

UNIVERSITÉ JEAN MOULIN LYON 3
ECOLE DOCTORALE «SYSTÈMES, IMAGES, LANGAGES»

THÈSE

Sous la direction du Professeur M. LEROUX

Présentée pour l'obtention du diplôme de
DOCTORAT GÉOGRAPHIE AMÉNAGEMENT

Spécialité
CLIMATOLOGIE

ANALYSE OBJECTIVE DE LA DYNAMIQUE AEROLOGIQUE DE BASSES COUCHES DANS L'ESPACE ATLANTIQUE NORD : MECANISMES ET EVOLUTION DE 1950 A 2000

Présentée et soutenue par **POMMIER ALEXIS**,
le 9 décembre 2005 devant le jury composé de :

J.P BESANCENOT, Directeur de Recherches CNRS : Examineur (rapporteur)

J. COMBY, Professeur des Universités : Examineur

S. GOYETTE, Maître-assistant (Suisse) : Examineur

J.P. VIGNEAU, Professeur des Universités: Examineur (rapporteur)

M. LEROUX, Professeur des Universités Émérite: Directeur de thèse

Travaux effectués au
Laboratoire de Climatologie-Risques-Environnement, CRGA, CNRS UMR 5600
Université Jean Moulin
18 Rue Chevreul 69007 Lyon, France

UNIVERSITÉ JEAN MOULIN LYON 3
ECOLE DOCTORALE «SYSTÈMES, IMAGES, LANGAGES»

THÈSE

Sous la direction du Professeur M. LEROUX

Présentée pour l'obtention du diplôme de
DOCTORAT GÉOGRAPHIE AMÉNAGEMENT

Spécialité
CLIMATOLOGIE

ANALYSE OBJECTIVE DE LA DYNAMIQUE AEROLOGIQUE DE BASSES COUCHES DANS L'ESPACE ATLANTIQUE NORD : MECANISMES ET EVOLUTION DE 1950 A 2000

Présentée et soutenue par **POMMIER ALEXIS**,
le 9 décembre 2005 devant le jury composé de :

J.P BESANCENOT, Directeur de Recherches CNRS : Examineur (rapporteur)

J. COMBY, Professeur des Universités : Examineur

S. GOYETTE, Maître-assistant (Suisse): Examineur

J.P. VIGNEAU, Professeur des Universités: Examineur (rapporteur)

M. LEROUX, Professeur des Universités Émérite: Directeur de thèse

Travaux effectués au
Laboratoire de Climatologie-Risques-Environnement, CRGA, CNRS UMR 5600
Université Jean Moulin
18 Rue Chevreul 69007 Lyon, France

«Y a-t-il des déserts parce qu'il ne pleut pas ou bien ne pleut-il pas parce qu'il y a des déserts?»

Question d'un étudiant de Licence 1 de géographie, année universitaire 2003-2004, Université Lyon 3.

«Il n'y a pas de mauvaise neige, il n'y a que des mauvais skieurs»

Proverbe norvégien.

«Le nombre de cigognes diminue en Allemagne, la natalité baisse en Allemagne: C'est bien la preuve que les nouveau-nés sont apportés par les cigognes»

Inconnu

«Chacun, ayant sa vérité, détient une parcelle de la Vérité. Ainsi progresse le sage, ainsi l'intolérant sème la discorde»

India dreams, tome 2, 2003 Maysc et J.F Charles, Casterman.

REMERCIEMENTS

Cette thèse m'a conduit, m'a imprégné nuits après jours et donc a été le moteur principal de mon existence pendant 1/6 de mon temps passé sur cette Terre.

Grâce aux exigences intellectuelles (rigueur, concentration, sens critique etc...) demandées par ce type d'exercice, aux phases de profonde morosité lorsque les hypothèses semblent se diriger vers une impasse ou que la rédaction s'éternise en d'innombrables versions toutes aussi fades les unes que les autres, aux phases de joie intense lorsque les résultats permettent de répondre aux hypothèses de travail ; je peux affirmer que cette thèse m'a construit en tant qu'individu et même citoyen.

Durant ces cinq années, je me suis (très) souvent posé la question : Que ferais-je et comment serais-je actuellement si je n'avais pas tenté de réaliser une thèse de géoclimatologie ? Je ne sais pas vraiment (bien qu'ayant quelques idées) mais il est certain que je serais différent. En bien ou en mal (qui peut en juger), peu importe. L'essentiel réside dans le fait que ce parcours a contribué à mon épanouissement.

Ce travail ayant eu un si grand impact sur moi, qu'il me soit permis ici de remercier ceux qui y ont participé de près ou de loin.

Tout d'abord et avant tous, je veux ici remercier trois personnes en une seule, **Monsieur le Professeur M. Leroux** :

- *le pédagogue* : Je me souviendrai toute ma vie de mon premier cours de climatologie en DEUG II avec cette démonstration sur la nécessité et l'intérêt d'avoir un esprit critique sur toutes les informations auxquelles nous sommes confrontés en permanence (y compris les enseignements universitaires). Votre enthousiasme et votre méthodologie dans la conduite de vos cours m'ont été en outre utiles tant à l'Université quand j'ai eu la chance d'être ATER que durant l'hiver lorsque j'enseigne le ski.

- *le chercheur* : par votre parcours et vos écrits, vous avez été une sorte de fil conducteur sur la démarche à suivre à chaque pas de cette thèse.

- *le directeur de thèse* : grâce à vos conseils, aux encouragements, à la liberté totale d'étude et à votre disponibilité (relire des fautes grossières alors que les cigales chantonnent sur la terrasse) vous avez été un tuteur, à mon sens, exemplaire.

Alice Favre et Alexandre Gershunov. Merci à vous deux pour m'avoir autorisé à utiliser l'algorithme de reconnaissance des trajectoires des anticyclones et des dépressions sans lequel cette thèse aurait été assurément moins pertinente.

Antonin Abhervé. Malgré tes études prenantes, tu as chaque fois attentivement écouté mes envies d'analyses afin de les transcrire en lignes de programmes efficaces qui ont contraint les anticyclones et les dépressions à livrer un peu plus de leurs secrets, alors Merci beaucoup.

Les membres du jury : **J.P. Besancenot** (Directeur de recherches CNRS, Université de Bourgogne Dijon), merci d'avoir accepté d'être rapporteur et examinateur de mon doctorat, malgré vos charges de travail. **J. Comby** (Professeur des Universités, Université Jean Moulin Lyon 3), merci d'avoir mis à ma disposition les moyens du LCRE et merci pour vos conseils afin que je trouve mon chemin dans les méandres de l'administration universitaire. **S. Goyette** (Maître-Assistant, Université de Fribourg, Suisse), merci de faire partie de ce jury et merci pour l'aide précieuse que vous m'avez fourni (par les documents issus du modèle canadien) lors de la période de maturation du sujet et merci à **J.P. Vigneau** (Professeur des Universités, Université de Paris X), notamment pour vos encouragements et vos remarques constructives.

Les membres du laboratoire et les camarades de fac depuis la première année, Merci pour votre soutien et pour les discussions autour de nos travaux respectifs.

Merci, aux **chercheurs rencontrés dans les différents colloques** auxquels j'ai eu la chance de participer. Par votre intérêt ou au contraire votre profond scepticisme vis à vis de mes résultats vous m'avez poussé à aller plus loin dans les analyses afin que mes conclusions soient les plus rigoureuses possibles.

A la Famille, Merci. Par l'envoi de revue de presse sur tel ou tel phénomène météorologique (au combien éloigné de mon sujet parfois), par le questionnement à chaque réunion de famille sur l'avancement de la thèse ou sur les dernières catastrophes climatiques et leurs éventuelles causes, vous avez constamment été une source de motivation supplémentaire.

Aux copains de ski, de télémark, de tennis, d'escalade, de fiestas et de voyages, Merci pour m'avoir offert à chaque fois un bol d'air (au propre comme au figuré) indispensable pour repartir au travail plein d'entrain et d'énergie.

A mes parents, Merci. Malgré des années assez difficiles à me supporter, vous m'avez toujours épaulé lors de mes choix de vie successifs. De plus, je veux ici vous remercier pour votre soutien matériel et moral durant toutes ces années universitaires, sans lequel.....

Enfin, **Isabelle**. Tu as tout supporté (les relectures, les récits des enchaînements de réflexions dont tu ne connaissais ni la genèse ni le but, les pertes de fichiers, les vrais résultats et les fausses conclusions etc.....), stoïquement, tranquillement comme ton tempérament le permet. Ce tempérament si contrasté avec le mien dont la pondération n'a d'égal que la constance a si souvent tempéré mes ardeurs et mes emportements. Tu as ainsi renforcé l'efficacité de mon travail.

Toute ton aide peut être résumée par la question rituelle que tu m'as posée tous les soirs en forme d'encouragement, en rentrant de l'école où tu enseignes: «Alors cette bonne thèse, aujourd'hui?».

Alors Merci, Merci Beaucoup.

SOMMAIRE

RESUME.....	9
ABSTRACT	12
1. INTRODUCTION	13
 Partie I. Le socle analytique : reconstitution et examens des trajectoires des anticyclones et des dépressions	
2. BASES DE DONNÉES ET MÉTHODES	26
2.2 L'algorithme de reconstruction des trajectoires des anticyclones et des dépressions.....	26
2.2.1 Historique des méthodes de reconstruction des trajectoires	26
2.2.2 Présentation de l'algorithme utilisé pour la reconstruction des trajectoires.....	28
2.2.3 Structure de l'algorithme.....	29
2.3 Post-traitements et filtres analytico-statistiques à partir des résultats de l'algorithme	31
2.3.1 Obtention des bases de données de références	31
2.3.2 Etablissement des fichiers permettant les analyses.....	32
2.4 Validation de la méthode	33
2.5 Précautions d'utilisation des résultats de l'algorithme.....	37
3. CARACTERISTIQUES DES TRAJECTOIRES DES ANTICYCLONES.....	39
3.1 Liste des caractères majeurs.....	39
3.2 Tous les anticyclones	40
3.2.1 Analyses des données moyennes	40
3.2.2 Analyse de l'évolution à partir des séries temporelles	42
3.2.3 Analyses selon les aires d'apparition en fonction des longitudes.....	51
3.3 Les anticyclones américano-atlantiques.....	53
3.3.1 Analyses des données moyennes	53
3.3.2 Analyses de l'évolution à partir des séries temporelles	71
3.3 Les anticyclones groenlando-scandinaves	82
3.3.1 Analyses des données moyennes	82
3.3.2 Analyses de l'évolution à partir des séries temporelles	95
3.4 Similitudes / différences entre les anticyclones américano-atlantiques et les anticyclones groenlando-scandinaves	104
3.4.1 Analyses des données moyennes	104
3.4.2 Analyses des séries temporelles.....	109
3.5 Conclusions sur les analyses des anticyclones.....	116
3.5.1 Tous les anticyclones.....	116
3.5.2 Les anticyclones américano-atlantiques	117
3.5.3 Les anticyclones groenlando-scandinaves	117
3.5.4 Différences principales entre les deux trajectoires	118
Synthèse	120
4. CARACTERISTIQUES DES TRAJECTOIRES DES DEPRESSIONS	122
4.1 Liste des caractères majeurs.....	122
4.2 Les dépressions : analyses des données moyennes	123
4.2.1 Données moyennes sur la période	123
4.2.2 Les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles	124
4.2.3 Densités de passage selon les saisons	126
4.2.5 Régions de génération en longitude des dépressions.....	130
4.2.6 Régions de comblement des dépressions en latitude	133
4.2.7 Régions de comblement des dépressions en longitude	136
4.2.8 Analyses des dépressions selon les seuils de pression.....	139
4.2.9 Densités de passage des dépressions en fonction des seuils de pression	142

4.3 Analyses de l'évolution à partir des séries temporelles	143
4.3.1 Tableaux de tendances d'évolution des variables en fonction des seuils de pression	143
4.3.2 Evolutions des variables à l'échelle annuelle et saisonnière	145
4.3.3 Evolutions de certaines caractéristiques selon les seuils de pression en valeurs hivernales	152
4.3.4 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions et l'ONA.....	153
4.3.5 Comparaisons des coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa	155
4.3.6 Examens à partir d'Analyse en Composantes Principales (ACP)	159
4.3 Conclusions	160
Synthèse	162

Partie II. La dynamique aérologique de l'Atlantique Nord et les dépressions profondes

5. LA CIRCULATION GENERALE DE BASSES COUCHES	165
5.1 Historique succinct des schémas de circulation générale.....	165
5.2 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions et des anticyclones.....	168
5.2.1 Avec les dépressions inférieures à 1000 hPa	168
5.2.2 Avec les dépressions inférieures à 990 hPa	168
5.2.3 Avec d'autres dépressions	169
5.3 Analyses croisées des caractéristiques des anticyclones et des dépressions selon les différentes échelles de temps	169
5.3.1 En valeurs annuelles	170
5.3.2 En valeurs JFM.....	170
5.3.3 En valeurs AMJ	171
5.3.4 En valeurs JAS.....	171
5.3.5 En valeurs OND.....	172
5.4 Les latitudes d'apparition des anticyclones et des dépressions.....	172
5.4.1 En valeurs annuelles	173
5.4.2 En valeurs JFM.....	174
5.5 Les latitudes d'agglutination des anticyclones et de comblement des dépressions	176
5.5.1 En valeurs annuelles	177
5.5.2 En valeurs JFM.....	177
5.6 Trajectoires des anticyclones	178
5.7 Positions et étendues des Agglutinations Anticycloniques (AA des Açores et AA des Bermudes) et des Réunions Dépressionnaires.....	180
5.7.1 Centres d'actions versus Agglutinations Anticycloniques et Réunions Dépressionnaires.....	180
5.7.2 Cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles.....	182
5.7.3 Evolution sur la période à différentes échelles de temps.....	185
5.8 Extension spatiale des pressions réduites au niveau de la mer de certaines régions-clés	190
5.8.1 Superficie couverte par des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada)	191
5.8.2 Superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie)	192
5.8.3 Superficie couverte par des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores)	193
5.8.4 Comparaisons entre les régions-clés.....	194
5.9 Extensions spatiales des températures au-dessus de certaines régions-clés.....	195
5.9.1 Superficie hivernale couverte par des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) en JFM.....	195
5.9.2 Superficie hivernale couverte par des températures supérieures à 20 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (Açores)	197

5.9.3 Superficie hivernale couverte par des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses)	198
5.9.4 Superficie hivernale couverte par des températures inférieures à - 2,5 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).....	199
5.9.5 Comparaisons entre les régions-clés en période hivernale	200
5.10 Liens entre superficies et fréquences des anticyclones et des dépressions inférieures à 990 hPa	201
5.11 «Modèle de circulation générale de surface» en période hivernale (JFM)	202
5.11.1 Mode de circulation	202
5.11.2 Evolution de la dynamique au cours de la période 1950-2000	203
5.11.3 Structure de la circulation de surface dans l'espace atlantique.....	204
5.12 Limites et critiques du schéma.....	207
5.13 Point de vue sur le concept Anticyclone Mobile Polaire (AMP).....	208
Synthèse	211
6. L'INDICE DE DYNAMIQUE AEROLOGIQUE DE L'ATLANTIQUE NORD (IDAN)	215
6.1 Etat de la question sur les grands indices climatiques de l'Atlantique nord	215
6.1.1 Historique de l'Oscillation Nord-Atlantique (ONA)	215
6.1.2 L'ONA, méthodes de calculs de l'indice.....	217
6.1.3 Limites de l'indice et problématique	218
6.2 La méthode de construction de l'IDAN	221
6.2.1 Choix des fichiers	221
6.2.2 L'IDAN: construction	221
6.3 Les résultats et les interprétations	222
6.3.2 Ecart et explications des écarts entre l'IDAN et l'ONA	223
6.4 Possibilités explicatives, potentialités de l'IDAN.....	226
6.4.2 Représentations des variations de certains paramètres climatiques de stations météorologiques.....	229
6.4.3 Représentations des variations de certaines caractéristiques des dépressions <970 hPa ...	234
6.4.5 Explications des constats repris dans différents graphiques de l'ONA en JFM	235
6.4.6 Explications des évolutions de la dynamique aérologique	238
6.6 Conclusions	242
Synthèse	244
7. ANALYSES DES DÉPRESSIONS PROFONDES DES SAISONS FROIDES	245
7.1 Les éléments constitutifs de l'occurrence des dépressions profondes en JFM	249
7.1.1 L'apparition des dépressions	249
7.2.1 Les caractères des trajectoires	256
7.4.3 Le comblement	259
7.4.4 Résumé	261
7.2 Application de la méthode pour d'autres périodes.....	266
7.2.1 La saison automnale (OND)	266
7.2.2 Les dépressions inférieures à 960 hPa en ONDJFM	267
7.2.3 Les tempêtes de décembre 1999 sur l'Europe occidentale	268
7.3 Conclusions	274
Synthèse	276
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	278
ANNEXES.....	286
TABLE DES FIGURES.....	297
TABLE DES TABLEAUX	301
BIBLIOGRAPHIE	306
GLOSSAIRE.....	314

RESUME

Le comportement jour après jour des anticyclones et des dépressions, notamment lorsqu'il est établi sur une longue période, rend compte de la variabilité climatique.

Pour vérifier cette hypothèse, nous avons reconstruit (grâce à un algorithme) les trajectoires des anticyclones et des dépressions sur l'espace Atlantique nord de 1950-2000, afin d'évaluer les modifications de leurs caractéristiques : fréquence, pression, latitudes (minimales, maximales, moyennes), longitudes (minimales, maximales, moyennes), durée, distance, vitesse de déplacement.

En ce qui concerne les anticyclones, les conclusions principales indiquent que :

- deux aires de génération existent, de part et d'autre du Groenland,
- depuis 1970, l'espace balayé par les anticyclones gonfle vers l'équateur.

En ce qui concerne les dépressions, les analyses montrent essentiellement que :

- les trajectoires sont plus méridiennes en hiver et en automne, tandis qu'elles sont plus zonales durant l'été,
- la région de densité maximale de passage se situe au sud-sud-est du Groenland,
- deux phases se succèdent dans l'évolution des caractéristiques, la première de 1950 à 1970 et la seconde jusqu'en 2000, notamment pour les valeurs annuelles et hivernales. La seconde phase est caractérisée par un gonflement vers le nord de l'espace couvert par les dépressions, qui sont en outre plus nombreuses, plus profondes et plus rapides.

Dans la nature, les anticyclones et les dépressions sont dynamiquement indissociables. La seconde partie de notre étude a donc pour objectif de produire un schéma d'ensemble de la circulation générale de basses couches, qui prenne bien en compte les évolutions associées des anticyclones et des dépressions. Il existe deux modes différents déterminant l'intensité de la circulation :

- un mode contrasté (ou actif), marqué par un refroidissement du bassin arctique occidental, des anticyclones peu fréquents, capables d'atteindre des latitudes plus méridionales et des dépressions nombreuses, profondes et se déplaçant à des trajectoires plus septentrionales (typiquement JFM 1990),
- un mode «homogène» (ou lent) qui est le pendant du mode précédent (typiquement JFM 1969) avec des anticyclones fréquents restant à des latitudes septentrionales et des dépressions peu nombreuses et de faible intensité.

Une infinité de séquences possibles est dérivée de ces deux modes et la répétition de situations similaires sur une période (mois, saison, année ...) permet d'évaluer l'évolution climatique. On observe en outre que, les conclusions des analyses précédentes constituent une confirmation des points essentiels du concept Anticyclone Mobile Polaire (AMP).

Il existe un indice climatique connu depuis 80 ans représentant la variabilité climatique de l'Atlantique Nord et des continents qui le bordent : l'Oscillation Nord Atlantique (ONA). Cet indice est basé sur la différence des pressions moyennes de deux lieux fixes représentant les centres de gravité au sens plus ou moins large des «centres d'actions» de cet espace climatique. Ce chapitre est ainsi consacré à l'établissement d'un indice s'affranchissant de ces

contraintes de fixité dans l'espace et de la notion de moyenne de pression, par l'utilisation exclusive des variations des caractéristiques des trajectoires des anticyclones et des dépressions. Cet indice dénommé Indice de la Dynamique Aérologique de l'Atlantique Nord (IDAN) apporte un complément très fiable à l'ONA, sachant que les deux indices sont corrélés à $R = 0,76$ pour les valeurs annuelles, et respectivement 0,76 ; 0,62 ; 0,58 ; 0,64 pour les valeurs saisonnières (JFM, AMJ, JAS, OND). La structure de construction de l'IDAN est basée sur plusieurs caractéristiques : fréquence, pressions (maximales, minimales et moyennes), durée, distance, latitudes (minimales, maximales et moyennes), longitudes (minimales, maximales et moyennes), vitesse, de chacune des composantes de la circulation générale de basses couches. Cet indice permet donc de déterminer avec précision les facteurs prédominants de l'évolution de la dynamique aérologique. Cette méthode d'analyse permet ainsi d'expliquer les variations de la dynamique au cours de la période 1950-2000, quelle que soit l'échelle de temps considérée, en pénétrant davantage (que les moyennes de pression) les mécanismes de la circulation de l'atmosphère.

Finalement, à partir de cette somme de résultats, nous décrivons le schéma des phénomènes de surface concourant à l'existence des dépressions profondes afin de comprendre l'évolution de la fréquence des dépressions atlantiques profondes de 1950 à 2000.

La dynamique aérologique conduisant à l'occurrence des dépressions les plus profondes est une exacerbation du mode contrasté, défini dans le chapitre consacré à la circulation générale de basses couches. L'existence des dépressions profondes relève d'un double mécanisme ayant comme moteur le refroidissement du bassin arctique occidental. Quand le déficit thermique s'intensifie :

- les anticyclones sur l'Amérique du nord sont alors plus froids, ce qui a pour effet d'accroître le «contraste thermique» avec leur environnement,
- les flux advectés au sein des couloirs dépressionnaires sont plus intenses et plus énergétiques, car ils sont issus d'alizés renforcés. Ces vents viennent de zones plus chaudes et se déplacent plus rapidement car les anticyclones précédents en gardant une meilleure cohérence d'ensemble ont été capables de former une agglutination anticyclonique des Açores plus étendue vers le sud et de pression plus élevée.

In fine dans les régions propices à la cyclogenèse (c'est-à-dire, sur la côte orientale de l'Amérique du nord et majoritairement au large de Terre Neuve), une augmentation du gradient thermique existe entre les anticyclones et leur environnement. Ce surcroît d'énergie alimente les dépressions qui peuvent ainsi se développer jusqu'au stade de tempêtes (ce processus est favorisé par l'absence simultanée d'anticyclones groenlando-scandinaves sur la route des dépressions).

De 1950 à 2000, ces conditions ont connu des variations qui sont illustrées tout au long de ce travail :

- de 1950 à 1970, le bassin arctique occidental a subi un froid moins intense («réchauffement relatif»), conduisant à une diminution de puissance des anticyclones. Les dépressions profondes sont donc peu fréquentes,
- de 1970 à 2000, le refroidissement du bassin arctique occidental génère des anticyclones peu fréquents mais très puissants et concentrés sur la trajectoire américano-atlantique. Ils permettent en retour l'arrivée d'alizés chauds, qui accroît le gradient thermique puissant favorable, en liaison avec la puissance accrue des anticyclones, à la génération de dépressions profondes.

Notre hypothèse selon laquelle **«les variations du temps et donc du climat peuvent être expliquées (en grande partie) par les comportements des éléments de la dynamique de basse couches que sont les dépressions et les anticyclones»** apparaît donc comme valide. Par conséquent, notre travail contribue à l'amélioration de la compréhension des mécanismes et de l'évolution de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000, dans l'espace nord Atlantique.

ABSTRACT

The behavior days after days of the Highs and Lows on a long period explain the climate variability. In order to test this hypothesis, we establish by algorithm, the tracks of Highs and Lows from 1950 to 2000 in order to analyse modifications of their features (frequency, pressure, latitude (minimal, maximal, mean), longitude (minimal, maximal, mean), length, distance, speed of displacement).

Concerning the Highs, the main conclusions indicate that:

- two zones of generations exist on both sides of Greenland,
- Highs were able to go southwards,

Concerning the Lows, the essential analyses are that:

- tracks are more meridian in winter and fall and zonal during the summer,
- the zone of maximal densities is located at the south-east of Greenland,
- Lows experienced two successive phases of the evolution. One from 1950 to 1970 and a second from 1970 to 2000 at yearly and winter time scales.
- Lows were able to go northwards, were more numerous and deeper during the last thirty years of the XX^e century.

In Nature, Highs and Lows are inseparable so we try to establish a general circulation scheme at surface layer. Two major patterns clearly appear.

- a strong one, typically JFM 1990. When the western Arctic basin cool down, Highs are less frequent, are able to go southwards and Lows are numerous, deep and experience more norther trajectories,
- a weak one, typically JFM 1969, is the opposite. The western Arctic basin warm up, Highs are more numerous, remain norther and so the Lows are less frequent, weaker and remain souther.

These studies meanly confirm the relevance of Mobile Polar High (MPH) concept.

In order to avoid the problem of fixed calculation process of the North Atlantic Oscillation (NAO), this chapter concern the establishment of a new index strictly based on the features of Highs and Lows. By its structure, this index (North Atlantic Aerological Dynamic Index, NADI) permits to clarify the internal mechanisms involve in the atmosphere dynamic.

All these results permit to describe why and how deep Lows were more or less frequent during 1950-2000:

- from 1950 to 1970 (weak pattern), the western Arctic basin was warming up. So the Highs were less strong and the Lows remain weak,
- from 1970 to 2000 (strong pattern), the western Arctic basin was cooling down, so the Highs were less frequent but cooler and concentrate and the Atlantic-American trajectory. This permit to generate stronger Trade Winds creating a powerful thermal gradient favourable to the existence of deep Lows.

Our hypothesis according to which, **«the variations of the weather and climate can be understood by the analysis of the behaviors of Highs and Lows at surface layer»**, is relevant. Therefore our studies permitted to improve the understanding of the climatic evolution on the period 1950-2000.

INTRODUCTION

Une simple énumération non exhaustive d'événements violents concernant les deux continents bordant l'Atlantique nord depuis 1990, montre que le temps et donc le climat connaissent une forte variabilité, caractérisée par une fréquente occurrence de phénomènes violents.

1.1 La variabilité du temps et du climat

Selon Munchener Rück (2005), premier groupe de réassurance au monde, on peut souligner les phénomènes atmosphériques majeurs, récents, suivants :

Dépressions profondes :

- les 26 et 27-28/12/1999, deux dépressions profondes (Lothar et Martin) balayent l'Europe occidentale, tuent plus de 130 personnes en causant des dégâts estimés à plus de 10 milliards de dollars états-uniens (Md), notamment sur le patrimoine forestier (figure 1.1)



Figure 1.1 Forêt de Fontainebleau avant et après les dépressions profondes de décembre 1999.

- du 10 au 13/12/1992, aux Etats-Unis d'Amérique (EUA) 19 personnes trouvent la mort. Les dommages sont évalués à 3 Md.
- durant les mois de janvier, février et mars 1990, plusieurs dépressions profondes atlantiques s'abattent sur l'Europe tuant plus de 230 personnes et coûtant aux sociétés touchées 15 Md.

Inondations :

- du 8 au 15/08/2002, le bassin versant de l'Elbe est dévasté par les eaux. Le bilan est de 113 victimes, près de 150 000 personnes évacuées et des dégâts matériels estimés à 30 Md.
- début septembre 2002, des inondations consécutives à un «épisode cévenol» sur le Gard et le Vaucluse entraînent 24 décès et 2 Md de dégâts (figure 1.2).



Figure 1.2 Le pont de Russan (au dessus du Gardon), le 9 septembre 2002 et 5 jours après. (Photo de Valérie Stépanoff et photo aérienne de Hugo Snellen, septembre 2002).

- du 05/07 au 10/08/1997, 110 personnes trouvent la mort dans des inondations ayant coûté 5,9 Md en Europe occidentale.
- du 19/01 au 03/02/1995, en Europe occidentale 28 individus décèdent et les dégâts matériels coûtent 3,5 Md.
- du 20 au 28/09/1993 et du 20 au 31/12/1993, des inondations sur l'Europe occidentale occasionnent la mort de 31 personnes. Les dommages sont évalués à 3,5 Md.
- aux Etats-Unis, entre le 27/06 et le 15/08/1993, 50 individus sont tués par les eaux. Le coût matériel s'élève à 15 Md.

Tornades :

- durant l'année 2003, plus de 600 tornades se sont produites au-dessus de la «*Tornado Alley*», alors que le précédent record datant de 1976 s'élevait à 400 tornades répertoriées.
- le 10/11/2002 plusieurs tornades aux Etats-Unis sont les plus violentes enregistrées depuis 50 ans au dessus des états de l'Ohio, du Tennessee, et de l'Alabama.
- du 26 au 29/04/1999, des tornades tuent 33 personnes aux EUA en entraînant 1 milliard de dollars de dégâts
- du 3 au 7/05/1999, se produisent 33 décès et 1 milliard de dollars de dégâts au-dessus de la «*Tornado Alley*». Durant ce printemps, plusieurs tornades (cotées F5) ont ravagé des régions géographiques entières. La figure 1.3 montre la trace au sol laissée par la trajectoire d'une de ces tornades au-dessus d'Oklahoma city.



Figure 1.3. Trace au sol d'une tornade, Oklahoma City, Mai 1999.

- du 26 au 29/04/1999, des tornades tuent 33 personnes aux EUA en entraînant 1 milliard de dollars de dégâts.

Vagues de froid :

- du 04 au 11/01/2003, la neige et le froid tuent 9 personnes en France.
- sur l'Europe occidentale du 16/11 au 18/12/1998, le froid entraîne le décès de 298 individus.
- du 04 au 10/01/1998, le nord-est des EUA et l'est du Canada sont paralysés par une vague de froid causant la mort de 45 personnes et plus de 2,5 Md de dégâts. La figure 1.4 montre un exemple de la rigueur du froid lors de ce «Grand Verglas».



Figure 1.4. Est du Canada, janvier 1998. L'épaisseur de glace sur le véhicule est supérieure à 10cm.

Canicules et sécheresses :

- durant l'été 2003, l'Europe occidentale en général et la France en particulier ont connu une vague de chaleur intense pendant laquelle la surmortalité a atteint 15 000 personnes. La figure 1.5 montre l'intensité de l'excès thermique durant cet épisode.
- aux EUA entre le 01/06 et le 20/08/1999, la chaleur a engendré la mort de 214 individus et causé des dégâts matériels pour 1 Md.
- de mai à août 1998, les EUA ont connu une vague de chaleur entraînant le décès de 130 personnes et 4,3 Md de dommages.

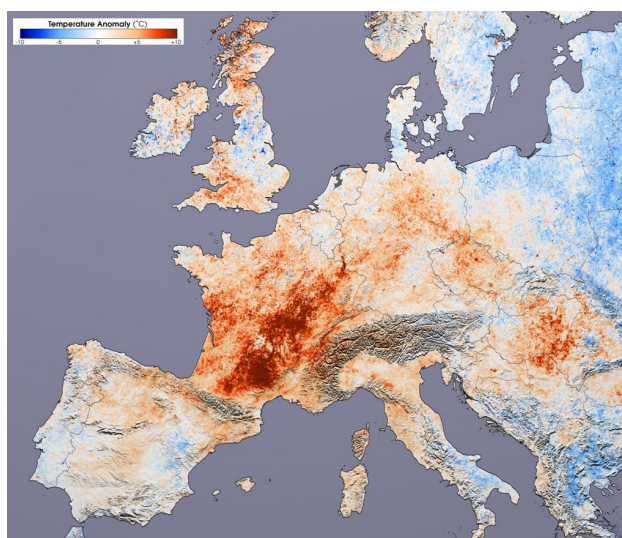


Figure 1.5. Comparaison entre les températures de juillet 2001 et juillet 2003. Reto Stockli et Robert Simmon, NASA's Earth Observatory Team, sur des données provenant de «the MODIS Land Science Team». L'excès de chaleur a atteint +10°C pour les régions marquées en rouge.

1.2 Des méthodes d'analyse du climat.

La variabilité climatique est analysée selon des méthodes diverses. La majeure partie des travaux, quelles que soient les échelles de temps et d'espace considérées, prend comme référence le niveau 500 hPa (avec comme marqueur principal les variations de hauteur du géopotentiel). Mais, avant les travaux de Rossby C.G. (1945) sur le courant jet, lorsque le niveau de surface était le seul correctement représenté, les travaux concernaient essentiellement l'observation phénoménologique des anticyclones et des dépressions. Depuis cette date, on constate une diminution drastique du nombre d'études consacrées à ce type d'analyses malgré leur intérêt, ainsi que le souligne (Klein W.H. 1957) : *«in the early days of meteorology, studies of storms tracks were very numerous. Such studies became less popular after World War I as the attention of synoptic meteorologists tended more to such topics as fronts, air masses, and the upper air circulation»*.

L'atmosphère est un système ouvert complexe (ensemble cohérent d'éléments interdépendants et non hiérarchisés) dans lequel différentes échelles temporelles et spatiales sont à prendre en considération. La prise en charge globale (de tous les niveaux atmosphériques en lien avec les autres systèmes que sont l'hydrosphère, la lithosphère ou la biosphère) demande des capacités de conceptualisation et de raisonnement très largement supérieures aux nôtres. Nous nous concentrons donc ici uniquement sur un des ses multiples aspects, c'est-à-dire les phénomènes de basses couches. D'une part, parce qu'ils sont facilement indentifiables à partir d'images satellitaires dont la résolution a été éprouvée depuis Tiros en 1960 et d'autre part, parce que leurs fortes variabilités rendent l'étude plus motivante (figure 1.6 et 1.7).

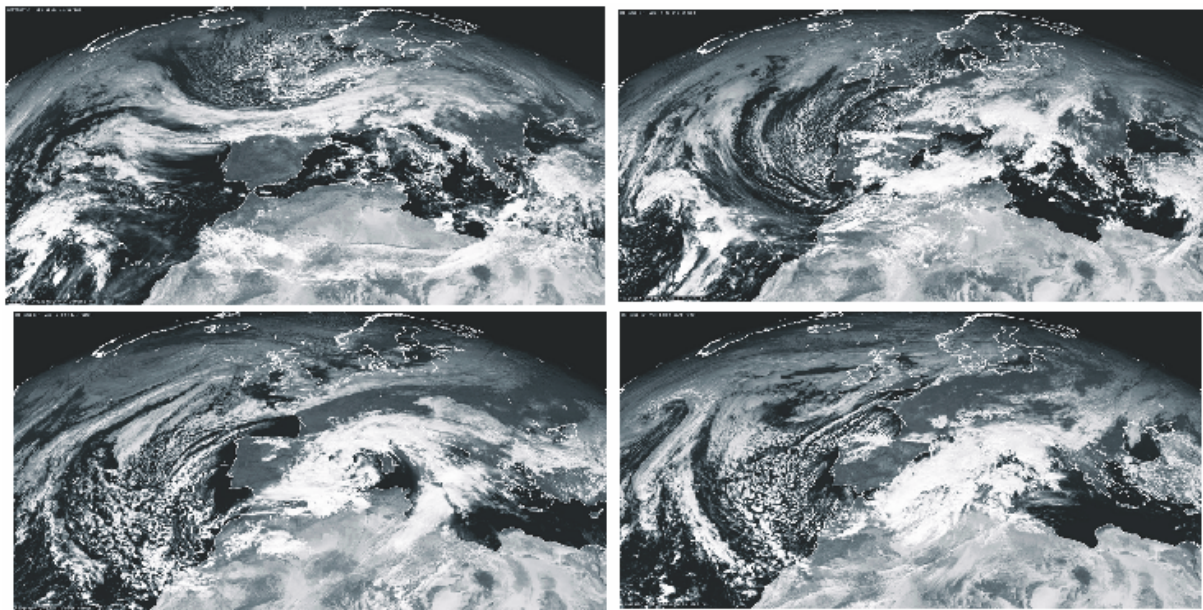


Figure 1.6. Trajectoire d'un anticyclone du 08-11-2001 au 11-11-2001 à partir de clichés de Météosat 7 Vis, 12h UTC, Dundee University. L'anticyclone passe entre le Groenland et la Scandinavie puis descend sur l'Europe occidentale et le Maghreb après avoir été «coupé» par l'alignement Cantabriques-Pyrénées. Cette situation a provoqué les inondations les plus importantes de ces 20 dernières années en Algérie, faisant plus de 340 morts dans la région d'Alger.

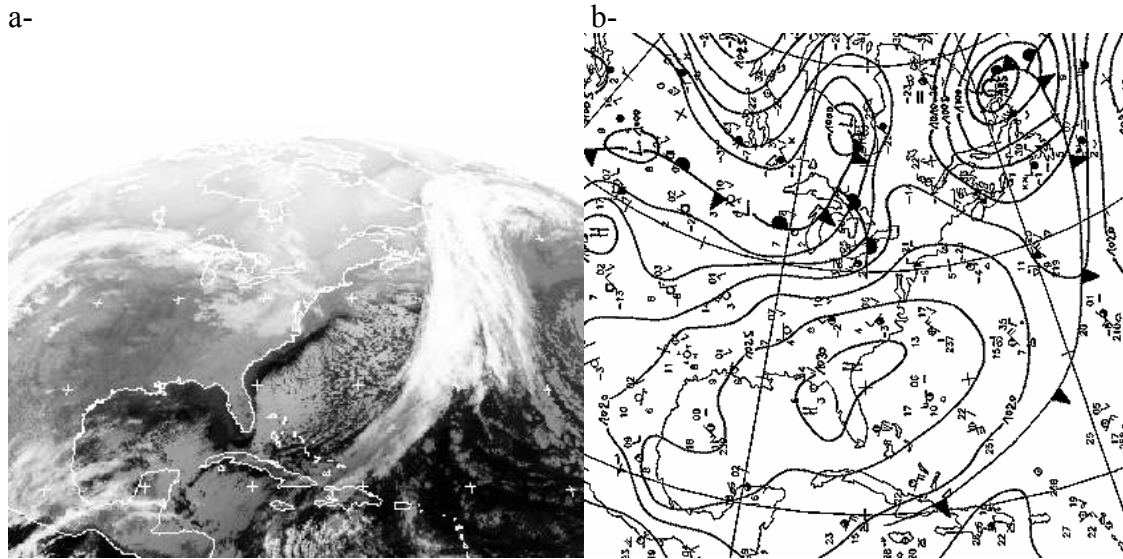


Figure 1.7. Anticyclone dont la trajectoire passe sur l'Amérique du nord pour se poursuivre sur l'Atlantique nord, cliché (a) Météosat 7 Vis et Bulletin Météorologique Européen (BME) (b) du 01-04-03 à 12hUTC. La dépression associée, alimentée par des flux issus de la mer des Caraïbes et de l'Atlantique ouest, se situe au large de Terre-Neuve.

1.3 La position de la thèse face aux phénomènes de surface.

Nous tenons à préciser ici que les citations sont en langue originelle, en suivant la tendance actuelle, de façon à ne pas trahir la pensée de l'auteur.

Notre démarche d'étude est dirigée par le positionnement initial face aux phénomènes de surface.

Trois voies ont été reconnues dans les travaux antérieurs :

- Pour la première, les dépressions et les anticyclones sont formellement des conséquences de l'évolution de la circulation générale. *«Les modifications de pression dans l'Atlantique nord ainsi que celles des éléments synoptiques (anticyclones et dépressions) sont le résultat en grande partie des variations de comportement de l'Oscillation Nord Atlantique (ONA). Cette oscillation dirige dans le même temps en grande partie la circulation générale avec des rétroactions»* (Hurrell J., communication personnelle, 2004). Dans le même état d'esprit, Baldwin M.P. (2000) écrit : *«Winds, storm tracks, rainfall, temperature, ocean circulation, fisheries, and related human impacts are all modulated by the phase of the NAO»*.

- Pour la deuxième voie, la plus consensuelle, les choses ne sont pas clarifiées. *«L'oscillation des pressions varie d'une semaine à l'autre et d'année en année, occasionnant ou est occasionnée- le débat reste ouvert -par des fréquences plus grandes d'air arctique»* (Hufty A. 2001).

