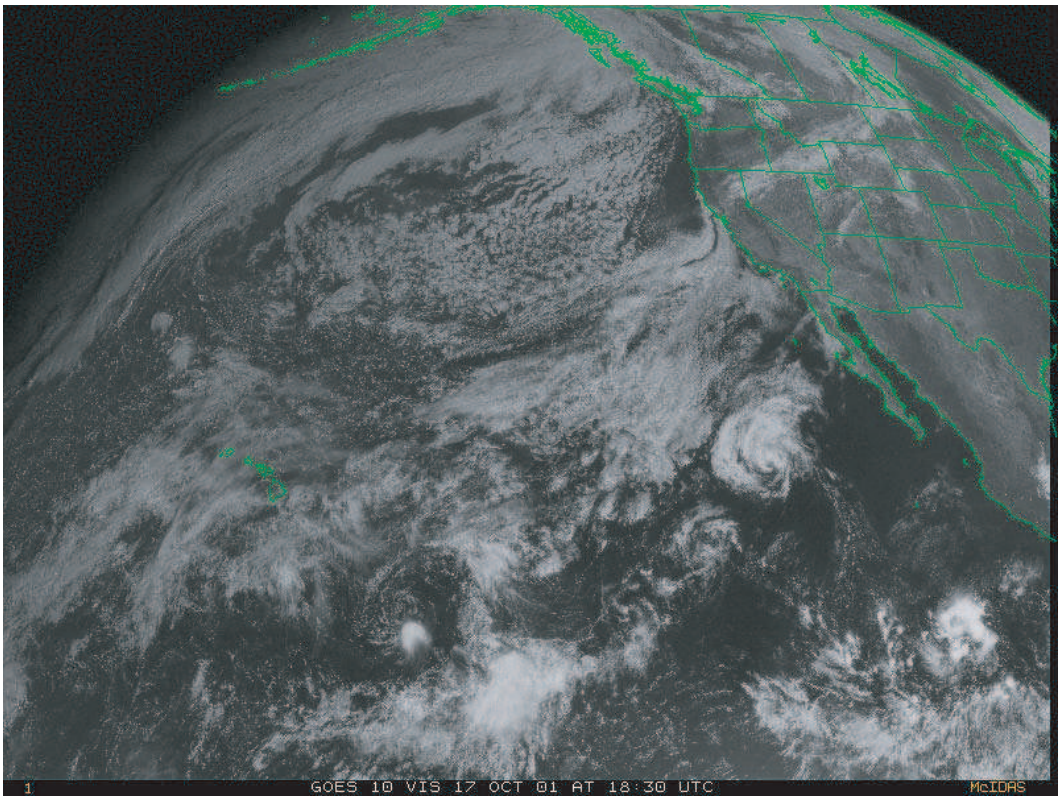



**Figure n°192 : Analyse de la photo satellite du 17/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*

*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*

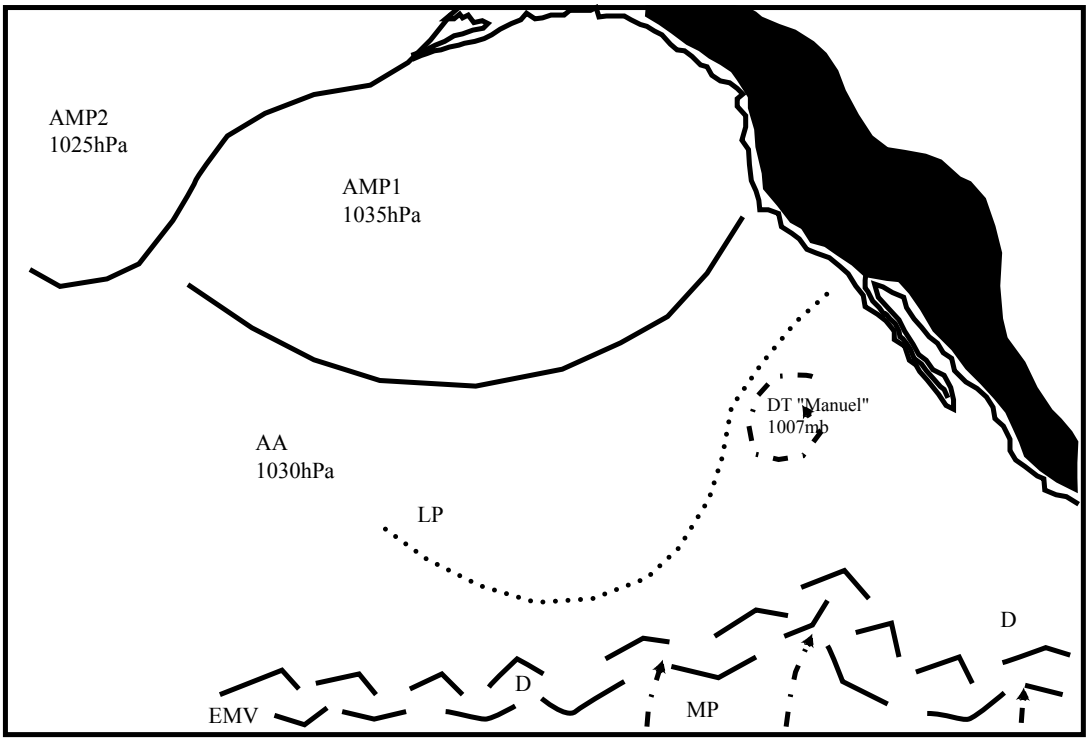


**Photo satellite n°186: GOES 10, ouest, vis, le 18/10/2001, 18h30 T.U**

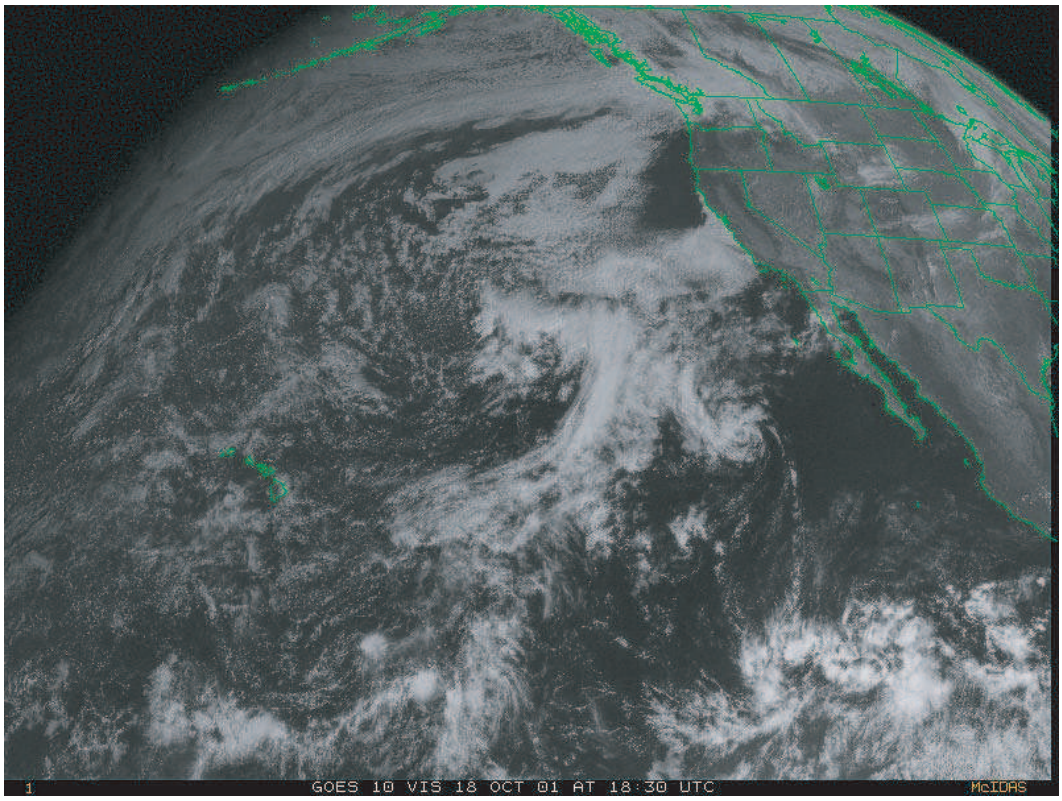



**Figure n°193 : Analyse de la photo satellite du 18/10/2001, GOES 10, ouest, vis, 18h30 T.U**

*(D'après carte de la NOAA, "Tropical surface analysis, Atlantic", 18h00 T.U)*
*(D'après carte de la GEIC, "Systemas principales", 11h45 heure locale)*



**Fig. n°194 : Carte récapitulative de l'évolution de surface de l'AMP1 et trajectoire d'"Iris"**
**du 4 au 10/10/2001**

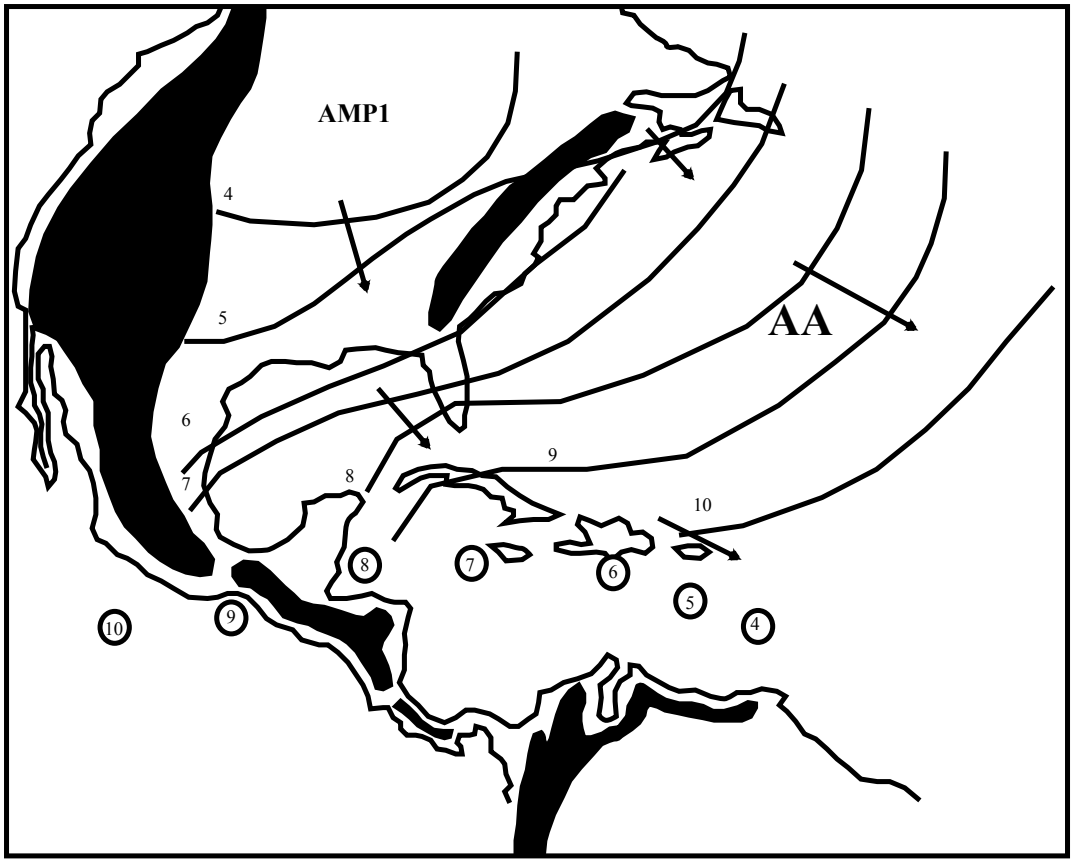
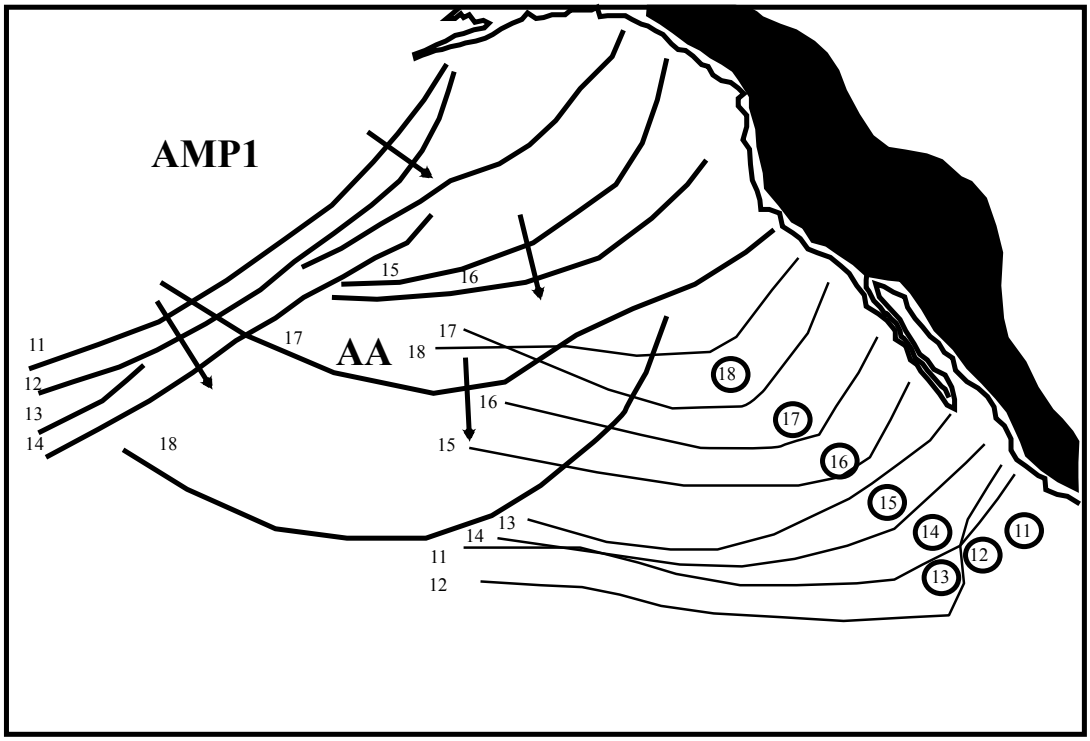



**Fig. n°195 : Carte récapitulative de l'évolution de surface de l'AMP1 et limite méridionale de l'AA ( ), trajectoire de "Manuel"**
**du 11 au 18/10/2001**



- **Commentaire de la fig. n°183 (analyse de la photo satellite du 8/10/01) :**

Le 8 octobre 2001, à 12h00 T.U, sur la face avant de l'AMP1, « Iris » devient un très puissant cyclone tropical relevant de la catégorie 4 de l'échelle Saffir-Simpson (l'AMP1 et le relief forcent l'ascendance de l'Al.m et de la MP).

- **Commentaire de la fig. n°184 (analyse de la photo satellite du 9/10/01) :**

Sur la face avant de l'AMP1, le 9 octobre, à 00h00 T.U, le cyclone s'intensifie rapidement, la pression minimale enregistrée est de 948 millibars; des vents ayant une vitesse de 250 km/h sont enregistrés.

La poussée anticyclonique envoie le cyclone sur le continent voisin et c'est à proximité de la ville de « Monkey River » (située à 95 kilomètres de la capitale « Belize City », Belize), le 9 octobre 2001 à 02h00 T.U que le cyclone touche terre. A 02h00 T.U, la pression minimale est de 948 millibars ; les vitesses de vent relevées sont de 250 km/h ; à 06h00 T.U, la pression est de 1005 millibars et les vents atteignent 120 km/h ; à 12h00 T.U, la pression relevée est de 1004 millibars et les vents atteignent 60 km/h.

A 18h00 T.U, le système apparaît très désorganisé mais en glissant vers l'ouest, le long des montagnes d'Amérique Centrale, au niveau de l'isthme de Tehuantepec (Mexique), l'abaissement du relief (passage du Belize/Guatemala) a autorisé le système dépressionnaire a gagner l'espace du Pacifique du nord-est. « Iris » bénéficie à nouveau de conditions favorables (présence de l'EMV et des flux de la MP).

- **Commentaire de la fig. n°185 (analyse de la photo satellite du 10/10/01):**

Une « nouvelle » convection se développe sur l'espace du Pacifique du nord-est et ce, à une très courte distance de l'endroit où « Iris » est venu percuter les montagnes du sud-est mexicain. Cette zone dépressionaire va rapidement s'organiser pour devenir la dépression tropicale (DT) « 15-E », située à 325 kilomètres au sud/sud-est d'Acapulco (Mexique), le 10 octobre 2001 à 12h00 T.U.

La DT « 15-E » se déplace vers l'ouest puis vers le nord-ouest.

- **Commentaire de la fig. n°186 (analyse de la photo satellite du 11/10/01, ouest) :**

Le 11 octobre 2001 à 06h00 T.U, la DT « 15-E » va atteindre le stade de tempête tropicale (TT). La TT « Manuel » est alors située à environ 370 kilomètres au sud-sud-ouest de la ville de Zihutanejo (Mexique). A 18h00 T.U, des vents ayant une vitesse de 90 km/h sont enregistrés. « Manuel » ne peut poursuivre son déplacement vers l'ouest (route « habituellement » suivie par les cyclones dans ce secteur) en raison de l'AA dite « des Hawaii » qui lui interdit le passage. Cette AA est bien alimentée comme en témoignent les lignes de pulsation (LP) qui traduisent l'intégration d'AMP plus anciens (« AMP ») dans l'AA. L'alimentation se poursuit, nous remarquons la présence de l'AMP1 sur le détroit de Béring.

- **Commentaire de la fig. n°187 (analyse de la photo satellite du 12/10/01, ouest) :**

Le 12 octobre 2001 à 12h00 T.U, « Manuel » n'est plus qu'une DT. L'AMP1 continue sa descente vers le sud et accélère l'intégration d'AMP plus anciens (« AMP ») dans l'AA comme en témoignent les LP.

- **Commentaire de la fig. n°188 (analyse de la photo satellite du 13/10/01, ouest) :**

Le 13 octobre 2001 à 18h00 T.U, la DT « Manuel » est repoussé vers l'équateur météorologique vertical (EMV) par la poussée anticyclonique (descente et intégration d'un ancien AMP, « AMP » dans l'AA comme en témoigne la LP). Avec l'arrivée de l'AMP1, l'AA, renforcée, s'étend et interdit le passage vers l'ouest à la DT « Manuel ». Cette dernière, à proximité de l'EMV, dispose à nouveau d'un terrain favorable et reprend des forces (ascendances facilitées, flux de la MP).

- **Commentaire de la fig. n°189 (analyse de la photo satellite du 14/10/01, ouest) :**

L'AMP1 continue sa descente vers le sud en direction de l'AA dite « des Hawaii ». La poussée anticyclonique (LP) conduit à l'activation de l'EMV à proximité duquel se développent des dépressions qui bénéficient de la structure EMV où les ascendances sont facilitées et de la MP.

Avec l'arrivée d'une LP, les ascendances sont facilitées et la DT « Manuel » se creuse à nouveau.

- **Commentaire de la fig. n°190 (analyse de la photo satellite du 15/10/01, ouest) :**

Le 15 octobre 2001 à 06h00 T.U, la DT « Manuel » va se creuser et atteindre, à nouveau, le stade de TT. L'AMP1 continue sa descente vers le sud. nous pouvons observer un nouvel AMP, l'AMP2 situé sur le détroit de Béring.

- **Commentaire de la fig. n°191 (analyse de la photo satellite du 16/10/01, ouest) :**

Sous l'effet des LP, la TT « Manuel » continue à se creuser légèrement tout en s'éloignant de l'EMV. Les flux de la MP se dirigent vers l'EMV puis sont déviés en direction de « Manuel ». L'AMP1 continue sa descente le long de la côte de l'Amérique du Nord ; derrière lui, nous remarquons la présence de l'AMP2.

- **Commentaire de la fig. n°192 (analyse de la photo satellite du 17/10/01, ouest) :**

« Manuel » n'est plus qu'une simple DT. « Manuel » s'est éloigné de l'EMV et ne dispose plus de l'énergie apportée par les flux de la MP. Le passage vers l'ouest lui est toujours interdit par la présence de l'AA dite « des Hawaii ». L'AMP2 continue sa descente en direction de l'AA et accélère l'intégration de l'AMP1 dans cette dernière comme en témoigne la LP.

- **Commentaire de la fig. n°193 (analyse de la photo satellite du 18/10/01, ouest) :**

Le 18 octobre 2001 à 06h00 T.U, la DT « Manuel » se résorbe puis disparaît peu à peu, victime de sa confrontation avec l'AMP1, AMP intégré dans l'AA.

- **Bilan de l'épisode « Iris » et « Manuel » (fig. n°194 et 195) :**

- **Bilan 1 (fig. n°194) :**

« Iris » a pris naissance au sud de l'AA dite des « Bermudes/Açores ». Le système dépressionnaire se déplace d'est en ouest avant de rencontrer la face avant de l'AMP1. L'AMP1, descendu entre les Montagnes Rocheuses et les Appalaches va interdire à « Iris » la route « habituellement » suivie par les cyclones, vers le nord-nord-est. Projeté sur le continent voisin par la poussée anticyclonique, « Iris » va emprunter l'un des passages prisés par les cyclones transisthmiques en passant sur le Belize, le Guatemala puis par l'isthme de Tehuantepec. Dans ce secteur, l'abaissement et le morcellement du relief autorisent le passage depuis l'océan Atlantique vers l'océan Pacifique.

- **Bilan 2 (fig. n°195) :**

Le 10 octobre 2001, sur l'océan Pacifique, à proximité des côtes centraméricaines, « Iris » va continuer son cheminement sous le nom de « Manuel ». Sur le Pacifique, « Manuel » bénéficie de la proximité de l'EMV ainsi que des flux de la MP.

Dans un premier temps, « Manuel » adopte un déplacement « classique », vers le nord-nord-ouest. Mais, très vite, en s'éloignant vers le nord, le système dépressionnaire est victime de la force de Coriolis qui le déporte naturellement vers le nord-nord-est ainsi que de la présence de l'AA dite « des Hawaii » qui lui interdit le passage vers l'ouest. Cette AA reste, pendant toute la durée de vie de « Manuel », bien alimentée par descente et l'intégration de l'AMP1 puis de l'AMP2.

- **Conséquences humaines, matérielles et climatiques :**

Avant de pénétrer sur le Belize, « Iris » a laissé derrière lui 3 morts en République Dominicaine.

Pour le petit état centraméricain du Belize, c'est le bilan humain et économique qui restera dans les mémoires.

En effet, pour cet Etat centraméricain, le cyclone « Iris » a été le plus dévastateur depuis le cyclone « Hattie » en 1961. Depuis 1942, aucun cyclone n'avait pénétré la partie méridionale du pays. « Iris » a touché terre le 9 octobre vers 8h00 (heure locale). « Iris » est le pire cyclone à toucher le Belize depuis « Hattie » en 1961 et le premier à toucher le sud du pays depuis 1942 ! Le cyclone a traversé rapidement ce petit pays pour venir par la suite heurter les puissantes montagnes du Guatemala. Le cyclone a laissé derrière lui une traînée de 50 kilomètres de large à l'intérieur de laquelle tout a été dévasté. La ville de Monkey River ; « Stann Creek » et « Toledo », dans la partie méridionale du Belize, sont les districts les plus affectés. Les dégâts les plus importants sont, en grande partie, imputables aux vents dévastateurs ainsi qu'à l'onde d'ouragan (d'une hauteur de 2,5 à 4,5 mètres à Palencia et Independance). Au total, 3 178 maisons furent détruites, faisant 10 000 sans abris, 30 000 autres personnes furent isolées à cause des destructions d'infrastructures routières. Les précipitations totales, relativement peu importantes (75 à 100 millimètres) entraînèrent

cependant « quelques » glissements de terrains (qui firent quand même une cinquantaine de morts au Belize et 8 morts au Guatemala). Le bilan économique fut donc très lourd pour ce petit pays: 85% des cultures de bananes (principal produit d'exportation) furent détruites ; les cultures de citrons ainsi que l'aquaculture furent, dans une moindre mesure, également affectées ; Le tourisme (secteur à l'origine de l'entrée de la quasi totalité des devises étrangères dans le pays) fut paralysé pendant de longs mois dans le sud du pays. Le gouvernement du Belize parla de plus de 66 millions de dollars de pertes. Le bilan humain est lui aussi très lourd : trente et un morts sont à déplorer mais comme toujours, le bilan définitif ne pourra sans doute jamais être connu…

« Manuel », constamment en mer, n'a pas fait de dégât.

**« Le Belize après le passage d' « Iris »**
**(cliché, AFP)**



## 4) Synthèse sur les cyclones transisthmiques :

Ces études de cyclones transisthmiques nous procurent l'occasion de faire le point sur ce type de manifestation et de relever ainsi quelques « incohérences de vocabulaire ».

Selon James L. Franklin (« NHC » de Miami) dans son « Tropical Cyclone Report » du 31/10/2001, la tempête tropicale « Manuel » « s'est formée à partir des résidus du cyclone atlantique Iris ». Cependant, ce météorologue se refuse à parler de cyclone transisthmique. Selon ce dernier, « la politique actuellement en vigueur est de considérer que seuls les cyclones traversant d'un bassin cyclonique à l'autre gardent leur nom ». Iris ne relevant plus (selon l'échelle Saffir/Simpson) de l'appellation cyclone avant de pénétrer sur le Pacifique du nord-est, « c'est à juste titre que la nouvelle dépression fut appelée 15-E ». Cette même logique s'applique à la DT n°9 suivie de « Juliette ».

Il nous semble cependant plus juste de parler d'un seul et même phénomène climatique ayant des intensités différentes. Comme ces études de cas le démontrent, nous avons ici deux exemples de cyclones transisthmiques. Donner plusieurs noms successifs à un seul phénomène contribue à favoriser les incompréhensions, les erreurs d'interprétation.

Une nouvelle fois, ces études mettent en lumière certaines insuffisances :

- Seule la connaissance de l'AMP et de l'EMV permettant d'en rendre compte, aucune explication n'est avancée pour expliquer le franchissement de l'isthme.
- Sur le Pacifique, M. B. Lauwrence et M. Mainelli (« NHC » de Miami), pour expliquer le brusque changement de direction de « Juliette », invoquent la présence et le creusement, le 26/9, d'une forte dépression sur l'ouest de la côte ouest des Etats-Unis. Une dépression ne pouvant se creuser toute seule, l'explication est à rechercher dans la descente, le long des reliefs côtiers américains de l'AMP2. Sur sa face avant, l'AMP provoque l'élévation et/ou la fuite des flux environnants (plus chauds) le long de son couloir dépressionnaire, en direction de sa dépression associée. La descente vers le sud de cet AMP2 force l'intégration dans l'AA d'AMP plus anciens et, c'est la poussée anticyclonique (LP), associée à la force de Coriolis, qui envoie le cyclone vers le nord-nord-est, le long du couloir dépresionnaire périphérique, vers le continent voisin.

Nous voyons à nouveau l'importance du rôle joué par les AMP et ici l'EMV sur la naissance, le développement et les trajectoires suivies par les cyclones. En dépit de l'énergie colossale concentrée dans un cyclone, ce dernier ne peut échapper aux conditions qui lui sont imposées par les AMP.

Les cyclones qui traversent l'isthme centraméricain sont présentés comme étant des phénomènes rares. Pouvons-nous préciser cette affirmation ?

Stephen Caparotta, D. Walston, Steven Young and Gary Padgett (2004) ont observé, dans les archives du NHC, les trajectoires empruntées par les cyclones depuis 1949 dans le bassin cyclonique de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes et dans le bassin cyclonique du Pacifique du nord-est.

Ces auteurs ont identifié les cyclones transisthmiques suivants (nous ajoutons à cette liste, entre parenthèses l'endroit par où est passé le système dépressionnaire et nous

complétons cette liste en analysant les archives du NHC depuis 1851 pour l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes) :

- Cyclone atlantique « Cesar » (juillet 1996) devenant le cyclone pacifique « Douglas » (passé par l'ensellement du Nicaragua).
- Tempête tropicale atlantique « Bret » (août 1993) devenant le cyclone pacifique « Greg » (passée par l'ensellement du Nicaragua).
- Cyclone pacifique « Cosme » (juin 1989) devenant la tempête tropicale atlantique « Allison » (passé par l'ouest de l'isthme de Tehuantepec).
- Cyclone atlantique « Joan » (octobre 1988) devenant le cyclone pacifique « Miriam » (passé par le passage du Nicaragua) .
- Cyclone atlantique « Greta » (septembre 1978) devenant le cyclone pacifique « Olivia » (passé par le passage du Belize-Guatemala).
- Cyclone atlantique « Fifi » (septembre 1974) devenant la tempête tropicale pacifique « Orlene » (passé par le passage du Belize-Guatemala).
- Cyclone atlantique « Irene » (septembre 1971) devenant la tempête tropicale pacifique « Olivia » (passé par l'ensellement du Nicaragua).
- Cyclone atlantique « Hattie » (octobre-novembre 1961) devenant la tempête tropicale pacifique « Simone » (passé par le passage du Belize-Guatemala).
- Tempête tropicale pacifique (septembre-octobre 1949) devenant le cyclone atlantique n°10 (passée par l'est de Tehuantepec, Guatemala-yucatán).

De notre côté, nous avons relevé 4 cyclones transisthmiques supplémentaires, tous passés du Pacifique vers le Golfe du Mexique :

- Tempête tropicale « n°1 » (juin 1965) (passée par le Guatemala-Yucatan).
- Cyclone « n°10 », (septembre-octobre 1949) (passé par le Guatemala-Yucatan).
- Cyclone « n°3 » (octobre 1923) (passé par Tehuantepec).
- Cyclone « n°4 » (octobre 1902) (passé par Tehuantepec).

Il nous faut ajouter à cette liste, la « DT n°9 » atlantique (septembre-octobre 2001) devenant le cyclone pacifique « Juliette » (passée par l'ensellement du Nicaragua) et le cyclone atlantique « Iris » (octobre 2001) devenant le cyclone pacifique « Manuel » (passé par le passage du Belize-Guatemala).

Ce qui nous fait, au total 15 cas de cyclones transisthmiques dont 6 depuis le Pacifique vers l'Atlantique et 9 depuis l'Atlantique vers le Pacifique.

La communication entre l'Atlantique et le Pacifique s'effectue donc dans les deux sens !

Les trois passages privilégiés, empruntés par les cyclones transisthmiques sont :

- Le passage du Belize-Guatemala.
- L'ensellement du Nicaragua.
- L'isthme de Tehuantepec (lieu de passage pour tous les cyclones depuis le Pacifique vers l'Atlantique).

Précisons que nous n'avons repéré aucun franchissement depuis l'Atlantique vers le Pacifique via l'isthme de Panama (la latitude, trop basse, limite la vorticité). Le nord du Panama, sur la mer des Caraïbes est un lieu privilégié de naissance mais ce n'est pas un lieu de passage (position d'abris, latitude trop basse).

# Chapitre 7 : Conclusion/Synthèse de la partie 3

## 1) Introduction :

L'analyse de la dynamique de la circulation dans les basses couches de l'atmosphère (voir partie 2, chapitre 5, 2 (fig. n°21) et 3 (fig.n°22), l'analyse des perturbations (voir partie 3) permettent de présenter une classification génétique du temps et du climat en Amérique Centrale visant à compléter les présentations physionomiques du climat basées sur les températures et les précipitations (voir partie 1, chapitre 3, 2, c).

Selon M. Leroux (1989), deux démarches différentes sont à l'origine des tentatives de classifications climatiques :

- La première démarche (la plus répandue) part des données d'observation pour aboutir à la définition des climats. Les classifications climatiques sont donc, dans la majorité des cas, physionomiques, c'est-à-dire fondées sur des éléments du climat (généralement les températures et les précipitations). Ce type de classification où « on ne cherche pas directement à *comprendre* » est fortement subordonnée aux données elles mêmes, provenant d'un nombre limité de stations d'observation, censées représenter d'immenses plages climatiques.

- La deuxième démarche (que nous adoptons) cherche à définir des entités climatiques à partir de critères génétiques ; les données chiffrées illustrent alors le type climatique défini. Avec cette démarche, « le premier souci est ici de comprendre et d'expliquer ». Pour ce faire, il s'agit d'individualiser les facteurs du climat, et la définition proposée contient l'explication essentielle, l'ambiance climatique dominante. « Cette classification dépend naturellement de la qualité de la connaissance et ne peut intervenir que lorsque les mécanismes sont parfaitement connus (à l'échelle considérée)».

Dans la deuxième partie (voir chapitre 4, 1 à 4), nous avons clarifié la dynamique de la circulation (voir fig. n°21 et 22). Rappelons, à partir de ces cartes bilan, les facteurs de notre classification génétique du climat en Amérique Centrale.

## 2) Les facteurs de la classification climatique du climat en Amérique Centrale :

### a) Les AMP :

- Les AMP, après avoir traversé la zone tempérée forment et alimentent constamment les AA. Les AMP s'agglutinent et les LP qui rythment leur progression sous les Tropiques deviennent progressivement la circulation d'alizé qui peut éventuellement se transformer en mousson au franchissement de l'équateur géographique, en direction de l'EM.

- Les AMP, là où l'abaissement du relief le permet, s'écoulent depuis l'Atlantique vers le Pacifique (LP, « Nortes ») et jouent un rôle important sur la position et l'activation de l'EMV. Là où le relief est plus élevé, la présence de l'AMP peut s'accompagner d'une baisse importante des températures (gel), voire d'une véritable vague de froid.

- L'AMP constitue l'une des causes premières (avec les LP) de la naissance, du développement, de l'intensification et de la trajectoire des systèmes dépressionnaires, de la simple dépression au cyclone tropical de catégorie 5.

- L'AMP est, suivant les cas, directement ou indirectement responsable du « temps qu'il fait » en Amérique Centrale.

**b) Le relief :**

- Le relief, puissant facteur génétique joue un rôle essentiel qui apparaît dans toutes nos études de cas.

- Son action ne se limite pas à son influence habituelle sur la température, mais elle concerne aussi l'effet de canalisation des AMP, des flux tropicaux (Al.m de type 2 et MP) et des perturbations.

- Son action concerne encore l'influence des surfaces élevées sur l'humidité de l'air, par l'altitude et par l'action combinée des hauteurs respectives du relief et des éventuels éléments de stratification aérologique, notamment de l'inversion d'alizé (I.al).

- Le relief est pourtant mal représenté voire oublié dans les modèles (il n'apparaît pas sur les cartes synoptiques des services météorologiques locaux).

**c) Le critère aérologique :**

- « Un flux apporte à un domaine, plus ou moins délimité, des conditions initiales relativement homogènes (avant l'intervention des échelles locales et régionales). La notion de flux intègre les paramètres : vent, température, humidité, structure verticale, dispositions pluviogéniques structurales et énergétiques, types de perturbations et pluviosité ; ces paramètres sont spécifiques de chaque type de flux tropical, et imposent par conséquent une tonalité climatique caractéristique » (M. Leroux, 1989).

M. Leroux (1989) souligne l'importance climatique de la stratification aérologique :

- Dans l'alizé, l'I.al est basse (située vers 1 000 mètres) et stérilisante dans le type 1, mais elle est plus élevée (vers 2 000/2 500 mètres) dans le type 2 où l'accumulation d'énergie dans la strate inférieure lors d'une trajectoire océanique peut contrebalancer les effets de la subsidence supérieure.

- La transformation en mousson de la strate inférieure d'un alizé s'accompagne d'une modification dans les basses couches de la structure verticale de l'équateur météorologique (EM) ; la mousson est donc surmontée par deux structures aux potentialités normalement différentes, la structure EMV, qui réunit les conditions optimales de la pluviogenèse, et la structure EMI, qui est, au contraire normalement stérilisante lorsque le flux supérieur est un alizé continental (ce qui n'est pas le cas à proximité de l'isthme centraméricain). En ce qui nous concerne, la configuration en Amérique Centrale est différente et c'est une particularité.

En fonction de l'évolution annuelle de chaque flux, et de l'occupation de l'espace, de façon permanente ou saisonnière, le critère aérologique permet de rendre compte des tonalités climatiques tropicales, à l'échelle des domaines climatiques.

## 3) Les grands domaines aérologiques de l'isthme centraméricain (cartes n°42) :

### a) Introduction : Les types climatiques centraméricains

M. Leroux (1989) distingue les « domaines climatiques tropicaux à tonalité unique », associés à la présence permanente du même type de flux d'alizé (maritime ou continental, de type 1 ou de type 2), voire d'un flux de mousson et, les « domaines climatiques à tonalités climatiques alternées », résultant du remplacement saisonnier d'un alizé par une mousson, avec passage d'une discontinuité (l'Equateur Météorologique).

### b) Les domaines à tonalité climatique unique à proximité de l'Amérique Centrale (carte n°42) :

- **Le domaine de l'alizé maritime de type 1 :**

Il concerne la côte ouest des continents (Amérique du Nord et Amérique du Sud) ; ces désert littoraux « froids » tropicaux sont frais, avec de faibles écarts de température, humides (l'humidité étant plus forte en période estivale), mais non pluvieux ; l'inversion d'alizé interdit le développement vertical des nuages, souvent limités à une « mer de nuages » (sous l'inversion), le potentiel hydrique est toutefois condensé (notamment la nuit) sous forme de brouillard et de rosée. La disposition du relief californien accroît la rigueur du Sonora (M. Leroux, 1989).

- **Le domaine de l'alizé maritime de type 2 :**

Ils concernent la côte orientale des contients tropicaux ; la tonalité climatique est chaude, mais sans excès avec une faible amplitude thermique, très humide (maximum en fin d'été), et pluvieuse en raison de l'accumula tion sous l'I.al du potentiel hydrique (et énergétique). Tous les mois sont pluvieux, avec atténuation hivernale (« carême ») et maximum estival synchrone de l'évolution de la température, et du potentiel précipitable ; la richesse de ce potentiel est susceptible (lorsque les autres conditions sont également réunies) d'alimenter des cyclones tropicaux (M. Leroux, 1989).

### c) Les domaines à tonalités climatiques alternées (ou saisonnières) en Amérique Centrale :

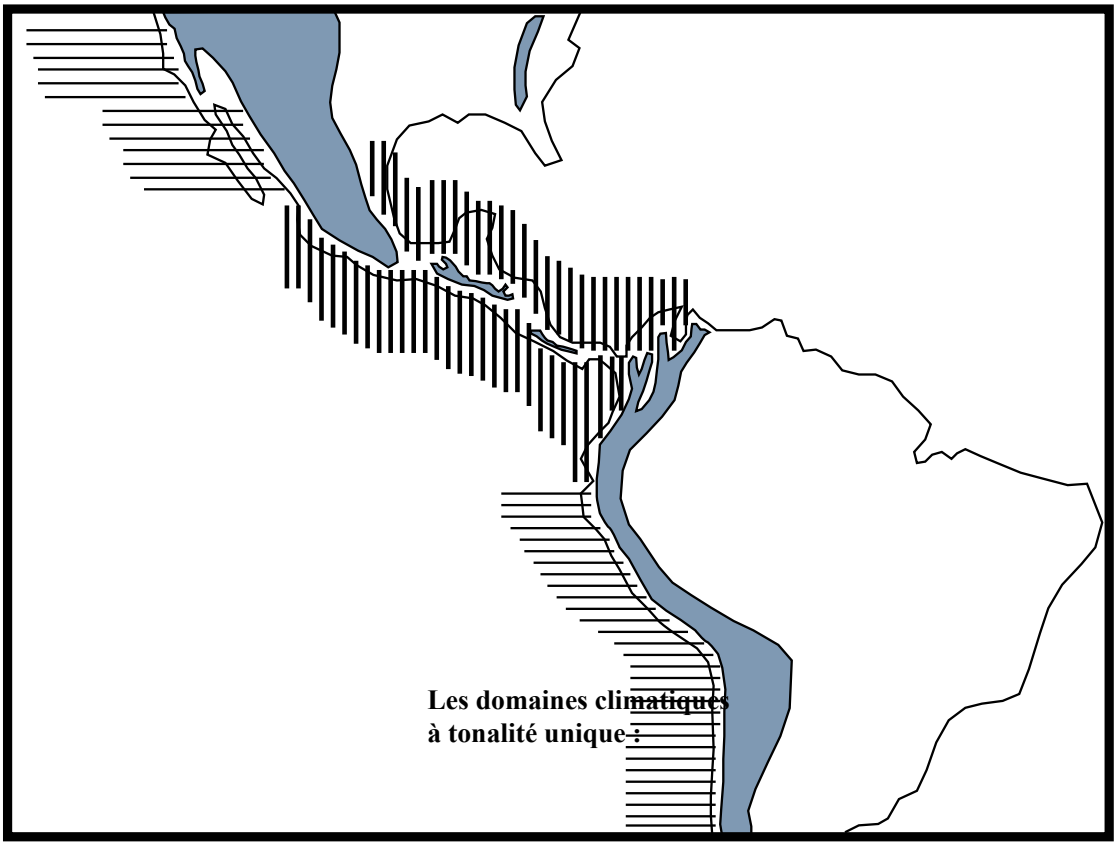
Dans ce domaine, chaque flux, alizé maritime ou mousson, apporte ses caractères particuliers et détermine ainsi deux tonalités saisonnières très différentes, de durée variables en fonction du temps d'occupation de l'espace. La période hivernale est chaude, humide et peu pluvieuse ; la période estivale est plus chaude, très humide et très pluvieuse (M. Leroux, 1989).

## 4) Les régions climatiques de l'isthme centraméricain (carte n°43) :

- **La presqu'île de Californie (Mexique) :**

En marge de notre espace d'étude, à proximité de l'isthme centraméricain, dans la presqu'île de Californie (Mexique) et, sur le littoral bas au-delà de la mer de Cortes, nous individualisons une première région climatique.

**Carte n°42 : Les grands domaines de définition aérologique de l'isthme centraméricain**




**Les flux :**

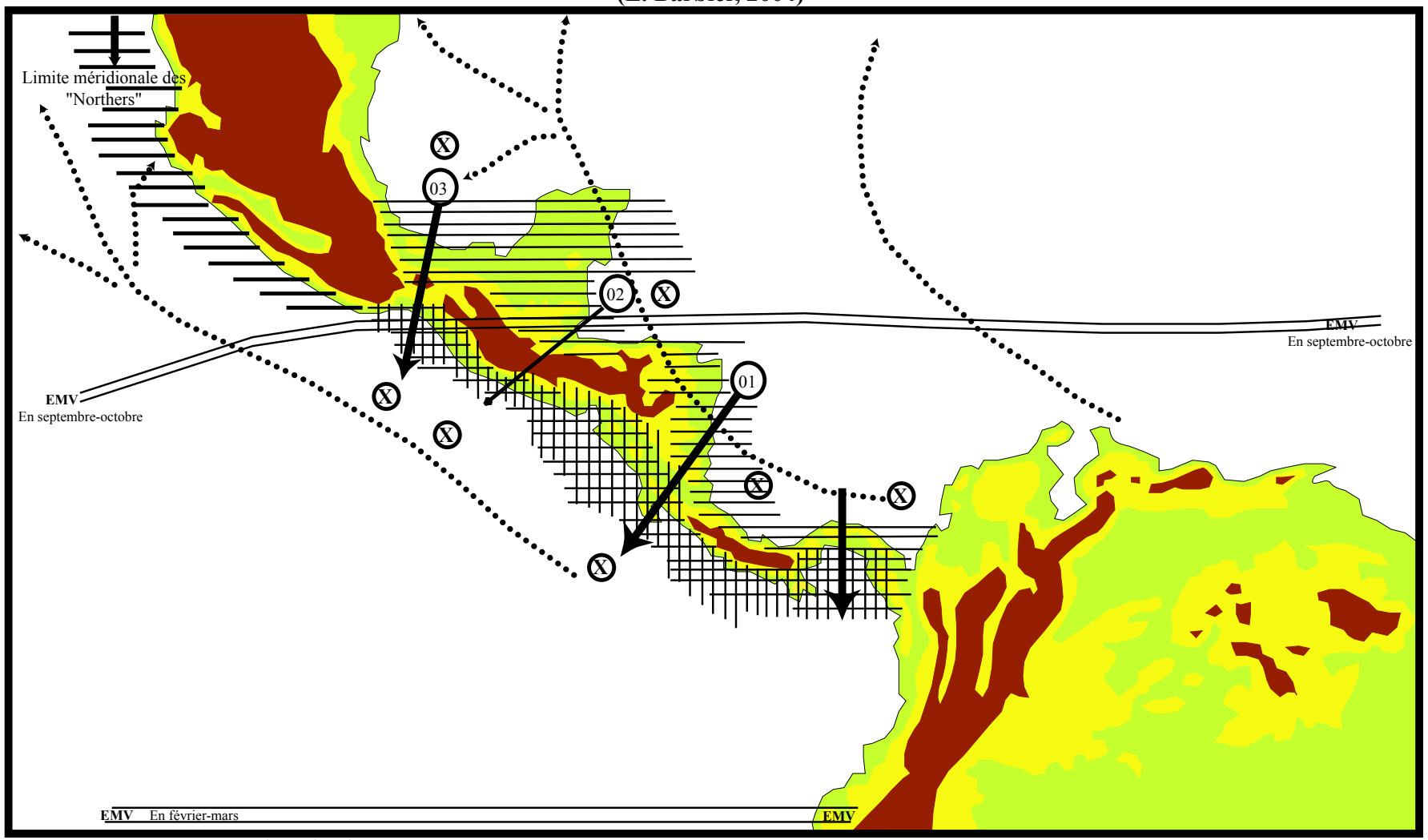
- alizé maritime de type 1
- alizé maritime de type 1 (Californie, chili, Pérou)
- alizé maritime de type 2
- mousson panaméenne

**Les domaines climatiques à tonalité alternée :**

- alizé maritime de type 1 + mousson panaméenne (Californie du Sud)
- alizé maritime de type 2 + mousson panaméenne (isthme)

E. Barbier, 2004

## Carte n°43 : Les régions climatiques de l'isthme centraméricain
## (E. Barbier, 2004)




**Relief :**

- relief 0-200m
- relief 201-1000m
- relief 1001-2000m

**Les régions climatiques :**

**Le versant pacifique : tropical** (saison sèche de novembre à avril; saison humide de mai à octobre ; *Canicula* en juillet et août) ; foehn hivernal. Bimodalité marquée (juin et septembre). EMV, EMV actif, MP, LP pacifiques, *Temporales*, Cyclones.

**Le versant atlantique : tropical altéré**. Unimodalité ou Bimodalité atténuée (maxima plus tardifs, juin et novembre-décembre). AMP, *Nortes*, *Temporales*, Cyclones, LP atlantiques, Al.m2, MP (en été) ; foehn estival.

**La presqu'île de Californie :** fraîche, généralement non pluvieuse. Al.m 1, *Cordonazos*, *Northers*, MP (MM), LP pacifiques.

01 **Les isthmes secondaires : p**assages privilégiés des *Nortes* et de la MP (Panama *Nortes* moins fréquents; passage privilégié de la MP).

Passages empruntés par les cyclones transisthmiques : Dépression du Nicaragua (01); Belize-Guatemala (02); Tehuantepec (03)

Trajectoires suivies par les cyclones/*Temporales*

X Lieu privilégié de naissance des cyclones/*Temporales*

Limites méridionale et septentrionale moyennes de l'EMV

Dans cette région désertique littorale, les irruptions épisodiques des « Cordonazos » et de la mousson panaméenne (MP), éventuellement prolongée en « mousson mexicaine » peuvent apporter d'intenses précipitations qui sont généralement bien accueillies par la végétation et les populations locales. Les « Northers » de Californie atteignent, dans cette région, leur extension méridionale maximale (vers 20° de latitude nord) et provoquent l'abaissement des températures déjà « fraîches ».

Beaucoup plus éloigné de l'isthme centraméricain, le long du littoral pacifique chilien et péruvien nous individualisons une région climatique aux caractéristiques quasi identiques.

- **Le versant atlantique de l'isthme centraméricain :**

Le versant atlantique de l'isthme connaît un climat que l'on peut qualifier de « tropical altéré » ou « tropical nuancé » (les régimes pluviométriques sont unimodaux ou à bimodalité atténuée, avec des maxima en juin et novembre décembre).

Sur la façade atlantique de l'isthme centraméricain, dans le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes, la rencontre directe entre les AMP et l'alizé maritime atlantique de type 2 (vecteur d'énorme quantité de vapeur d'eau) se traduit par des précipitations abondantes, et des températures extrêmes beaucoup plus contrastées. La descente d'AMP et/ou l'arrivée de LP et/ou le relief contribuent à la naissance et au développement des perturbations tropicales qui génèrent parfois des quantités importantes de pluie.

Ce versant atlantique est sous l'influence reine des AMP qui apportent les pluies hivernales, les coups de vents de secteur nord, abaissent les températures ou, au contraire les font remonter, dégagent le ciel de tous nuages ou, au contraire l'obscurcissent, provoquent la naissance et le développement de systèmes dépressionnaires de nature variée, incurvent la trajectoire des systèmes dépressionnaires nés sur l'Atlantique vers l'isthme ou, au contraire protègent le continent…

- **Le versant pacifique et atlantique (en été boréal) de l'Amérique Centrale :**

Sur le versant pacifique de l'isthme, le flux de la mousson panaméenne (MP) apporte saisonnièrement ses caractères particuliers, et détermine ainsi deux tonalités très différentes, de durée variable (d'une année sur l'autre) en fonction du temps d'occupation de l'espace (ce versant pacifique se caractérise donc par des régimes de précipitation à la bimodalité très marquée (avec deux maxima en juin et septembre).

La période hivernale (grossièrement de novembre à avril), soumise à l'influence des descentes d'AMP (sur le Golfe du Mexique et/ou la mer des Caraïbes) et des phénomènes qui en découlent (« Nortes », LP qui maintiennent l'EMV à distance, induisent un effet foehn) est chaude, humide et peu pluvieuse (c'est le « Verano ») ; la période estivale (le reste de l'année) est plus chaude, très humide et très pluvieuse (c'est l' « Invierno »). La pluviosité estivale dépend essentiellement de la structure verticale de l'EM sous laquelle s'enfonce la MP et qui, sous l'influence des puissantes LP pacifiques, remonte vers le nord.

Précisons qu'en été boréal, la MP, profitant de l'abaissement du relief dans les isthmes secondaires, peut également être amenée à franchir l'isthme pour gagner la côte atlantique ; ces flux chauds, instables peuvent également remonter les versants pacifiques, franchir les cols, certaines crêtes pour ensuite redescendre du côté atlantique tout en s'asséchant (effet foehn).

En raison de la tonalité océanique très marquée (le lien de terre ferme étant très étroit), les saisons intermédiaires sont peu marquées. Dans cette région, la rencontre entre l'alizé maritime atlantique de type 2 et la mousson panaméenne pacifique (MP), tous deux proches

de la saturation, rend la structure EMI (très proche de la structure EMV) particulièrement active, lui permettant d'accueillir les perturbations tropicales (de la simple dépression aux cyclones tropicaux, en passant par les « Temporales ») génératrices (entre autres) d'intenses précipitations d'autant que les LP pacifiques contribuent à son activation.

Le versant pacifique de l'isthme qui connaît un climat que l'on peut qualifier de « tropical » est aussi celui de la « Canícula » ; en juillet et Août, dans la partie nord de l'isthme, la saison des pluies est interrompue. En fait, dans le secteur où l'EMV atteint sa limite septentrionale, il ne s'écoule que très peu de temps entre son premier passage (son « aller ») quand il se dirige vers le nord et son deuxième passage (son « retour ») quand il reprend son cheminement vers le sud et, entre l' « aller-retour », l'on observe la « Canícula ». La présence d'AMP sur le Golfe du Mexique, leur écoulement en masse vers le Pacifique au-dessus des reliefs les moins élevés (par exemple par le passage du Belize-Guatemala) et l'effet foehn qui en découle est-il également un facteur explicatif de cette Canícula ?

- **Les isthmes secondaires centraméricains :**

Les isthmes secondaires de Tehuantepec au Mexique, de la dépression du Nicaragua et de Panama sont des lieux de passage privilégié (n'oublions pas le passage du Belize-Guatemala). Là où le relief s'abaisse sensiblement, tout se complique. Ces zones, tantôt soumises à l'influence atlantique, tantôt soumise à l'influence pacifique, constituent de véritables laboratoires à ciel ouvert à l'intérieur desquels tous les cocktails d'influences sont possibles (« Nortes », pénétration de la MP, de l'alizé maritime atlantique de type 2, passage de perturbations tropicales et de part et d'autre desquels la formation de systèmes dépressionnaires (de la simple dépression jusqu'au cyclone de catégorie 5 en passant par les « Temporales ») est favorisée.

Après l'étude des perturbations et la vision statique moyenne du climat en Amérique centrale, nous allons, dans une quatrième partie nous intéresser à l'évolution climatique récente.

# PARTIE 4 : L'ÉVOLUTION CLIMATIQUE RÉCENTE

## Introduction :

Afin d'étudier l'évolution climatique récente de part et d'autre de l'isthme centraméricain, nous analysons l'évolution de quelques paramètres climatiques (les pressions, les températures et les précipitations) puis, nous faisons l'étude de l'évolution historique des cyclones. Les tendances observées seront ensuite analysées, expliquées et les perspectives futures envisagées.

## Chapitre 1 : Etude des pressions de part et d'autre de l'isthme centraméricain :

### 1) Introduction :

#### a) Origine des données utilisées :

Le fichier de données utilisé provient du site de la NOAA et peut être téléchargé à l'adresse suivante :

http://www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/nph-nc/Datasets/ncep.reanalysis.derived/

Le fichier regroupe des données de surface. Toutes les séries statistiques commencent en janvier 1948 et s'étendent jusqu'à décembre 2003.

Les données de pressions moyennes annuelles ainsi que les données trimestrielles ont été calculées à partir du fichier : « Monthly Sea Level Pressure ». Dans ce fichier, la pression est donnée en millibars (mb). Ce fichier est garanti avec un degré d'erreur de + ou – 1 millibar.

#### b) Présentation des grilles de points utilisées (cartes n°44 et n°45) :

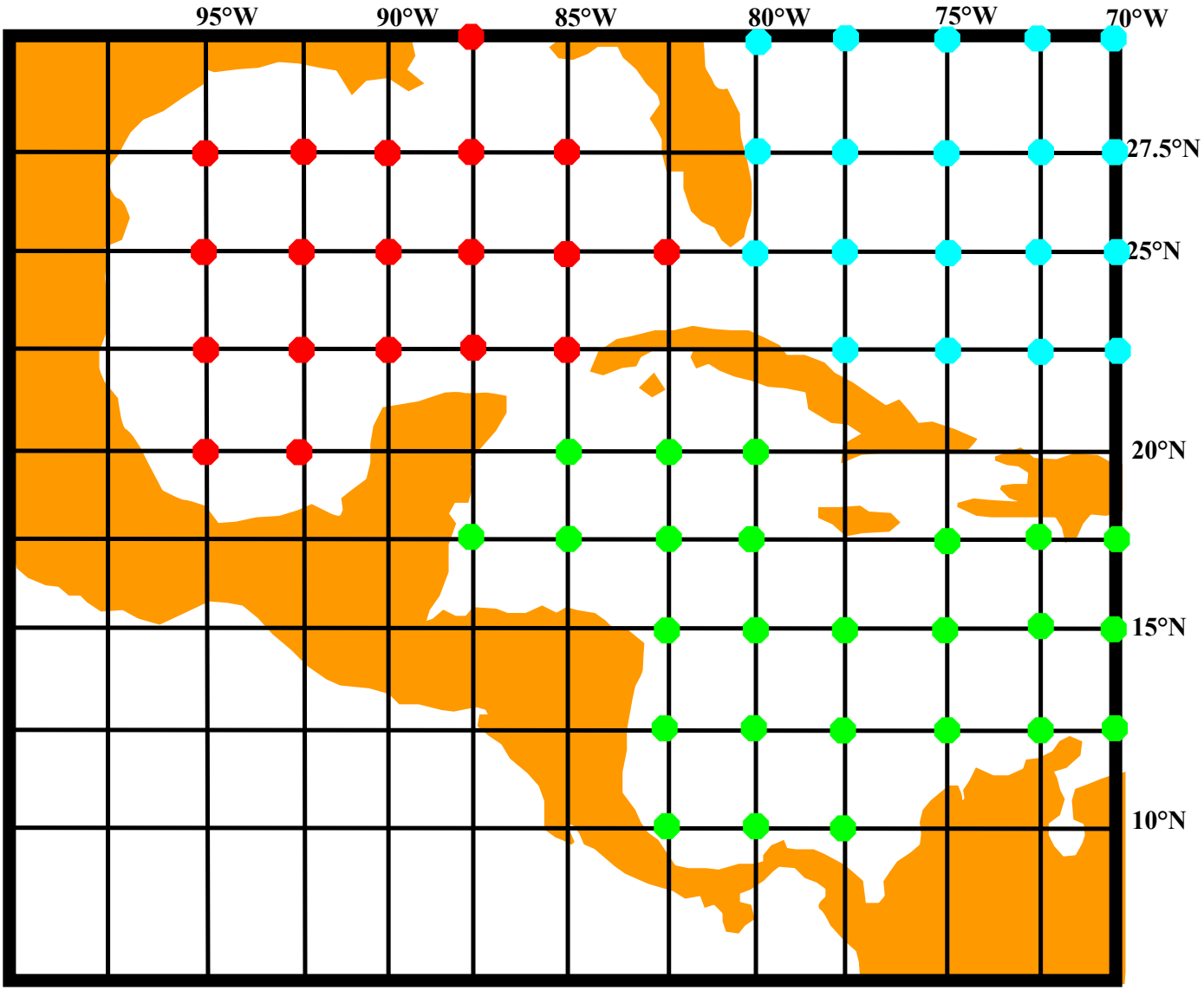
Dans le fichier téléchargé, le maillage est le suivant : une donnée par point de grille, un point de grille tous les 2.5° de latitude, longitude.

Nous avons décidé de limiter notre étude statistique de l'évolution climatique à l'espace compris entre 130° de longitude ouest et 70° de longitude ouest ; 30° de latitude nord et 20° de latitude sud. A l'intérieur de cet espace délimité, tous les points de grille ne seront pas utilisés. Afin d'éviter les erreurs liées à l'influence des facteurs d'échelle locale (très importants sur le continent), seuls les points de grille océaniques correspondant aux espaces « stratégiques proches » de notre secteur d'étude (l'Amérique Centrale) seront conservés.

Du côté atlantique (carte n°44), nous avons à notre disposition 19 points de grille pour l'espace du Golfe du Mexique, 19 points de grille pour l'espace de l'Atlantique ouest et 25 points de grille pour l'espace de la mer des Caraïbes soit un total de 63 points de grille. Le Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et la mer des Caraïbes, sont volontairement « séparés » afin de mettre en évidence d'éventuelles différences entre ces sous-espaces.

Du côté pacifique (carte n°45), nous avons à notre disposition 99 points de grille pour l'espace du Pacifique du nord-est (presqu'île de Californie), 42 points de grille pour l'espace

**Carte n°44 : Présentation de la grille de points utilisée pour l'étude de l'espace du Golfe du Mexique/Atlantique ouest et de la mer des Caraïbes**
**Maillage: 1 point de grille tous les 2.5° de latitude, longitude**
**janvier 1948 - décembre 2003**

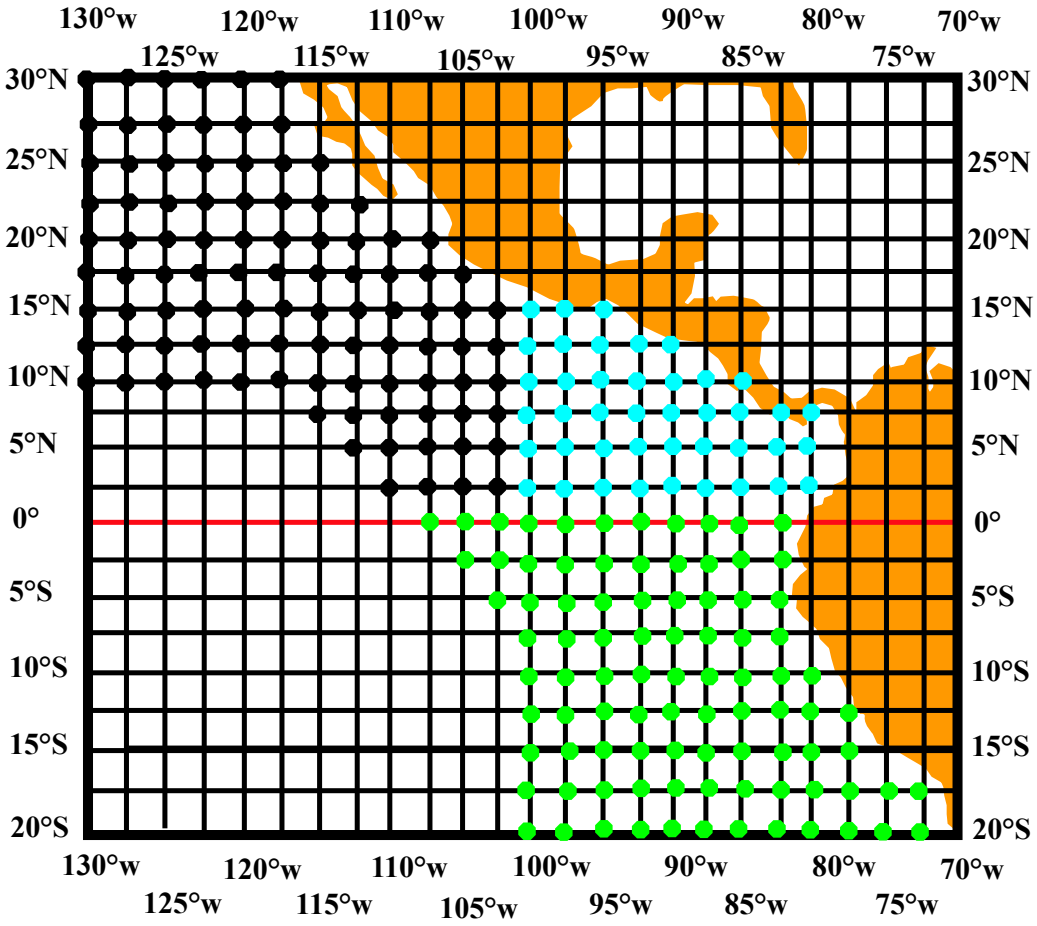



**Légende :**

- Espace du Golfe du Mexique
- Espace de l'Atlantique du nord-ouest
- Espace de la mer des Caraïbes

**Carte n°45 : Présentation de la grille de points utilisée pour l'étude des espaces du Pacifique du Nord-Est (presqu'île de Californie), du Pacifique centraméricain et du Pacifique du Sud-Est**

*Maillage: 1 point de grille tous les 2.5° de latitude, longitude*
*janvier 1948 - décembre 2003*




**Légende :**

- Espace du Pacifique du Nord-Est (presqu'île de Californie)
- Espace du Pacifique centraméricain
- Espace du Pacifique du Sud-Est

du Pacifique centraméricain et 91 points de grille pour l'espace du Pacifique du sud-est soit un total de 232 points de grille. Le Pacifique du nord-est, le Pacifique centraméricain et le Pacifique du sud-est sont volontairement « séparés » afin de mettre en évidence d'éventuelles différences entre ces sous-espaces.

#### c) La méthode :

Pour chaque point de grille, nous avons construit une courbe d'évolution ; tracé la droite de tendance (droite de régression) et testé sa significativité en confrontant le coefficient de corrélation linéaire calculé (R) au coefficient de corrélation théorique de la table de Bravais-Pearson. La significativité statistique de chaque courbe (R calculé > R théorique) est exprimée avec un risque d'erreur de 1%, 2%, 5% ou 10%.

Les résultats de cette étude des pressions sont présentés sous forme graphique (cartes n°46 à 55).

Légende des figures :

Pour chaque point de grille, en haut à gauche de l'icône, nous trouvons une flèche qui nous indique si la tendance est à la hausse ou à la baisse. En haut, à droite, nous trouvons un plus si cette tendance est significative, un moins si elle ne l'est pas. Quand la tendance est significative, en bas, à gauche, nous trouvons le risque d'erreur à prendre en compte, 1%, 2%, 5% ou 10%.

## 2) Etude de l'évolution climatique récente des pressions dans l'espace du Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et de la mer des Caraïbes (cartes n°46 à 48) :

#### a) Introduction :

Nous analysons d'abord les pressions moyennes annuelles (carte n°46, 1948-2003) puis, les pressions moyennes trimestrielles décembre, janvier et février (carte n°47, 1949-2003) puis, juin, juillet et août (carte n°48, 1948-2003).

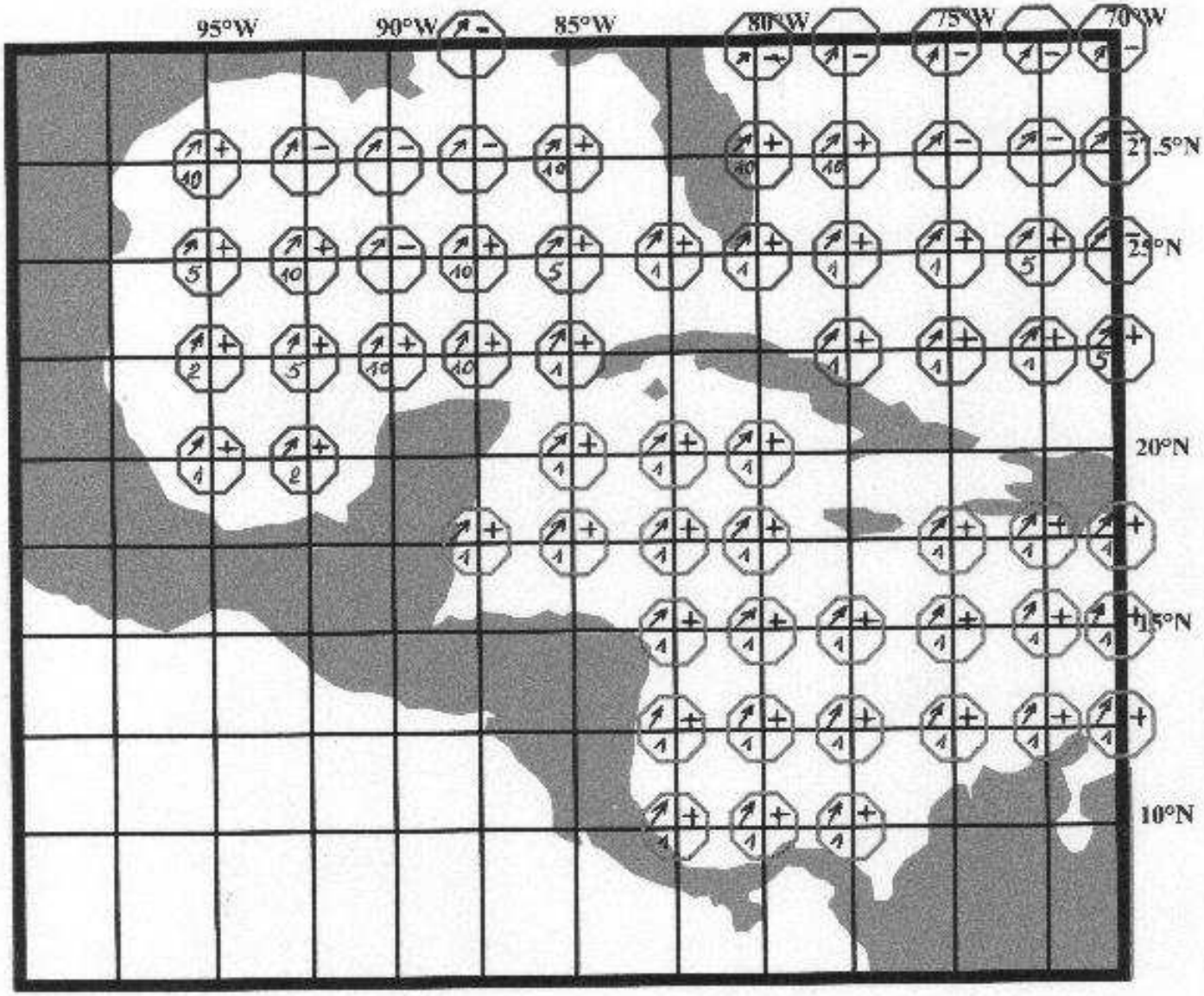
#### b) Etude de l'évolution des pressions moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°46) :

La carte récapitulative n°46, montre une nette différence entre les espaces du Golfe du Mexique, de l'Atlantique ouest et celui de la mer des Caraïbes. En effet, si nous observons partout une tendance à la hausse des pressions moyennes annuelles entre 1948 et 2003 (voir courbes moyennes sous-espaces, fig. n°196 à 198 et courbes ponctuelles n°199 à 201), nous voyons que la significativité des tendances est beaucoup plus marquée au sud de cet espace atlantique, précisément dans la mer des Caraïbes. Il est possible de prendre comme limite le 25$^{ème}$ parallèle nord ; au nord de ce dernier, la hausse de pression constatée n'est pas significative ; au sud de ce 25$^{ème}$ parallèle nord, la hausse est significative.

La hausse de pression constatée entre 1948 et 2003 est très nette. En effet, il ne faut pas oublier que nous sommes ici dans une zone tropicale, où les différences de pression sont donc très atténuées, très faibles. Par conséquent, cette évolution à la hausse de la pression moyenne annuelle est particulièrement significative.

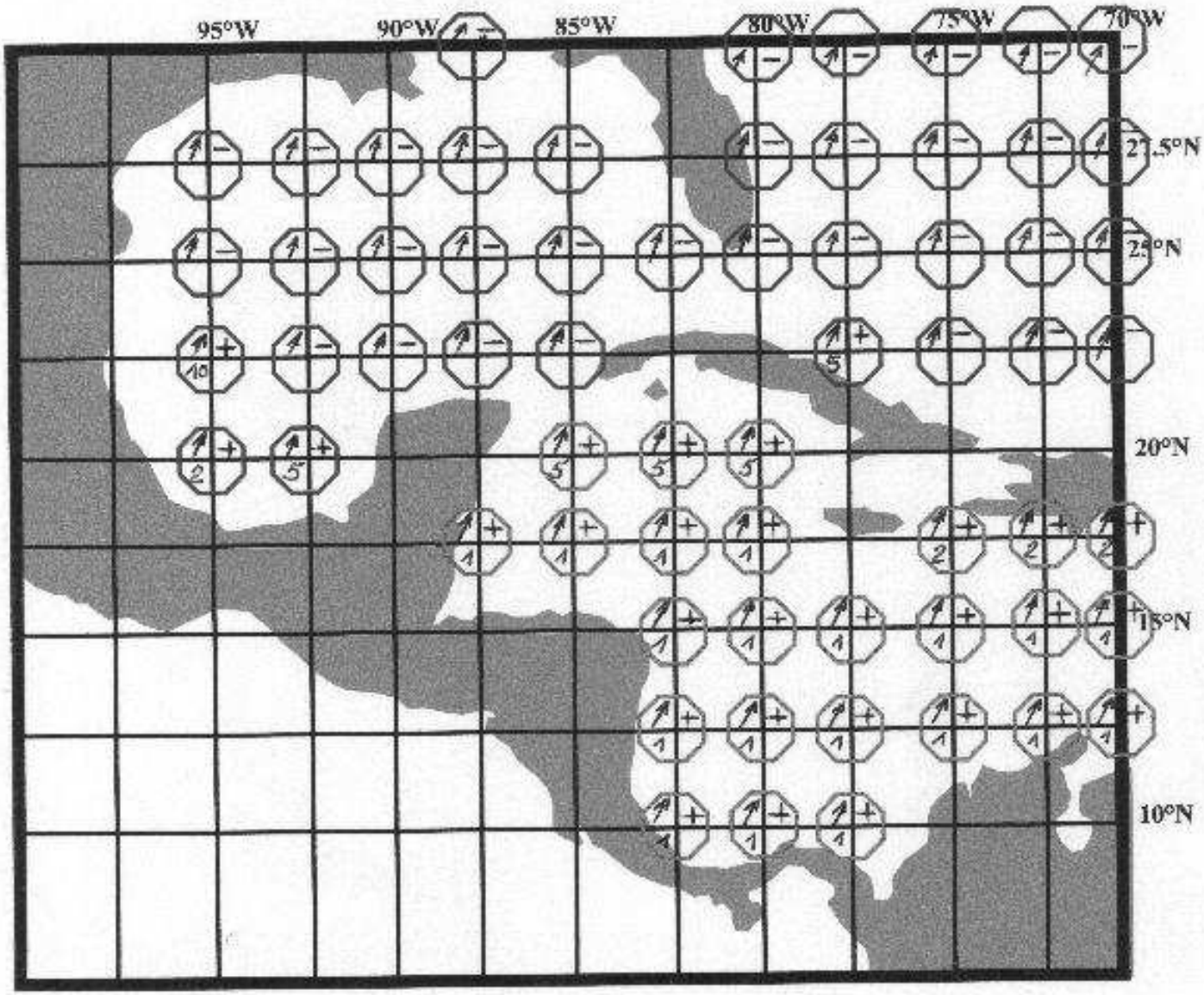
**Carte n°46 : "Analyse des pressions moyennes annuelles (1948-2003)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



**Carte n°47 : "Analyse des pressions moyennes DJF (1949-2003)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



**Carte n°48 : "Analyse des pressions moyennes JJA (1948-2003)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*

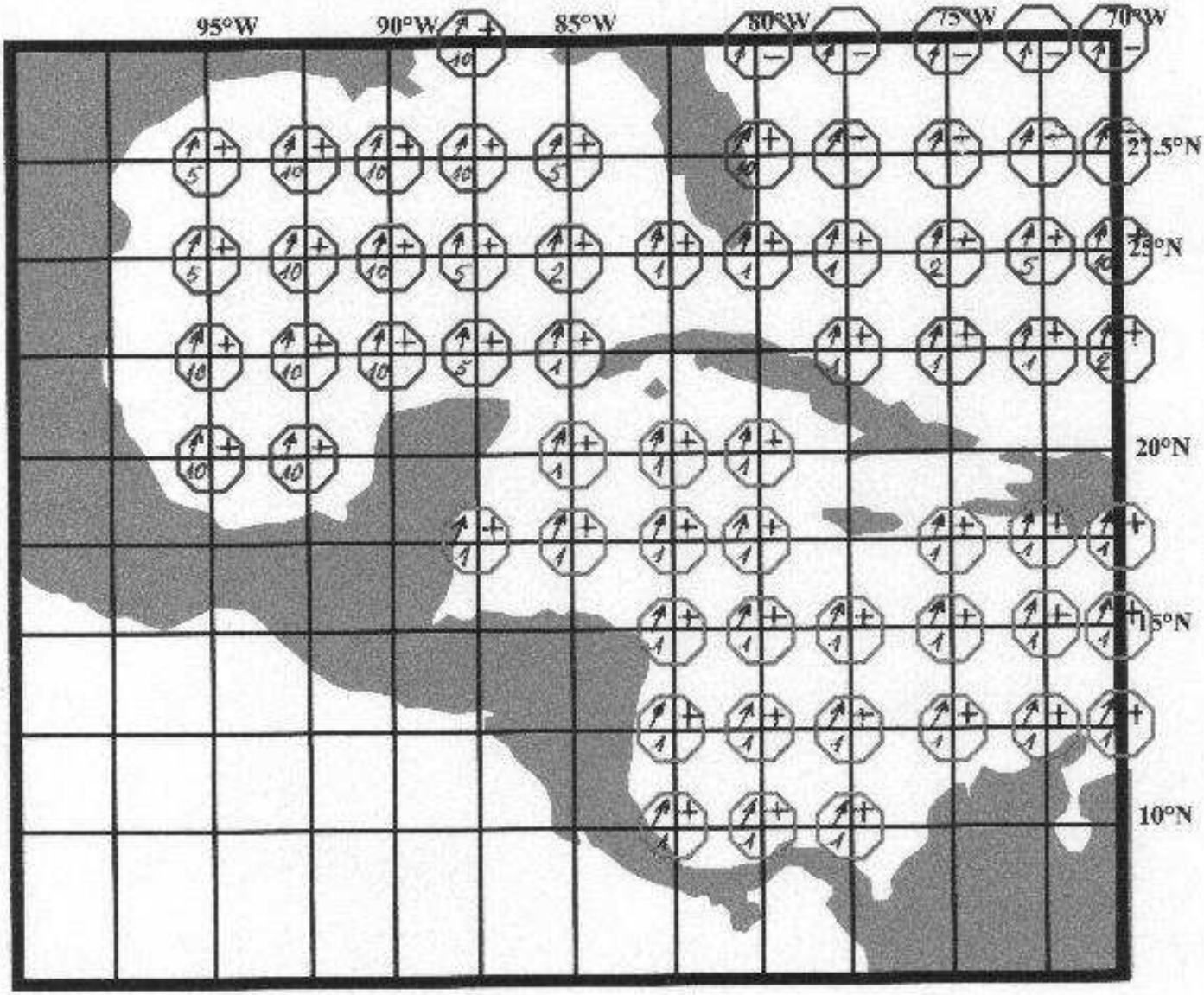


Fig. n°196 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) dans le sous-espace du Golfe du Mexique

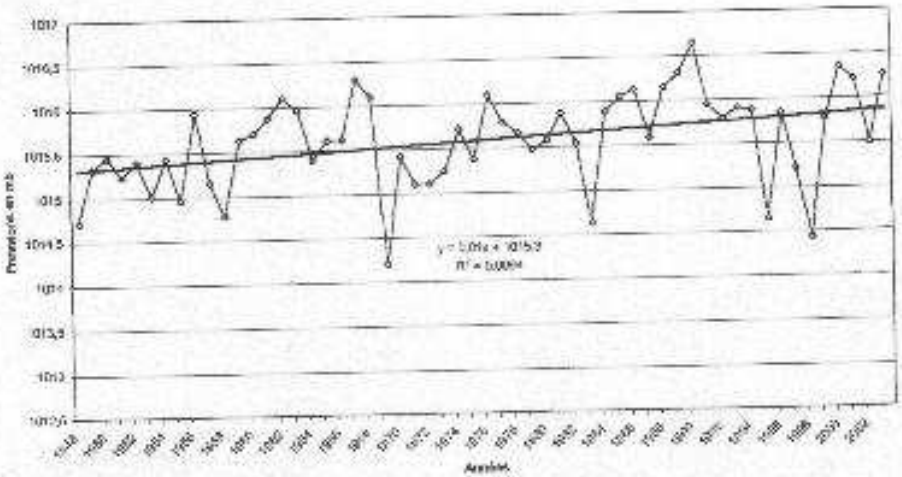


Fig. n°197 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) dans le sous-espace de l'Atlantique du nord-ouest

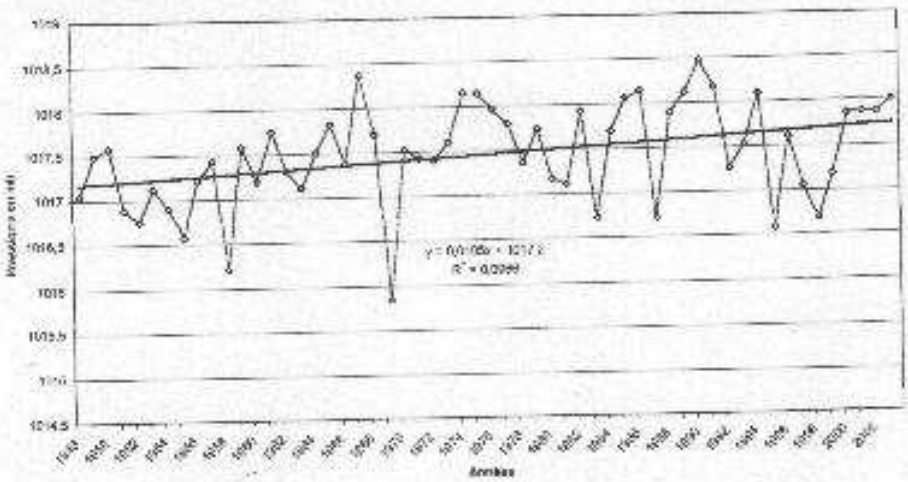


Fig. n°198 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) dans le sous-espace des Caraïbes

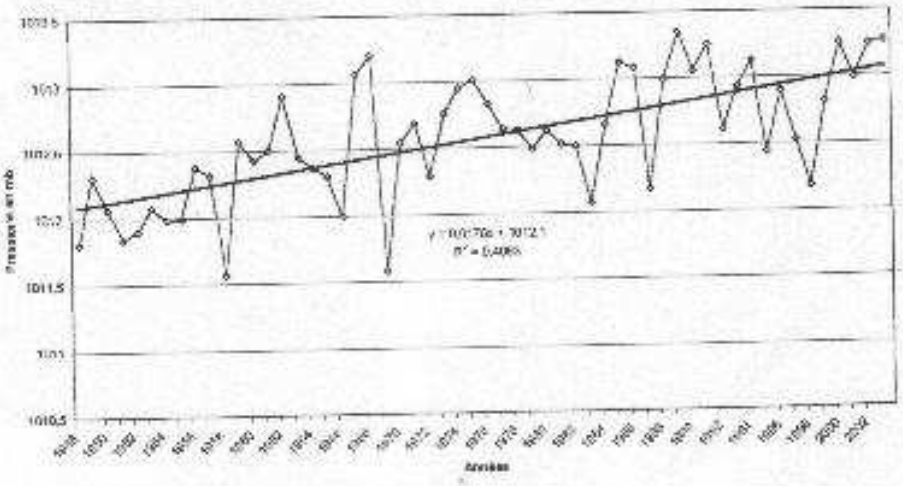


Fig. n°199 : Evolution des pressions moyennes (janvier 1948 - décembre 2003) à 95°W-20°N (Golfe du Mexique)

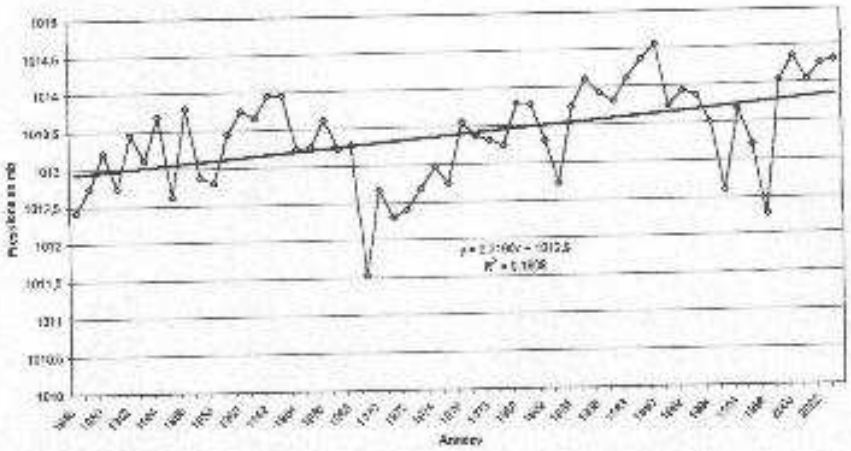


Fig.n°200 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 75°W-25°N (Atlantique du nord-ouest)

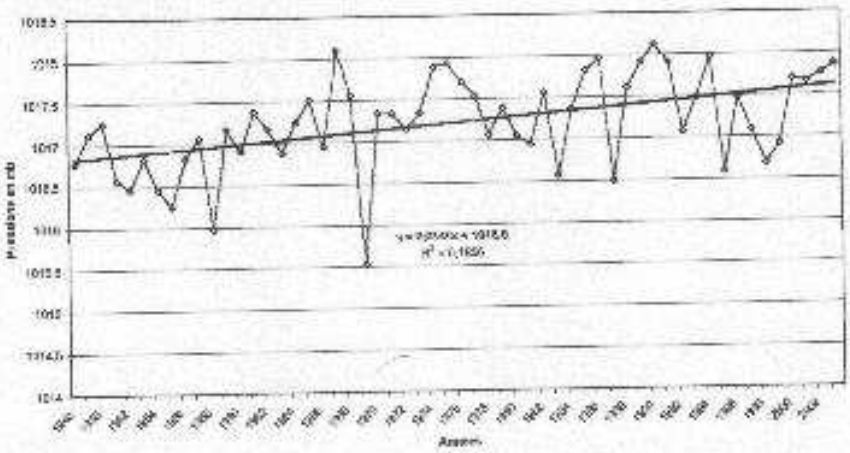
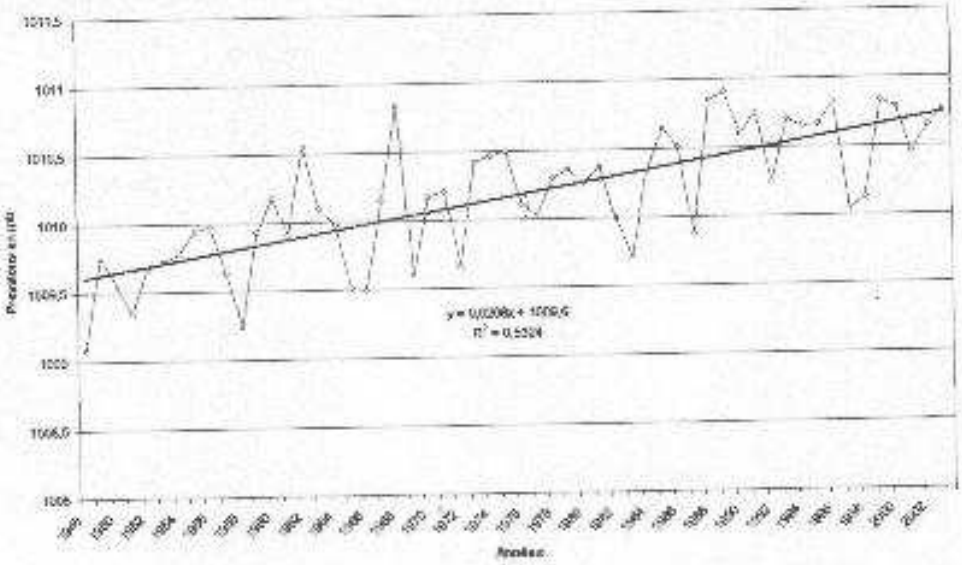


Fig. n°201 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 55°W-10°N (Caraïbes)



### c) Etude des rythmes saisonniers (cartes n°47 et n°48) :

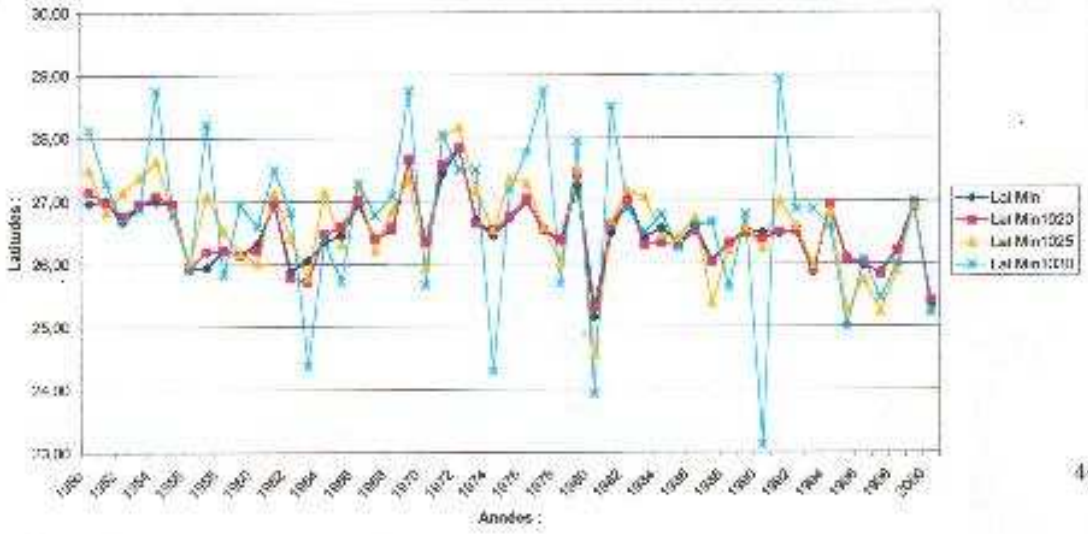
- Sur la carte n°47, DJF, nous observons, partout, une tendance à la hausse des pressions moyennes. Ici encore, l'espace de la mer des Caraïbes s'individualise nettement. Si dans les espaces du Golfe du Mexique et de l'Atlantique ouest, les tendances à la hausse ne sont globalement pas significatives, dans l'espace de la mer des Caraïbes, les tendances à la hausse sont toutes significatives avec un risque d'erreur de 1%. Les mêmes constatations que celles énumérées précédemment peuvent être faites.

- Sur la carte n°48, JJA, nous observons, partout, une tendance à la hausse des pressions moyennes. L'espace de la mer des Caraïbes s'individualise encore par rapport aux espaces du Golfe du Mexique et de l'Atlantique ouest mais de manière plus nuancée. En effet, si les tendances à la hausse sont encore toutes significatives avec un risque d'erreur de 1% dans la mer des Caraïbes, les degrés de significativité dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique ouest sont en cette saison estivale beaucoup plus importants. Les hausses de pressions constatées sont donc, dans le Golfe du Mexique, dans l'Atlantique ouest essentiellement estivales. Dans la mer des Caraïbes, les hausses de pressions sont aussi bien estivales qu'hivernales.

## 3) Conclusion de l'étude des pressions dans le Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et la mer des Caraïbes :

La carte récapitulative n°46 fait ressortir de façon étonnement claire un glissement vers le sud de la hausse des pressions. Le fait que l'espace de la mer des Caraïbes s'individualise, dans sa totalité, nettement du reste de cet espace atlantique, avec des tendances à la hausse, significative avec un risque d'erreur de 1%, prouve que ces dernières années, un glissement vers le sud (de la hausse des pressions) s'est produit. Du côté atlantique, dans la mer des Caraïbes et à proximité des côtes atlantiques de la Floride, nous observons une hausse spectaculaire des pressions moyennes et ce, plus particulièrement depuis la période charnière centrée sur la décennie 70. Cette hausse des pressions moyennes s'observe également, mais de manière moins prononcée, dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique du nord-ouest. Cela traduit le fait que depuis les années 70, les AMP sont « de plus en plus rapides et, envahissent plus fréquemment la mer des Caraïbes et la partie méridionale de l'Atlantique du nord-ouest, au large de la Floride » ( fig. n°202 réalisée par A. Pommier, 2004)

**Fig. n°202 Latitude minimale atteinte par le centre des AMP entre 1950 et 2000 (dans l'espace compris entre 60° et 100° de longitude ouest et 10° - 30° de latitude nord )**



Cette figure n°202 montre que les AMP descendent plus au sud et ce, plus particulièrement depuis les années 70. Dans les secteurs nouvellement plus fréquemment envahis par les AMP (la mer des Caraïbes), la hausse de pression est spectaculaire alors que, dans les secteurs déjà fréquemment envahis précédemment (le Golfe du Mexique), la hausse de pression apparaît moins marquée.

L'étude des rythmes saisonniers nous apprend que la hausse de pression constatée dans les Caraïbes et l'extrémité méridionale de l'Atlantique du nord-ouest au large de la Floride s'observe aussi bien en été qu'en hiver. Dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique du nord-ouest, la hausse de pression est essentiellement estivale. Cela nous montre que depuis les années 70, la hausse de pression est aussi bien estivale qu'hivernale.

De ce fait, l'agglutination anticyclonique saisonnière (essentiellement hivernale) dite « des Bermudes », extension de l'agglutination anticyclonique dite « des Açores » tend, de plus en plus à être « permanente » à l'échelle des valeurs moyennes de pression.

## 4) Etude de l'évolution climatique récente des pressions dans l'espace du Pacifique est (cartes n°49 à 55):

### a) Introduction :

Nous analysons d'abord les pressions moyennes annuelles (carte n°49, 1948-2003) puis, afin d'approfondir ce que l'analyse des courbes réalisées pour construire cette première carte met en évidence, nous proposons deux nouvelles cartes (carte n°50, 1948-1977 et carte n°51, 1978-2003) des pressions moyennes annuelles dans le sous-espace du Pacifique du nord-est, accompagnées de deux autres cartes (carte n°52, 1948-1969 et carte n°53, 1970-2003) des pressions moyennes annuelles dans le Pacifique du nord-est et le Pacifique centraméricain puis, les pressions moyennes trimestrielles décembre, janvier et février (carte n°54, 1949-2003) puis, les pressions moyennes juin, juillet et août (carte n°55, 1948-2003).

En adoptant une démarche allant du général au particulier ; en multipliant les figures présentées, nous cherchons à gagner en lisibilité et à mettre en avant les tendances réelles, les points de rupture significatifs pouvant être masqués par une échelle de temps et/ou d'espace trop grande.

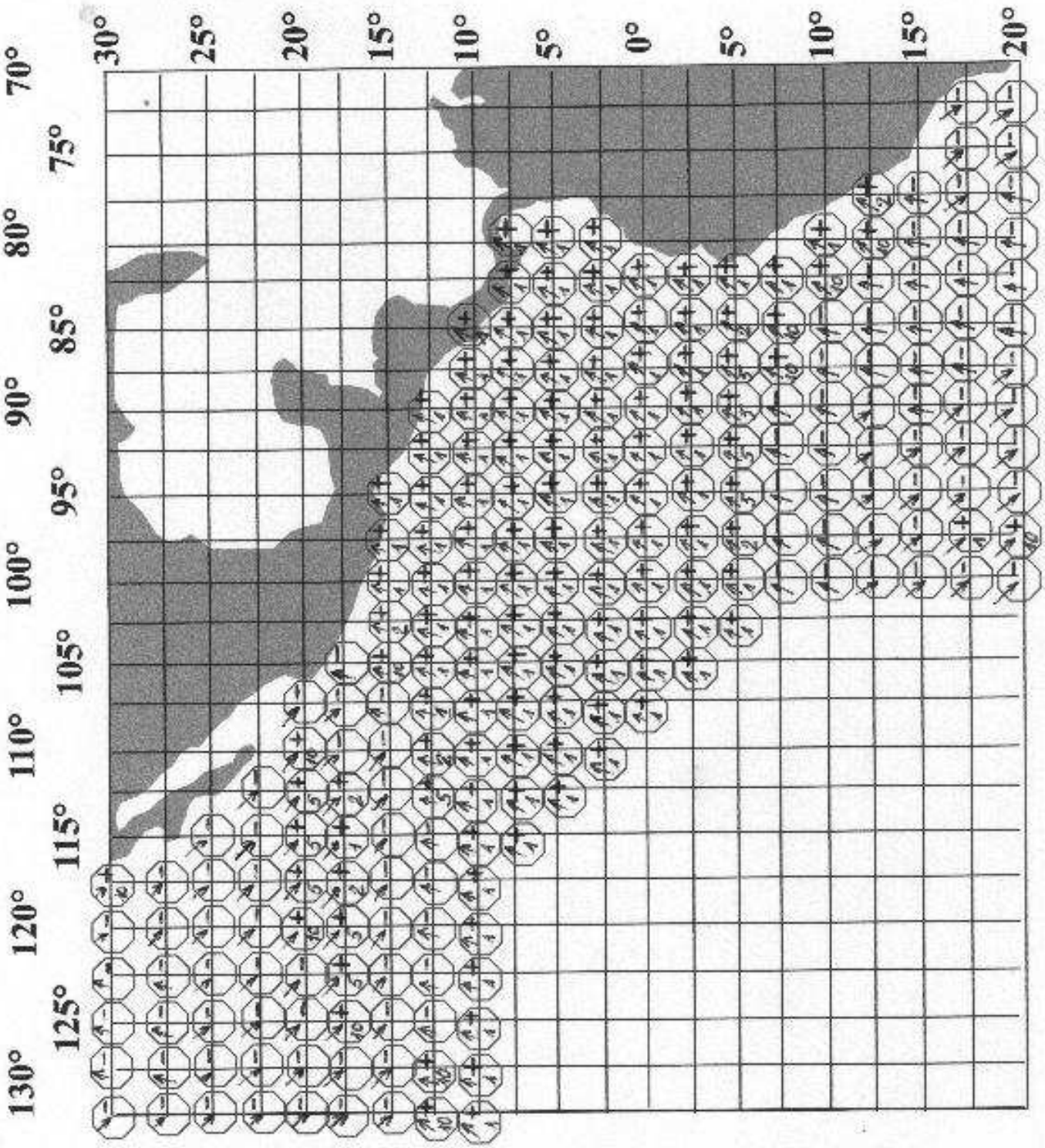
### b) Etude des pressions moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°49) :

En observant la carte n°49, dans sa globalité, nous individualisons trois sous-ensembles : le sous-ensemble du Pacifique du nord-est où les pressions moyennes annuelles présentent des tendances généralement à la baisse, tendances non significatives (voir fig. n°203 , courbe moyenne de ce sous-espace) ; le sous-ensemble du Pacifique centraméricain, à proximité des côtes de l'Amérique centrale et de l'équateur géographique, sous-ensemble à l'intérieur duquel les tendances sont toutes à la hausse, tendances très significatives (voir fig. n°204 ,courbe moyenne de ce sous-espace) ; le sous-ensemble du Pacifique du sud-est où les pressions moyennes annuelles présentent généralement des tendances à la hausse et/ou à la baisse beaucoup moins significatives voire non significatives.

Après avoir donné ces caractéristiques générales, nous allons maintenant préciser nos observations :

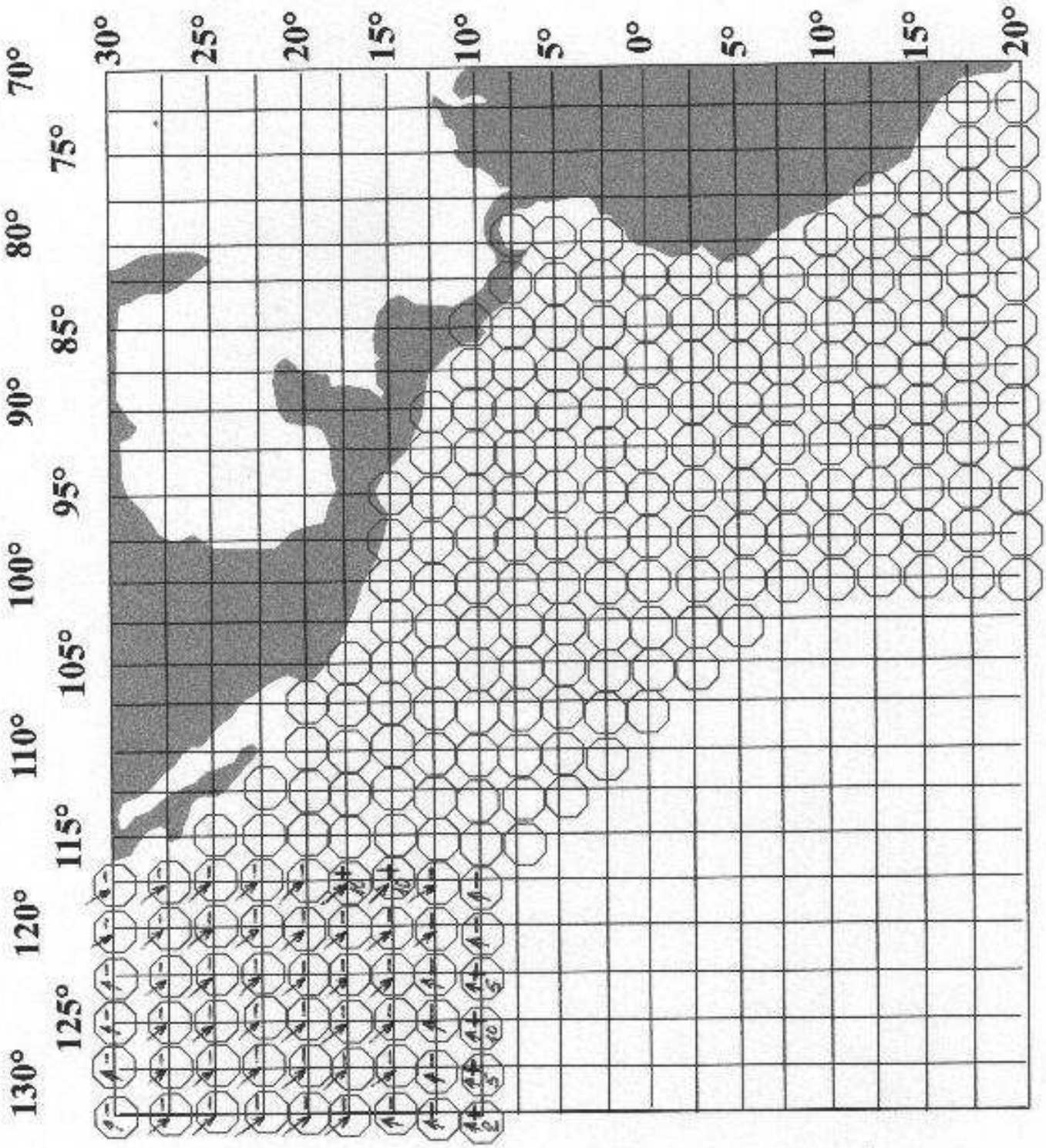
**Carte n°49 : "Analyse des pressions moyennes annuelles (1948-2003) dans le Pacifique du nord-est, le Pacifique centraméricain et le Pacifique du Sud-Est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative)*



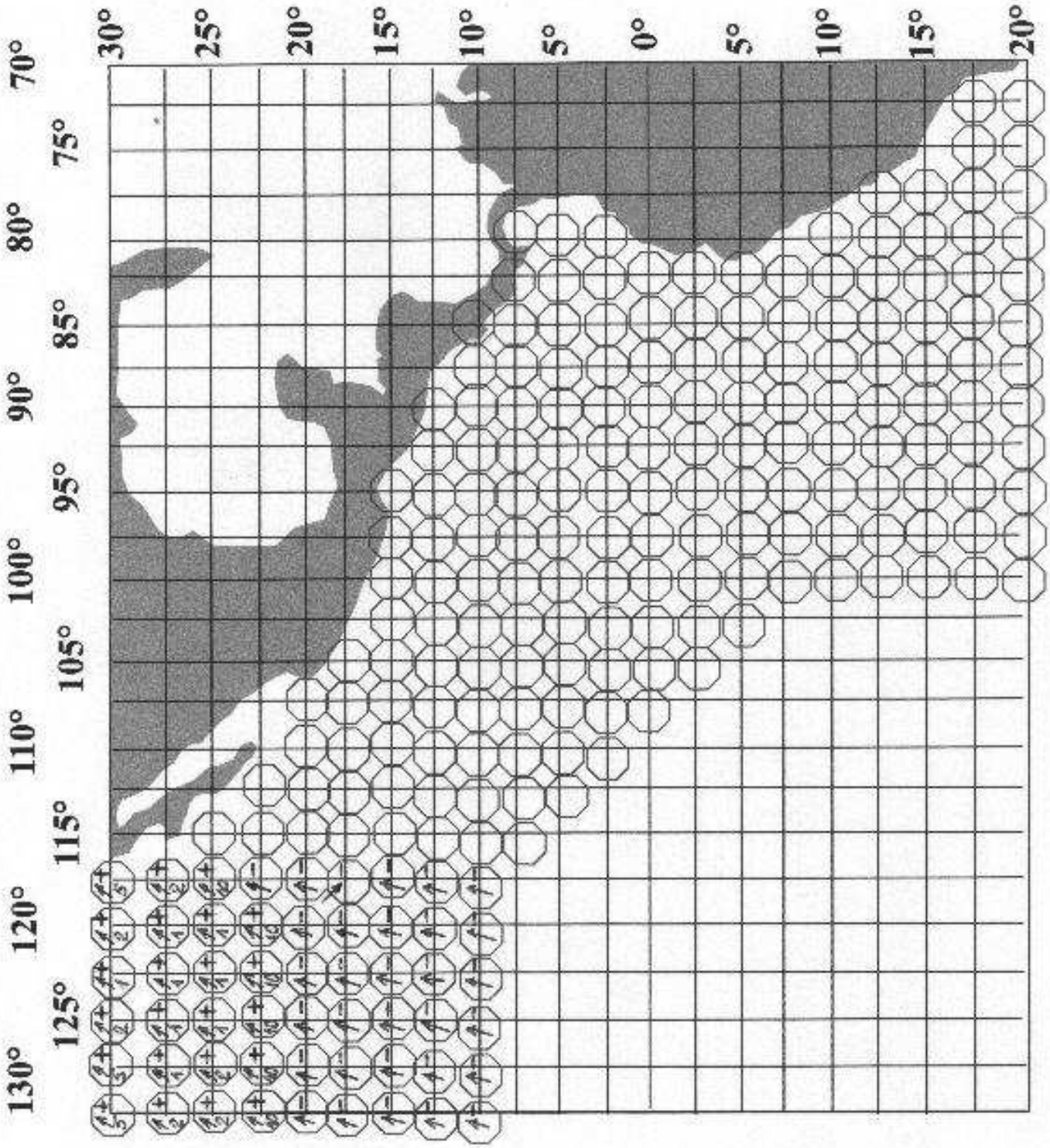
**Carte n°50 : "Analyse des pressions moyennes annuelles (1948-1977) dans le sous ensemble du Pacifique du nord-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative)*



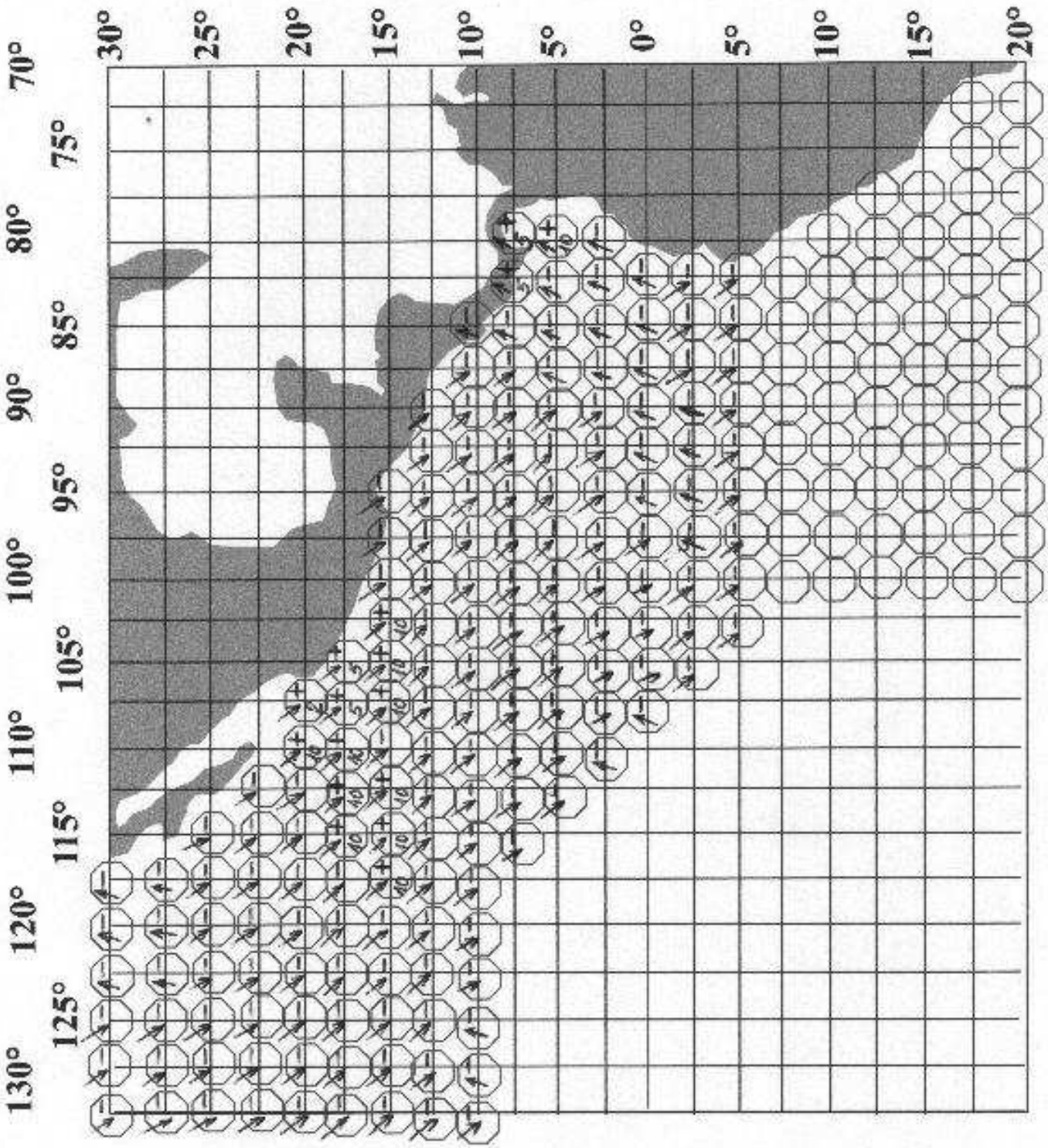
**Carte n°51 : "Analyse des pressions moyennes annuelles (1978-2003) dans le sous ensemble du Pacifique du nord-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