- Pour la troisième, les caractéristiques des anticyclones et des dépressions varient, engendrant des variations d'intensité de circulation générale et de pression. Les évolutions de pression, de l'ONA, de la dynamique aérologique sont le fait des changements de comportements des éléments synoptiques que sont les anticyclones et les dépressions dans l'espace concerné, sans que cela implique l'absence de rétroactions avec d'autres parties du système Terre. Ces mécanismes reposent en particulier sur les travaux de Molteni et Corti (1998), Corti et al (1999), qui conceptualisent le climat comme la succession d'un certain nombre de modes de variabilité et son évolution comme la variation d'occurrence de ces modes. Nous pouvons en outre citer Serreze M.C. et al (1993) pour qui *«a long term analysis of (Arctic) cyclone and anticyclone activity can provide an assessment of present circulation variability as well as an indication of whether trends in synoptic activity already exists»*, ou encore Drévilhon M.

(2002) introduisant sa thèse par la phrase *«les changements saisonniers du climat dans la région Atlantique Nord-Europe sont rythmés par l'activité et la position de la trajectoire moyenne des perturbations synoptiques»*.

Nous suivons dans ce travail la troisième règle qui nous apparaît comme la plus pertinente, car elle illustre bien l'influence de l'activité synoptique de surface sur la circulation atmosphérique.

1.4 Les phénomènes de référence.

Les variations climatiques sont sans doute le plus facilement perceptibles à travers l'étude des événements extrêmes. Ce sont surtout ces situations météorologiques paroxysmiques qui atteignent les sociétés et donc représentent le domaine où les connaissances accrues des mécanismes peuvent être les plus bénéfiques en terme de mesures et stratégies de prévision/prévention. C'est pourquoi, l'analyse des mécanismes et de l'évolution de la dynamique aérologique débouchera sur l'étude des dépressions profondes sur l'Atlantique nord dont l'évolution est flagrante (figure 1.8). Mais comme l'écrit Bessemoulin P., *«la perturbation comprend une dépression et un anticyclone associé»* (Encyclopædia Universalis 1999). Comme il existe de fait un lien étroit entre ces deux éléments, nous baserons notre démarche sur l'étude des variations des caractéristiques des trajectoires, non seulement des dépressions (comme déjà effectué par nombre de travaux), mais également des anticyclones afin d'obtenir une simulation correcte de l'activité synoptique sur l'Atlantique nord de 1950 à 2000.

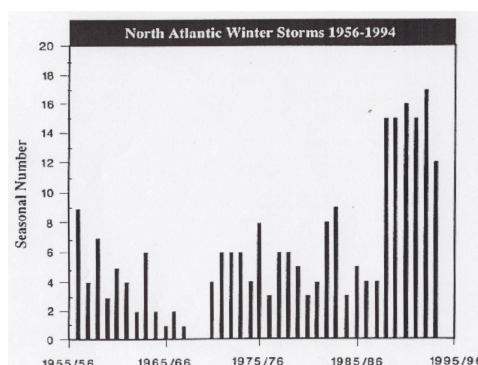


Figure 1.8. Nombre de systèmes dépressionnaires (950 hPa et inférieur) sur l'Atlantique nord déterminé à partir de quatre à huit cartes par jour pour la saison hivernale (Novembre-Mars de 1956 à 1994), Franke DWD, source OMM (1995) tirée de http://www.clivar.org/publications/other_pubs/iplan/iip/pd1.htm

1.5 L'objectif de l'étude.

Nous voulons donc dans cette thèse observer, décrire et si possible tenter d'expliquer les mécanismes et l'évolution de la dynamique aérologique de l'Atlantique nord de 1950 à 2000 à partir de l'étude comportementale des anticyclones et des dépressions en surface (basses couches). Cette voie de recherche semble justifiée. En effet, Klein W.H. écrivait déjà en 1957, *«more information about tracks of migratory cyclones and anticyclones would serve as valuable climatological background in forecasting, and also might shed some light on the mechanism of general circulation»*.

1.5.1 L'espace d'étude.

Le choix de l'espace d'étude est simple. Pour décrire et comprendre la circulation générale de surface, il faut travailler à une petite échelle géographique. L'ensemble de l'Atlantique nord formé par l'océan lui-même et les continents le bordant (figure 1.9) forme cet espace cohérent dans lequel l'activité synoptique s'organise.

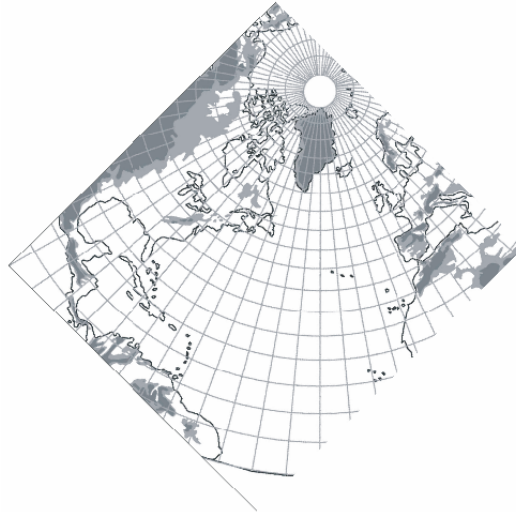


Figure 1.9. L'espace d'étude. Les surfaces en gris clair sont comprises entre 500 et 1000 m et les secteurs en gris foncé recouvrent les altitudes supérieures à 1000 m.

Ce domaine d'étude est délimité :

- à l'ouest, l'espace nord Atlantique est nettement borné par la chaîne des Rocheuses qui forme une barrière hermétique pour l'air froid des anticyclones circulant sur le Pacifique, mais franchissable (sous certaines conditions) par l'air chaud qui peut s'élever au-dessus de la chaîne et la franchir,
- à l'est, la bordure est beaucoup moins franche puisqu'il n'y a pas de grand relief méridien. Les grands ensembles orographiques (Alpes Scandinaves, Cantabriques-Pyrénées, Alpes, Sierras Ibériques, Atlas) ne font que canaliser les flux sans les bloquer. Ce vaste ensemble est un lieu d'interférences entre plusieurs espaces aérologiques (Atlantique et Eurasiatique), de ce fait nous restreignons arbitrairement notre espace d'étude à la longitude 50 °Est pour ne pas empiéter sur l'espace de l'Europe centrale,
- au nord, l'Arctique est une aire géographique commune aux trois espaces aérologiques de l'hémisphère nord (Atlantique nord, Pacifique nord, Europe orientale et Asie). Nous limitons donc volontairement notre cadre d'étude entre 180 °O et 50 °E puisque au-delà de cette ligne de démarcation, les anticyclones se «déversent» vers d'autres espaces aérologiques,
- au sud de l'espace aérologique, la frontière est marquée par la position de l'Equateur Météorologique. Celle-ci est donc flottante puisque la trace au sol de l'Equateur Météorologique fluctue vers le sud en hiver boréal et vers le nord en été.

1.5.2 La période d'étude.

Le choix de la période d'étude est lui plus arbitraire, mais adapté aux objectifs de notre recherche. Les données du National Center of Environmental Prediction-National Center of Atmospheric Research (NCEP-NCAR) sont disponibles sur la période de janvier 1948 jusqu'au mois précédent la date de lecture de ces lignes. Nous avons donc décidé de choisir dans cette base de données, une période assez longue pour être représentative et suffisamment

documentée et analysée par d'autres travaux pour autoriser des comparaisons, c'est-à-dire de janvier 1950 à décembre 2000.

1.6 Organisation de la thèse.

Pour un médecin devant un nouveau patient, le cheminement logique d'un traitement efficace consiste à, premièrement déterminer l'environnement du malade, puis à caractériser le mieux possible les symptômes de la maladie permettant potentiellement de comprendre les mécanismes sous jacents (du général au particulier) grâce à différents protocoles d'analyses utilisant divers outils, avant de trouver éventuellement le remède adéquat à la pathologie.

Cette analogie qui se transpose parfaitement à toute démarche recherche scientifique, nous impose les différentes étapes de notre étude. Pour tenter d'expliquer les mécanismes de la dynamique aérologique de basses couches et son évolution, il faut d'abord effectuer une analyse de l'évolution des paramètres climatiques.

1.6.1 Evolution des paramètres climatiques.

La description de l'évolution des paramètres climatiques sur notre espace durant la période constitue l'environnement global de notre sujet. Cette description est faite ici brièvement car elle est extrêmement documentée par ailleurs, et elle ne constitue pas notre propos (c'est un pré-requis à notre travail). Ce contexte général d'évolution climatique peut être décrit très sommairement :

- d'une part, par quelques citations tirées d'articles d'auteurs spécialisés dans ce domaine d'étude, démontrant parfaitement l'existence d'évolutions thermiques, barométriques, éoliennes ou encore des caractéristiques des dépressions profondes sur les différentes régions composant notre espace d'étude :

- *«Changes in the mean circulation patterns over the North Atlantic are accompanied by pronounced shifts in the storm tracks and associated synoptic eddy activity»* (Hurrell J., 1995),

- *«During times of a high NAO index, the axis of maximum moisture transport shifts to a more southwest-to-northeast orientation across the Atlantic and extends much farther to the north and east onto northern Europe and Scandinavia»* (Hurrell J., 1995),

- *«There is a recent positive mass balances in the maritime glaciers of southwest Norway»* (World Glacier Monitoring Service 2003),

- *«The easterly trade winds over the tropical north Atlantic are also enhanced during the positive phase of the north Atlantic oscillation». «Extreme phases of the NAO are accompanied by changes in the intensity and number of storms, their paths and their associated weather». «Positive NAO index winters are associated with a northward shift in the Atlantic storm activity». «More precipitation than normal falls Iceland trough Scandinavia»* (Hurrell J. et al 2002),

- *«Strong westerlies in the Atlantic are associated with strong northeast trades»* (Rogers J.C., Van Loon H.1979),

- *«A trend of +1°C (decade) is found during winter in the eastern Arctic ocean, but a trend of -1°C (decade) is found in the western Arctic Ocean»* (Rigor I. 2000),

- *«Since the mid 1960s there has been a steady increase in wintertime storminess in the north-eastern Atlantic and the North sea. At the same time northern European countries bordering the Atlantic have experienced an upward trend in winter rainfall, while from Iberian Peninsula to Turkey there has been a steady decline in rainfall. Winter air temperatures over northern Europe and Asia, from Scandinavia to Siberia rose steadily from*

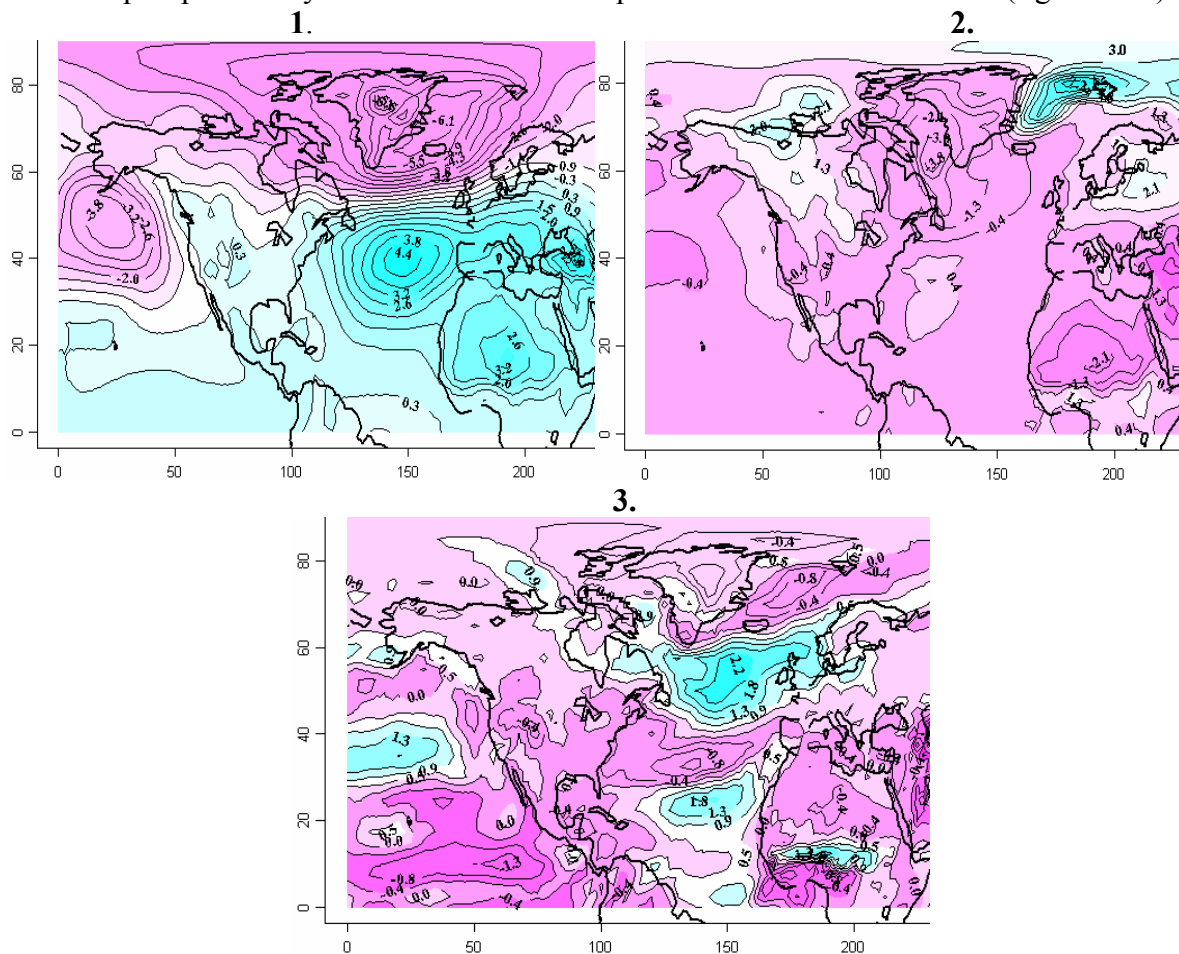
the mid 1960s. During the same period the Middle East and North Africa cooled. Over Greenland and the Canadian Arctic strong cooling occurred while the eastern half of the United States warmed slightly. In sub-Saharan Africa, rainfall steadily decreased after the wet decade of the 1950s, turning the Sahel into a drought stricken region» (Marshall J. et al 2001).

La lecture de ces quelques citations démontre clairement que notre espace d'étude a connu une évolution climatique partout et pour tous les paramètres. Durant les années 1970, on observe un changement de phase de la circulation atmosphérique entraînant des variations thermiques, barométriques, pluviométriques et éoliennes diverses selon les zones géographiques :

- au nord-ouest, on constate une accentuation du déficit thermique,
- au nord-est, on remarque une augmentation de la température et de la pluviométrie. Ceci étant engendré par le passage plus septentrional de dépressions plus fréquentes, plus profondes et plus rapides,
- au sud-est, les alizés sont renforcés et le Sahel connaît une période de sécheresse.

Tous ces phénomènes sont corrélés avec les différentes phases de l'Oscillation Nord Atlantique (ONA).

- d'autre part par l'analyse des cartes diachroniques des conditions de surface (figure 1.10).



Pour la période 1971-2000, par rapport aux conditions moyennes de la période 1950-1970 :

1 On constate une augmentation nette de la pression aux latitudes moyennes et subtropicales (+ 4,4 hPa au maximum) tandis que les hautes latitudes subissent une baisse avec un maximum sur la région comprise entre Groenland et Scandinavie (- 6,1 hPa).

2 Sur le plan thermique, les variations sont plus complexes :

- de l'est de l'Amérique du Nord à l'Europe de l'Est, il y a baisse de la température avec deux régions où la baisse est particulièrement marquée qui sont : la Mer du Labrador (- 3,8 °C), l'Afrique du Nord (- 2,1 °C),

- le nord-ouest de l'Amérique du Nord et le nord de l'Atlantique nord-est connaissent une hausse des températures (+ 3 et + 7,2 °C respectivement),

3 Il existe deux zones singulières où la vitesse des vents augmente, sur la trajectoire préférentielle des dépressions (entre Terre Neuve et la Scandinavie) et sur la région de naissance de l'alizé maritime au large de l'Afrique de l'Ouest (+ 2,2 et + 1,8 m/s respectivement).

Les citations ainsi que les cartes diachroniques montrent indubitablement que notre espace d'étude a connu et connaît des variations climatiques partout, tout le temps et sous diverses formes, ce qui justifie notre travail.

1.6.2 Le socle de connaissances : Reconstruction et analyses des trajectoires des anticyclones et des dépressions.

Le contexte général décrit, nous pouvons nous consacrer à la caractérisation des symptômes (pourquoi et comment ces évolutions existent-elles?) grâce à différents protocoles expérimentaux, ce qui composera la première partie de notre thèse. Cette caractérisation est effectuée par la reconstruction des trajectoires des anticyclones et des dépressions (cf. la position de la thèse face aux phénomènes de surface).

La somme de travaux concernant l'observation des anticyclones et des dépressions basés sur les traitements de cartes synoptiques et de bases de données chiffrées est énorme, depuis Van Bebber W.J. (1891) en passant par Klein W.H. (1957) ou Taljaard J.J. (1967). L'écueil de ce genre d'analyses, malgré leurs incontestables apports, est qu'elles relèvent d'une certaine subjectivité du fait de l'appréciation des phénomènes en fonction de l'opérateur.

Nous souhaitons apporter ici la «caution objective» de l'interprétation des phénomènes grâce à leur reconnaissance par un algorithme informatique. Cette méthode d'étude de la simulation de l'activité synoptique de surface permettant l'analyse du «comportement» de ces phénomènes de surface est une méthode reconnue (Serreze M.C. et al 1993, Sickmoller, M., Blender, R., Fraedrich, K., 2000, Pezza A. B., Ambrizzi T. 2002, Wardle R. 2003, etc.). Les descriptions précises des caractères des anticyclones et des dépressions affinent la connaissance de leurs comportements tant aux échelles moyennes que sur la période d'étude.

1.6.3 Analyses de la dynamique aérologique à partir des comportements des anticyclones et des dépressions.

Les trois derniers chapitres sont des subdivisions de l'établissement du traitement permettant de répondre aux symptômes (du général au particulier) et constituent la seconde partie de notre thèse.

L'étude des comportements des anticyclones et des dépressions à toutes échelles de temps de façon séparée constitue un socle de représentation nécessaire, mais non suffisant. Les analyses croisées des caractéristiques, ainsi que leurs implications sur les évolutions des variables

climatiques sur différentes régions clés de notre espace d'étude, peuvent nous permettre de déboucher sur la description des grandes lignes de la circulation générale de surface.

A partir de cette description, nous essayons d'établir un indice basé uniquement sur les comportements des anticyclones et des dépressions, synthétisant l'évolution de la dynamique atmosphérique de 1950 à 2000. Cet indice dénommé Indice de Dynamique Aérologique de l'Atlantique Nord (IDAN) est construit à partir de certaines variables de trois bases de données (les anticyclones américano-atlantiques, les anticyclones groenlando-scandinaves, les dépressions) et se décline en valeurs annuelles, saisonnières et mensuelles.

Enfin, nous appliquons notre méthode d'analyse au cas particulier des dépressions profondes. La meilleure perception des phénomènes de surface (description et synthèse) issue des chapitres précédents autorise à la reconnaissance des différents événements / phénomènes qui se produisent lors et concourent à l'occurrence des dépressions profondes. Ainsi le dernier chapitre de notre thèse sera consacré à la construction d'un «schéma» récapitulatif des éléments de la cyclogenèse dont les résultats pourraient éventuellement être utiles aux institutions concernées par la protection des biens et des personnes.

La figure 1.11 reprend schématiquement la logique interne du travail afin que le lecteur puisse aisément se repérer au cours de la lecture.

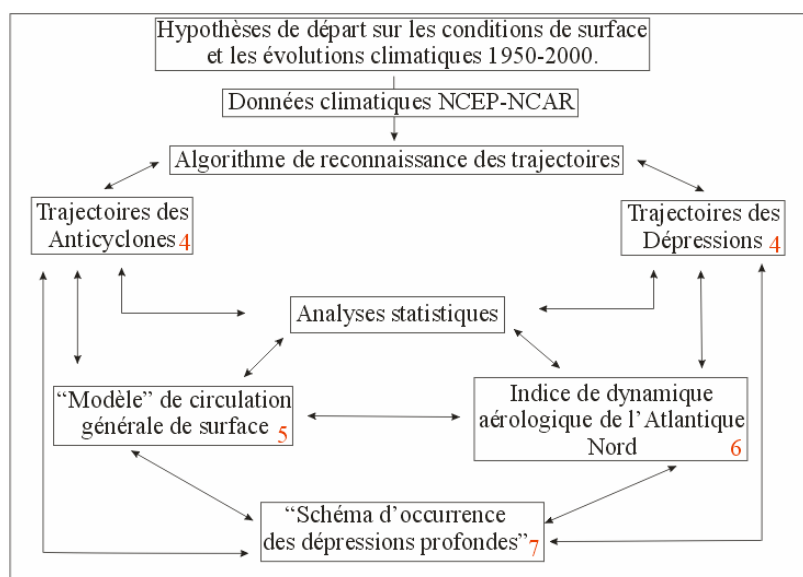


Figure 1.11. Schéma récapitulatif de la recherche. Les chiffres reprennent la numérotation des chapitres.

1.7 Perspectives d'études.

Il reste au terme de chacun de nos exercices nombre de questions essentielles non résolues. Notre travail est une modeste contribution à l'amélioration des connaissances dans le concert des idées dans lequel il prend place et ainsi ces interrogations relèvent d'autres travaux.

En effet, il faudrait par exemple mieux prendre en compte «l'environnement» puisqu'une situation atmosphérique s'initie et se développe différemment en fonction des conditions dans lesquelles elle se manifeste (présence / absence d'autres anticyclones et / ou dépressions, conditions thermiques, hygrométriques antérieures.....).

De plus, il est évident que nos travaux devraient être complétés par d'autres examens prenant en compte les divers couplages et rétroactions des phénomènes de surface avec :

- toutes les couches atmosphériques, jusqu'à la stratosphère (M. P. Baldwin 2003, J. M. Wallace et D.W. Thompson 1998, 2002),
 - l'hydrosphère (Barsugli J.J., Battisti D.S. 1998, Cassou C., Terray L. 2001, Czaja A., Frankignoul C. 1999, Frankignoul C. 1985, Rodwell M.J., Rowell D.P., Folland C. K. 1999 etc...),
 - la cryosphère (Jung T. 2000, Polyakov I. et al 2004, Rigor I., Kwok R., Rothrock D.A. 1999),
 - la lithosphère, la biosphère ou encore le soleil (Landscheidt T. 1998, 2000, 2001, Benestad R. 2002, Svensmark H., Friis-Christensen E. 1997).
- Même si cela dépasse de loin notre objectif.

Les analyses menées dans cette thèse ne sont pas novatrices (sauf exceptions), nous ne prétendons absolument pas arriver dans un désert de connaissance et établir une oasis paradisiaque. En revanche l'intérêt potentiel de ce travail réside dans le fait que tous les examens sont dirigés par un vecteur unique (description des comportements des trajectoires des anticyclones et des dépressions) et que les résultats forment un ensemble cohérent permettant de répondre aux évolutions constatées sur la totalité de l'espace durant la période entière.

Le choix a été fait de rédiger chaque chapitre de façon à ce qu'il puisse être lu indépendamment des autres tout en gardant une cohérence et une logique d'enchaînement pour l'ensemble. Chaque chapitre débute par une brève introduction expliquant les motivations des analyses consécutives, les concepts particuliers éventuellement utilisés et s'achève par une synthèse reprenant les principales conclusions et les limites.

Partie I. Le socle analytique : reconstitution et examens des trajectoires des anticyclones et des dépressions.

2. BASES DE DONNÉES ET MÉTHODES

Ce chapitre permet d'exposer les données, les principales méthodes utilisées ainsi que leurs limites.

2.1 Description des données NCEP/NCAR Réanalyses

Le projet du National Center of Environmental Prediction-National Center of Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Réanalyses 1 utilise un système d'observations / prévisions moderne pour exécuter l'assimilation des données depuis le 01/01/1948 à aujourd'hui. Les données Réanalyses NCEP/NCAR 1 sont fournies par la NOAA-CIRES CDC basé à Boulder (Colorado, Etats-Unis d'Amérique) et peuvent être téléchargées librement, à partir du site web <http://www.cdc.noaa.gov>. Pour des informations plus précises, l'article de référence est Kalnay E. (2001) : The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and documentation, paru dans le *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 82, No. 2.

Les données utilisées dans cette thèse sont principalement les pressions réduites au niveau de la mer (Sea Level Pressure), les températures (à 2m) et les vitesses du vent (zonal et méridien) en moyennes journalières (calculées à partir des données de 0, 4, 12, 18 h UTC), avec une grille de résolution horizontale de 2.5° x 2.5° du 01 janvier 1950 au 31 décembre 2000.

Pour prendre parfaitement en compte notre espace d'étude les matrices de données englobent une aire géographique comprise entre :

- 90 °N et l'équateur pour les latitudes,
- 180 °O et 50 °E pour les longitudes. **Il faut noter que pour l'ensemble des graphiques de la thèse, les longitudes sont notées de 0° à 230°. 0° correspondant à 180 °O et 230° correspondant à 50 °E. Afin de faciliter la lecture :**
- une carte des principaux secteurs utilisés est insérée à la page 318. En dépliant cette page, il est possible de lire tout le texte en ayant sous les yeux les correspondances entre longitudes géographiques et longitudes des fichiers NCEP-NCAR,
- nous indiquerons en plus dans le texte entre parenthèses le nom des régions géographiques correspondantes.

2.2 L'algorithme de reconstruction des trajectoires des anticyclones et des dépressions.

2.2.1 Historique des méthodes de reconstruction des trajectoires

Depuis longtemps la reconstruction des trajectoires des anticyclones et des dépressions intéresse les chercheurs (Van Bebber W.J. 1891, Klein W.H. 1957, Taljaard J. J. 1967, Reitan CH.H 1974), mais ces travaux, compte tenu des moyens à leur disposition, étaient élaborés à partir d'analyses sur l'observation directe des bases de données (cartes et mesures de stations de références de différentes variables climatiques) (figure 2.1).

L'accroissement de la précision des cartes synoptiques et l'apparition des images satellitales ont apporté un gain indéniable à ce type d'examen mais il restait toujours une part importante de subjectivité. L'avènement des outils informatiques et l'amélioration des bases de données (résolution, durée, précision) ont rendu réalisable le souhait d'établir les trajectoires de façon

automatique. Cette automatisation présente le double avantage d'un bénéfice de temps de travail énorme et d'une meilleure objectivité des résultats.

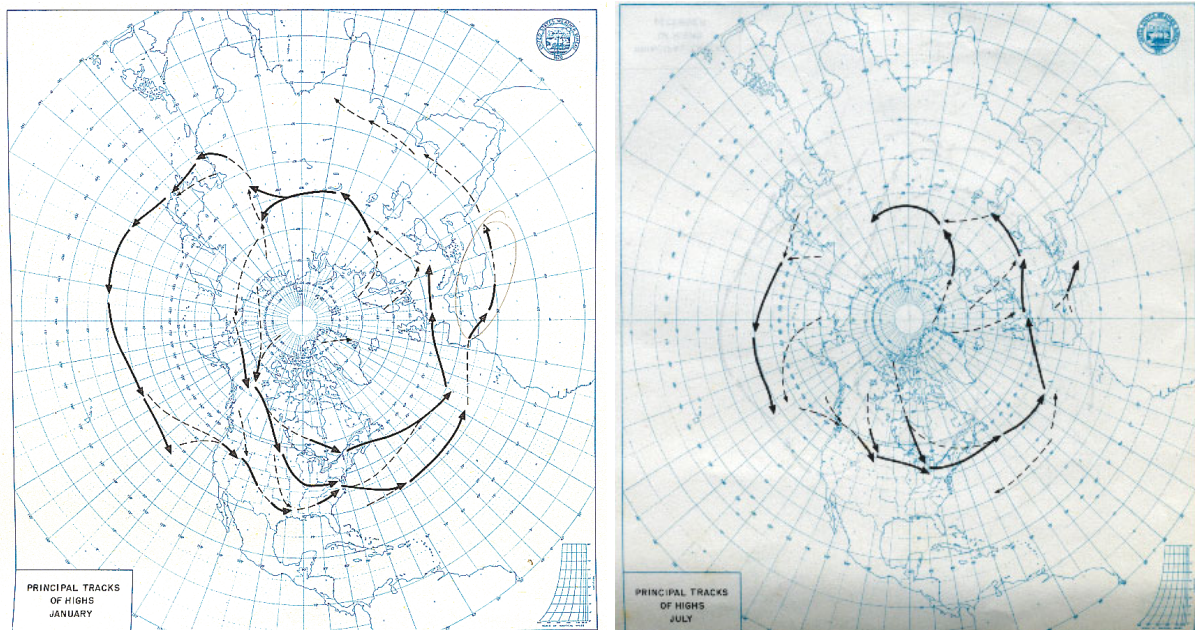


Figure 2.1 Cartes des trajectoires principales sur l'hémisphère nord des anticyclones en janvier (gauche) et juillet (droite) de Klein W.H (1957).

Une nouvelle méthode connue sous le nom de «*Eulerian filtered variance perspective*» apparue (notamment expérimentée par Blackmon M.L en 1976 et Blackmon M.L et al en 1977). Ce procédé, «*is based on determining simple statistics at a set of grid points such as the variance in a frequency band associated with what are considered to be synoptic timescales*» Hoskins B., Hodges K. (2002). Cela consiste donc à effectuer un filtrage (band-pass filter) des données de surface (SLP) ou à 500 mb pour la bande appropriée (c'est-à-dire les durées, par exemple, 2 à 7 jours). Sont ensuite calculées des séries temporelles filtrées, correspondants aux différentes durées choisies. Les déviations standard résultantes (entre les différents pas de temps) sont considérées comme représentant l'intensité des dépressions et des anticyclones.

Mais ce type d'approche manque de finesse dans l'analyse des phénomènes. De ce fait, depuis le début de la décennie 1990, nombre d'auteurs ont créé des algorithmes de reconnaissance des trajectoires (en tant que telle), ou fait progresser leur qualité par une finesse accrue du positionnement des centres, ou par une analyse menée à une échelle spatio-temporelle plus étendue. Ces algorithmes reposent sur la reconnaissance des centres de pression (anticycloniques ou dépressionnaires) dans les matrices de données (pluri) quotidiennes. Elle consiste à repérer les centres comme étant les maxima / minima sur un espace variable, puis à les relier. Le Treut H., Kalnay E. en 1990 furent parmi les pionniers de cette méthode. Ils définissent la présence d'une dépression lorsqu'il y a un minimum absolu de pression d'au moins 4 hPa par rapport à la moyenne d'un espace environnant de x points de grille, 20 dans cette étude, mais 4, 8 et 12 étant les plus régulièrement usités. Puis, chaque jour est effectué un lissage pour éliminer les pseudos-centres. Ce lissage consiste à ne retenir que les centres les plus significatifs dans un espace de 5 points de grille de côté. Le même schéma est appliqué pour les anticyclones avec une inversion des signes et un seuil moindre (2 hPa dans l'étude citée). Puis lorsque tous les centres sont répertoriés, les liens sont établis afin de passer des centres aux trajectoires proprement dites.

Selon les différentes études, l'affinage des pré-traitements et les modes de liaisons entre les centres sont plus ou moins différents, mais l'architecture des algorithmes reste la même. Les principaux travaux accomplis dans ce sens sont l'oeuvre de Zishka K.M., Smith P.J. (1980), Murray R.J.,

Simmonds I. (1991), Serreze M.C. et al (1993), Sinclair M.R. (1994), Hodges K. (1994, 1995), Grigoriev S., Gulev S.K., Zolina O. (2000), et la liste très longue ne cesse de s'allonger chaque année.

Mais, il faut souligner que l'objectif de ces travaux est l'étude presque exclusive des dépressions (selon divers seuils de pression). Dans notre étude, les anticyclones et les dépressions seront traités avec la même importance.

2.2.2 Présentation de l'algorithme utilisé pour la reconstruction des trajectoires.

Les travaux ont été effectués à partir du logiciel de statistiques libre de droit R et téléchargeable librement sur <http://cran.r-project.org>.

Le but premier était de réaliser une analyse objective. Différentes démarches ont été suivies :

- d'abord déterminer les caractères des anticyclones et des dépressions. A partir de l'observation des cartes synoptiques comme les Bulletins Météorologiques Européens (BME) et à partir de travaux déjà effectués, entre autres ceux de Klein W.H. (1957), Leroux M. (1986, 1996, 2000), Guimard D., Mollica V., Moreau E., Passerat de la Chapelle P. et Reynaud J (de 1989 à 1993). D'après ces travaux, les caractères moyens de ces entités sont :

- pour les anticyclones :

- une pression supérieure à 1015 hPa,
- une taille maximale de 3 000 km de diamètre afin de ne pas confondre avec les rassemblements d'anticyclones comme les classiques Anticyclones des Açores ou des Bermudes,
- une vitesse de déplacement inférieure à 45 km/h, évaluée à partir des durées et des distances moyennes parcourues,
- un lieu d'apparition dans les hautes latitudes, car aucune observation ne montre d'anticyclones migrant vers le nord,
- une trajectoire méridienne (nord-sud) avec une composante zonale (ouest-est).

- pour les dépressions :

- une pression inférieure à 1005 hPa, afin d'écarter les situations imprécises dites de «marais barométrique»,
- un diamètre inférieur à celui des anticyclones (constatation issue des observations directes des cartes de surface des BME),
- une vitesse de déplacement maximum de 35 km/h, évaluée également à partir des durées et des distances moyennes parcourues,
- un lieu d'apparition à une latitude supérieure à 30 °N pour ne pas prendre en compte les cyclones tropicaux,
- une trajectoire avec une composante ouest-est marquée mais avec une composante sud-nord plus variable.

- à partir de ces connaissances, nous nous sommes ensuite adressé aux informaticiens de Lyon 3 (particulièrement O. Chaire que nous remercions vivement) afin d'élaborer un algorithme capable de reconstruire les trajectoires des anticyclones et des dépressions. Malheureusement, en dépit de nombreuses tentatives et expérimentations de logiciels spécifiques, ce projet n'a pu aboutir. Nous avons également fait appel aux compétences de S. Goyette qui nous a proposé les données issues des traitements du modèle numérique canadien. Dans le même temps, A. Favre (Université Jean Moulin Lyon 3) au cours d'un séjour à la SCRIPPS Institution of Oceanography (San Diego, Cal., E.U.A), en 2002 a élaboré en collaboration avec A. Gershunov, chercheur dans cet organisme, un

algorithme performant (qui s'inscrit avec quelques variantes dans la dernière approche décrite précédemment). C'est cet algorithme que nous utilisons dans cette thèse.

La finalité de ce programme est de retracer à partir des matrices de pression réduites au niveau de la mer, les itinéraires des anticyclones et des dépressions sur l'ensemble de la période du 01 janvier 1950 au 31 décembre 2000.

Pour bien appréhender les phénomènes, nous montrons ci-dessous un exemple comprenant une image satellitale et une représentation graphique de l'association dynamique des deux entités étudiées (figure 2.2).

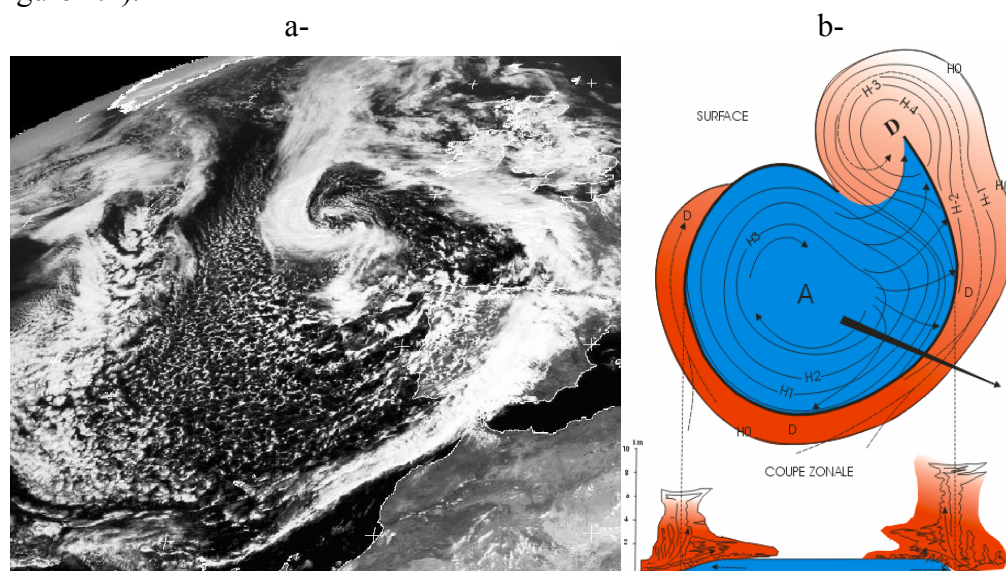


Figure 2.2. Image satellitale du 01/04/04, Météosat 7 Vis 12h UTC d'un anticyclone sur les Açores et d'une dépression au large des Iles Britanniques (a) et représentation schématique d'un dipôle anticyclone/dépression (b).

2.2.3 Structure de l'algorithme.

Les fichiers NCEP-NCAR Réanalyses version 1 sont structurés de la façon suivante :

- une matrice à trois dimensions sous la forme $X(x,y,z)$ par an (figure 2.3), dans laquelle :
 - x = nombre de longitudes,
 - y = nombre de latitudes,
 - z = nombre de jours de l'année considérée.

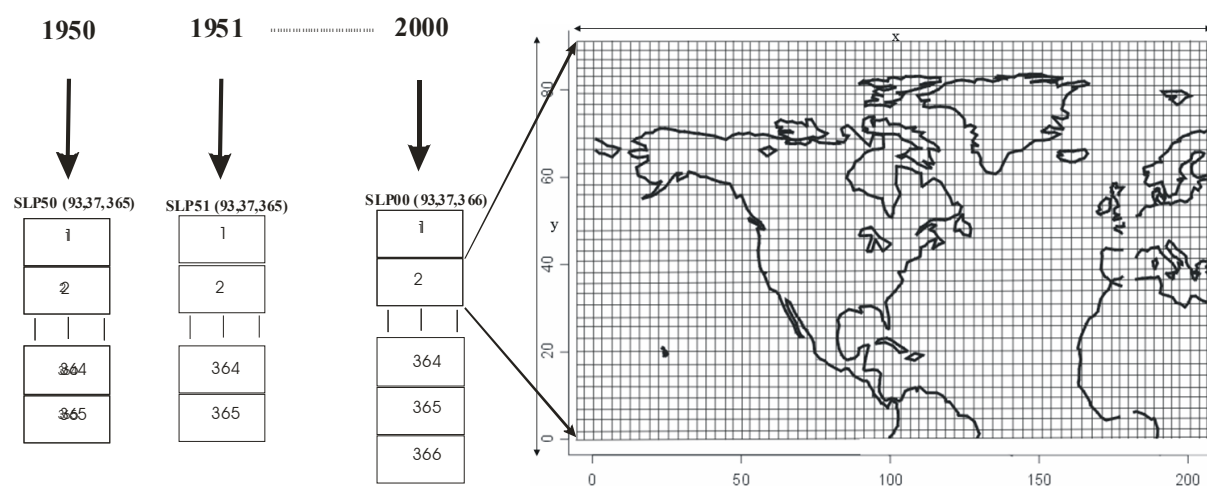


Figure 2.3. Schéma de la structure des matrices. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Pour l'espace Atlantique nord (de 180° Ouest à 50° Est et de 90° Nord à 0°) nous avons donc 51 matrices X (93,37,365 ou 366) ce qui représente 18 624 fichiers de données sur l'ensemble de la période. Nous montrons pour exemple la carte des pressions de surface pour notre matrice initiale du 01/01/1989 (figure 2.4).