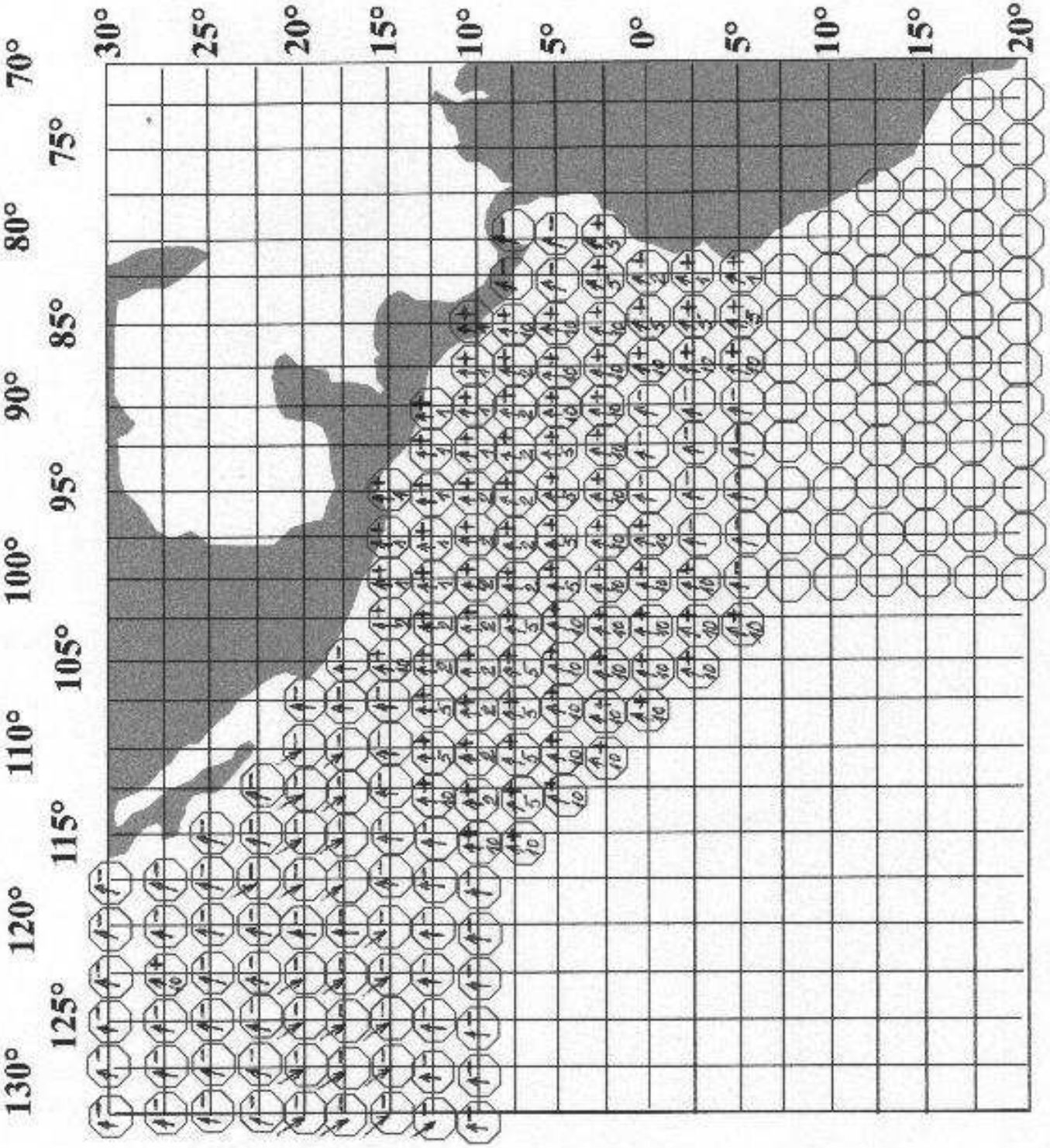
**Carte n°52 : "Analyse des pressions moyennes annuelles (1948-1969) dans le Pacifique du nord-est et le Pacifique centraméricain"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative)*



Carte n°53 : "Analyse des pressions moyennes annuelles (1970-2003)
dans le Pacifique du nord-est et le Pacifique centraméricain"

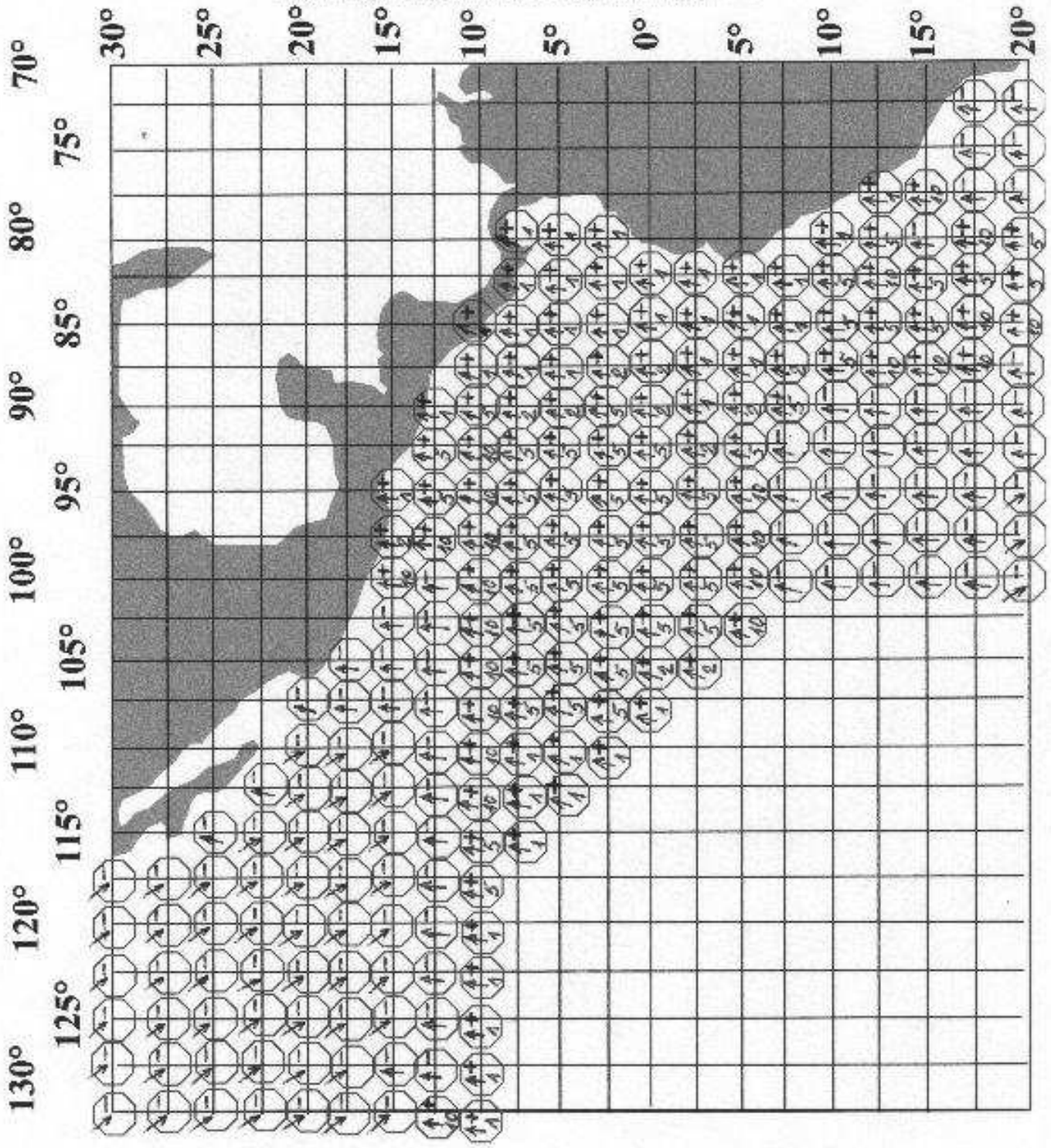
*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



**Carte n°54 : "Analyse des pressions moyennes DJF (1949-2003)**

**dans le Pacifique du nord-est, le Pacifique centraméricain et le Pacifique du sud-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative)*



**Carte n°55 : "Analyse des pressions moyennes JJA (1948-2003)**

**dans le Pacifique du nord-est, le Pacifique centraméricain et le pacifique du sud-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*

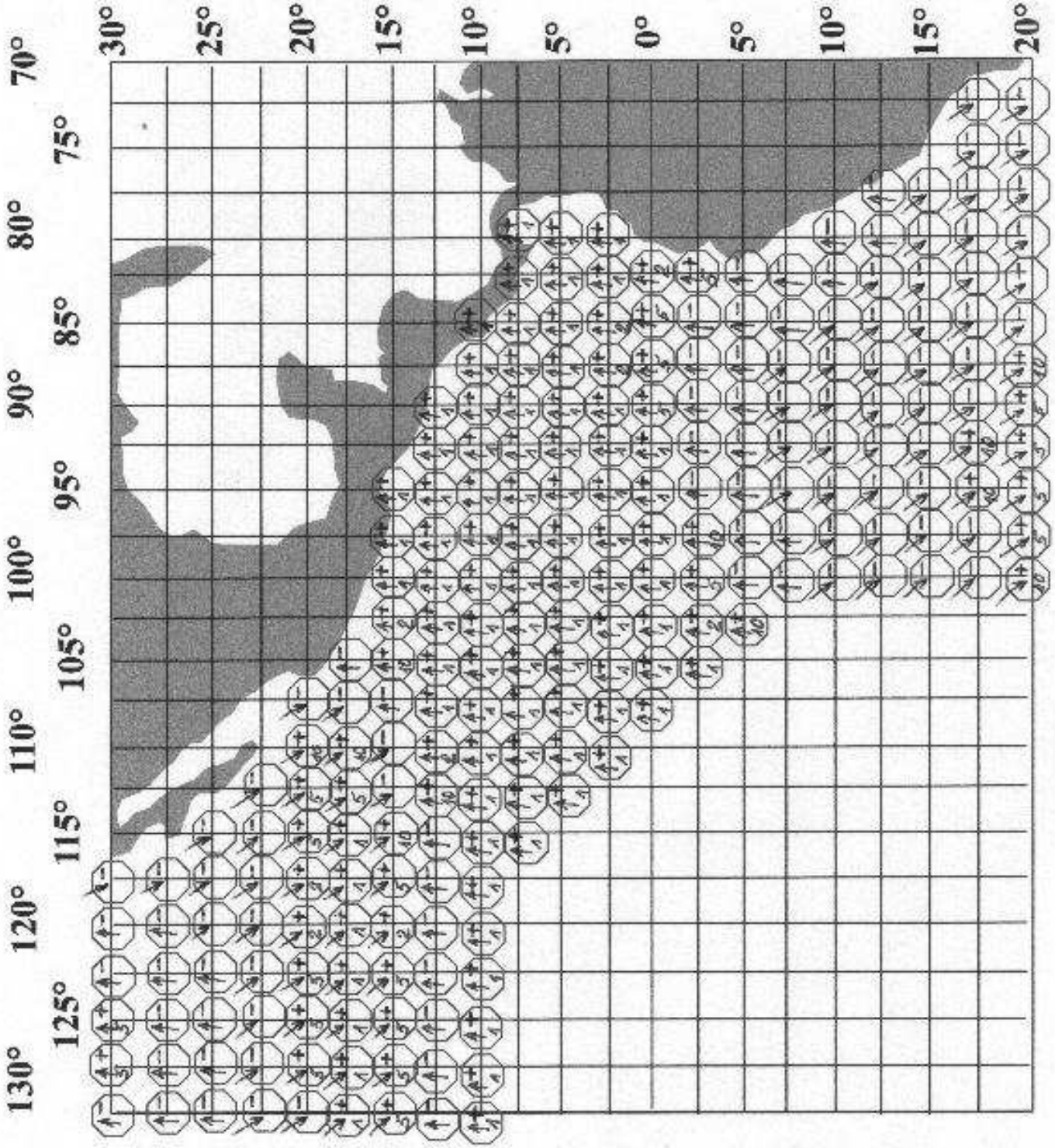


Fig.n°203 Evolution des pressions annuelles moyennes (janvier 1948 - décembre 2003) dans les sous-espace du Pacifique du nord-est

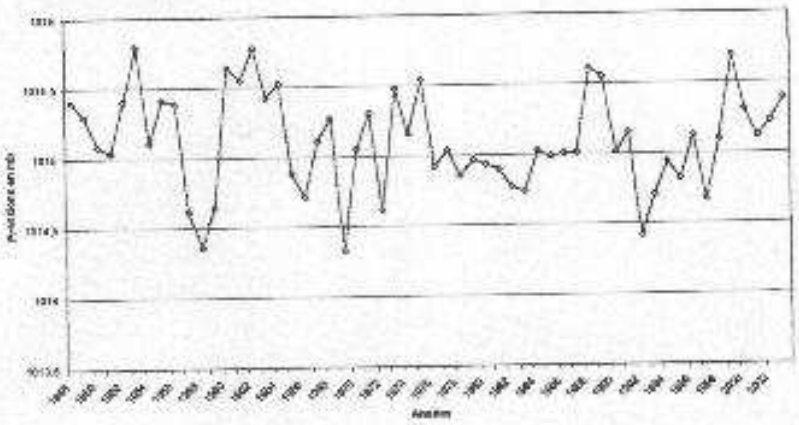


Fig.n°204 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) dans le sous-espace du Pacifique centro-méridional

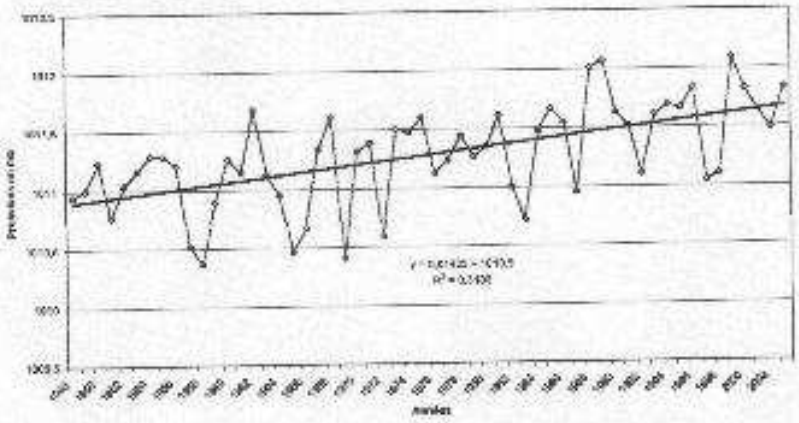


Fig.n°205 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2008) à 122.5°W-35°N (Pacifique du nord-est)

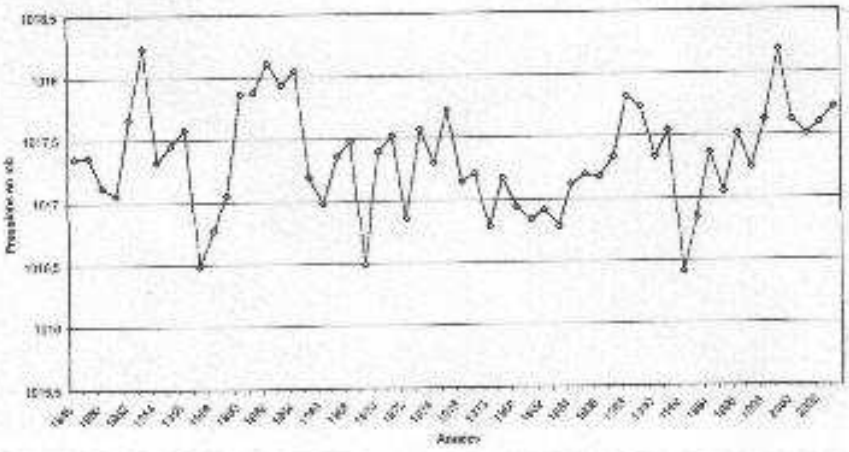


Fig.n°206 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 110°W-12.5°N (Pacifique du nord-est, zone de la discontinuité d'alizé)

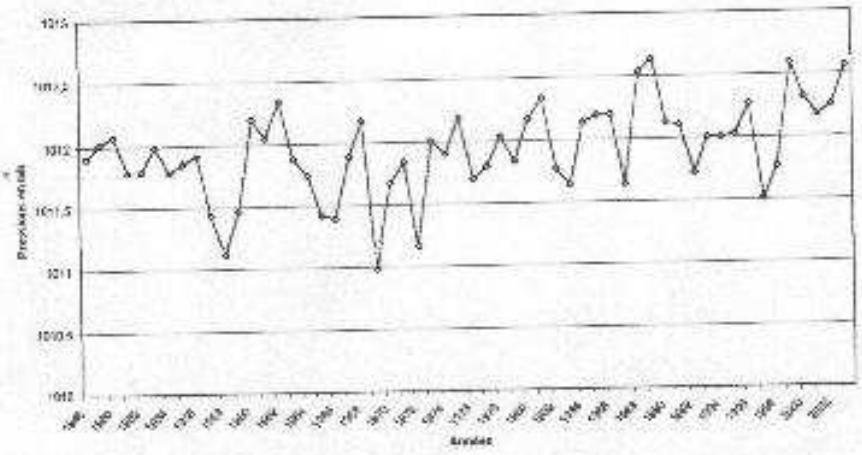


Fig.n°207 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 105°W-10°N (Pacifique du nord-est, proximité de l'isthme)

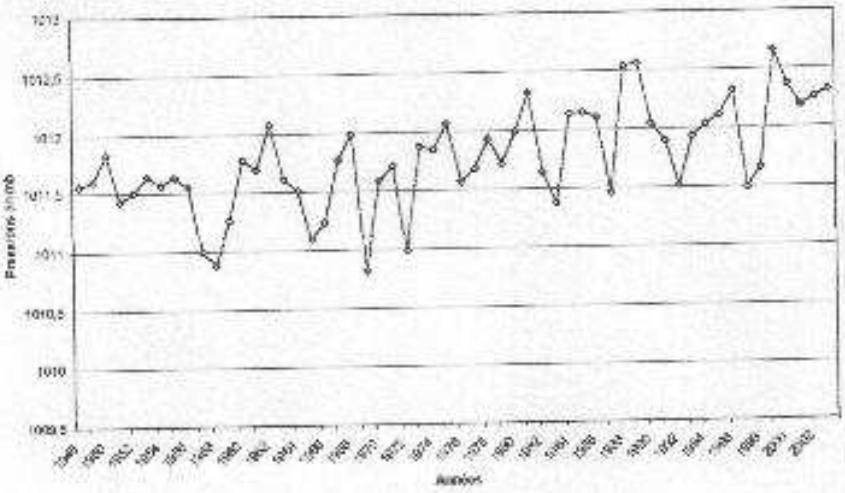
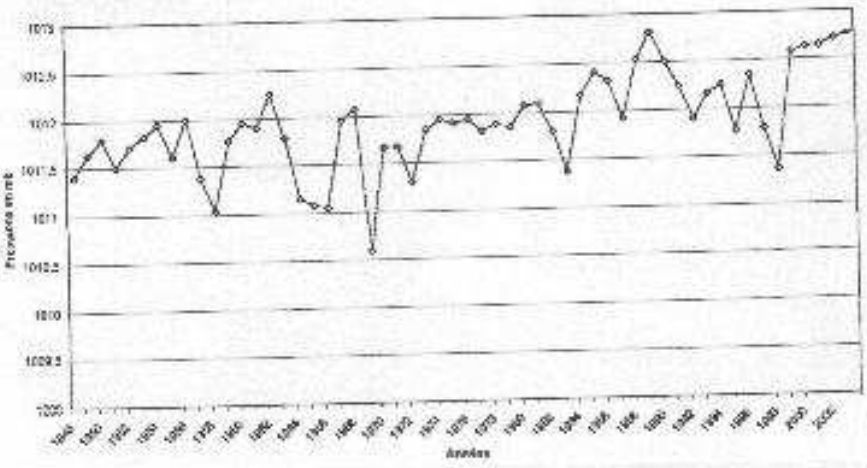


Fig.n°208 : Evolution des pressions moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 90°W-15°N (Pacifique centroaméricain)



Dans le sous-espace du Pacifique du nord-est, espace que nous pouvons définir comme étant compris approximativement, entre 130° et 117.5° de longitude ouest, 30° et 10° de latitude nord, nous observons des tendances globalement à la baisse, tendances généralement non significatives. Certains points de grille (au nord de 27.5° de latitude nord) présentent des tendances à la hausse non significatives. Nous remarquons également que, plus nous nous rapprochons de 10° de latitude nord, plus les tendances à la hausse des pressions moyennes annuelles se généralisent et deviennent très significatives avec un risque d'erreur de 1%.

A l'est de ce premier sous-ensemble, nous observons un secteur (correspondant à la zone de discontinuité d'alizé, approximativement de part et d'autre de la longitude 112,5° ouest) à l'intérieur duquel le degré de significativité de ces tendances à la baisse de la pression moyenne annuelle augmente.

Soulignons que dans ce premier sous-ensemble du Pacifique du nord-est, si nous observons attentivement les courbes (voir fig. n°205, courbe ponctuelle) de l'évolution de la pression moyenne annuelle entre 1948 et 2003, nous voyons apparaître un changement centré autour de la fin des années 1970 (plus précisément entre 1976 et 1978). Avant cette période charnière, la pression moyenne annuelle présente une tendance à la baisse, après cette période charnière, la tendance s'inverse. Cette configuration des courbes peut expliquer le fait que les tendances à la baisse observées sur l'ensemble de la période soient peu ou pas significatives. Il est sans doute plus juste de dire que les tendances des pressions moyennes annuelles sont à la baisse entre 1948 et 1976-1978 (approximativement) et que par la suite, les tendances sont à la hausse. Nous traçons donc deux nouvelles cartes pour le sous-espace du Pacifique du nord-est.

Soulignons également qu'à proximité de la zone de discontinuité d'alizé (vers 110° de latitude ouest, approximativement de part et d'autre de 112.5° de latitude ouest), nous constatons que le « point de rupture » se situe avant (voir fig. n°206, courbe ponctuelle). En effet, à partir des années 1970, la pression moyenne annuelle augmente. La zone de discontinuité d'alizé (voir fig. n°207, courbe ponctuelle) constitue donc un secteur transitoire, un espace de contact entre le sous-ensemble du Pacifique du nord-est et celui du Pacifique centraméricain (voir fig. n°208, courbe ponctuelle), à rapprocher de l'espace atlantique du Golfe du Mexique.

**c) Etude des « pressions moyennes annuelles » dans le sous-ensemble du Pacifique du nord-est 1948-1977 (carte n°50) et 1978-03 (carte n°51) :**

Si la carte n°50 (1948-1977) montre des tendances des pressions moyennes annuelles généralement à la baisse, nous constatons que la carte n°51 (1978-2003) montre des tendances à la hausse. De ce fait, même si les tendances à la baisse observées sur la première carte (1948-1977) ne sont pas significatives, le contraste avec celles de la deuxième carte (1978-2003), légèrement plus significatives, nous montre que quelque chose s'est produit dans ce sous-espace du Pacifique du nord-est.

Il ne faut donc pas s'arrêter au commentaire issu de l'observation de la carte n°49, carte des pressions moyennes annuelles 1948-2003 qui nous montre des tendances à la baisse. Ces deux nouvelles cartes traduisent qu'il est beaucoup plus juste de dire qu'à partir de la fin des années 70, dans ce sous-espace du Pacifique du nord-est, les pressions moyennes annuelles augmentent sensiblement.

En observant la carte n°49, carte des pressions moyennes annuelles 1948-2003, nous avons remarqué que dans la partie méridionale de ce premier sous-espace du Pacifique du nord-est, au sud de la latitude 12,5° nord, les tendances s'inversent. En effet, à la latitude 10° nord, les tendances sont toutes à la hausse et le degré de significativité est très élevé (avec un risque d'erreur de 1%). La même constatation peut être faite autour de 15° de latitude nord au large des côtes mexicaines, à proximité de l'isthme de Tehuantepec.

De ce fait, nous entrons ici dans le deuxième sous-ensemble, celui du Pacifique centraméricain, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale et de l'équateur géographique. Dans cet immense sous-ensemble (compris approximativement entre les longitudes 130° et 80° ouest et les latitudes 10° nord et 5° sud), les pressions moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°49) présentent des tendances très nettes à la hausse. Dans la totalité de ce sous-ensemble les tendances sont significatives avec un risque d'erreur de 1% !

Soulignons que nous observons la hausse des pressions moyennes annuelles 1948-2003 jusqu'à 5° de latitude sud (à cette latitude, les tendances à la hausse restent très significatives), nous pouvons donc faire aller cette limite méridionale de l'extension du dynamisme de l'hémisphère nord au détriment de l'hémisphère sud jusqu'à 10° de latitude sud (même si les tendances se font alors beaucoup moins significatives) !

Précisons que plus nous nous intéressons aux points de grille à proximité de l'isthme centraméricain, plus nous constatons qu'à partir des années 1970 la pression moyenne annuelle augmente. Nous traçons donc deux nouvelles figures pour le sous-ensemble du Pacifique centraméricain.

**d) Etude des pressions moyennes annuelles dans le Pacifique centraméricain, 1948-1969 (carte n°52) et 1970-2003 (carte n°53) :**

Remarquons que, sur ces deux nouvelles cartes, dans le secteur du Pacifique du nord-est, nous retrouvons entre 1948 et 1969 (carte n°52) la baisse constatée précédemment entre 1948 et 1977 (voir carte n°50) et, entre 1970 et 2003 (carte n°53) nous retrouvons la hausse constatée précédemment entre 1978 et 2003 (voir carte n°51). Cependant, ne prenant pas en compte ici la véritable période charnière (centrée sur la fin de la décennie 70 et non sur le début), nous perdons en lisibilité.

En observant les cartes n°52 et 53, nous devons mettre à part la zone de la discontinuité d'alizé (grossièrement située de part et d'autre de 112.5° de longitude ouest et au nord de 12.5° de latitude nord). Dans cette zone de contact entre différents sous-espaces, les tendances observées ne sont pas significatives. Cependant, remarquons que les tendances sont à la baisse pour tous les points de grille pendant la période 1948-1969 et que les degrés de significativité, sans être très élevés, nous autorisent à parler d'une légère baisse des pressions pendant cette période. En revanche, les tendances à la baisse observées pour la période 1970-2003 sont moins nombreuses, nous pouvons même observer quelques points de grille avec des tendances à la hausse. De ce fait, même si les tendances observées ne sont pas significatives, nous pouvons souligner une hausse des pressions pendant la période 1970-2003.

Pour le reste des points de grille les choses sont beaucoup plus limpides. Nous observons des tendances à la baisse pour la période 1948-1969, tendances qui contrastent avec celles à la hausse pour la période 1970-2003.

De ce fait, même si les tendances à la baisse observées sur la première carte (1948-1969) ne sont pas significatives, le contraste avec celles de la deuxième carte (1970-2003), beaucoup plus significatives, nous montre que quelque chose s'est produit dans ce sous-espace du Pacifique centraméricain.

Il ne faut donc pas s'arrêter au commentaire issu de l'observation de la carte n°49, carte des pressions moyennes annuelles 1948-2003 qui nous montrait des tendances à la hausse significatives avec un risque d'erreur de seulement 1%. Ces deux nouvelles cartes traduisent qu'il est beaucoup plus juste de dire qu'à partir des années 70, dans ce sous-espace du Pacifique centraméricain, les pressions moyennes annuelles augmentent sensiblement.

En observant la carte n°49, nous individualisons un dernier sous-ensemble, celui du Pacifique du sud-est (au sud de 10° de latitude sud), les tendances observées sont beaucoup moins significatives. Cependant, nous voyons que ces dernières sont globalement orientées à la baisse dans la partie ouest et globalement orientées à la hausse dans la partie est, le long de la cordillère des Andes. Nous remarquons également que les tendances observées ne sont pas significatives.

De plus, dans ce sous-espace du Pacifique du sud-est, nous ne remarquons pas de point de rupture.

**e) Etude des « rythmes saisonniers » (carte n°54, pressions moyennes décembre/janvier/février (1949-2003) et n°55, pressions moyennes juin/juillet/août (1948-2003) :**

En observant ces deux nouvelles cartes récapitulatives, nous pouvons à nouveau individualiser les sous-ensembles soulignés précédemment. Dans ces trois sous-ensembles, les mêmes constatations peuvent être faites (donc les mêmes réserves liées à la configuration des courbes tracées de part et d'autre d'un point de rupture).

En observant la carte n°54, carte des pressions moyennes décembre, janvier, février (1949-2003), nous voyons des tendances à la baisse dans le sous-espace du Pacifique du nord-est, tendances non significatives.

Les mêmes réserves que celles faites précédemment peuvent être formulées. Certaines courbes (essentiellement dans la partie nord-ouest de ce sous-espace) présentent une rupture centrée sur la deuxième moitié des années 70 (1976, 1978). Après cette période charnière, les pressions augmentent. Plus nous nous rapprochons de la côte de l'Amérique Centrale (plus particulièrement à l'est de la zone de discontinuité d'alizé) et plus ce point de rupture se décale légèrement dans le temps pour venir se centrer autour du début des années 70. Après cette date charnière, les pressions augmentent. Dans cette zone, les tendances restent non significatives mais nous remarquons qu'elles s'inversent, s'orientent à la hausse. Cette zone de discontinuité d'alizé constitue donc une zone transitoire.

Au niveau de la latitude 12,5° nord, les tendances s'inversent et deviennent toutes à la hausse. Nous remarquons que les degrés de significativité sont moindres par rapport à ceux observés dans la carte n°49, figure de la pression moyenne annuelle 1948-2003.

Nous constatons qu'à proximité des côtes de l'Amérique Centrale (en face de l'isthme secondaire de Tehuantepec par exemple) et le long de la cordillère des Andes colombiennes, équatoriennes et péruviennes, les degrés de significativité augmentent et que le risque d'erreur est moindre (souvent 1%) ! De plus, dans ces secteurs, la hausse de pression est très nette après 1970 !

Le troisième sous-ensemble apparaît, au sud de 7,5° de latitude sud, les tendances à la hausse sont beaucoup moins significatives (essentiellement dans la partie ouest de ce sous-ensemble). Nous remarquons qu'à proximité des Andes, les degrés de significativité sont meilleurs. Rappelons qu'en décembre, janvier et février nous sommes en été de l'hémisphère sud.

Sur la carte n°55, carte des pressions moyennes juin, juillet, août (1948-2003), les trois sous-espaces apparaissent là encore très nettement mais quelques variantes doivent être précisées.

Dans le sous-espace du Pacifique du nord-est, si au nord de 25° de latitude nord nous observons plus particulièrement des tendances à la hausse non significatives, au sud de 25° de latitude nord, les tendances sont à la baisse et de plus en plus significatives jusqu'à 15° de latitude nord.

Dans la zone de discontinuité d'alizé : la coupure est très nette autour des années 70. Avant cette période charnière, nous observons une baisse de pression ; après cette période charnière, la hausse des pressions est très nette.

Dans la zone du Pacifique centraméricain, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale, la hausse de la pression est générale ; les tendances sont partout à la hausse avec un risque d'erreur de 1% !

Nous voyons ici le lien étroit qui existe entre le côté pacifique et le côté atlantique. Nous avons constaté précédemment que les pressions augmentent dans la mer des Caraïbes. Nous observons qu'elles augmentent aussi du côté pacifique. Cela confirme que les deux espaces communiquent.

Précisons que nous observons cette hausse des pressions jusqu'à proximité de l'équateur géographique. Si cette hausse des pressions est visible encore plus au sud, les degrés de significativité sont bien moindres. N'oublions pas qu'en juin, juillet et août nous sommes en hiver de l'hémisphère sud ce qui explique que l'hémisphère nord s'étende sur l'hémisphère sud de manière moins radicale. Cette extension n'en demeure pas moins impressionnante !

Dans la zone du Pacifique sud, partout les tendances sont à la baisse des pressions moyennes annuelles. Même si les tendances observées ne sont pas ou très peu significatives, nous sommes en hiver de l'hémisphère sud et cette « perte de puissance » est par conséquent très impressionnante ! L'hémisphère nord se dilate également en été boréal car sa puissance augmente depuis les années 70 mais aussi car l'hémisphère sud est en perte de puissance hivernale !

## 5) Conclusion sur l'étude des pressions (1948-2003) dans le Pacifique est :

Cet immense espace pacifique est à subdiviser en sous-espaces pour permettre une meilleure compréhension mais ce qui a été observé du côté atlantique se retrouve du côté pacifique.

Après la période charnière des années 70, les AMP passés par le détroit de Béring descendent plus fréquemment plus au sud et envahissent régulièrement des espaces où la hausse des pressions est nette (à partir de 10° de latitude nord, dans la partie méridionale du

sous-espace du Pacifique du nord-est). Soulignons qu'à proximité des côtes de l'Amérique du Nord (Etats de l'Alaska, partie nord-ouest du Canada et Etat de Washington, la baisse des pressions constatée s'explique par la présence des dépressions associées aux AMP. En effet, plus les AMP sont nombreux, puissants, plus leurs dépressions associées et leurs couloirs périphériques sont creusés. Dans sa thèse, en cours de rédaction, sur « Le changement climatique récent dans le Pacifique du Nord-Est », A. Favre (2004) analyse l'évolution, entre 1948 et 2004 la fréquence des AMP, leur pression centrale, leur extension en latitude, longitude, leur vitesse de déplacement ; grâce à ces observations, A. Favre élabore un indice d'activité et constate un regain de dynamisme pendant la période estivale et pendant les saisons intermédiaires dans l'espace situé à l'est de 180° de longitude ouest (voir fig. n°209 et n°210).

**Fig.n°209 : Août**

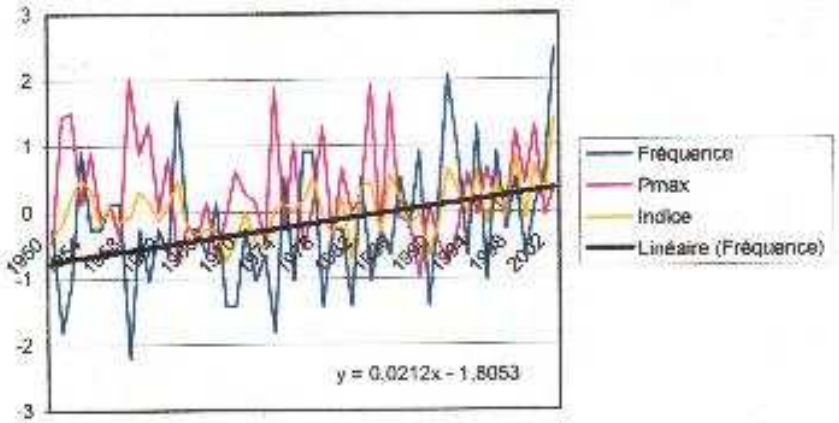
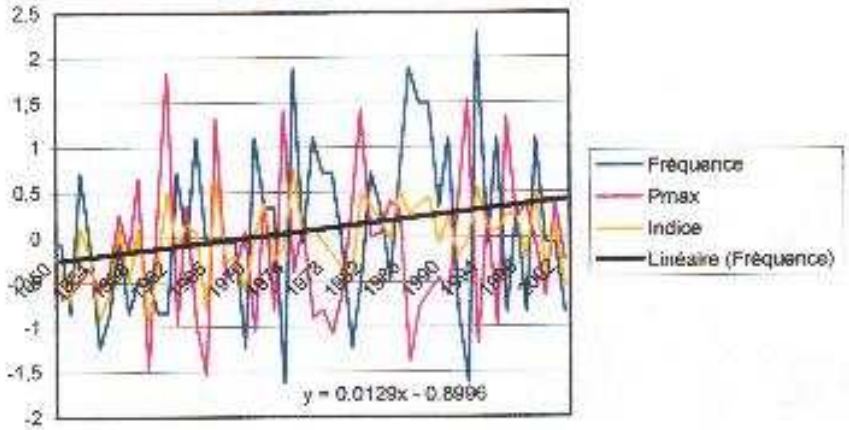



**Fig.n°210 : Octobre**



Ces deux figures traduisent une augmentation du nombre d'AMP ainsi que de leur puissance.

Le sous-espace du Pacifique centraméricain connaît une hausse de pression spectaculaire depuis la décennie 70 (hausse hivernale et estivale). Les hausses de pression sont encore plus marquées à proximité de l'isthme, précisément là où le relief s'abaisse et autorise l'écoulement en masse d'une partie des AMP atlantiques vers le Pacifique. Dans ce sous-espace du Pacifique centraméricain, la hausse des pressions est, en partie masquée par le fait que, ce secteur correspond précisément à la zone de migration de l'EMV (basses pressions).

Les pressions augmentent jusque vers 5° de latitude sud voire au-delà.

A contrario, l'espace du pacifique du sud-est semble connaître une « perte de puissance » dans la mesure où dans l'hémisphère sud, les pressions n'augmentent pas.

Après l'étude des pressions, nous allons, dans un deuxième chapitre, analyser les températures de part et d'autre de l'isthme centraméricain.

# Chapitre 2 : étude des températures de part et d'autre de l'isthme centraméricain

## 1) Introduction :

### a) Origine des données utilisées :

Le fichier de données utilisé provient du site de la NOAA et peut être téléchargé à l'adresse suivante :

http://www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/nph-nc/Datasets/ncep.reanalysis.derived/

Le fichier utilisé regroupe des données de surface. Toutes les séries statistiques commencent en janvier 1948 et s'étendent jusqu'à décembre 2003.

Les données de températures moyennes annuelles ont été calculées à partir du fichier : « Monthly Mean Air Temperature » . Dans ce fichier, la température est indiquée en degré Celsius (°C). Ce fichier est garanti avec une degré d'erreur de + ou – 1°C.

### b) Présentation des grilles de points utilisées (cartes n°44 et n°45) :

- **Les grilles de points utilisées sont identiques à celles présentées et utilisées précédemment (voir ci-dessus, partie 4, chapitre 1, 1, b).**

### c) La méthode :

Pour chaque point de grille, nous avons construit une courbe d'évolution ; tracé la droite de tendance (droite de régression) et testé sa significativité en confrontant le coefficient de corrélation linéaire calculé (R) au coefficient de corrélation théorique de la table de Bravais-Pearson. La significativité statistique de chaque courbe (R calculé > R théorique) est exprimée avec un risque d'erreur de 1%, 2%, 5% ou 10%.

Les résultats de cette étude des températures sont présentés sous forme graphique (cartes n°56 à 68).

Légende des figures :

Pour chaque point de grille, en haut à gauche de l'icône, nous trouvons une flèche qui nous indique si la tendance est à la hausse ou à la baisse. En haut, à droite, nous trouvons un plus si cette tendance est significative, un moins si elle ne l'est pas. Quand la tendance est significative, en bas, à gauche, nous trouvons le risque d'erreur à prendre en compte, 1%, 2%, 5% ou 10%.

## 2) Etude de l'évolution climatique récente des températures dans l'espace du Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et de la mer des Caraïbes (cartes n°56 à 60) :

### a) Introduction :

Nous analysons d'abord les températures moyennes annuelles (carte n°56, 1948-2003) puis, les températures moyennes trimestrielles décembre janvier et février (carte n°57, 1949-2003) et juin juillet et août (carte n°58, 1948-2003) ; afin d'affiner nos observations, nous analysons ensuite les températures moyennes annuelles 1948-1969 (carte n°59) et 1970-2003 (carte n°60).

### b) Etude de l'évolution des températures moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°56) :

La carte n°56 montre que les tendances des températures moyennes annuelles sont quasi toutes à la hausse. Cependant, nous constatons que les tendances observées sont très souvent non significatives. De plus, quand la tendance est significative, force est de constater que les risques d'erreur à prendre en compte sont très souvent élevés. Une fois encore, rappelons que nous nous trouvons en zone tropicale, par essence chaude et qu'en conséquence, les différences de températures à l'échelle des moyennes annuelles sont faibles. Rappelons également que nous sommes sur une surface océanique où les variations sont, de fait, encore plus réduites.

En observant chaque courbe tracée (voir fig. n°211 à 213, courbes ponctuelles), nous voyons que la configuration de ces dernières ne nous permet pas d'étudier l'évolution des températures moyennes annuelles entre 1948 et 2003. En effet, chaque courbe (ou presque), présente une tendance très marquée dans un sens, entre 1948 et les années 1965-1975 puis la tendance s'inverse radicalement entre 1965-1975 et 2003. Cette constatation est particulièrement nette pour les espaces du Golfe du Mexique et de l'Atlantique ouest, un peu moins marquée pour celui de la mer des Caraïbes. Nous remarquons de plus, que dans l'espace de la mer des Caraïbes, l'évolution semble être l'inverse de celle observée dans les deux autres espaces étudiés.

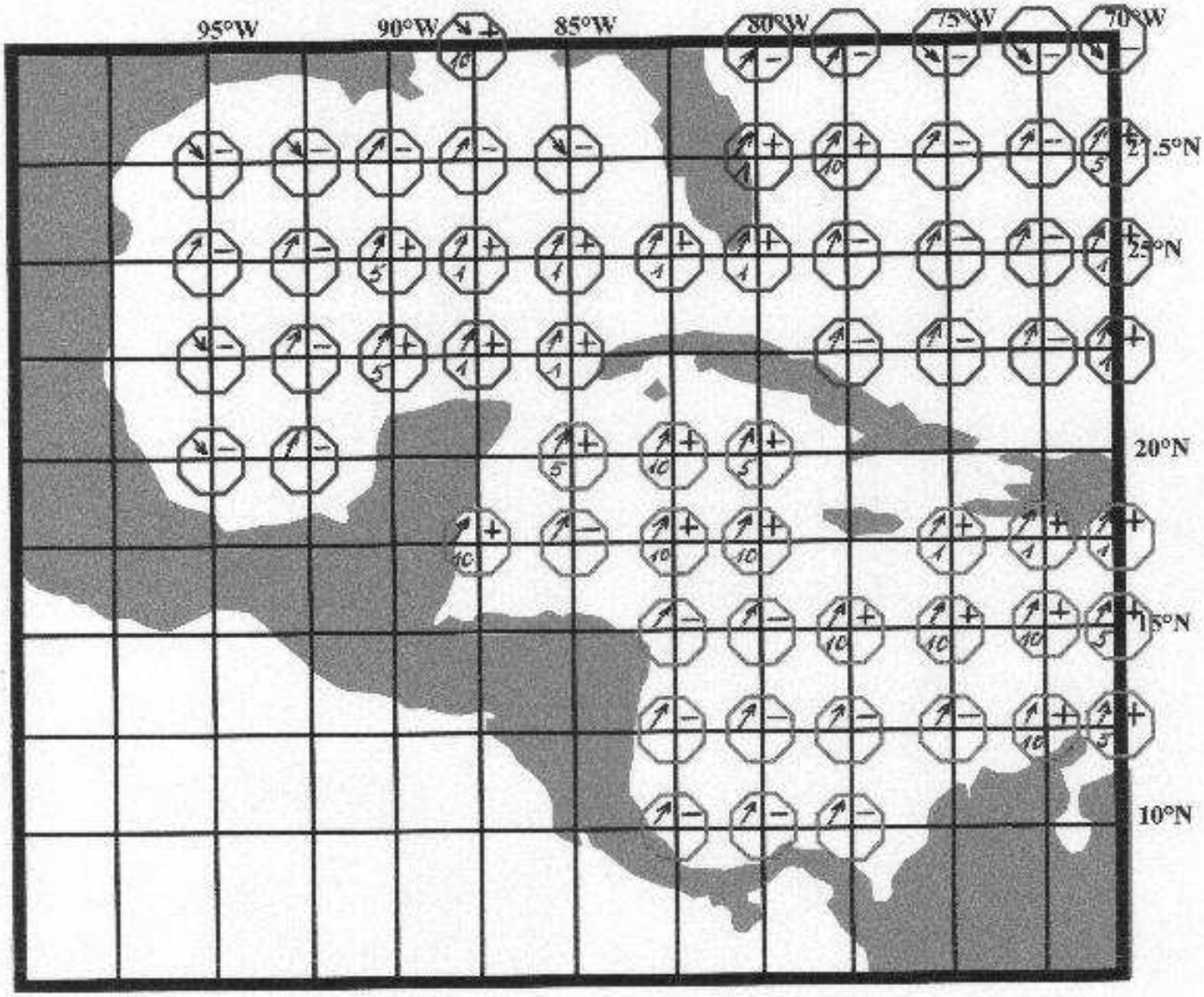
Avec de telles configurations, prendre en considération la période 1948-2003 a pour effet de gommer complètement les évolutions, très différentes, constatées de part et d'autre des années 1965-1975, années constituant une période charnière.

Afin de cerner les vraies évolutions, nous traçons les courbes pour la période 1948-1969 puis celles pour la période 1970-2003.

Un changement apparaissant, suivant les points de grille, entre les années 1965 et 1975, la coupure autour des années 70 s'est imposée. Cependant, force est de reconnaître, qu'en fonction du point de grille étudié, faire des courbes en prenant l'année de la « vraie » coupure, celle observée graphiquement et non celle de la « coupure moyenne », à savoir 1970, nous obtenons des degrés de significativité bien supérieurs. L'avantage de prendre une coupure « moyenne » est d'harmoniser les résultats pour pouvoir ensuite les comparer de la manière la plus juste et honnête possible. Nous présenterons l'analyse de ces courbes après l'étude des rythmes saisonniers 1948-2003.

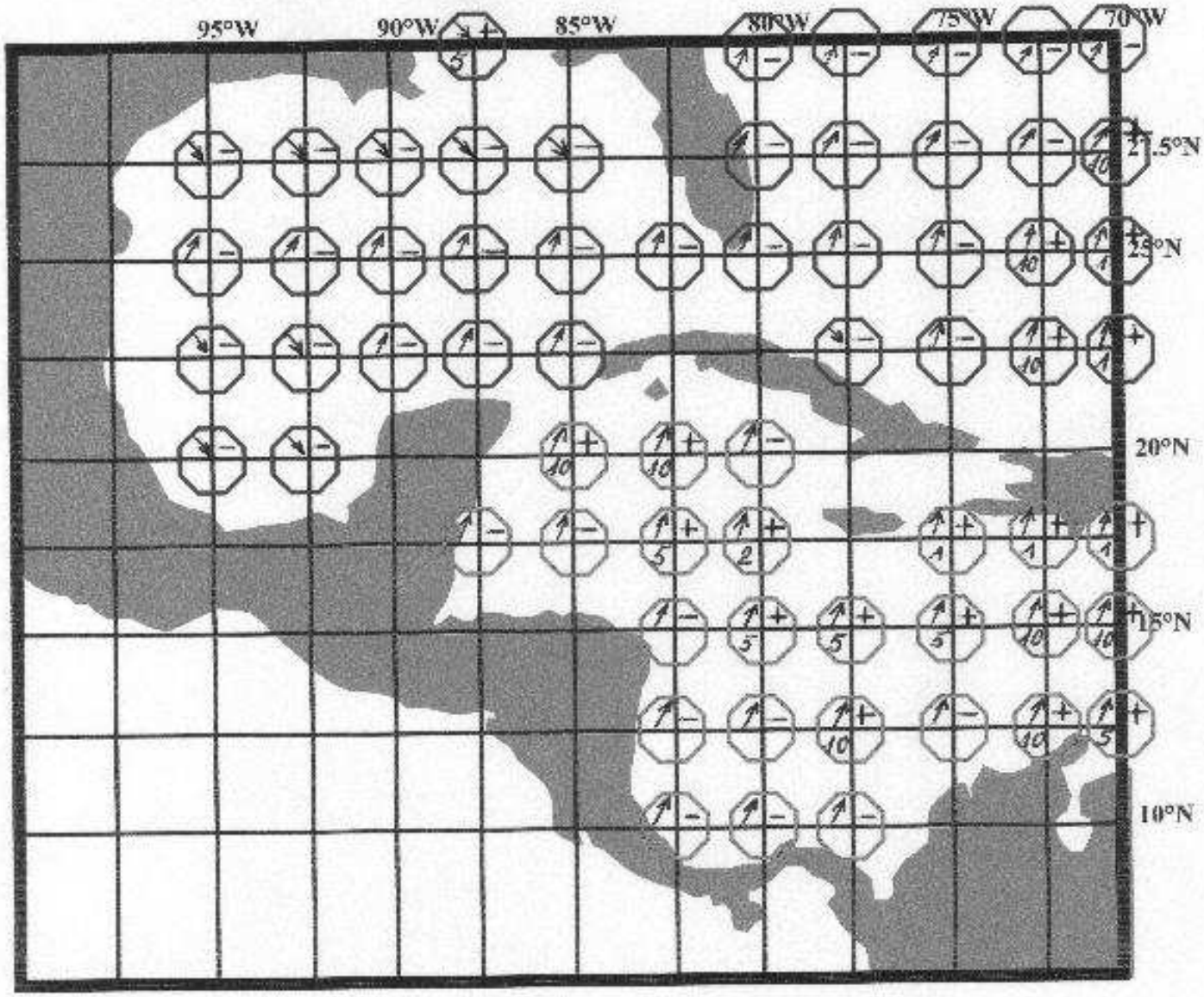
**Carte n°56 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1948-2003)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



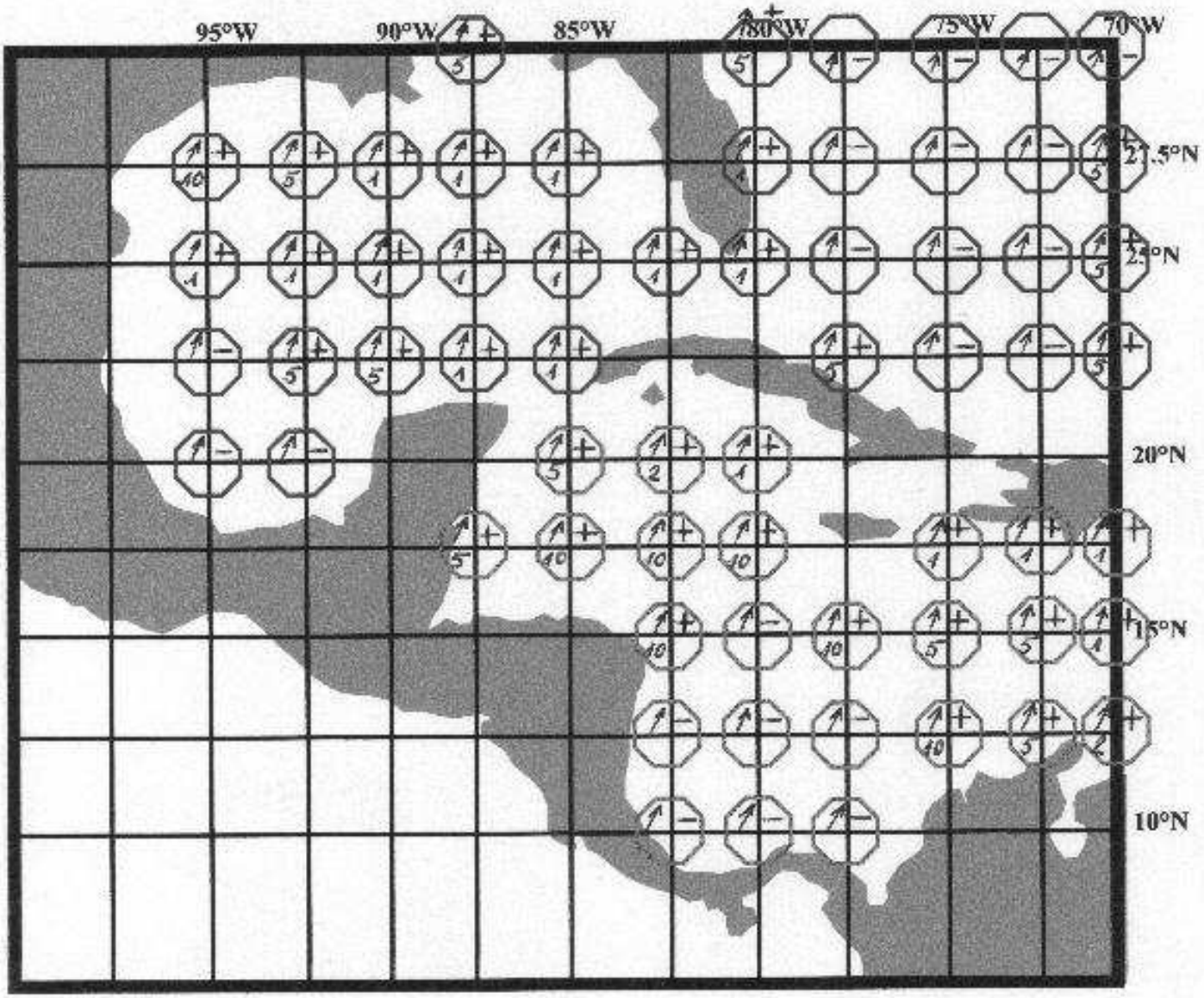
**Carte n°57 : "Analyse des températures moyennes DJF (1949-2003)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



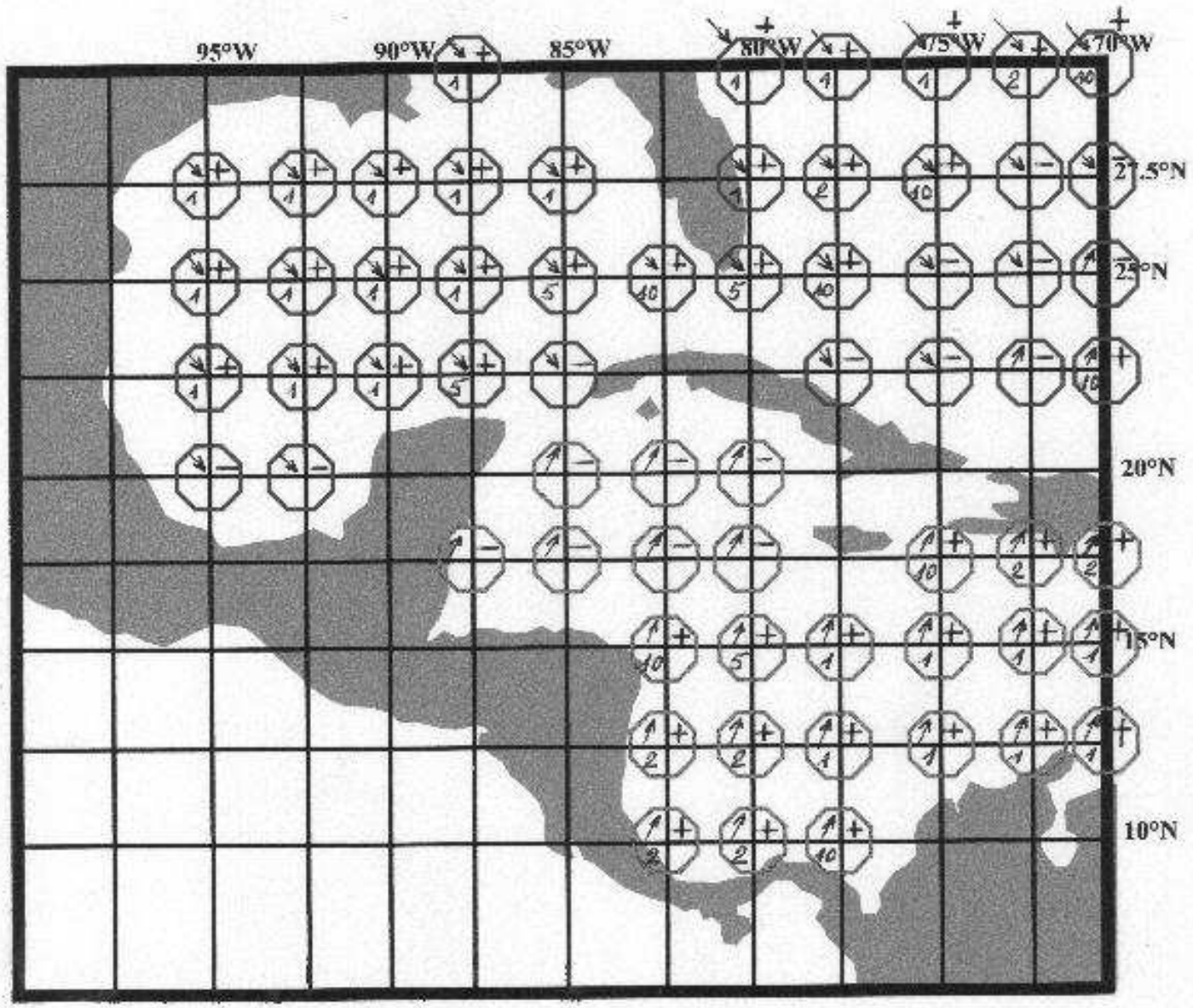
**Carte n°58 : "Analyse des températures moyennes JJA (1948-2003)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



**Carte n°59 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1948-1969)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



**Carte n°60 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1970-2003)".**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*

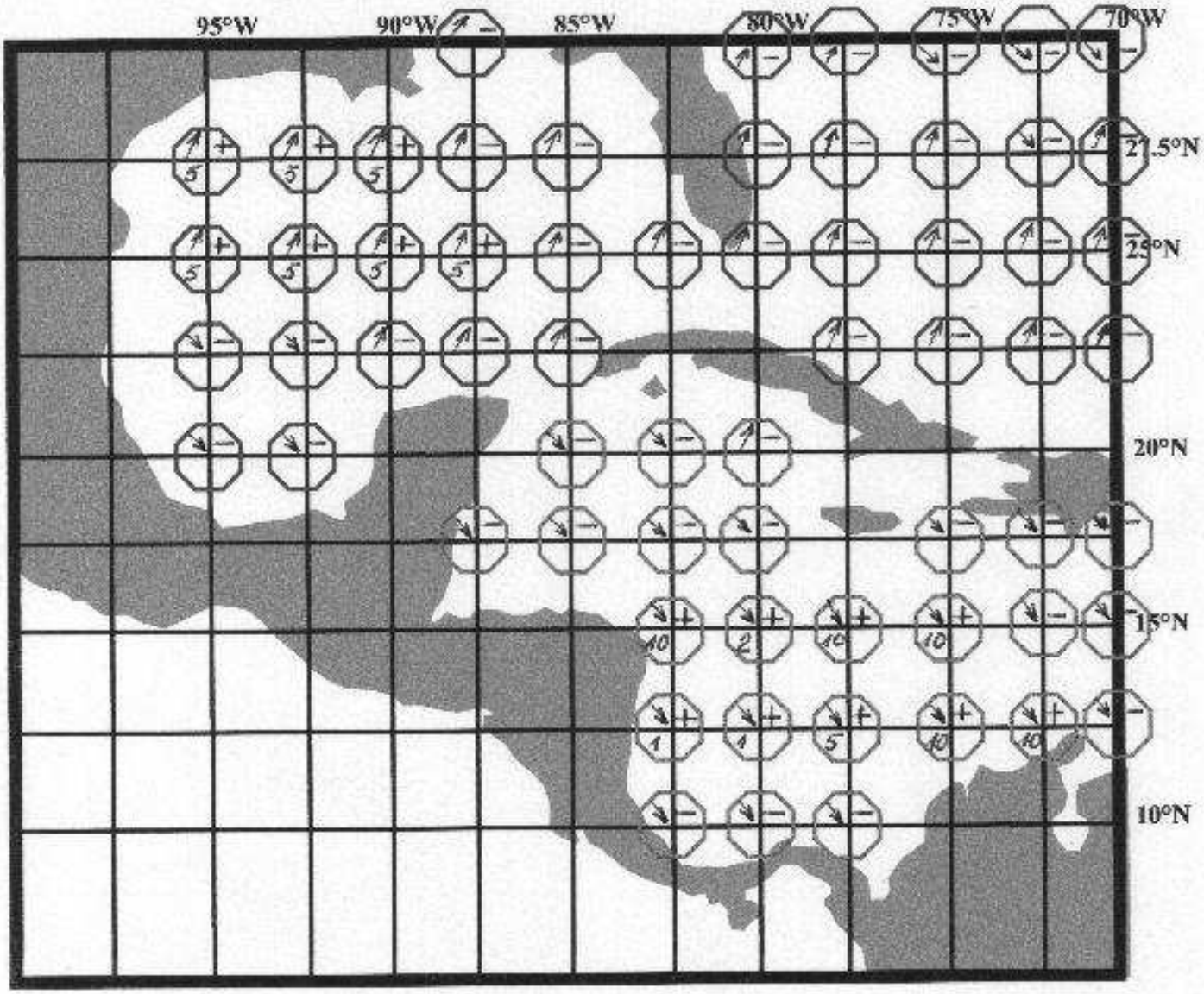


Fig.n°211 Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 95°W-27.5°N (Golfe du Mexique)

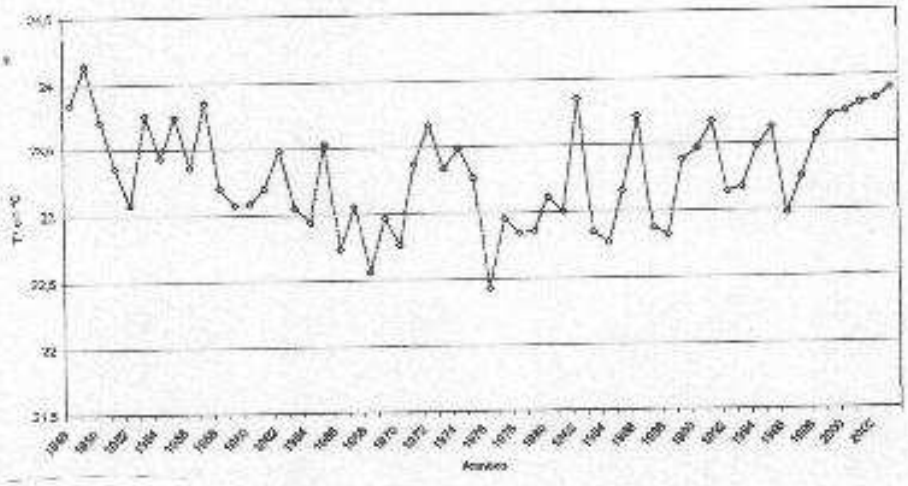


Fig.n°212 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 77.5°W-30°N (Atlantique du nord-ouest)

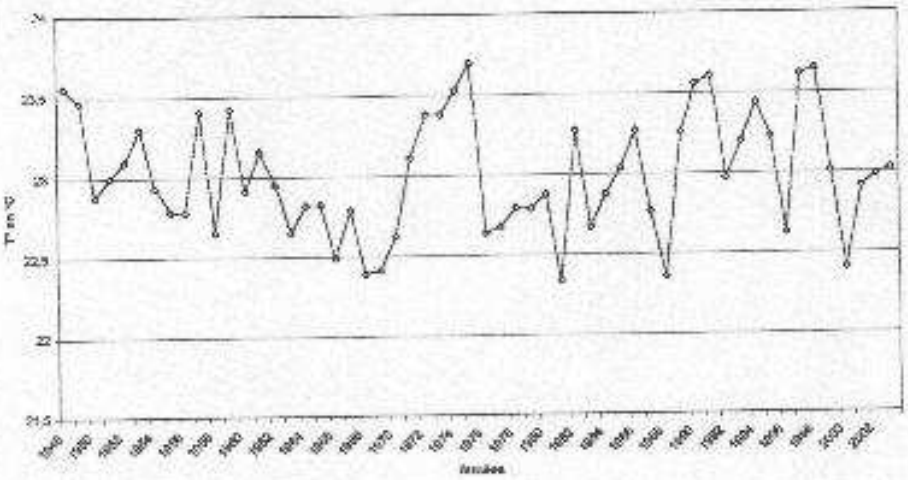
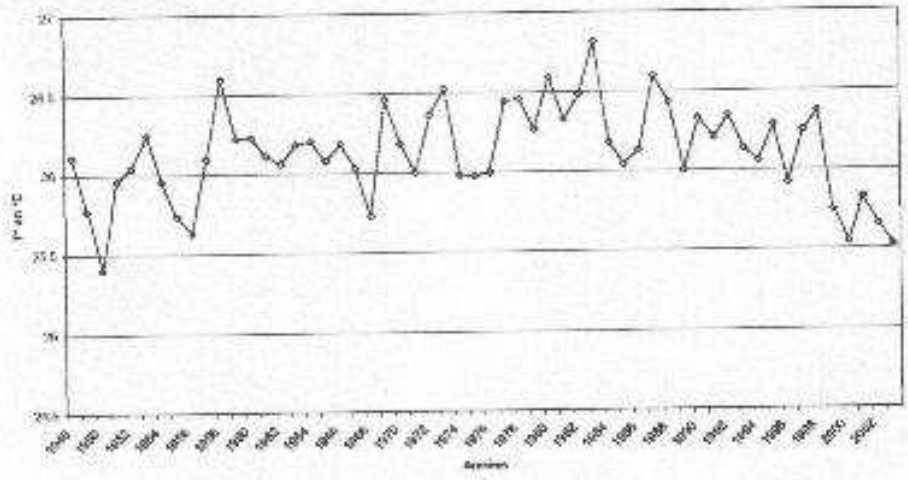


Fig.n°213 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 62.5°W-15°N (Caraïbes)



**c) Etude des rythmes saisonniers (cartes n°57 et n°58) :**

- Sur la carte n°57, DJF (décembre, janvier et février), les tendances observées sont quasiment toutes à la hausse. Cependant, nous constatons, une fois encore, que les tendances observées sont très souvent non significatives dans les espaces du Golfe du Mexique et de l'Atlantique ouest. L'espace de la mer des Caraïbes s'individualise encore en présentant des tendances globalement plus significatives. Cependant, force est de constater que les risques d'erreur à prendre en compte sont souvent élevés. Les réserves émises auparavant se retrouvent ici.

- Sur la carte n°58, JJA (juin, juillet et août), les tendances observées sont quasiment toutes à la hausse et plus significatives que sur la figure précédente. L'espace de l'Atlantique ouest s'individualise par des tendances à la hausse globalement non significatives. L'espace du Golfe du Mexique présente lui, des tendances à la hausse, significatives pour la majorité d'ente elles avec un risque d'erreur de 1%. L'espace de la mer des Caraïbes présente lui aussi des tendances à la hausse, généralement significatives mais avec des risques d'erreur plus élevés voire une non significativité au nord du Panama, Costa-Rica.

**d) Etude de l'évolution des températures moyennes annuelles 1948-1969 (carte n°59) et 1970-2003 (carte n°60) :**

- La carte n°59 (1948-1969), montre une évolution inverse entre les espaces du Golfe du Mexique/Atlantique ouest et la mer des Caraïbes. En effet, dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique ouest, les tendances sont toutes à la baisse des températures moyennes annuelles entre 1948 et 1969. Si quelques tendances ne sont pas significatives (baie de Campeche, au Mexique et au nord de Cuba et de l'île d'Hispaniola), le Golfe du Mexique présente des tendances à la baisse significatives avec un risque d'erreur de 1% et l'Atlantique ouest présente également des tendances à la baisse significatives. Par contre, dans la mer des Caraïbes, nous observons des tendances à la hausse des températures moyennes annuelles. Si au nord de la mer des Caraïbes (à l'ouest du Yucatán), les tendances à la hausse ne sont pas significatives, le reste de la mer des Caraïbes présente des tendances à la hausse très significatives.

- La carte n°60 (1970-2003), montre, à nouveau, une évolution à la fois inverse entre les espaces du Golfe du Mexique, l'Atlantique ouest et la mer des Caraïbes et inverse par rapport à la carte n°59 précédente. En effet, dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique ouest, les tendances des températures moyennes annuelles entre 1970 et 2003 sont pratiquement toutes à la hausse. Nous remarquons que ces tendances à la hausse ne sont globalement pas significatives (sauf au nord-ouest du Golfe du Mexique). Comme nous avons déjà pu le dire ci-dessus, la coupure « moyenne » autour des années 70 a été choisie par souci de cohérence d'ensemble, afin de pouvoir comparer ce qui est comparable. Cependant, si nous ne perdons pas en lisibilité (nous voyons bien les tendances à la hausse et/ou à la baisse), nous perdons en degré de significativité. Il est évident, qu'en prenant la date de la coupure exacte, correspondant à chaque point de grille, le degré de significativité est bien meilleur mais l'essentiel réside dans la mise en avant de tendances bien particulières.

Dans la mer des Caraïbes, nous observons des tendances à la baisse des températures moyennes annuelles. Si à l'ouest du Yucatán et au sud de l'île d'Hispaniola ainsi qu'au nord du Panama, les tendances à la baisse ne sont pas significatives, le reste de la mer des Caraïbes présente des tendances à la hausse significatives.

## 3) Conclusion sur l'étude des températures dans l'espace de l'Atlantique du nord-est, le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes :

Ces observations concordent avec celles faites à partir de l'analyse des pressions moyennes.

La césure centrée sur la décennie 70 apparaît très nettement.

Dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique du nord-ouest, avant la période charnière centrée sur les années 70, les températures baissent ; après la période charnière, les températures augmentent.

Dans la mer des Caraïbes et l'extrémité méridionale de l'Atlantique du nord-ouest, nous observons exactement l'inverse, avant la période charnière centrée sur les années 70, les températures augmentent, au contraire, après la période charnière, les températures baissent.

Cela s'explique par le fait que jusqu'aux années 70, les AMP envahissaient déjà fréquemment le Golfe du Mexique et l'Atlantique du nord-ouest (d'où la baisse des températures observée dans ces secteurs) et, sur leur face avant, le long du couloir dépressionnaire périphérique, en direction de leur dépression associée située sur leur flanc nord-nord-est, les flux tropicaux chauds étant déviés, canalisés ; les températures augmentaient dans la mer des Caraïbes et l'extrémité méridionale de l'Atlantique du nord-ouest.

Après la période charnière centrée sur la décennie 70, les AMP plus rapides envahissent beaucoup plus fréquemment la mer des Caraïbes et l'extrémité méridionale de l'Atlantique du nord-ouest et nous observons alors une baisse marquée des températures dans ces espaces. Sur la face arrière de ces AMP, les flux tropicaux déviés, canalisés, entraînent, au contraire, une hausse des températures dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique du nord-ouest.

## 4) Etude de l'évolution climatique récente des températures dans l'espace du Pacifique est (cartes n°61 à 68) :

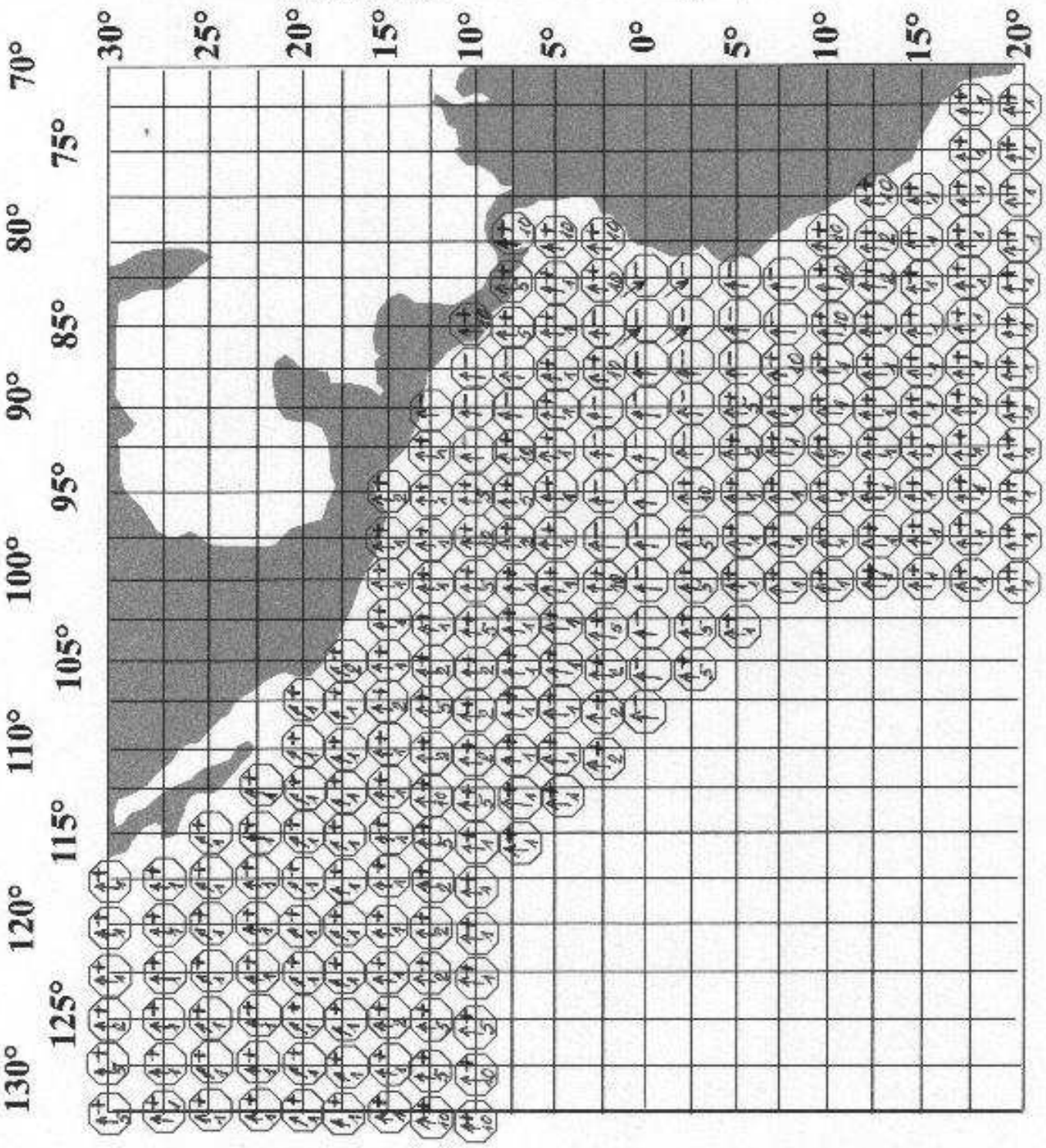
### a) Introduction :

Nous analysons d'abord les températures moyennes annuelles (carte n°61, 1948-2003) puis, afin d'approfondir ce que l'analyse des courbes réalisées pour construire cette première carte met en évidence, nous proposons deux nouvelles cartes (carte n°62, 1948-1977 et carte n°63, 1978-2003) des températures moyennes annuelles dans le sous-espace du Pacifique du nord-est accompagnées de deux cartes (carte n°64, 1948-1969 et carte n°65, 1970-2003) des températures moyennes annuelles dans le Pacifique du nord-est (zone de la discontinuité d'alizé) et le Pacifique centraméricain puis, les températures moyennes annuelles dans le sous-espace centraméricain à proximité de l'isthme (carte n°66, 1980-2003) puis, les températures moyennes trimestrielles décembre, janvier et février (carte n°67, 1949-2003) et juin, juillet et août (carte n°68, 1948-2003).

En adoptant une démarche allant du général au particulier et en multipliant les figures présentées, nous cherchons à gagner en lisibilité et à mettre en avant les tendances réelles, les points de ruptures significatifs pouvant être masqués par une échelle de temps et/ou d'espace trop grande.

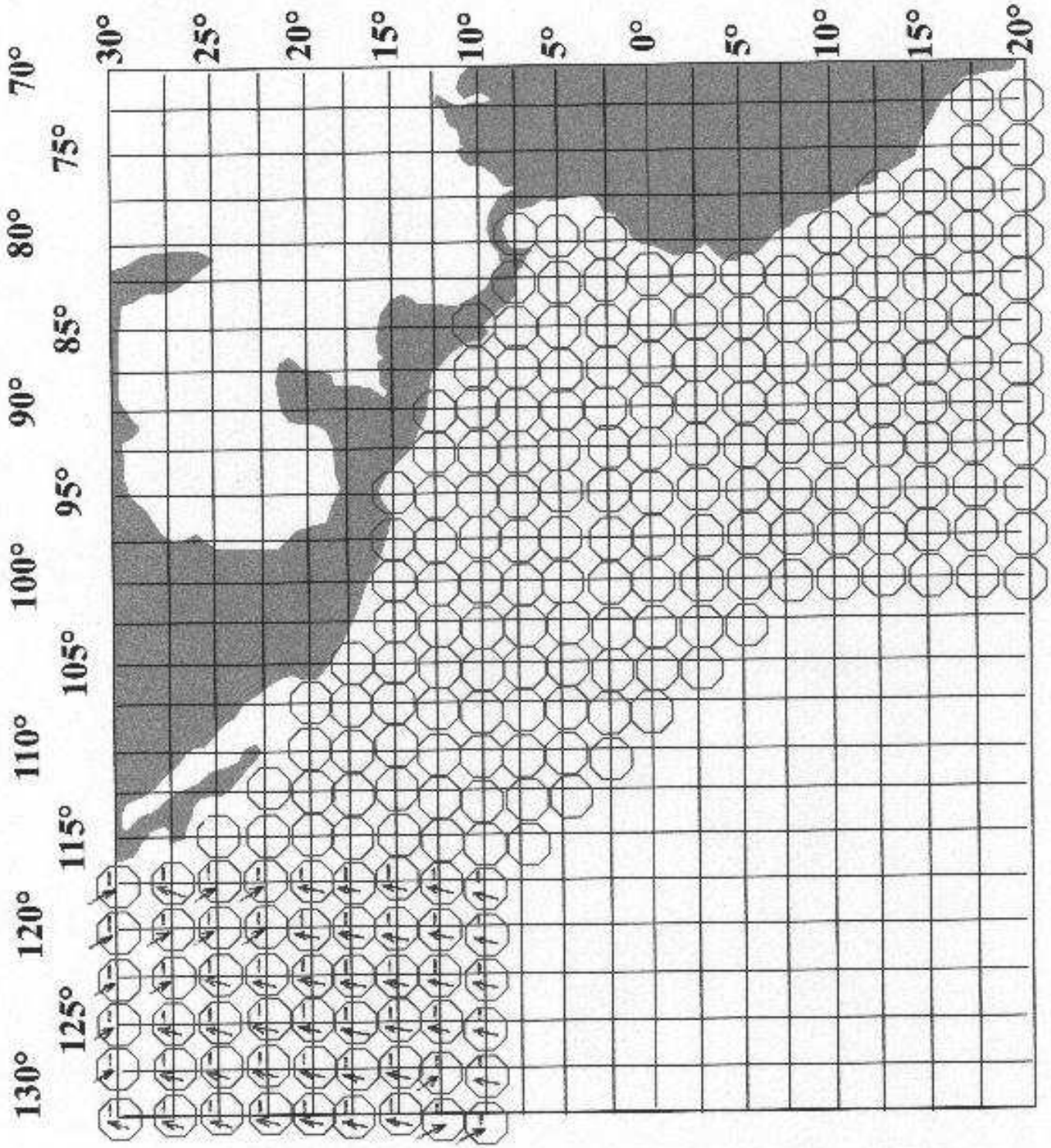
**Carte n°61 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1948-2003) dans le Pacifique du nord-est, le Pacifique centraméricain et le Pacifique du sud-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



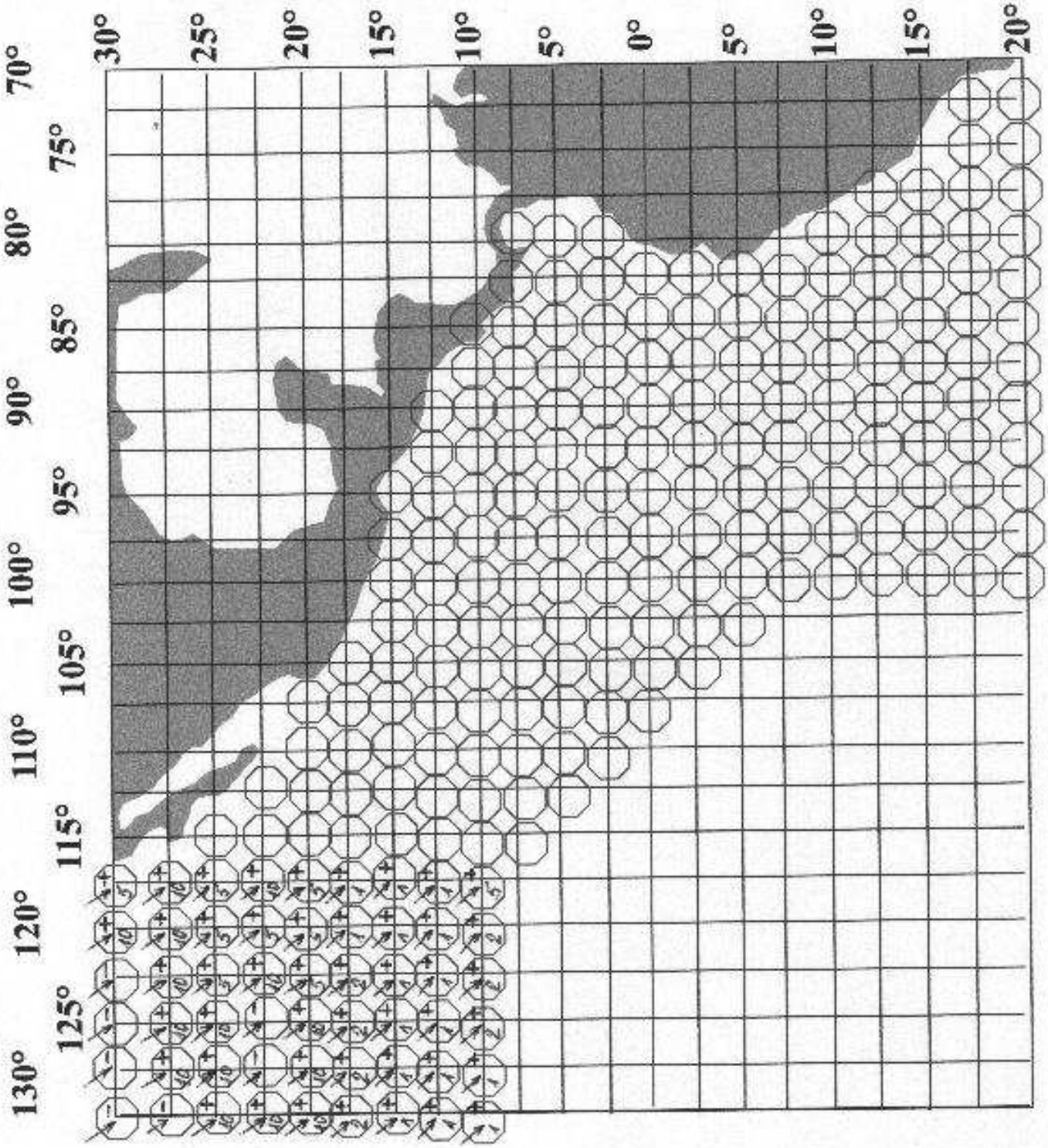
**Carte n°62 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1948-1977) dans le sous ensemble du Pacifique du nord-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Fisher-Snedecor, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative)*



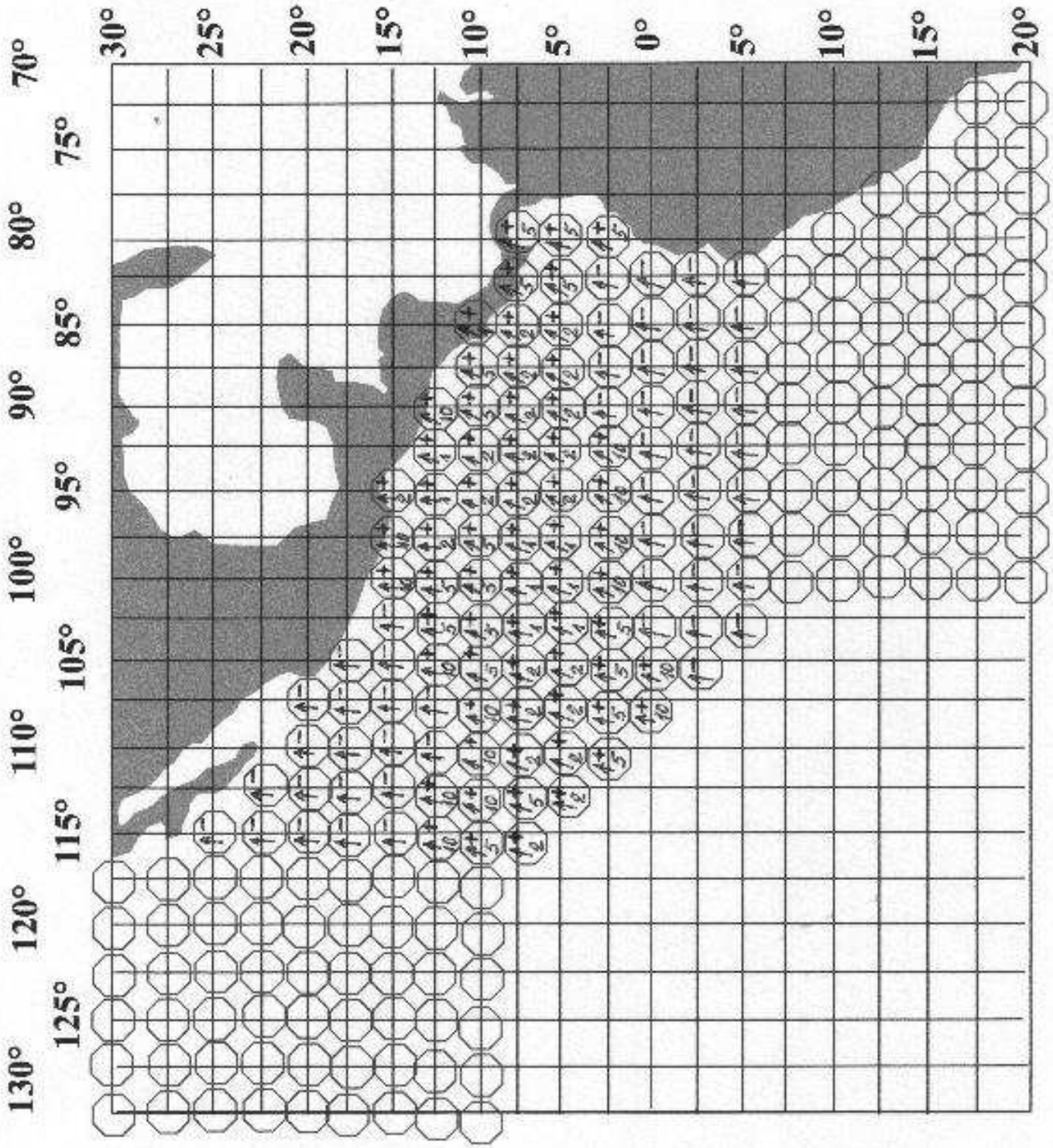
**Carte n°63 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1978-2003) dans le sous ensemble du Pacifique du nord-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais-Pearson. indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



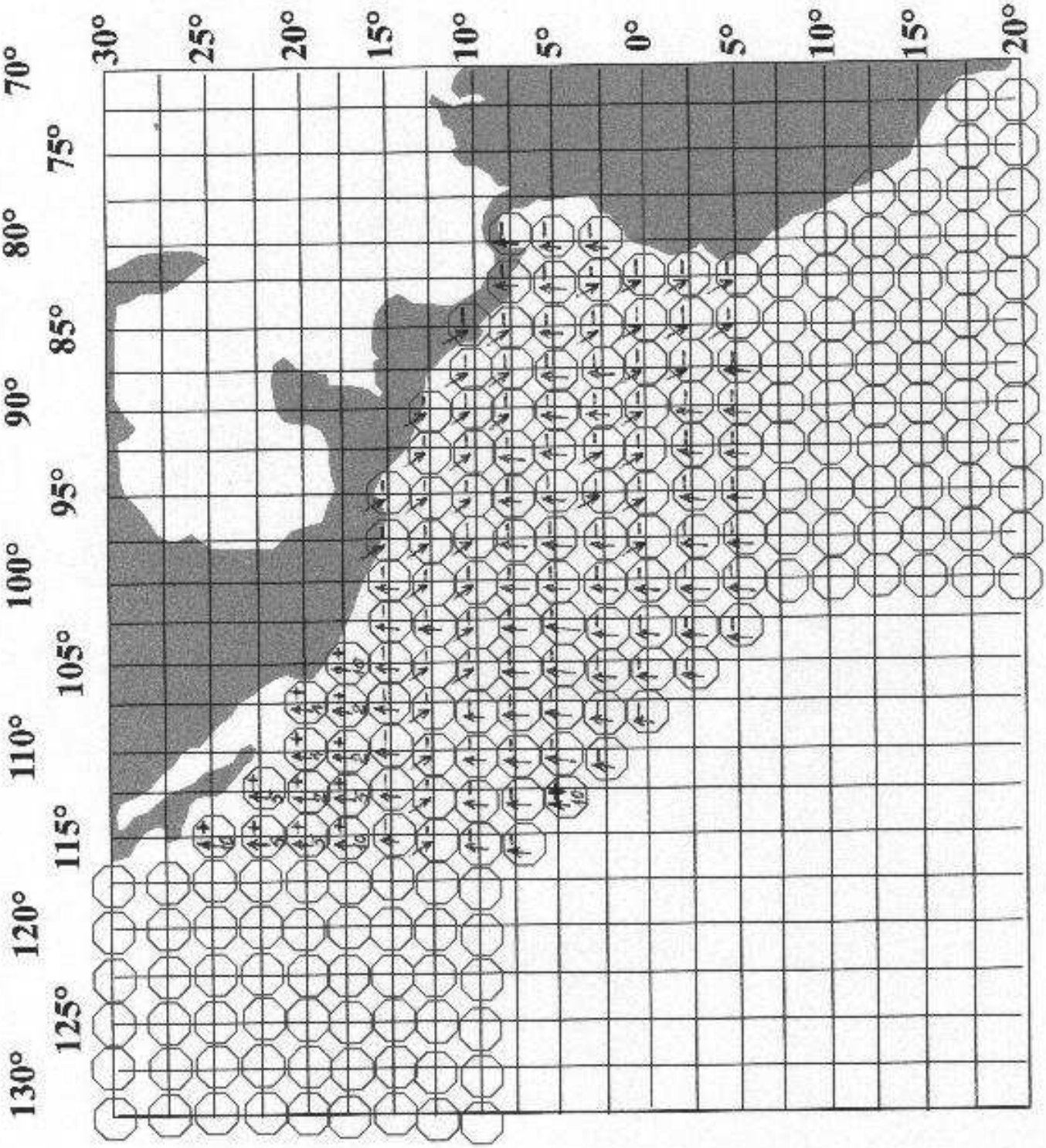
**Carte n°64 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1948-1969) dans le sous ensemble du Pacifique centraméricain"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



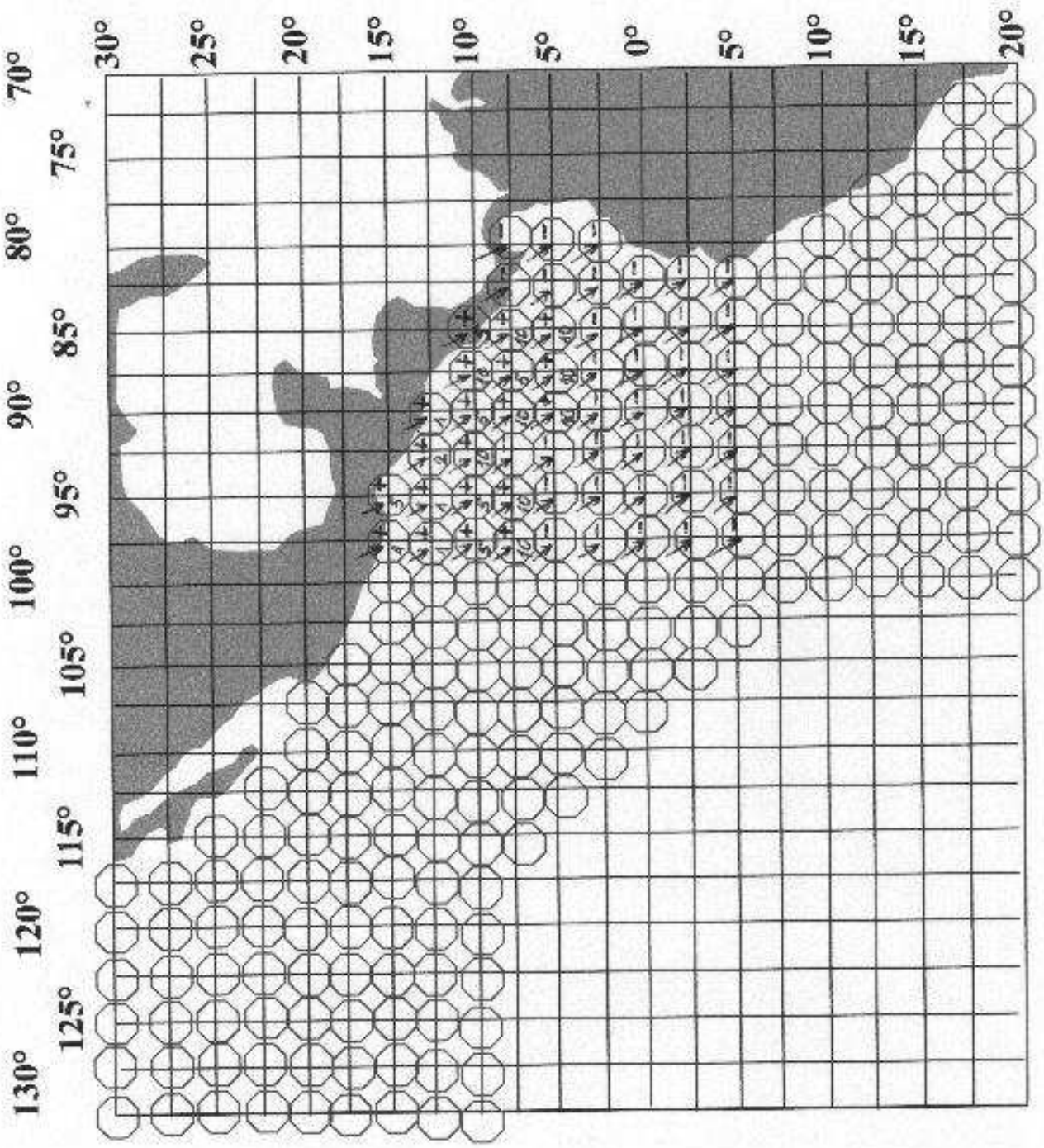
**Carte n°65 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1970-2003) dans le sous ensemble du Pacifique centraméricain"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*



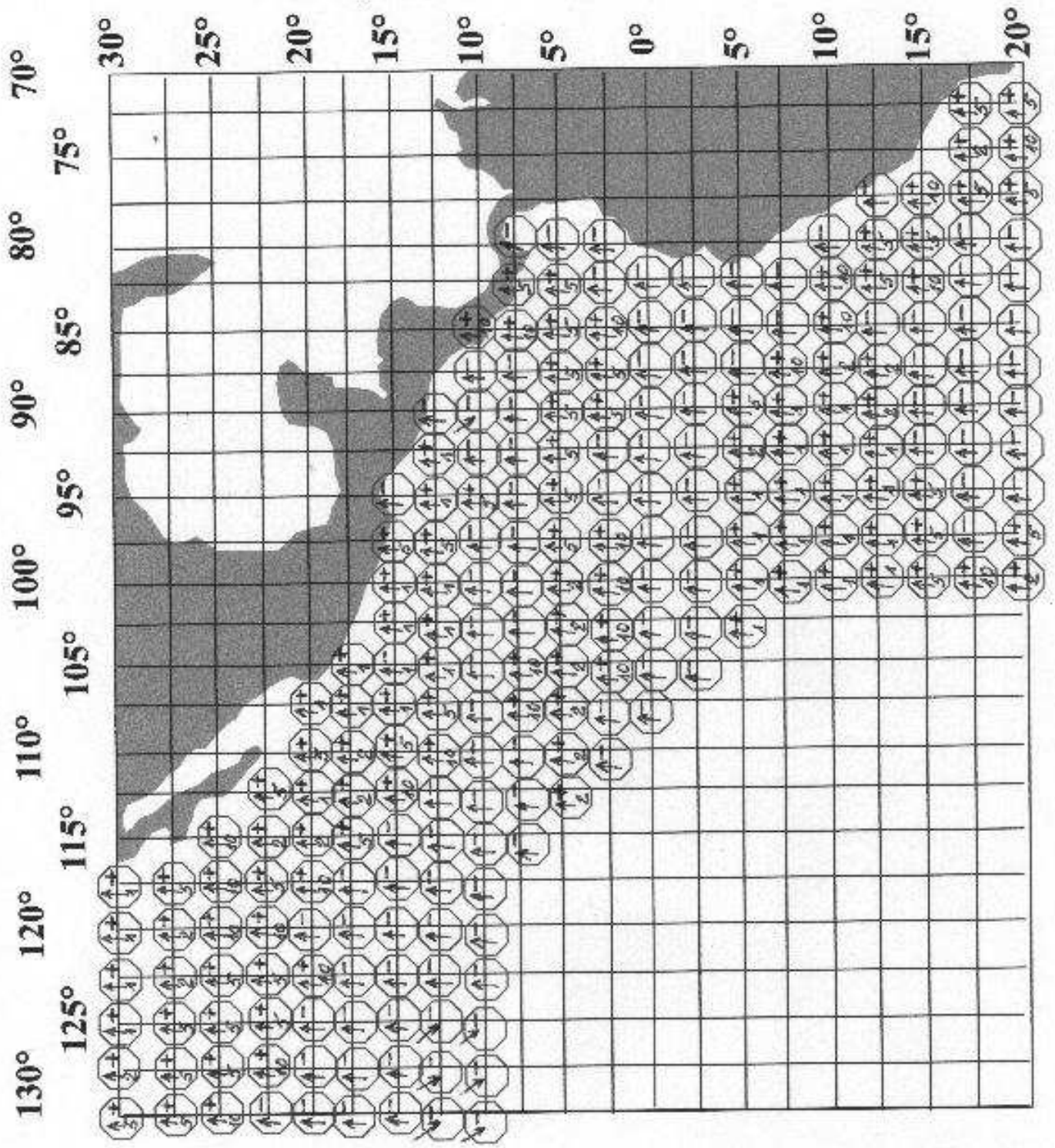
**Carte n°66 : "Analyse des températures moyennes annuelles (1980-2003) dans le sous ensemble du Pacifique centraméricain (97,5°-80°O/15°-05°N)"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative)*



**Carte n°67 : "Analyse des températures moyennes DJF (1949-2003) dans le Pacifique du nord-est, le Pacifique centraméricain et le Pacifique du sud-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de Bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative)*



**Carte n°68 : "Analyse des températures moyennes JJA (1948-2003) dans le Pacifique du nord-est, le Pacifique centraméricain et le Pacifique du sud-est"**

*(Caractérisation de la tendance de la droite de régression, test de significativité du R2 avec la table de bravais-Pearson, indication du pourcentage d'erreur dans le cas d'une tendance significative).*

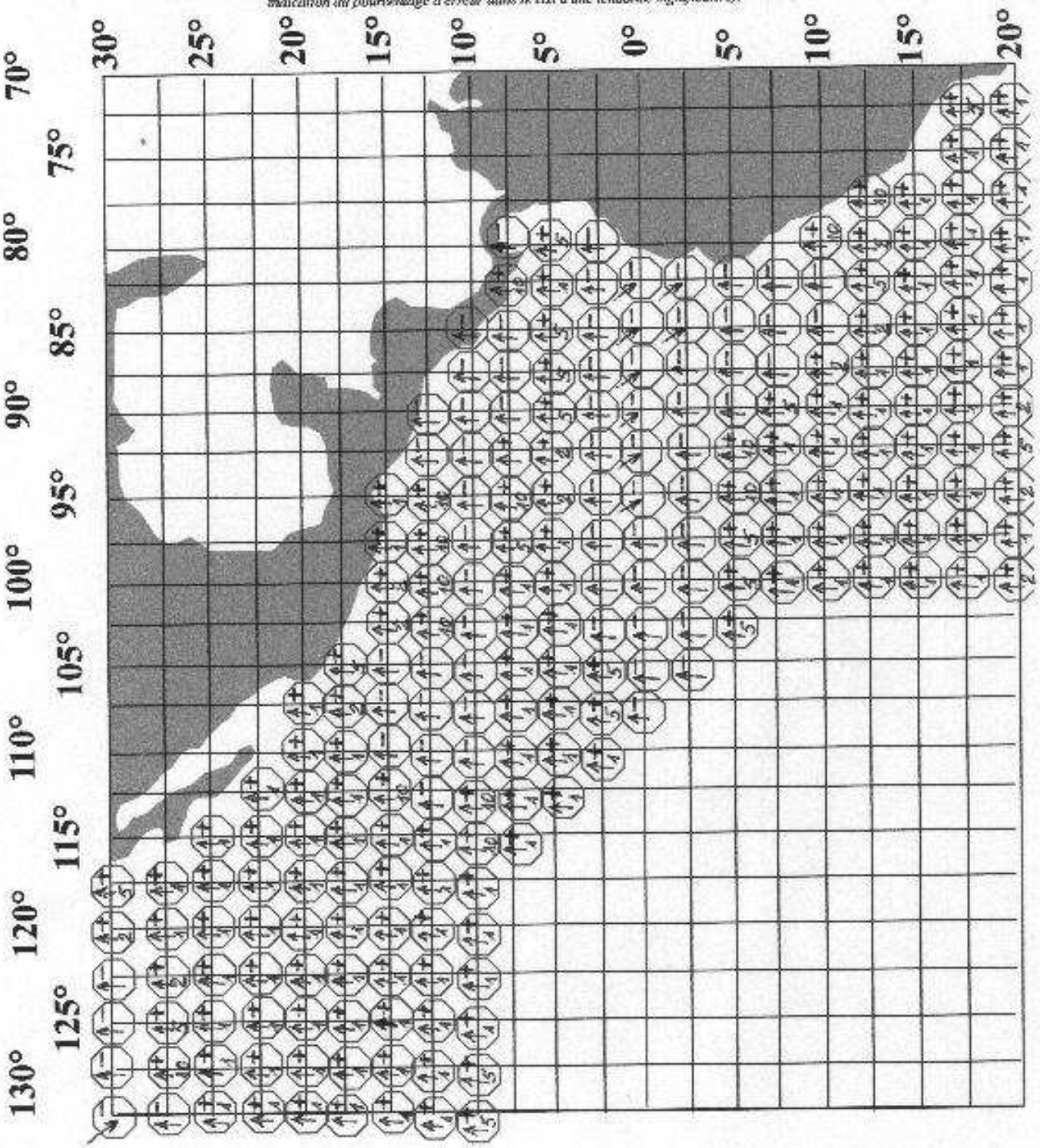


Fig.n°214 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 122.5°W-25°N (Pacifique du nord-est)

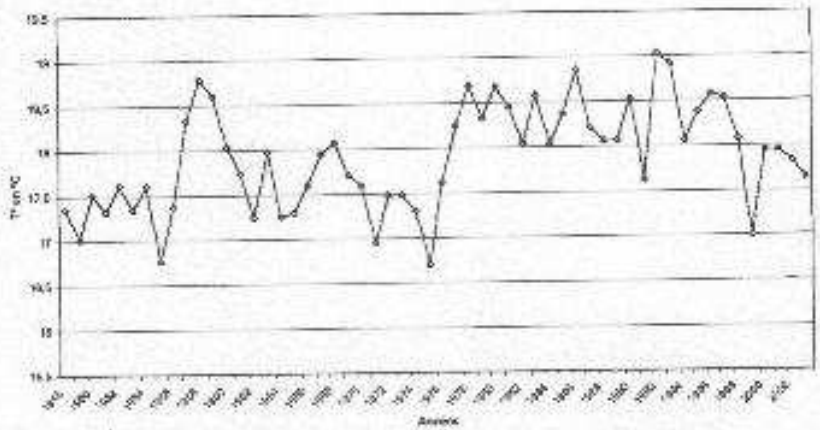


Fig.n°215 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 110°W-12.5°N (Pacifique du nord-est, zone de la discontinuité d'altise)

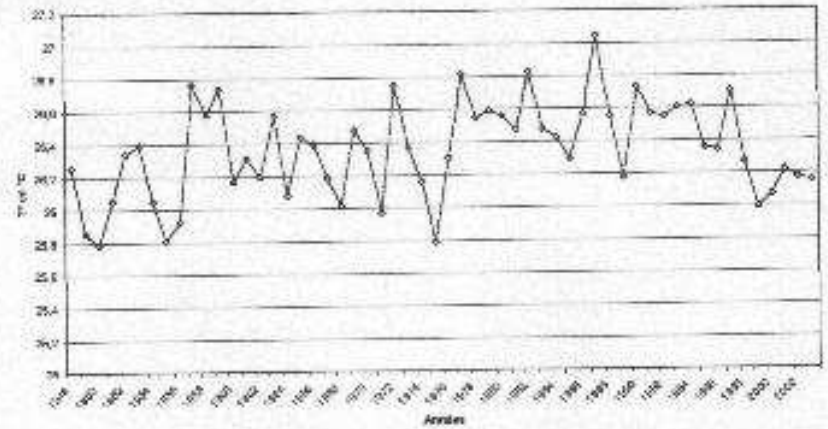


Fig.n°216 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 105°W-10°N (Pacifique du nord-est, à proximité de l'Equateur)

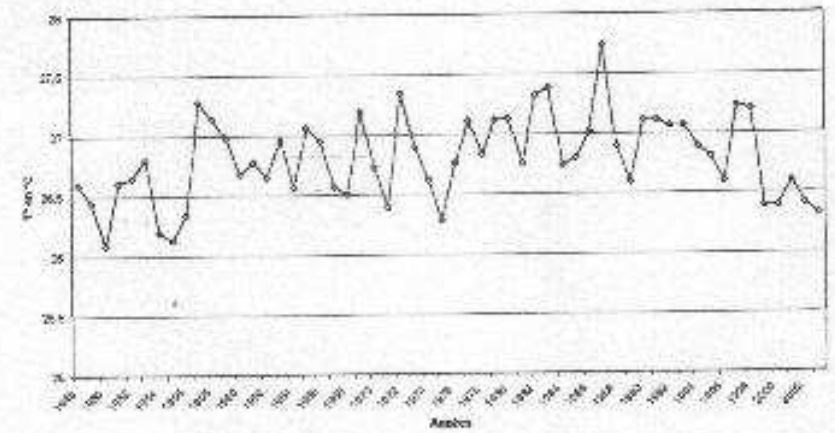


Fig.n°217 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 95°W-15°N (Pacifique centroaméricain)

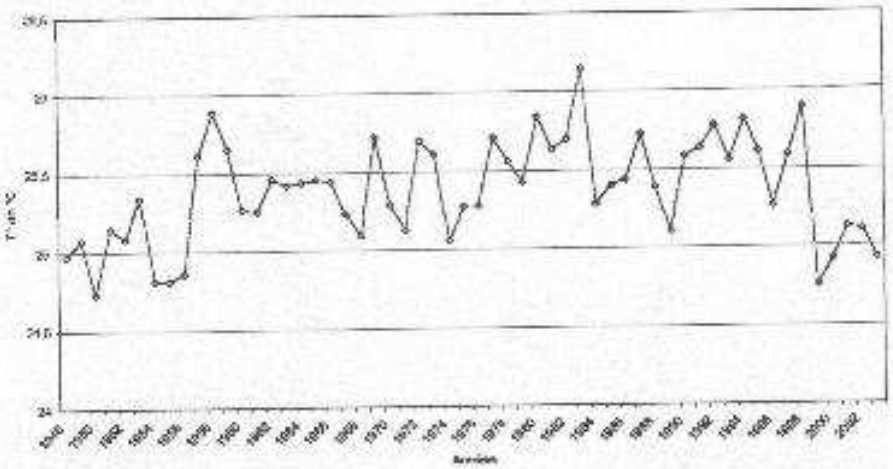


Fig.n°218 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 92.5°W-0° (Pacifique centroaméricain, sur l'équateur géographique)

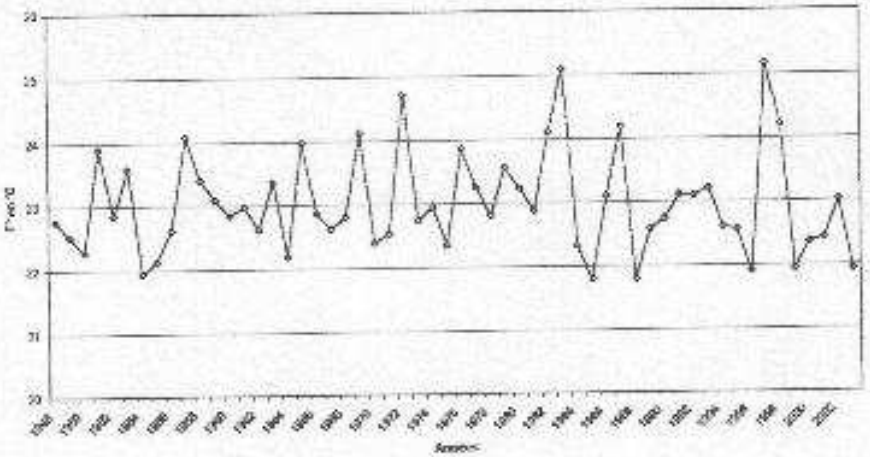
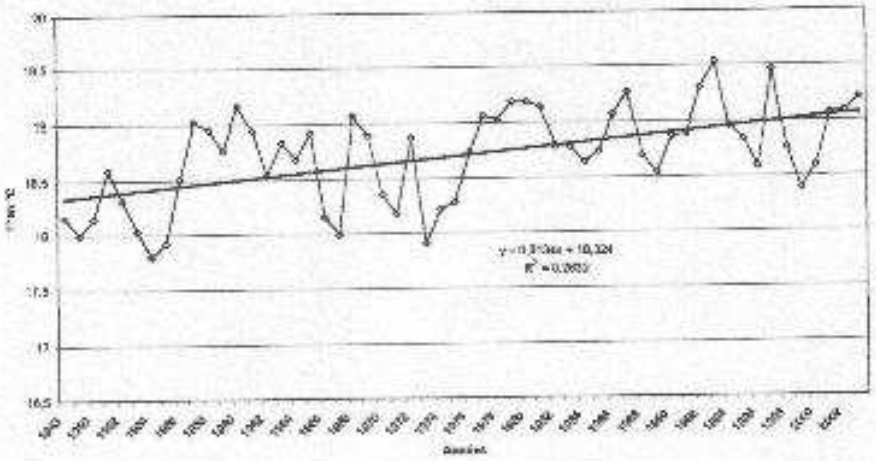


Fig.n°219 : Evolution des températures moyennes annuelles (janvier 1948 - décembre 2003) à 85°W-20°S (Pacifique du sud-est)



**b) Etude des températures moyennes annuelles 1948-2003 (carte n°61) :**

La carte récapitulative n°61, ne nous permet plus de distinguer les trois sous-espaces précédemment mis en avant. La totalité des points de grille analysés présentent une tendance à la hausse des températures moyennes annuelles. Cette tendance à la hausse des températures moyennes annuelles est presque toujours significative avec une risque d'erreur très faible (1%).