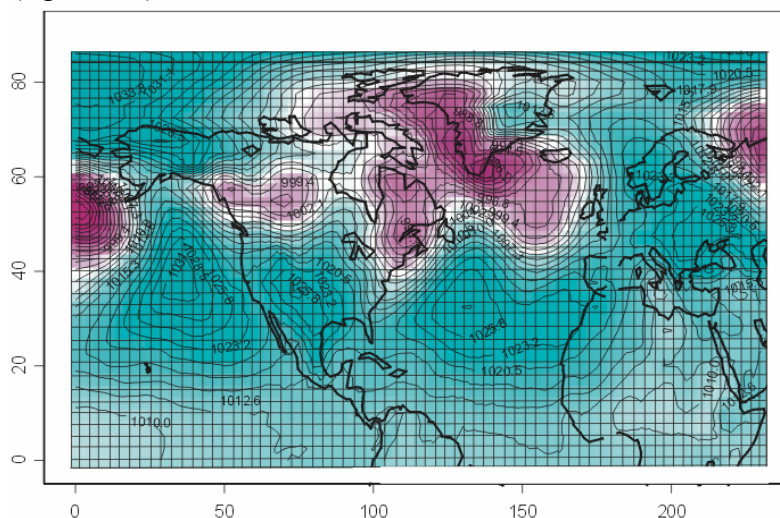


Figure 2.4. Exemple SLP89 (93,37,1). Carte des pressions réduites au niveau de la mer du 01-01-1989. Les couleurs de fond représentent les pressions moyennes pendant la période considérée (du violet pour les basses pressions au bleu-vert pour les hautes pressions). Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Les calculs et traitements de l'algorithme comprennent trois étapes successives :

- la première consiste à localiser le centre des anticyclones ou des dépressions à l'intérieur de chaque matrice quotidienne comme étant respectivement des maxima ou des minima de pression. C'est par la méthode de repérage des centres que cet algorithme se différencie des autres. En effet, la reconnaissance des centres s'effectue par le biais de l'analyse des dérivées en latitude et longitude plutôt que minimum / maximum par rapport aux moyennes d'un espace donné de points de grille adjacents. Les points retenus sont donc des «pics et des creux» dans les quatre directions. En partant de ces centres un lissage est effectué afin de ne garder que les noyaux principaux.
- la deuxième étape a pour objet de connecter temps après temps les maxima ou minima en fonction des postulats de départ (distance parcourue entre 2 temps, direction du déplacement, variation de la pression atmosphérique) ce qui permet de passer du stade de centres isolés jour après jour aux trajectoires individualisées.
- la troisième étape consiste à créer deux fichiers-listes répertoriant chaque trajectoire d'anticyclone et de dépression au cours de la période 1950 à 2000 (figure 2.5).

[[1]]:				
	[1]	[2]	[3]	[4]
feature	105.0	55.0	1023.35	1
feature	107.5	35.0	1030.00	2
feature	125.0	42.5	1034.35	3
feature	120.0	35.0	1032.40	4
feature	120.0	35.0	1031.82	5
feature	115.0	32.5	1029.97	6
feature	115.0	30.0	1025.05	7

[[2]]:				
	[1]	[2]	[3]	[4]
feature	62.5	60.0	1035.15	1
feature	80.0	55.0	1033.72	2
feature	80.0	52.5	1031.00	3
feature	82.5	52.5	1024.10	4
feature	82.5	35.0	1025.02	5

[[3]]:				
	[1]	[2]	[3]	[4]
feature	45.0	82.5	1021.80	2
feature	57.5	70.0	1018.55	3
feature	57.5	47.5	1017.67	4
feature	65.0	32.5	1019.32	5

[[4]]:				
	[1]	[2]	[3]	[4]
feature	180.0	80.0	1023.10	4
feature	197.5	62.5	1017.22	5
feature	197.5	70.0	1020.80	6
feature	197.5	45.0	1020.20	7
feature	197.5	45.0	1023.20	8
feature	197.5	32.5	1024.60	9

Figure 2.5. Exemple d'extrait d'une liste d'anticyclones.

Les listes se décomposent comme suit :

- [[1]]: indique que les données concernent le premier anticyclone ou la première dépression de la liste,

- les lignes correspondent au nombre de jour d'existence de chaque objet (une ligne = un jour),
- les quatre colonnes notées [1], [2], [3], [4], correspondent respectivement aux longitudes en ° à partir de 0 (180 °O), latitudes en °N, pressions en hPa et jours d'occurrences (1 correspond au premier jour de l'année ainsi de suite) de chaque objet.

Nous pouvons dès lors obtenir une visualisation graphique des trajectoires reconstruites ce qui aide à une meilleure perception des phénomènes (figure 2.6).

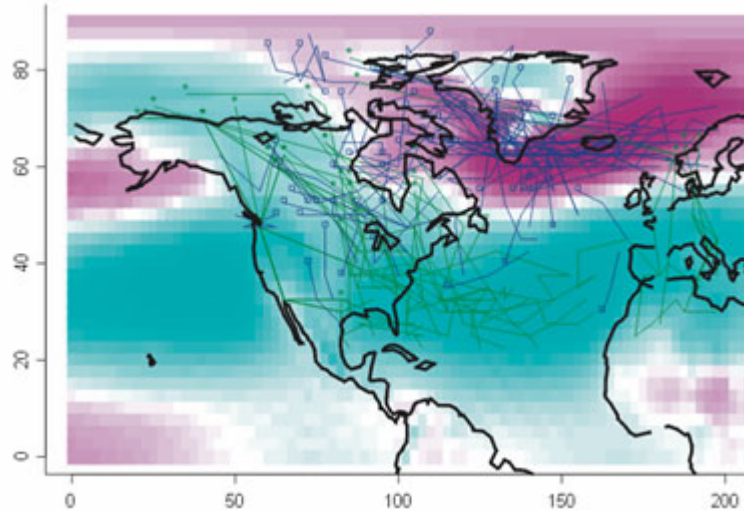


Figure 2.6. Exemple de trajectoires d'anticyclones (vert) et de dépressions (bleu) durant l'hiver JFM 1990. Les couleurs de fond représentent les pressions moyennes pendant la période considérée (du violet pour les basses pressions au bleu-vert pour les hautes pressions). Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

A partir des deux fichiers-listes (bases de données initiales avec un fichier pour les anticyclones et un autre pour les dépressions), nous sortons de l'algorithme proprement dit pour passer aux post-traitements.

2.3 Post-traitements et filtres analytico-statistiques à partir des résultats de l'algorithme

L'algorithme permet de constituer les bases de données brutes. Ceci est primordial, mais ne fournit pas de résultats immédiats. Il est nécessaire de réaliser des traitements spécifiques avant de pouvoir effectuer des analyses approfondies. Pour ce faire, il faut construire des outils permettant l'analyse des données brutes ; ces outils sont les filtres analytico-statistiques. Ainsi chaque tableau, chaque carte et chaque courbe de ce travail a nécessité la création d'un filtre (traitement) dont l'élaboration a été menée en collaboration avec A. Abhervé.

2.3.1 Obtention des bases de données de références

Nous pratiquons des filtrages permettant de créer nos fichiers-listes de références.

Les dépressions décrites dans la thèse possèdent plusieurs caractéristiques restrictives. Elles doivent :

- avoir eu au moins une fois durant leur cycle d'existence une pression < 1000 hPa,
- durer au minimum 72 heures,
- se situer à l'est de la longitude 90° (90 °O).

Les anticyclones analysés dans cette étude répondent à plusieurs critères limitatifs de reconnaissance. Ils doivent :

- avoir une pression toujours supérieure à 1015 hPa,
- durer au minimum 72 heures,

- apparaître à une longitude minimale de 20° (160 °O),
- leurs dernières longitudes de reconnaissance sont situées à l'ouest de 210° (30 °E),
- atteindre la latitude 50 °N.

Il est évident que les trajectoires des anticyclones se «déversant» sur l'espace Pacifique nord à partir de la Mer de Beaufort, sont retirées. Selon ces conditions, l'algorithme a reconnu 9 755 dépressions et 11 726 anticyclones entre le 01 janvier 1950 et le 31 décembre 2000 (soit 51 ans).

2.3.2 Etablissement des fichiers permettant les analyses

Nous avons à disposition des filtres permettant de subdiviser les bases de données initiales en divers fichiers-listes pour les différentes études. Un «découpage» peut être effectué par dates, par seuils de pression, par latitudes d'apparition, par latitudes atteintes, par longitudes d'apparition, par longitudes atteintes, par durées, par distances parcourues et par vitesses de déplacement.

Ces affinages peuvent être effectués individuellement ou en association, ce qui aboutit à des possibilités de création de fichiers d'études presque infinies répondant à des besoins / volontés d'analyses, eux aussi pratiquement sans limites.

Nous établissons donc selon les nécessités des séries temporelles mensuelles, saisonnières et annuelles concernant la fréquence, la pression atmosphérique (maximale, minimale, moyenne), la durée, la distance parcourue, la latitude (maximale, minimale, moyenne), la longitude (maximale, minimale, moyenne), la vitesse de déplacement.

Nous pouvons également à partir de ces séries temporelles établir les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles des variables.

Ces deux types de dossiers permettent de construire la climatologie des différents éléments de l'activité synoptique.

Nous avons suivi la tendance actuelle de découper les saisons comme suit :

- l'hiver : janvier-février-mars (JFM),
- le printemps : avril-mai-juin (AMJ),
- l'été : juillet-août-septembre (JAS),
- l'automne : octobre-novembre-décembre (OND).

Ce choix est justifié afin de pouvoir comparer nos résultats avec les autres études, qui ont adopté cette division saisonnière de l'année, comme celle de Gulev S.K. et al (2002) : «*All scales show pronounced annual cycles with the strongest variances in winter (JFM)*» ou encore Jung T. (2000) pour qui «*JFM season appears to account for the maximum of variance along with the maximum of intraseasonal coherency of low-frequency NAO variability*».

Il faut maintenant évaluer la validité de cette méthode de reconnaissance des trajectoires afin de quantifier la valeur potentielle des résultats obtenus durant nos travaux.

2.4 Validation de la méthode

Nous présentons ici quatre «tests» de validation, du plus grossier au plus fin :

- a) premièrement, nous nous concentrons sur l'aspect général des trajectoires (figure 2.6).

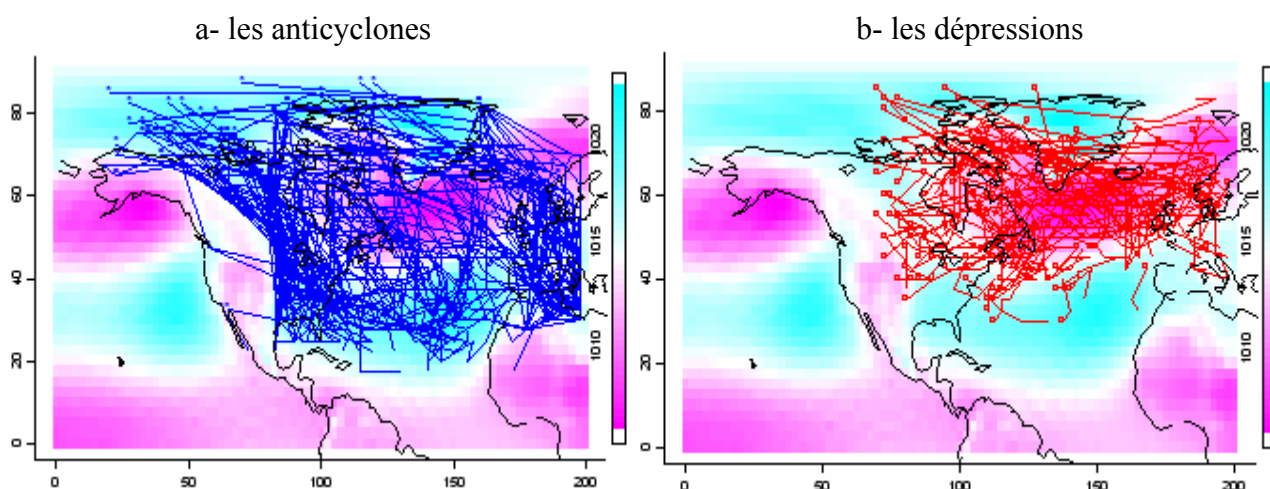


Figure 2.7. Trajectoires des anticyclones en bleu (a) et des dépressions en rouge (b) durant l'année 1981. Les couleurs de fond représentent les pressions moyennes pendant la période considérée (du rose pour les basses pressions au bleu clair pour les hautes pressions). Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Sur cette figure 2.7, nous retrouvons parfaitement les trajectoires décrites par tous les travaux antérieurs (cf. introduction), avec :

- les deux trajectoires préférentielles des anticyclones que sont l'itinéraire américano-atlantique et le trajet entre Groenland et Scandinavie,
- la bande zonale de passage privilégiée des dépressions entre Terre Neuve et le Spitzberg d'ouest en est et au sud du cap Farewell.

Nous pouvons en outre noter la concordance entre les zones de pression et les trajectoires : ainsi les dépressions recouvrent logiquement le rose (basses pressions) et les anticyclones le bleu (hautes pressions)

- b) deuxièmement, nous présentons deux graphiques (figure 2.8 et 2.9) reprenant les résultats d'études concernant les dépressions profondes dans l'Atlantique nord.

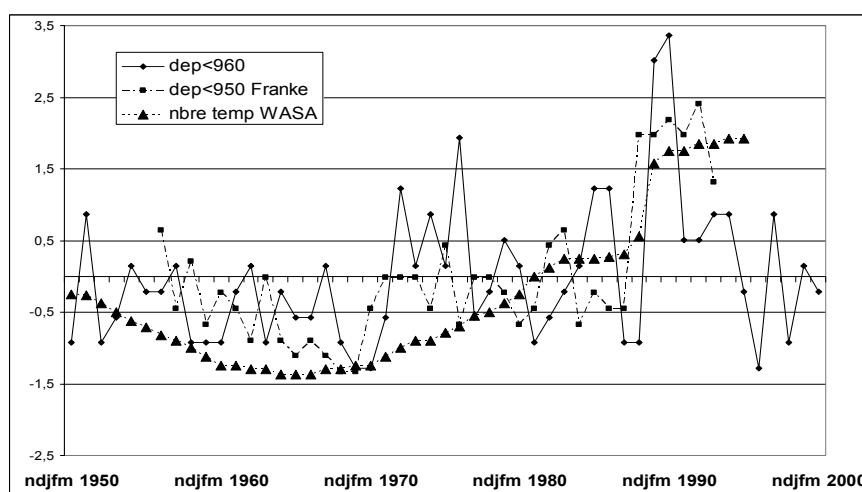


Figure 2.8. Séries temporelles des dépressions profondes dans l'Atlantique nord de novembre à mars. Dépressions inférieures à 950 hPa (Dep<950 hPa) d'après Franke (cf. introduction) et nombre de dépressions profondes (nbre temp WASA) d'après WASA Group (1998) et la courbe dep<960 est le résultat de l'algorithme (nombre de dépressions inférieures à 960 hPa).

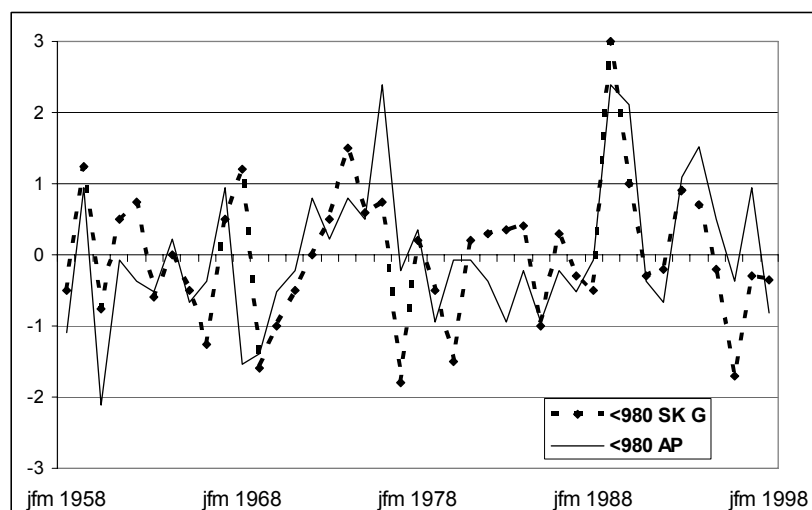


Figure 2.9. Série temporelle des dépressions < 980 hPa dans l'Atlantique nord en hiver. La courbe <980 SK G est d'après S. K. Gulev et al (2001) et la courbe <980 AP est le résultat de l'algorithme.

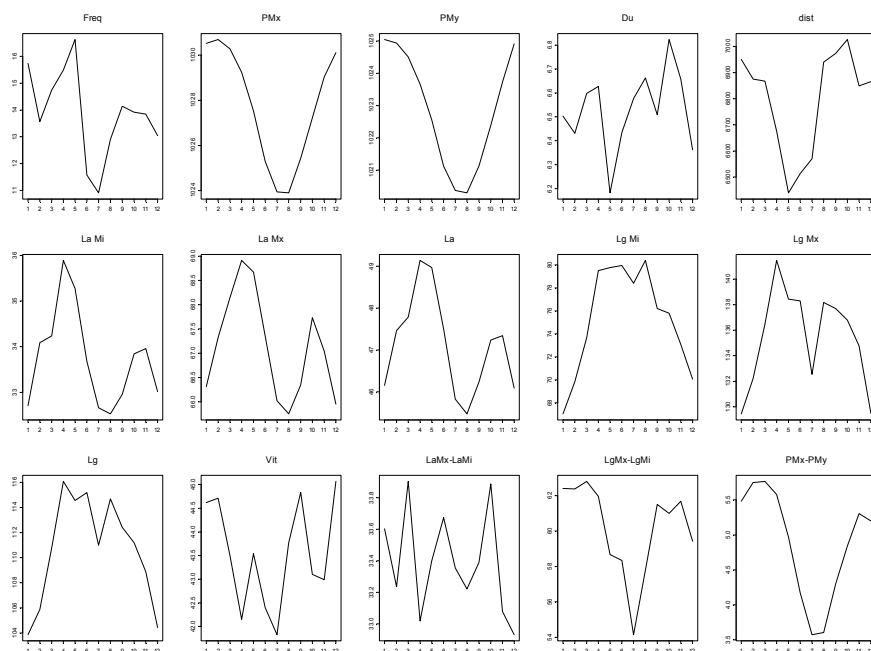
Nos résultats pour les dépressions profondes sont donc comparables à ceux des trois études de référence puisque les coefficients de corrélation entre les courbes sont de $R = 0,44$ avec l'étude de Franke (de 1956 à 1993) et de $R = 0,50$ avec l'étude du WASA Group 1998 (de 1950 à 1995).

En ce qui concerne les dépressions inférieures à 980 hPa (fig. 2.8), les deux courbes sont corrélées à $R = 0,6$. Les valeurs sont significatives à 98 %.

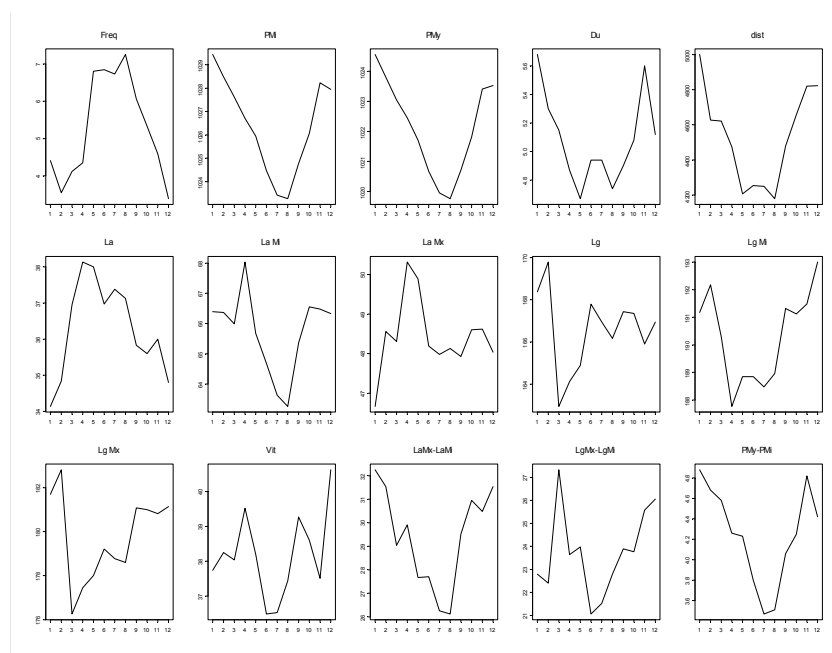
Ces constats renforcent l'idée que l'algorithme de reconstruction est efficace pour la reconnaissance des dépressions.

- c) troisièmement, nous étudions les cycles annuels des variables en valeurs mensuelles des différentes entités reconnues précédemment (figure 2.9).

a- anticyclones américano-atlantiques



b- anticyclones groenlando-scandinaves



c- dépressions.

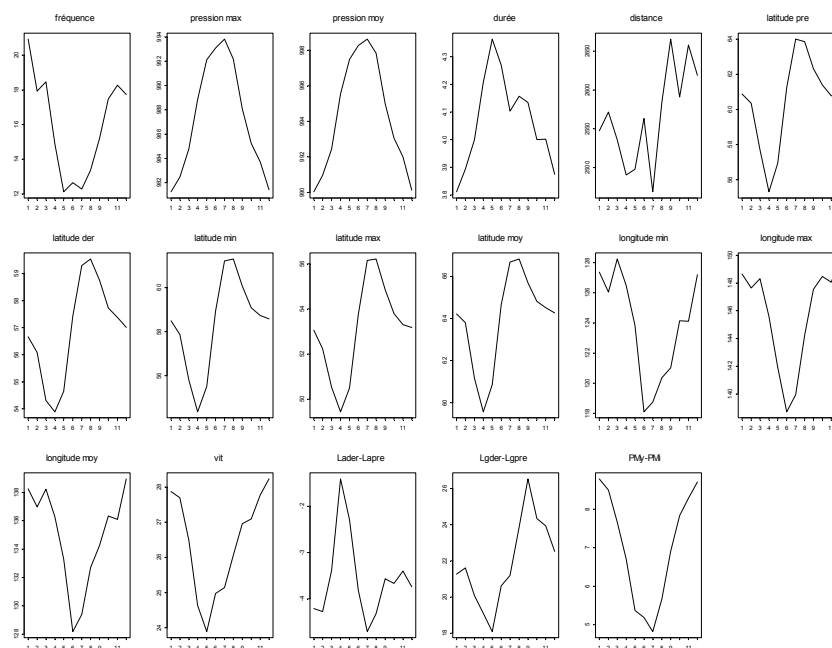


Figure 2.10. Cycles annuels en valeurs mensuelles des caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques (a), anticyclones groenlando-scandinaves (b) et des dépressions (c). Freq : fréquence, PMx ou PMi : pression maximale, minimale, PMy : pression moyenne, Du : durée, Dist : distance, La Mi : latitude minimale, La : latitude moyenne, La Mx : latitude maximale, Lg Mi : longitude minimale, Lg : longitude moyenne, Lg Mx : longitude maximale, Vit : vitesse, LaMx-LaMi : latitude maximale- latitude minimale, LgMx-LgMi : longitude maximale- longitude minimale, PMx-PMi : pression maximale- pression moyenne.

Les évolutions des cycles au cours de l'année sur les trois blocs diagrammes précédents sont en majorité unimodales marquant ainsi un comportement simple. Des exceptions notables concernent les cycles des latitudes (maximale, minimale, moyenne) pour les anticyclones ou les dépressions. Mais on peut noter l'opposition de phase entre les cycles des dépressions et des anticyclones américano-atlantiques ($R = -0,7$; $-0,9$; $-0,9$ respectivement pour les latitudes minimales, moyennes et maximales), ce qui tend à prouver que ces cycles ne sont pas aberrants mais relèvent

d'une dynamique complexe. Le cycle de la fréquence des anticyclones américano-atlantiques est a priori anormal mais nous verrons dans la suite de cette thèse que ce résultat est tout à fait cohérent.

- d) finalement, nous établissons (et c'est sans doute la validation la plus précise) des corrélations entre les caractéristiques des éléments décrits précédemment avec un indice climatique reconnu : l'Oscillation Nord Atlantique (ONA) défini entre autres par Rogers J.C. et Van Loon H. (1978, 1979) et Hurrell J. (1995). Depuis longtemps les liens entre les caractéristiques des anticyclones et surtout des dépressions et l'ONA sont étudiés. Jung T. et al (2003) et Gulev S.K. et al (2000, 2001) ont montré la pertinence de ce type d'étude ou encore Visbek M. et al (2003) qui concluent que *«the NAO not only affects the strength but also the position of maximum westerlies and storm frequency and intensity»*.

Tous les coefficients de la corrélation (méthode Bravais-Pearson) cités en gras dans les tableaux de ce doctorat sont statistiquement significatifs au seuil de 98 % ou plus.

	Freq	P Ma/Mi	P My	Du	Dist	Lat Mi	Lat Mx	Lat	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La Mx- La Mi	Lg Mx- Lg Mi	P My- P Mi
anticyclones AME	0,19	0,62	0,67	- 0,10	0,55	- 0,32	- 0,46	- 0,36	- 0,94	- 0,85	- 0,94	0,64	- 0,27	0,45	0,46
anticyclones GS	- 0,74	0,72	0,72	0,77	0,93	- 0,93	0,35	- 0,58	0,60	0,90	0,88	0,40	0,82	0,48	0,64
DEP	0,13	- 0,24	- 0,22	- 0,10	0,88	0,69	0,72	0,71	- 0,17	0,26	0,06	0,62	0,64	0,95	0,29

Tableau 2.1. Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles de certaines caractéristiques des anticyclones américains (anticyclones AME), les cycles annuels en valeurs mensuelles de certaines caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves (anticyclones GS), les cycles annuels en valeurs mensuelles de certaines caractéristiques des dépressions (DEP) et le cycle annuel en valeurs mensuelles de l'ONA.

a) anticyclones américano-atlantiques.

	Freq	Lat Mx	Lat Mi	Lat	Long Mx	Long
An	- 0,23	- 0,53	- 0,33	- 0,49	- 0,42	- 0,41
JFM	- 0,54	- 0,56	- 0,52	- 0,66	- 0,25	- 0,20
AMJ	- 0,28	- 0,30	- 0,21	- 0,31	- 0,35	- 0,36
JAS	- 0,26	- 0,17	0,21	0,03	- 0,10	- 0,15
OND	- 0,31	- 0,38	- 0,23	- 0,36	- 0,31	- 0,32

b) anticyclones groenlando-scandinaves

	Freq	Long Mx
An	- 0,17	0,33
JFM	- 0,30	0,02
AMJ	- 0,20	0,01
JAS	- 0,56	0,11
OND	- 0,46	0,02

c) dépressions.

	Freq	P Mi	P My	Lat Mi	Lat Mx	Long Mi	Long Mx	Vit
An	0,39	- 0,54	- 0,43	0,76	0,73	- 0,41	0,01	0,45
JFM	0,49	- 0,62	- 0,41	0,84	0,81	- 0,52	0,18	0,57
AMJ	0,39	- 0,38	- 0,31	0,51	0,25	0,00	- 0,01	0,13
JAS	0,19	- 0,44	- 0,42	0,39	0,11	0,22	0,10	0,21
OND	0,26	- 0,36	- 0,28	0,65	0,50	- 0,14	0,38	0,52

Tableau 2.2. Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques (a), anticyclones groenlando-scandinaves (b) et les dépressions (c) et l'ONA en valeurs annuelles (An) et saisonnières (JFM, AMJ, JAS, OND) sur la période 1950-2000.

Les corrélations concernant les cycles mensuels ou les évolutions sur les différentes échelles de temps démontrent que les trajectoires des anticyclones et des dépressions rendent bien compte de la variabilité de l'ONA. Nous pouvons donc conclure que ces trajectoires sont utilisables afin de mener nos études (tableaux 2.1 et 2.2).

Nous ne faisons pas de validation à partir d'un comptage des anticyclones et des dépressions issu de l'observation directe des cartes synoptiques car cela nous amènerait à être exposé aux critiques de subjectivité attachée à l'analyse humaine que nous voulons ici minimiser. Malgré les preuves d'adéquation de cet algorithme et des post-traitements afin de simuler l'activité synoptique dans

notre espace d'étude, des lacunes persistent dont il faut prendre connaissance afin de mieux évaluer le degré (plus ou moins élevé) de pertinence des résultats obtenus.

2.5 Précautions d'utilisation des résultats de l'algorithme

- En premier lieu, il convient de rappeler que l'utilisation d'un algorithme rend prisonnier de la logique interne de cet algorithme. Il permet de mettre en évidence les trajectoires, mais dans le même temps il introduit une marge d'erreur. Ainsi par exemple on peut noter sur la figure 2.7 quelques trajectoires d'anticyclones au nord du Groenland qui sont peu vraisemblables. Mais la masse des trajectoires révélée par ce même algorithme n'est pas profondément entachée par ce petit nombre de trajectoires contestables. En effet, la marge d'erreur, qui est inévitable dans une démarche scientifique, est acceptable.

- La deuxième précaution concerne les changements d'années. Les trajectoires ont été établies à partir de fichiers annuels de données, puis les 51 fichiers-listes (un par année) ont été compilés pour obtenir une unique base de données. Cette méthode implique qu'il peut exister des redondances d'entités ayant eu un cycle d'existence à cheval sur deux années. Ceci est potentiellement problématique dans le cadre de l'analyse d'un événement météorologique isolé mais presque insignifiant dans le cadre qui est le nôtre puisqu'il y a 11 726 anticyclones et 9 755 dépressions répertoriés de 1950 à 2000.

- La troisième touche à la mesure des latitudes minimales des anticyclones. La même latitude dans les résultats peut en fait revêtir une réalité différente en fonction de l'extension géographique des anticyclones. L'algorithme reconnaît les centres anticycloniques, donc :

- en hiver, les anticyclones étant étendus, les centres se trouvent à des latitudes minimales relativement septentrionales,
- en été, les anticyclones étant peu étendus, les centres se trouvent à des latitudes minimales relativement méridionales.

- La dernière s'intéresse à la saisonnalité. Nous avons fait le choix arbitraire d'utiliser dans l'algorithme des seuils et des paramètres invariants quel que soit le mois traité. Cela introduit donc une part d'erreur ou d'imprécision puisque nous savons que les conditions environnementales fluctuent tout au long de l'année.

Pour pallier ces lacunes, nous devrions :

- utiliser de deux, voire quatre, données par jour,
- utiliser les données ECMWF Re-Analysis : ERA-40 ou ERA-15 de l'European Center for Medium-Range Weather Forecasts, et utiliser encore, comme cela avait été envisagé, les données du modèle canadien élaborées par S. Goyette,
- agréger les 51 matrices annuelles de données pour constituer un fichier unique, afin d'exécuter l'algorithme sur cette base générale de données. Nous n'avons pu effectuer ce travail du fait de l'insuffisance de puissance informatique à notre disposition,
- mettre en place une géométrie variable des paramètres de l'algorithme en fonction des périodes de l'année. Mais cela resterait de toute façon fortement arbitraire puisque la variabilité saisonnière inter-annuelle est importante ; un changement de seuil pertinent une année, peut s'avérer injustifié l'année suivante.

Tout au long de notre travail nous utilisons des corrélations linéaires (méthode de Bravais-Pearson). Ce choix a été porté par une volonté de simplicité et de constance des méthodes (dans la mesure du possible) durant l'intégralité du travail. Mais nous sommes bien conscient qu'une corrélation statistique ne signifie pas une relation causale.

Grâce à l'algorithme précédemment décrit et validé nous avons pu établir la totalité des trajectoires sur l'Atlantique nord sur l'ensemble de la période 1950-2000.

L'objectif des deux chapitres suivants est de décrypter le plus précisément possible les diverses variations qu'ont connues les anticyclones et les dépressions durant la période d'étude.

Dans la nature tous les éléments évoluent ensemble. Mais pour plus de clarté et d'efficacité nous créons une division artificielle en analysant successivement les anticyclones et les dépressions.

La majorité des travaux antérieurs consacrés à la variabilité inter-annuelle de l'intensité des phénomènes synoptiques sur l'Atlantique nord ne concernent que les dépressions et particulièrement leurs fréquences et leurs pressions (Serreze M.C. et al (1993), Gulev S. K., Jung T., Ruprecht E. (2002)). Nous voulons traiter ici un nombre de variables plus important pour les dépressions mais également pour les anticyclones.

Nous montrons uniquement les faits les plus marquants, non par volonté d'exagération, mais bien dans l'optique de ne pas surcharger le propos par une somme énorme d'informations partiellement redondantes qui pourrait lasser le lecteur.

3. CARACTERISTIQUES DES TRAJECTOIRES DES ANTICYCLONES

Ce chapitre est construit en plusieurs étapes afin de prendre en compte l'ensemble des phénomènes. Ainsi, nous analysons, pour toutes les trajectoires:

- les données moyennes sur la période avec :
 - les valeurs moyennes annuelles, puis les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles pour l'ensemble des anticyclones et selon diverses sélections (filtres),
 - les densités de passage selon les saisons. C'est-à-dire la fréquence de passage de telle ou telle entité dans un espace délimité en longitude et latitude durant une période donnée.
- les séries temporelles avec :
 - les tableaux de tendances de toutes les variables à différentes échelles temporelles,
 - les évolutions des variables à l'échelle annuelle et saisonnière,
 - les coefficients de corrélation entre les variables et l'ONA,
 - les coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones.

Enfin, nous comparons les principales caractéristiques et les évolutions entre trajectoires. Mais en premier lieu, il faut définir les caractéristiques utilisées dans ces études.

3.1 Liste des caractères majeurs

Dans la majorité des examens consacrés aux anticyclones au dessus d'espaces de plus ou moins grande extension géographique, seules deux ou trois variables sont mesurées (la fréquence, la pression centrale et les densités de passage).

Afin de quantifier de façon plus détaillée les comportements des anticyclones, nous avons à disposition tout au long de notre travail un nombre plus important de variables :

- **Fréquence** (Freq),
- **Pression maximale** (P Mx), seule la pression maximale de chaque anticyclone entre dans le calcul, en hPa,
- **Pression moyenne** (P My), toutes les pressions (en hPa) de tous les anticyclones sont utilisées,
- **Durée** (Du), nombre de jours que durent les trajectoires,
- **Distance** (Dist), nombre de kilomètres parcouru au cours des trajectoires,
- **Latitude minimale** (La Mi), dernière latitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque anticyclone, en °N,
- **Latitude maximale** (La Mx), première latitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque anticyclone, en °N,
- **Latitude** (La), toutes les latitudes de tous les anticyclones, en °N. Cette valeur donne un ordre de grandeur de la position nord-sud des entités,
- **Longitude minimale** (Lg Mi), première longitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque anticyclone, en ° (cf. base de données et méthodes),
- **Longitude maximale** (Lg Mx), dernière longitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque anticyclone, en °,
- **Longitude** (Lg), toutes les longitudes de tous les anticyclones, en °. Cette valeur expose la position plus ou moins orientale des trajectoires,
- **Vitesse** (Vit), vitesse de déplacement du centre en km/h sur l'ensemble des trajectoires,

- **Latitude maximale-Latitude minimale (La-La).** Ceci informe sur l'extension géographique des trajectoires en latitude, en °,
- **Longitude maximale-Longitude minimale (Lg-Lg).** Cette valeur indique extension géographique des trajectoires en longitude, en °,
- **Pression maximale-Pression moyenne (P-P),** donne des indications sur la distribution des pressions élevées par rapport à l'ensemble, en hPa. C'est-à-dire précise si les anticyclones ont connu des pics de pressions durant leur trajectoire.

3.2 Tous les anticyclones

Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre 2, notre échantillon statistique comporte 11 726 entités.

3.2.1 Analyses des données moyennes

Cette partie, qui concerne les caractéristiques sur la période 1950-2000, est donnée à titre introductif car ces valeurs n'ont qu'une représentativité restreinte (tableau 3.1).

Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
229,92	1027,49	1022,74	6,04	6105,59	34,67	66,78	47,72	100,52	150,61	129,85	42,10	32,11	50,09	4,75

Tableau 3.1. Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000.

Sur la période 1950-2000, on dénombre 229, 92 anticyclones par an, donc un anticyclone toutes les 38 heures (soit 1 j et 14 h).

3.2.1.1 Les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles

- Les cycles annuels en valeurs saisonnières

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	56,18	1030,23	1024,72	6,23	6392,45	34,08	67,11	47,46	91,21	145,15	122,75	42,78	33,03	53,94	5,50
AMJ	61,61	1027,04	1022,31	5,91	5891,35	35,89	67,76	48,99	104,49	153,88	133,62	41,58	31,87	49,39	4,73
JAS	58,04	1024,29	1020,50	5,91	5908,46	34,21	65,29	46,71	108,68	154,53	135,67	41,75	31,08	45,84	3,79
OND	54,10	1028,48	1023,50	6,23	6323,75	34,24	66,81	47,41	95,78	147,61	125,83	42,34	32,57	51,84	4,97

Tableau 3.2. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.

- Les cycles annuels en valeurs mensuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
Janvier	20,16	1030,45	1025,08	6,32	6532,48	32,97	66,23	46,30	87,42	141,97	119,54	43,13	33,26	54,55	5,37
Février	17,10	1030,47	1024,89	6,19	6391,25	34,24	66,97	47,57	89,53	143,57	120,71	43,24	32,73	54,04	5,58
Mars	18,92	1029,74	1024,20	6,29	6356,74	34,91	67,94	48,19	94,09	148,39	126,03	42,21	33,03	54,30	5,54
Avril	19,82	1028,68	1023,40	6,23	6194,96	36,39	68,68	49,43	97,75	151,52	129,37	41,57	32,29	53,77	5,28
Mai	23,43	1027,15	1022,37	5,76	5814,37	36,10	67,81	49,28	103,68	152,70	132,46	42,17	31,71	49,02	4,78
Juin	18,35	1025,00	1020,97	5,85	5667,82	35,06	66,42	47,98	111,90	156,77	138,53	40,55	31,35	44,87	4,03
Juillet	17,67	1023,85	1020,31	5,92	5661,33	34,53	65,13	46,77	111,31	153,19	136,03	40,00	30,60	41,88	3,54
août	20,18	1023,70	1020,13	5,87	5878,43	34,21	64,77	46,49	110,66	155,68	137,13	41,94	30,56	45,02	3,57
Septembre	20,20	1025,26	1021,01	6,04	6252,79	33,82	66,12	46,82	102,75	153,57	132,58	43,27	32,29	50,83	4,24
Octobre	19,24	1026,96	1022,25	6,36	6385,09	34,36	67,32	47,55	100,40	151,27	129,90	41,97	32,97	50,87	4,71
Novembre	18,45	1028,91	1023,71	6,36	6346,23	34,42	66,85	47,64	95,40	148,31	126,10	41,68	32,43	52,91	5,20
décembre	16,41	1029,68	1024,65	6,10	6409,08	33,46	65,86	46,46	89,64	142,15	119,89	43,85	32,40	52,51	5,02

Tableau 3.3. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.