Cependant, à regarder de plus prés les courbes produites, nous pouvons préciser les faits suivants :

Dans le sous-espace du Pacifique du nord-est, nous observons une rupture centrée sur les années 1976-1978 où un palier important apparaît. En effet, entre 1976 et 1980, les températures moyennes annuelles font un « bond » de + 1,5°C à + 2°C avant de baisser régulièrement (voir fig. n°214, courbe ponctuelle).

Dans la zone de la discontinuité d'alizé (voir fig. n°215, courbe ponctuelle) : le palier a tendance à disparaître. Cette disparition du palier prouve, une fois encore, que cette zone constitue une zone « tampon », zone de contact entre l'espace pacifique et les influences issues de l'espace atlantique. Dans cette zone transitoire, après les années 70, la hausse des températures est beaucoup moins évidente et une baisse semble même se dessiner (voir fig. n°216, courbe ponctuelle à proximité de l'isthme).

Dans l'espace du Pacifique centraméricain, à proximité de l'isthme, les températures moyennes annuelles présentent des tendances à la hausse mais le degré de significativité diminue à proximité des côtes de l'Amérique Centrale. En fait, depuis la fin des années 70, le début des années 80, les températures moyennes annuelles baissent (voir fig. n°217, courbe ponctuelle).

Dans le Pacifique centraméricain, à proximité de l'équateur géographique, les courbes présentent une grande irrégularité interannuelle et il nous est donc difficile d'en tirer une quelconque conclusion (voir fig. n°218, courbe ponctuelle). Nous remarquons également que dans le secteur où l'équateur météorologique (qui « trouble » le message), effectue son va et vient annuel, les tendances observées ne sont pas significatives.

Dans l'espace du Pacifique du sud-est, les tendances des températures moyennes annuelles sont à la hausse, les degrés de significativité sont très élevés, le risque d'erreur étant de 1%. Les courbes sont régulières, la hausse est constante, il n'y a pas de palier et de ce fait, cet espace est à traiter à part (voir fig. n°219, courbe ponctuelle).

La hausse des températures moyennes annuelles semble générale pour le Pacifique du sud-est.

Ces observations nous conduisent à produire de nouvelles cartes.

**c) Etude des températures moyennes annuelles dans le sous-espace du Pacifique du nord-est 1948-1977 (carte n°62) et 1978-2003 (carte n°63) :**

Avant cette période charnière centrée sur 1978 (carte n°62), les températures moyennes annuelles présentent une tendance à la hausse non significative ; après cette période charnière (carte n°63), nous observons des tendances à la baisse beaucoup plus significatives (tendances encore plus marquées à partir des années 90).

La combinaison de ces deux tendances donne une tendance à la hausse très significative, avec un risque d'erreur de 1% (carte n°61) ; cette tendance à la hausse est probablement liée au palier décrit ci-dessus et n'a par conséquent pas grand chose à voir avec la réalité ! Il est donc préférable de nuancer ces tendances à la hausse, constatées dans cette carte n°74. Une fois encore nous voyons que quelque chose s'est produit vers le milieu des années 70.

**d) Etude des températures moyennes annuelles 1948-1969 (carte n°64) et 1970-2003 (carte n°65) dans le sous-ensemble du Pacifique centraméricain**

Sur la carte n°64, carte des températures moyennes annuelles 1948-1969, nous observons des tendances à la hausse généralement significatives. La significativité de ces tendances est moindre à proximité de la zone de la discontinuité d'alizé et au sud de l'équateur géographique. C'est donc à proximité des côte de l'Amérique Centrale que la significativité est la meilleure.

Sur la carte n°65, carte des températures moyennes annuelles 1970-2003, les faits ne sont pas aussi évidents. A proximité de l'isthme, les tendances sont à la baisse. Certes, la significativité est faible mais n'oublions pas que nous sommes au pied des montagnes centraméricaines (effet foehn), que nous sommes au cœur de la zone tropicale, donc chaude, dans un milieu océanique. Toutes ces précisions pour avancer que cette tendance à la baisse est de ce fait beaucoup plus parlante qu'il n'y paraît au premier regard.

Nous remarquons que partout, à proximité de l'isthme centraméricain (surtout en face des isthmes secondaires, là où le relief s'abaisse sensiblement), depuis le début des années 80, nous observons une baisse très nette des températures moyennes annuelles.

**e) Etude des températures moyennes annuelles 1980-2003 (carte n°66) dans le sous-ensemble du Pacifique centraméricain, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale :**

Sur cette carte tous les points de grille situés à proximité de l'isthme présentent une tendance à la baisse des températures moyennes annuelles, tendances très significatives au regard de ce que nous avons pu énoncer précédemment (effet foehn, milieu océanique…).

De ce fait, les tendances à la hausse des températures moyennes annuelles observées précédemment sur la carte n°61 (1948-2003), significatives avec un risque d'erreur de 1% sont à nuancer fortement ! Il ne faut donc pas s'arrêter au commentaire issu de l'observation de cette carte n°61, les cartes (n°62 à 66) traduisent qu'il est beaucoup plus juste de dire qu'à partir de la fin des années 70, dans le sous-espace du Pacifique du nord-est ; à partir de 1970 dans le sous-ensemble du Pacifique centraméricain et la zone de la discontinuité d'alizé, les températures moyennes annuelles baissent sensiblement.

**f) Etude des rythmes saisonniers, les températures moyennes décembre, janvier, février 1949-2003 (carte n°67) et des températures moyennes juin, juillet, août 1948-2003 (carte n°68) :**

La carte n°67 est très comparable à la carte n°61 des températures moyennes annuelles 1948-2003. Nous remarquons cependant que les degrés de significativité sont généralement moindres.

Les mêmes réserves peuvent être faites. Par exemple, la hausse des températures constatées dans le sous-espace du pacifique du nord-est, est à nuancer, d'autant que la rupture autour des années 1976-1978 apparaît encore nettement. Après cette période charnière les températures moyennes DJF, diminuent.

Les mêmes nuances que celles faites précédemment sont à apporter à proximité des côtes de l'Amérique Centrale.

Le Pacifique du sud-est, situé dans l'hémisphère en été, se réchauffe mais les tendances à la hausse restent plus ou moins significatives selon les secteurs. Les courbes ne présentent pas de rupture. Au mieux, nous pouvons parler de stabilité pour cet espace du Pacifique du sud-est.

Sur la carte n°68 des températures moyennes juin, juillet, août (1948-2003), ce qui « saute aux yeux », ce sont les tendances à la hausse, significatives avec un risque d'erreur de 1%, observées dans le sous-espace du Pacifique du sud-est. En effet, nous sommes en hiver de l'hémisphère sud et tous les points montrent une tendance à la hausse très nette. L'hémisphère sud semble être en perte de puissance !

Dans le sous-espace du Pacifique du nord-est, les tendances à la hausse sont très significatives ; Là encore, il nous faut nuancer nos propos car à partir de la fin des années 70, les courbes présentent une tendance à la baisse non significative. Cette tendance à la baisse après cette période charnière se confirme plus on s'approche de la latitude 10° nord. Le palier précédemment mis en avant est toujours visible à cette époque de l'année.

A proximité des côtes de l'Amérique Centrale, la significativité de la hausse est bien moindre voire non significative.

## 5) Conclusion sur l'étude des températures dans le Pacifique est :

Cet immense espace pacifique est à subdiviser en sous-espaces pour permettre une meilleure compréhension mais ce qui a été observé du côté atlantique se retrouve du côté pacifique.

Après la période charnière des années 70, les AMP passés par le détroit de Béring, plus rapides, descendent plus fréquemment plus au sud et envahissent régulièrement des espaces où la hausse des pressions (à partir de 10° de latitude nord, dans la partie méridionale du sous-espace du Pacifique du nord-est) se double d'une baisse des températures. A proximité des côtes de l'Amérique du Nord (Etats de l'Alaska, partie nord-ouest du Canada et Etat de Washington, la baisse des pressions et la hausse des températures constatées s'expliquent par la présence des dépressions associées aux AMP ; plus les AMP sont nombreux, puissants, plus leurs dépressions associées et leurs couloirs périphériques sont creusés, déviant les flux tropicaux chauds vers ces secteurs où les températures augmentent.

Le sous-espace du Pacifique centraméricain connaît une hausse de pression spectaculaire depuis la décennie 70 ; là où les pressions augmentent les températures diminuent mais ce phénomène est, en partie masqué par le fait que, ce secteur correspond précisément à la zone de migration de l'EMV ainsi que par l'effet foehn et la surface océanique chaude.

A contrario, l'espace du pacifique du sud-est semble connaître une « perte de puissance ». Dans l'hémisphère sud, les pressions n'augmentent pas ; les températures quant à elles augmentent.

Après l'analyse de l'évolution récente des températures, nous allons, dans un troisième chapitre, étudier l'évolution récente des précipitations.

# Chapitre 3 : Etude des précipitations en Amérique Centrale (1960-1995)

## 1) Introduction :

### a) origine des données utilisées :

Les données statistiques utilisées nous ont été fournies par Eric J. Alfaro de l'école de physique de l'Université du Costa Rica, données présentées et utilisées dans l'un de ses articles, écrit avec L. Cid (1999) sur les liens pouvant exister entre la répartition des précipitations en Amérique Centrale et les températures de surface océanique de part et d'autre de l'isthme.

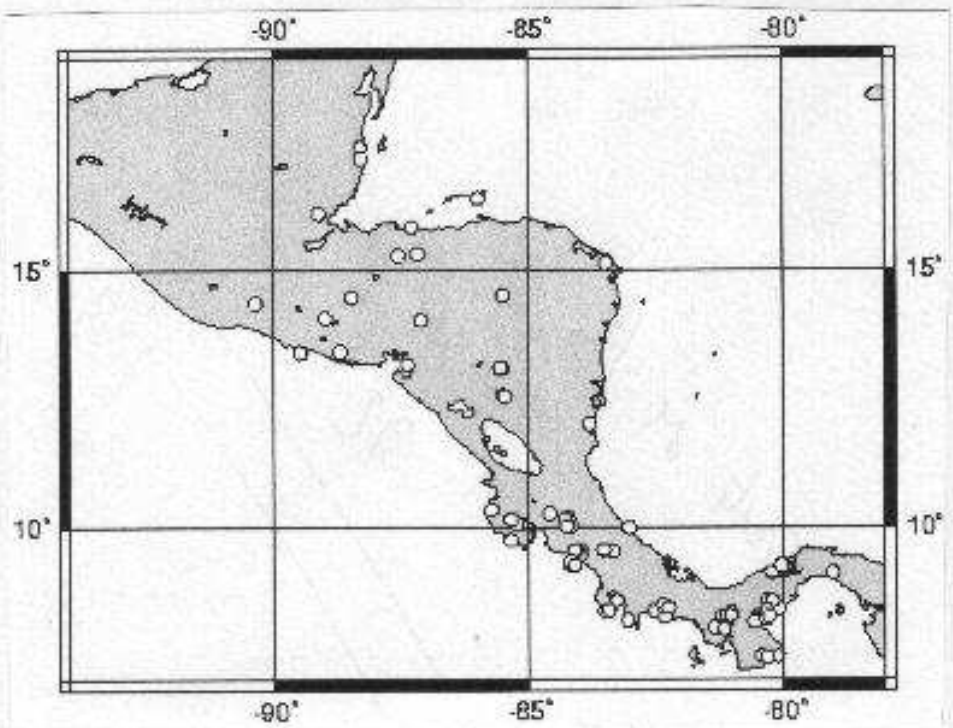
Les auteurs, voulant préserver la confidentialité de certaines de leurs recherches en cours de réalisation et/ou de publication, nous ont expressément demandé de nous « limiter » à l'étude présentée ci-dessous ;

Nous avons, une fois encore (voir partie 1, chapitre 3, 2, d), l'occasion de rappeler les difficultés que nous avons rencontré pour obtenir des données statistiques. Les autorités locales rechignent à fournir des séries de données; les fichiers statistiques de la NOAA présentent, en ce qui concerne les précipitations de nombreuses « failles » les rendant difficilement exploitables.

### b) Présentation du fichier utilisé :

Ce fichier de données statistiques s'étend de janvier 1960 à décembre 1995 et présente les précipitations annuelles cumulées dans 72 stations centraméricaines (voir carte n°69 et tableau n°22 ci-dessous). 25 de ces stations appartiennent au versant caraïbe, 47 au versant pacifique.

**Carte n°69 : Carte des stations climatiques utilisées**



### c) La méthode :

Dans un premier temps, nous avons tracé les courbes de l'évolution des précipitations annuelles cumulées entre 1960 et 1995 ainsi que la droite de régression (droite de tendance), testé la significativité de cette tendance en confrontant le coefficient de corrélation linéaire calculé (R) au coefficient de corrélation théorique de la table de Bravais-Pearson puis, dans un deuxième temps, nous avons suivi la même démarche mais sur la période 1970-1995.

## 2) Présentation, lecture et analyse de quelques courbes de références 1960-1995 (fig. n°220 à 242) :

### a) Présentation des courbes de références réalisées :

Nous avons décidé de produire, pour chaque Etat centraméricain, toutes les courbes présentant une tendance significative statistiquement de l'évolution des précipitations annuelles cumulées entre 1960 et 1995. Précisons que si les courbes présentées pour le Belize, le Guatemala et le Salvador ne sont pas significatives statistiquement (nous avons à notre disposition, dans ces pays, peu de stations climatiques ; aucune ne présente de tendance significative), nous avons quand même décidé de les présenter pour avoir une idée de l'évolution dans ces trois pays.

### b) Lecture et analyse des courbes de références :

Ces courbes présentent toutes une tendance à la baisse des précipitations annuelles cumulées entre 1960 et 1995. Sur les 72 courbes tracées, aucune ne présente une tendance à la hausse significative.

Nous observons une rupture centrée autour de la décennie 70. Avant cette période charnière, les précipitations annuelles cumulées présentent une tendance à la hausse et, au contraire, après cette période charnière, les précipitations annuelles cumulées présentent une tendance à la baisse.

Précisons que ce type de courbe, même s'il n'est pas caractéristique de toutes les stations étudiées, se retrouve dans de nombreuses stations centraméricaines et dans tous les pays étudiés.

C'est l'observation de la configuration de ces courbes qui nous a conduit à réaliser, selon la même démarche, l'étude des précipitations annuelles cumulées entre 1970 et 1995.

## 3) Présentation, lecture et analyse du tableau récapitulatif n°22 (accompagné des fig. n°220 à 242 et des cartes n°70 à 73) :

### a) Présentation du tableau réalisé :

Dans ce tableau récapitulatif n°22, nous pouvons lire, pour chaque station climatique, la tendance de l'évolution des précipitations annuelles 1960-1995, 1970-1995. Dans le cas d'une tendance non significative, nous observons un signe moins ; dans le cas

Fig.n°220 : Belice Int. (Belize) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

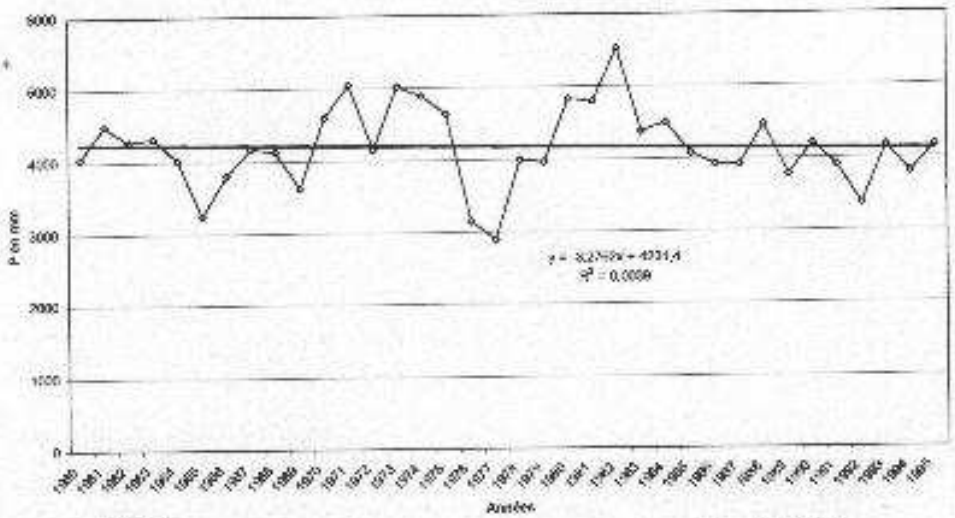



Fig.n°221 : INSIVUMEH (Guatemala) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

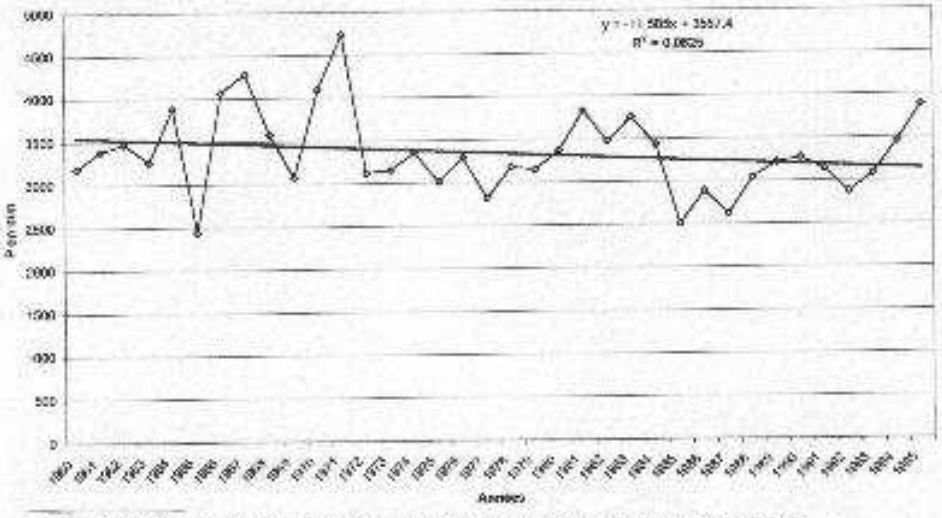



Fig.n°222 : Acajutla (El Salvador) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

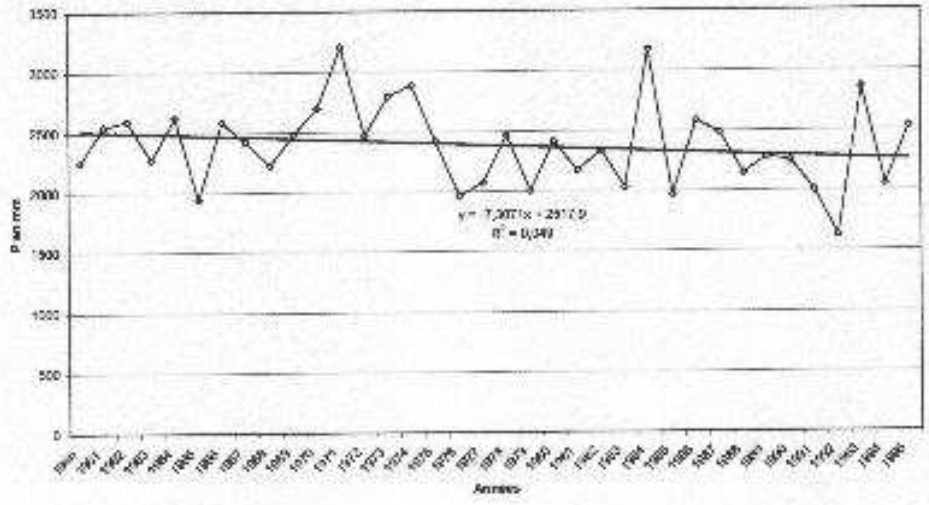


Fig.n°223 : La Mees (Honduras) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

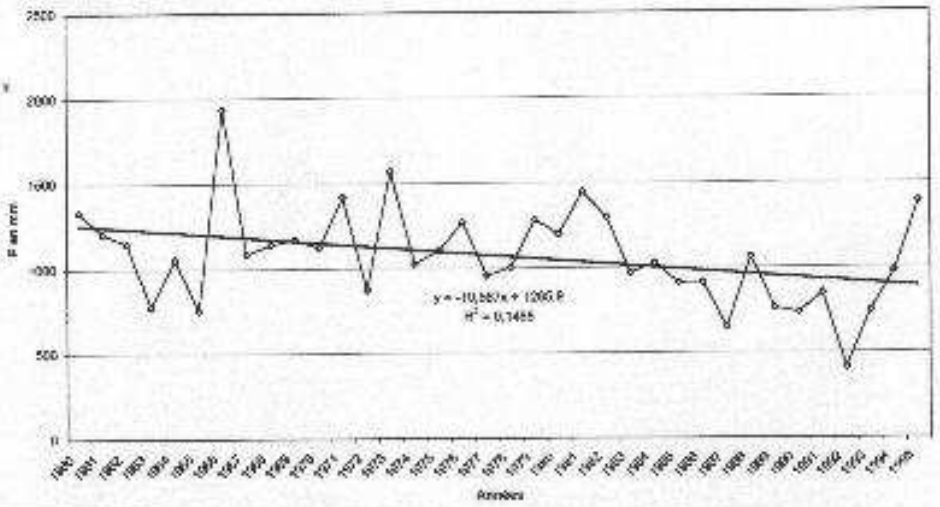


Fig.n°224 : S. Francisco (Nicaragua) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

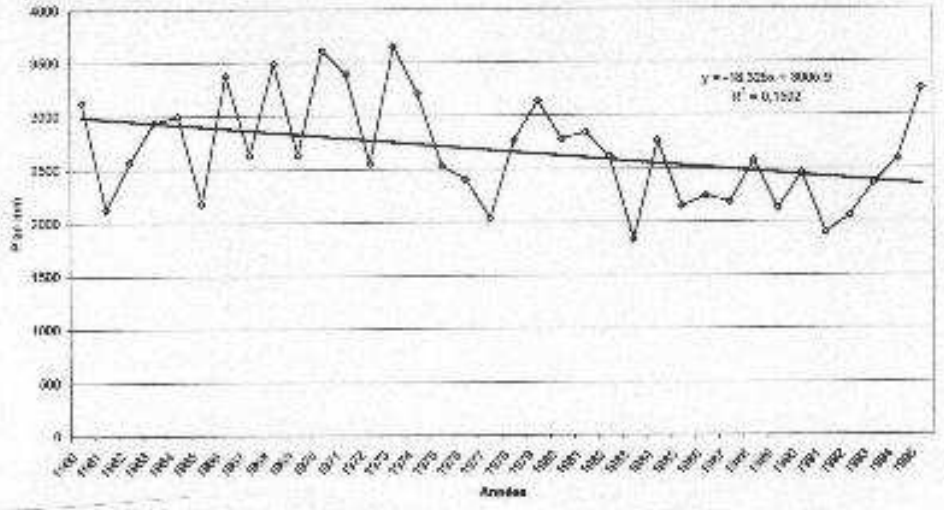


Fig.n°225 : El Rocreo (Nicaragua) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

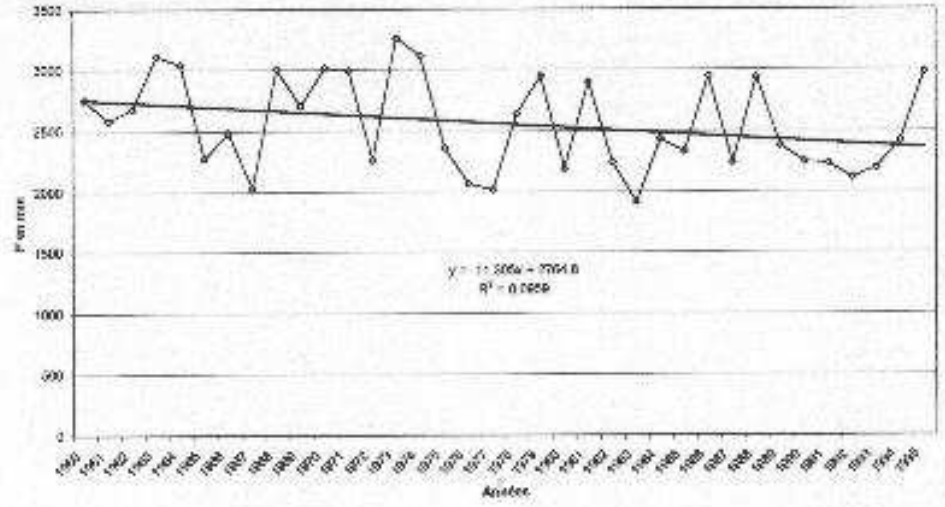


Fig.n°226 : La Reina (Nicaragua) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

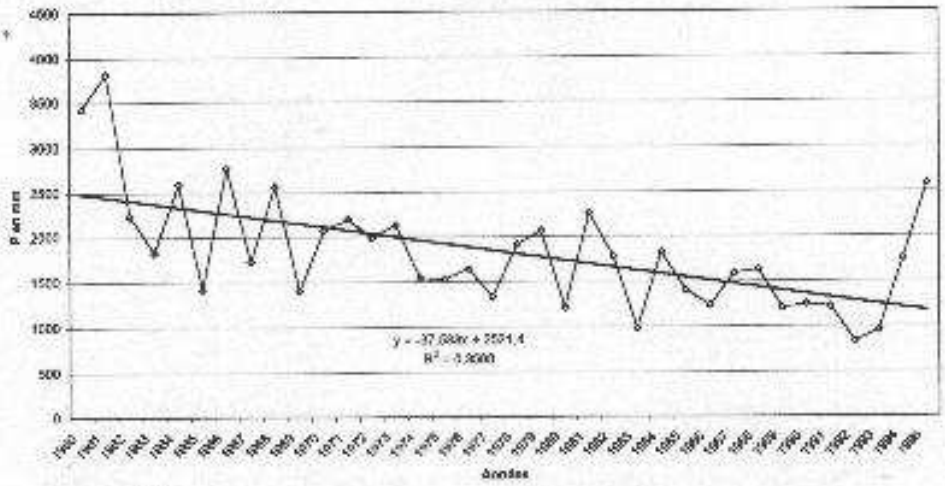



Fig.n°227 : Palmar sur (Costa rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

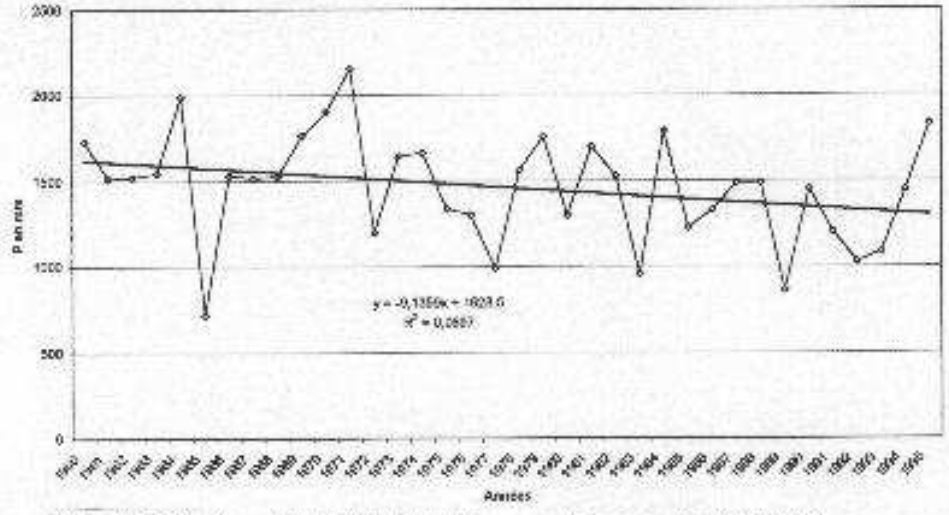



Fig.n°228 : Nicoya (Costa Rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

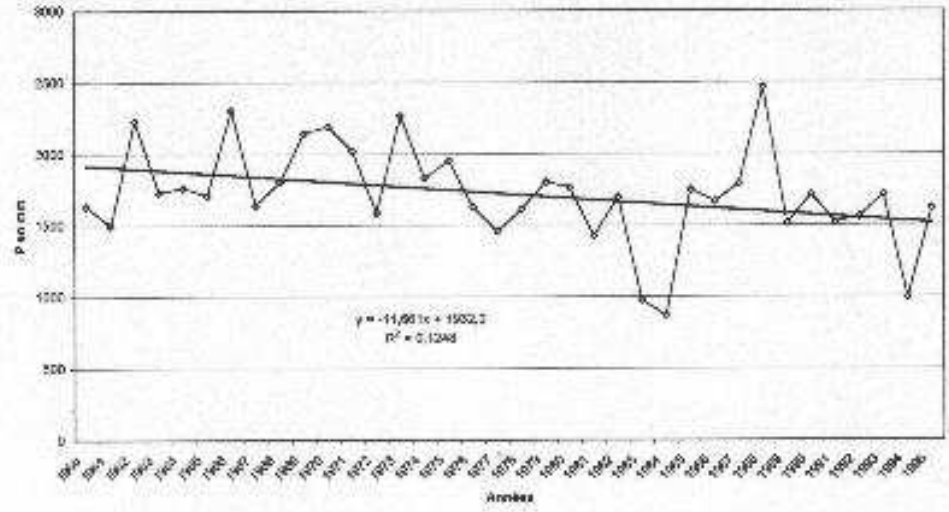


Fig.n°229 : Turrialba (Costa Rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

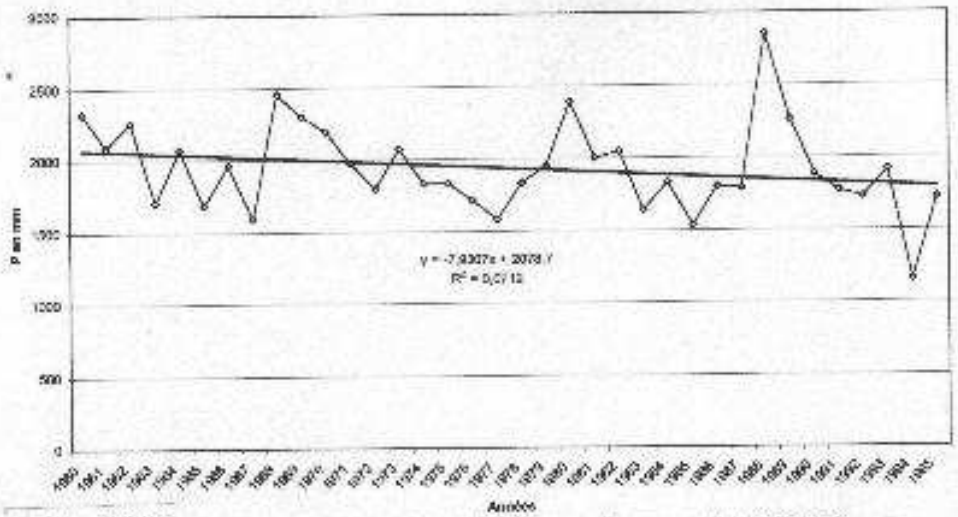



Fig.n°230 : Sana. Duran (Costa rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

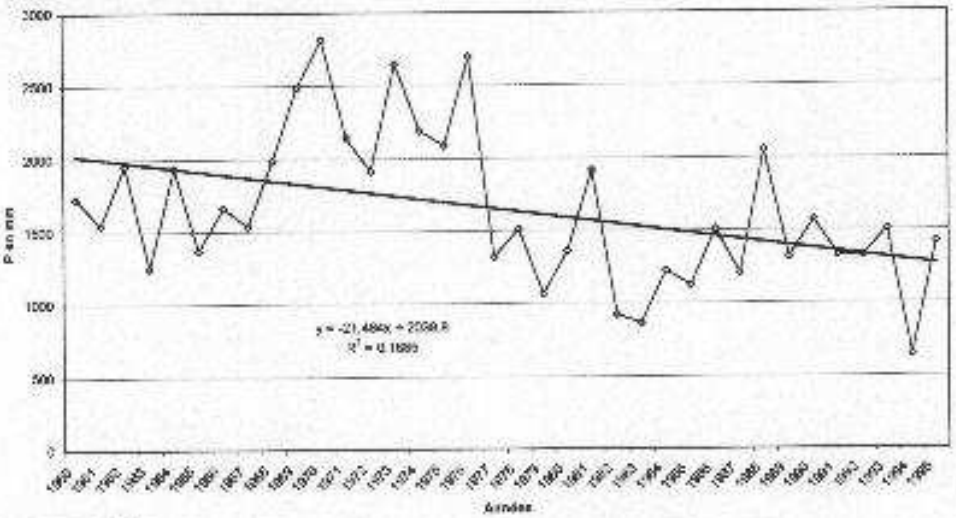



Fig.n°231 Santa cruz (Costa Rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

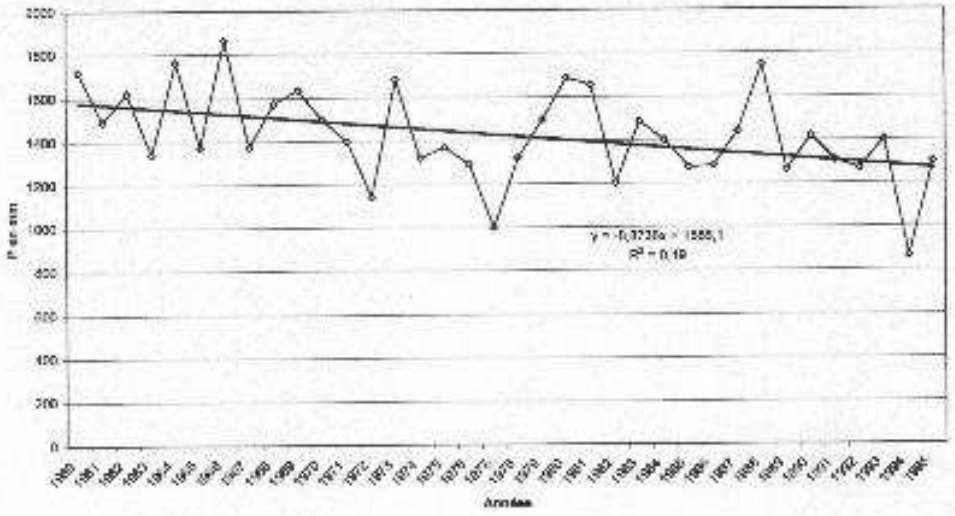


Fig.n°232 : Avance 3 Rios (Costa Rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

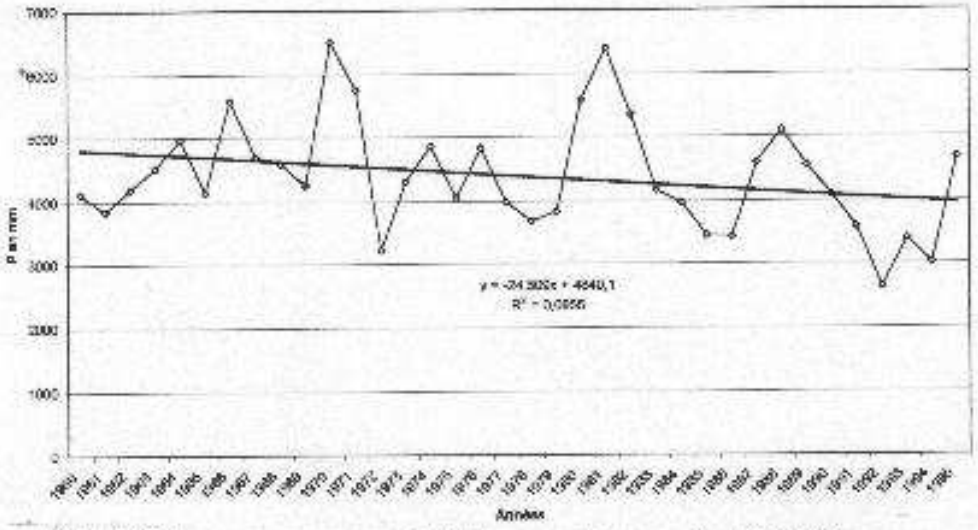



Fig.n°233 : Cartago (Costa Rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

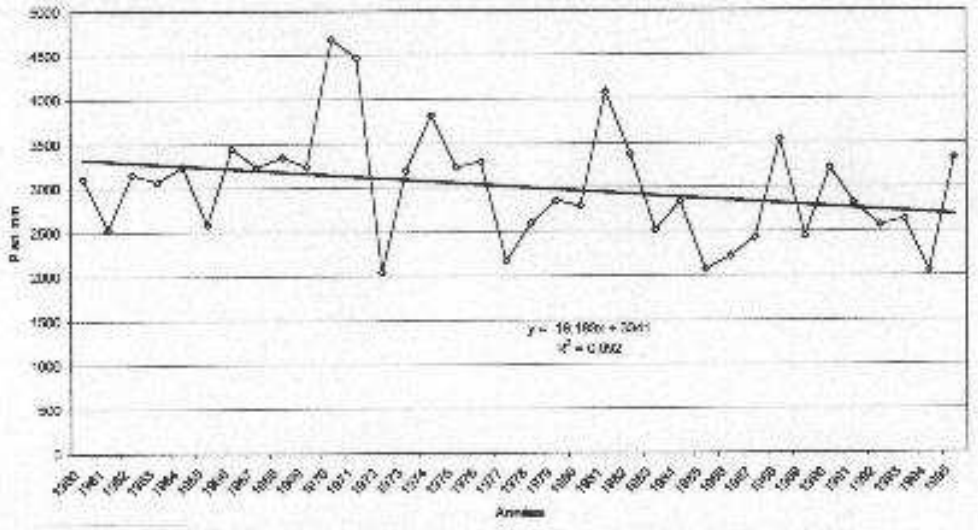



Fig.n°234 : Golfito (Costa Rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

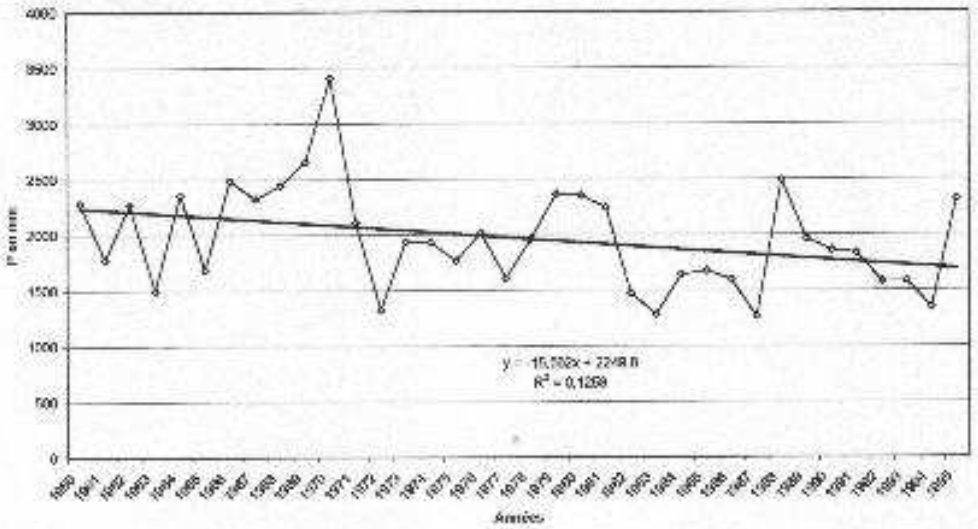


Fig.n°235 Llorona (Costa rica) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

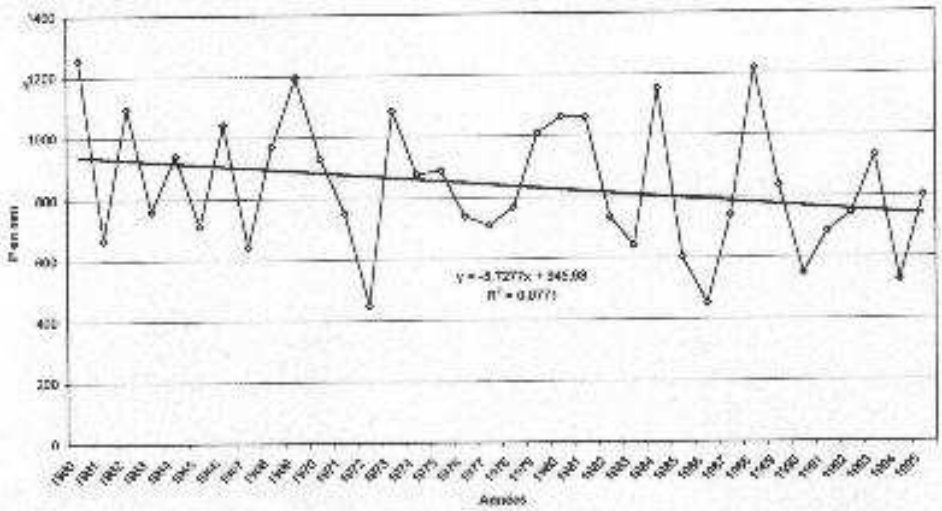



Fig.n°236 : Chiguiri Arriba (Panama) Précipitations annuelles cumulées (1960-1985)

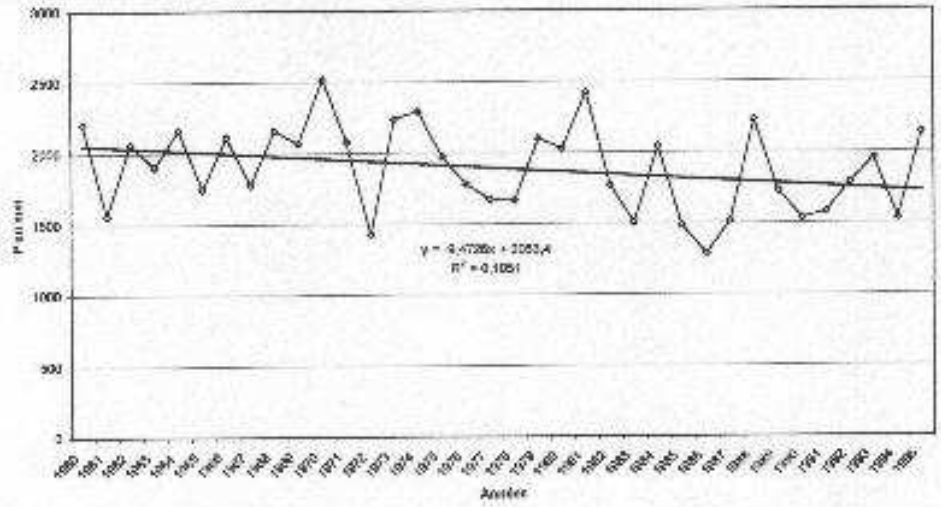



Fig.n°237 : Las Tablas (Panama) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

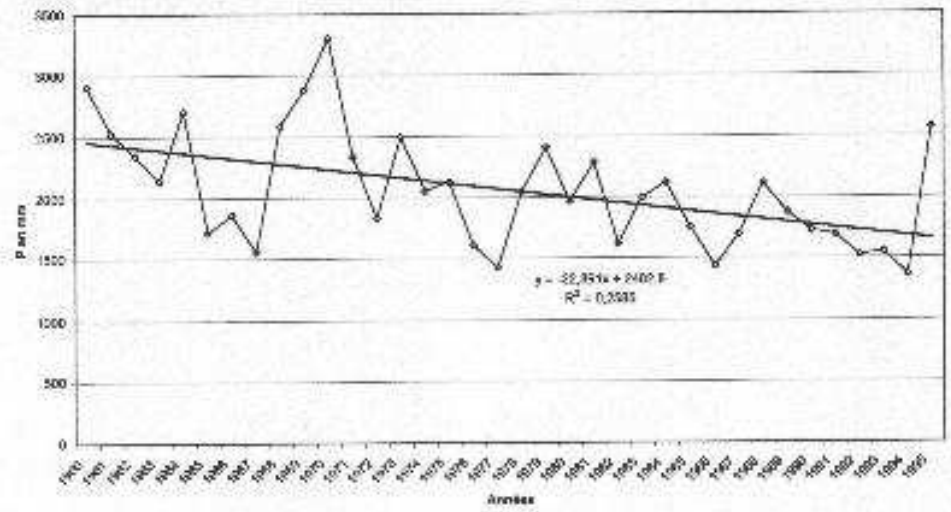


Fig.n°238 : El Palmar (Panama) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

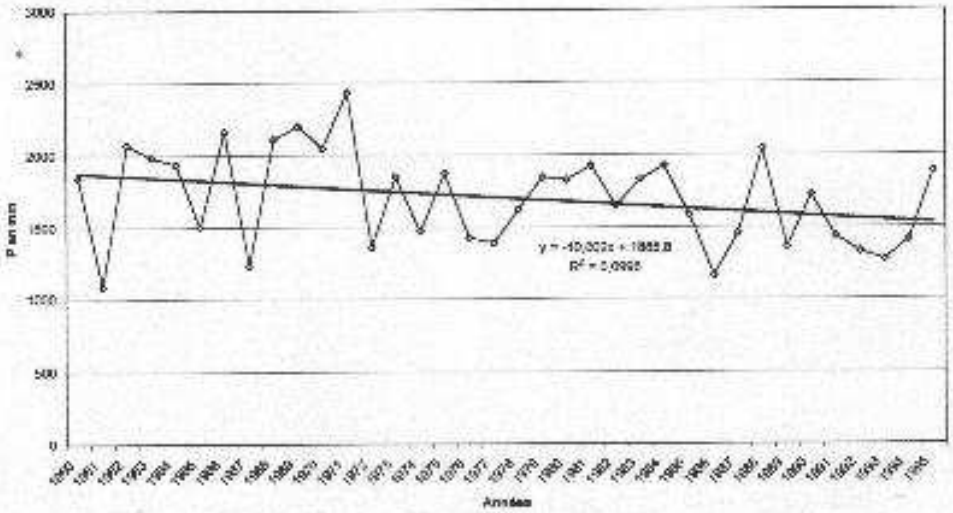



Fig.n°239 : Madden Dam (Panama) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

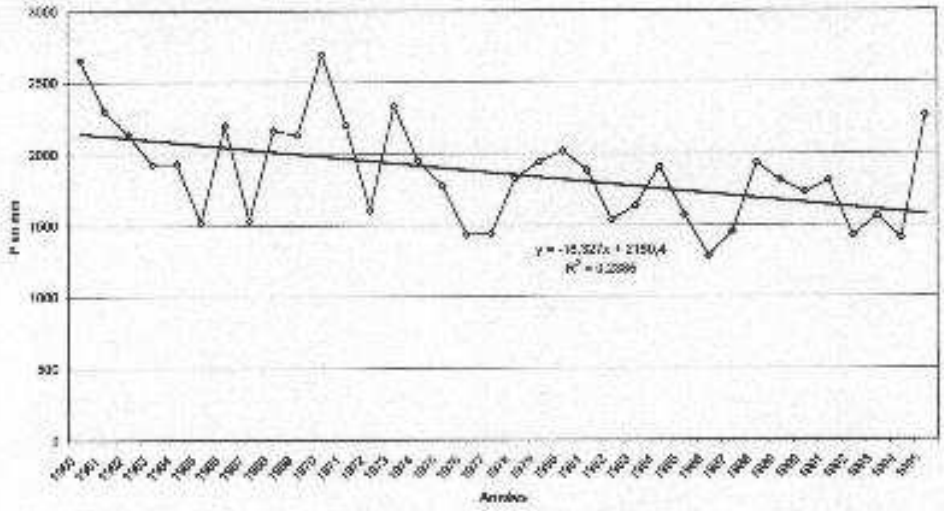



Fig.n°240 : Las Minas (Panama) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