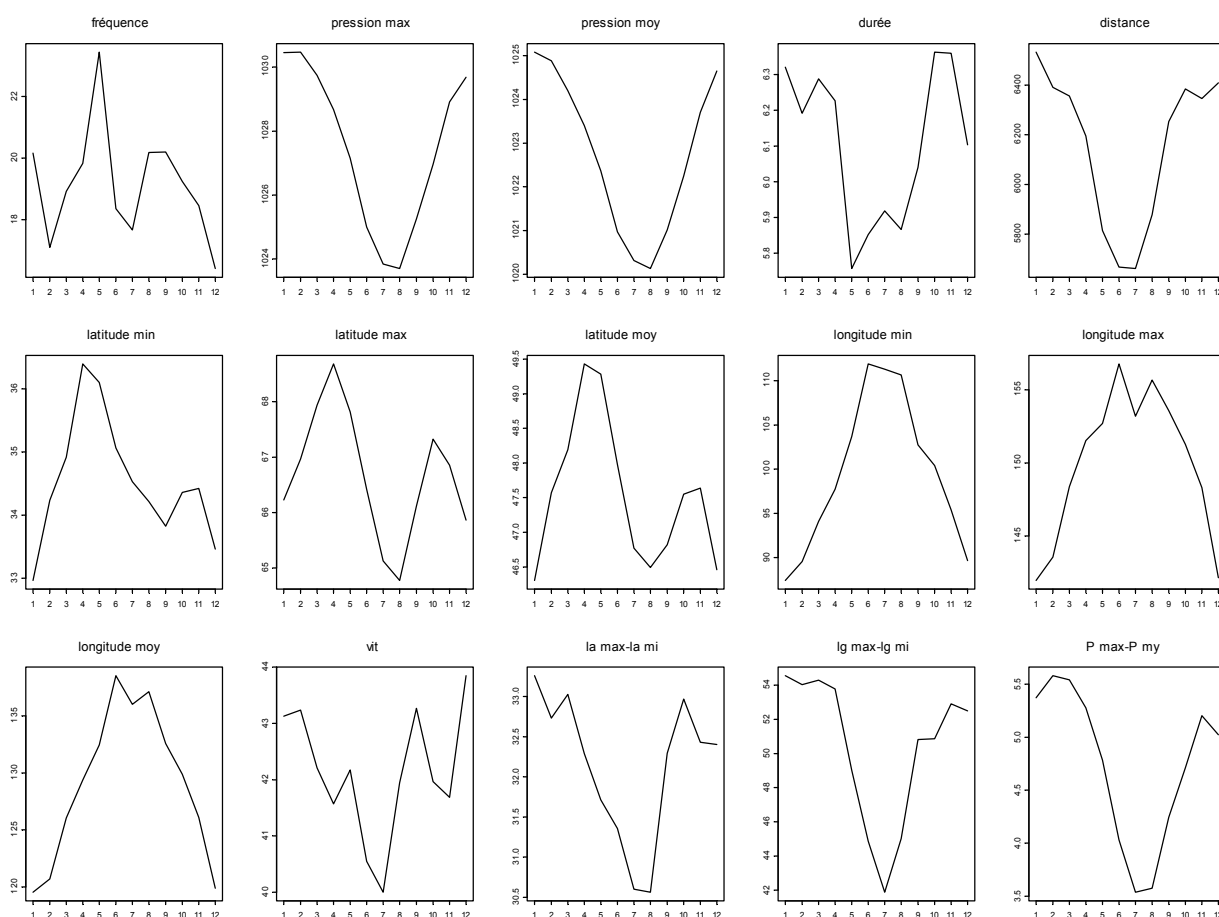


Figure 3.1 Cycles annuels en valeurs mensuelles des anticyclones.

Les cycles annuels en valeurs saisonnières (tableau 3.2) et mensuelles (tableau 3.3 et figure 3.1), sont pour la plupart unimodaux :

- les pressions moyennes et maximales, la durée, la distance, la vitesse des anticyclones sont maximales en hiver et minimales en été,
- les longitudes maximales, moyennes, minimales des anticyclones sont minimales en hiver et maximales en été. Ainsi les trajectoires des anticyclones sont décalées vers l'est durant l'été et vers l'ouest durant l'hiver,
- les différences entre les latitudes maximales-latitudes minimales, les longitudes maximales-longitudes minimales, les pressions maximales-pressions moyennes sont maximales en hiver et automne et minimales en été. C'est-à-dire que durant l'hiver l'espace couvert par les anticyclones est plus étendu, tandis que leurs puissances sont maximales.

Mais d'autres cycles sont plus complexes :

- la fréquence des anticyclones est maximale au printemps et minimale en automne,
- les latitudes maximales et moyennes évoluent de façon similaire. En été, les anticyclones apparaissent à une latitude plus méridionale. Leurs trajectoires moyennes sont plus méridionales. Durant le printemps, c'est l'inverse. L'hiver et l'automne ont des caractéristiques semblables et intermédiaires.
- les latitudes atteintes par les anticyclones sont plus méridionales durant l'été et l'automne et plus septentrionales au printemps.

3.2.1.2 Densités de passage selon les saisons

Les fréquences des anticyclones par saisons sur les 51 années d'études sont de 2 865 en JFM, 3 142 en AMJ, 2 960 en JAS et 2 759 en OND.

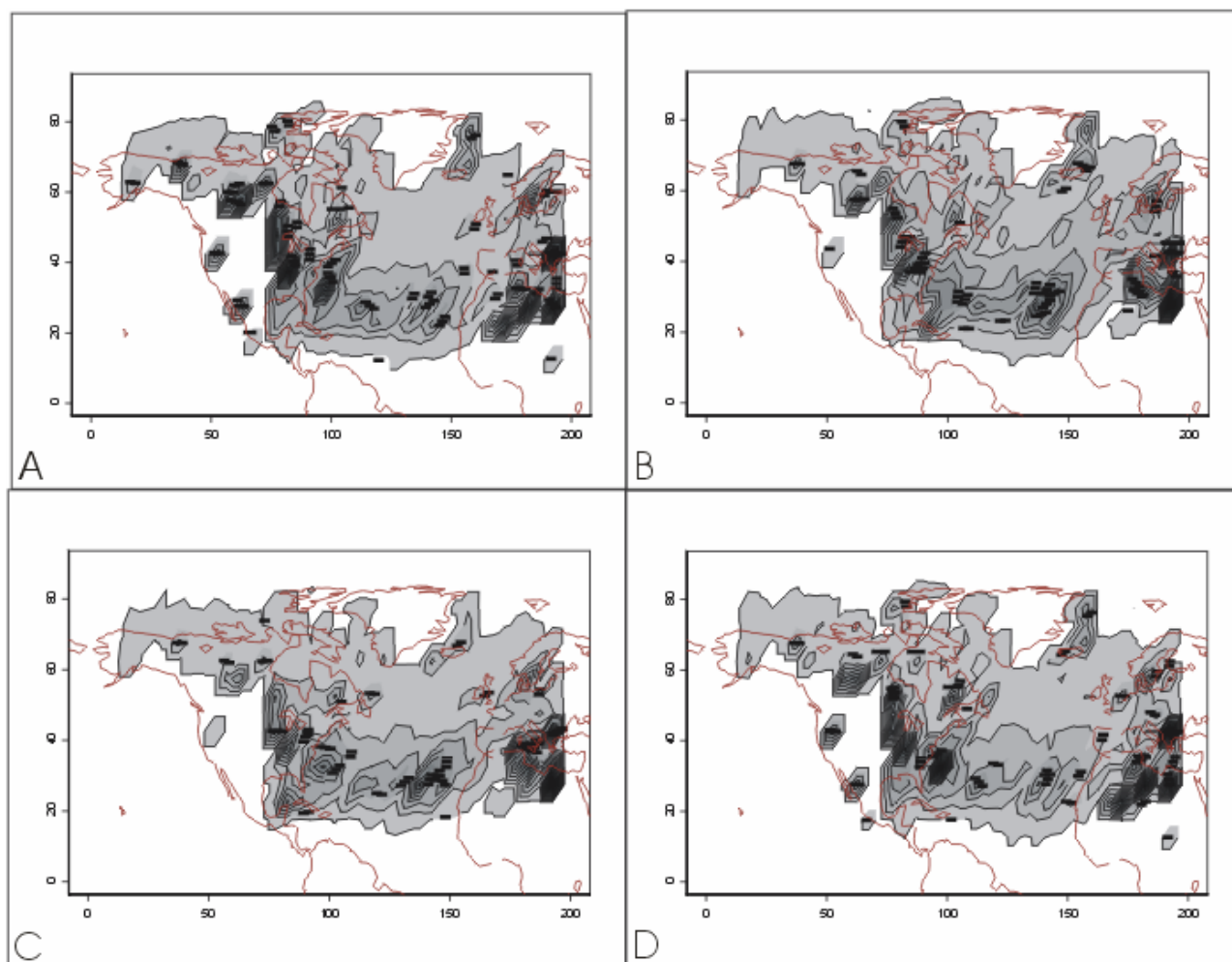


Figure 3.2 Densités de passage des anticyclones dans des secteurs de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. Les courbes d'iso-passages englobent les aires supérieures à 5 passages. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E .

Les aires de passage sont similaires en toutes saisons (figure 3.2 A, B, C, D) avec un axe principal partant du Grand Nord canadien, passant par le centre du continent nord-américain (à l'est des Rocheuses), puis le long du 30^e parallèle sur l'Atlantique nord. Un axe secondaire suit la ligne de côte de l'Europe occidentale (du Cap Nord à la Méditerranée).

3.2.2 Analyse de l'évolution à partir des séries temporelles

3.2.2.1 Coefficients de variation et des coefficients de détermination.

Nous avons établi les tableaux récapitulatifs coefficients de variation des courbes de tendance (régression linéaire) et des coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications, aux échelles temporelles : annuelles, et saisonnières : JFM, AMJ, JAS, OND, des anticyclones.

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,37 0,11	0 0,03	0 0	0 0,12	-2,25 0,04	- 0,03 0,07	- 0,02 0	- 0,05 0,04	- 0,02 0,19	- 0,02 0,1	- 0,02 0,13	0,02 0,1	0 0	- 0,06 0,12	0 0,07
JFM	- 0,13 0,06	0 0	0 0	0 0,01	3,68 0,02	- 0,02 0,04	- 0,02 0,04	- 0,03 0,07	0 0	- 0,04 0	- 0,03 0	0 0	0 0	- 0,04 0,12	0 0,05
AMJ	0,24 0,15	0 0,02	0 0	0 0,08	-4,6 0,03	- 0,03 0,08	0 0	- 0,01 0,03	0,14 0,16	0,04 0,02	0,08 0,1	0,02 0,03	0,03 0,03	- 0,1 0,08	0 0,06
JAS	0,18 0,08	0 0,01	0 0,06	- 0,01 0,2	-7,7 0,11	- 0,02 0,06	- 0,04 0,1	- 0,02 0,06	0,16 0,08	0,06 0,02	0,11 0,05	0,03 0,05	- 0,02 0,02	- 0,1 0,06	0 0
OND	0,08 0,03	0 0	0 0	0 0	2,7 0,01	- 0,02 0,04	0 0	- 0,01 0,02	- 0,07 0,02	- 0,02 0	- 0,04 0	0,02 0,03	0,01 0,01	0,05 0,02	0 0,04

Tableau 3.4. Anticyclones : Coefficients de variation des courbes de tendances (régression linéaire) et les coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes échelles temporelles : annuelle et saisonnières : JFM, AMJ, JAS, OND.

Le tableau 3.4 résume les tendances d'évolution des quinze variables décrivant le comportement des anticyclones :

- les fréquences augmentent en valeurs annuelles, printanières et estivales et baissent en hiver,
- les distances parcourues connaissent des baisses en valeurs annuelles, printanières et estivales, et une baisse saisonnière en automne et en hiver,
- les latitudes maximales, minimales et moyennes se décalent vers le sud de façon plus ou moins prononcée à toutes les échelles temporelles,
- les longitudes minimales, maximales et moyennes connaissent des hausses en valeurs printanières et estivales (trajectoires plus zonales) et des baisses en valeurs annuelles, hivernales et automnales (trajectoires plus méridiennes),
- les vitesses de déplacement s'accroissent pour toutes les échelles de temps sauf en hiver,
- les différentiels en latitude stagnent en valeurs annuelles et hivernales, augmentent en valeurs printanières et automnales et baissent en valeurs estivales,
- les différentiels en longitude diminuent à toutes échelles sauf en automne,
- les pressions, les durées et les différentiels de pression n'ont pas de tendance significative.

3.2.2.2 Evolutions des variables en valeurs annuelles

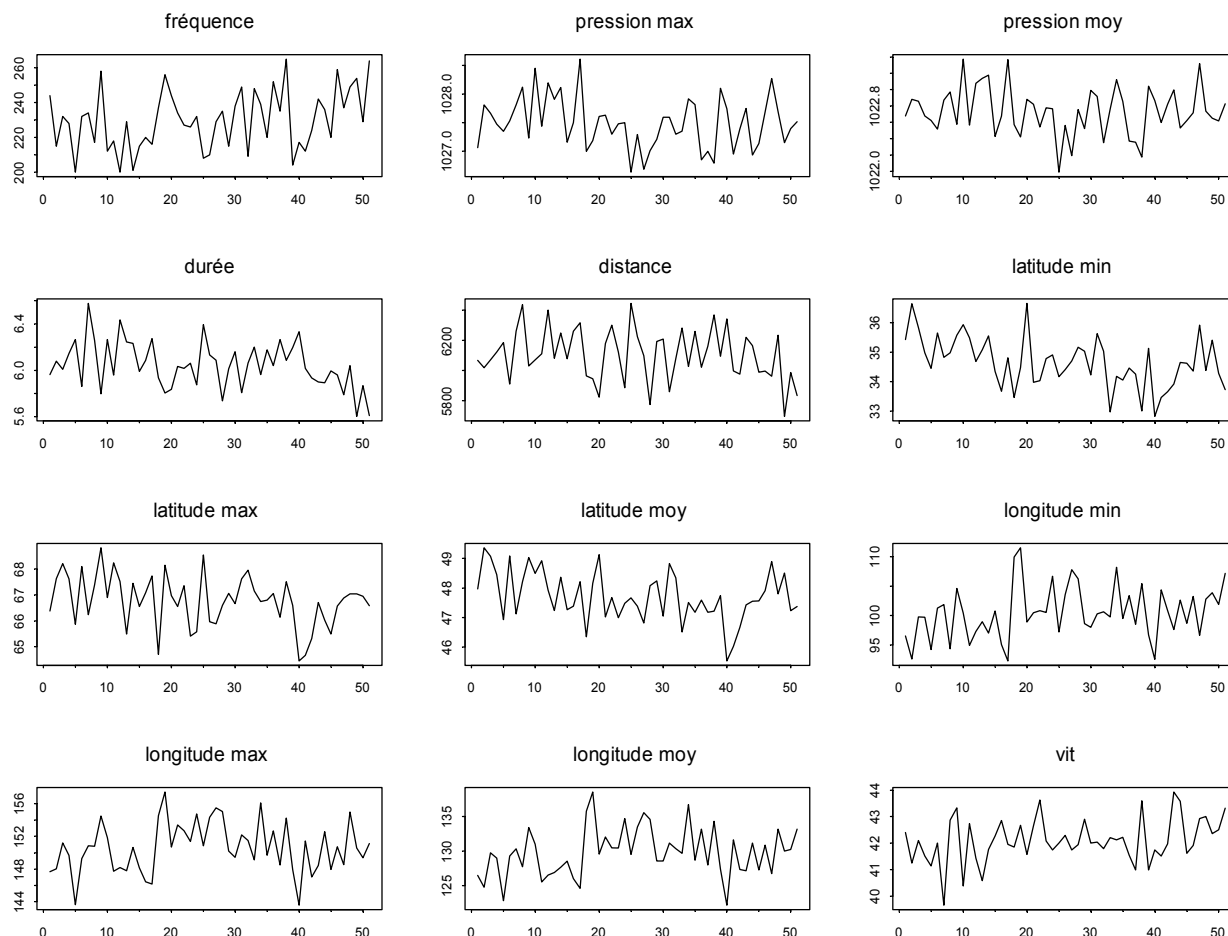


Figure 3.3 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des anticyclones en valeurs annuelles. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Les caractéristiques évoluent durant la période 1950-2000 de façon différente (figure 3.3) :

- le nombre d'anticyclones diminue de 1950 à 1963, puis augmente avec une rupture en 1988,
- les pressions maximales et moyennes ont connu trois périodes successives : elles s'accroissent de 1950 à 1966, puis baissent jusqu'en 1976, pour ensuite repartir à la hausse,
- les durées, les distances, les latitudes d'apparition et de fin, et les latitudes moyennes diminuent régulièrement sur la période (avec un minimum en 1990),
- les longitudes d'apparition, de d'agglutination, et moyennes, ainsi que les vitesses de déplacement, augmentent régulièrement durant la période (mais avec un minimum en 1990).

3.2.2.3 Evolutions des variables en valeurs saisonnières

Nous nous concentrons à présent sur les évolutions saisonnières de paramètres particuliers : fréquence, latitudes (maximales et minimales), longitudes (minimales et maximales).

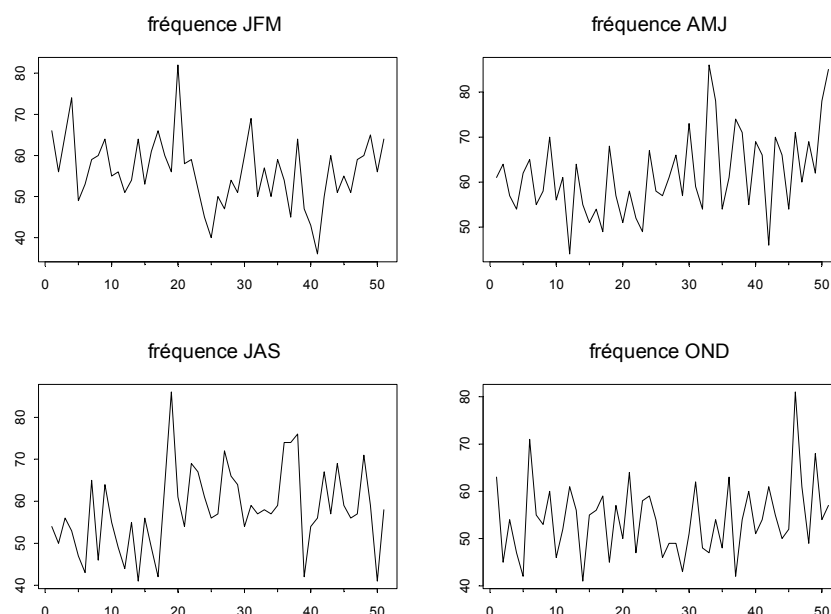


Figure 3.4 Les séries temporelles sur la période 1950-2000 des fréquences en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

En hiver, les fréquences augmentent de 1950 à 1970 puis diminuent plus ou moins régulièrement. Au printemps et en automne, les fréquences augmentent de façon nette alors qu'en été il y a deux phases : une de 1950 à 1966 caractérisée par une hausse puis une seconde de 1968 à 2000 caractérisée par une baisse. Les phases étant séparées par un palier en 1967 (figure 3.4).

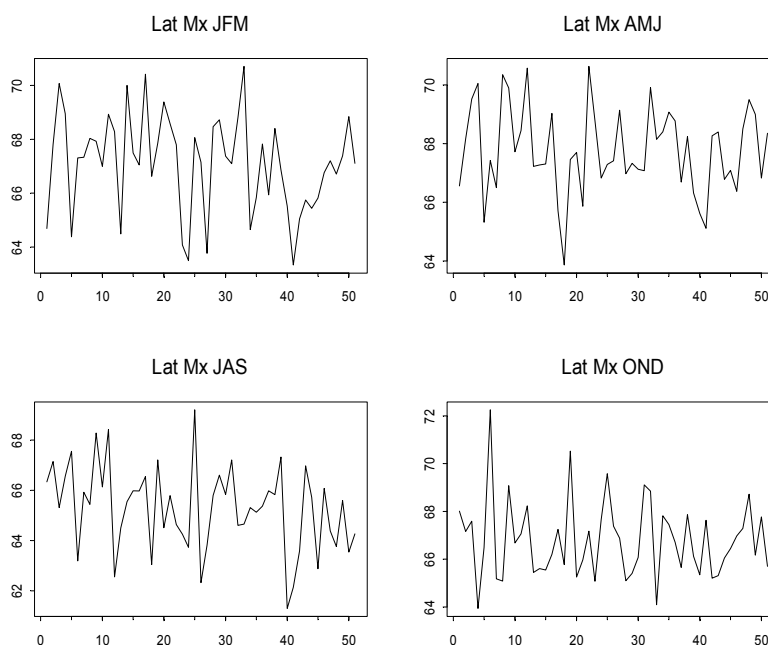


Figure 3.5 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des latitudes maximales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

En hiver et durant l'été, les anticyclones apparaissent à des latitudes de plus en plus méridionales. Pour le printemps et l'automne, il n'y a pas de tendance nette (figure 3.5).

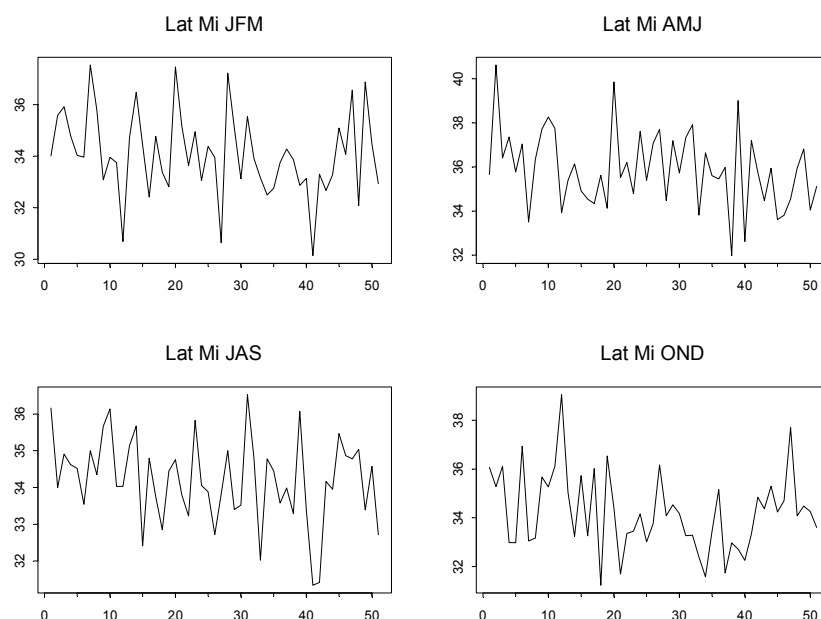


Figure 3.6 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des latitudes minimales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Quelle que soit la saison, les anticyclones atteignent des latitudes de plus en plus méridionales sur la période d'étude (figure 3.6).

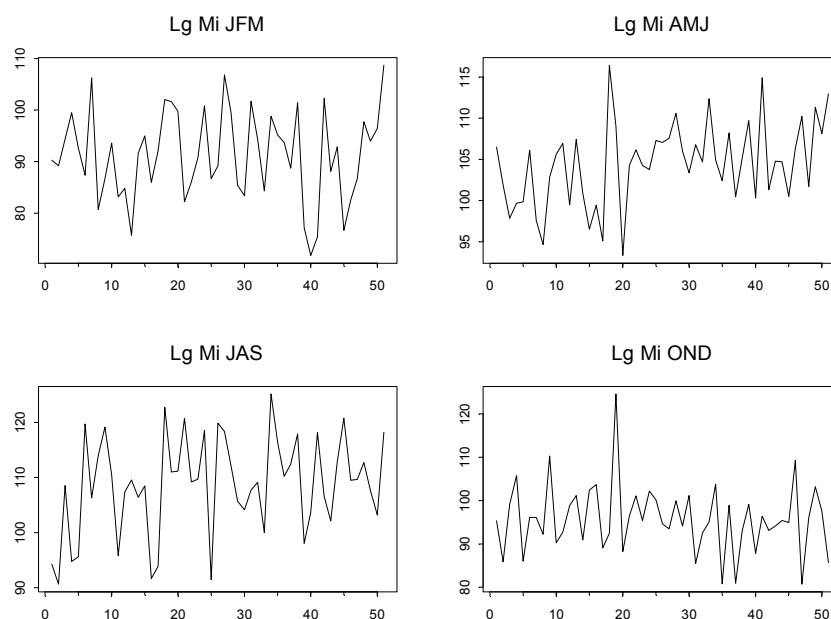


Figure 3.7 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des longitudes minimales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Les anticyclones apparaissent durant la période 1950-2000 à des longitudes de plus en plus orientales au printemps et durant l'été et à des longitudes occidentales durant l'automne. Durant l'hiver, malgré une forte variabilité interannuelle il n'y a pas de tendance nette sur la période (figure 3.7).

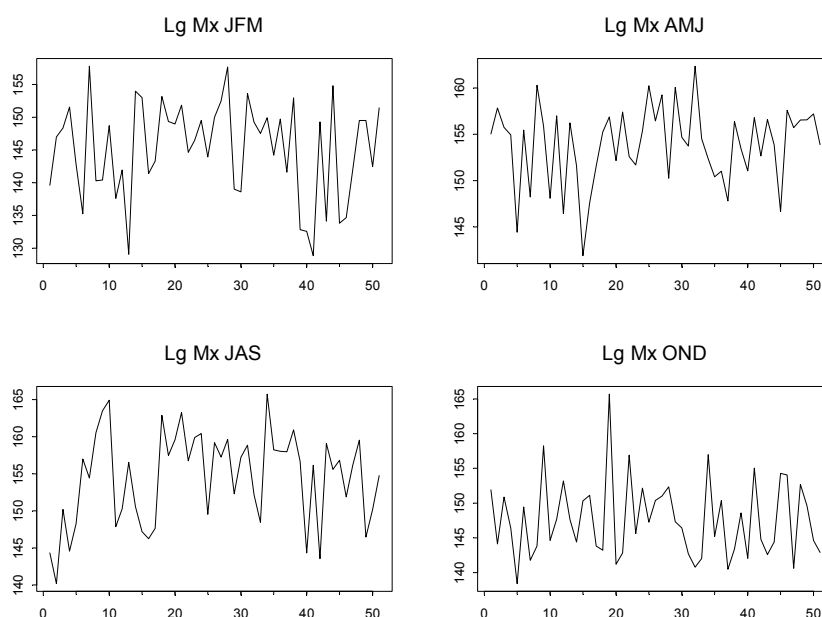


Figure 3.8 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des longitudes maximales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Les anticyclones sont capables d'atteindre des longitudes de plus en plus orientales au printemps et durant l'été et inversement pour l'hiver et l'automne (figure 3.8). Il y a donc déplacement vers l'est de l'espace couvert par les anticyclones durant les saisons chaudes et vers l'ouest durant les saisons froides (figures 3.7 et 3.8). Ce constat pose la question de savoir si ces phénomènes sont propres aux comportements des anticyclones ou s'ils influencent les processus de formation des Agglutinations Anticycloniques (cf. chap. 5.7).

3.2.2.3 Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones et l'ONA

Afin de bien prendre en compte les évolutions des caractéristiques selon les saisons sur la période 1950-2000, nous établissons les coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones et l'ONA (tableau 3.5).

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,28	-0,17	-0,07	0,24	0,14	-0,38	-0,54	-0,56	-0,09	-0,28	-0,21	-0,20	-0,21	-0,18	-0,25
JFM	-0,59	-0,15	-0,01	0,44	0,34	-0,47	-0,56	-0,67	-0,17	-0,26	-0,21	-0,27	-0,13	-0,10	-0,31
AMJ	-0,29	-0,22	-0,13	0,15	0,10	-0,18	-0,21	-0,29	-0,17	-0,38	-0,33	-0,06	0,00	-0,14	-0,24
JAS	-0,54	-0,16	-0,18	0,26	0,17	0,03	-0,07	-0,09	-0,33	-0,28	-0,32	-0,16	-0,09	0,20	-0,08
OND	-0,52	-0,10	0,08	0,32	0,32	-0,29	-0,44	-0,47	-0,34	-0,44	-0,42	0,00	-0,13	0,05	-0,34

Tableau 3.5. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones et l'ONA.

Les caractéristiques les plus représentatives des anticyclones sont les fréquences, les latitudes (minimales, maximales, moyennes), et les longitudes (minimales, maximales, moyennes). Les saisons durant lesquelles les valeurs rendent le mieux compte de l'oscillation (ONA) sont l'hiver et l'automne.

3.2.2.4 Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones

Dans le but de quantifier les inter-relations internes aux caractéristiques des anticyclones, nous établissons les coefficients de corrélations entre les variables (tableau 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10).

a- Valeurs annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	- 0,27	1,00										
P My	- 0,16	0,91	1,00									
Du	- 0,58	0,28	0,12	1,00								
Dist	- 0,41	0,17	- 0,02	0,79	1,00							
La Mx	0,11	0,13	- 0,08	- 0,08	0,12	1,00						
La Mi	- 0,11	0,32	0,30	- 0,18	- 0,39	0,40	1,00					
La	0,08	0,28	0,18	- 0,30	- 0,29	0,73	0,86	1,00				
Lg Mx	0,55	- 0,46	- 0,35	- 0,49	- 0,47	- 0,11	- 0,22	- 0,16	1,00			
Lg Mi	0,44	- 0,31	- 0,27	- 0,35	- 0,24	0,16	0,01	0,10	0,83	1,00		
Lg	0,53	- 0,39	- 0,33	- 0,41	- 0,34	0,06	- 0,14	- 0,05	0,94	0,95	1,00	
vit	0,39	- 0,22	- 0,22	- 0,54	0,09	0,30	- 0,25	0,09	0,14	0,23	0,19	1,00

Tableau 3.6. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs annuelles.

- Entre la fréquence et la durée ($R = - 0,58$), la distance ($R = - 0,41$), la longitude d'apparition ($R = 0,55$), moyenne ($R = 0,44$), de comblement ($R = 0,53$) et la vitesse ($R = 0,39$) :

quand les anticyclones sont plus nombreux, ils durent moins longtemps, parcourent moins de distance, apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales et se déplacent plus rapidement.

- Entre la pression maximale et la longitude d'apparition ($R = - 0,46$) :

quand les pressions des anticyclones augmentent, ils apparaissent à des longitudes plus orientales.

- Entre la durée et la longitude d'apparition ($R = - 0,49$) et de comblement ($R = - 0,41$) :

quand les anticyclones apparaissent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales, ils durent moins longtemps.

- Entre la distance et la longitude d'apparition ($R = - 0,47$) :

quand les anticyclones apparaissent à des longitudes plus orientales, ils parcourent moins de distance.

b- Valeurs en JFM

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,29	1,00										
P My	0,25	0,92	1,00									
Du	- 0,45	0,14	0,08	1,00								
Dist	- 0,40	0,16	0,09	0,87	1,00							
La Mx	0,54	0,23	0,05	- 0,15	- 0,05	1,00						
La Mi	0,47	0,07	0,07	- 0,44	- 0,52	0,39	1,00					
La	0,59	0,12	0,03	- 0,49	- 0,46	0,70	0,87	1,00				
Lg Mx	0,34	- 0,22	- 0,19	- 0,33	- 0,46	0,05	0,11	0,11	1,00			
Lg Mi	0,31	- 0,22	- 0,25	- 0,08	- 0,13	0,25	0,29	0,29	0,81	1,00		
Lg	0,32	- 0,24	- 0,25	- 0,18	- 0,28	0,17	0,20	0,19	0,93	0,96	1,00	
vit	0,17	0,01	0,00	- 0,43	0,07	0,22	- 0,06	0,14	- 0,17	- 0,08	- 0,15	1,00

Tableau 3.7 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs JFM.

- Entre la fréquence et la durée ($R = - 0,45$), la distance ($R = - 0,4$), la latitude d'apparition ($R = 0,54$), moyenne ($R = 0,47$) et de comblement ($R = 0,59$) :

quand les anticyclones sont plus nombreux, ils durent moins longtemps, parcourent moins de distance, apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales.

- Entre la durée et la latitude d'apparition ($R = -0,44$) et moyenne ($R = -0,49$) :
quand les anticyclones apparaissent et se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance et la latitude disparition ($R = -0,52$) et moyenne ($R = -0,46$) et la longitude d'apparition ($R = -0,46$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent à des longitudes plus orientales, se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.

c- Valeurs en AMJ

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	-0,15	1,00										
P My	-0,08	0,87	1,00									
Du	-0,32	0,29	0,12	1,00								
Dist	-0,25	0,28	0,13	0,79	1,00							
La Mx	-0,16	0,18	0,15	-0,33	-0,50	1,00						
La Mi	-0,18	0,16	0,06	0,06	0,32	0,13	1,00					
La	-0,18	0,24	0,18	-0,43	-0,40	0,86	0,45	1,00				
Lg Mx	0,46	-0,33	-0,18	-0,40	-0,53	-0,01	-0,22	-0,06	1,00			
Lg Mi	0,25	0,15	0,14	0,05	0,12	0,28	0,14	0,22	0,38	1,00		
Lg	0,41	-0,06	-0,01	-0,09	-0,09	0,10	0,04	0,06	0,73	0,87	1,00	
vit	0,09	0,00	0,02	-0,25	0,39	-0,30	0,42	0,00	-0,24	0,11	-0,01	1,00

Tableau 3.8 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs AMJ.

- Entre la fréquence et la longitude d'apparition ($R = 0,46$) et moyenne ($R = 0,41$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux, ils apparaissent, et se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la durée et la latitude moyenne ($R = -0,43$) et longitude d'apparition ($R = -0,4$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus occidentales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance et la latitude d'apparition ($R = -0,5$), moyenne ($R = -0,4$) et la longitude d'apparition ($R = -0,53$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent à des longitudes plus orientales, apparaissent et se déplacent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'agglutination et la vitesse ($R = 0,42$) :
quand les anticyclones se déplacent plus rapidement, ils s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.

d- Valeurs en JAS

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,17	1,00										
P My	0,28	0,87	1,00									
Du	-0,43	0,23	0,08	1,00								
Dist	-0,24	0,03	-0,07	0,75	1,00							
La Mx	-0,04	-0,18	-0,14	0,12	0,52	1,00						
La Mi	-0,15	-0,03	0,01	0,10	0,00	0,35	1,00					
La	0,02	-0,15	-0,09	0,01	0,22	0,75	0,79	1,00				
Lg Mx	0,40	-0,06	0,06	-0,47	-0,66	-0,50	-0,14	-0,30	1,00			
Lg Mi	0,37	-0,13	0,00	-0,29	-0,26	-0,11	0,21	0,14	0,76	1,00		
Lg	0,39	-0,13	0,01	-0,41	-0,45	-0,27	0,04	-0,07	0,91	0,95	1,00	
vit	0,34	-0,30	-0,20	-0,52	0,17	0,48	-0,15	0,26	-0,14	0,10	0,03	1,00

Tableau 3.9 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs JAS.

- Entre la fréquence et la durée ($R = -0,43$) et la longitude d'apparition ($R = 0,4$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux, ils durent moins longtemps, apparaissent à des longitudes plus orientales.

- Entre la durée et la longitude d'apparition ($R = -0,47$) et la longitude moyenne ($R = -0,41$) :
quand les anticyclones apparaissent et se déplacent à des longitudes plus orientales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance et la latitude d'apparition ($R = 0,52$), la longitude d'apparition ($R = -0,66$) et la longitude moyenne ($R = -0,45$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent à des latitudes plus méridionales, apparaissent et se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'apparition et la vitesse ($R = 0,48$) :
quand les anticyclones se déplacent plus rapidement, ils s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.

e- Valeurs en OND

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,16	1,00										
P My	-0,03	0,88	1,00									
Du	-0,55	0,05	0,04	1,00								
Dist	-0,51	0,08	0,03	0,80	1,00							
La Mx	0,35	0,11	0,03	-0,53	-0,48	1,00						
La Mi	0,29	-0,06	-0,24	-0,14	0,09	0,34	1,00					
La	0,48	0,11	-0,05	-0,55	-0,39	0,91	0,62	1,00				
Lg Mx	0,36	-0,28	-0,23	-0,42	-0,56	0,16	0,21	0,24	1,00			
Lg Mi	0,28	-0,07	-0,07	-0,29	-0,23	0,32	0,42	0,44	0,77	1,00		
Lg	0,33	-0,17	-0,15	-0,33	-0,39	0,20	0,33	0,32	0,92	0,94	1,00	
vit	0,07	0,04	-0,02	-0,35	0,28	0,09	0,34	0,27	-0,22	0,08	-0,10	1,00

Tableau 3.10 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs OND.

- Entre la fréquence et la durée ($R = -0,55$), la distance ($R = -0,51$), la latitude première ($R = 0,35$), moyenne ($R = 0,48$), longitude d'apparition ($R = 0,36$) et moyenne ($R = 0,33$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux, ils durent moins longtemps, parcourent moins de distance, apparaissent et se déplacent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus orientales.
- Entre la durée et la latitude première ($R = -0,53$), moyenne ($R = -0,55$), la longitude d'apparition ($R = -0,42$) et moyenne ($R = -0,33$) :
quand les anticyclones apparaissent et se déplacent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus orientales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance et la latitude moyenne ($R = -0,39$), la longitude d'apparition ($R = -0,56$) et moyenne ($R = -0,39$) :
quand les anticyclones parcourent plus de distance, ils se déplacent à des latitudes plus méridionales, apparaissent et se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'apparition et la longitude d'agglutination ($R = 0,32$) :
quand les anticyclones s'agglutinent à des longitudes plus orientales, ils s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'agglutination et la longitude moyenne ($R = 0,42$) et la vitesse ($R = 0,34$) :
quand les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent plus vite et atteignent des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude moyenne et la longitude d'agglutination ($R = 0,44$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.

3.2.2.5 Examen par Analyse en Composantes Principales (ACP)

Une autre façon de résumer les liens entre les variables caractéristiques des anticyclones est d'effectuer une Analyse en Composantes Principales (ACP). Nous exposons ici les principaux résultats (tableau 3.11).

	PC1	PC2	PC3
An % var	36.3	23.4	13.2
An CC/ONA	0,54	- 0,21	0,16
JFM % var	35	22.6	14.6
JFM CC/ONA	- 0,34	- 0,05	0,18
AMJ % var	26.7	21.8	18.1
AMJ CC/ONA	0,29	- 0,26	- 0,06
JAS % var	32.6	21.9	15.9
JAS CC/ONA	0,14	0,26	- 0,27
OND % var	37.8	18.6	14.6
OND CC/ONA	0,55	0,08	- 0,01

% var = pourcentage de la variance totale représenté par l'axe. CC/ONA= coefficient de corrélation avec l'indice de l'ONA.

Tableau 3.11 Résultats des ACP sur les anticyclones.

Pour les valeurs annuelles, hivernales et automnales les premiers axes représentent une part significative de l'information et nous observons que les coefficients de corrélation avec l'ONA sont significatifs à 98 %. Pour toutes les périodes d'étude, on remarque une opposition entre les fréquences, les longitudes (minimales, moyennes, maximales) du côté positif, et la durée et la distance du côté négatif.

Dans une moindre mesure il existe des oppositions:

- en valeurs annuelles, la vitesse du côté positif, et les pressions (maximales et moyennes) du côté négatif,
- en valeurs hivernales, les latitudes (minimales, moyennes, maximales) du côté positif,
- en valeurs printanières, les latitudes (minimales, moyennes et maximales) du côté négatif,
- en valeurs estivales, les latitudes maximales du côté négatif,
- en valeurs automnales, les latitudes (minimales, moyennes et maximales) du côté positif.

Ainsi, deux modes de fonctionnement coexistent. Quand les anticyclones sont peu fréquents, ils durent longtemps, parcourent plus de distance, apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales et inversement. Ce schéma se complique avec une tendance des anticyclones à apparaître, se déplacer et s'agglutiner à des latitudes plus méridionales durant les périodes froides (JFM, OND) et inversement.

3.2.3 Analyses selon les aires d'apparition en fonction des longitudes

- Analyses des aires d'apparition en longitude (25°/25°) sur la période 1950-2000 en valeurs annuelles (tableau 3.12, figures 3.8 et 3.9).

	Freq	%Freq	Freq cumulées
0-25 (180-155°O)	377	3,22	3,22
25-50 (155-130°O)	1160	9,89	13,11
50-75 (130-105°O)	2248	19,17	32,28
75-100 (105-80°O)	2806	23,93	56,21
100-125 (80-55°O)	1620	13,82	70,02
125-150 (55-30°O)	599	5,11	75,13
150-175 (30-5°O)	1498	12,78	87,91
175-200 (5°O-20°E)	1418	12,09	100

Tableau 3.12 Aires d'apparition en longitude en valeurs annuelles.

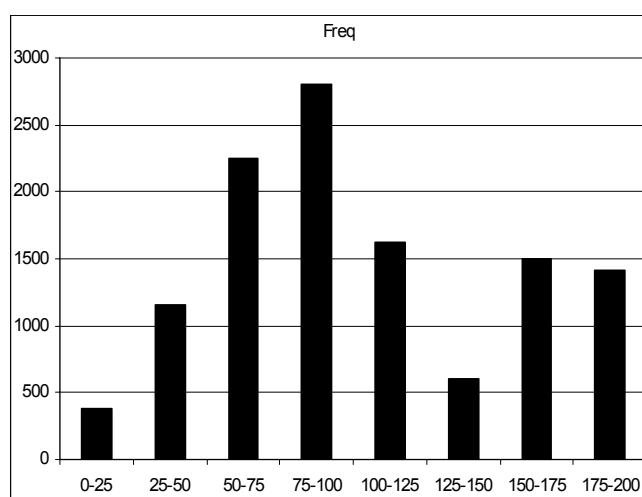


Figure 3.9 Aires d'apparition en longitude en valeurs annuelles. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

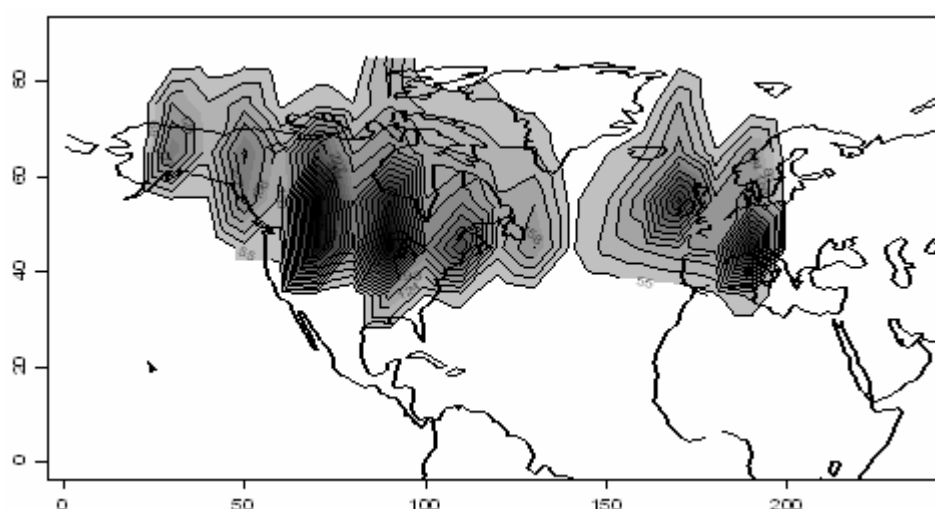


Figure 3.10 Espaces des anticyclogenèses en valeurs annuelles sur la période 1950-2000. Les courbes d'iso-anticyclogenèse englobent les aires supérieures à 55 apparitions. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Nous observons clairement (fig. 3.10) qu'il y a deux aires préférentielles d'anticyclogenèse (aires où apparaissent les anticyclones en fonction des paramètres utilisés dans l'algorithme) situées de part et d'autre du Groenland (figure 3.9) :

- les anticyclones de trajectoire nommée par la suite américano-atlantique, générés à l'ouest de la longitude 125° (55 °O), représentant 70 % du total, en valeurs annuelles,
- les anticyclones de trajectoire nommée par la suite groenlando-scandinave, générés à l'est de la longitude 125° (55 °O), représentant 30 % du total (Figure 3.9 et tableau 3.8).

Il faut noter l'aire de génération peu vraisemblable située sur l'Europe centrale qui est sans aucun doute un artefact combiné de la limite de l'espace d'étude et de l'algorithme. Ceci résulte aussi très probablement du blocage anticyclonique provoqué par la présence des Alpes.

Cette dichotomie franche nous impose de mener des analyses selon les deux trajectoires, afin de ne pas masquer les particularités par l'établissement de moyenne. Puis nous analyserons les principales différences comportementales entre ces deux trajectoires.

3.3 Les anticyclones américano-atlantiques

3.3.1 Analyses des données moyennes

8 491 anticyclones de trajectoires américano-atlantique se sont succédé sur la période 1950-2000.

Les valeurs moyennes sur la période 1950-2000.

Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
166.49	1027.99	1023.03	6.47	6753.87	33.94	67.32	47.37	75.4	135.76	110.96	43.52	33.38	60,36	4.96

Tableau 3.13 Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000.

Il y a donc expulsion en moyenne d'un anticyclone américano-atlantique toutes les 53 heures (soit 2 j et 5 h) (tableau 3.13).

3.3.1.1 Les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles

Les cycles annuels en valeurs saisonnières

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	44,06	1030,66	1024,94	6,55	6938,34	33,63	67,34	47,12	70,06	132,95	106,95	44,26	33,71	62,89	5,72
AMJ	43,69	1027,74	1022,68	6,51	6636,41	34,87	68,47	48,51	79,71	140,27	115,84	42,71	33,60	60,56	5,06
JAS	37,94	1024,99	1020,92	6,80	7025,62	32,27	66,16	45,50	78,59	137,30	113,82	43,35	33,89	58,71	4,07
OND	40,80	1029,01	1023,81	6,67	6958,54	33,53	66,88	46,78	73,04	134,03	108,48	43,65	33,35	60,99	5,20

Tableau 3.14 Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.

Les cycles annuels en valeurs mensuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
Janvier	15,59	1030,68	1025,14	6,54	7005,70	32,63	66,47	46,15	67,02	129,90	104,17	44,66	33,84	62,88	5,54
Février	13,33	1030,84	1025,03	6,46	6906,69	34,03	67,38	47,45	69,70	132,38	105,96	44,68	33,35	62,68	5,80
Mars	14,51	1030,47	1024,64	6,64	6902,64	34,22	68,17	47,77	73,45	136,56	110,73	43,45	33,94	63,11	5,83
Avril	15,12	1029,52	1023,84	6,69	6712,57	35,88	69,02	49,14	79,33	141,49	116,01	42,02	33,13	62,15	5,68
Mai	15,88	1027,94	1022,80	6,28	6528,77	35,20	68,78	48,93	79,72	139,66	115,50	43,47	33,58	59,94	5,14
Juin	10,69	1025,76	1021,40	6,56	6667,91	33,53	67,62	47,46	80,08	139,67	116,02	42,65	34,09	59,59	4,36
Juillet	9,45	1024,70	1020,80	6,89	6823,01	31,96	66,24	45,36	78,98	134,16	112,70	41,51	34,27	55,17	3,90
août	11,45	1024,53	1020,67	6,90	7166,13	32,39	65,98	45,33	80,49	139,91	115,91	43,69	33,59	59,42	3,86
Septembre	13,47	1025,75	1021,29	6,62	7087,74	32,45	66,25	45,80	76,29	137,82	112,84	44,85	33,81	61,54	4,45
Octobre	13,47	1027,50	1022,55	6,92	7094,17	33,76	67,67	47,05	75,70	137,25	111,50	42,93	33,91	61,54	4,95
Novembre	13,51	1029,26	1023,87	6,70	6892,51	33,84	67,01	47,21	73,23	135,10	109,25	42,97	33,17	61,87	5,39
décembre	12,86	1030,26	1025,01	6,39	6888,95	33,00	65,96	46,07	70,18	129,73	104,69	45,05	32,96	59,55	5,25

Tableau 3.15 Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.

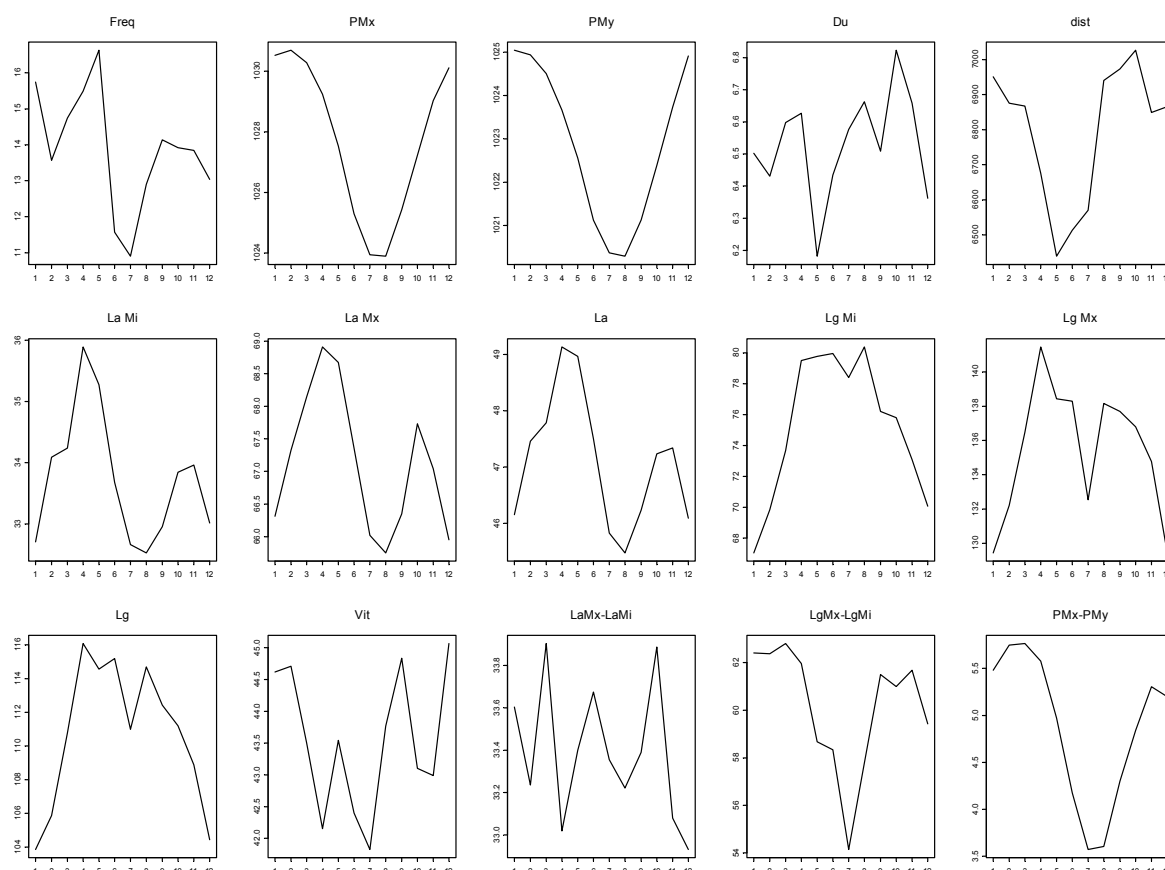


Figure 3.11 Cycles annuels en valeurs mensuelles des anticyclones américano-atlantiques.

Les cycles annuels en valeurs saisonnières (tableau 3.10) et mensuelles (tableau 3.11 et figure 3.11), sont pour la plupart unimodaux :

- les pressions (moyennes, minimales), la durée, la distance, la vitesse, les différences entre les latitudes maximales - latitudes minimales, les longitudes maximales - longitudes minimales, pressions maximales - pressions moyennes des anticyclones, sont maximales en hiver et minimales en été,
- les longitudes maximales, moyennes, minimales des anticyclones sont minimales en hiver et maximales en été. C'est-à-dire que les trajectoires des anticyclones sont décalées vers l'est durant l'été et vers l'ouest durant l'hiver.

Mais d'autres cycles sont plus complexes :

- la fréquence, les latitudes (maximales, moyennes, minimales) des anticyclones sont maximales au printemps et minimales en été.

3.3.1.2 Densités de passage selon les saisons

Les fréquences des anticyclones américano-atlantiques par saisons, sur les 51 années d'étude, sont de 2 247 en JFM, 2 228 en AMJ, 1 935 en JAS et 2 081 en OND.

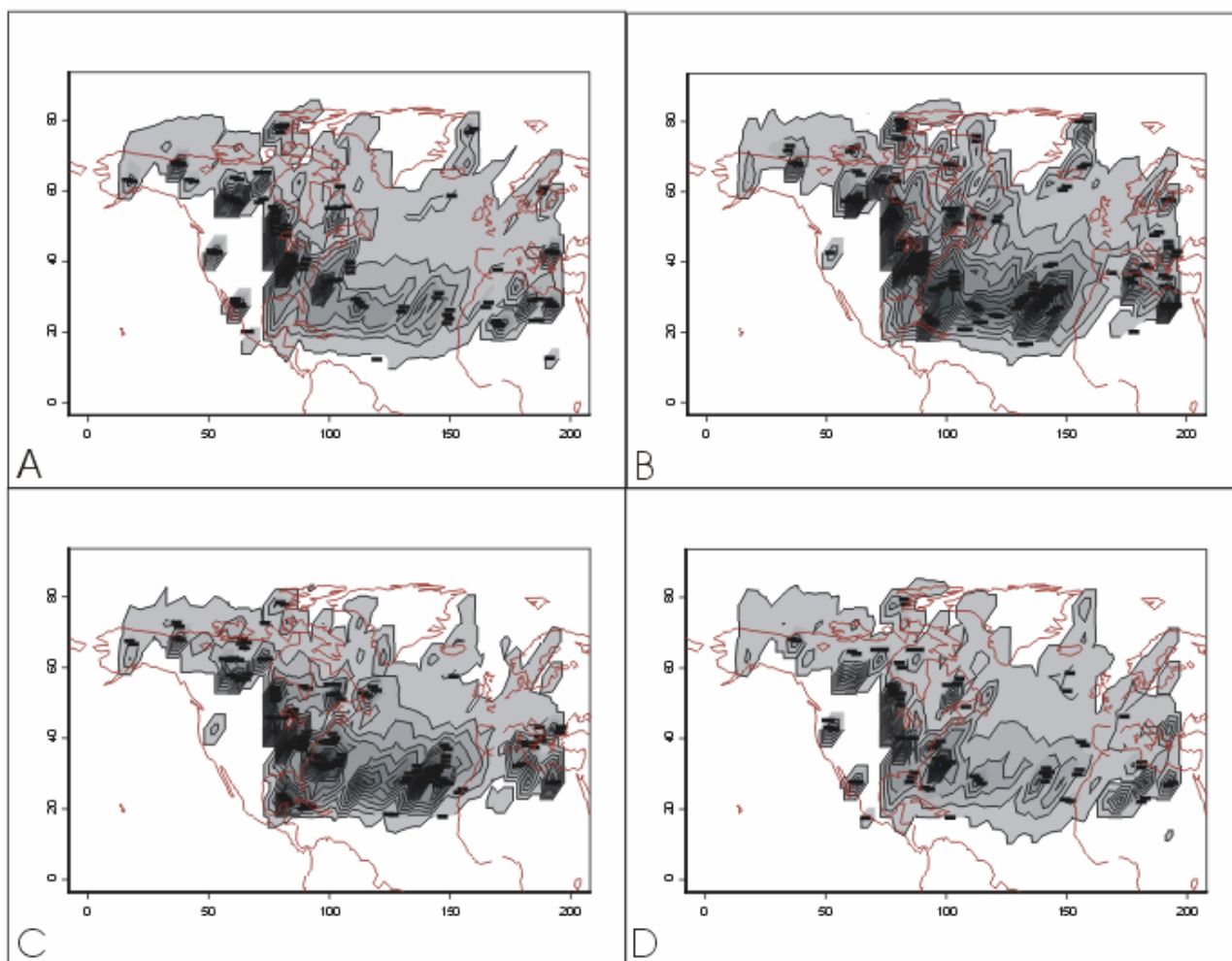


Figure 3.12 Densités de passage des anticyclones dans des secteurs de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. La première courbe d'iso-passages englobe les aires supérieures à 5 passages. Pour les longitudes, 0 correspond à 180° O et 200 à 20° E.

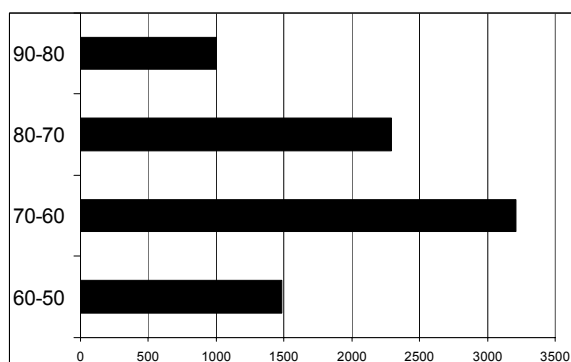
Les aires de passage sont similaires en toutes saisons (figure 3.12) avec un axe principal au milieu du continent nord américain (à l'est des Rocheuses) puis le long du 30° parallèle sur l'Atlantique nord. On peut noter durant la période printanière le développement d'une aire de passage intense sur la région de la Mer du Labrador.

3.3.1.3 Analyses en fonction des bandes zonales d'apparition en latitude des anticyclones américano-atlantiques

Les anticyclones américano-atlantiques sont validés (par le filtre) dans les zones d'apparition entre deux latitudes lorsque la première valeur de leur trajectoire se situe entre les valeurs seuils utilisées.

Le nombre des anticyclones américano-atlantiques par zones d'apparition en latitude :

- Sur la période 1950-2000



	fréquence	%
90-80°N	1000	12.08
80-70°N	2293	27.71
70-60°N	3208	38.76
60-50°N	1482	17.91

Figure 3.13 Zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.

Tableau 3.16 Zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80°N	19,61	1028,77	1023,37	6,23	6928,24	40,94	82,41	57,68	74,47	155,11	124,67	46,55	41,47	80,64	5,40
80-70°N	44,96	1028,18	1022,94	6,45	7280,73	36,06	73,74	51,65	64,23	139,32	109,96	47,08	37,68	75,08	5,24
70-60°N	62,90	1028,10	1023,19	6,51	6761,33	32,53	64,65	45,41	76,15	131,53	108,09	43,30	32,12	55,38	4,91
60-50°N	29,06	1027,33	1022,76	6,81	6087,37	30,34	56,30	40,19	97,69	138,14	119,57	37,30	25,96	40,45	4,56

Tableau 3.17 Caractéristiques des anticyclones dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.

A l'examen des tableaux 3.16 et 3.17 ainsi que de la figure 3.13, nous constatons que :

- la zone d'apparition la plus importante est comprise entre les latitudes 70-60 °Nord, suivie de la zone 80-70 °N, puis la zone 60-50 °N et enfin la zone 90-80 °N,
- les pressions sont les plus élevées quand les anticyclones apparaissent dans les hautes latitudes,
- les anticyclones ont des trajectoires de durée plus importante en fonction de la baisse de la latitude d'apparition,
- les anticyclones sont capables d'aller plus bas en latitude lorsqu'ils apparaissent bas en latitude,
- les anticyclones ont des vitesses de déplacement d'autant plus rapides qu'ils apparaissent haut en latitude,
- les anticyclones ont un espace de déplacement (longitudes maximales-longitudes minimales, latitudes maximales-latitudes minimales) d'autant plus grand qu'ils apparaissent dans les hautes latitudes.

- En valeurs moyennes saisonnières

a- Bande zonale d'apparition 90-80 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	5,22	1031,12	1025,00	5,77	6457,18	42,63	82,13	58,77	77,44	158,08	128,96	46,67	39,49	80,63	6,12
AMJ	6,37	1029,20	1023,47	6,22	6777,91	43,10	82,84	59,74	76,16	159,92	127,54	46,03	39,74	83,75	5,73
JAS	3,02	1024,50	1020,48	6,64	7350,91	37,14	82,37	54,69	70,48	149,44	120,67	47,86	45,23	78,95	4,01
OND	5,08	1028,99	1023,86	6,10	6930,80	40,44	82,27	57,81	72,28	148,82	118,95	48,22	41,83	76,54	5,13

Tableau 3.18 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 90-80 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques sont (tableau 3.18) :

- plus fréquents, plus puissants, parcourent des distances moindres en moins de temps, et apparaissent à des longitudes plus occidentales en hiver et automne,
- atteignent des latitudes minimales en été.

b- Bande zonale d'apparition 80-70 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	11,73	1030,86	1024,88	6,45	7306,49	36,74	73,75	52,07	60,86	138,30	107,31	47,37	37,01	77,43	5,98
AMJ	13,00	1028,18	1022,75	6,43	7125,59	36,61	73,82	52,11	68,55	143,19	115,10	46,52	37,21	74,64	5,43
JAS	11,02	1024,53	1020,45	6,53	7456,87	34,31	73,29	50,41	63,96	138,00	109,80	47,94	38,98	74,03	4,08
OND	9,22	1028,75	1023,45	6,48	7373,33	36,05	73,94	51,45	62,26	137,69	107,15	47,65	37,90	75,43	5,30

Tableau 3.19 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 80-70 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques sont (tableau 3.19) :

- plus puissants, ont un espace de déplacement en longitude maximal en hiver et automne,
- atteignent des latitudes minimales en été,
- plus fréquents, apparaissent et disparaissent à des longitudes plus occidentales au printemps.

c- Bande zonale d'apparition 70-60 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	17,59	1030,71	1025,07	6,58	6911,28	32,11	64,67	45,23	70,50	128,61	104,07	43,90	32,56	58,11	5,65
AMJ	16,31	1027,14	1022,36	6,40	6447,21	33,04	64,61	45,86	82,79	133,69	111,78	42,18	31,57	50,90	4,77
JAS	13,90	1024,54	1020,77	6,50	6806,03	32,03	64,48	44,57	78,76	132,80	110,30	43,87	32,44	54,04	3,77
OND	15,10	1029,33	1024,08	6,61	6912,54	32,82	64,78	45,68	73,11	131,03	106,50	43,72	31,96	57,92	5,24

Tableau 3.20 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 70-60 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques sont (tableau 3.20) :

- plus fréquents, plus puissants, parcourent des distances plus grandes, apparaissent et disparaissent à des longitudes plus occidentales, apparaissent à des longitudes plus occidentales, ont un espace de déplacement en longitude maximal en hiver,
- atteignent des latitudes minimales en été.

d- Bande zonale d'apparition 60-50 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	6,10	1030,00	1024,60	7,16	6655,75	29,57	56,21	39,34	94,23	138,77	117,82	39,20	26,64	44,53	5,40
AMJ	6,94	1026,92	1022,59	6,61	5685,29	31,54	56,57	41,02	99,84	138,04	120,67	36,69	25,04	38,19	4,33
JAS	8,61	1024,77	1020,95	6,90	6169,13	30,56	56,18	40,25	99,76	139,96	121,69	37,49	25,62	40,20	3,82
OND	7,41	1028,70	1023,73	6,98	6152,46	30,08	56,27	40,19	96,92	138,68	119,45	37,00	26,19	41,76	4,97

Tableau 3.21 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 60-50 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques sont (tableau 3.21) :

- plus puissants, parcourent des distances plus grandes en des temps plus longs, apparaissent à des longitudes plus occidentales, atteignent des latitudes plus méridionales, ont un espace de déplacement en longitude maximal en hiver,
- plus fréquents, atteignent des longitudes plus orientales en été.

- En valeurs saisonnières par bandes zonales

Les données du tableau 3.22 permettent de conclure que :

- la zone d'apparition la plus importante est comprise entre les latitudes 70-60 °Nord, suivie de la zone 80-70 °N, puis la zone 60-50 °N et enfin la zone 90-80 °N, quelle que soit la saison,
- les pressions sont plus élevées quand les anticyclones apparaissent dans les hautes latitudes en hiver et durant le printemps. En été et durant l'automne, il n'y a pas de différences entre les zones,
- les anticyclones ont des durées d'existence plus importantes en fonction de la diminution de la latitude d'apparition, quelle que soit la saison,
- les anticyclones sont capables d'aller d'autant plus bas en latitude qu'ils apparaissent à des latitudes méridionales,

- les anticyclones ont des vitesses de déplacement d'autant plus rapides qu'ils apparaissent haut en latitude,
- les anticyclones ont un espace de déplacement (longitudes maximales-longitudes minimales) plus grand quand ils apparaissent aux hautes latitudes.

JFM	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	5,22	1031,12	1025,00	5,77	6457,18	42,63	82,13	58,77	77,44	158,08	128,96	46,67	39,49	80,63	6,12
80-70	11,73	1030,86	1024,88	6,45	7306,49	36,74	73,75	52,07	60,86	138,30	107,31	47,37	37,01	77,43	5,98
70-60	17,59	1030,71	1025,07	6,58	6911,28	32,11	64,67	45,23	70,50	128,61	104,07	43,90	32,56	58,11	5,65
60-50	6,10	1030,00	1024,60	7,16	6655,75	29,57	56,21	39,34	94,23	138,77	117,82	39,20	26,364	44,53	5,40
AMJ	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	6,37	1029,20	1023,47	6,22	6777,91	43,10	82,84	59,74	76,16	159,92	127,54	46,03	39,74	83,75	5,73
80-70	13,00	1028,18	1022,75	6,43	7125,59	36,61	73,82	52,11	68,55	143,19	115,10	46,52	37,21	74,64	5,43
70-60	16,31	1027,14	1022,36	6,40	6447,21	33,04	64,61	45,86	82,79	133,69	111,78	42,18	31,57	50,90	4,77
60-50	6,94	1026,92	1022,59	6,61	5685,29	31,54	56,57	41,02	99,84	138,04	120,67	36,69	25,04	38,19	4,33
JAS	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	3,02	1024,50	1020,48	6,64	7350,91	37,14	82,37	54,69	70,48	149,44	120,67	47,86	45,23	78,95	4,01
80-70	11,02	1024,53	1020,45	6,53	7456,87	34,31	73,29	50,41	63,96	138,00	109,80	47,94	38,98	74,03	4,08
70-60	13,90	1024,54	1020,77	6,50	6806,03	32,03	64,48	44,57	78,76	132,80	110,30	43,87	32,44	54,04	3,77
60-50	8,61	1024,77	1020,95	6,90	6169,13	30,56	56,18	40,25	99,76	139,96	121,69	37,49	25,62	40,20	3,82
OND	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	5,08	1028,99	1023,86	6,10	6930,80	40,44	82,27	57,81	72,28	148,82	118,95	48,22	41,83	76,54	5,13
80-70	9,22	1028,75	1023,45	6,48	7373,33	36,05	73,94	51,45	62,26	137,69	107,15	47,65	37,9	75,43	5,30
70-60	15,10	1029,33	1024,08	6,61	6912,54	32,82	64,78	45,68	73,11	131,03	106,50	43,72	31,96	57,92	5,24
60-50	7,41	1028,70	1023,73	6,98	6152,46	30,08	56,27	40,19	96,92	138,68	119,45	37,00	26,19	41,76	4,97

Tableau 3.22 Caractéristiques des anticyclones dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs saisonnières.

3.3.1.4 Analyses selon les aires d'apparition en longitude des anticyclones américano-atlantiques

Les anticyclones américano-atlantiques sont validés (par le filtre) dans les aires d'apparition en longitude lorsque la première valeur de leurs trajectoires se situe entre les valeurs seuils.

Analyses des aires d'apparition en longitude des anticyclones américano-atlantiques (25°/25°) :

- Sur la période 1950-2000

	fréquence	%
0-25 (180-155°O)	377	4,59
25-50 (155-130°O)	1160	14,13
50-75 (130-105°O)	2248	27,38
75-100 (105-80°O)	2806	34,17
100-125 (80-55°O)	1620	19,73

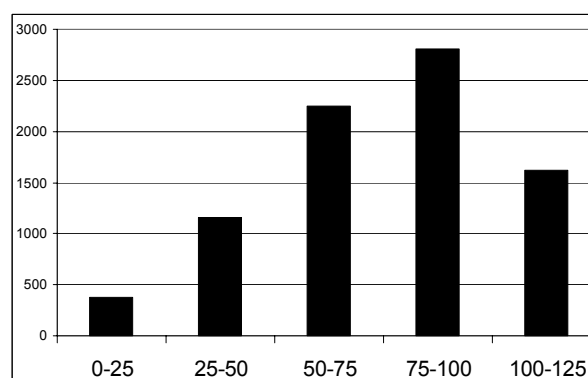


Tableau 3.23 Aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.

Figure 3.14 Aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

L'aire la plus prolifique est celle comprise entre les longitudes 75 et 100° (105-80 °O) c'est à dire au dessus du Saskatchewan et de la Baie d'Hudson avec plus du tiers des fréquences totales (34, 17 %) (tableau 3.23 et figure 3.14).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
0-25	7,39	1028,77	1023,43	6,68	8039,21	38,05	71,73	53,31	21,65	130,97	88,99	50,85	33,68	109,31	5,34
25-50	22,75	1029,23	1023,59	6,57	7730,64	35,46	73,92	51,72	38,66	128,32	94,13	49,17	38,47	89,66	5,64
50-75	44,08	1028,32	1023,27	6,45	6944,34	32,75	66,56	46,36	62,47	124,22	98,89	44,93	33,81	61,75	5,05
75-100	55,02	1027,32	1022,61	6,30	6341,20	33,46	66,26	46,34	83,88	133,32	111,74	41,96	32,80	49,43	4,71
100-125	31,76	1027,87	1023,06	6,84	6442,93	34,01	64,86	45,91	108,93	157,67	137,31	39,32	30,85	48,74	4,81

Tableau 3.24 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans les aires d'apparition 25°/25° en valeurs annuelles.

L'aire d'apparition la plus importante est comprise entre les longitudes 75 et 100° (105-80 °O), suivie de l'aire 50-75° (130-105 °O) puis 100-125° (80-55 °O), 25-50° (155-130 °O) et enfin 0-25° (180-155 °O).

Les distances parcourues par les anticyclones diminuent en fonction du déplacement vers l'est des aires d'apparition, ce qui n'est pas le cas des durées. Cela implique donc une vitesse de déplacement accrue des anticyclones apparaissant à des longitudes occidentales. Les latitudes d'apparition des anticyclones baissent avec le déplacement vers l'est des aires d'apparition (exception faite de l'aire 0-25° (180-155 °O)). En revanche les latitudes d'agglutination ne suivent pas une règle constante puisque les anticyclones s'agglutinent de plus en plus au sud avec un décalage oriental d'apparition jusqu'à l'aire 50-75° (130-105 °O) puis il y a déplacement vers le nord pour les longitudes plus orientales. Les anticyclones sont logiquement capables d'atteindre des longitudes d'autant plus orientales qu'ils apparaissent à l'est (tableau 3.20).

- En valeurs moyennes saisonnières**• Aire d'apparition 0-25° (180-155 °O)**

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	2,31	1030,71	1024,56	6,68	8005,58	36,76	70,55	52,88	21,67	126,71	83,23	52,10	33,79	105,04	6,16
AMJ	1,69	1028,35	1022,94	6,73	8016,01	38,93	72,42	53,89	21,69	134,25	93,03	52,27	33,49	112,562	5,41
JAS	1,73	1025,01	1020,75	7,14	8664,97	36,05	71,98	51,61	21,48	135,87	94,94	52,46	35,93	114,389	4,26
OND	2,10	1029,96	1024,20	6,24	7672,91	38,50	71,29	53,51	21,95	125,80	84,84	53,18	32,80	103,853	5,76

Tableau 3.25 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 0-25° (180-155 °O) en valeurs saisonnières.

Les anticyclones américano-atlantiques (tableau 3.25) :

- sont plus fréquents, plus puissants, parcourent des distances moindres en moins de temps, disparaissent à des longitudes plus occidentales, ont un espace de déplacement en longitude minimal (donc leurs trajectoires sont plus méridiennes) en hiver et automne,
- atteignent des latitudes minimales en été,
- apparaissent à des latitudes plus septentrionales au printemps.

• Aire d'apparition 25-50° (155-130 °O)

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	7,41	1031,71	1025,43	6,83	7879,85	34,26	73,24	50,23	39,16	124,07	90,90	48,44	38,98	84,915	6,29
AMJ	4,98	1028,50	1023,02	6,32	7475,05	37,67	75,26	54,24	38,03	135,61	100,59	50,29	37,59	97,583	5,49
JAS	4,47	1024,63	1020,33	6,29	7641,65	35,07	73,96	52,33	38,78	130,25	95,90	51,70	38,90	91,469	4,30
OND	11,94	1029,69	1024,02	6,55	7718,67	35,78	73,86	51,28	38,40	125,41	90,90	49,65	38,08	87,016	5,67

Tableau 3.26 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 25-50° (155-130 °O) en valeurs saisonnières.

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus fréquents, plus puissants, parcourent plus de distances en plus de temps, apparaissent à des latitudes plus méridionales, disparaissent à des longitudes plus occidentales, ont un espace de déplacement en longitude minimum (donc leurs trajectoires sont plus méridiennes), se déplacent moins vite en hiver et automne (tableau 3.26).

• Aire d'apparition 50-75° (130-105 °O)

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	14,04	1030,92	1025,23	6,53	6886,30	32,44	65,23	45,50	62,48	122,89	97,45	44,13	32,78	60,401	5,68
AMJ	9,41	1027,10	1022,08	6,21	6721,45	34,44	69,36	49,10	63,16	127,79	102,39	45,55	34,92	64,622	5,02
JAS	9,08	1024,58	1020,68	6,57	7179,13	32,38	67,65	46,36	62,24	126,15	101,03	45,78	35,27	63,909	3,90
OND	23,48	1029,26	1023,98	6,46	6990,97	32,51	65,01	45,53	62,23	122,59	96,69	45,25	32,50	60,354	5,28

Tableau 3.27 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 50-75° (130-105°O) en valeurs saisonnières.

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus fréquents, plus puissants, parcourent plus de distances en plus de temps, apparaissent à des latitudes plus méridionales, disparaissent à des longitudes plus occidentales, ont un espace de déplacement en longitude minimum (donc leurs trajectoires sont plus méridiennes) en hiver et automne (tableau 3.27).

• Aire d'apparition 75-100° (105-80 °O).

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	13,35	1029,67	1024,32	6,14	6350,07	33,73	67,15	46,84	83,21	134,43	112,66	43,22	33,42	51,22	5,35
AMJ	15,59	1027,26	1022,40	6,34	6319,89	33,93	66,93	47,12	84,46	134,34	112,46	41,65	33,00	49,88	4,86
JAS	12,57	1024,04	1020,38	6,36	6236,64	31,80	63,66	43,91	84,39	128,79	109,42	41,18	31,87	44,40	3,66
OND	27,28	1028,21	1023,34	6,50	6561,17	33,69	66,69	46,65	83,34	135,13	112,09	42,19	32,99	51,79	4,87

Tableau 3.28 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 75-100° (105-80°O) en valeurs saisonnières.

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus fréquents, plus puissants, ont un espace de déplacement en longitude maximum en hiver et automne (tableau 3.28).

• Aire d'apparition 100-125° (80-55 °O)

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	6,61	1030,08	1024,41	7,20	6743,69	34,34	65,59	46,49	108,98	163,68	141,27	39,73	31,25	54,702	5,67
AMJ	10,22	1028,05	1023,17	6,55	6122,41	35,50	66,77	47,78	108,86	156,10	136,86	39,11	31,27	47,243	4,87
JAS	7,82	1024,99	1021,16	6,96	6673,39	32,39	62,50	43,51	108,88	154,80	134,49	40,34	30,11	45,915	3,83
OND	14,15	1028,56	1023,46	7,03	6417,65	32,90	63,44	44,69	108,78	155,26	135,35	38,08	30,54	46,483	5,10

Tableau 3.29 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 100-125° en valeurs saisonnières.

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus fréquents, plus puissants, parcourent plus de distance en hiver et automne (tableau 3.29).

- En valeurs saisonnières par aires

Quelle que soit la saison (tableau 3.30):

- l'aire d'apparition la plus importante est comprise entre les longitudes 75-100° (105-80 °O), suivie de l'aire 50-75° (130-105 °O), puis l'aire 100-125° (80-55 °O), puis 25-50° (155-130 °O) et enfin l'aire 0-25° (180-155 °O),
- l'aire 25-50° (155-130 °O) est celle où les anticyclones américano-atlantiques ont les pressions les plus élevées et celle où ils ont un espace de déplacement en latitude maximum,
- l'aire 0-25° (180-155 °O) est celle où les anticyclones américano-atlantiques parcourent le plus de distance et également celle où ils apparaissent et se déplacent à des latitudes plus septentrionales,
- les anticyclones américano-atlantiques ont des vitesses de déplacement d'autant plus lentes qu'ils apparaissent à des longitudes orientales,
- les anticyclones américano-atlantiques ont un espace de déplacement en longitude plus étendu et un différentiel de pression plus grand, quand ils apparaissent à des longitudes occidentales.

JFM	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
0-25	2,31	1030,71	1024,55	6,68	8005,56	36,75	70,55	52,87	21,68	126,71	83,23	52,10	33,79	105,04	6,16
25-50	7,41	1031,71	1025,43	6,83	7879,85	34,26	73,24	50,23	39,16	124,07	90,90	48,44	38,98	84,92	6,29
50-75	14,04	1030,92	1025,23	6,53	6886,30	32,44	65,23	45,50	62,48	122,89	97,45	44,13	32,78	60,40	5,68
75-100	13,35	1029,67	1024,32	6,14	6350,07	33,73	67,15	46,84	83,21	134,43	112,66	43,22	33,42	51,23	5,35
100-125	6,61	1030,08	1024,41	7,20	6743,69	34,34	65,59	46,49	108,98	163,68	141,27	39,73	31,25	54,70	5,67
AMJ	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
0-25	1,69	1028,35	1022,94	6,73	8016,01	38,93	72,42	53,89	21,69	134,25	93,03	52,27	33,49	112,56	5,41
25-50	4,98	1028,50	1023,02	6,32	7475,05	37,67	75,26	54,24	38,03	135,61	100,59	50,29	37,59	97,58	5,49
50-75	9,41	1027,10	1022,08	6,21	6721,45	34,44	69,36	49,10	63,16	127,79	102,39	45,55	34,92	64,62	5,02
75-100	15,59	1027,26	1022,40	6,34	6319,89	33,93	66,93	47,12	84,46	134,34	112,46	41,65	33,00	49,88	4,86
100-125	10,22	1028,05	1023,17	6,55	6122,41	35,50	66,77	47,78	108,86	156,10	136,86	39,11	31,27	47,24	4,87
JAS	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
0-25	1,73	1025,01	1020,75	7,14	8664,97	36,05	71,98	51,61	21,48	135,87	94,94	52,46	35,93	114,39	4,26
25-50	4,47	1024,63	1020,33	6,29	7641,65	35,07	73,96	52,33	38,78	130,25	95,90	51,70	38,90	91,47	4,30
50-75	9,08	1024,58	1020,68	6,57	7179,13	32,38	67,65	46,36	62,24	126,15	101,03	45,78	35,27	63,91	3,90
75-100	12,57	1024,04	1020,38	6,36	6236,64	31,80	63,66	43,91	84,39	128,79	109,42	41,18	31,87	44,41	3,66
100-125	7,82	1024,99	1021,16	6,96	6673,39	32,39	62,50	43,51	108,88	154,80	134,49	40,34	30,11	45,92	3,83
OND	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
0-25	2,10	1029,96	1024,20	6,24	7672,91	38,50	71,29	53,51	21,95	125,80	84,84	53,18	32,80	103,85	5,76
25-50	11,94	1029,69	1024,02	6,55	7718,67	35,78	73,86	51,28	38,40	125,41	90,90	49,65	38,08	87,02	5,67
50-75	23,48	1029,26	1023,98	6,46	6990,97	32,51	65,01	45,53	62,23	122,59	96,69	45,25	32,50	60,35	5,28
75-100	27,28	1028,21	1023,34	6,50	6561,17	33,69	66,69	46,65	83,34	135,13	112,09	42,19	32,99	51,79	4,87
100-125	14,15	1028,56	1023,46	7,03	6417,65	32,90	63,44	44,69	108,78	155,26	135,35	38,08	30,54	46,48	5,10

Tableau 3.30 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans les aires d'apparition 25°/25° en valeurs saisonnières.

3.3.1.5 Analyses selon les bandes zonales d'agglutination en latitude des anticyclones américano-atlantiques

Les anticyclones américano-atlantiques sont validés (par le filtre) dans les aires d'agglutination en latitude lorsque au moins une fois durant leurs trajectoires les anticyclones ont atteint les latitudes seuils.

Analyses des bandes zonales d'agglutinations en latitude des anticyclones américano-atlantiques (5°/5°) :

- Sur la période 1950-2000

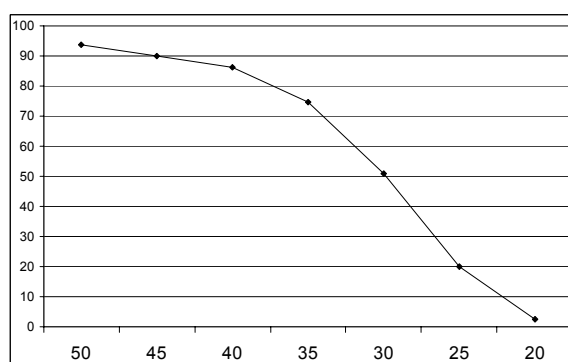


Figure 3.15 Bandes zonales d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles.