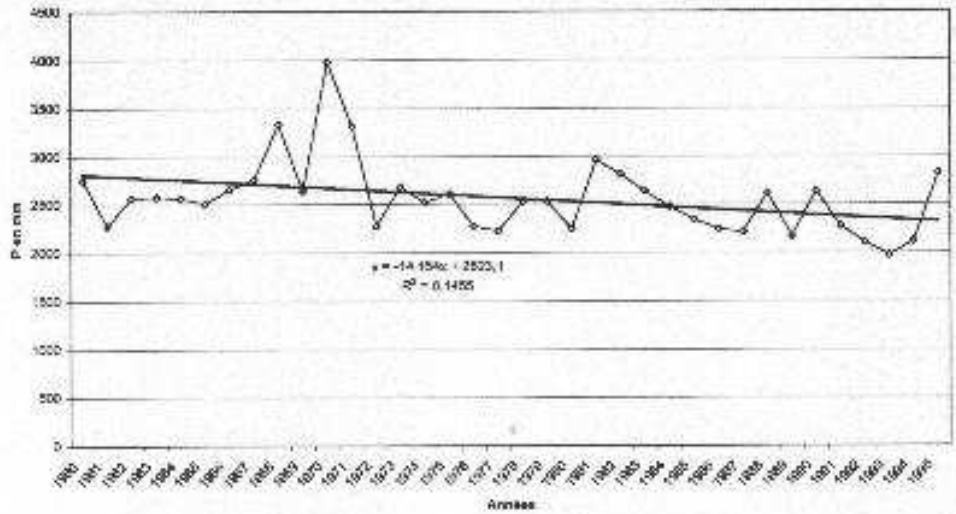


Fig.n°241 : La Yeguada (Panama) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)

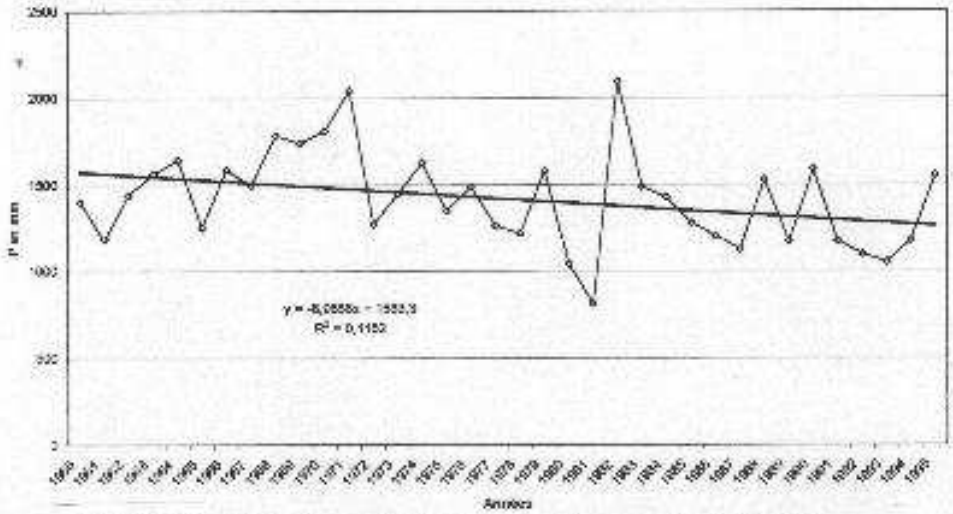
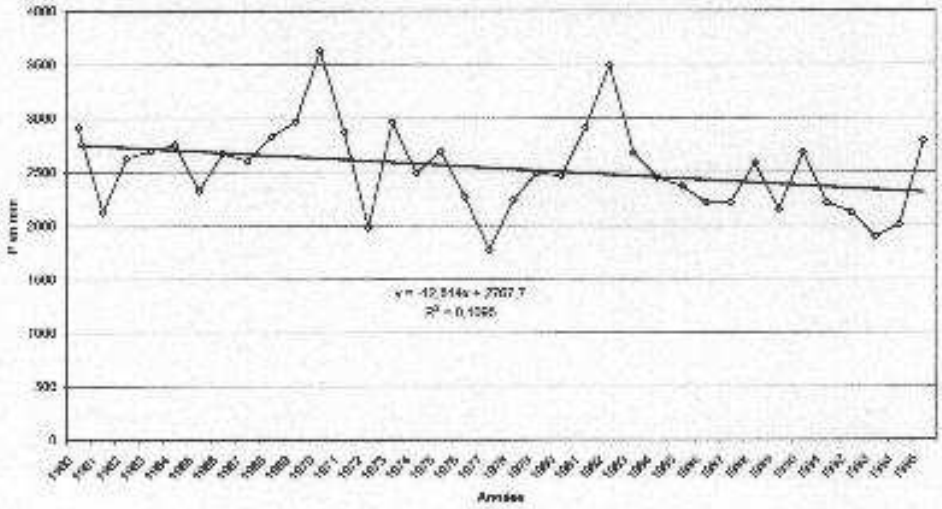



Fig.n°242 : Calobre (Panama) Précipitations annuelles cumulées (1960-1995)



| Tableau n°22 : "EVOLUTION DES PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES CUMULEES 1960-1995 et 1970-1995" : | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **NUMERO :** | **PAYS :** | **STATIONS :** | **ALTITUDE :** | **VERSANT :** | **P. ANN. (60-95) :** | **P. ANN. (70-95) :** |
| 1 | **Belize** | Belice int. | 5 | c | **baisse (-)** | **baisse (+) 10%** |
| 2 | **Belize** | Central farms | nc | c | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 3 | **Belize** | Punta Gorda | nc | c | hausse (-) | **baisse (-)** |
| | | | | | | |
| 4 | **Guatemala** | INSIVUMEH | nc | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| | | | | | | |
| 5 | **Salvador** | Acajutla | nc | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 10%** |
| 6 | **Salvador** | Santa Ana El Palmar | nc | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 7 | **Salvador** | Santa Tecla | 900 | p | hausse (-) | hausse (-) |
| | | | | | | |
| 8 | **Honduras** | Guanaja | 2 | c | hausse (-) | **baisse (-)** |
| 9 | **Honduras** | Coyoles | 304 | c | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 10 | **Honduras** | Tela | 3 | c | hausse (-) | **baisse (-)** |
| 11 | **Honduras** | La Mesa | 27 | c | **baisse (+) 2%** | **baisse (+) 1%** |
| 12 | **Honduras** | Puerto Lempira | 10 | c | **baisse (-)** | **baisse (+) 5%** |
| 13 | **Honduras** | Amapala | 6 | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 14 | **Honduras** | Catacamas | 387 | c | hausse (-) | **baisse (-)** |
| 15 | **Honduras** | Santa Rosa | 1083 | c | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 16 | **Honduras** | Tegucigalpa | 1000 | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 10%** |
| | | | | | | |
| 17 | **Nicaragua** | Hacienda San Francisco | 790 | c | **baisse (+) 2%** | **baisse (+) 1%** |
| 18 | **Nicaragua** | El Recreo | 40 | c | **baisse (+) 10%** | **baisse (-)** |
| 19 | **Nicaragua** | Corinto Finca | 1070 | c | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 20 | **Nicaragua** | La Reina | 700 | c | **baisse (+) 1%** | **baisse (+) 5%** |
| 21 | **Nicaragua** | Los Robles | 990 | c | hausse (-) | hausse (+) 10% |
| | | | | | | |
| 22 | **Costa Rica** | Palmar Sur | 16 | p | **baisse (+) 10%** | **baisse (+) 10%** |
| 23 | **Costa Rica** | Coto 47 | nc | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 24 | **Costa Rica** | Ciudad Quesada (AEA) | 650 | c | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 25 | **Costa Rica** | Ensayos Buena Vista | 1090 | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 26 | **Costa Rica** | Nicoya Extension Ag. | 120 | p | **baisse (+) 5%** | **baisse (+) 10%** |
| 27 | **Costa Rica** | Turrialba Catie | 602 | c | **baisse (+) 10%** | **baisse (-)** |
| 28 | **Costa Rica** | Sanatorio Duran | 2336 | c | **baisse (+) 1%** | **baisse (+) 1%** |
| 29 | **Costa Rica** | Santa Cruz GTE | 54 | p | **baisse (+) 1%** | **baisse (-)** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | **Costa Rica** | Tilaran | nc | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 31 | **Costa Rica** | Liberia | 144 | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 5%** |
| 32 | **Costa Rica** | Avance Tres Rios | 1870 | c | **baisse (+) 10%** | **baisse (+) 5%** |
| 33 | **Costa Rica** | Cartago | 1440 | c | **baisse (+) 10%** | **baisse (+) 5%** |
| 34 | **Costa Rica** | Finca Angeles Parrita | 5 | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 35 | **Costa Rica** | Linda Vista | 1400 | c | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 36 | **Costa Rica** | Rancho Redondo | 1480 | c | **baisse (-)** | **baisse (+) 1%** |
| 37 | **Costa Rica** | San Isidrio del Gen. | 703 | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 38 | **Costa Rica** | Golfito | 15 | p | **baisse (+) 5%** | **baisse (-)** |
| 39 | **Costa Rica** | Limon | 5 | c | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 40 | **Costa Rica** | San jose | 1000 | p | hausse (-) | hausse (-) |
| 41 | **Costa Rica** | La Argentina Grecia | nc | p | hausse (-) | hausse (-) |
| 42 | **Costa Rica** | Lornesa Santa Ana | 930 | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 43 | **Costa Rica** | Palmares | nc | p | hausse (-) | **baisse (-)** |
| 44 | **Costa Rica** | Finca Palo Seco | nc | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 45 | **Costa Rica** | Quepos | 1 | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 46 | **Costa Rica** | Llorona | nc | p | **baisse (+) 10%** | **baisse (-)** |
| | | | | | | |
| 47 | **Panama** | Boca del Toabre | 170 | c | hausse (-) | **baisse (-)** |
| 48 | **Panama** | Chiguiri Arriba | 180 | p | **baisse (+) 5%** | **baisse (+) 10%** |
| 49 | **Panama** | Las Tablas | 43 | p | **baisse (+) 1%** | **baisse (+) 2%** |
| 50 | **Panama** | El Palmar | 1000 | p | **baisse (+) 10%** | **baisse (+) 10%** |
| 51 | **Panama** | Madden Dam | 76 | p | **baisse (+) 1%** | **baisse (+) 5%** |
| 52 | **Panama** | Puerto Armuelles | 15 | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 53 | **Panama** | Haward AFB | 16 | p | hausse (-) | hausse (-) |
| 54 | **Panama** | Cristobal | 7 | c | hausse (-) | **baisse (-)** |
| 55 | **Panama** | Nueva California | 1400 | p | hausse (-) | **baisse (+) 10%** |
| 56 | **Panama** | Alanje | 32 | p | hausse (-) | hausse (-) |
| 57 | **Panama** | Planta Caldera | 920 | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 58 | **Panama** | Camaron Tabasara | 20 | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 59 | **Panama** | El Cobrizo | 400 | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 60 | **Panama** | Canazas | 200 | p | **baisse (-)** | **baisse (-)** |
| 61 | **Panama** | Sona | 20 | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 62 | **Panama** | Las Minas | 350 | p | **baisse (+) 2%** | **baisse (+) 1%** |
| 63 | **Panama** | Macaracas | 80 | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 5%** |
| 64 | **Panama** | Los Valles | 550 | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 1%** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 65 | **Panama** | Laguna la Yeguada | 640 | p | **baisse (+) 5%** | **baisse (+) 10%** |
| 66 | **Panama** | Calobre | 120 | p | **baisse (+) 5%** | **baisse (+) 10%** |
| 67 | **Panama** | San Francisco | 87 | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 10%** |
| 68 | **Panama** | Santa fe | 463 | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 2%** |
| 69 | **Panama** | El Cortezo | 60 | p | **baisse (-)** | hausse (-) |
| 70 | **Panama** | El Harino | 185 | p | **baisse (-)** | **baisse (+) 1%** |
| 71 | **Panama** | Rio Grande | 20 | p | hausse (-) | hausse (-) |
| 72 | **Panama** | Chepo | 30 | p | hausse (-) | hausse (-) |
| **Bilan :** | | | | | 16 hausses, toutes (-) | 16 hausses (1 seule +) |
| **Bilan :** | | | | | 56 baisses, (dont 20 +) | 56 baisses (dont 27 +) |
| c = versant caraïbes ; p = versant pacifique | | | | | | |
| (-) = tendance non significative ; (+) = tendance significative et risque d'erreur en % | | | | | | |

d'une tendance significative, nous observons un signe plus accompagné du risque d'erreur (exprimé en pourcentage) à prendre en compte.

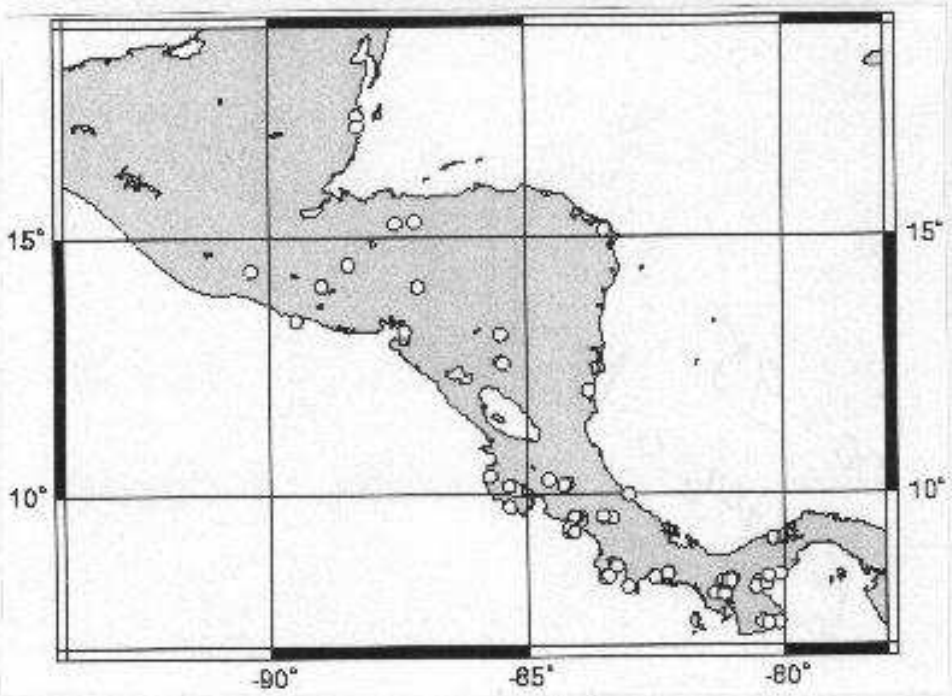
**b) Lecture et analyse du tableau :**

L'observation de ce tableau récapitulatif de notre étude statistique met en lumière les faits suivants :

- **Analyse des précipitations annuelles cumulées 1960-1995 :**

Si nous observons les tendances des précipitations annuelles cumulées 1960-1995, nous voyons principalement des tendances à la baisse des précipitations en Amérique Centrale (voir carte n°70, carte tendances à la baisse 60-95). Certes, la plupart des 56 tendances à la baisse observées ne sont pas significatives statistiquement mais devant le nombre important de tendances à la baisse significatives (20) observé, nous pouvons logiquement penser que cette tendance à la baisse des précipitations en Amérique Centrale est réelle.

**Carte n°70 : Carte des stations climatiques où les précipitations annuelles cumulées présentent des tendances à la baisse (1960-1995)**

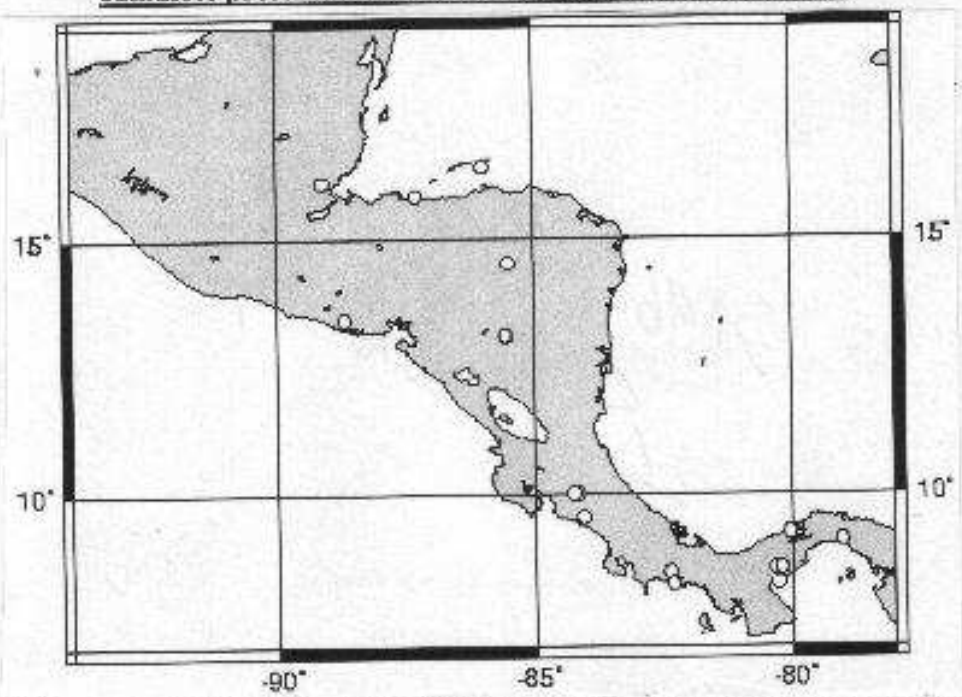



Une limite géographique semble apparaître, limite qui se situerait, du côté pacifique, approximativement de part et d'autre de la latitude 10°-12° de latitude nord. Précisons que, du côté atlantique, cette limite n'apparaît pas aussi clairement.

Au nord de cette limite (au Guatemala, El Salvador et Honduras), nous observons des tendances à la baisse des précipitations non significatives.

Au sud de cette limite (au Nicaragua, Costa Rica et Panama), nous observons des tendances à la baisse beaucoup plus prononcées et beaucoup plus significatives.

**Carte n°71 : Carte des stations climatiques où les précipitations annuelles cumulées présentent des tendances à la hausse (1960-1995)**

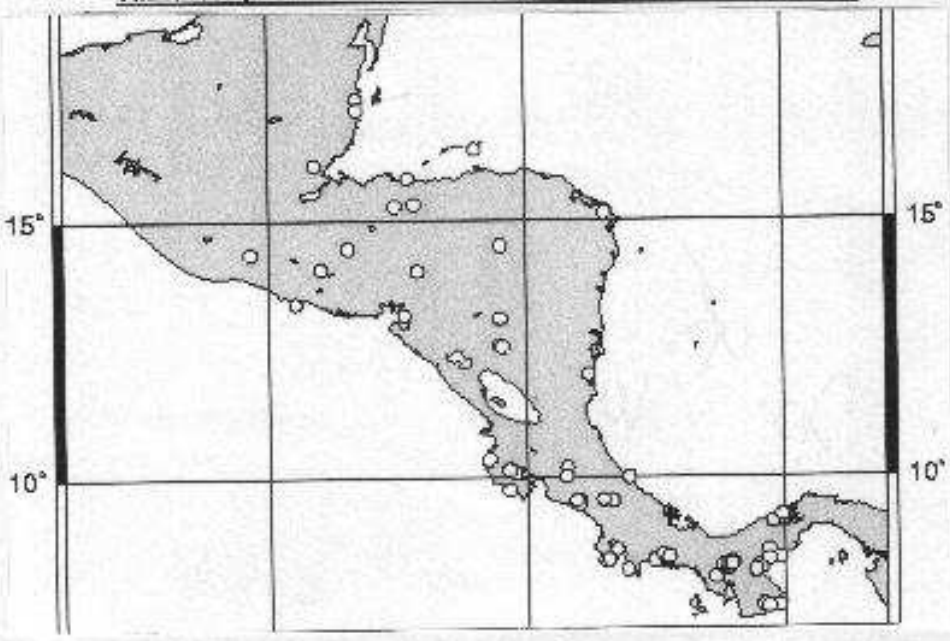



Précisons que sur les 16 tendances à la hausse des précipitations annuelles cumulées pour la période 1960-1995, aucune tendance n'est significative statistiquement.

- **Analyse des précipitations annuelles cumulées 1970-1995 :**

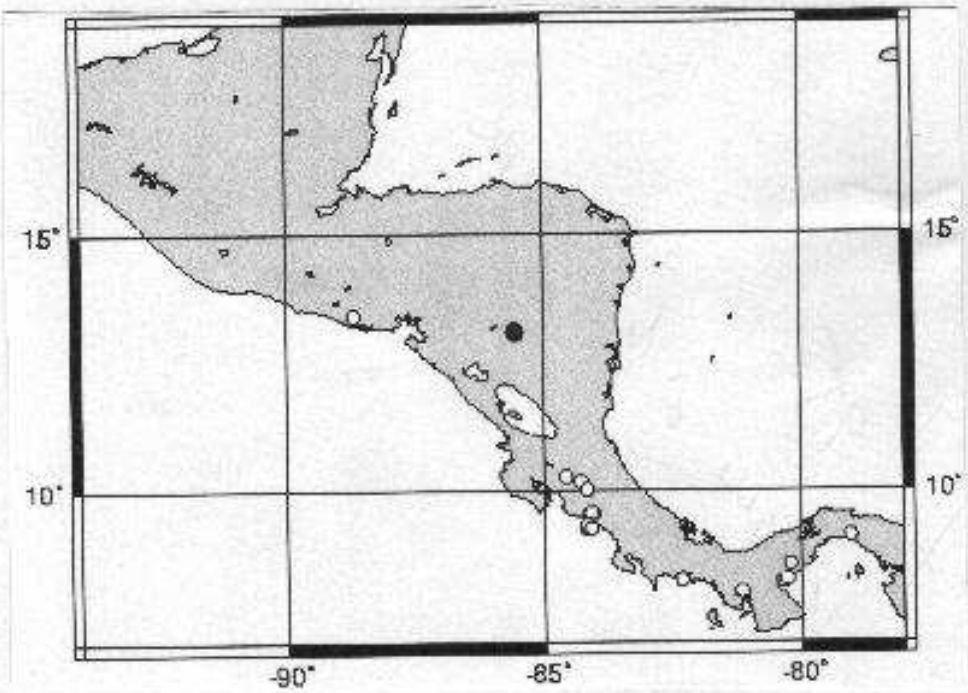
Si nous observons les tendances des précipitations annuelles cumulées 1970-1995, nous voyons principalement des tendances à la baisse des précipitations en Amérique Centrale (voir carte n°72, carte tendances à la baisse 70-95). Si, par rapport à la période 1960-1995, nous observons le même nombre de tendances à la baisse (56), le nombre de tendances à la baisse significatives augmente (27 contre 20 précédemment). La tendance à la baisse des précipitations annuelles accumulées en Amérique Centrale est encore plus nette pour la période 1970-1995.

**Carte n°72 : Carte des stations climatiques où les précipitations annuelles cumulées présentent des tendances à la baisse (1970-1995)**



Sur cette carte n°72, nous observons que de nombreuses stations présentant des tendances à la baisse des précipitations annuelles cumulées entre 1970 et 1995 se concentrent dans la partie méridionale de l'isthme (Costa Rica et Panama). Nous remarquons qu'au nord de 10-12° de latitude nord, au Belize, au Salvador et au Honduras, nous observons quelques tendances à la baisse significatives. En dépit du fait que nous disposons d'un grand nombre de stations d'observation situées dans le sud de l'isthme (donc d'un plus grand nombre de tendances significatives), la baisse des précipitations apparaît être plus marquée dans ce secteur.

**Carte n°73 : Carte des stations climatiques où les précipitations annuelles cumulées présentent des tendances à la hausse (1970-1995)**




Si, par rapport à la période 1960-1995, nous observons toujours 16 tendances à la hausse des précipitations annuelles cumulées pour la période 1970-1995, une seule tendance est significative (point noir sur la carte, Los Robles, Nicaragua).

## 4) Conclusion sur l'étude des précipitations :

Soulignons que nous retrouvons dans cette étude la césure mise en avant lors des études réalisées précédemment (voir partie 4, chapitres 1 et 2), étude des pressions et des températures. La zone pacifique située au nord de 10-12° de latitude nord est une zone où l'EMV est habituellement en « bout de course », une zone épisodiquement atteinte par cette structure pluviogène fondamentale donc connaissant, pendant la saison des pluies, des volumes de précipitations moindres par rapport à la zone située au sud de 10° de latitude nord. Au sud de 10° de latitude nord, c'est la zone où l'EMV a l'habitude de parvenir et derrière lui,

## 4) Conclusion sur l'étude des précipitations :

Soulignons que nous retrouvons dans cette étude la césure mise en avant lors des études réalisées précédemment (voir partie 4, chapitres 1 et 2), étude des pressions et des températures. La zone pacifique située au nord de 10-12° de latitude nord est une zone où l'EMV est habituellement en « bout de course », une zone épisodiquement atteinte par cette structure pluviogène fondamentale donc connaissant, pendant la saison des pluies, des volumes de précipitations moindres par rapport à la zone située au sud de 10° de latitude nord. Au sud de 10° de latitude nord, c'est la zone où l'EMV a l'habitude de parvenir et derrière lui, la mousson panaméenne de pénétrer sur l'isthme. Les volumes de précipitations, pendant la saison des pluies, y sont donc plus élevés.

Comme nous avons pu le relever auparavant, dans notre étude des pressions et des températures, depuis les années 70, nous observons un changement et, force est de constater que nous en retrouvons les effets de ce changement dans les courbes des précipitations annuelles cumulées. Le volume annuel des précipitations cumulées diminue en Amérique Centrale et cette diminution est encore plus marquée après la période charnière centrée autour des années 70 dans la partie méridionale de l'isthme.

La baisse des précipitations, également constatée par A. Centella (2000) pour le Guatemala et E. Barbier (1997) pour les Andes colombiennes peut, première hypothèse, s'expliquer par le fait que, depuis les années 70, l'EMV (structure pluviogène fondamentale en Amérique Centrale) est repoussé et maintenu vers le sud par la dilatation de l'hémisphère nord. Dilatation constatée et mise en évidence précédemment.

Une autre hypothèse pourrait être associée au fait, qu'après cette rupture centrée sur les années 70, le nombre de cyclones augmente considérablement dans l'espace du Pacifique du nord-est (voir ci-dessous). Les cyclones tropicaux plus nombreux drainent l'humidité et contribuent ainsi à la baisse des précipitations sur l'isthme.

Après l'analyse de l'évolution récente des précipitations en Amérique Centrale, nous allons, dans un quatrième chapitre, étudier l'évolution historique des cyclones de part et d'autre de l'isthme centraméricain.

# Chapitre 4 : Etude de l'évolution historique des cyclones et des tempêtes tropicales (1949-2003) dans l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes et dans l'espace du Pacifique du nord-est

## 1) Introduction :

### a) Origine des données utilisées :

Les données statistiques utilisées proviennent du Centre de Prédiction Tropical de l'Université du Colorado, elles peuvent être consultées et téléchargées sur le site internet suivant :

http://weather.unisys.com/hurricane/index.html

### b) Présentation des fichiers utilisés :

Pour l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes, les archives commencent en 1851 ; pour l'espace du Pacifique du nord-est, les archives commencent en 1949. Afin de pouvoir comparer l'évolution historique dans les deux bassins cycloniques, notre étude porte sur la période 1949-2003.

### c) la méthode :

Pour chaque saison cyclonique (de mai à novembre), nous avons comptabilisé le nombre de tempêtes tropicales ainsi que le nombre de cyclones de catégorie 1 à 5 dans l'espace de l'Atlantique du nord-ouest et l'espace du pacifique du nord-est. Grâce à ce relevé, nous avons tracé les courbes de l'évolution du nombre de tempêtes tropicales et de cyclones de catégorie 1 à 5 de part et d'autre de l'isthme entre 1949 et 2003.

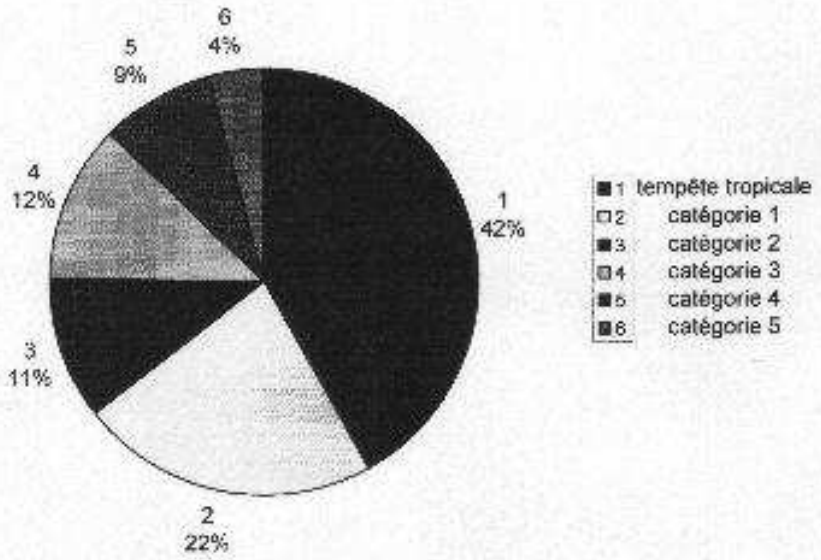
S'intéresser aux cyclones tropicaux présente l'immense avantage d'avoir accès à un grand nombre de données d'observation puisque ce sont, de loin, les perturbations tropicales les plus surveillées.

## 2) Présentation, Lecture et analyse des résultats graphiques de l'étude (Graphiques circulaires n°1 et 2 ; Fig. n°243 à 258 ; Tableau n°23) :

### a) Présentation des résultats graphiques de l'étude :

Dans chaque bassin cyclonique, nous analysons d'abord la répartition des tempêtes tropicales et des types de cyclones de catégorie 1 à 5 (graphiques circulaires n°1 et n°2) puis, le nombre de cyclones et de tempêtes tropicales (fig.n°243 et n°251) puis, le nombre de cyclones toutes catégories (fig. n°244 et n°252) puis, le nombre de tempêtes tropicales (fig. n°245 et n°253) puis, le nombre de cyclones de catégorie 1 (fig. n°246 et n°254) puis, de catégorie 2 (fig. n°247 et n°255) puis, de catégorie 3 (fig. n°248 et n°256) puis, de catégorie 4 (fig. n°249 et n°257) puis, de catégorie 5 (fig. n°250 et n°258) puis, le nombre moyen de tempêtes tropicales et de cyclones (tableau n°23).

**Graphique circulaire n°1 :**
**"Secteur atlantique (1949-2003), tempêtes tropicales et cyclones"**
**(239 tempêtes tropicales, 330 cyclones)**
**(moyenne de 10,36 perturbations par an dont 6 cyclones)**




**Graphique circulaire n°2 :**
**"Secteur pacifique (1949-2003), tempêtes tropicales et cyclones**
**(369 tempêtes tropicales, 401 cyclones)**
**(moyenne de 14 perturbations par an dont 7,29 cyclones)**

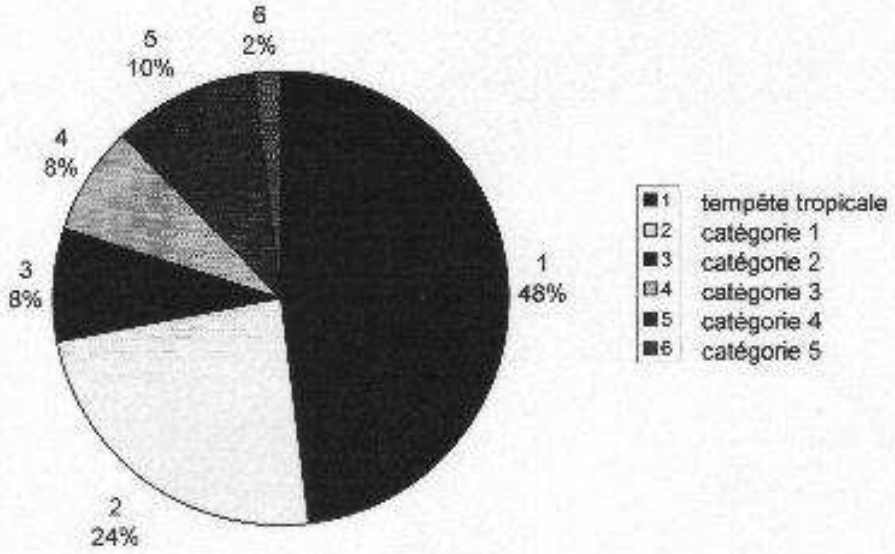


Fig.n°243 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de cyclones et tempêtes tropicales"

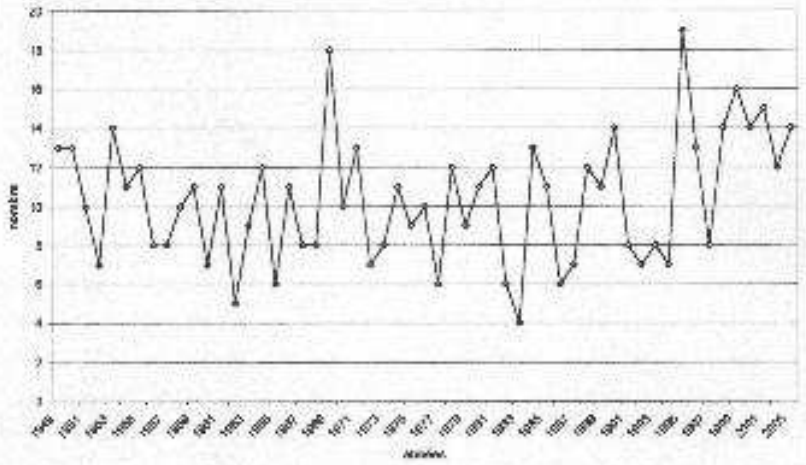


Fig.n°244 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de cyclones toutes catégories"



Fig.n°245 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de tempêtes tropicales"

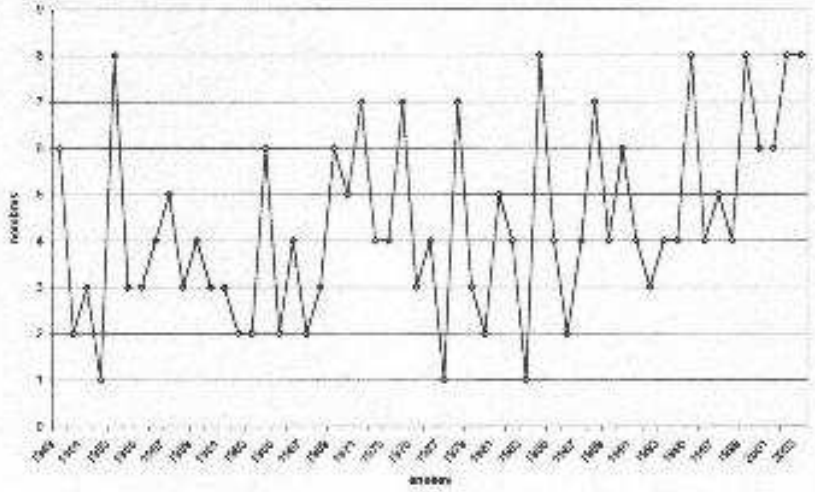


Fig.n°246 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 01"

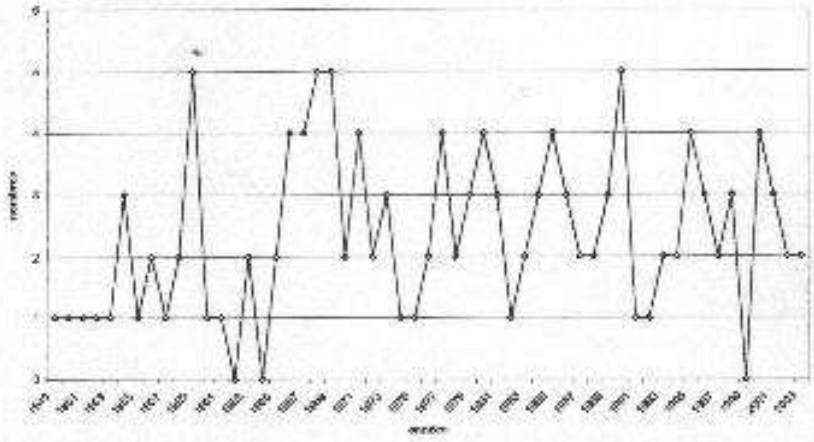


Fig.n°247 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de cyclone catégorie 02"

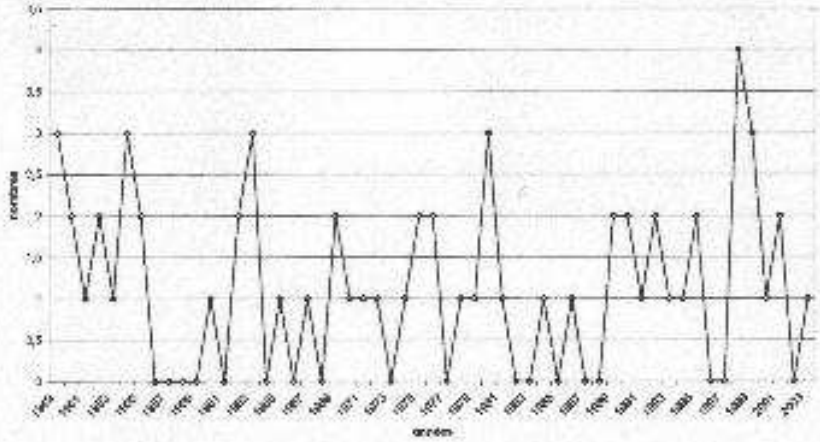


Fig.n°248 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 03"

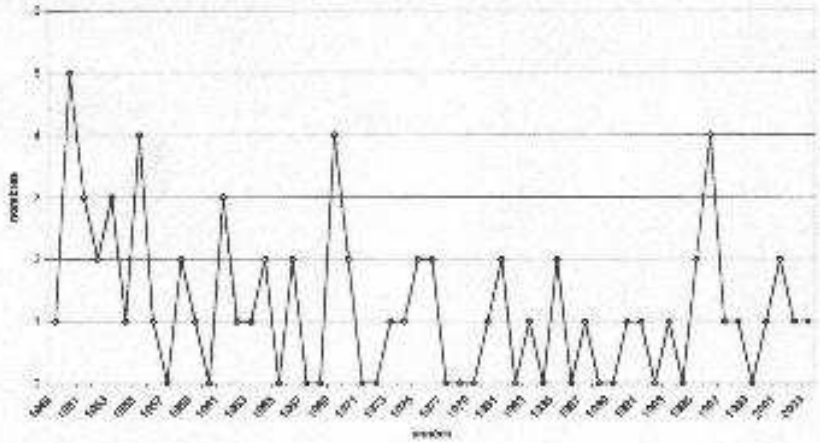


Fig.n°249 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de cyclones de catégorie 04"

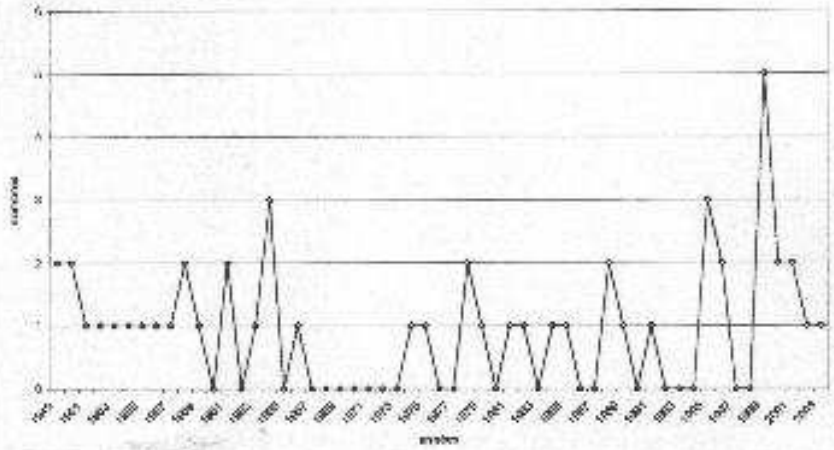


Fig.n°250 : "Secteur atlantique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 05"

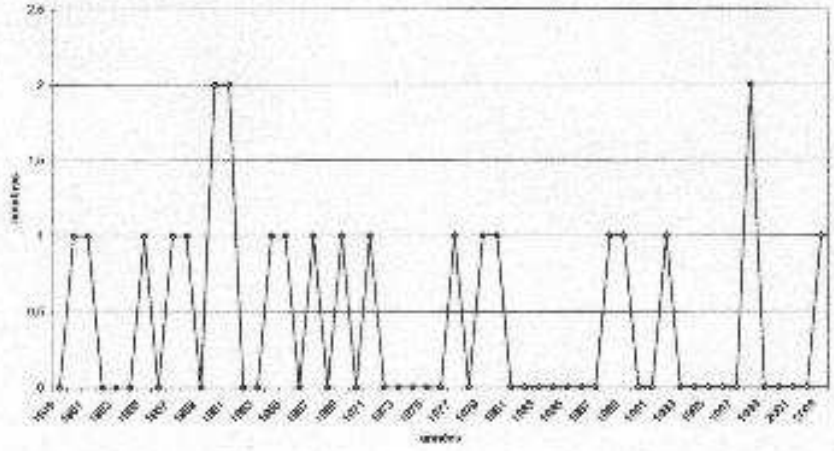


Fig.n°251 : "Secteur pacifique (1848-2003), nombre de cyclones et tempêtes tropicales"

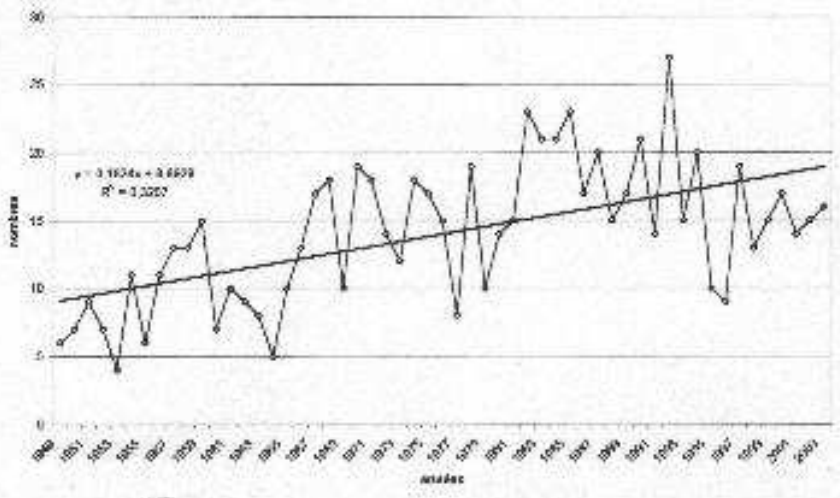



Fig.n°252 : "Secteur pacifique (1848-2003), nombre de cyclones toutes catégories"

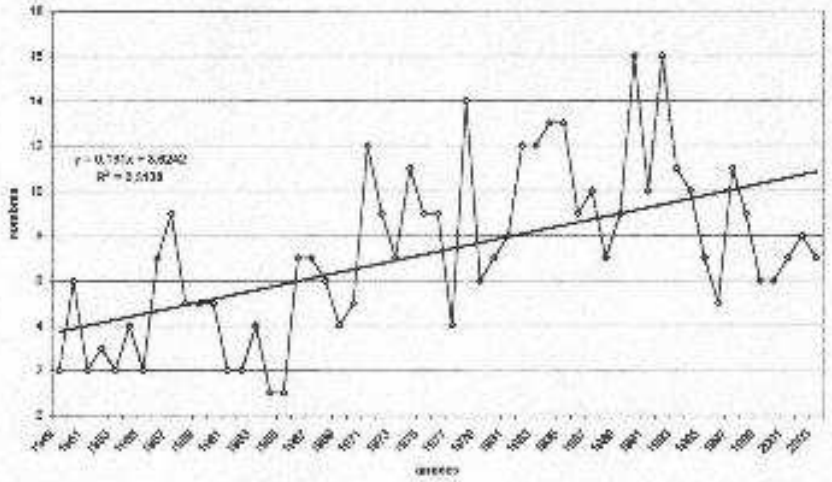



Fig.n°253 : "Secteur pacifique (1848-2003), nombre de tempêtes tropicales"

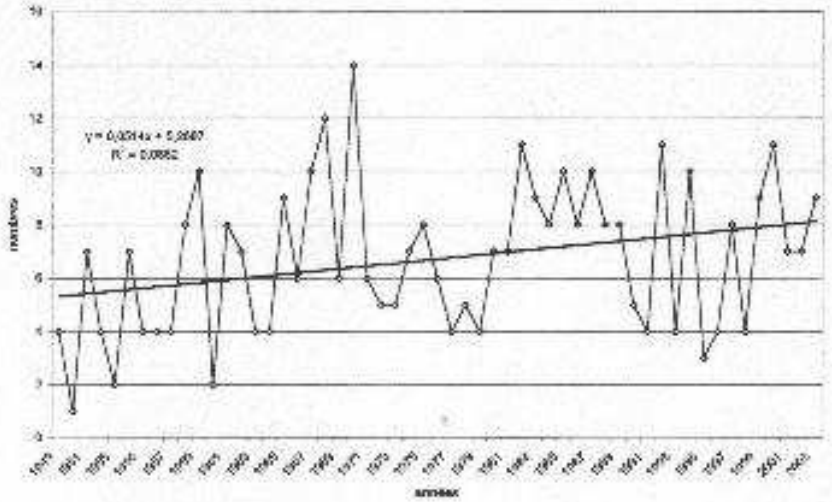


Fig.n°254 : "Secteur pacifique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 01"

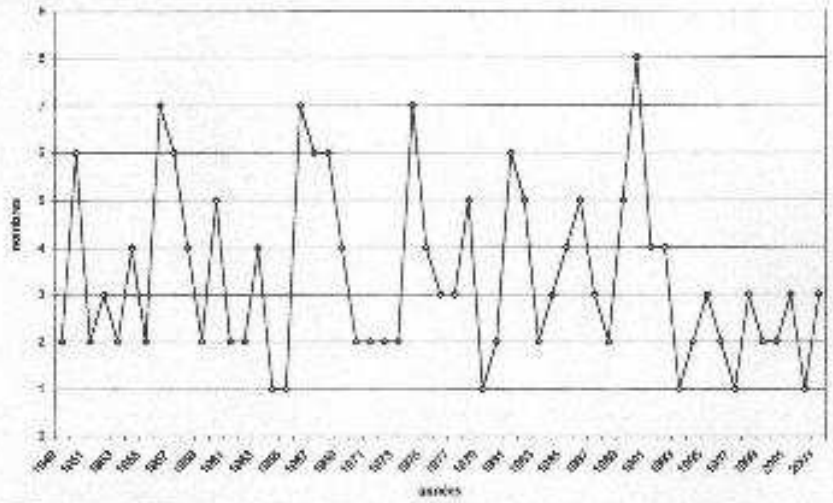


Fig.n°255 : "Secteur pacifique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 02"

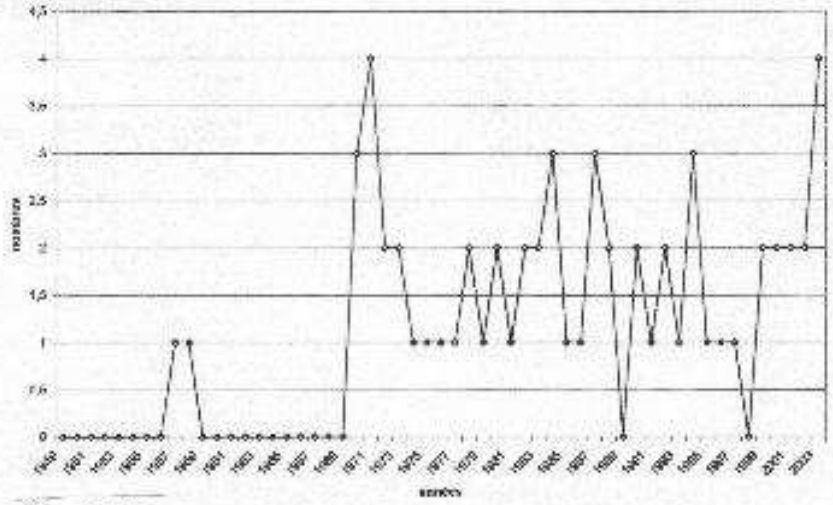


Fig.n°256 : "Secteur pacifique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 03"

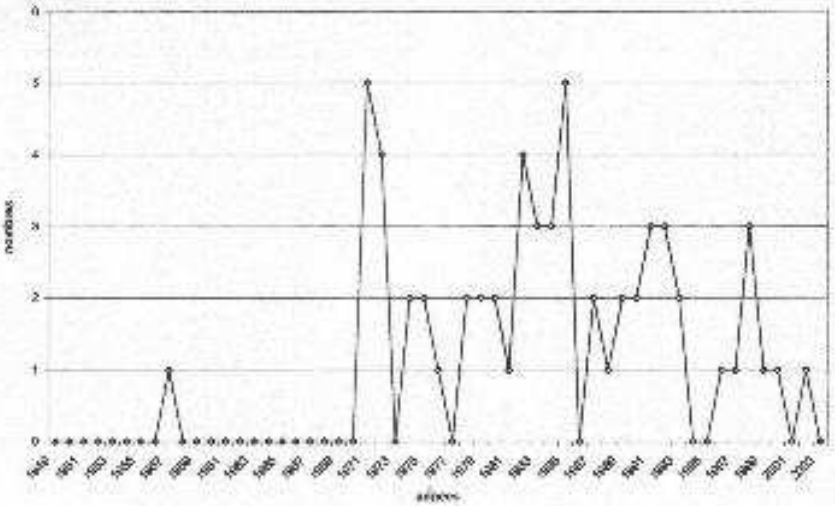
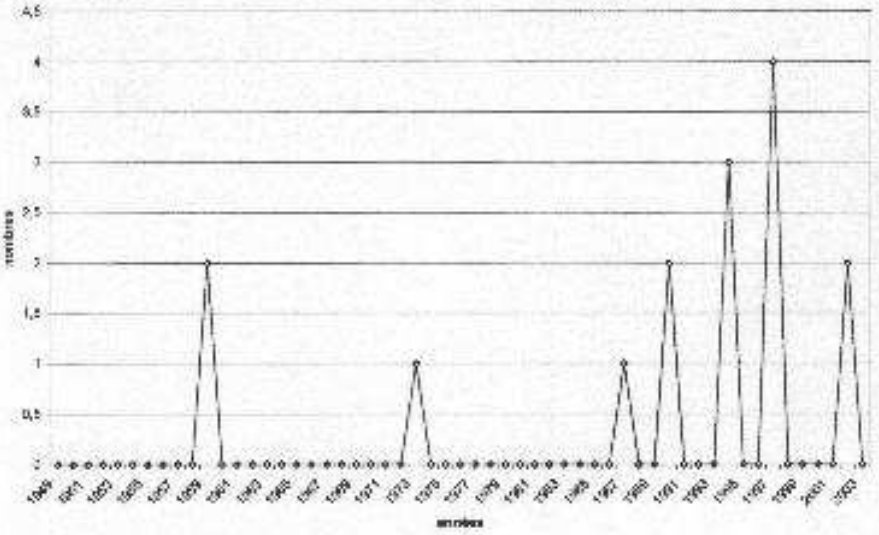


Fig.n°257 : "Secteur pacifique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 04"



Fig.n°258 : "Secteur pacifique (1949-2003), nombre de cyclones catégorie 05"



| Tableau n°23 : "Nombre moyen de tempêtes tropicales et de cyclones entre 1949 et 2003" | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Espace du Pacifique du nord-est :** | **C1à5** | **C1** | **C2** | **C3** | **C4** | **C5** | **TT** | **C+TT** |
| Moyenne historique 1949-2003 | 7,29 | 3,36 | 1,11 | 1,09 | 1,45 | 0,27 | 6,71 | 14,00 |
| Moyenne des années à Nino | 7,78 | 2,89 | 1,00 | 1,22 | 2,17 | 0,50 | 6,72 | 14,50 |
| Moyenne des années sans Nino | 7,25 | 3,69 | 1,19 | 1,05 | 1,13 | 0,16 | 6,88 | 14,13 |
| Moyenne 1949-1969 | 4,10 | 3,71 | 0,10 | 0,05 | 0,14 | 0,10 | 5,86 | 9,95 |
| Moyenne 1970-2003 | 9,26 | 3,15 | 1,74 | 1,74 | 2,26 | 0,38 | 7,24 | 16,50 |
| Moyenne 1949-1969 des années à Nino | 3,71 | 3,14 | 0,14 | 0,00 | 0,14 | 0,29 | 6,14 | 9,86 |
| Moyenne 1970-2003 des années à Nino | 10,36 | 2,73 | 1,55 | 2,00 | 3,45 | 0,64 | 7,09 | 17,45 |
| Moyenne 1949-1969 des années sans Nino | 4,29 | 4,00 | 0,07 | 0,07 | 0,14 | 0,00 | 5,71 | 10,00 |
| Moyenne 1970-2003 des années sans Nino | 8,74 | 3,35 | 1,83 | 1,61 | 1,70 | 0,26 | 7,30 | 16,04 |
| | | | | | | | | |
| **Espace de l'Atlantique du nord-ouest :** | **C1à5** | **C1** | **C2** | **C3** | **C4** | **C5** | **TT** | **C+TT** |
| Moyenne historique 1949-2003 | 6,00 | 2,33 | 1,13 | 1,22 | 0,91 | 0,42 | 4,35 | 10,35 |
| Moyenne des années à Nino | 5,21 | 2,11 | 0,74 | 1,42 | 0,68 | 0,26 | 4,21 | 9,42 |
| Moyenne des années sans Nino | 6,13 | 2,27 | 1,27 | 1,11 | 0,97 | 0,50 | 3,97 | 10,11 |
| Moyenne 1949-1969 | 6,52 | 2,05 | 1,14 | 1,71 | 1,00 | 0,62 | 3,57 | 10,10 |
| Moyenne 1970-2003 | 5,68 | 2,50 | 1,12 | 0,91 | 0,85 | 0,29 | 4,82 | 10,50 |
| Moyenne 1949-1969 des années à Nino | 7,43 | 2,57 | 0,57 | 2,43 | 1,29 | 0,57 | 4,86 | 12,29 |
| Moyenne 1970-2003 des années à Nino | 3,92 | 1,83 | 0,83 | 0,83 | 0,33 | 0,08 | 3,83 | 7,75 |
| Moyenne 1949-1969 des années sans Nino | 6,07 | 1,79 | 1,43 | 1,36 | 0,86 | 0,64 | 2,93 | 9,00 |
| Moyenne 1970-2003 des années sans Nino | 6,64 | 2,86 | 1,27 | 0,95 | 1,14 | 0,41 | 5,36 | 12,00 |

**b) Lecture et analyse des graphiques circulaires :**

L'étude de la répartition des types de cyclones (catégories 1 à 5) et des tempêtes tropicales, exprimée en pourcentages par rapport au nombre total de perturbations comptabilisées entre 1949 et 2003 (graphiques circulaires n°1 et 2) ne révèle pas de différence notoire entre l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, mer des Caraïbes et l'espace du Pacifique du nord-est.