	Fréquence	%
50°N	7755	93,7
45°N	7441	89,9
40°N	7147	86,3
35°N	6182	74,7
30°N	4214	50,9
25°N	1660	20,0
20°N	213	2,6

Tableau 3.31 Bandes zonales de d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles.

La décroissance des fréquences en fonction de la latitude atteinte se fait en deux phases (tableau 3.31 et figure 3.15) :

- pour les latitudes supérieures à 40 °N, la décroissance est faible,
- pour les latitudes inférieures à 40 °N, la décroissance est forte avec des baisses d'environ 20 % à chaque palier de 5°.

- En valeurs annuelles des bandes zonales d'arrivées de 50 °N à 25 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50	152,06	1027,84	1022,90	6,70	6968,40	31,46	66,06	45,21	77,08	134,77	111,69	43,57	34,60	57,69	4,93
45	145,90	1027,84	1022,88	6,75	7019,75	31,02	65,97	44,87	76,97	134,34	111,44	43,54	34,94	57,37	4,95
40	140,14	1027,77	1022,79	6,89	7171,81	30,16	66,06	44,20	75,30	131,75	109,10	43,63	35,90	56,45	4,98
35	121,22	1027,74	1022,70	7,16	7396,37	28,85	65,69	42,98	75,56	131,55	109,08	43,30	36,84	55,99	5,04
30	82,63	1027,46	1022,27	7,59	7797,85	26,70	65,20	41,18	76,14	131,94	109,18	43,22	38,50	55,81	5,19
25	32,54	1026,81	1021,38	7,79	7877,26	23,75	63,93	38,94	76,54	127,75	106,57	43,16	40,18	51,21	5,44

Tableau 3.32 Valeurs annuelles des zones d'arrivées de 50 °N à 25 °N.

Plus les anticyclones sont capables d'atteindre des latitudes méridionales (tableau 3.32) :

- moins, ils sont nombreux,
- plus, ils sont puissants,
- plus, ils parcourent des distances en des temps plus importants,
- plus, ils apparaissent à des latitudes méridionales,
- plus, ils disparaissent à des longitudes orientales,
- plus, ils s'étendent en latitude,
- moins, ils s'étendent en longitude,
- plus, ils ont un différentiel de pression élevé. C'est-à-dire que ce sont les anticyclones qui ont les pics de pression les plus élevés qui atteignent les latitudes les plus méridionales.

- En valeurs moyennes saisonnières

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 50 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	38,47	1030,62	1024,88	6,71	7131,26	31,04	66,03	45,00	72,19	132,36	108,15	44,42	34,99	60,17	5,74
AMJ	41,53	1027,30	1022,33	6,62	6775,76	32,05	67,29	46,23	80,84	137,24	115,09	42,92	35,24	56,40	4,97
JAS	35,88	1024,50	1020,65	6,69	6913,90	31,33	65,47	44,71	79,45	135,10	113,09	43,34	34,14	55,65	3,85
OND	36,18	1028,92	1023,76	6,77	7052,69	31,40	65,45	44,92	75,85	134,38	110,44	43,57	34,05	58,53	5,16

Tableau 3.33 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 50 °N.

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 45 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	37,75	1030,62	1024,86	6,76	7171,05	30,70	66,02	44,77	72,04	131,98	107,92	44,40	35,31	59,95	5,76
AMJ	37,73	1027,29	1022,29	6,69	6845,44	31,46	67,12	45,73	80,64	136,67	114,72	42,92	35,66	56,02	5,00
JAS	35,10	1024,52	1020,65	6,75	6968,83	30,93	65,39	44,38	79,30	134,72	112,84	43,34	34,46	55,42	3,88
OND	35,33	1028,91	1023,73	6,82	7093,67	31,00	65,33	44,60	75,92	134,00	110,27	43,52	34,33	58,09	5,18

Tableau 3.34 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 45 °N.

Pour les deux Bande zonale inférieures à 50 °N, 45 °N, les analyses sont comparables (tableaux 3.33 et 3.34). Les anticyclones américano-atlantiques :

- sont nombreux en hiver et au printemps,
- sont plus puissants en hiver et en automne,
- parcourent des distances en des temps plus importants en hiver et automne,
- apparaissent à des longitudes occidentales en hiver et automne,
- atteignent sensiblement les mêmes latitudes minimales durant toutes les saisons,
- atteignent des longitudes orientales au printemps et en été,
- se déplacent plus vite en hiver et automne,
- s'étendent plus en longitude en hiver et automne,
- ont un différentiel de pression élevé en hiver et automne.

Pour les Bande zonale qui suivent nous ne notons que les différences par rapport à la description précédente.

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 40 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	36,53	1030,43	1024,68	6,88	7321,03	29,62	66,00	43,91	69,66	128,09	104,51	44,48	36,39	58,43	5,75
AMJ	34,94	1027,28	1022,23	6,86	6994,56	30,40	66,95	44,83	79,87	134,85	113,27	42,78	36,56	54,98	5,05
JAS	33,92	1024,55	1020,64	6,85	7078,08	30,41	65,38	43,95	78,56	133,83	112,04	43,33	34,97	55,28	3,90
OND	34,75	1028,84	1023,61	6,95	7293,57	30,22	65,89	44,12	73,12	130,23	106,61	43,94	35,67	57,11	5,23

Tableau 3.35 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 40 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus nombreux en hiver et en automne, (tableau 3.35)

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 35 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	31,92	1030,29	1024,46	7,17	7595,76	28,30	65,73	42,79	69,91	129,25	105,42	44,38	37,43	59,34	5,83
AMJ	29,53	1027,31	1022,23	7,17	7206,01	28,90	66,26	43,21	80,63	133,89	112,85	42,18	37,36	53,26	5,08
JAS	29,12	1024,57	1020,64	7,13	7288,04	29,08	65,05	42,72	78,01	131,86	110,52	42,85	35,98	53,85	3,93
OND	30,65	1028,77	1023,47	7,17	7495,66	29,14	65,73	43,20	73,69	131,19	107,55	43,78	36,60	57,50	5,30

Tableau 3.36 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 35 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus nombreux en hiver et en automne (tableau 3.36).

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 30 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	23,08	1030,05	1023,90	7,76	8186,16	26,25	65,43	41,07	71,34	133,40	108,28	44,29	39,17	62,06	6,15
AMJ	20,39	1026,85	1021,83	7,46	7404,69	26,79	65,63	41,38	79,76	129,16	108,99	41,95	38,84	49,39	5,02
JAS	19,57	1024,22	1020,38	7,16	7286,73	27,07	64,33	41,16	77,93	126,86	107,07	42,83	37,26	48,93	3,84
OND	19,59	1028,72	1022,98	7,97	8313,81	26,69	65,42	41,09	75,52	138,35	112,39	43,79	38,74	62,84	5,74

Tableau 3.37 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 30 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques (tableau 3.37) :

- sont plus nombreux en hiver et en automne,
- ont des durées de trajet plus longues en hiver et en automne,
- atteignent des latitudes méridionales en hiver et automne,
- atteignent des longitudes orientales en hiver et automne.

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 25 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	9,73	1029,03	1022,61	8,08	8384,62	23,35	63,34	38,25	73,63	131,31	106,86	43,79	39,99	57,68	6,41
AMJ	7,86	1026,44	1021,19	7,48	7551,81	23,87	65,18	39,66	80,55	126,83	107,83	43,45	41,31	46,28	5,25
JAS	7,45	1023,65	1019,66	7,18	7023,84	24,29	63,92	39,54	74,26	116,41	99,67	41,91	39,63	42,15	4,00
OND	7,51	1028,14	1022,04	8,42	8548,78	23,48	63,30	38,31	77,73	136,45	111,90	43,48	39,81	58,72	6,10

Tableau 3.38 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 25 °N.

Les anticyclones américano-atlantiques (tableau 3.38) :

- sont plus nombreux en hiver,
- ont des durées de trajet plus longues en hiver et en automne,
- apparaissent à des latitudes septentrionales et à des longitudes orientales au printemps,
- atteignent des latitudes méridionales en hiver et automne,
- atteignent des longitudes orientales en hiver et automne.

- En valeurs saisonnières par bandes zonales

JFM	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50°N	38,47	1030,62	1024,88	6,71	7131,26	31,04	66,03	45,00	72,19	132,36	108,15	44,42	34,99	60,17	5,74
45°N	37,75	1030,62	1024,86	6,76	7171,05	30,70	66,02	44,77	72,04	131,98	107,92	44,40	35,31	59,95	5,76
40°N	36,53	1030,43	1024,68	6,88	7321,03	29,62	66,00	43,91	69,66	128,09	104,51	44,48	36,39	58,43	5,75
35°N	31,92	1030,29	1024,46	7,17	7595,76	28,30	65,73	42,79	69,91	129,25	105,42	44,38	37,43	59,34	5,83
30°N	23,08	1030,05	1023,90	7,76	8186,16	26,25	65,43	41,07	71,34	133,40	108,28	44,29	39,17	62,06	6,15
25°N	9,73	1029,03	1022,61	8,08	8384,62	23,35	63,34	38,25	73,63	131,31	106,86	43,79	39,99	57,68	6,41
AMJ	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50°N	41,53	1027,30	1022,33	6,62	6775,76	32,05	67,29	46,23	80,84	137,24	115,09	42,92	35,24	56,40	4,97
45°N	37,73	1027,29	1022,29	6,69	6845,44	31,46	67,12	45,73	80,64	136,67	114,72	42,92	35,66	56,02	5,00
40°N	34,94	1027,28	1022,23	6,86	6994,56	30,40	66,95	44,83	79,87	134,85	113,27	42,78	36,56	54,98	5,05
35°N	29,53	1027,31	1022,23	7,17	7206,01	28,90	66,26	43,21	80,63	133,89	112,85	42,18	37,36	53,26	5,08
30°N	20,39	1026,85	1021,83	7,46	7404,69	26,79	65,63	41,38	79,76	129,16	108,99	41,95	38,84	49,39	5,02
25°N	7,86	1026,44	1021,19	7,48	7551,81	23,87	65,18	39,66	80,55	126,83	107,83	43,45	41,31	46,28	5,25
JAS	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50°N	35,88	1024,50	1020,65	6,69	6913,90	31,33	65,47	44,71	79,45	135,10	113,09	43,34	34,14	55,65	3,85
45°N	35,10	1024,52	1020,65	6,75	6968,83	30,93	65,39	44,38	79,30	134,72	112,84	43,34	34,46	55,42	3,88
40°N	33,92	1024,55	1020,64	6,85	7078,08	30,41	65,38	43,95	78,56	133,83	112,04	43,33	34,97	55,28	3,90
35°N	29,12	1024,57	1020,64	7,13	7288,04	29,08	65,05	42,72	78,01	131,86	110,52	42,85	35,98	53,85	3,93
30°N	19,57	1024,22	1020,38	7,16	7286,73	27,07	64,33	41,16	77,93	126,86	107,07	42,83	37,26	48,93	3,84
25°N	7,45	1023,65	1019,66	7,18	7023,84	24,29	63,92	39,54	74,26	116,41	99,67	41,91	39,63	42,15	4,00
OND	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50°N	36,18	1028,92	1023,76	6,77	7052,69	31,40	65,45	44,92	75,85	134,38	110,44	43,57	34,05	58,53	5,16
45°N	35,33	1028,91	1023,73	6,82	7093,67	31,00	65,33	44,60	75,92	134,00	110,27	43,52	34,33	58,09	5,18
40°N	34,75	1028,84	1023,61	6,95	7293,57	30,22	65,89	44,12	73,12	130,23	106,61	43,94	35,67	57,11	5,23
35°N	30,65	1028,77	1023,47	7,17	7495,66	29,14	65,73	43,20	73,69	131,19	107,55	43,78	36,60	57,50	5,30
30°N	19,59	1028,72	1022,98	7,97	8313,81	26,69	65,42	41,09	75,52	138,35	112,39	43,79	38,74	62,84	5,74
25°N	7,51	1028,14	1022,04	8,42	8548,78	23,48	63,30	38,31	77,73	136,45	111,90	43,48	39,81	58,72	6,10

Tableau 3.39 Valeurs moyennes saisonnières selon les zones d'arrivées.

Quelle que soit la saison, les anticyclones américano-atlantiques atteignant les latitudes les plus méridionales (tableau 3.39):

- sont moins nombreux,
 - ont des pressions moindres, ce qui semble assez étrange. Mais nous ne savons pas pourquoi ? Y a-t-il une raison physique ou bien est-ce dû à l'algorithme ?
 - parcourent plus de distances en des temps plus importants,
 - apparaissent et se déplacent à des latitudes méridionales,
 - s'étendent plus en latitude et en longitude,
 - ont un différentiel de pression plus élevé, ce qui contrebalance le «paradoxe» cité précédemment.
- C'est-à-dire que ce sont les anticyclones ayant les pics de pression les plus marqués qui vont le plus bas en latitude.

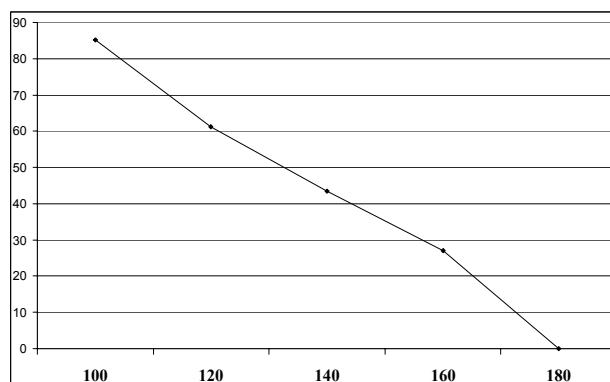
De plus au printemps et en été les anticyclones américano-atlantiques qui atteignent les latitudes les plus méridionales se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales, ce qui aboutit à des trajectoires plus méridiennes.

3.3.1.6 Analyses selon les aires d'agglutination en longitude des anticyclones américano-atlantiques

Les anticyclones américano-atlantiques sont validés dans les aires d'agglutination en longitude lorsque au moins une fois durant leurs trajectoires les anticyclones ont atteint les longitudes seuil.

Analyses des aires d'agglutination en longitude des anticyclones américano-atlantiques (20°/20°) :

- Sur la période 1950-2000



	Fréquence	%
100 (80°O)	7232	85,20
120 (60°O)	5064	61,16
140 (40°O)	3592	43,38
160 (20°O)	2246	27,13
180 (0°)	1565	18,41

Figure 3.16 Aires d'agglutination en longitude 5°/5° en valeurs annuelles. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Tableau 3.40 Aires d'agglutination en longitude 5°/5° en valeurs annuelles.

La baisse de la fréquence des anticyclones américano-atlantiques est régulière à chaque palier longitudinal (tableau 3.40 et figure 3.16).

- En valeurs moyennes annuelles

Seuls trois seuils sont utilisés : longitudes supérieures à 120 (60 °O), 140 (40 °O), 160° (20 °O).

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
120	101,27	1028,46	1023,25	7,23	7536,76	35,64	68,00	48,24	82,53	158,25	127,46	43,43	32,35	75,73	5,21
140	71,84	1028,67	1023,29	7,77	8020,58	36,47	68,95	49,00	85,15	170,63	136,95	43,02	32,48	85,48	5,37
160	44,92	1028,61	1023,03	7,77	8276,72	38,93	71,17	51,97	84,86	184,37	146,19	44,40	32,24	99,51	5,58

Tableau 3.41 Valeurs moyennes annuelles des anticyclones américano-atlantiques dans les aires d'agglutination.

Les anticyclones américano-atlantiques qui atteignent les longitudes les plus orientales (tableau 3.41) :

- sont moins nombreux,
- parcourent des distances plus longues,
- apparaissent à des latitudes septentrionales,
- se dissipent à des latitudes plus septentrionales,
- se déplacent plus rapidement,
- ont un différentiel de pression maximum.

- En valeurs moyennes saisonnières

- Aire d'arrivée supérieure à 120° (60 °O)

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	24,73	1030,93	1024,86	7,54	7886,65	35,51	68,13	48,03	77,71	158,84	125,84	43,64	32,62	81,13	6,07
AMJ	29,33	1028,39	1023,23	6,92	7080,53	37,10	69,37	49,88	85,54	158,17	129,09	42,69	32,27	72,64	5,17
JAS	23,98	1025,25	1021,21	7,15	7562,52	34,33	66,42	46,58	85,25	156,47	127,56	44,22	32,08	71,22	4,04
OND	23,24	1029,17	1023,67	7,56	7816,57	35,04	67,25	47,57	80,90	159,30	126,79	43,19	32,21	78,40	5,50

Tableau 3.42 Valeurs moyennes saisonnières des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'arrivée supérieure à 120° (60 °O).

Les anticyclones américano-atlantiques ayant atteint la longitude 120° (60 °O) (tableau 3.42) :

- sont plus fréquents au printemps,
- ont des pressions maximales, durent le plus longtemps, parcourent le plus de distance, apparaissent à des longitudes plus occidentales, atteignent des longitudes plus orientales, ont des espaces de déplacement en latitude et surtout en longitude plus étendus en hiver et en automne,
- apparaissent à des latitudes plus méridionales, atteignent des latitudes minimales, se déplacent plus rapidement en été.

• Aire d'arrivée supérieure à 140° (40 °O)

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	16,98	1031,17	1024,90	8,19	8410,36	36,80	69,43	49,26	80,92	172,76	136,56	42,89	32,63	91,84	6,27
AMJ	21,47	1028,68	1023,34	7,37	7503,80	37,84	70,32	50,60	87,59	169,36	137,75	42,53	32,48	81,77	5,34
JAS	17,10	1025,44	1021,30	7,75	8090,74	34,88	66,71	46,72	88,50	168,23	136,63	43,72	31,83	79,73	4,13
OND	16,29	1029,47	1023,71	8,23	8442,94	35,51	68,50	48,24	82,41	172,35	136,37	42,95	32,99	89,94	5,76

Tableau 3.43 Valeurs moyennes saisonnières des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'arrivée supérieure à 140° (40 °O).

Les anticyclones américano-atlantiques ayant atteint la longitude 140° (40 °O) (tableau 3.43) :

- sont plus fréquents au printemps,
- ont des pressions maximales, durent le plus longtemps, parcourent le plus de distance, apparaissent à des longitudes plus occidentales, atteignent des longitudes plus orientales, ont des espaces de déplacement en latitude et surtout en longitude plus étendus en hiver et en automne,
- apparaissent à des latitudes plus méridionales, atteignent des latitudes minimales, se déplacent plus rapidement en été.

• Aire d'arrivée supérieure à 160° (20 °O)

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	11,61	1030,95	1024,64	8,22	8581,33	39,04	71,52	51,91	81,74	184,67	145,08	43,60	32,48	102,93	6,31
AMJ	12,76	1028,42	1022,84	7,02	7542,65	41,15	72,94	54,53	87,62	184,18	147,94	44,93	31,79	96,55	5,58
JAS	9,61	1025,04	1020,69	7,92	8560,75	37,19	68,48	49,38	87,62	184,13	146,53	45,69	31,29	96,51	4,34
OND	10,94	1029,37	1023,51	8,47	8904,24	36,87	70,45	50,17	81,70	184,49	144,74	44,25	33,58	102,79	5,86

Tableau 3.44 Valeurs moyennes saisonnières des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'arrivée supérieure à 160° (20 °O).

Les anticyclones américano-atlantiques ayant atteint la longitude 160° (20 °O) (tableau 3.44) :

- sont plus fréquents au printemps,
- ont des pressions maximales, durent le plus longtemps, parcourent le plus de distance, apparaissent à des longitudes plus occidentales, atteignent des longitudes plus orientales, ont des espaces de déplacement en latitude et surtout en longitude plus étendus en hiver et en automne,
- apparaissent à des latitudes plus méridionales, et se déplacent plus rapidement en été.

En conclusion, quelle que soit la longitude atteinte, les caractéristiques saisonnières sont semblables.

- En valeurs saisonnières par aires

JFM	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
120	24,73	1030,93	1024,86	7,54	7886,65	35,51	68,13	48,03	77,71	158,84	125,84	43,64	32,62	81,13	6,07
140	16,98	1031,17	1024,90	8,19	8410,36	36,80	69,43	49,26	80,92	172,76	136,56	42,89	32,63	91,84	6,27
160	11,61	1030,95	1024,64	8,22	8581,33	39,04	71,52	51,91	81,74	184,67	145,08	43,60	32,48	102,93	6,31
AMJ	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
120	29,33	1028,39	1023,23	6,92	7080,53	37,10	69,37	49,88	85,54	158,17	129,09	42,69	32,27	72,64	5,17
140	21,47	1028,68	1023,34	7,37	7503,80	37,84	70,32	50,60	87,59	169,36	137,75	42,53	32,48	81,77	5,34
160	12,76	1028,42	1022,84	7,02	7542,65	41,15	72,94	54,53	87,62	184,18	147,94	44,93	31,79	96,55	5,58
JAS	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
120	23,98	1025,25	1021,21	7,15	7562,52	34,33	66,42	46,58	85,25	156,47	127,56	44,22	32,08	71,22	4,04
140	17,10	1025,44	1021,30	7,75	8090,74	34,88	66,71	46,72	88,50	168,23	136,63	43,72	31,83	79,73	4,13
160	9,61	1025,04	1020,69	7,92	8560,75	37,19	68,48	49,38	87,62	184,13	146,53	45,69	31,29	96,51	4,34
OND	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
120	23,24	1029,17	1023,67	7,56	7816,57	35,04	67,25	47,57	80,90	159,30	126,79	43,19	32,21	78,40	5,50
140	16,29	1029,47	1023,71	8,23	8442,94	35,51	68,50	48,24	82,41	172,35	136,37	42,95	32,99	89,94	5,76
160	10,94	1029,37	1023,51	8,47	8904,24	36,87	70,45	50,17	81,70	184,49	144,74	44,25	33,58	102,79	5,86

Tableau 3.45 Valeurs moyennes saisonnières par des aires d'arrivées.

Quelle que soit la saison, les anticyclones américano-atlantiques atteignant les longitudes les plus orientales (tableau 3.45) :

- sont moins nombreux,
- parcourent des distances plus longues et en davantage de temps,

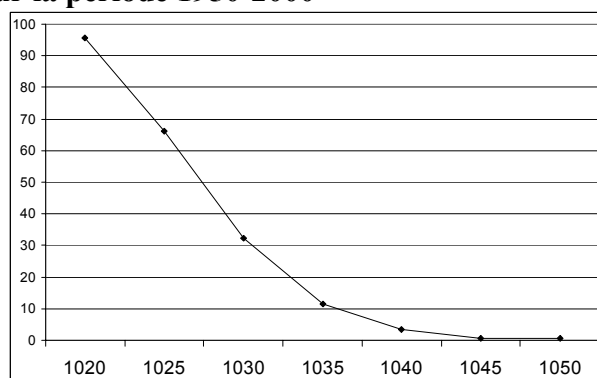
- apparaissent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus orientales (exceptions faites des anticyclones ayant atteint la région 140° (40 °O) en été et en automne),
- s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus orientales,
- ont un espace de déplacement en longitude maximal,
- ont un différentiel de pression maximum.

Il est à noter que les pressions maximales et moyennes sont les plus fortes, sur la région 140° (40 °O).

3.3.1.7 Analyses des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression

La validation d'un anticyclone américano-atlantique s'effectue dans chaque seuil dès qu'il a au moins une pression durant son cycle d'existence située au dessus de la valeur choisie.

- Sur la période 1950-2000



	Fréquence	%
1020 hPa	7924	95,70
1025 hPa	5467	66,03
1030 hPa	2685	32,43
1035 hPa	948	11,45
1040 hPa	275	3,32
1045 hPa	63	0,76
1050 hPa	5	0,6

Figure 3.17 Analyses des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Tableau 3.46 Analyses des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Plus des deux tiers des anticyclones américano-atlantiques dépassent le seuil de 1025 hPa, mais seulement un tiers atteint les pressions supérieures à 1030 hPa. Au-delà de ce seuil les anticyclones sont marginaux avec 11% du total (tableau 3.46 et figure 3.17).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	155,37	1028,40	1023,30	6,55	6788,61	33,88	67,09	47,22	76,72	137,67	112,78	43,20	33,21	60,95	5,11
1025	107,20	1030,90	1024,94	6,94	7067,10	34,07	67,44	47,29	75,96	139,76	113,74	42,42	33,37	63,80	5,96
1030	52,65	1034,51	1027,35	7,36	7258,24	35,01	68,11	48,15	73,64	141,75	114,06	41,10	33,09	68,11	7,16
1035	18,59	1038,71	1030,24	7,78	7408,98	36,11	68,70	49,29	69,88	141,46	112,03	39,81	32,59	71,58	8,47
1040	5,39	1043,01	1033,38	8,11	7403,64	37,45	68,69	50,57	66,13	141,07	110,16	38,59	31,24	74,94	9,63

Tableau 3.47 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Les anticyclones américano-atlantiques ayant les pressions les plus élevées (tableau 3.47) :

- sont les moins nombreux,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance,
- apparaissent à des latitudes septentrionales et à des longitudes plus occidentales,
- atteignent des latitudes moins méridionales et des longitudes plus orientales, donc ont des trajectoires plus zonales.
- se déplacent moins vite,
- ont un espace d'extension en latitude minimum,
- ont un espace d'extension en longitude maximum,
- ont un différentiel de pression maximal.

- Valeurs saisonnières

• Anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1020 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	41,71	1030,82	1025,05	6,53	6871,79	33,84	67,07	47,24	72,16	135,44	109,38	43,90	33,23	63,28	5,77
AMJ	41,45	1027,99	1022,85	6,46	6592,80	35,12	68,53	48,70	80,21	140,88	116,43	42,58	33,42	60,67	5,14
JAS	34,14	1025,08	1020,98	6,71	6965,02	32,36	66,01	45,54	79,09	137,80	114,28	43,34	33,64	58,71	4,10
OND	38,08	1029,10	1023,90	6,62	6816,11	33,77	66,34	46,83	75,39	136,37	110,99	42,96	32,57	60,98	5,20

Tableau 3.48 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1020 hPa.

Les anticyclones américano-atlantiques supérieurs à 1020 hPa (tableau 3.48) :

- sont plus fréquents en hiver et au printemps,
- ont des pressions maximales et moyennes élevées en hiver et en automne,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance en été,
- apparaissent et se dissipent à des longitudes plus occidentales en hiver et en automne,
- apparaissent et se dissipent à des latitudes plus septentrionales au printemps,
- se déplacent plus vite en hiver,
- couvrent des espaces en latitude minimaux en hiver et en automne,
- couvrent des espaces en longitude maximaux en hiver et en automne,
- ont des différentiels de pression maximaux en hiver et en automne.

• Anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1025 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	34,86	1032,40	1026,12	6,76	7017,31	33,89	67,30	47,22	71,35	135,86	109,45	43,32	33,41	64,52	6,28
AMJ	28,39	1030,39	1024,35	6,90	6901,65	35,35	69,34	48,97	80,12	143,84	118,24	41,78	33,99	63,71	6,04
JAS	15,39	1027,90	1022,71	7,55	7582,80	32,71	66,31	45,51	79,80	144,78	118,91	42,04	33,60	64,98	5,19
OND	28,55	1031,13	1025,27	7,01	7102,39	33,50	66,18	46,33	74,96	137,82	111,73	42,28	32,68	62,86	5,86

Tableau 3.49 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1025 hPa.

Les anticyclones américano-atlantiques supérieurs à 1025 hPa (tableau 3.49) :

- sont plus fréquents en hiver et en automne,
- ont des pressions maximales et moyennes élevées en hiver et en automne,
- apparaissent et se dissipent à des longitudes plus occidentales en hiver et en automne,
- apparaissent et se dissipent à des latitudes plus septentrionales au printemps,
- se déplacent plus vite en hiver et en automne,
- couvrent des espaces en latitude minimaux en hiver et en automne,
- couvrent des différentiels de pression maximaux en hiver et en automne.

• Anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1030 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	21,59	1035,35	1028,18	7,20	7216,20	34,56	67,70	47,69	69,84	137,45	109,99	41,87	33,14	67,62	7,17
AMJ	13,22	1033,76	1026,41	7,42	7126,36	36,76	70,64	50,33	80,14	149,45	121,98	40,25	33,88	69,31	7,35
JAS	3,06	1031,63	1024,71	8,70	8016,85	32,55	66,51	45,75	76,83	145,48	118,37	39,51	33,96	68,65	6,92
OND	14,80	1034,42	1027,50	7,52	7425,41	34,00	66,16	46,57	73,23	140,96	112,76	41,21	32,16	67,72	6,92

Tableau 3.50 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1030 hPa.

Les anticyclones américano-atlantiques supérieurs à 1030 hPa (tableau 3.50) :

- sont plus fréquents en hiver et au printemps,
- ont des pressions maximales et moyennes élevées en hiver et en automne,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance en été,
- apparaissent et se dissipent à des longitudes plus occidentales en hiver et en automne,
- apparaissent et se dissipent à des latitudes plus septentrionales au printemps,
- se déplacent plus vite en hiver et en automne,
- couvrent des espaces en latitude minimaux en hiver et en automne,
- couvrent des espaces en longitude minimaux en hiver et en automne,
- ont des différentiels de pression maximaux en hiver et au printemps.

• Anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1035 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	9,55	1039,10	1030,71	7,93	7530,51	35,71	68,25	48,77	67,47	140,08	111,17	39,70	32,54	72,61	8,40
AMJ	3,80	1037,64	1028,44	8,17	7599,60	37,15	71,73	51,10	78,80	150,56	122,03	40,10	34,58	71,76	9,20
JAS	0,94	1037,20	1028,38	9,19	8610,42	31,93	65,89	45,12	71,15	148,44	114,92	41,38	33,96	77,29	8,82
OND	5,20	1038,35	1030,21	7,89	7701,31	34,42	67,07	47,59	68,78	142,02	111,08	41,17	32,65	73,24	8,14

Tableau 3.51 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1035 hPa.

Les anticyclones américano-atlantiques supérieurs à 1035 hPa (tableau 3.51) :

- sont plus fréquents en hiver et en automne,
- ont des pressions maximales et moyennes élevées en hiver et en automne,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance en été,
- apparaissent et se dissipent à des longitudes plus occidentales en hiver et en automne,
- apparaissent et se dissipent à des latitudes plus septentrionales au printemps,
- se déplacent plus vite en été,
- couvrent des espaces en latitude minimaux en hiver et en automne,
- ont des différentiels de pression minimaux en hiver et en automne,

• Anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1040 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	2,67	1042,81	1033,06	8,04	7202,79	38,29	68,37	50,66	68,66	142,24	112,03	38,23	30,07	73,58	9,75
AMJ	0,84	1043,10	1033,27	8,18	7860,89	37,32	70,21	50,81	66,43	146,07	112,58	40,52	32,89	79,64	9,83
JAS	0,10	1042,67	1032,62	11,60	11273,84	32,00	68,00	44,09	53,50	159,50	121,32	40,64	36,00	106,00	10,05
OND	2,45	1043,35	1033,83	7,80	7468,22	35,44	68,76	49,88	62,24	136,45	106,28	40,04	33,32	74,21	9,52

Tableau 3.52 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1040 hPa.

Les anticyclones américano-atlantiques supérieurs à 1040 hPa (tableau 3.52) :

- sont plus fréquents en hiver et en automne,
- ont des pressions maximales et moyennes élevées en hiver et en automne,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance en été,
- apparaissent et se dissipent à des longitudes plus occidentales en hiver et en automne,
- apparaissent et se dissipent à des latitudes plus septentrionales au printemps,
- se déplacent plus lentement en hiver et en automne,
- ont des espaces en latitude et en longitude maximaux en été,
- ont des différentiels de pression minimaux en hiver et en automne.

- En valeurs saisonnières selon les seuils de pression

Quelle que soit la saison, les anticyclones américano-atlantiques ayant les pressions les plus élevées (tableau 3.53) :

- sont les moins nombreux,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance,
- apparaissent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus occidentales,
- atteignent des latitudes moins méridionales et des longitudes plus orientales,
- se déplacent moins vite,
- couvrent un espace d'étendue en latitude minimum (sauf pour les anticyclones supérieurs à 1040 hPa en JAS mais cette moyenne n'est que peu représentative du fait du faible nombre d'anticyclones la composant),
- couvrent un espace d'extension en longitude maximum,
- ont un différentiel de pression maximal.

JFM	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	41,71	1030,82	1025,05	6,53	6871,79	33,84	67,07	47,24	72,16	135,44	109,38	43,90	33,23	63,28	5,77
1025	34,86	1032,40	1026,12	6,76	7017,31	33,89	67,30	47,22	71,35	135,86	109,45	43,32	33,41	64,52	6,28
1030	21,59	1035,35	1028,18	7,20	7216,20	34,56	67,70	47,69	69,84	137,45	109,99	41,87	33,14	67,62	7,17
1035	9,55	1039,10	1030,71	7,93	7530,51	35,71	68,25	48,77	67,47	140,08	111,17	39,70	32,54	72,61	8,40
1040	2,67	1042,81	1033,06	8,04	7202,79	38,29	68,37	50,66	68,66	142,24	112,03	38,23	30,07	73,58	9,75
AMJ	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	41,45	1027,99	1022,85	6,46	6592,80	35,12	68,53	48,70	80,21	140,88	116,43	42,58	33,42	60,67	5,14
1025	28,39	1030,39	1024,35	6,90	6901,65	35,35	69,34	48,97	80,12	143,84	118,24	41,78	33,99	63,71	6,04
1030	13,22	1033,76	1026,41	7,42	7126,36	36,76	70,64	50,33	80,14	149,45	121,98	40,25	33,88	69,31	7,35
1035	3,80	1037,64	1028,44	8,17	7599,60	37,15	71,73	51,10	78,80	150,56	122,03	40,10	34,58	71,76	9,20
1040	0,84	1043,10	1033,27	8,18	7860,89	37,32	70,21	50,81	66,43	146,07	112,58	40,52	32,89	79,64	9,83
JAS	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	34,14	1025,08	1020,98	6,71	6965,02	32,36	66,01	45,54	79,09	137,80	114,28	43,34	33,64	58,71	4,10
1025	15,39	1027,90	1022,71	7,55	7582,80	32,71	66,31	45,51	79,80	144,78	118,91	42,04	33,60	64,98	5,19
1030	3,06	1031,63	1024,71	8,70	8016,85	32,55	66,51	45,75	76,83	145,48	118,37	39,51	33,96	68,65	6,92
1035	0,94	1037,20	1028,38	9,19	8610,42	31,93	65,89	45,12	71,15	148,44	114,92	41,38	33,96	77,29	8,82
1040	0,10	1042,67	1032,62	11,60	11273,84	32,00	68,00	44,09	53,50	159,50	121,32	40,64	36,00	106,00	10,05
OND	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	38,08	1029,10	1023,90	6,62	6816,11	33,77	66,34	46,83	75,39	136,37	110,99	42,96	32,57	60,98	5,20
1025	28,55	1031,13	1025,27	7,01	7102,39	33,50	66,18	46,33	74,96	137,82	111,73	42,28	32,68	62,86	5,86
1030	14,80	1034,42	1027,50	7,52	7425,41	34,00	66,16	46,57	73,23	140,96	112,76	41,21	32,16	67,72	6,92
1035	5,20	1038,35	1030,21	7,89	7701,31	34,42	67,07	47,59	68,78	142,02	111,08	41,17	32,65	73,24	8,14
1040	2,45	1043,35	1033,83	7,80	7468,22	35,44	68,76	49,88	62,24	136,45	106,28	40,04	33,32	74,21	9,52

Tableau 3.53 Caractéristiques saisonnières des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression.

En résumé, les anticyclones américano-atlantiques de fortes pressions sont :

- plus nombreux en hiver,
- ont des trajectoires plus zonales avec des points de départ situés au nord-ouest de l'espace d'étude,
- se déplacent assez lentement (différence d'environ 3-4 km/h avec un maximum de 6 km/h en JFM pour les anticyclones > 1040 hPa, par rapport au total des anticyclones américano-atlantiques).

3.3.1.8. Densités de passage des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression

Il y a réduction de l'espace couvert en direction du sud, en liaison avec l'augmentation des pressions des anticyclones. En revanche les aires de passage maximaux restent les mêmes, quel que soit le seuil considéré (figure 3.18).

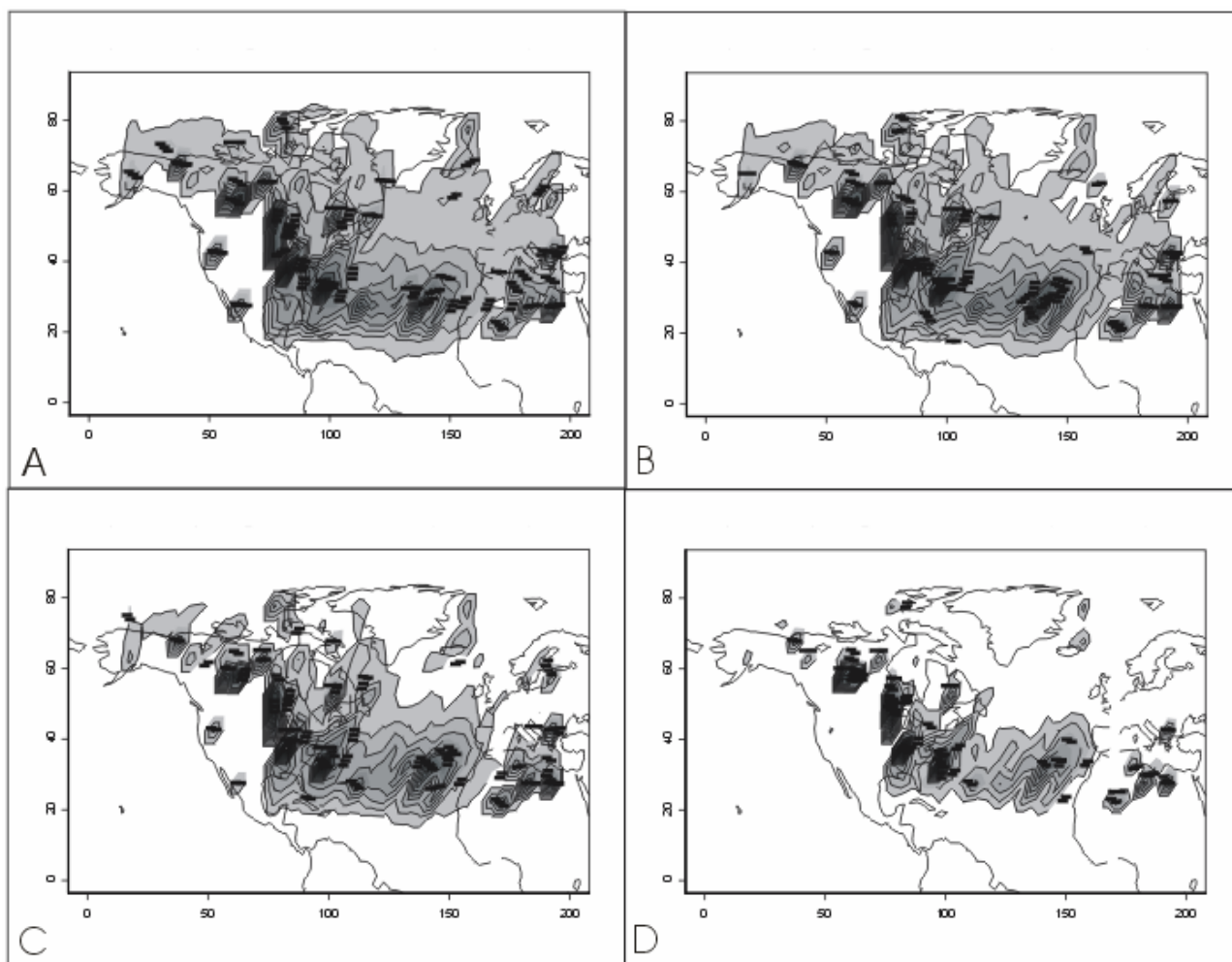


Figure 3.18 Densités de passage des anticyclones américano-atlantiques dans des secteurs de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ selon les seuils de pression en valeurs annuelles, A > 1020, B > 1025, C > 1030 et D > 1035 hPa. La première courbe d'iso-passages englobe les aires supérieures à 25 passages. Pour les longitudes, 0 correspond à 180° O et 200 à 20° E.

3.3.2 Analyses de l'évolution à partir des séries temporelles

3.3.2.1 Coefficients de variation et coefficient de détermination

Nous avons établi les tableaux récapitulatifs coefficients de variation des courbes de tendance (régression linéaire) et des coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications, aux échelles temporelles : annuelles, et saisonnières : JFM, AMJ, JAS, OND, des anticyclones.

a- Anticyclones américano-atlantiques.

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,09 0,02	0 0,05	0 0,02	0 0,06	-1.13 0	-0,02 0,12	-0,02 0,08	-0,04 0,05	0 0	-0,04 0,04	-0,02 0,01	0,02 0,07	0 0	-0,02 0,1	0 0,1
JFM	-0,11 0,07	0,01 0,03	0 0	0 0,02	3.3 0,01	-0,02 0,04	-0,03 0,05	-0,04 0,08	0 0	-0,05 0,01	-0,03 0	0 0	0 0	-0,05 0,01	0 0,08
AMJ	0,11 0,07	0 0,02	0 0	0 0,07	-3.65 0,01	-0,04 0,06	0 0	-0,02 0,02	0,06 0,05	-0,02 0	0,02 0	0,03 0,04	0,03 0,04	-0,08 0,04	0 0,07
JAS	0,04 0	0 0	0 0,03	-0,01 0,1	-5.62 0,06	-0,02 0,05	-0,04 0,09	-0,03 0,07	0 0	-0,06 0,03	-0,04 0,02	0,03 0,05	0 0,01	-0,07 0,02	0 0,03
OND	0,06 0,03	0 0	0 0,02	0 0	1.62 0	0 0	0 0	0 0	-0,07 0,03	-0,02 0	-0,04 0,01	0,02 0,02	0 0	0,05 0,01	0 0,01

b- Anticyclones américain-atlantiques >1020 hPa.

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,04 0	0 0,03	0 0	0 0,05	-0,9 0	-0,02 0,12	-0,02 0,06	-0,02 0,09	0 0	-0,03 0,03	-0,01 0	0,02 0,08	0 0	-0,03 0,03	0 0,07
JFM	-0,1 0,06	-0,01 0,03	0 0	0 0	1,75 0	-0,03 0,05	-0,04 0,07	-0,04 0,1	-0,02 0	-0,05 0,01	-0,02 0	0 0	-0,01 0	-0,07 0,02	-0,01 0,1
AMJ	0,1 0,06	0 0,02	0 0	0 0,07	-3,8 0,01	-0,03 0,05	0 0	-0,1 0,01	0,06 0,05	0 0	-0,03 0	0,03 0,05	0 0	-0,03 0	0 0
JAS	0 0	0 0,03	0 0,07	0 0,07	-3,25 0,02	-0,02 0,03	-0,02 0,03	-0,02 0,03	0 0	-0,03 0	-0,03 0,01	0,03 0,06	0 0	-0,03 0	0 0
OND	0,04 0,01	0 0	0 0,01	0 0	1,5 0	0 0	0 0	0 0	-0,06 0,03	-0,02 0	-0,03 0,01	0,01 0,01	0 0	0,04 0,01	0 0,02

c- Anticyclones américain-atlantiques >1025 hPa.

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,03 0	0 0,05	0 0,01	0 0,02	-0,54 0	-0,02 0,06	0,02 0,05	-0,02 0,05	0,03 0,01	0 0	0 0	0,02 0,07	0 0	-0,03 0,01	0 0,1
JFM	-0,13 0,08	0 0	0 0,01	0 0,02	3,4 0	-0,02 0,01	-0,04 0,05	-0,04 0,05	0,03 0	-0,03 0	0 0	-0,01 0,01	-0,02 0,01	-0,05 0,01	0 0,06
AMJ	0,08 0,05	-0,01 0,06	0 0	-0,01 0,09	-5,95 0,02	-0,02 0,01	0 0	0 0	0,04 0,01	-0,01 0	0 0	0,04 0,07	0,03 0,02	-0,06 0,01	-0,01 0,14
JAS	0,03 0	0 0	0 0,05	-0,02 0,16	-14,9 0,1	0 0	-0,05 0,08	-0,02 0,02	0,13 0,07	-0,03 0	0 0	0,04 0,07	-0,06 0,07	-0,16 0,05	0 0,03
OND	0,05 0,02	0 0,02	-0,01 0,05	0 0,01	5,64 0,03	-0,03 0,03	0 0	-0,01 0,01	-0,05 0,03	0,02 0	0 0	0 0	-0,02 0	0,08 0,03	0 0

d- Anticyclones américain-atlantiques >1030 hPa.

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,06 0,01	0 0,02	0 0	0 0	3,79 0,01	-0,02 0,03	-0,02 0,03	-0,02 0,03	-0,03 0,01	0 0	0 0	0,02 0,05	0 0	0,03 0	0 0,09
JFM	-0,1 0,09	0 0	0,02 0,09	0 0,01	6,19 0,01	-0,03 0,01	-0,06 0,08	-0,05 0,05	0,03 0	-0,04 0	-0,03 0	0 0	-0,04 0,03	-0,07 0,01	-0,01 0,08
AMJ	0,02 0	-0,02 0,09	0 0	0 0	0,24 0	-0,02 0	0,01 0	0 0	-0,01 0	0,08 0,01	0,08 0,02	0,04 0,02	0,09 0,01	0,03 0,02	-0,02 0,1
JAS	0,01 0,01	0 0,01	0 0	-0,02 0,01	-11,3 0	0,02 0	0 0	-0,04 0,02	0,2 0,03	0,02 0	0,07 0	0,03 0	0 0	-0,18 0,02	-0,01 0,02
OND	0 0	-0,01 0,01	-0,02 0,07	0 0,01	15,73 0,06	-0,05 0,05	0 0	-0,02 0	-0,2 0,1	0,03 0	-0,03 0	0,04 0,06	0,05 0,05	0,01 0,05	0,2 0,09

Tableau 3.54 Coefficients de variations des courbes de tendances (régression linéaire) et les coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications pour les échelles temporelles : annuelle, JFM, AMJ, JAS, OND selon les seuils de pression (a) 1015hPa, (b) 1020hPa, (c) 1025hPa, (d) 1030hPa.

Ces tableaux sont très riches d'informations. Mais il apparaît irréaliste de les décrire en première analyse de façon exhaustive. Nous nous contenterons donc de faire ressortir les traits de caractères majeurs. Les anticyclones américain-atlantiques connaissent des évolutions similaires pour tous les seuils de pression (tableaux 3.54) :

- pour les fréquences, on constate une tendance à la hausse en valeurs annuelles et printanières et une tendance à la baisse pour les valeurs hivernales,
- pour les distances parcourues, on remarque une hausse en valeurs hivernales et automnales, et une tendance à la baisse pour les valeurs annuelles, printanières et estivales,
- pour les autres variables aucune tendance nette ne ressort de l'analyse des tableaux.

3.3.2.2 Evolutions des variables à l'échelle annuelle et saisonnière.

- Evolutions des variables en valeurs annuelles sur la période 1950-2000

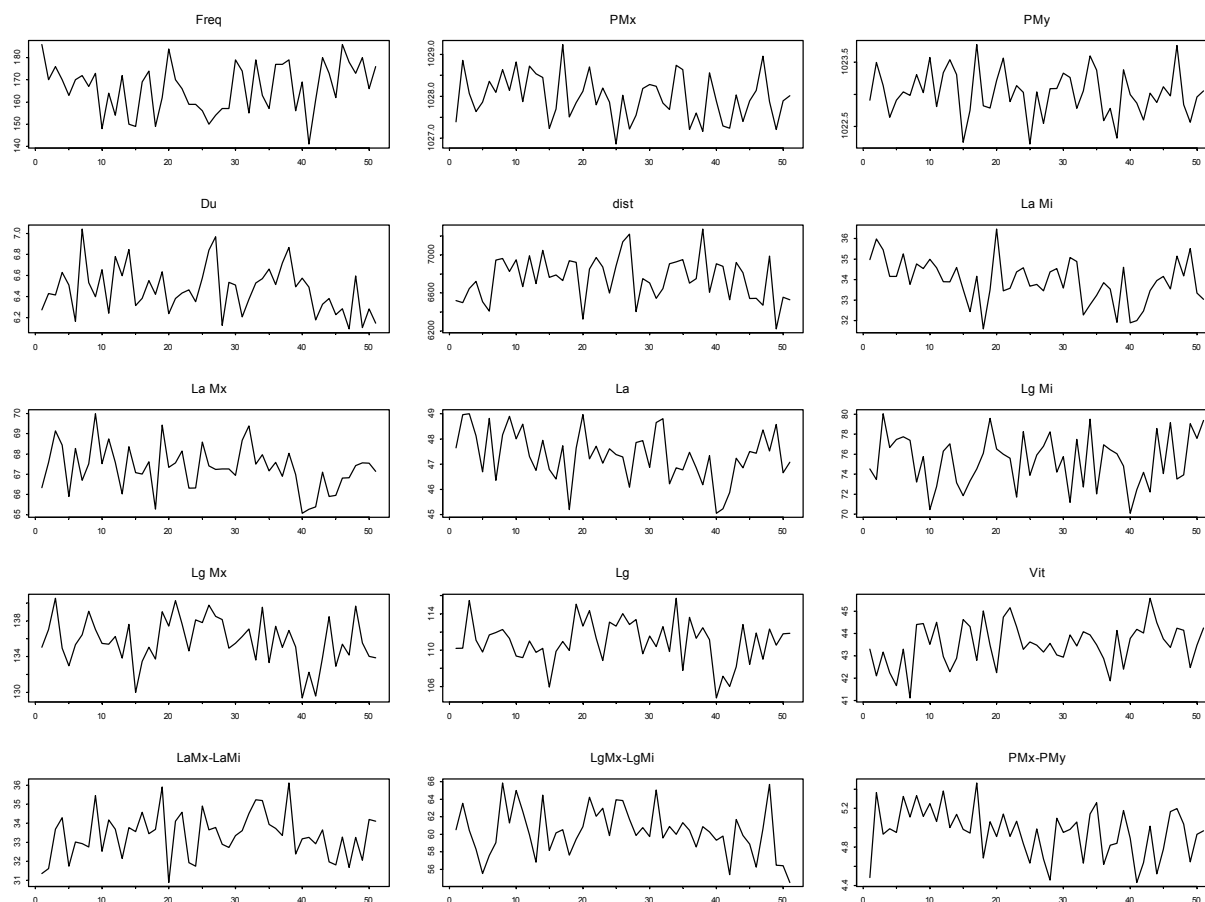


Figure 3.19 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques en valeurs annuelles. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Sur l'ensemble de la période 1950-2000 (figure 3.19) :

- les fréquences diminuent de 1950 à 1975, puis augmentent jusqu'en 2000 (avec tout de même le minimum de 1990),
- les pressions maximales et moyennes, les durées, les latitudes (minimales, maximales, moyennes) s'abaissent au long de la période,
- les distances augmentent de 1950 à 1976, puis diminuent jusqu'en 2000 (à l'exception de 1987),
- les vitesses de déplacement augmentent régulièrement de 1950 à 2000.

- Evolutions des variables en valeurs saisonnières

Pour les données saisonnières nous ne montrons que les plus significatives (fréquence, latitudes minimales et longitudes maximales).

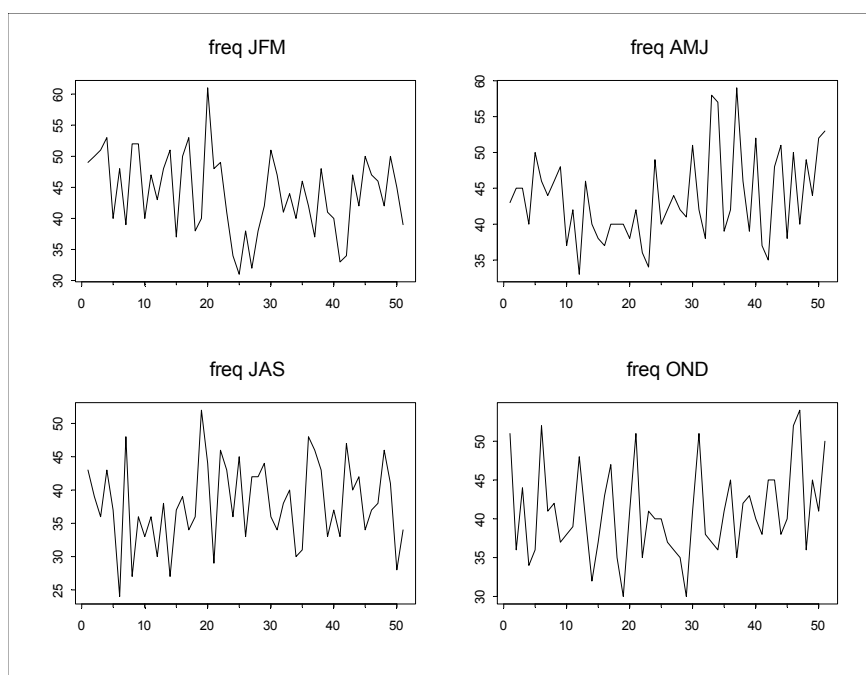


Figure 3.20 Séries temporelles des fréquences sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Fréquences : Selon les saisons les fréquences connaissent des évolutions différentes (figure 3.20) :

- en hiver, on enregistre une hausse de 1950 à 1970 suivie d'une baisse jusqu'en 2000,
- au printemps, la baisse de 1950 à 1972 est suivie d'une augmentation en fréquence et accroissement de la variabilité interannuelle,
- en été, la hausse est régulière sur l'ensemble de la période,
- en automne, aucune évolution nette ne ressort sauf sur les deux dernières décennies qui ont connu une hausse des fréquences.

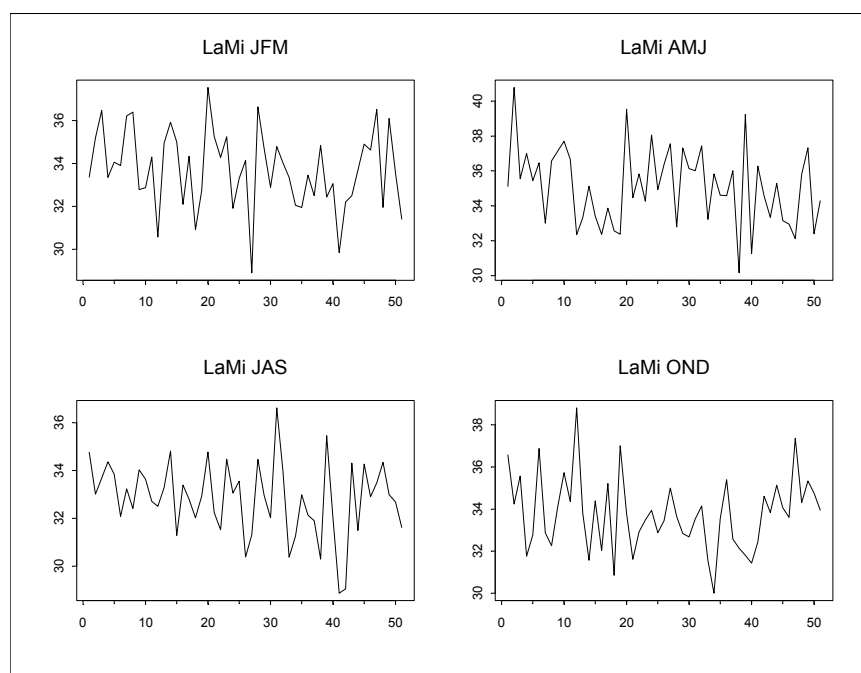


Figure 3.21 Séries temporelles sur la période des latitudes minimales en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Latitudes : Quelle que soit la saison, les anticyclones atteignent des latitudes plus méridionales (figure 3.21).

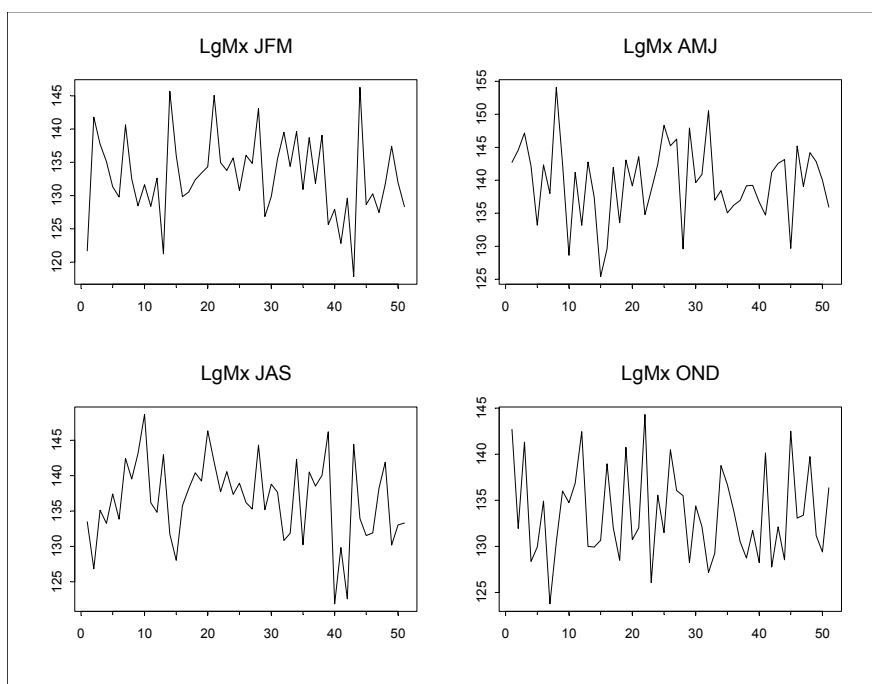


Figure 3.22 Séries temporelles sur la période des longitudes maximales en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Longitudes : Les longitudes atteintes par les anticyclones varient selon les saisons (figure 3.22) :

- en hiver, au printemps et durant l'automne, les longitudes atteintes sont de plus en plus occidentales,
- en été, ils atteignent des longitudes plus orientales de 1950 à 1969 puis il y a décalage vers l'ouest jusqu'en 2000.

- Evolutions des variables en valeurs saisonnières selon les seuils de pression

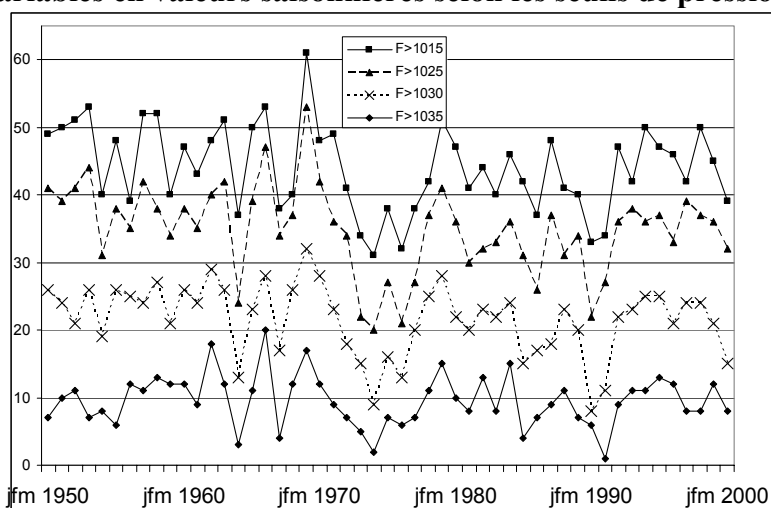


Figure 3.23 Séries temporelles en JFM des fréquences des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieurs à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.

Fréquences : Les fréquences des anticyclones, en valeurs hivernales, connaissent la même évolution en deux phases opposées sans distinction de seuil de pression : une hausse en début de période jusqu'en 1969-70, puis une baisse franche jusqu'en 2000 (figure 3.23).

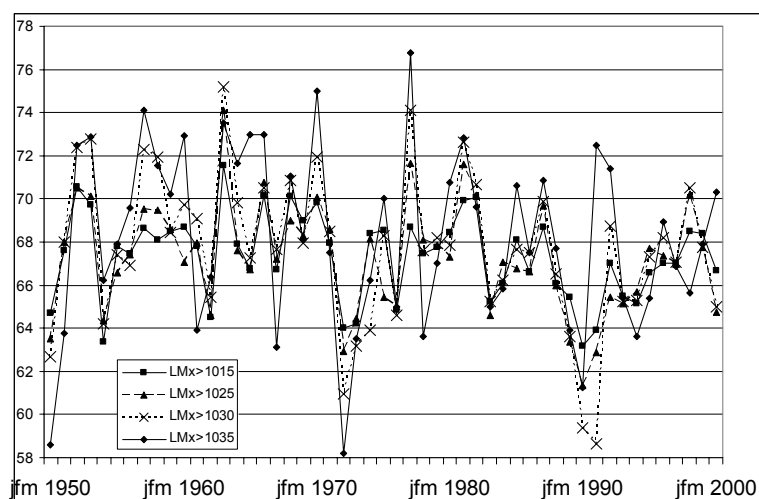


Figure 3.24 Séries temporelles en JFM des latitudes d'apparition des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieurs à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.

Latitudes d'apparition : Quel que soit le seuil de pression, il n'y a pas beaucoup de différences des lieux d'apparition. On peut juste noter une augmentation de l'amplitude de la variabilité inter-hivernale avec la hausse de pression. La forme générale des courbes d'évolution est similaire à celle décrite pour les fréquences avec encore une fois le tournant climatique de 1970 (figure 3.24).

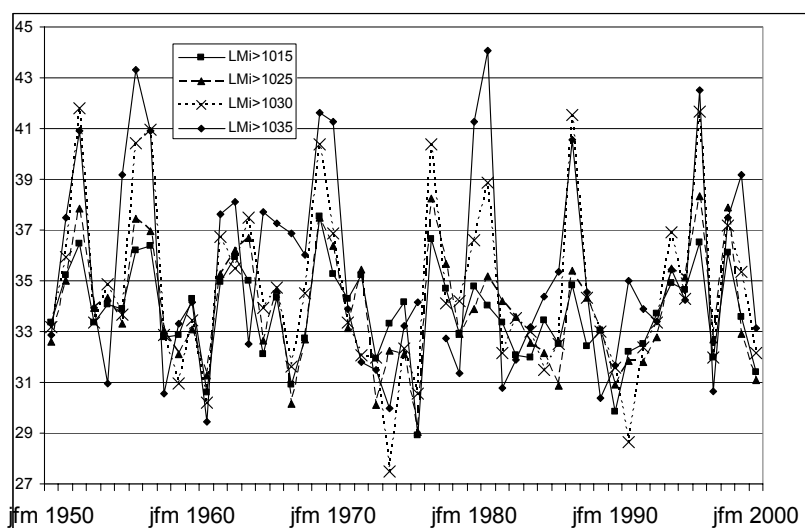


Figure 3.25 Séries temporelles en JFM des latitudes d'agglutination des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieures à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.

Latitudes d'agglutination : Dans ce cas, on enregistre également augmentation de la variabilité inter-annuelle en relation avec l'accroissement de la pression. Les courbes font apparaître une tendance des anticyclones à atteindre des latitudes de plus en plus méridionales durant la période (figure 3.25).

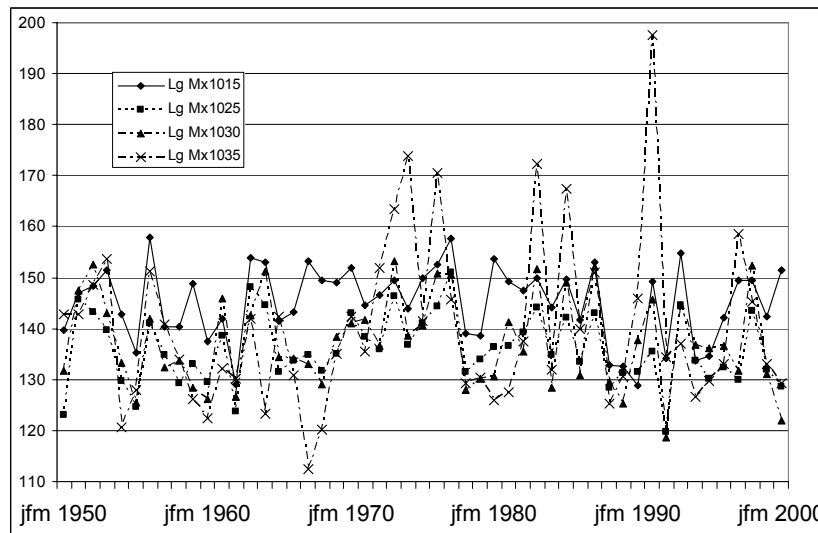


Figure 3.26 Séries temporelles en JFM des longitudes d'agglutination des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieures à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.

Longitudes d'agglutination : L'évolution des longitudes d'agglutination est la même pour tous les seuils de pression avec une tendance au décalage vers l'ouest des longitudes d'agglutination sauf pour les anticyclones supérieurs à 1035 hPa. Une nouvelle fois on observe une augmentation de la variabilité inter-annuelle en relation avec l'accroissement de la pression (figure 3.26).

3.3.2.3 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et l'ONA

a- Anticyclones américano-atlantiques

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,23	-0,22	-0,11	0,09	0,08	-0,33	-0,53	-0,49	-0,22	-0,42	-0,41	0,00	-0,19	-0,19	-0,32
JFM	-0,54	-0,21	-0,06	0,36	0,28	-0,52	-0,56	-0,66	-0,10	-0,25	-0,20	-0,15	-0,08	-0,15	-0,38
AMJ	-0,28	-0,21	-0,20	0,15	0,10	-0,21	-0,30	-0,31	-0,27	-0,35	-0,36	-0,05	-0,02	-0,14	-0,15
JAS	-0,26	-0,11	-0,05	0,00	-0,11	0,21	-0,17	0,03	-0,21	-0,10	-0,15	-0,12	-0,34	0,07	-0,12
OND	-0,31	-0,18	-0,02	0,15	0,18	-0,23	-0,38	-0,36	-0,20	-0,31	-0,32	0,03	-0,13	-0,08	-0,35

b- Anticyclones américano-atlantiques >1020 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,18	-0,29	-0,19	0,06	0,06	-0,32	-0,53	-0,49	-0,21	-0,42	-0,42	0,00	-0,24	-0,17	-0,36
JFM	-0,51	-0,25	-0,07	0,27	0,18	-0,46	-0,56	-0,63	-0,06	-0,24	-0,19	-0,19	-0,21	-0,17	-0,40
AMJ	-0,31	-0,14	-0,13	0,19	0,15	-0,25	-0,29	-0,37	-0,29	-0,32	-0,34	-0,04	0,03	-0,11	-0,10
JAS	-0,34	-0,02	0,02	0,04	-0,05	0,13	-0,18	-0,01	-0,17	-0,06	-0,10	-0,12	-0,29	0,08	-0,05
OND	-0,30	-0,16	-0,03	0,21	0,19	-0,18	-0,34	-0,33	-0,22	-0,27	-0,34	-0,03	-0,15	-0,03	-0,29

c- Anticyclones américano-atlantiques >1025 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,21	-0,31	-0,16	0,06	0,07	-0,27	-0,57	-0,48	-0,14	-0,21	-0,24	0,01	-0,35	-0,06	-0,42
JFM	-0,48	-0,15	0,05	0,39	0,32	-0,44	-0,53	-0,60	-0,03	-0,13	-0,09	-0,19	-0,14	-0,09	-0,35
AMJ	-0,28	-0,16	-0,11	0,18	0,23	-0,20	-0,24	-0,33	-0,28	-0,14	-0,19	0,06	-0,01	0,09	-0,14
JAS	-0,20	-0,16	-0,08	0,06	0,00	0,13	-0,18	0,00	-0,24	-0,06	-0,13	-0,10	-0,26	0,12	-0,12
OND	-0,29	-0,14	0,02	0,22	0,22	-0,32	-0,35	-0,44	-0,13	-0,29	-0,30	-0,03	-0,06	-0,16	-0,26

d- Anticyclones américano-atlantiques >1030 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,27	-0,29	-0,06	0,10	0,11	-0,31	-0,56	-0,48	-0,10	-0,15	-0,17	0,00	-0,27	-0,09	-0,42
JFM	-0,44	-0,06	0,20	0,37	0,35	-0,44	-0,55	-0,59	0,04	-0,10	-0,08	-0,06	-0,12	-0,15	-0,36
AMJ	-0,20	-0,30	-0,22	0,26	0,31	-0,26	-0,31	-0,37	-0,16	-0,01	-0,02	0,01	0,01	0,12	-0,13
JAS	-0,38	0,03	0,03	0,04	0,01	0,09	-0,11	-0,12	-0,09	-0,01	-0,02	0,02	-0,15	0,06	-0,01
OND	-0,23	-0,22	-0,03	0,06	0,10	-0,28	-0,34	-0,40	-0,04	-0,09	-0,12	0,07	-0,04	-0,07	-0,27

Tableau 3.55 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et l'ONA selon les seuils de pression (a) >1015 hPa, (b) >1020 hPa, (c) >1025 hPa, (d) >1030 hPa.

Les coefficients de corrélation sont les plus significatifs durant l'hiver et pour les anticyclones considérés dans leur ensemble. Avec l'augmentation de pression on constate que l'évolution de l'ONA n'est semblable qu'aux variations des fréquences et des latitudes (minimales, maximales, moyennes). Il semble donc que ce soient les quatre variables les plus pertinentes pour mesurer la variabilité climatique (tableau 3.55).

3.3.2.4 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques

a- En valeurs annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,04	1,00										
P My	0,07	0,93	1,00									
Du	- 0,28	0,05	- 0,04	1,00								
Dist	- 0,36	- 0,03	- 0,12	0,80	1,00							
La Mx	0,05	0,14	- 0,04	0,08	0,12	1,00						
La Mi	0,20	0,35	0,32	- 0,28	- 0,53	0,34	1,00					
La	0,25	0,35	0,26	- 0,34	- 0,45	0,64	0,89	1,00				
Lg Mi	0,24	- 0,14	- 0,12	- 0,06	- 0,26	0,17	0,09	0,15	1,00			
Lg Mx	0,08	0,15	0,14	0,25	0,23	0,55	0,38	0,47	0,45	1,00		
Lg	0,18	0,05	0,05	0,17	0,07	0,50	0,23	0,35	0,73	0,89	1,00	
vit	- 0,11	- 0,14	- 0,12	- 0,34	0,29	0,05	- 0,38	- 0,16	- 0,31	- 0,05	- 0,17	1,00

- Entre la fréquence et la distance ($R = - 0,36$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux ils parcourent moins de distance.
- Entre la pression maximale et la latitude moyenne ($R = 0,35$) et d'agglutination ($R = 0,35$) :
quand les anticyclones ont des pressions plus élevées ils se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la durée et la latitude moyenne ($R = - 0,34$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance et la latitude de disparition ($R = - 0,53$) et moyenne ($R = - 0,45$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition et la longitude d'agglutination ($R = 0,55$) et moyenne ($R = 0,5$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'agglutination et la vitesse ($R = - 0,38$) :
quand les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent moins vite.
- Entre la latitude moyenne et la longitude d'agglutination ($R = 0,47$) et moyenne ($R = 0,35$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales (tableau 3.56a).

b- En valeurs JFM.

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,48	1,00										
P My	0,41	0,92	1,00									
Du	- 0,44	- 0,03	- 0,08	1,00								
Dist	- 0,46	- 0,12	- 0,17	0,85	1,00							
La Mx	0,44	0,20	0,01	- 0,06	0,04	1,00						
La Mi	0,53	0,24	0,19	- 0,41	- 0,46	0,39	1,00					
La	0,64	0,28	0,18	- 0,45	- 0,44	0,67	0,89	1,00				
Lg Mi	0,14	0,08	0,05	- 0,16	- 0,40	0,03	0,06	0,15	1,00			
Lg Mx	0,00	- 0,03	- 0,13	0,30	0,27	0,39	0,34	0,39	0,41	1,00		
Lg	0,03	- 0,02	- 0,10	0,17	0,05	0,31	0,19	0,27	0,72	0,89	1,00	
vit	- 0,06	- 0,16	- 0,18	- 0,27	0,28	0,17	- 0,10	0,00	- 0,45	- 0,06	- 0,23	1,00

- Entre la fréquence et la pression maximale ($R = 0,48$) et moyenne ($R = 0,41$), la durée ($R = - 0,44$), la distance ($R = - 0,46$), la latitude première ($R = 0,44$), dernière ($R = 0,53$) et moyenne ($R = 0,64$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux, ils ont des pressions plus élevées, parcourent moins de distance en moins de temps, la latitude de création, d'agglutination et moyenne sont plus septentrionales.
- Entre la durée et la latitude moyenne ($R = - 0,41$) et d'agglutination ($R = - 0,45$) :
quand les anticyclones apparaissent et se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance et la latitude de disparition, moyenne et la longitude de création ($R = - 0,46$, $R = - 0,44$, $R = - 0,4$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, et apparaissent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'apparition et la longitude d'agglutination ($R = 0,39$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'agglutination et la longitude d'agglutination ($R = - 0,34$) :
quand les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude moyenne et la longitude d'agglutination ($R = 0,39$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.
- Entre la longitude d'apparition et la vitesse ($R = - 0,45$) :
quand les anticyclones apparaissent à des longitudes plus orientales, ils se déplacent moins vite (tableau 3.56b).

c- En valeurs AMJ

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,01	1,00										
P My	0,06	0,90	1,00									
Du	- 0,18	0,12	0,04	1,00								
Dist	- 0,08	0,22	0,13	0,79	1,00							
La Mx	- 0,04	0,20	0,12	0,05	0,21	1,00						
La Mi	- 0,04	0,25	0,23	- 0,36	- 0,50	0,25	1,00					
La	- 0,02	0,28	0,23	- 0,46	- 0,46	0,49	0,91	1,00				
Lg Mi	0,26	- 0,15	- 0,04	- 0,10	- 0,31	- 0,11	0,07	0,02	1,00			
Lg Mx	0,18	0,34	0,32	0,22	0,33	0,27	0,35	0,33	0,31	1,00		
Lg	0,25	0,19	0,20	0,24	0,26	0,27	0,19	0,18	0,58	0,90	1,00	
vit	0,14	0,17	0,15	- 0,25	0,39	0,25	- 0,25	- 0,04	- 0,36	0,18	0,05	1,00

- Entre la pression maximale, la longitude d'agglutination ($R = 0,34$) :
quand les anticyclones ont des pressions plus élevées ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.
- Entre la durée, la latitude d'agglutination ($R = - 0,36$) et moyenne ($R = - 0,46$) :
quand les anticyclones se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance, la latitude disparition ($R = - 0,5$) et moyenne ($R = - 0,46$) et la longitude d'agglutination ($R = 0,33$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, et ils s'agglutinent à des longitudes plus occidentales.
- Entre la latitude d'apparition, la longitude d'agglutination ($R = 0,55$) et moyenne ($R = 0,5$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'agglutination et la longitude d'agglutination ($R = 0,35$) :

quand les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.

- Entre la latitude moyenne, la longitude d'agglutination ($R = 0,33$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.
- Entre la longitude d'agglutination et la vitesse ($R = - 0,36$) :
quand les anticyclones s'agglutinent à des longitudes plus orientales, ils se déplacent moins vite (tableau 3.56c).

d- En valeurs JAS

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	- 0,14	1,00										
P My	- 0,14	0,86	1,00									
Du	- 0,23	0,29	0,27	1,00								
Dist	- 0,16	0,16	0,14	0,79	1,00							
La Mx	0,12	- 0,04	- 0,13	- 0,02	0,14	1,00						
La Mi	- 0,01	0,07	0,05	- 0,02	- 0,17	0,39	1,00					
La	0,13	- 0,05	- 0,12	- 0,14	- 0,07	0,75	0,80	1,00				
Lg Mi	0,12	0,04	0,18	- 0,06	- 0,23	- 0,20	- 0,15	- 0,24	1,00			
Lg Mx	0,09	0,02	0,09	0,18	0,37	0,27	0,38	0,40	0,26	1,00		
Lg	0,09	0,00	0,13	0,11	0,25	0,18	0,21	0,20	0,51	0,92	1,00	
vit	0,16	- 0,28	- 0,25	- 0,67	- 0,07	0,20	- 0,20	0,12	- 0,17	0,17	0,12	1,00

- Entre la distance et la longitude d'agglutination ($R = 0,37$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils s'agglutinent à des longitudes plus occidentales.
- Entre la latitude d'agglutination et la longitude d'agglutination ($R = 0,38$) :
quand les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude moyenne et la longitude d'agglutination ($R = 0,30$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales (tableau 3.56d).

f- En valeurs OND

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,11	1,00										
P My	- 0,07	0,90	1,00									
Du	- 0,57	0,09	0,11	1,00								
Dist	- 0,52	0,13	0,11	0,78	1,00							
La Mx	- 0,02	0,10	- 0,02	0,08	0,19	1,00						
La Mi	0,37	0,19	0,09	- 0,37	- 0,43	0,31	1,00					
La	0,38	0,22	0,05	- 0,41	- 0,33	0,53	0,91	1,00				
Lg Mi	0,20	- 0,33	- 0,32	- 0,26	- 0,47	0,05	0,13	0,14	1,00			
Lg Mx	0,07	0,09	0,05	0,13	0,21	0,36	0,34	0,41	0,39	1,00		
Lg	0,13	- 0,07	- 0,09	0,03	- 0,04	0,28	0,18	0,26	0,71	0,87	1,00	
vit	0,11	0,03	- 0,01	- 0,41	0,25	0,15	- 0,05	0,13	- 0,28	0,08	- 0,12	1,00

Tableau 3.56 Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques, en valeurs annuelles (a), en valeurs hivernales (b), en valeurs printanières (c), en valeurs estivales (d), valeurs automnales (e).

- Entre la fréquence et la durée ($R = - 0,57$), la distance ($R = - 0,52$), la latitude dernière ($R = 0,37$) et moyenne ($R = 0,38$) :
quand les anticyclones sont moins nombreux ils parcourent moins de distance en moins de temps, la latitude d'agglutination et moyenne sont plus septentrionales.
- Entre la pression maximale et la longitude d'agglutination ($R = - 0,33$) :
quand les anticyclones ont des pressions plus élevées, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.

- Entre la pression moyenne et la longitude d'agglutination ($R = -0,32$) :
quand les anticyclones ont des pressions plus élevées, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales.
- Entre la durée et la latitude moyenne ($R = -0,37$) et d'agglutination ($R = -0,41$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils durent moins longtemps.
- Entre la distance et la latitude d'apparition ($R = -0,43$), disparition ($R = -0,33$) et moyenne ($R = -0,47$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition et la longitude d'agglutination $R = 0,36$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'agglutination et la longitude d'agglutination ($R = 0,34$).
quand les anticyclones s'agglutinent à des latitudes moins septentrionales, ils se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude moyenne et la longitude d'agglutination ($R = 0,41$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales (tableau 3.56e).

3.3.2.5 Examens par Analyse en Composantes Principales (ACP)

De la même façon que pour l'ensemble des anticyclones, nous avons traité les anticyclones américano-atlantiques par des ACP, dont voici les résultats majeurs (tableau 3.57).

	PC1	PC2	PC3
An % var	31.4	20,8	16.6
An CC/ONA	0,11	- 0,01	- 0,22
JFM % var	32.8	22	15.3
JFM CC/ONA	0,61	- 0,02	- 0,26
AMJ % var	27	22.9	16.3
AMJ CC/ONA	- 0,04	0,15	- 0,16
JAS % var	24.3	22.9	15.7
JAS CC/ONA	- 0,04	0,21	0,04
OND % var	29.4	19.9	18.9
OND CC/ONA	0,16	0,03	0,03

Tableau 3.57 Résultats des ACP sur les anticyclones américano-atlantiques.

Pour les valeurs hivernales, le premier axe représente une part significative de l'information, et nous observons que le coefficient de corrélation avec l'ONA est significatif à 98%.