Dans les deux zones, ce sont les tempêtes tropicales qui sont de loin les plus fréquentes (42% des perturbations pour l'Atlantique et 48% pour le Pacifique).

Dans les deux espaces géographiques, le quart des cyclones relève de la catégorie 1 de l'échelle Saffir-Simpson (22% pour l'Atlantique, 24% pour le Pacifique).

Par rapport à l'espace du Pacifique du nord-est, l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, mer des Caraïbes voit naître et se développer quantitativement moins de cyclones. Cependant, il faut remarquer que le pourcentage de cyclones relevant des catégories 2 à 5 est plus élevé dans l'espace Atlantique du nord-ouest, mer des Caraïbes (36% des perturbations) que dans celui du Pacifique du nord-est (28% des perturbations). Les perturbations sont donc quantitativement moins nombreuses mais plus violentes dans l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, mer des Caraïbes (les cyclones catégorie 5 représentent 4% des perturbations de l'Atlantique du nord-ouest, mer des Caraïbes contre 2% dans l'espace du Pacifique du nord-est).

Si l'étude de la répartition des cyclones et des tempêtes tropicales ne met pas en avant de grosses différences entre les deux espaces étudiés, l'étude de l'évolution dans le temps du nombre annuel des différents types de perturbations est quant à elle très révélatrice.

**c) lecture et analyse des courbes produites :**

En observant les figures élaborées pour le secteur de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes (fig. n°243 à 250) nous voyons sur la figure n°243 que la courbe de l'évolution du nombre annuel de cyclones (toutes catégories) et de tempêtes tropicales fait ressortir une légère tendance à la baisse avant les années 70 ; une légère tendance à la hausse après. Nous retrouvons cette même configuration avec la figure n°244 présentant le nombre de cyclones toutes catégories ainsi que sur la figure n°245 présentant le nombre de tempêtes tropicales. Les autres courbes (n°246 à 250) ne présentent pas de tendances significatives particulières ; les fluctuations d'une année sur l'autre sont importantes. Seules les courbes du nombre de cyclones de catégorie 1 (fig. n°246) et du nombre de cyclone de catégorie 4 (fig. n°249) présentent un léger regain d'activité à partir des années 70.

Par contre, les mêmes figures réalisées pour le secteur du Pacifique du nord-est (fig. n°251 à 258) sont des plus révélatrices.

La figure n°251, fait nettement ressortir une évolution croissante du nombre annuel de cyclones et de tempêtes tropicales pendant la période étudiée (1949-2003).

Les figures n°252 et 253 nous permettent de préciser notre analyse. L'étude du nombre annuel de cyclones toutes catégories confondues (fig. n°252) confirme l'observation faite précédemment. Si nous observons l'évolution du nombre annuel de tempêtes tropicales (fig. n°253), nous pouvons voir apparaître une « césure » correspondant aux années 70. En observant bien la figure n°252, nous remarquons que le nombre de cyclones toutes catégories confondues augmente à partir des années 70. Une période de transition semble donc apparaître au début des années 70. L'espace du Pacifique du nord-est, à partir des années 70, se « dynamise » fortement, le nombre de perturbations augmente fortement, tout comme l'intensité de ces dernières.

L'analyse des figures n°254 à 258 est, quant à elle, très révélatrice. S'il est vrai que l'étude de l'évolution annuelle du nombre de cyclones relevant de la catégorie 1 (fig. n°254) ne fait apparaître aucune évolution significative, les autres figures (n°255 à 258) révèlent on ne peu plus clairement l'existence d'un changement de catégorie à partir des années 70.

Cet espace du Pacifique du nord-est, à la fin des années 60, au début des années 70 connaît un regain d'activité cyclonique « explosif ».

L'étude de l'évolution du nombre annuel de cyclones catégorie 5 se différencie quelque peu . Les cyclones catégorie 5 ne deviennent plus nombreux qu'à partir du milieu des années 80.

**d) Lecture et analyse du tableau récapitulatif :**

L'analyse du tableau récapitulatif (tableau n°23) est, quant à elle, également très révélatrice. Pendant les années à « El Niño », dans l'espace du Pacifique du nord-est, nous observons un regain de l'activité cyclonique.

De plus, avant la rupture des années 70, l'activité cyclonique peut être qualifiée de « réduite » dans la mesure où, après la rupture des années 70, nous observons un regain important de l'activité cyclonique dans cet espace du pacifique du nord-est. (regain d'activité encore plus marqué pendant les années à « El Niño »).

Dans l'espace de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes, nous observons exactement l'inverse de ce qui se produit dans l'espace voisin de l'Atlantique du nord-ouest, la mer des Caraïbes. En effet, nous observons que les années à « El Niño » sont des années de moindre activité cyclonique.

De plus, avant et après la rupture des années 70, si l'évolution est beaucoup moins marquée que dans le Pacifique du nord-est (la rupture étant beaucoup moins nette), nous observons cependant que, par rapport à avant les années 70, l'activité cyclonique connaît un moindre dynamisme après cette période charnière (surtout pendant les années à « El Niño »).

Précisons enfin que la période 1949-1969 a connu une activité cyclonique plus marquée pendant les années à « El Niño ». La période 1970-2003, a connu une activité cyclonique plus réduite pendant les années à « El Niño ».

## 3) Conclusion sur l'évolution historique des cyclones :

Tout ce que nous venons de souligner dans cette étude de l'évolution historique des cyclones s'inscrit en parfaite logique avec ce que nous avons pu observer et mettre en avant dans cette quatrième partie (voir ci-dessus, partie 4, chapitres 1 à 3), en analysant les fichiers des pressions, des températures et des précipitations.

Quelque chose s'est produit autour de la période charnière centrée sur la décennie 70. Les constatations que nous avons faites auparavant en analysant les fichiers de pression et de température nous permettent, comme pour l'évolution des précipitations, de comprendre et d'expliquer l'évolution historique des cyclones constatée ci-dessus.

Rappelons brièvement que les cyclones sont assujettis à des conditions drastiques pour pouvoir se former et se développer :

- Existence d'un champ dépressionnaire de basse couche.
- Déclenchement d'une ascendance.
- Le cyclone doit pouvoir s'auto-entretenir.

- Le cyclone doit pouvoir se développer dans toute la troposphère.
- La formation d'un vortex est nécessaire (la cyclogenèse est impossible dans l'espace compris entre les latitudes 4 et 5 degrés nord et sud).

Tout changement de la dynamique de la circulation peut entraîner une modification des conditions nécessaires à la formation et au développement des tempêtes tropicales et des cyclones.

Or, nous observons un glissement vers le sud des pressions moyennes ; l'hémisphère nord se dilate.

Dans l'espace de l'Atlantique nord, la mer des Caraïbes, la hausse de pression se traduit par une baisse ou, pour le moins, une « stabilité » de l'activité cyclonique. La hausse importante des pressions constatée dans la mer des Caraïbes et le Golfe du Mexique (AMP descendant de plus en plus fréquemment au sud) constitue, à l'échelle des moyennes, une sorte de « bouclier de protection » pouvant limiter l'entrée des cyclones formés plus à l'est sur l'Atlantique ; pouvant priver tel ou tel système dépressionnaire naissant d'une partie de son alimentation en flux chauds et humides (Al.m de type 2 et/ou MP) ; pouvant repousser vers le sud la structure EMV accompagnée de la MP privant ainsi le système dépressionnaire naissant d'une partie de son alimentation.

A contrario, la hausse des pressions constatée, dans l'espace du Pacifique du nord-est, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale, entraîne une augmentation importante de l'activité cyclonique. L'isthme centraméricain autorise la communication entre les deux espaces situés de part et d'autre de la terre ferme et, la hausse des pressions (traduisant l'écoulement des AMP atlantiques vers le Pacifique accompagné des LP et des « Nortes ») constitue un facteur déclenchant les ascendances supplémentaire (pouvant se conjuguer avec les LP pacifiques). Dans ce secteur sensible où l'EMV est proche (structure autorisant les ascendances) ; où l'EMI quasi vertical n'est pas stérilisant ; où les flux de l'Al.m atlantique de type 2 et la MP (apportant une importante quantité d'énergie) se rejoignent le long de l'EM ; où, en raison de la latitude, un vortex peut se former, l'activité cyclonique ne peut que s'intensifier. Précisons que les AMP peuvent canaliser, sur leur face avant (le long de leur couloir dépressionnaire), les système cycloniques vers le continent proche.

Il s'agit maintenant, dans un cinquième et dernier chapitre, de proposer une synthèse de l'évolution climatique récente constatée.

# Chapitre 5 : Conclusion/Synthèse de la partie 4, la dilatation de l'hémisphère météorologique nord et ses conséquences climatiques en Amérique Centrale

## 1) Introduction :

Cette quatrième partie met en lumière un certain nombre de faits qui ont pour dénominateur commun la césure constatée autour des années 70.

Après avoir brièvement rappelé les conséquences climatiques constatées, nous expliquerons l'évolution climatique récente puis, nous traiterons du phénomène « El Niño ».

## 2) Les conséquences climatiques :

### a) L'évolution des pressions de part et d'autre de l'isthme :

Du côté atlantique, dans la mer des Caraïbes et à proximité des côtes atlantiques de la Floride, nous observons une hausse spectaculaire des pressions moyennes (aussi bien hivernale qu'estivale) et ce, plus particulièrement depuis la période charnière centrée sur la décennie 70. Cette hausse des pressions moyennes s'observe également, mais de manière moins prononcée, dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique du nord-ouest où elle est essentiellement hivernale.

Du côté pacifique, dans le sous-espace du Pacifique centraméricain, jusqu'à 5° de latitude sud, nous observons une hausse des pressions moyennes spectaculaire depuis la décennie 70 (hausse aussi bien hivernale qu'estivale). Cette hausse des pressions moyennes étant plus marquée à proximité de l'isthme, précisément là où le relief s'abaisse, la communication entre les deux espaces ne fait aucun doute.

### b) L'évolution des températures de part et d'autre de l'isthme :

Du côté atlantique, dans le Golfe du Mexique et l'Atlantique du nord-ouest, avant la période charnière centrée sur les années 70, les températures baissent ; après la période charnière, les températures augmentent. Dans la mer des Caraïbes et l'extrémité méridionale de l'Atlantique du nord-ouest, nous observons exactement l'inverse, avant la période charnière centrée sur les années 70, les températures augmentent, au contraire, après la période charnière, les températures baissent.

Du côté pacifique, dans le sous-espace du Pacifique centraméricain les températures diminuent depuis la décennie 70 mais ce phénomène est, en partie masqué par le fait que, ce secteur correspond précisément à la zone de migration de l'EMV ainsi que par l'effet foehn et la surface océanique chaude.

### c) L'évolution des précipitations en Amérique Centrale :

La péjoration pluviométrique constatée en Amérique Centrale s'inscrit dans un processus d'envergure.

Les marges tropicales nord sont moins facilement atteintes par les structures pluviogènes : c'est la sécheresse au Sahel, à un moindre degré sur l'Inde où « la déficience de mousson de 1987 est l'une des pires dans les enregistrements de l'Inde » (WMO, 1990), et une diminution atténuée sur l'Asie du sud-est (Bradley et al., 1987). En Inde la pluviométrie moyenne s'est améliorée jusqu'aux années 1950, Mooley et Parthasarathy (1984) notent « une

augmentation régulière dans les moyennes de pluies décennales de 1899 à 1953 », la décennie 1950-60 a été excédentaire, la pluviométrie se dégradant ensuite depuis les années 1970. En Afrique occidentale et centrale, les structures pluviogènes ont occupé une position haute en latitude entre 1950 et 1965, et une position basse plus méridionale avant et après cette période.

Dans le Pacifique du nord-est, à proximité des côtes centraméricaines, en hiver boréal, la position de l'équateur météorologique dépend du dynamisme boréal, et notamment de la puissance de l'alizé maritime venant de l'Atlantique ouest qui franchit l'isthme américain, c'est-à-dire de l'alimentation par les AMP méridiens qui descendent en période hivernale sur le Golfe du Mexique, ou encore des AMP qui descendent le long des côtes californiennes et mexicaines (voir partie 2, chapitre 5, 2).

En association avec le froid boréal, un accroissement de la puissance des AMP (LP, « Nortes ») constatée par A. Pommier (2004) sur le sud des Etats-Unis et du dynamisme de l'hémisphère météorologique nord se traduit par un glissement d'ensemble vers le sud de l'EMV sur le Pacifique donc par une péjoration pluviométrique (essentiellement pendant la saison pluvieuse). Rappelons une fois encore que cette péjoration pluviométrique est, en partie compensée par la hausse des précipitations liées aux cyclones pacifiques. E. Jauregui (1989), dans son étude sur les effets des cyclones sur les précipitations au Mexique, constate que dans le nord du Mexique, au nord du Tropique du Cancer », les cyclones peuvent entraîner une « augmentation considérable des précipitations (…), 3 à 4 fois le volume moyen mensuel » et ce, « non seulement sur les parties littorales mais également à l'intérieur des terres ».

Le glissement d'ensemble des structures pluviogènes défavorise la zone tropicale nord, mais dans le même temps favorise la zone tropicale sud, où après 1960-70, dans l'espace 0°-25° sud la pluviométrie augmente (Diaz et al., 1989), particulièrement en Amérique du Sud, ou en Afrique australe où depuis 1950 les pluies sont grossièrement excédentaires.

**d) L'évolution de l'activité cyclonique de part et d'autre de l'isthme :**

Du côté atlantique, l'évolution n'est pas très nette. La courbe de l'évolution du nombre annuel de cyclones (toutes catégories) et de tempêtes tropicales fait ressortir une légère tendance à la baisse avant les années 70 ; une légère tendance à la hausse après. Configuration que nous retrouvons avec la courbe du nombre de cyclones toutes catégories. Les autres courbes ne présentent pas de tendances significatives particulières ; les fluctuations d'une année sur l'autre sont importantes. Seules les courbes du nombre de cyclones de catégorie 1 (fig. n°246) et du nombre de cyclone de catégorie 4 (fig. n°249) présentent un léger regain d'activité à partir des années 70.

Du côté pacifique, dans le secteur du Pacifique du nord-est, depuis la période charnière des années 70, le nombre de perturbations augmente tout comme l'intensité de ces dernières.

**e) Le scénario *effet de serre* et les conséquences climatiques observées de part et d'autre de l'isthme centraméricain :**

L'atmosphère étant transparente au rayonnement solaire émis en ondes courtes, la surface de la Terre reçoit directement l'énergie du soleil ; les couches à proximité du sol reçoivent en outre un flux de rayonnement thermique infrarouge renvoyé vers le bas (contre rayonnement terrestre) par les basses couches de l'atmosphère. Cet effet de serre naturel,

c'est-à-dire la réabsorption de l'énergie du contre rayonnement terrestre dans l'infrarouge, procure un gain de 33°C à la température moyenne de la Terre qui se situe autour de 15°C alors qu'elle devrait être de l'ordre de -18°C. L'effet de serre ne se faisant plus sentir au-delà de 5 000 mètres, cet avantage thermique est limité aux basses couches de l'atmosphère.

Parmi les nombreux gaz à effet de serre, la vapeur d'eau joue le rôle essentiel (la contribution de l'eau à l'effet de serre représente 62.5 %) ; les 37.5 % restants appartiennent principalement au dioxyde de carbone ($CO_2$), au méthane ($CH_4$), aux oxydes d'azote (NxO), à l'ozone ($O_3$) de basses couches, aux chlorofluorocarbures (CFCs), et aux aérosols troposphériques.

Fourrier, dès 1824, avait pressenti qu'un effet de serre d'origine anthropique (provenant du $CO_2$ et des autres gaz à effet de serre) est susceptible d'élever la température ; en 1896, Arrhénius envisage le rôle du $CO_2$ issu des combustibles fossiles ; en 1938, Callendar remarque pour la première fois une augmentation de la concentration de ce gaz mais il faudra attendre les années 50 et la mise au point d'un enregistreur de la teneur en $CO_2$ pour que des mesures suivies soient réalisées.

L'augmentation du taux de gaz carbonique, du taux de méthane… et plus récemment du taux de chlorofluorocarbures ne fait aucun doute. Le $CO_2$ est dense (de densité 1.5 par rapport à l'air) et la seule disparition de ce piège à chaleur contenu par les basses couches ferait chuter la température moyenne de la Terre à –2°/-3°C (contre 15°C). Il est alors logique d'envisager, puisque le taux de $CO_2$ augmente (comme celui des autres gaz à effet de serre), un accroissement de l'effet de serre et une élévation des températures globales à cause d'une absorption radiative accrue.

L'effet de serre anthropique, ajouté à l'effet de serre naturel, devrait selon les modèles numériques conduire à un réchauffement global (*global warming*). L'idée d'un *global warming* fut développée aux Etats-Unis en 1988 après la terrible sécheresse qui fit resurgir la crainte des *dust bowl* des années 30. Les scénarios *effet de serre* annoncent tous un cortège de catastrophes associées à ce *global warming* (températures excessives, fonte des glaces, relèvement du niveau de la mer, sécheresse, désertification, mais aussi inondations…).

De sévères critiques ont cependant été formulées (Lenoir, 2001 ; Leroux, 2001, 2003 pour les plus récentes) et depuis 1995, une association de scientifiques fondée lors de l'*European Science and Environment Forum* multiplie les attaques contre le bien fondé de cette théorie du *global warming*.

Dans cette thèse, nous n'avions pas pour objectif de traiter du *global warming* mais, à l'issue de cette quatrième partie, nous constatons que nous n'avons aucun moyen de relier l'évolution climatique récente observée de part et d'autre de l'isthme centraméricain à un quelconque scénario *effet de serre*. Bien au contraire, si nous observions un *scénario effet de serre*, les pressions moyennes de part et d'autre de l'isthme devraient diminuer or, elles augmentent ! Notre analyse des températures moyennes démontre que, depuis les années 70, nous observons, dans la mer des Caraïbes, un refroidissement (que nous retrouvons du côté pacifique, à proximité de l'isthme)…

L'évolution climatique récente observée de part et d'autre de l'isthme centraméricain n'est pas conforme au scénario dit *effet de serre* ; *global warming*.

## 3) Explications : la dilatation de l'hémisphère météorologique nord et un mode de circulation rapide

### a) La dilatation de l'hémisphère météorologique nord :

« Le fait climatique dominant des dernières décennies est le refroidissement de l'Arctique » (M. Leroux, 2000). Le renforcement de la pression par les AMP est attesté par d'autres auteurs. Christy et al. (1989) observent que les anomalies de pression sont principalement « déterminées par les pressions dans le Pacifique nord, l'Atlantique nord-ouest, le nord de l'Asie ». Notre étude des pressions vient corroborer les constatations de ces auteurs. L'analyse de la circulation de l'hémisphère nord des années 1899 à 1984 individualise trois périodes (Schmidt, 1986) :

- celle de 1899 à 1938 est caractérisée par une circulation zonale accélérée,

- celle de 1939 à 1972 présente 33 ans de circulation zonale ralentie,

- et depuis 1972 règne à nouveau une circulation zonale accélérée.

Nous retrouvons ici la période charnière centrée sur la décennie 70. Cette intensification récente est également attestée par Fletcher (1987, in Flohn et al., 1990) qui observe une accélération des vents de surface. Cette accélération des vents de surface est transmise à la circulation tropicale : Whysall et al. (1987) ; Rasmusson (1987) observent, sur la période comprise entre 1950 et 1981, une tendance à l'augmentation de l'intensité des alizés sur le Pacifique et l'Atlantique. Posmentier et al. (1989) remarquent, au cours des dernières décennies, « une augmentation de la force des vents de surface dans le Pacifique tropical ». Cardone et Greenwood (1990) notent que les vents antérieurs à 1950 apparaissent plus faibles que les vents postérieurs à 1950 dans le sud de la Mer de Chine, du Pacifique nord et de l'Atlantique nord. Quelque chose s'est bel et bien produit autour des années 70.

« Ces modifications du champ de pression et de vent dans l'hémisphère nord, traduisent l'intensification du transport méridien par les AMP. L'augmentation du poids relatif de l'hémisphère météorologique nord, sa *dilatation* de 200 à 300 kilomètres au détriment de l'hémisphère météorologique sud, se manifeste dans toutes les latitudes, jusqu'au cœur de la zone tropicale » (M. Leroux, 2000). A. Pommier pour l'espace nord-atlantique et A. Favre pour l'espace du Pacifique du Nord-Est apporteront de plus amples informations à l'issue de leur thèse.

Ce glissement vers le sud est encore attesté par le champ des températures de surface de l'océan après 1960-1965 : réchauffement austral et refroidissement boréal, qui reflètent un « glissement vers le sud de la zone des eaux tropicales les plus chaudes » (Folland et al., 1990).

### b) Un mode de circulation générale rapide :

« La dynamique de l'hémisphère météorologique nord est caractérisée par l'accroissement de l'intensité des échanges méridiens et l'expansion vers le sud qui en résulte. Cette dynamique s'inscrit (toutes proportions gardées) pour l'hémisphère nord dans un scénario froid et dans un mode de circulation rapide » (M. Leroux, 2000).

Un mode de circulation rapide correspond à un fort déficit thermique toute l'année dans les hautes latitudes. Pendant un mode de circulation rapide, l'on observe des AMP, plus rapides, plus puissants, plus épais, de plus grandes dimensions. De ce fait, les AMP, conservent de basses températures et une forte cohérence sur de plus longues distances. Leurs trajectoires sont plus nettement méridiennes, et ils provoquent en retour un transfert plus intense d'énergie tropicale en direction des pôles. Les AMP réalisent ainsi la capture du potentiel précipitable tropical, et le dévient vers les hautes latitudes le long de trajectoires privilégiées, déterminées par la géographie de leur déplacement.

Pendant un mode de circulation rapide, tous les centres d'action anticycloniques, sont puissamment alimentés par les AMP. Les centres d'action sont par conséquent beaucoup plus vigoureux. Les agglutinations anticycloniques sont largement étalées (vers le nord et vers le sud) sur les océans comme sur les continents ; les agglutinations anticycloniques continentales bénéficient d'un renfort thermique (notamment en hiver), et les blocages sont plus fréquents. Les perturbations des latitudes moyennes sont plus violentes, en raison des contrastes thermiques accentués. Les flux de basses couches sont accélérés, dans les latitudes extratropicales et par le relais des agglutinations anticycloniques dans la zone tropicale. L'accélération gagne toute la troposphère, les jets d'ouest alimentés par les confrontations et les transferts verticaux accrus sont renforcés et se décalent vers les Tropiques, la subsidence associée est augmentée, accroissant la rigueur de la stratification aérologique. La zone tropicale est fortement réduite, enserrée dans l'étau des agglutinations anticycloniques renforcées et des dynamismes extratropicaux antagonistes. La migration annuelle des structures pluviogènes tropicales est limitée à une étroite ceinture, et la faible migration de l'équateur météorologique dans les basses couches (EMI) n'autorise pas (ou peu) la déviation en mousson des alizés dont la force est accrue. Le déficit thermique encore aggravé en hiver dans l'hémisphère nord par les masses continentales, la glace de mer et les inlandsis, augmente le poids relatif de l'hémisphère météorologique boréal, qui empiète sur l'hémisphère austral, l'équateur météorologique étant alors dans son ensemble décalé vers le sud.

C'est ce mode de circulation rapide qui s'applique à la période contemporaine, depuis les années 70 et qui rend compte des faits constatés dans notre espace d'étude!

## 4) Le phénomène « El Niño » (voir partie 1, chapitre 2, 3, carte n°6 et partie 1, chapitre 3, 5) :

Le phénomène « El Niño » ne fait pas à proprement parler partie de notre sujet d'étude mais, nous nous devons ici de préciser rapidement la dynamique du phénomène tant cette dernière s'inscrit en parfaite logique avec tout ce que nous avons constaté dans cette quatrième partie.

Le phénomène « El Niño » est à la mode et sans cesse invoqué pour rendre compte de tel ou tel phénomène climatique inexpliqué et ce à l'échelle de la planète entière... Pourtant, à l'heure actuelle, la dynamique propre à ce phénomène n'est pas présentée clairement ! Quelle est donc la dynamique propre à ce phénomène ?

Ces dernières années, depuis la période charnière centrée sur les années 70 et plus particulièrement depuis la décennie 90, nous assistons à un accroissement des phénomènes « El Niño ». Accroissement si spectaculaire que le phénomène tend à être quasi permanent !

« L'intensification de la circulation boréale se manifeste aussi dans le Pacifique nord et se propage vers le sud dans la zone tropicale, en participant de manière déterminante aux « événements El Niño » (M. Leroux, 2000).

Dans le Pacifique oriental, à proximité des côtes de l'Amérique Centrale et du nord de l'Amérique du Sud, lors d'un épisode « El Niño », nous observons un glissement vers le sud de l'équateur météorologique vertical.

Dans ce secteur, comme nous l'avons déjà précisé, en hiver boréal, la position de l'équateur météorologique dépend du dynamisme boréal, et notamment de la puissance de l'alizé maritime venant de l'Atlantique ouest qui franchit l'isthme américain, c'est-à-dire de l'alimentation par les AMP méridiens qui descendent en période hivernale sur le Golfe du Mexique, ou encore des AMP qui descendent le long des côtes californiennes et mexicaines (voir partie 2, chapitre 5, 2, fig. n°21) .

Précisons que l'équateur météorologique est également animé par un autre segment central, qui dépend de la dynamique sur le Pacifique oriental au sud de l'AA dite « des Hawaii » ainsi que par un troisième segment plus étendu à l'ouest et qui dépend du dynamisme de l'alizé asiatique/mousson australienne.

« Ces facteurs, qui n'agissent pas nécessairement de façon simultanée, relèvent de la même cause initiale, et par le déplacement de l'équateur météorologique vers le sud traduisent une puissance accrue de l'hémisphère météorologique nord » (M. Leroux, 2000).

En conséquence, le contre-courant équatorial chaud qui revient vers l'est sous la zone des calmes liée à l'équateur météorologique vertical (EMV) et qui, en temps « normal », baigne l'isthme américain entre deux courant froids (courant de Californie au nord et courant de Humboldt au sud), est repoussé vers le sud pendant un épisode « El Niño » (voir partie 1, chapitre 2, 3, carte n°6).

Sur le Golfe du Mexique et/ou la mer des Caraïbes, les AMP de plus en plus nombreux, de plus en plus puissants, s'écoulent plus fréquemment en partie vers le Pacifique par les ensellements de l'isthme (« Nortes », LP) et, « les poches d'eaux froides » ont tendances à perdurer (Tehuantepec, Costa Rica).

L'EMV, structure pluviogène fondamentale, repoussée vers le sud, arrive jusqu'au nord du Pérou et, dans des régions normalement peu pluvieuses, entraîne de fortes précipitations. Au contraire, dans les régions habituellement affectées par la présence de l'EMV, les précipitations diminuent considérablement.

La présence du courant chaud n'est en rien un facteur explicatif, les explications sont à rechercher dans la dynamique aérologique boréale et l'évolution que subit cette dernière depuis la décennie 70 avec pour véhicule principal des échanges méridiens, l'Anticyclone Mobile Polaire !

Le phénomène « El Niño » est donc « une conséquence régionale de la dynamique des transferts méridiens partis des pôles qui atteignent le cœur de la zone tropicale ; l'augmentation de fréquence des phénomènes «El Niño » du Pacifique résulte du glissement vers le sud de l'équateur météorologique, clairement associé à un renforcement de la dynamique boréale » (M. Leroux, 2000). Le phénomène « El Niño » s'inscrit donc, en toute

logique, comme ce que nous avons avancé précédemment, dans un mode de circulation rapide, une dilatation de l'hémisphère nord qui décale tous les centres d'action vers le sud.

# CONCLUSION GÉNÉRALE :

A l'échelle du continent américain, l'isthme centraméricain se caractérise par un abaissement marqué du relief entre deux puissantes barrières orographiques d'orientation méridienne. L'influence et l'importance du relief sur la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale est, à tort, actuellement largement sous-estimée. A l'échelle de l'Amérique Centrale, l'abaissement du relief est encore plus prononcé au niveau des isthmes secondaires de Tehuantepec, du Nicaragua et du Panama. Cet abaissement du relief, associé à l'étroitesse du lien de terre ferme observé entre les deux océans favorise la communication aérologique entre le domaine atlantique et le domaine pacifique. La limite interocéanique, marquée par la discontinuité d'alizé (D.al.), ou par l'Equateur Météorologique (EM) est d'ailleurs fluctuante, l'isthme appartenant aux flux atlantiques en hiver boréal, et aux flux pacifiques (mousson) en été boréal.

En raison de leur puissance (notamment pendant la période hivernale boréale) et de la canalisation exercée par le relief, les AMP descendus de l'Arctique pénètrent profondément dans la zone tropicale, parfois jusqu'à l'Equateur Météorologique. Les AMP agissent directement dans le sens pôles-équateur. Froids, denses, et incapables de s'élever, ils défilent le long de trajectoires bien définies, délimitant des espaces aérologiques précis (espaces de l'Atlantique du nord-ouest, du Pacifique du nord-est et du Pacifique du sud-est) qui obéissent à une dynamique commune à l'intérieur de laquelle tout est mobile.

Le déplacement des AMP et leur ralentissement progressif en direction des Tropiques, la rencontre des continents et de leurs reliefs et les conséquences sur l'écoulement en masse : déviation, décélération ou accélération locale, emboîtement, blocage et compression, forment des agglutinations anticycloniques (AA) constamment alimentées par les AMP. Les AA sont donc des zones tampon des échanges méridiens qui forment des réservoirs d'air qui redistribuent et régularisent l'écoulement tropical en pondérant sa vitesse par rapport à la circulation extra-tropicale. La perception statistique des phénomènes, basée sur des moyennes de pression, est à l'origine de la reconnaissance de « centres d'action » qui apparaissent ainsi comme étant des « personnages » statistiques figés (« l'anticyclone de l'île de Pâques » ; « l'anticyclones des Bermudes/Açores » ; « l'anticyclone des Hawaii »), incapables de rendre compte de la réalité puisque tout est mobile! Il est donc plus judicieux de parler d'agglutination anticyclonique. Les AMP s'agglutinent, et les apports successifs d'air deviennent progressivement la circulation d'alizé qui peut se transformer en mousson, les Lignes de Pulsation (LP) rythmant la progression des flux tropicaux. Les AMP alimentent donc la circulation tropicale. Les flux tropicaux des deux hémisphères météorologiques se rejoignent le long de la structure pluviogène fondamentale de la zone tropicale : l'Equateur Météorologique (EM).

Les AMP agissent également indirectement, en sens inverse en provoquant le retour de l'air tropicalisé vers les pôles. Le retour vers les pôles s'effectue à l'avant des AMP, le flux chaud ayant plus ou moins longuement transité par la zone tropicale. Ces transferts se réalisent horizontalement et principalement dans les basses couches avant de s'élever en direction des pôles, au-dessus des AMP.

La circulation générale est la conséquence du rayonnement. Le mouvement zénithal du soleil provoque une variation saisonnière des échanges méridiens. D'une saison à l'autre, le déplacement est général, vers le sud en hiver boréal, vers le nord en hiver austral.

En hiver boréal, dans l'hémisphère météorologique en hiver, le déficit thermique polaire accroît la puissance des AMP et des AA, la circulation est dans l'ensemble accélérée,

aussi bien à partir du pôle qu'en retour vers le pôle. L'hémisphère météorologique boréal au dynamisme renforcé s'étend au détriment de l'hémisphère austral alors en été. Une succession incessante de puissants AMP vient alimenter l'AA dite « des Hawaii », dans une position plus méridienne. Le continent nord-américain est traversé par de très puissants AMP qui alimentent l'AA dite « des Bermudes », extension saisonnière de l'AA dite « des Açores ». La puissante AA atlantique dite des « Bermudes/Açores », alimente sur sa partie sud, la mousson amazonienne (MA) qui entraîne d'abondantes chutes de pluies sur la région des Llanos vénézuéliens et colombiens ainsi que sur tout le bassin amazonien et accélère l'Al.m de type 2 qui se dirige vers le Golfe du Mexique. Ce flux d'Al.m de type 2 très humide est souvent amené à franchir l'isthme de Panama et à étendre ainsi vers l'ouest l'espace aérologique atlantique.

En hiver boréal, l'hémisphère météorologique en été doit dans le même temps à son moindre déficit thermique polaire un affaiblissement de ses AMP et de ses AA, un ralentissement des échanges, et des perturbations moins intenses ; il connaît aussi une moindre translation vers le nord des trajectoires des AMP et de la position des AA. Dans la partie tropicale de l'Amérique du Sud, sur le continent, le creusement de dépressions thermiques favorise, par attraction, le débordement de l'autre hémisphère par des flux trans-équatoriaux (mousson amazonienne, MA). Le facteur thermique n'intéressant que les couches proches du sol, l'EM poussé par un flux renforcé, attiré par une dépression surcreusée (située en janvier au sud de la forêt dense vers 20° de latitude sud), n'est fortement déplacé vers l'hémisphère en été que dans les basses couches. La partie non influencée de l'EM, dans les couches moyennes n'enregistre que le décalage d'ensemble de la circulation générale, le même que celui des AA. L'EM possède alors deux structures, une structure inclinée (EMI) dans les basses couches qui superpose un alizé sur une mousson et une structure verticale (EMV) dans les couches moyennes où se rencontrent les strates supérieures des alizés nord et sud.

En hiver austral, la Terre est en position d'aphélie, le déficit thermique austral est donc plus fort ; cette rigueur favorise une extension plus grande de l'hémisphère météorologique sud, extension favorisée par la canalisation par les Andes des puissants AMP austraux qui repoussent l'EM plus au nord. Dans l'hémisphère météorologique sud, l'AA dite « de l'île de Pâques » est puissamment alimentée par de vigoureux AMP. Le flux d'Al.m de type 1 évolue vers le type 2 en se chargeant d'humidité et en étant progressivement dévié en mousson panaméenne (MP). Cette mousson vient se confronter le long de l'EM (repoussé vers le nord) à un flux d'Al.m de type2 de direction opposée. Ces deux flux de directions contraires, tous deux chargés d'humidité vont compenser le handicap structural (cisaillement) et nous observons de très fortes pluies sur le littoral pacifique de la Colombie au Salvador, les ascendances étant exacerbées par l'orographie andine. De puissants AMP remontent également vers le nord, à l'est des Andes, le long de la cordillère par la Pampa argentine, envoyant de l'air polaire sur le continent.

L'isthme centraméricain, n'est pas isolé, mais il est bien au contraire le point d'aboutissement des deux circulations hémisphériques ; l'une partie du Nord – fait tout descendre vers le sud en hiver boréal - ; l'autre partie du Sud – fait tout remonter vers le nord en hiver austral -. L'isthme centraméricain se révèle être un formidable carrefour climatique, unique au monde où l'interaction des phénomènes est maximale. Les phénomènes climatiques ne connaissent pas de barrière, les découpages en grandes zones compartimentées (tempérées et tropicales) indépendantes les unes des autres sont par conséquent obsolètes, faisant croire à une séparation des domaines alors qu'ils communiquent entre eux.

L'étude des perturbations donne la clé de l'analyse de la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale. La méconnaissance de l'AMP, ignoré de la scène internationale, conduit les autorités climatiques locales, faute d'alternative, à passer sous silence l'origine des phénomènes ou, selon le cas, à brandir les jokers du « El Niño/La Niña », du « Global Warming, du trou dans la « couche d'ozone »… sans pour autant parvenir à donner des explications rationnelles.

Un autre apport essentiel de cette thèse est la mise en relief du rôle et de l'importance de l'Equateur Météorologique (EM) sur la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale. Comme dans toute la zone tropicale, en Amérique Centrale on se contente, au mieux, de repérer « l'ITCZ », souvent uniquement par les formations nuageuses (satellite). L'EM est mal défini et n'est même pas tracé sur les cartes de surface.

Sur l'isthme centraméricain, le lien de terre ferme étant très étroit, nous n'observons pas de dépression thermique (contrairement à ce que l'on observe ailleurs, sur un continent) mais des dépressions dynamiques (sur la face avant des AMP). En raison du caractère océanique très prononcé, la structure EM ne présente pas de grande différence selon les niveaux (contrairement à la structure observée sur les continents) ; l'équateur météorologique incliné (EMI) connaît donc un faible déplacement et sa structure est très proche de celle de l'équateur météorologique vertical (EMV).

L'EMV, effectuant, au gré des saisons, un double passage sur l'Amérique Centrale est donc généralement un axe de précipitations abondantes, régulières, fines, continues, prolongées et généralement non orageuses (procurant un régime bimodal des précipitations, expliquant l'alternance saison sèche/saison humide ainsi que la « Canícula », sur les versants et la plaine côtière du côté de l'océan Pacifique). L'EMV est alors, dans cette configuration un formidable facteur de précipitations, « la » structure pluviogène par excellence. En Amérique Centrale, les discontinuités de caractères et de vents, ne rendent pas la structure EMI stérilisante, car l'Al.m atlantique de type 2 issu de l'AA dite des « Bermudes/Açores », passe au-dessus de la mousson panaméenne (MP) issue de l'AA pacifique dite de « l'île de Pâques ». Ces flux, tous deux proches de la saturation se rencontrent selon des directions quasiment opposées le long de la structure EM. En raison de la très grande proximité de l'océan et du comportement thermique de type océanique de la forêt tropicale humide, l'EMI, presque vertical sur plus de 2 000 mètres d'épaisseur est alors susceptible d'une intense activité. Le handicap structural (cisaillement) est compensé par la richesse du potentiel précipitable advecté par le flux de mousson et l'Al.m de type2.

Dans des configurations dynamiques bien précises le passage de Lignes de Pulsations (LP), dans les basses couches, peut avoir de lourdes conséquences. Sur le Pacifique, les LP dans l'Al.m issu de l'AA du Pacifique du sud-est dite « de l'île de Pâques » continuent leur route, après franchissement de l'équateur géographique, dans la MP. En dessous de l'EM, la LP participe alors à l'activité de cette structure favorable aux ascendances (l'EMV/EMI présentant une structure proche, quasi verticale). Le passage d'une LP peut provoquer l'ascendance directe vers cette structure du potentiel transporté par l'Al.m et/ou la mousson. Dans ce cas, l'EM disposant déjà d'un abondant potentiel précipitable et représentant encore l'axe de concentration de ce potentiel, des nuages et des pluies, la densité des formations nuageuses zonales et son activité (non constante) sont alors conditionnées par l'arrivée à son aplomb des LP ; des perturbations tropicales peuvent naître et se développer dans cette structure favorable aux ascendances, la déformer, entraîner sa remontée vers le nord, des précipitations orageuses, violentes et dévastatrices peuvent alors localement se produire. L'EM est alors un point de naissance des perturbations tropicales. Une fois ces perturbations tropicales développées, l'EM peut alors être amené à pénétrer brusquement sur la côte

pacifique de l'Amérique Centrale et, avec lui, les flux de la MP peuvent être amenés à franchir l'isthme (en empruntant les isthmes secondaires, les ensellements) et/ou à s'élever violemment au contact des reliefs et /ou de la face avant d'un AMP, déversant ainsi des quantités importantes de pluie. Les manifestations orageuses peuvent être d'une rare violence d'autant que le relief centraméricain et/ou la face avant d'un AMP et/ou la présence d'un système dépressionnaire (de la simple dépression tropicale au cyclone de catégorie 5) peuvent faciliter les ascendances donc le refroidissement donc la condensation donc les précipitations.

Il y a aussi des LP dans l'Al.m : appelées ondes d'est. Précisons qu'une analyse des LP demanderait une observation fine des cartes synoptiques pour mettre en évidence de faibles variations de pression ; de direction du vent ; de pluie à l'échelle journalière ainsi qu'un réseau d'observations denses que n'offrent pas, à l'heure actuelle les BME et les cartes de la NOAA.

Les « Temporales », manifestations pluvieuses violentes ne sont pas définies clairement et pour cause, le « Temporal » repose sur l'activation et la remontée vers le nord, le long du littoral pacifique de l'Amérique Centrale de l'EMV c'est à dire l'EMV actif. Il y a une gradation entre l'EMV (activité normale), le « Temporal » (EMV actif), la dépression tropicale, DT, la tempête tropicale, TT ou le Cyclone. Tout est une question d'intensité. Le « Temporal » correspond à une phase particulièrement active de l'EMV (zone de mouvements ascendants) ; de fortes poussées (LP) dans la MP entraînant la remontée de cette structure vers le nord.

Bien sûr, il ne faut pas oublier le rôle joué par les AMP et le relief :

- Importance de la face avant des AMP, de leur couloir dépressionnaire, lieu privilégié pour que naissent et se développent les systèmes dépressionnaires.
- Importance de l'écoulement en masse des AMP là où le relief s'abaisse (isthme de Tehuantepec, dépression du Nicaragua, isthme de Panama) qui peut conduire à l'activation de l'EMV (arrivée de LP favorisant les ascendances au sein d'une structure déjà propice), le repousser vers le sud et le maintenir à distance de l'isthme. Au contraire, si leur intensité est faible (AMP tropicalisé et/ou en partie écoulé vers le Pacifique), voire si le Golfe du Mexique, la mer des Caraïbes sont délaissés par les AMP, la remontée vers le nord de l'EMV est facilitée par la baisse des pressions.
- Importance du relief centraméricain qui favorise les ascendances, offre une protection naturelle. Le relief peut interdire l'écoulement en masse des AMP depuis l'Atlantique vers le Pacifique, permettant ainsi à l'EMV de remonter vers le nord ou, au contraire, autoriser l'écoulement en masse des AMP vers le Pacifique, repoussant l'EMV vers le sud.

Le système dépressionnaire, la DT ou la TT ainsi formé (par la descente d'un AMP et/ou l'arrivée d'une ou plusieurs LP atlantiques et /ou pacifique) peut devenir un cyclone, redevenir une TT, voire une DT, ou évoluer carrément en cyclone « Cordonazo ». Tous les cas de figure sont permis, ce n'est qu'une question d'intensité !

Un épisode de « Temporal » désigne donc une situation intermédiaire entre l'EMV (activité normale) et le cyclone, une situation pendant laquelle l'EMV, particulièrement actif, arrive sur l'isthme centraméricain.

L'analyse des cyclones atlantiques et/ou pacifiques et/ou transisthmiques démontre que l'AMP constitue une des causes de la naissance, du développement, de l'intensification et de la trajectoire de ces perturbations reines que sont les cyclones tropicaux et qu'en dépit des quantités considérables d'énergie utilisée, les cyclones sont, comme toutes les autres perturbations, assujettis à des conditions dynamiques strictes qui leur dictent leur déplacement. La trajectoire des cyclones est dite « capricieuse » et imprévisible. En fait, elle laisse très peu de place au hasard parce qu'elle est rigoureusement commandée d'abord par la dynamique tropicale, puis par la dynamique tempérée, voire même par l'orographie ! Il n'y a donc rien d'inexplicable dans un brusque changement de trajectoire ou dans une « course à l'envers » ; le déplacement d'un cyclone tropical est toujours parfaitement intelligible et ne relève en rien du miracle divin ! La trajectoire des cyclones est donc « prévisible », à condition toutefois d'observer attentivement la réalité au lieu de faire confiance aveuglément à la réponse donnée par des modèles fondés sur des statistiques et des concepts dépassés, erronés. Des ordinateurs surpuissants, des modèles de prévision obsolètes (nés dans les années 30), ne doivent pas nous faire oublier que le climatologue doit avant tout être un observateur attentif de la réalité.

La dynamique de la circulation dans les basses couches précisée, la dynamique propre à chaque perturbation clarifiée, nous sommes en mesure de proposer une classification génétique inédite du climat centraméricain. Nous distinguons ainsi les « domaines climatiques tropicaux à tonalité unique », associés à la présence permanente du même type de flux d'alizé maritime de type 1 (côte californienne ; côtes chilienne et péruvienne) et, les « domaines climatiques à tonalités climatiques alternées », résultant du remplacement saisonnier d'un alizé de type 1 par une mousson (Californie du Sud, presqu'île de Californie ou d'un alizé maritime de type 2 par une mousson (isthme centraméricain et proche périphérie), avec passage d'une discontinuité (l'EM). Les perturbations caractéristiques de l'Amérique centrale viennent également marquer le temps et le climat des régions climatiques individualisées.

L'étude de l'évolution climatique récente met en évidence une hausse spectaculaire des pressions moyennes plus particulièrement du côté atlantique (dans la mer des Caraïbes) et, du côté pacifique à proximité de l'isthme, précisément là où le relief s'abaisse et autorise la communication. Cette hausse des pressions s'accompagne d'une baisse des températures et d'une baisse des précipitations à l'échelle de l'isthme. L'évolution climatique récente observée de part et d'autre de l'isthme centraméricain ne s'inscrit en rien dans la perspective d'un scénario *effet de serre* ; *global warming*.

Nous constatons une hausse spectaculaire des perturbations tropicales violentes du côté pacifique. Cette étude de l'évolution climatique récente prouve que l'isthme ne constitue pas une barrière hermétique et démontre que depuis la période charnière 1965-70, un schéma de circulation rapide est de mise. De ce fait, les AMP, dans l'hémisphère nord, connaissent des trajectoires plus méridiennes et plus rapides, ils pénètrent plus profondément dans la zone tropicale (plus particulièrement en Amérique Centrale en raison de la disposition particulière du relief). Les confrontations entre l'air d'origine polaire et l'air tropicalisé sont de ce fait beaucoup plus violentes sur le Golfe du Mexique et/ou la mer des Caraïbes et/ou sur l'océan Pacifique, à proximité de l'isthme. Dans ces espaces, les phénomènes météorologiques violents s'intensifient et le risque naturel météorologique s'accroît.

En 1996, l'Office Humanitaire de la Communauté Européenne (ECHO) a demandé une estimation du risque naturel en Amérique Centrale. Le centre international pour la formation et les échanges géologiques (CIFEG, France) a rendu un rapport mettant en avant le

fait que « les dommages provoqués par les catastrophes, apparaissent statistiquement plus fréquentes et plus intenses si l'on isole les 25 dernières années dans le bilan séculaire ». Une fois encore est mis en avant cette période charnière des années 70 !

L'intrusion des AMP dans la « douceur » tropicale change la donne ; on est bien loin des Tropiques tranquilles.

Si grâce au concept AMP, nous avons exposé plus clairement la dynamique du temps et du climat en Amérique Centrale, nous avons bien conscience qu'il reste des choses à préciser.

N'ayant pas disposé de toutes les données (séries statistiques longues et fiables, cartes synoptiques détaillées), la partie sur les LP présente des insuffisances et nous avons laissé en suspens un certain nombre de questions (notamment le rôle joué par le relief ; les LP dans la MP) ; la partie sur l'EM devrait être complétée (notamment pour cartographier précisément son va et vient ; préciser sa structure verticale) ; la piste des « Sures » devrait être fouillée mais tout ceci demanderait d'énormes moyens logistiques que seules les grosses instances climatiques pourraient mettre en œuvre. De plus, à l'heure actuelle, les cartes synoptiques sont trop imprécises sur l'océan et les moyens dont nous disposons sont donc limités. La technologie va continuer à s'affiner, d'autres thèses suivront et apporteront des précisions.

Nous voudrions terminer en insistant bien sur le fait que la méconnaissance des phénomènes constitue une augmentation du risque et nous espérons, en dépit des insuffisances soulignées, que ce travail de thèse contribuera à une prise de conscience. Le concept AMP fournit des réponses simples aux insuffisances, incohérences des théories classiques. Lui reconnaître la place qu'il mérite permettrait sans aucun doute (on l'a vu notamment à propos des cyclones) d'améliorer la prévision numérique du temps et du climat (encore imparfaite) et ainsi, dans des espaces sensibles comme celui de l'Amérique Centrale de réduire de manière significative les effets négatifs sur l'homme de l'augmentation récente et évidente du risque climatique depuis les années 1965-70.

# BIBLIOGRAPHIE :


**ADAMS D. K., COMRIE A. C.** - The North American Monsoon. Bull. Am. Met. Soc., 78, (10), p. 2197-2214 (1997).

**ADANG C. J., GALL R.** - Structure and dynamics of the Arizona Summer Monsoon boundary. Mon. Wea. Rev., 117, p. 1423-1438 (1989).

**ADEM J., RUIZ A., MENDOZA V. M., GARDUNO R., BARRADAS V. -** Recent experiments on monthly weather prediction with the Adem thermodynamic climate model, with especial emphasis in Mexico. Atmósfera, 8, p. 23-34 (1995).

**AHLGREN L. E., BASSO F., JOVEL J. R.** - Evaluacion preliminar del balance de aguas en el istmo centroamericano. Organisation Météorologique Mondiale (OMM), San Jose, 12 p., 5 fig. (1970).

**AIR FRANCE** - Climatologie (s) Afrique, 1'Amérique du Sud, Asie. Doc. Nav. Infr. (diff. dates).

**ALFARO E., and AMADOR J.** - Variabilidad y cambio climatico en algunos parametros sobre Costa Rica y su relacion con fenomenos de escala sinoptica y planetaria. Topicos Meteorologicos, 4, (1), p. 51-52 (1997).

**ALFARO E.** - Influencia de los oceános Pacifico y Atlántico tropical sobre los patrones de precipitación en Centroamérica. Thèse. Univ. de Concepción. Chili. 111 p. (1998).

**ALFARO E., CID L., ENFIELD D.** - Relaciones entre la precipitacion en Centroamerica y los oceanos Pacifico y Atlantico tropical. Revista de Investigaciones Marinas, 26, p. 59-69 (1998).

**ALFARO E., CID L.** - Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico tropical. Atmósfera, 12, p. 205-222 (1999).

**ALLAN J., KOMAR P.** - Are ocean waves heights increasing in the Eastern North Pacific? EOS, 81, (47), p. 561; p. 566-567 (2000).

**ALPER L.** - The Intertropical Convergence Zone of the Eastern Pacific region. Bull. Amer. Soc., 26, p. 426-432; 27, p. 15-29; p. 62-66. (1945 - 1946).

**ALPER L.** - Weather over the tropical Eastern Pacific ocean. Bull. Amer. Soc., 27, p. 384-398 (1946).

**ALPER L.** - Notes on the areal distribution of annual mean rainfall over the tropical Eastern Pacific ocean. Bull. Am. Meteorol. Soc., 29, p. 38-41 (1948).

**ALPER L.** - An atmospheric cross-section over the tropical Eastern Pacific during a strong Norther, Nov. 16, 1942. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 32, p. 97-111 (1951).

**ALPER L.** - Panama tornadoes. Bull. Am. Meteorol. Soc., 36, p. 171-172 (1955).

**AMADOR J., ALFARO E.** - La Oscilacion Cuasi Bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parametros superficiales y estratosfericos sobre Costa Rica. Topicos Meteorologicos, 3, (1), p. 45-54 (1996).

**ANTHES R. A.** - Tropical cyclones : their evolution, structure and effects. Meteor. Monogr., 41, Amer. Meteor. Soc., 208 p. (1982).

**ATKINSON G.D.** - Forecaster' s guide to tropicalmeteorology. Air Weather Serv. (MAC) USAF, Tech. Rep. 240 p. (1971).

**BADAN-DANGO A., DORMAN C., MERRIFIELD M., WINANT C.** - The lower atmosphere over the Gulf of California. J. Geophys. Res., 96, (C9), p. 16877-16896 (1991).

**BARBERAN J., GALLEGOS A., PADILLA A. R.** - The Costa Rica Dome during the onset of the 1982-83 El Niño. Trop. Ocean Atm. Newsletter, March 84. (1984).

**BARBIER E.** - Les précipitations colombiennes. Mémoire de DEA, Laboratoire de géographie Physique. Univ. Jean Moulin, Lyon III. (1997).
**BAYLEY H. P.** - Weather of Southern California. Univ. of California Press. 87 p. (1975)
**ALFARO E.** - Influencia de los oceános Pacifico y Atlántico tropical sobre los patrones de precipitación en Centroamérica. Thèse. Univ. de Concepción. Chili. 111 p. (1998).
**BELTRANDO G.** - Variabilité interannuelle des précipitations en Afrique orientale et relations avec la dynamique de l' atmosphère. Thèse. Univ. Aix-Marseille (1990).
**BELTRANDO G., CHEMERY L.** - Dictionnaire du Climat. Références Larousse, 343 p. (1995).
**BERGER A.** - Le climat de la Terre. Un passé pour quel avenir ? Bruxelles, De Boeck Université, 479 p. (1992).
**BERGMAN K. H.** - The climate of autumn 1983. Featuring the conclusion of a major El Niño event. Mon. Wea. Rev., 112, p. 1441-1456 (1984).
**BERTIACCHI C., REPELLI C., ZEBIAK S., KUSHNIR Y.** - The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and the Northeast Brazil monthly precipitation. J. of Climate, 11, p. 551-562 (1998).
**BJERKNES J.** - Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. Mon. Wea. Rev., 97, p. 163-172 (1969).
**BONNISSENT J.** - Ecole nationale de météorologie. Cours de météorologie tropicale : l'équateur météorologique. 58 p. (1989).
**BOTTS A. K.** - The rainfall of Salvador. Mon. Wea. Rev., p. 459-465 (1930).
**BOULET D'HAUTESERRE A.** - La circulation atmosphérique au-dessus du Pacifique central. La Météorologie, 5ème série, 25, p. 85-98 (1973).
**BRADLEY R.S., DIAZ H.F., EISCHED J.K., JONES P.D., KELLY P.M., GOODESS C.M.** - Precipitation fluctuations over Northern hemisphere land areas since the mid-19th century. Science, 237, p. 171-175 (1987).
**BRITO-CASTILLO L., LEYVA-CONTRERAS A., DOUGLAS A. V., LLUCH-BELDA D.** - Pacific Decadal Oscillation and the filled capacity of dams on the rivers of the Gulf of California continental watershed. Atmósfera, 15, p. 121-139 (2002).
**BROOKS, C. E. P.** - The meteorology of Belize, British Honduras, 1888-1917. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 44, p. 305-306 (1918).
**BROTAK E. A. -** Prdeicting severe agricultural freezes. National Weather. Digest., 13, (1), p. 15-19 (1986).
**BRYSON R. A., LOWRY W. P.** - Synoptic climatology of the Arizona precipitation singularity. Bull. Amer. Soc., 36, p. 329-345 (1955).
**BURAC M.** – "L'ouragan Mitch en Amérique Centrale 23 octobre-5 novembre 1998"., p. 185-198 in : *Les Antilles terres à risques* – Terres d'Amérique n°2. – Paris : GEODE Caraïbes ; Karthala., 311 p. (1999).
**CADET D., GARNIER R.** - L'oscillation australe et ses relations avec les anomalies climatiques globales. La Météorologie, 7ème série, 21, p. 4-18 (1988).
**CAPAROTTA S., WALSTON D, YOUNG S., PADGETT G.** – In : FAQ, Miami Hurricane Center. Site de la NOAA. [en ligne]. Disponible sur : http://www.nhc.noaa.gov (Page consultée le 7 mars 2004).
**CARDONE V. J., GREENWOOD J. G.** - On trends in historical marine wind data. J. of Climate, 3, (1), p. 113-127 (1990).
**CARLETON A. M., CARPENTER D. A., WESER P. J.** - Mechanisms of interannual variability of the Southwest United States summer rainfall maximum. J. of Climate., 3, p. 999-1014 (1990).

**CARLOS EVER MORALES.** - Tecnicas para el pronostico de Nortes. Publicacion tecnica, 11. Servicio Meteorologico, Recursos naturales. Ministerio de agricultura y Ganaderia. El Salvador C.A.
**CAVAZOS T., HASTENRATH S.** - Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. Interna. J. of Climate,10, p. 377-386 (1990).
**CAVAZOS T.** - Large scale circulation anomalies conductive to extreme precipitation events and derivation of daily rainfall in Northeastern Mexico and Southeastern Texas. J. of Climate, 12., (5), p. 1506-1523 (1998).
**CENTELLA. A.** - Escenarios de cambio climatico para Guatemala. Guatemala, Enero de 2000 (2000).
**CHABOUD R.** - La Météo, questions de temps. Paris, Nathan, 288 p. (1993).
**CHACON R. E., FERNANDEZ W.** - Temporal and spatial rainfall variability in the mountainous region of the Reventazon river basin, Costa Rica. J. of Climatology, 5, p. 175-188 (1985).
**CHAPPEL L. T.** - Winds and storms on the isthmus of Panama. Mon. Wea. Rev., 55, p.519-530 (1927).
**CHRISTY J. R., TRENBERTH K. E., ANDERSON J. R.** - Large-scale redistribution of atmospheric mass. J. of Climate, 2, (2), p. 137-148 (1989).
**CIFEG, France (Centre International pour la Formation et les Echanges Géologiques).** - Rapport réalisé par le Centre de recherche sur l'épidémologie des désastres de l'Université catholique de Louvain (UCL). Office humanitaire de Communauté Européenne (ECHO). (1996).
**COMBY J.** - Les paroxysmes pluviométriques dans le couloir rhodanien et ses marges. Thèse. Univ. Lyon III, Labor. De Climatologie (1998).
**CORRALES ALMENDAREZ L.** - Rythmes climatiques et saisonniers de la région occidentale du Nicaragua et Grenade. Mémoire de Maîtrise C.R.C Dijon. 27 p. (1993).
**CORRALES ALMENDAREZ L.** - Recherche sur les rythmes pluviométriques bimodaux dans la région occidentale du Nicaragua (côte pacifique). D.E.A., C.R.C Dijon. 51 p. (1995).
**CORTES-VASQUEZ M.** - Variaciones intraestacionales de la actividad convectiva en México y América Central. Atmósfera, 13, p. 95-108 (2000).
**CRESSMAN, GEORGE P.** - Some relations between high and low latitudes circulations. Dept. Meteor., Univ. Chicago. Misc. Rep., 24, part II. (1948).
**DAS P.K.** - Monsoons. WMO, 613, Geneva, 155 p. (1986).
**DAVIS R.E., DOLAN R., DEMME G.** - Synoptic climatology of Atlantic coast North-Easters. Interna. J. of Climatology, 13, p. 171-189 (1993).
**DE LA LANZA G., GALINDO-E I.** - ENSO 1986-87 at mexican subtropical Pacific offshore waters. Atmósfera., 2, p. 17-30 (1989).
**DEMANGEOT J.** - Les milieux « naturels » du globe. Paris, Masson, 313 p. (1994).
**DEMANGEOT J.** - Tropicalité. Géographie physique intertropicale. Armand Colin, 340 p. (1999).
**DE MOOR G., VEYRE PH.** - Les bases de la météorologie dynamique. Cours et manuels, 6, Direction de la Météorologie Nationale, 312 p. (1991).
**DESBOIS M.** - 1983 : une année d' anomalies climatiques. La Recherche, 150, (14), p. 1588-1590 (1983).
**DESER C., WALLACE J.M.** - Large-scale atmospheric circulation features of warm and cold episodes in the tropical Pacific. J. of Climate , 3, (11), p. 1254-1281 (1990).
**DE SOUZA E. B., AMBRIZZI T.** - ENSO impacts on the south american rainfall during 1980's : Hadley and Walker circulations. Atmósfera., 15, p. 105-120 (2002).

**DHONNEUR G.** - Traité de météorologie tropicale, 1, Météo. Nat. Paris, 151 p. (1985).
**DIAZ H.F., HOLLE R. L., THORN Jr. R. L.** - Precipitation trends and water consumption related to population in the southwest U.S., 1930-1983. J. of Climate Appl. Meteor., 24, p. 145-153 (1985).
**DIAZ H.F., BRADLEY R.S., EISCHEID J.K.** - Precipitation fluctuations over global land areas since the late 1800' s. J. of Geophys. Res., 94, (DI), p. 1195-1210 (1989).
**DIAZ A., STUDZINSKI C., MECHOSO C.** - Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. J. of Climate, 11, p. 251-271 (1998).
**DI MEGO G.J., BOSART L.F., ENDERSEN G.W.** - An examination of the frequency and mean conditions surronding frontal incursions into the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. Mon. Wea. Rev., 104, p. 709-717 (1976).
**DOLLFUS O.** - L'Amérique latine, approche géophys ique générale et régionale. Paris, Bordas, p. 11-40 (1973).
**DOUGLAS M. W., MADDOX R. A., HOWARD K., REYES S.** - The Mexican Monsoon. J. of Climate, 6, p. 1665-1777 (1993).
**DUNN-GORDON E.** - Cyclogenesis in the tropical Atlantic. Bull. Amer. Meter. Soc., 21, p. 216-229 (1940).
**DUPLESSY J.C., MOREL P.** - Gros temps sur la Planète. Paris, 0. Jacob, 296 p. (1990).
**EAKER 1. C.** - Tropical meteorology. USAF manual, 105-10 (1945). Trad. fr., Mét. Nat., Paris (1950).
**ELLIS G. R.** - El Veranillo en Panama. Geofisica internacional, Mexico, 2. (1962).
**ENFIELD D.B.** - El Niño, past and present. Rev. of Geophysics, 27, (2), p. 159-187 (1989).
**ENFIELD D.** - Relationships of inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. J. Res. Lett., 23, (23), p. 3305-3308 (1996).
**ENFIELD, D., and D. MAYER.** - Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Nino-Southern Oscillation. J. Geophys. Res., 102 (C1), p. 929-945 (1997).
**ENFIELD D., ALFARO E.** - The dependance of Caribbean rainfall on the interaction of the tropical Atlantic and Pacific oceans. J. of Climate, 12, p. 2093-2103 (1999).
**ENGLEHART P. J., DOUGLAS A. V.** - México summer rainfall patterns : an analysis of regional modes and changes in their teleconnectivity. Atmósfera., 15, p. 147-164 (2002).
**ESCOURROU G.** - Climatologie pratique. Masson, 176 p. (1978).
**ESTIENNE P., GODARD A. -** Climatologie. A. Colin, coll. U, 367 p. (1970).
**EXTERBRINK H.** - Invasiones de aire frio en los Tropicos. Veröff. Meteor. Inst. Berlin Band I Heft 4. (1936).
**FARRELL B.F** - Evolution and revolution in cyclogenesis theory. The life cycles of extratropical cyclones. Gronas S. and Shapiro M.A. eds., Bergen, 1, p. 101-110 (1994).
**FAVRE A.** - Le changement climatique récent dans le Pacifique Nord-Est. Thèse en cours de rédaction. Univ. Lyon III. Labor. De Climatologie.
**FERNANDEZ-PAPTAGAS J., ESTOQUE M. A.** - Characteristics of the ITCZ over Eastern Pacific, 5-8 june 1979. Mon. Wea. Rev., 113, (1), p. 99-105 (1984).
**FLOHN H.** - ITCZ and Meteorological Equator. Bon. Met. Abh., 5, p. 49-57 (1965).
**FLOHN H.** - Le temps et le climat. Univers des connaissances, Hachette, Paris, 253 p. (1968).
**FLOHN H.** - Tropical circulation patterns. Bon. Met. Abh., 15, p. 1-55 (1971).
**FLOHN H., KAPALA A., KNOCHE H. R., MACHEL H. -** Recent changes of the tropical water and energy budget and mildlatitude circulation. Climate Dynamics, 4, p. 237-252 (1990).

**FOLLAND C.K., KARL T. R., VINNIKOV K. Y. A.** - Observed climate variations and change. Climate Change, the IPCC Scientific Assessments, Cambridge University Press, p. 200-238 (1990).
**FONTAINE B.** - Variations pluviométriques et connexions climatiques : les aires de mousson indienne et ouest-africaine. Sécheresse, 2, (4), p. 259-264 (1991).
**FORBES G.S., BLACKALL R.M., TAYLOR P.L.** - Blizzard of the century- the storm of 12-14 March 1993 over the eastern United States. The Met. Magazine, 122, (1452), p. 153-162 (1993).
**FRANK W. M.** - Tropical cyclone formation. A global view of tropical cyclones, R. L. Elsberry, Ed., U.S. Office of Naval Research., p. 53-90 (1987).
**FRITZ S.** - Precipitation over Northern Honduras and the Icelandic low in December. Mon. Wea. Rev., 114, p. 250-252 (1986).
**GALINDO I.** - El fenómeno El Niño : Oscilación Suriana en las costas del Pacífico mexicano. Memoria, II reunión indicativa de actividades regionales relacionadas con la oceanografía. Com. Intersec. Inv. Oceanogr., Ver., México. (1987).
**GARBEL M.** - Tropical and equatorial meteorology. New york. (1947).
**GARCIA E., MOSIÑO P. A.** - Los climas de Baja California. Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional. Memoria 1966-1967. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM). p.29-57 (1968).
**GARCIA E.** - Algunos aspectos climaticos de la region situada al oeste del istmo de Tehuantepec. Bol. Del Inst. De Geogr. Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM), 2, p.1-25 (1969).
**GARCIA E.** - Distribucion de la precipitacion en la Republica mexicana. Bol. Del Inst. De Geogr. Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM), 5, p. 7-20 (1972).
**GARCIA E.** - Precipitacion y probabilidad de la lluvia en la Republica mexicana y su evaluacion (Chiapas y Tabasco). Secretaria de la Presidencia, comision de estudios del territorio nacional (CETENAL), np, 200 p. (1977).
**GARCIA I. P.** - About the premature and tardy frosts that occurred over the central plateau of Mexico and were associated with some tropical cyclones. Atmósfera, 3, p. 143-164 (1990).
**GARCIA I. P.** - Major cold air outbreaks affecting coffee and citrus plantations in the Eastern and Northeastern Mexico. Atmósfera, 9, p. 47-68 (1996).
**GAY C., CONDE C.** - Global and diffuse radiation at the surface (1978-85) evidence of El Niño and El Chichón. Atmósfera, 3, p. 281-290 (1990).
**GENTILL J.** - Dynamics of the australian troposphere. Climates of Australia and New Zealand. World Survey of Climatology, 13, Elsevier Publ., p. 53-117 (1991).
**GIERLOFF-EMDEN H. G.** - Inventario y contribuciones a los fundamentos físico-geográficos de El Salvador. Sonderdruck aus den Mitteilungen der Geogr. Ges. Hamburg Band 53. (1958).
**GLOERSEN P.** - Modulation of hemispheric sea-ice cover by ENSO events. Nature, 373, p. 503-506 (1995).
**GNININVI A.** - Evolution saisonnière des pluies en Amérique du Sud équatoriale. Mémoire de Maîtrise C.R.C Dijon. 50 p. (1976).
**GODARD A., TABEAUD M.** - Les climats. Mécanismes et répartition. Cursus, A. Colin, 191 p. (1993).
**GOUROU P.** - Etude de climatologie tropicale. Paris, Masson, p. 3-22 (1976).
**GOUROU P.** - L'Amérique tropicale et australe. Hachette-Université, 432 p. (1976).
**GRANDOSO H.** - Efectos indirectos de ciclones tropicales y precipitaciones intensas. p. 43-52, in seminario de San Salvador, 12-21 Febrero 1976 sobre precipitaciones intensas e

inundaciones en aeras tropicales de America Latina. Organisation Météorologique Mondiale (OMM), Genève, 353 p. (1977).
**GRANDOSO H.** - Estudio meteorologico de las inundaciones de Diciembre 1970 en Costa Rica. Geofisica internacional, 18, p. 129-176 (1979).
**GRANDOSO H., de MONTERO A. V., CASTRO V.** - Caracteristicas de la atmosfera libre sobre Costa Rica y sus relaciones con la precipitacion. Informe semestral del Instituto Geogr. Nacional de Costa Rica (Enero-Junio de 1981), p. 11-52 (1981).
**GRANDOSO H., ZARATE E., VEGA N.** - Analises en la escala synoptica y la mesoescala de un frente frio sobre America Central. Informe semestral del Instituto Geogr. Nacional de Costa Rica (Julio-Diciembre de 1982), p. 3-39 (1982).
**GRAY, W.** - Global view of the origin of tropical disturbances and storms. Mon. Wea. Rev., 96, p. 669-700 (1968).
**GRAY, W.** - Tropical cyclone genesis. Dept. Of Atmos. Sci. Paper, 234, Colorado State Univ., Fort Collins, CO, 121 p. (1975).
**GRAY, W.** - Hurricanes : their formation, structure and likely role in general circulation. Meteorology over tropical oceans, D. B. Shaw, Ed., Royal Meteorology Socity, p. 155-218 (1979).
**GRAY, W.** - Recent advances in tropical cyclone research from Rawinsond Composite Analysis. World Meteorological Organisation (WMO). 407 p. (1981).
**GRAY, W.** - Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi Biennial Oscillation influences. Mon. Wea. Rev., 112, p. 1649-1668 (1984).
**GRAY, W.** - Atlantic seasonal hurricane frequency. Part II : forecasting its variability. Mon. Wea. Rev., 112, p. 1669-1683 (1984).
**GUICHARD L. O.** - Etude comparée des cycles annuels de précipitations et de végétation en Amérique du Sud intertropicale. D.E.A., C.R.C Dijon. 49 p. (1996).
**GUZMAN LOPEZ G. T.** - Meteorologia sinoptica y climatologia de Centro America, especialmente de El Salvador. Publicacion tecnica, 13. Servicio meteorologico, Recursos naturales. Ministerio de agricultura y Ganaderia. El Salvador C.A. (1971).
**HALE J. E.** - Surges of maritime tropical air Northward over the Gulf of California. Mon. Wea. Rev., 100, p. 298-306 (1972).
**HALE J. E.** - Southwestern United States Summer Monsoon source- Gulf of Mexico or Pacific ocean? J. of Appl. Met., 13, p. 331-340 (1974).
**HALPET M. S., ROPELEWSKI C. F., KARL T. R., ANGELL J. K., STOWE L. L., HEIM R. R., MILLER A. J., RODENHUIS D. R.** - 1992 brings return to moderate global temperature. EOS, 74, (38), p. 437-439 (1993).
**HAMILTON R. S.** - Large scale patterns associated with major freeze episodes in the agricultural southwest. NOAA Technical Memorandum. NWS WR-191. (1985).
**HASTENRATH S., LESSMANN H.** - Mapa preliminar de la producción anual de lluvia en El Salvador. Servicio Meteorologico Nacional. El Salvador. Publicación Técnica, 3, p.18. (1963).
**HASTENRATH S.** - Climate dynamics of the Tropics. Kluwer Acad. Publ., 488 p.(1991).
**HASTENRATH S. -** Recent advances in the tropical climate prediction. J. of Climate, 8, p. 1519-1532 (1995).
**HASTING J. R., TURNER R. M.** - Seasonal precipitation regimes in Baja California. Mexico. Geografiska Annaler, 47 A, (4). (1965).
**HENDERSON-SELLERS A., ROBINSON P. J.** - Contemporary climatology. Longman Scientific and Technical, 439 p. (1986).

**HENDERSON-SELLERS A., ZHANG H., BERZ G., EMANUEL K., GRAY W., LANDSEA C., HOLLAND G., LIGHTHILL J., SHIEH S. L., WEBSTER P., McGUFFIE K.** - Tropical cyclones and global change : a post-IPCC assessment.Bull. of the Amer. Soc., 79, (1), p. 19-38 (1998)

**HENRY W.K.** - Some aspects of the fate of cold fronts in the Gulf of Mexico. Mon. Wea. Rev., 107, p. 1978-1982 (1979).

**HURD E.W. -** Northers of the Gulf of Tehuantepec. Mon. Wea. Rev. (1929).

**JANICOT S.** - Variabilité des précipitations en Afrique de l' ouest et circulations quasi-stationnaires durant une phase de transition climatique. Thèse. Univ. Paris VI. (1990).

**JANOWIAK J. E.** - The global climate of december 1989-february 1990 : extreme temperature variations in North America, persitant warmth in Europe an Asia, and the return of ENSO-like conditions in the Western Pacific. J. of Climate, 3, (6), p. 685-709 (1990).

**JAUREGUI-OSTOS E.** - Los sistemas de tiempo en el Golfo de Mexico y su vencidad. Bol. Del Inst. Geogr., Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM), 6, p. 7-45 (1975).

**JAUREGUI-OSTOS E.** - El impacto de los huracanes en la precipitación en el norte de México. Ingeniería Hidráulica en México. Sept. – Dec. p. 43-50 (1989).

**JAUREGUI-OSTOS E.** - Climatology of landfalling hurricanes and tropical storms in Mexico. Atmósfera, 16, p.193-204 (2003).

**JOHNSON A. M.** - The climate of Peru, Bolivia and Equador. Climates of Central and South America, World Survey of Climatology, 12, Elsevier Sc., p. 147-218 (1976).

**JOLY A.** - Le Front Polaire : un concept dépassé... qui a la vie dure. La Recherche, 273, (26), p. 28-135. Débat sur le Front Polaire, La Météorologie, 12. (1995).

**JONES P. D.** - Le climat des mille dernières années. La Recherche, 219, p. 304-312 (1990).

**KAPALA A., MÄCHEL H., FLOHN H.** - Changes of sea-air interaction parameters at both sides of the Panama Canal and at the equatorial East Pacific. Atmósfera, 7, p.61-74 (1994).

**KNAFF J.** - Implications of summertime sea level pressure anomalies in the tropical Atlantic region. J. of Climate, 10, p. 789-804 (1997).

**KOUSKY V. E., LEETMA A.** - The 1986-87 Pacific warm episode : evolution of oceanic and atmosferic anomaly fields. J. of Climate, 2, (3), p. 254-267 (1989).

**LABEYRIE J.** - L' Homme et le climat. Paris, Denoël, 282 p. (1993).

**LAHEY J. F.** - On the origin of dry climate in Northern South America and the Southern Caribbean. Univ. Wisc. Dept. Meteorol., Sci. Rep., 10, 290 p. (1958).

**LAMARRE D.** - Pluies et formations nuageuses sur l'amérique isthmique: essai de climatologie dynamique satellitaire. Thèse de doctorat, univ. de Bourgogne Dijon, deux volumes, 563 p. (1991).

**LAMARRE D.** - Note sur les Nortes. ITEEM, Poitiers, journées "Climat et Société", Le Mans, 1995, p. 125-128 (1997).

**LANDSEA C. W.** - A climatology of intense (or major) atlantic hurricanes. Mon. Wea. Rev., 121, p. 1703-1713 (1993).

**LANDSEA C. W., NICHOLLS N., GRAY W. M., AVILLA L. A.** - Downward trends in the frequency of intense atlantic hurricanes during the past five decade. Geophys. Res. Lett., 23, p. 1697-1700 (1996).

**LARCEN M. C., WIECZORECK G. F., SCOTT EATON L., MORGAN B. A., TORRES-SIERRA H.** - Venzuelan debris flow and flash flood disaster of 1999 studied. EOS., p. 572-573 (2001).

**LATORRE-D. C., PERILLA L.** - Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. Atmósfera, 1, p. 99-112 (1988).

**LEBORGNE J.** - Les cyclones. Que sais-je ?, 2261, PUF, 123 p. (1986).

**LENOIR Y.** - Climat de panique. Favre, Lausanne, 217 p. (2001).
**LEROUX M.** - La dynamique des précipitations en Afrique occidentale. Publ. Dir. Expl. Météo., 23, ASECNA, Dakar, 282 p. (1970).
**LEROUX M.** - Les principales discontinuités africaines : FIT et CIO., in La structure continue de l'Equateur Météorologique sur l'Afrique intertropicale. Publ. DEM, 29, ASECNA, Dakar, p. 22-36 (1973).
**LEROUX M.** - Le champ de vent en altitude en Afrique occidentale et centrale. Publ. Dir. Expl. Météo., 34, ASECNA, Dakar, 126 p. (1974).
**LEROUX M.** - Processus de formation et d'évolution des Lignes de Grains de l'Afrique tropicale septentrionnale. Rech. De Clim. Trop., 1, CRCTA, Univ. Dakar, 159 p. (1976).
**LEROUX M.** - Températures marines et précipitations sur les littoraux de l'Afrique tropicale. Norois, 116, p. 479-497 (1982).
**LEROUX M.** - Le climat de l' Afrique tropicale. EdH. Champion/M. Sltatkine, Paris/ Genève, t.l. : 636 p., 349 fig., t. 2 : notice et atlas de 250 cartes. (1983).
**LEROUX M.** - L' Anticyclone Mobile Polaire: facteur premier de la climatologie tempérée. Bull. Assoc. Géogr. Fr., 4, Paris, p. 311-328 (1986).
**LEROUX M.** - L'Anticyclone Mobile Polaire, relais des échanges méridiens : son importance climatique. Géodynamique 2, (2), p. 161-167 (1987).
**LEROUX M.** - La variabilité des précipitations en Afrique occidentale : les composantes aérologiques du problème. Veille Climatique Satellitaire, 22, ORSTOM, Lannion, p. 26-45 (1988).
**LEROUX M. –** Les échelles du climat et la classification génétique des climats tropicaux. Univ. Jean Moulin/CNRS UA 260, Lyon, France. Publication de l'AIC; Vol.2, p. 163-170 (1989).
**LEROUX M.** - Natural protection and voluntary extension of the tropical african forest cover. R. Paepe et al; (eds). Greenhouse effect, sea-level and drought, NATO, C235, p. 241-252 (1990).
**LEROUX M.** - Les conditions dynamiques moyennes du climat de la France. Rev. De Géogr. De Lyon, 65, (2), p. 63-79 (1990).
**LEROUX M.** - Perception « statistique » et réalité dynamique. Transport méridien en masse extratropical, agglutination anticyclonique et circulation linéaire tropicale. Publ. Association Internationale de Climatologie (AIC), 5, p. 157-167 (1992).
**LEROUX M.** - L' Équateur Météorologique en AfriqueDu Front Intertropical: FIT et ZIC, à l' Équateur Météorologique: EMI et EMV, évolution d' un concept. Publ. Association Internationale de Climatologie (AIC), 5, p. 145-156 (1992).
**LEROUX M.** - La dynamique des situations météorologiques des 21-22 et 26-27 septembre 1992 dans le sud du couloir rhodanien. Rev. de Géogra. de Lyon, 68, (2-3), p. 139-152 (1993).
**LEROUX M. -** L'automne pluviométrique 1993 dans le sud du couloir rhodanien. Rev. De Géogra. De Lyon, M.Leroux éd., 68, (4), p. 259-263 (1993).
**LEROUX M.** - The Mobile Polar High: a new concept explaining present mechanisms of meridional airmass and energy exchanges and global propagation of palaeoclimatic changes. Global and Planetary Change, 7, p. 69-93 (1993).
**LEROUX M.** - La circulation zonale dite « de Walker » en Afrique: mythe ou réalité ? Publ. Association Internationale de Climatologie (AIC), 6, p. 487-496 (1994).
**LEROUX M.** - Interprétation météorologique des paléoenvironnements observés en Afrique depuis 3 000 ans. Géo-Eco-Trop, 16, (1-4), Bruxelles, p. 207-258 (1994).
**LEROUX M.** - Sécheresse et dynamique de la circulation dans l' hémisphère nord. Publ. Association Internationale de Climatologie (AIC), 6, p. 69-82 (1994).

**LEROUX M.** - Dynamique du temps et du climat dans l'espace Atlantique nord. Publ. Association Internationale de Climatologie (AIC)/météo-France, 7, p. 354-364 (1995).
**LEROUX M.** - Circulation méridienne, agglutinations anticycloniques et déserts tropicaux. Mém. Soc. Géol. De France, Déserts tropicaux et changements globaux, n°sp., 167, p. 11-23 (1995).
**LEROUX M.** - Commentaire sur "Les pluies diluviennes et les inondations..." de Giorgetti et al. In La Météorologie, 8, (6), 1994. La Météorologie, 9, (3), p. 63-65 (1995).
**LEROUX M.** - Le temps dans les régions polaires et tempérées. Feuille ronéo, Journées de Climatologie, Le Mans 6-7 avril 1995. (1995).
**LEROUX M.** - La dynamique de la grande sécheresse sahélienne. Numéro "Sahel" de la Rev. de Géogra. de Lyon, 70, (3-4), M.Leroux éd., p. 223-232 (1995).
**LEROUX M.** - La dynamique du temps et du climat. Enseignement des Sciences de la Terre, Masson Ed., Paris, 310 p. (1996 et deuxième édition de 2001, 368 p.).
**LEROUX M.** - Dynamics analysis of weather and climate. Wiley-Praxis series in Atmosferic Physics, J. Wiley ed., london, New york, 365 p. (1998).
**LEROUX M.** - L'évolution récente du temps… et si on se trompait ? Catastrophes naturelles, alés extrêmes et niveau de protection de référence. Recueil des textes, sessions 2000, Société Hydrotechnique de France (SHF), édition prov., 19 p. (2000).
**LEROUX M.** - Analyse météorologique des pluies torrentielles du 12 et 13 novembre 1999 dans le Languedoc-Roussillon. Geocarrefour, 75, p. 179-188 (2000).
**LEROUX M.** - Les phénomènes extrêmes récents s'inscrivent-ils dans une évolution perceptible du temps ?. Geocarrefour, 75, p. 261-270 (2000).
**LEROUX M.** - The dynamics of climate of tropical africa. Praxis-Springer Verlag, Heidelberg, London, New York, 550 p. + CD : 300 p. (2001).
**LEROUX M.** - Les climats subtropicaux dits "méditerranéens" et les climats de la Méditerranée (première partie). L'information géographique, 4, p.304-320 (2001).
**LEROUX M.** - Les climats subtropicaux dits "méditerranéens" et les climats de la Méditerranée (deuxième partie). L'information géographique, 1, p.34-52 (2002).
**LEROUX M. -** Global warning : mythe ou réalité ? Annales de Géographie, 624, A. Colin, p. 115-137 (2002).
**LEROUX M.** - Le réchauffement climatique. Fusion, 95, p.36-58 (mars-avril 2003).
**LESSMANN, H. -** Caracteristicas de la lluvia en El Salvador. Bol. Lluvia El Salvador, 1956, p. 56-63 (1956).
**LESSMANN, H. -** Synoptic and climatological views of rainfall in Central America (especially El Salvador). In : Proceedings of symposium on tropical meteorology, Rotorua, New Zealand, 5-13 Nov. 1963; Wellington, New Zealand. (1964). p. 295-303 (1963-64).
**LINK O.** - Las Ondas Frias en Norteamerica y las invasiones en Centroamerica. Dissertation. Univ. Würzburg. (1934).
**LOPEZ., ELPIDIO. -** Estudio sobre Nortes. Sociedad cientifica Antonio Alzale. Tomo 41.
**LUCIO R.** - Le legitimidad de las inferencias, dos probables periodos del tiempo y teoría de los ciclones tropicales. Imprenta Reveles, México, D. F., 344 p. (1930).
**MAGAÑA V., AMADOR J. A., MEDINA S.** - The Midsummer Drought over Mexico and Central America. J. of Applied Meteorology, 34, (11), p. 2491-2498 (1998).
**MANTUA N. J., HARE S. R., ZHANG Y., WALLACE J. M., FRANCIS R. C.** - A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with impacts on salmon production. Bull. of the Am. Met. Soc., 78, (6)., p. 1069-1079 (1997).

**MARN** - Informe preliminar sobre los aspectos ambientales vinculados al desastre natural ocurrido en Venezuela durante el mes de diciembre de 1999, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Venezuela, (rapport non publié), 55 p. (2000).
**MARTONNE E. de** - Traité de géographie physique, 7ème édition, A.Colin, Paris. (1955).
**Mc BRIDE J. L.** - Tropical cyclone formation. Global perspectives on tropical cyclones, R. L. Elsberry, Ed., World Meteorological Organisation (WMO), p. 63-105 (1981).
**MILLAS, J. C.** - Los Nortes en La Habana. Arch. Inst. Nacl. Hidrol. Climatol. Medicas, 1, p. 29-44 (1946).
**MILLER A.** - The climate of Chile. Climates of Central and South America, World Survey of Climatology, 12, Elsevier Sc., p. 113-145 (1976).
**MINETTI JUAN L., VARGAS WALTER M.** - Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S. Atmósfera, 11, p. 205-221 (1997).
**MOOLEY A., PARTHASARATHY B.** - Fluctuations in all-India Summer Monsoon rainfall during 1871-1978. Climatic Change, 6, p. 287-301 (1984).
**MORGAN M. R., POCKLINGTON R.** - Northern hemispheric temperature trends from instrumental surface air records. SCMO Bull., 23, (4-5), p. 3-5 (1995).
**MORTIMER E. B., JOHNSON G. A.** - Major arctic outbreaks affecting Lousiana. National Weather. Digest, 13, (1), p. 5-14 (1986).
**MOSIÑO A. P., GARCIA E.** - The climate of Mexico. World Survey of Climatology, 11, New York, USA. (1974).
**MOSIÑO A. P., MORALES T.** - Los ciclones tropicales. El Niño y las lluvias en Tacubaya, D. F. Geofís. Int., 27, p. 61-82 (1988).
**MOSIÑO A. P., REYNA T.** - Carta de la Sequía Intraestival. Atlas de México. Universidad Nacional Automna de Mexico (UNAM). (1992).
**MOURA A. D., SHUKLA J.** - On the dynamics of droughts in Northeast Brazil : observations, theory and numerical experiment with a GCM. J. Of the Atmosphere. Sc., 38, p. 2653-2675 (1987).
**NEIBURGER M., JOHNSON D. S., CHIEN C. W.** - Studies of the structure of the atmosphere over the Eastern Pacific ocean. I. The inversion. Univ. Of Calif. Publ. Met., 1, 94 p. (1961).
**NEUMANN C. J., CRY G. W., CASO F. L., JERVINEN B. R.** - Tropical cyclones of the North Atlantic ocean, 1871-1980. NOAA Special Publication., 174 p. (1985).
**NIEBAUER H. J.** - Effects of ENSO and North Pacific weather patterns on interannual variability in the subartic Bearing sea. EOS, 23, p. 119-120 (1988).
**NIEUWOLT S.** - Tropical climatology. London, 207 p. (1977).
**NOWLIN Jr. W. D., PARKER C. A.** - Effect of cold-air outbreak on shelf water of the Gulf of Mexico. J. Phys. Ocean., 4, p. 467-480 (1974).
**OSCAR VILLENEUVE G.** - Glossaire de Météorologie et de Climatologie. Choronoma, 5, Presses de l' Univ. Laval, 648 p. (1980).
**PAGNEY P.** - Climat des antilles. Univ. de Paris., 2 volumes texte et atlas., 380 p. + 304 p. d'atlas. (1966).
**PAGNEY P., FRECAUT R.** - Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial. Masson, Paris, 239 p. (1983).
**PAGNEY P.** - Les climats de la Terre. Masson, Paris, 166 p. (1994).
**PALMEN E., NEWTON W.** - Atmospheric circulation systems, their structure and physical interpretation. Geophys. Res., 13, 603 p. (1969).
**PAWLING, J. W.** - The climate of Central America. Thesis, Clark Univ., Worcester, Mass. (non publiée). (1956).

**PEANT A. C.** - Variabilité pluviométrique sur la côte ouest africaine et migration de la ZCIT de 1970 à 1989. Mémoire de Maîtrise C.R.C Dijon. 46 p. (1992).
**PEDELABORDE P.** - Les moussons. A. Colin, Paris, coll.U, 221 p. (1970).
**PEDELABORDE P.** - Introduction à l'étude scientifique du climat, SEDES, Paris, 246 p. (1982).
**PEGUY Ch. P.** - Précis de climatologie. Masson, Paris, 468 p. (1970).
**PEIXOTO J., OORT A.** - The physics of climate. American Institute of Physics, New York, 520 p. (1992).
**PEREYRA D., PALMA B., BARRIENTOS A.** - El Niño y su relación con las lluvias de Jalapa, Veracruz, México. GEOS. Bol. Unión Geofís. Mex., 10, p. 11-15 (1991).
**PEREYRA D., ANGULO-CORDOVA Q., PALMA-GRAYEB.** - Effect of ENSO on the Mid-Summer Drought inVeracruz State, Mexico. Atmósfera, 7, p. 111-219 (1994).
**PEREYRA D., PALMA B., ZITACUARO C. -** Correlation between Northers of Gulf of México and frosts at Las Vigas, Veracruz, México. Atmósfera, 5, p. 109-118 (1992).
**PHILANDER, S. G.** - El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. Academic Press, 293 p. (1990).
**POMMIER A.** - Evolution de la dynamique de l'espace nord atlantique 1950-2000 et phénomènes violents consécutifs sur l'Europe occidentale. Thèse en cours de rédaction. Univ. Lyon III. Labor. De Climatologie.
**PORTIG, W. H.** - El pronostico del tiempo en Centro America. Die Umschau, 1957, p. 212-213 (1957).
**PORTIG, W. H.** - Nortes y su pronostico con instrumentos a bordo. Der Seewart, p. 159-164 (1958).
**PORTIG, W. H.** - Paso frontal en Centro America. Meteor. Rdsch., 11, p. 112-116 (1958).
**PORTIG, W. H.** - El Temporal de fines de Octubre de 1957. Meteor. Rdsch., 11, p. 150-156 (1958).
**PORTIG, W. H.** - Influencias remotas de huracanes en Centro America. Der Seewart, p. 12-16 (1959).
**PORTIG, W. H.** - Air masses in Central America. Bull. Am. Meteorol. Soc., 40, p. 301-304 (1959).
**PORTIG, W. H.** - Contribuciones a la meteorologia de Centro America (especialmente de El Salvador). Deutscher Wetterdienst Hamburg, Einzelveröffentlichungen, 28. (1960).
**PORTIG, W. H.** - Central american rainfall. Geograph. Rev., 55, p.68-90 (1965).
**PORTIG, W. H.** - The climate of Central America. In World Survey of Climatology, 12, Climates of Central and South America. Elsevier. (1976).
**POSMENTIER E.S., CANE M.A., ZEBIAK S.E.** - Tropical Pacific climate trends since 1960. J. of Climate, 2, (7), p. 731-736 (1989).
**QUIROZ R. S.** - The climate of El Niño winter of 1982-83 : a season of extraordinary climatic anomalies. Mon. Wea. Rev., 110, p. 1685-1706 (1983).
**RAMAGE C. S.** - Monsoon meteorology. Academic Press, New York, N.Y., 296 p. (1971).
**RAMIREZ P.** - Estudio meteorologico de los Veranillos en Costa Rica. Inst. Meteo. Nacional, nota de investigacion, 5, 27 p., 16 fig. (1983).
**RASMUSSON E.M., CARPENTIER T. H.** - Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. Mon. Wea. Rev., 110, p. 354-384 (1982).
**RASMUSSON E.M.** - El Niño: the ocean/atmosphere connection. Oceanus, 27, p 5-12 (1984).
**RASMUSSON E.M.** - Tropical Pacific variations. Nature, 327, p. 192. (1987).

**RATISBONNA L.R.** - The climate of Brazil. Climates of Central and South America, World Survey of Climatology, 12, Elsevier Sc., p. 219-293 (1976).
**REITAN C. H.** - The role of precipitable water in Arizona's summer rains. Tech. Rep. On Meteorology and climatology of arid regions, 2, Inst. of Atmos. Phys., Univ. of Arizona, Tucson, 18 p. (1957).
**RENARD R. J., BOWMAN W. N.** - The climatology and forecasting of Eastern North Pacific ocean tropical cyclones. NEPRF Tech. Paper 7, (76), 79 p. (1976).
**REYES-COCA S.** - Influence de l'océan Pacifique est sur la météorologie et la climatologie du Mexique. Thèse de météorologie, Univ. de Paris VI, 275 p. (1988).
**REYES RIVERA L.** - Communicaciones del ingeniero Leopoldo Reyes Rivera, jefe de la sección sinóptica del S.M.N. de El Salvador. (1967).
**REYES S., CADET D. L.** - The southwest branch of the North American Monsoon during summer 1979. Mon. Wea. Rev., 116, pp. 1175-1187 (1988).
**REYES S., VILLALOBOS D., HASIMOTO R., GARCIA J.** - Analysis of the level III-b FGGE data set over the tropical Americas. Technical Report. CICESE, Ensenada, B. C., México, 65 p. (1985).
**REYES S., DOUGLAS M. W., MADDOX R. A.** - El Monzón del Suroeste de Norteamérica. Atmósfera, 7, p. 117-137 (1994).
**REYES A. C., VOGEL G.** - Estudio preliminar de las condiciones meteorologícas y climatológicas alrededor del Golfo de California, primera parte: análisis del viento. Ciencias Marinas, 10, (2), p. 42-64 (1984).
**REYES A. C., VOGEL G.** - Estudio preliminar de las condiciones meteorologícas y climatológicas alrededor del Golfo de California, primera parte: análisis del viento. Ciencias Marinas, 10, (2), p. 09-26 (1984).
**REYES A. C., VOGEL G.** - Estudio preliminar de las condiciones meteorologícas y climatológicas alrededor del Golfo de California, segunda parte: análisis de los parámetros termodinámicos. Ciencias Marinas, 10,(2), p. 45-64 (1984).
**REYES A. C., ROJO S. P.** - Variabilidad de la precipitación en la peninsula de Baja California. Revista Geofísica, 22-23, p. 111-128 (1985).
**REYES A. C., LAVIN M. F.** - Effects of the autumn-winter meteorology upon the surface heat loss in the Northern Gulf of California. Atmósfera, 10, p. 101-123 (1997).
**REYNA T. T.** - Estudios climáticos y sus possibles aplicaciones en Mexico. Memoria de la reunión : Análisis de la problematica del agua y sus perspectivas para la modernización de su uso en la agricultura de Guanajuato. Celaya, Gto., p. 46-57 (1990).
**RICHARDS A., VIZCAINO E. F., DEZZANI R. J.** - The El Niño/Southern Oscillation and precipitation variability in Baja California, Mexico. Atmósfera, 13., p. 1-20 (2000).
**RICHARDS P. W.** - The tropical rain forest. Cambridge University Press, London, 450 p. (1964).
**RIEHL H.** - Tropical meteorology. McGraw-Hill, New York. N.Y., 392 p. (1954).
**RIEHL H.** - Mechanisms of the general circulation of the troposphere. In General Climatology, chap. 1, World Survey of Climatology, 2, p. 1-37 (1969).
**RIEHL H.** - Introduction to the atmosphère. Mc Graw Hill, New York, 516 p. (1972).
**RIEHL H.** - Venezuelan rain systems and the general circulation of the summer tropics. 1) rain systems. Mon. Wea. Rev., 105, p. 1402-1433 (1977).
**RIEHL H.** - Climate and weather in the Tropics. Academic Press, 611 p. (1979).
**ROCHAS R., JAVELLE J.P.** - La Météorologie. La prévision numérique du temps et du climat. Météo-France, Syros/Alternatives, 262 p. (1993).

**ROGERS J.C.** - Precipitation variability over the Caribbean and tropical America associated with the Southern Oscillation. J. of Climate, 1, p. 172-182 (1988).
**ROGERS J.C., ROHLI R.V.** - Florida citrus freezes and polar anticyclones in the Great Plains. J. of Climate, 4, (11), p. 1103-1113 (1991).
**RODEN G. I.** - Large scale upwelling of the Northwestern Mexico. J. of Physical Oceanography, 2, (2), p. 184-189 (1971).
**ROPELEWSKI C.F., HALPERT M.S.** - Global and regional scale précipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. Mon. Wea. Rev., 115, p. 1606-1626 (1987).
**ROPELEWSKI C.F.** - The North American Monsoon System. The global climate systems review. WMO, 856, p. 53. (1996).
**ROSSBY C. G., WEIGHTMAN R. H.** - Relations between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the deplacement of semi-permanent centers of action. J. Mar. Res., 2, (1), p. 38-55 (1939).
**RUDLOFF W.** - El Temporal del 29/09 al 01/10/1953 en San Salvador. Wetterkarte des Seewetteramtes, Deutscher Wetterdienst Hamburg, Jahrgang 1, p.316-317 (1953).
**RUDLOFF W.** - Clima y lluvia en El Salvador. Atlas censal de El Salvador. Dirección general de estadística y censos. Ministerio de economía. San Salvador. (1955).
**RUMINSKI M.** - Two unusual tropical cyclones in the Southeast Pacific. Mon. Wea. Rev., 119, (1), p. 218-222 (1991).
**SADOURNY R.** - Le climat de la Terre. Dominos, 28, Flammarion, 126 p. (1994).
**SALINA-ZAVALA C. A., LEYVA-CONTRERAS A., LLUCH-BELDA D., DIAZ-RIVERA E.** - Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, Mexico. Atmósfera, 3, p. 217-237 (1990).
**SALCEDO D. A.** - Los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999, en el estado Vargas y en Caracas : características y lecciones apprendidas, Memorias XVI Seminario Venezolano de Geotecnica. Caracas., p. 128-175 (2000).
**SALINA-ZAVALA C. A., LLUCH-BELDA D., HERNANDEZ-VASQUEZ S., LLUCH-COTA D. B.** - La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. Atmósfera,11, p. 29-44 (1998).
**SALINA-ZAVALA C. A., LLUCH-COTA D. B., HERNANDEZ-VASQUEZ S., LLUCH-BELDA D.** - Anomalías de precipitación en Baja California Sur durante 1990. Posibles causas. Atmósfera, 5, p. 79-93 (1992).
**SALVIA, L. -** Historia de los Temporales de Puerto Rico (1508-1949). San Juan, Puerto Rico. (1950).
**SANCHEZ SANTILLAN NORMA, DE LA LANZA ESPINO GUADALUPE.** - The influence of regional climate in a lagoon in northeastern Mexico. Atmósfera, 9, p. 201-221 (1996).
**SAUSSURE H. de.** - Coup d'œil sur l'hydrologie du Mexique. Extrait des Mémoires de la société de géographie de Genève, 196 p., cartes. (1862).
**SCHIETECAT G.D.** - Les photos météorologiques ; interprétations et utilisation de photos météorologiques prises par satellite. Bruxelles, Institut Royal Météorologique de Belgique, 240 p. (1984).
**SCHMIDT M.** - Possible influences of solar radiation variations on the atmospheric circulation in the Northern hemisphere of the Earth. Climate Change, 8, p. 279-286 (1986).
**SCHNEIDER V., SCHONWIESE C.** - Some statistical characteristics of El Niño/Southern Oscillation and North Atlantic Oscillation Indices. Atmósfera, 2, p. 167-180 (1989).
**SCHONHER T., NICHOLSON S. E.** - The relationship between California rainfall and ENSO events. J. of Climate, 2, (11), p. 1258-1269 (1989).

**SCHWERDTFEGER W.** - Climates of Central and South America. World Survey of Climatology, 12, elseiver, 532 p. (1976).
**SECOND WEATHER GROUP.** - Climatological studies, N-2, weather and climate of South America. Air weather service (USAF). Langley air force base, 239 p. (1962).
**SELLERS W. D., HILL R. H.** - Arizona climate, 1931-1972, Univ. of Arizona Press, Tucson, 50 p. (1974).
**SERRA C. S.** - Hurricanes and tropical storms of the West-Coast of Mexico. Mon. Wea. Rev., 99, p. 302-308 (1971).
**SERVAIN J., SEVA M.** - On relationship between tropical Atlantic sea surface temperature, wind stress and regional precipitation indices : 1964-1984. Ocean-Air Interactions, 1, p. 183-190 (1987).
**SHUKLA J.** - Mechanisms for tropical variability. WMO symposium on meteorological aspects of tropical droughts, Brazil. TMP report series, 15, WMO, p. 81-86 (1984).
**SIKKA D. R.** - ENSO and the Summer Monsoon of India. JSC/CCCO TOGA. WMO/TD, 199, WCP-41. (1987).
**SIMPSON R. H.** - Synoptic aspects of the Intertropical Convergence near Central and South America. Bull. Amer. Meteor. Soc., 28, p. 335-346 (1945).
**SNOW J.W.** - The climate of Northern South America. Climates of Central and South America, World Survey of Climatology, 12, Elsevier Sc., p. 295-403 (1976).
**SORKINA A. I.** - Atmosferic circulation and the related wind fields over the North Pacific. Gidrometeorologicheskoe Izdatel'stvo (Otdelemie). Moscou. 218 p. (1963).
**STEENBURGH W. J., SCHULTZ D. M., COLLE B. A.** - The structure and evolution of Gap Outflow over the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Mon. Wea. Rev., 126, (10), p. 2673-2691 (1997).
**STENSRUD D. J., GALL R. L., MULLEN S. L., HOWARD K. W.** - Model climatology of the Mexican Monsoon. J. of Climate, 8, p. 1775-1794 (1995).
**STUMPF H. G.** - Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. J. of Physical Oceanography, 5, (2), p. 383-387 (1974).
**TANG M., REITER E. R.** - Plateau Monsoons of the Northern hemisphere : a comparaison between North America and Tibet. Mon. Wea. Rev, 112, p. 617-637 (1984).
**TEJEDA M. A., SANCHEZ J. F., PEREZ S. A.** - Comparación gráfica de la temperatura media anual y de la precipitación total anual de Xalapa, contra los índices de anomalías climáticas globales en el periodo 1923-1988. Bol. Unión. Geofís. Mex. (1992).
**THEPENIER R. M.** - Etudes des perturbations nuageuses de l'hémisphère nord : rôle de la convection dans la cyclogénèse. Thèse. Sc. Phys., Univ. Paris VI. (1983).
**TRENBERTH K. E.** - Recent climate changes in the Northern hemisphere. Greenhouse-gas-induced clim. Change : a critical appr. Of sim. And obs. Elsevier, p. 377-390 (1991).
**TREWARTHA, G. T.** - An introduction to climate. Mc Graw-Hill book compagnie, inc. 402 p. (1954).
**TREWARTHA, G. T.** - The earth's problem climates. The Univ. of Wisconsin Press, Madison, Wisc., 334 p. (1961).
**TRIPLET J.P., ROCHE G.** - Météorologie générale. École Nationale de la Météorologie, 317 p. (1988).
**TUCKER F.** – The Summer Plateau Low Pressure System of Mexico. J. of Climate, 12, (4), p. 1002-1015 (1998).
**UMATANI S., YAMAGATA T.** - Response of the Eastern Tropical Pacific to meridional migration of the ITCZ : the generation of the Costa Rica Dome. J. of Physical Oceanography, 21, (2), p. 346-363 (1990).

**URRITIA-EVANS C.** - Cinquantes années de météorologie au Guatemala. Bull. OMM, 25, p. 11-16 (1976).
**U.S HYDROGRAPHIC OFFICE.** - Sailing directions for the West Indies. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., H.O. Publ., 129, 250 p. (1949).
**U.S. WEATHER BUREAU.** - Weather summury, South America, Northern and Northwestern Part. Hydrographics Office, U.S. Navy Department, Washington, D.C., H.O. Publ. 528, 166 p. (1945).
**VEYRET-MEKDJIAN Y.** - Géographie des risques naturels. Documentation photographique, 8023, p.24-25; 34-35 (octobre 2001).
**VIAUT A.** - La météorologie. Que-sais-je ? 89, Paris, PUF. (1942).
**VIGNEAU J.P –** Géoclimatologie. Univ. Géo. Ellipses, 334 p. (2000).
**WAIBEL L.** - Nortes y Foehn en Chiapas. Meteor. Zeit. Heft 7. (1932).
**WALKER G. T.** - World weather, I and II. Memoirs India Met. Dept., 24, p. 75-131; 275-332 (1923-24).
**WALKER G. T., BLISS E. W.** - World Weather, V. Mem. Roy. Met. Soc., 4, (36), p. 53-84 (1932).
**WANG W. C., LI K.** - Precipitation fluctuation over semiarid region in Northern China and the relationship with ENSO. J. of Climate, 3, (7), p. 769-783 (1990).
**WATTS I. E. M.** - Equatorial weather. Pitman, New York, N.Y., 224 p. (1955).
**WAYLEN P. R., CAVIEDES C. N., QUESADA M. E.** - Interannual variability of monthly precipitation in Costa Rica. J. of Climate, 9, (10), p. 2606-2613 (1996).
**WAYNE-HIGGINS R., DOUGLAS A., HAHMANN A., BERBERY E. H., GUTLZLER D., SHUTTLEWORTH A., STENSRUD D., AMADOR J., CARBONE R., CORTEZ M., DOUGLAS M., LOBATO R., MEITIN J., ROPELEWSKI C., SCHEMM J., SCHUBERT S., ZHANG C.** - Progress in pan American CLIVAR research : the North American Monsoon System. Atmósfera, 16, (1), p. 25-65 (2003).
**WEARE B. C.** - Moisture variations associated with el Niño events. Variations in the global water budget. D. Reidel Pub., p. 273-284 (1983).
**WHYSALL K. D. B., COOPER N. S., BIGG G. R. -** Long-term changes in the tropical Pacific surface wind field. Nature, 327, p. 216-219 (1987).
**W.M.O** - The global climate system. Climate system monitoring. 1984-86 (1987); 1986-88 (1989); 1988-91 (1992).
**W.M.O.** - International meteorological vocabulary. WMO, 182, Geneva. (1992).
**W.M.O** - WMO statement on the status of the global climate... in 1993, WMO, 809 (1994), ... in 1994, WMO, 826 (1995).
**WRAIGHT J.** - A climatic survey of Cuba. Dissertation, Clark Univ., Worcester, Mass., 161 p. (unpublished). (1951).
**WYRTKI K.** - El Niño. La Recherche, 10, p. 1212-1220 (1979).
**ZHANG J., CROWLEY T. J.** - Historical climate records in China and reconstruction of past climates. J. of Climate, 2, (8), p. 833-849 (1989).
**ZARATE-HERNANDEZ E.** - Principales sistemas de vientos que afectan a Costa Rica y sus relaciones con la precipitacion. Tesis de licenciatura de fisica. Univ. de Costa Rica. (1977).
**ZEHNDER JOSEPH A., GALL R. L.** - Alternative mechanisms of tropical cyclone formation in the Eastern North Pacific. Atmósfera, 4, p. 37-51 (1991).
**ZEHNDER JOSEPH A., VELAZQUEZ GILBERTO, AND FARFAN LUIS M. -** The modulation of deep convection over the Gulf of Tehuantepec by Easterly Waves. Atmósfera, 13, p. 185-195 (2000).

**ZHANG Y., WALLACE J. M., BATTISTI D. S.** - ENSO like interdecadal variability : 1900-1993. J. of Climate 10, p. 1004-1020 (1997).
**ZISHKA K. M., SMITH P. J.** - The climatology of cyclones and anticyclones over North America and surronding ocean environs for january and july, 1950-77. Mon. Wea. Rev, 108, (4), p. 387-401 (1980).