Pour toutes les périodes d'étude, on remarque des oppositions entre les longitudes (minimales, moyennes, maximales) et les latitudes (minimales, moyennes, maximales) du côté positif et la durée et la distance du côté négatif. Auxquelles s'adjoint dans une moindre mesure :

- en valeurs annuelles, la pression moyenne et la fréquence du côté positif,
- en valeurs hivernales, les pressions (moyennes, maximales) et la fréquence, du côté positif,
- en valeurs printanières, les pressions (moyennes, maximales) du côté positif,
- en valeurs estivales, la latitude max du côté positif,
- en valeurs automnales, la fréquence du côté positif.

Cela signifie que les principales variabilités des anticyclones américano-atlantiques concernent leurs espaces de couverture en latitude et longitude, qui sont plus ou moins décalés vers le sud-est ou le nord-ouest, selon l'intensité de l'activité anticyclonique.

Nous étudions maintenant la seconde trajectoire des anticyclones, c'est-à-dire la trajectoire groenlando-scandinave.

3.3 Les anticyclones groenlando-scandinaves

Ces anticyclones se situent à la limite avec une autre unité de circulation (Eurasiatique). En conséquence certaines trajectoires sont tronquées de leur trajet vers la Méditerranée occidentale et / ou vers l'Europe centrale. Il faudra donc prendre des précautions vis à vis des conclusions concernant ces anticyclones groenlando-scandinaves (en particulier les longitudes).

3.3.1 Analyses des données moyennes

Sur la période 1950-2000, on enregistre 3 235 anticyclones de trajectoire groenlando-scandinave.

En valeurs moyennes sur la période 1950-2000

Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
63,43	1026,12	1021,93	4,94	4408,62	36,59	65,45	48,66	167,03	189,97	179,87	37,28	28,86	22,94	4,2

Tableau 3.58 Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000.

Ainsi, un anticyclone groenlando-scandinave est expulsé en moyenne toutes les 140 heures (soit 5 j et 20 h), au-dessus de l'espace analysé (tableau 3.58).

3.3.1.1 Les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles

En valeurs saisonnières

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	12,12	1028,91	1024,15	5,48	4759,54	35,03	66,16	47,84	168,81	190,83	181,33	36,76	31,60	22,16	4,89
AMJ	18,00	1025,58	1021,51	4,72	4261,16	37,75	65,56	49,58	165,82	188,69	178,34	37,91	28,28	22,74	4,34
JAS	20,02	1023,94	1020,23	4,75	4213,87	36,86	63,48	48,12	166,99	189,29	179,42	37,17	26,98	22,32	4,07
OND	13,29	1027,33	1022,84	5,20	4688,67	35,59	66,03	48,42	167,48	191,71	181,36	37,82	30,67	24,16	4,63

Tableau 3.59 Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.

La saison la plus prolifique est l'été. En revanche, les anticyclones groenlando-scandinaves durant l'hiver sont plus puissants, durent plus longtemps, parcourent plus de distance, apparaissent à des latitudes plus septentrionales et s'agglutinent plus au sud, couvrent des espaces maximaux en latitude et longitude, ont un différentiel de pression maximum et se déplacent moins vite (tableau 3.59).

En valeurs mensuelles

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
Janvier	4,41	1029,44	1024,56	5,68	5000,91	34,14	66,39	46,67	168,38	191,18	181,70	37,74	32,25	22,79	4,88
Février	3,55	1028,48	1023,81	5,30	4627,49	34,84	66,37	48,56	169,78	192,18	182,81	38,25	31,53	22,40	4,68
Mars	4,12	1027,62	1023,05	5,15	4621,43	36,95	65,99	48,31	162,95	190,29	176,26	38,04	29,04	27,33	4,58
Avril	4,35	1026,71	1022,45	4,87	4474,58	38,13	68,03	50,31	164,12	187,77	177,45	39,52	29,91	23,64	4,26
Mai	6,80	1025,95	1021,71	4,67	4206,12	38,00	65,67	49,89	164,88	188,85	178,00	38,20	27,67	23,97	4,23
Juin	6,84	1024,47	1020,67	4,94	4253,89	36,97	64,68	48,19	167,79	188,85	179,21	36,49	27,71	21,06	3,80
Juillet	6,73	1023,42	1019,95	4,94	4248,41	37,38	63,63	47,98	166,95	188,47	178,78	36,53	26,25	21,52	3,47
août	7,25	1023,27	1019,76	4,74	4178,55	37,13	63,26	48,13	166,17	188,96	178,60	37,44	26,12	22,79	3,51
Septembre	6,06	1024,78	1020,71	4,90	4479,38	35,83	65,36	47,93	167,43	191,32	181,08	39,27	29,52	23,89	4,06
Octobre	5,33	1026,06	1021,81	5,08	4657,31	35,60	66,55	48,60	167,35	191,12	181,00	38,60	30,95	23,77	4,25
Novembre	4,59	1028,23	1023,41	5,60	4820,16	36,00	66,48	48,62	165,90	191,48	180,82	37,51	30,48	25,58	4,82
décembre	3,39	1027,95	1023,53	5,12	4822,97	34,80	66,33	48,04	166,94	193,00	181,14	40,62	31,53	26,06	4,42

Tableau 3.60 Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.

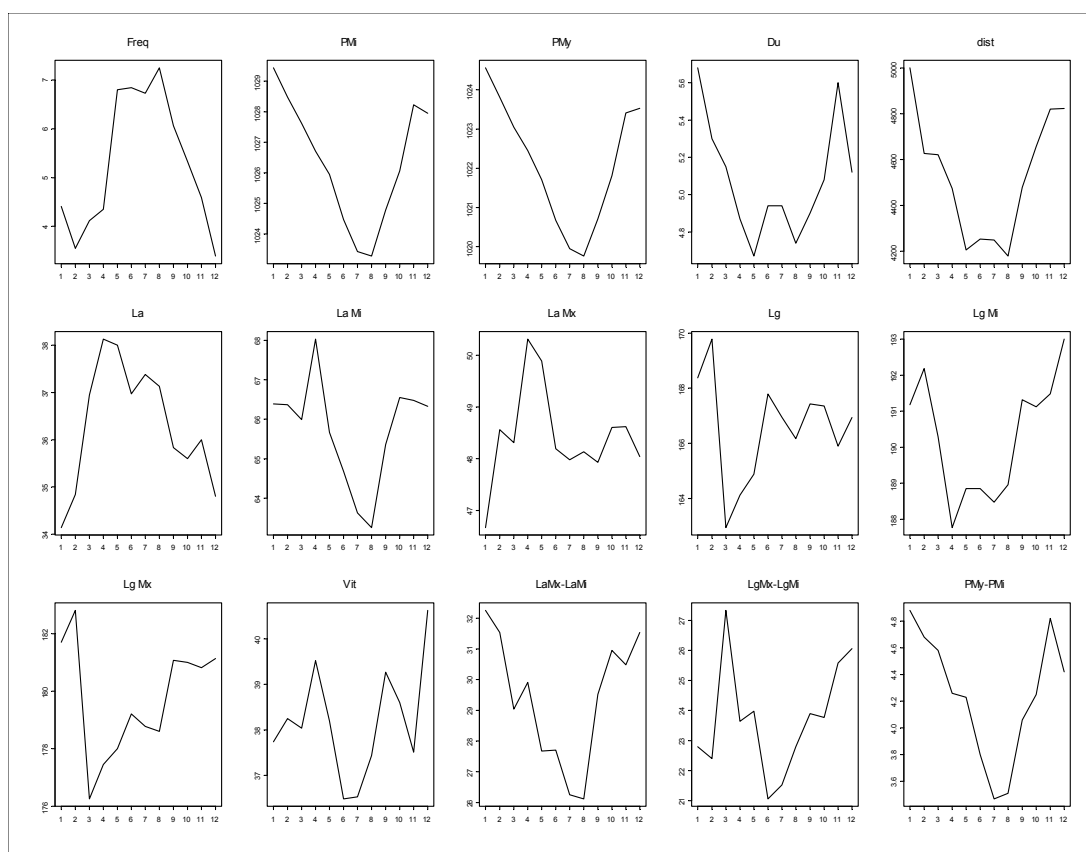


Figure 3.27 Cycles annuels en valeurs mensuelles des anticyclones groenlando-scandinaves.

Les cycles annuels en valeurs saisonnières (tableau 3.59) et mensuelles (tableau 3.60 et figure 3.27), sont pour la plupart unimodaux :

- la fréquence et les latitudes moyennes des anticyclones sont minimales en hiver et maximales en été,
- les pressions moyennes et maximales, la durée, la distance, la vitesse, les longitudes minimales et les différences entre les latitudes maximales-latitudes minimales, les longitudes maximales-longitudes minimales, les pressions maximales-pressions moyennes des anticyclones, sont maximales en hiver et minimales en été,
- les longitudes (maximales, moyennes, minimales) des anticyclones sont minimales en hiver et maximales en été. C'est-à-dire que les trajectoires des anticyclones sont décalées vers l'est durant l'été et vers l'ouest durant l'hiver,
- les latitudes maximales sont plus septentrionales au printemps et méridionales en hiver.

Mais d'autres cycles sont plus complexes, notamment les latitudes minimales qui sont plus septentrionales au printemps, mais plus méridionales en été.

3.3.1.2 Densités de passage selon les saisons

Les fréquences par saisons sur les 51 années d'études sont de 618 en JFM, 918 en AMJ, 1 021 en JAS et 678 en OND.

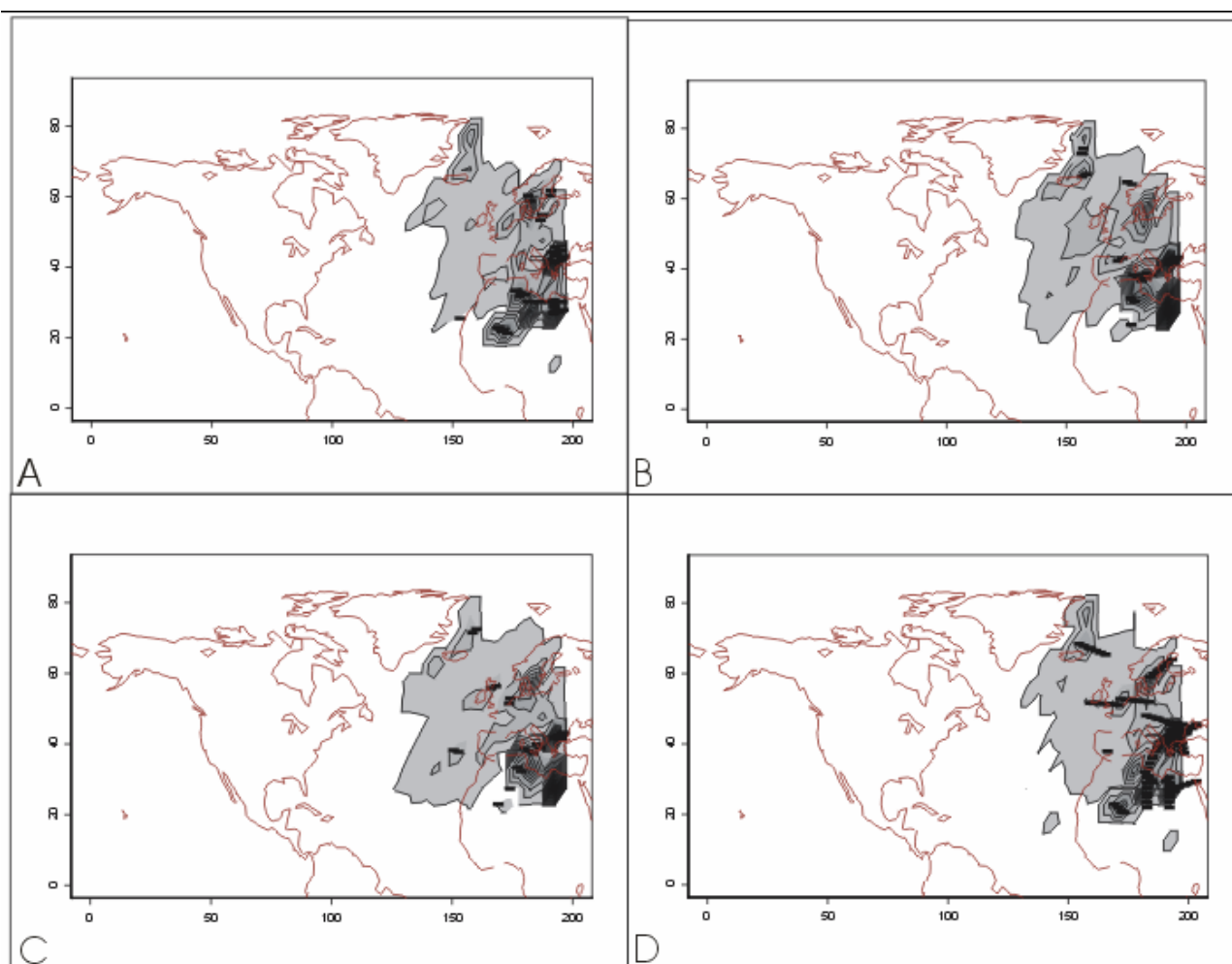


Figure 3.28 Densités de passage des anticyclones dans des secteurs de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. Les courbes d'iso-passage englobent les aires supérieures à 5 passages. Pour les longitudes, 0 correspond à 180° O et 200 à 20° E.

Les aires de passage sont similaires quelles que soient les saisons, avec un gonflement vers l'ouest durant le printemps et l'été. Il est important de noter l'existence d'une aire d'apparition intense sur le littoral oriental du Groenland (figure 3.28).

3.3.1.3 Analyses selon les bandes zonales d'apparition en latitude des anticyclones groenlando-scandinaves

Analyses des bandes zonales d'apparition en latitude $10^{\circ}/10^{\circ}$:

- Sur la période 1950-2000

	fréquence	%
80-90 °N	270	8.35
70-80 °N	713	43.25
60-70 °N	1399	22.04
50-60 °N	853	26.37

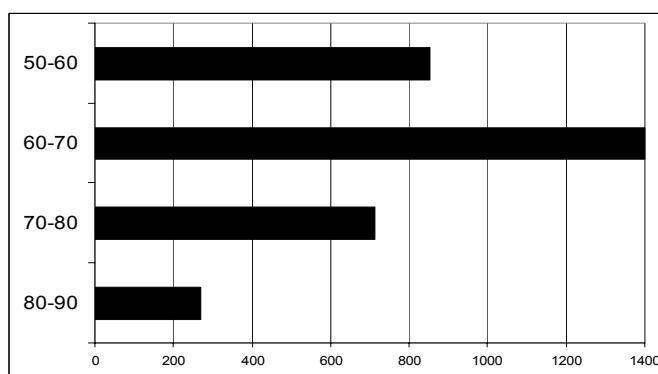


Tableau 3.61 Zones d'apparition en latitude $10^{\circ}/10^{\circ}$ en valeurs annuelles.

Figure 3.29 Zones d'apparition en latitude $10^{\circ}/10^{\circ}$ en valeurs annuelles.

La bande zonale d'apparition des anticyclones groenlando-scandinaves la plus importante est comprise entre les latitudes 70-60 °Nord, suivie de la zone 60-50 °N, puis la zone 80-70 °N et enfin la zone 90-80 °N (de même que les anticyclones américano-atlantiques) (tableau 3.61 et figure 3.29).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	5,31	1027,14	1022,38	5,22	6008,62	38,26	82,44	56,97	160,47	191,97	177,73	49,13	44,19	31,50	4,76
80-70	13,98	1025,21	1021,16	4,76	5014,56	37,24	72,84	51,91	163,61	190,94	179,76	44,33	35,60	27,33	4,05
70-60	27,43	1025,47	1021,53	4,90	4222,58	36,34	63,75	47,86	169,80	190,10	180,99	36,14	27,42	20,31	3,94
60-50	16,73	1027,42	1022,94	5,07	3712,28	35,96	56,47	44,58	167,68	188,47	178,93	30,89	20,50	20,80	4,48

Tableau 3.62 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.

On constate à l'analyse du tableau 3.62 que en valeurs moyennes annuelles :

- les pressions sont les plus élevées quand les anticyclones apparaissent dans les hautes latitudes 90-80 °N et dans les latitudes 60-50 °N,
- les anticyclones ont des trajectoires de durée plus longue dans les zones 90-80 °N et 60-50 °N,
- les anticyclones parcourent moins de distances en fonction de la baisse de la latitude d'apparition,
- les anticyclones sont capables d'aller d'autant plus bas en latitude qu'ils apparaissent en basses latitudes,
- les anticyclones ont des vitesses de déplacement d'autant plus rapides qu'ils apparaissent haut en latitude.
- les anticyclones ont un espace de déplacement (longitudes maximales-longitudes minimales, latitudes maximales-latitudes minimales) d'autant plus grand qu'ils apparaissent en hautes latitudes

- En valeurs moyennes saisonnières

• Bande zonale d'apparition 90-80 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	1,75	1028,66	1023,55	5,53	6074,62	37,89	82,47	56,33	160,61	192,03	178,22	49,07	44,58	31,43	5,11
AMJ	1,41	1026,26	1021,64	4,88	5720,41	38,88	82,50	57,56	161,15	191,61	178,53	51,93	43,62	30,46	4,62
JAS	1,00	1025,14	1021,00	5,68	6309,24	36,96	82,57	55,67	159,17	190,54	177,32	49,73	45,61	31,37	4,15
OND	1,44	1027,63	1022,65	5,54	6305,24	36,91	82,53	56,40	160,04	193,82	178,62	50,51	45,62	33,78	4,98

Tableau 3.63 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 90-80 °N en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves (tableau 3.63):

- sont plus fréquents, plus puissants, parcourent moins de distance, en hiver et automne,
- parcourent des distances accrues, durent plus longtemps, apparaissent à des longitudes plus occidentales, atteignent des latitudes minimales en été.

• Bande zonale d'apparition 80-70 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	2,69	1026,81	1022,40	4,99	5218,00	35,77	72,58	50,72	161,01	189,55	177,95	45,33	36,80	28,54	4,41
AMJ	4,49	1025,33	1021,17	4,61	4773,48	38,74	72,83	53,01	164,67	190,56	179,49	44,32	34,09	25,89	4,17
JAS	3,78	1023,01	1019,69	4,46	4888,04	37,92	72,66	52,16	164,82	190,68	179,69	46,52	34,74	25,86	3,31
OND	3,29	1026,05	1021,76	5,22	5395,06	35,54	73,03	50,58	160,89	191,45	179,70	44,37	37,49	30,56	4,29

Tableau 3.64 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 80-70 °N en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves (tableau 3.64):

- sont plus puissants, ont un espace de déplacement en longitude et en latitude maximum, parcourent plus de distance en davantage de temps, atteignent des latitudes minimales, apparaissent à des longitudes plus occidentales en hiver et en automne,
- sont plus fréquents, en été et au printemps.

• Bande zonale d'apparition 70-60 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	5,04	1027,88	1023,52	5,39	4390,02	34,53	63,65	46,12	174,51	191,51	183,96	35,04	29,11	17,00	4,36
AMJ	8,06	1024,89	1020,96	4,70	4145,80	37,36	64,00	48,58	167,40	189,05	178,99	37,31	26,64	21,66	3,93
JAS	9,27	1023,50	1019,97	4,83	4229,84	36,75	63,78	48,12	167,72	189,40	179,63	37,34	27,03	21,67	3,54
OND	5,06	1026,89	1022,81	5,05	4316,80	35,22	63,62	47,46	172,32	192,04	183,55	36,44	28,40	19,73	4,09

Tableau 3.65 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 70-60 °N en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves (tableau 3.65) :

- sont plus puissants, ont un espace de déplacement en longitude maximum et en latitude minimum, parcourent plus de distance en plus de temps, atteignent des latitudes minimales, apparaissent et disparaissent à des longitudes plus orientales, se déplacent moins vite en hiver et en automne,
- sont plus fréquents, en été et au printemps.

• Bande zonale d'apparition 60-50 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	2,90	1030,99	1025,81	5,53	3977,15	34,97	56,45	44,31	168,58	188,85	179,54	31,48	21,48	20,26	5,18
AMJ	4,14	1026,73	1022,73	4,81	3501,29	37,07	56,62	45,22	165,56	184,90	175,92	31,24	19,55	19,34	4,00
JAS	6,32	1024,82	1020,88	4,76	3687,25	35,96	56,56	44,45	167,73	188,42	178,73	32,64	20,60	20,69	3,94
OND	3,54	1029,59	1024,60	5,11	3700,90	36,07	56,39	44,97	169,64	191,24	181,52	30,99	20,32	21,60	4,99

Tableau 3.66 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 60-50 °N en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves (tableau 3.66) :

- sont plus puissants, ont un espace de déplacement en latitude maximum, parcourent plus de distance en plus de temps, apparaissent et disparaissent à des longitudes plus orientales, en hiver et en automne,
- sont plus fréquents, se déplacent plus vite en été et au printemps.

- En valeurs saisonnières selon les bandes zonales

JFM	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	1,75	1028,66	1023,55	5,53	6074,62	37,89	82,47	56,33	160,61	192,03	178,22	49,07	44,58	31,43	5,11
80-70	2,69	1026,81	1022,40	4,99	5218,00	35,77	72,58	50,72	161,01	189,55	177,95	45,33	36,80	28,54	4,41
70-60	5,04	1027,88	1023,52	5,39	4390,02	34,53	63,65	46,12	174,51	191,51	183,96	35,04	29,11	17,00	4,36
60-50	2,90	1030,99	1025,81	5,53	3977,15	34,97	56,45	44,31	168,58	188,85	179,54	31,48	21,48	20,26	5,18
AMJ	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	1,41	1026,26	1021,64	4,88	5720,41	38,88	82,50	57,56	161,15	191,61	178,53	51,93	43,62	30,46	4,62
80-70	4,49	1025,33	1021,17	4,61	4773,48	38,74	72,83	53,01	164,67	190,56	179,49	44,32	34,09	25,89	4,17
70-60	8,06	1024,89	1020,96	4,70	4145,80	37,36	64,00	48,58	167,40	189,05	178,99	37,31	26,64	21,66	3,93
60-50	4,14	1026,73	1022,73	4,81	3501,29	37,07	56,62	45,22	165,56	184,90	175,92	31,24	19,55	19,34	4,00
JAS	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	1,00	1025,14	1021,00	5,68	6309,24	36,96	82,57	55,67	159,17	190,54	177,32	49,73	45,61	31,37	4,15
80-70	3,78	1023,01	1019,69	4,46	4888,04	37,92	72,66	52,16	164,82	190,68	179,69	46,52	34,74	25,86	3,31
70-60	9,27	1023,50	1019,97	4,83	4229,84	36,75	63,78	48,12	167,72	189,40	179,63	37,34	27,03	21,67	3,54
60-50	6,32	1024,82	1020,88	4,76	3687,25	35,96	56,56	44,45	167,73	188,42	178,73	32,64	20,60	20,69	3,94
OND	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
90-80	1,44	1027,63	1022,65	5,54	6305,24	36,91	82,53	56,40	160,04	193,82	178,62	50,51	45,62	33,78	4,98
80-70	3,29	1026,05	1021,76	5,22	5395,06	35,54	73,03	50,58	160,89	191,45	179,70	44,37	37,49	30,56	4,29
70-60	5,06	1026,89	1022,81	5,05	4316,80	35,22	63,62	47,46	172,32	192,04	183,55	36,44	28,40	19,73	4,09
60-50	3,54	1029,59	1024,60	5,11	3700,90	36,07	56,39	44,97	169,64	191,24	181,52	30,99	20,32	21,60	4,99

Tableau 3.67 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs saisonnières.

La bande zonale d'apparition la plus importante est comprise entre les latitudes 70-60 °N, suivie de la zone 60-50 °N, puis de la zone 80-70 °N et enfin de la zone 90-80 °N, quelle que soit la saison.

Les pressions sont les plus élevées quand les anticyclones apparaissent dans les hautes latitudes 90-80 °N et dans les latitudes 60-50 °N.

Les anticyclones ont des durées de trajectoires prolongées dans les hautes latitudes 90-80 °N et dans les latitudes 60-50 °N, avec une nuance en été où la valeur de 70-60 °N est supérieure à celle de 60-50 °N, et en automne où la valeur de 80-70 °N est supérieure à celle de 60-50 °N.

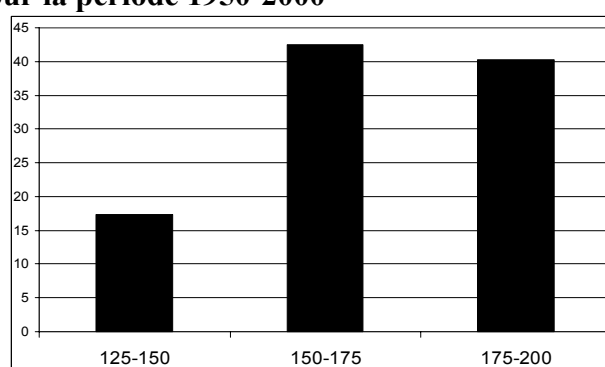
Les anticyclones parcourent des distances moins longues en fonction de la baisse de la latitude d'apparition. Les anticyclones sont capables d'aller d'autant plus bas en latitude qu'ils apparaissent en basses latitudes, exception faite de la valeur de la zone 60-50 °N durant l'automne.

Les anticyclones ont des vitesses de déplacement d'autant plus rapides qu'ils apparaissent haut en latitude. Les anticyclones ont un espace de déplacement (longitudes maximales-longitudes minimales, latitudes maximales-latitudes minimales, exceptions faites des valeurs de la zone 60-50 °N) d'autant plus grand qu'ils apparaissent en hautes latitudes (tableau 3.67).

3.3.1.4 Analyses selon les aires d'apparition en longitude des anticyclones groenlando-scandinaves

Analyses des aires d'apparition des anticyclones groenlando-scandinaves en longitude (25°/25°) :

- Sur la période 1950-2000



	fréquence	%
125-150 (55-30°O)	613	17,37
150-175 (30-5°O)	1498	42,45
175-200 (5°O-20°E)	1418	40,18

Figure 3.30 Aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Tableau 3.68 Aires d'apparition en fonction des longitudes 25°/25° en valeurs annuelles.

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
125-150	12,02	1026,71	1022,44	5,46	5155,15	35,66	63,05	46,98	134,70	172,34	156,28	41,04	27,39	37,64	4,27
150-175	29,37	1026,62	1022,29	5,03	4842,62	37,16	68,92	50,55	159,43	188,49	175,79	40,35	31,76	29,06	4,34
175-200	27,80	1025,60	1021,53	4,77	3836,26	36,13	62,50	47,02	180,49	194,01	187,85	33,64	26,36	13,52	4,08

Tableau 3.69 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.

L'aire la plus prolifique est comprise entre les longitudes 150 et 175° (30-5 °O), suivie de l'aire 175-200° (5 °O-20 °E) et enfin l'aire 125-150° (55-30 °O) (tableau 3.68 et 3.69 et figure 3.30). Les pressions maximales et moyennes sont d'autant plus élevées que les anticyclones groenlando-scandinaves apparaissent à des longitudes occidentales.

Avec le déplacement vers l'est des aires d'apparition :

- les anticyclones parcourent plus de distance et durent plus longtemps,
- les longitudes d'agglutination des anticyclones se déplacent vers l'est,
- la vitesse de déplacement diminue.

- En valeurs moyennes saisonnières

• Aire d'apparition 125-150° (55-30 °O)

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	1,67	1027,99	1023,36	5,23	4928,06	35,43	63,68	47,70	133,78	169,76	154,35	41,21	28,25	35,98	4,62
AMJ	4,67	1025,73	1021,68	5,82	5342,48	36,34	63,17	47,09	133,98	172,06	154,94	39,67	26,83	38,08	4,05
JAS	4,10	1025,07	1021,25	5,16	5097,11	35,56	63,09	47,09	136,37	173,19	157,10	42,28	27,54	36,81	3,82
OND	1,59	1028,43	1023,67	5,47	5185,35	35,46	62,53	46,55	134,15	173,71	158,09	41,49	27,07	39,56	4,76

Tableau 3.70 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans l'aire d'apparition 125-150° (55-30°O) en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves sont (tableau 3.70) :

- plus fréquents, atteignent des longitudes plus orientales, ont des vitesses de déplacement plus rapides en été,
- sont plus puissants, en hiver et en automne.

• Aire d'apparition 150-175° (30-5°O)

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	5,67	1029,03	1023,91	5,64	5405,59	35,75	71,43	50,34	159,64	189,72	176,87	41,13	35,68	30,08	5,13
AMJ	8,86	1026,54	1022,26	4,81	4577,96	38,47	68,81	51,53	159,00	187,28	174,48	40,32	30,34	28,28	4,27
JAS	8,02	1024,67	1020,73	4,86	4572,73	37,20	65,77	49,34	158,99	187,56	174,96	40,06	28,57	28,57	3,94
OND	13,92	1027,38	1022,76	5,39	5285,20	36,23	71,29	50,85	159,64	190,97	177,79	41,72	35,06	31,33	4,62

Tableau 3.71 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans l'aire d'apparition 150-175° (30-5°O) en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves (tableau 3.71):

- sont plus puissants, apparaissent à des latitudes plus septentrionales, atteignent des longitudes plus orientales, atteignent des latitudes plus méridionales, ont des durées d'existence et des distances de parcours accrues, ont des vitesses de déplacement plus rapides, couvrent des espaces de déplacement en longitude et en latitude maxima, en hiver et automne.

• Aire d'apparition 175-200° (5 °O-20 °E)

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	5,67	1028,21	1023,77	5,27	4092,29	34,44	62,30	45,49	180,60	194,05	187,92	33,17	27,86	13,44	4,44
AMJ	7,22	1024,68	1020,65	4,49	3746,25	37,24	63,37	47,92	180,15	193,70	187,50	35,02	26,13	13,55	4,03
JAS	9,35	1023,20	1019,57	4,58	3823,64	36,51	62,96	47,34	180,98	194,29	188,14	35,13	26,44	13,31	3,63
OND	11,28	1027,48	1023,04	5,11	4000,33	34,17	61,31	45,45	179,95	193,76	187,55	33,17	27,15	13,81	4,44

Tableau 3.72 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans l'aire d'apparition 175-200° (5°O-20°E) en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves (tableau 3.72) :

- sont plus puissants, apparaissent à des latitudes plus septentrionales, atteignent des latitudes plus méridionales, ont des durées d'existence et des distances de parcours accrues, ont des vitesses de déplacement plus lentes,
- couvrent des espaces de déplacement en latitude maxima, en hiver et automne.

- En valeurs saisonnières selon les aires

• Valeurs en JFM

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
125-150	1,67	1027,99	1023,36	5,23	4928,06	35,43	63,68	47,70	133,78	169,76	154,35	41,21	28,25	35,98	4,62
150-175	5,67	1029,03	1023,91	5,64	5405,59	35,75	71,43	50,34	159,64	189,72	176,87	41,13	35,68	30,08	5,13
175-200	5,67	1028,21	1023,77	5,27	4092,29	34,44	62,30	45,49	180,60	194,05	187,92	33,17	27,86	13,44	4,44

Tableau 3.73 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en JFM selon les aires d'apparition.

L'aire d'apparition 150-175° (30-5 °O) est singulière par rapport aux deux autres aires constitutives de la trajectoire groenlando-scandinave. Dans cette aire, les anticyclones (tableau 3.73) :

- sont les plus fréquents, les plus puissants, les plus longs en temps et en distance, apparaissent et atteignent des latitudes plus septentrionales,
- ont des vitesses de déplacements rapides.

• Valeurs en AMJ

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
125-150	4,67	1025,73	1021,68	5,82	5342,48	36,34	63,17	47,09	133,98	172,06	154,94	39,67	26,83	38,08	4,05
150-175	8,86	1026,54	1022,26	4,81	4577,96	38,47	68,81	51,53	159,00	187,28	174,48	40,32	30,34	28,28	4,27
175-200	7,22	1024,68	1020,65	4,49	3746,25	37,24	63,37	47,92	180,15	193,70	187,50	35,02	26,13	13,55	4,03

Tableau 3.74 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en AMJ selon les aires d'apparition.

Au printemps, la région la plus féconde est la zone 150-175° (30-5 °O). C'est également la région des anticyclones les plus puissants, qui apparaissent et disparaissent à des latitudes plus septentrionales, et qui ont des vitesses de déplacement rapides (tableau 3.74).

• Valeurs en JAS

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
125-150	4,10	1025,07	1021,25	5,16	5097,11	35,56	63,09	47,09	136,37	173,19	157,10	42,28	27,54	36,81	3,82
150-175	8,02	1024,67	1020,73	4,86	4572,73	37,20	65,77	49,34	158,99	187,56	174,96	40,06	28,57	28,57	3,94
175-200	9,35	1023,20	1019,57	4,58	3823,64	36,51	62,96	47,34	180,98	194,29	188,14	35,13	26,44	13,31	3,63

Tableau 3.75 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en JAS selon les aires d'apparition.

En été, l'aire la plus fréquente est comprise entre les longitudes 175-200° (5 °O-20 °E). La puissance des anticyclones décroît, la durée et la distance du parcours diminuent en fonction du déplacement vers l'est de l'aire de génération (tableau 3.75).

• Valeurs en OND

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
125-150	1,59	1028,43	1023,67	5,47	5185,35	35,46	62,53	46,55	134,15	173,71	158,09	41,49	27,07	39,56	4,76
150-175	13,92	1027,38	1022,76	5,39	5285,20	36,23	71,29	50,85	159,64	190,97	177,79	41,72	35,06	31,33	4,62
175-200	11,28	1027,48	1023,04	5,11	4000,33	34,17	61,31	45,45	179,95	193,76	187,55	33,17	27,15	13,81	4,44

Tableau 3.76 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en OND selon les aires d'apparition.

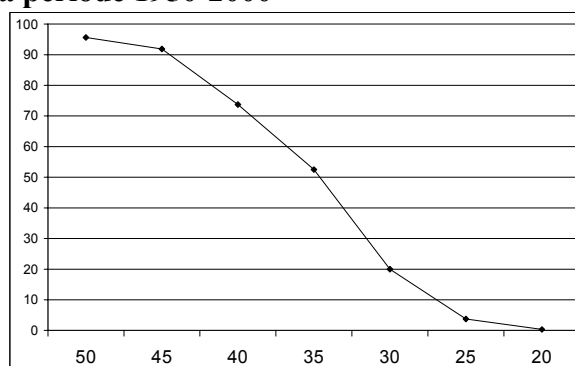
Durant l'automne, l'aire la plus fréquente est comprise entre les longitudes 150-175° (30-5 °O). C'est également la région dans laquelle les anticyclones sont moins puissants, la distance parcourue est maximale, apparaissent et disparaissent à des latitudes plus septentrionales, ont des vitesses de déplacement rapides (tableau 3.76).

En résumé, l'aire 150-175° (30-5 °O) est la plus prolifique. Dans cette région, les latitudes d'apparition et d'agglutination sont les plus septentrionales. Avec le déplacement vers l'est de l'aire d'apparition, la durée de parcours diminue, ainsi que le différentiel de pression.

3.3.1.5 Analyses selon les bandes zonales d'agglutination en latitude des anticyclones groenlando-scandinaves

Analyses des bandes zonales d'agglutination des anticyclones groenlando-scandinaves en latitude (5°/5°), de 50° à 20° Nord :

- Sur la période 1950-2000



	Fréquence	%
50 °N	3098	95,77
45 °N	2976	92,01
40 °N	2384	73,7
35 °N	1700	52,55
30 °N	642	19,85
25 °N	118	3,65
20 °N	12	0,37

Figure 3.31 Zones d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles entre les latitudes 50 °N et 20 °N.

Tableau 3.77 Zones d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles entre les latitudes 50 °N et 20 °N.

La moitié des anticyclones groenlando-scandinaves franchit le 35° parallèle nord, mais moins de trois pour cent d'entre eux s'agglutinent dans la zone tropicale (latitudes inférieures à 25 °N) proprement dite (tableau 3.77 et figure 3.31).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50°N	61,96	1026,33	1022,04	5,16	4605,86	35,80	65,76	48,12	166,77	190,52	180,21	38,29	29,96	23,74	4,30
45°N	59,53	1026,20	1021,85	5,22	4681,57	35,24	65,69	47,72	167,13	191,15	180,80	38,59	30,45	24,02	4,35
40°N	47,69	1026,11	1021,60	5,56	5001,51	32,95	65,37	45,94	166,97	190,80	180,58	38,98	32,42	23,83	4,51
35°N	34,00	1026,15	1021,51	5,86	5251,55	31,23	64,84	44,47	166,52	190,89	180,38	39,29	33,61	24,37	4,64
30°N	12,84	1027,36	1022,17	6,56	5848,89	28,22	64,94	42,38	164,41	187,57	177,16	37,49	36,73	23,16	5,20

Tableau 3.78 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les zones d'agglutinations 5°/5° en valeurs annuelles.

Plus les anticyclones groenlando-scandinaves sont capables d'atteindre des latitudes méridionales (tableau 3.78) :

- moins, ils sont nombreux,
- plus, ils parcourent de grandes distances en des temps plus importants,
- plus, ils apparaissent et se déplacent à des latitudes méridionales,
- plus, ils s'étendent en latitude,
- plus, ils ont un différentiel de pression élevé,

Les anticyclones groenlando-scandinaves atteignant les latitudes inférieures à 30 °N, apparaissent, se déplacent et s'agglutinent le plus à l'ouest, se déplacent le plus lentement.

- En valeurs moyennes saisonnières

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 50 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	11,96	1028,57	1023,77	5,61	4904,24	34,66	66,64	47,63	168,24	192,10	182,05	37,83	31,97	23,86	4,80
AMJ	17,47	1025,64	1021,53	4,85	4359,21	37,30	66,13	49,16	165,65	188,67	178,41	38,34	28,83	23,02	4,11
JAS	19,45	1023,80	1020,07	4,90	4353,40	36,36	64,02	47,67	166,81	189,69	179,61	37,90	27,66	22,88	3,73
OND	13,08	1027,32	1022,78	5,28	4806,61	34,87	66,23	48,03	166,40	191,62	180,76	39,11	31,36	25,22	4,54

Tableau 3.79 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 50 °N en valeurs saisonnières.

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 45 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	11,27	1028,43	1023,53	5,73	5000,13	33,91	66,41	46,93	168,50	192,65	182,59	37,91	32,49	24,15	4,89
AMJ	16,78	1025,45	1021,27	4,86	4437,25	36,72	66,12	48,85	165,86	189,49	179,06	38,96	29,40	23,63	4,18
JAS	18,94	1023,81	1020,05	4,94	4391,96	36,04	63,94	47,38	166,90	189,90	179,80	37,99	27,89	23,00	3,76
OND	12,53	1027,12	1022,54	5,34	4896,95	34,27	66,29	47,71	167,27	192,56	181,74	39,51	32,02	25,29	4,58

Tableau 3.80 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 45 °N en valeurs saisonnières.

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 40 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	8,80	1028,36	1023,24	6,09	5443,20	31,36	66,42	45,09	167,89	192,07	181,99	39,04	35,05	24,18	5,12
AMJ	13,25	1025,35	1021,04	5,18	4689,00	34,71	65,57	47,15	165,85	189,47	179,13	38,98	30,86	23,62	4,30
JAS	16,27	1023,83	1019,92	5,16	4574,48	34,64	63,62	46,23	166,91	189,95	179,93	38,13	28,97	23,04	3,91
OND	9,35	1026,89	1022,19	5,83	5299,37	31,09	65,90	45,29	167,22	191,71	181,27	39,77	34,81	24,49	4,70

Tableau 3.81 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 40 °N en valeurs saisonnières.

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 35 °N

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	7,69	1028,11	1022,97	6,19	5618,32	30,22	66,40	44,16	167,50	192,25	181,63	39,95	36,17	24,74	5,13
AMJ	7,86	1025,47	1020,90	5,69	5056,71	32,43	64,70	45,09	164,95	189,81	178,92	39,13	32,27	24,86	4,57
JAS	10,45	1024,07	1020,02	5,54	4846,52	32,45	62,70	44,49	166,23	189,19	179,28	38,13	30,25	22,96	4,05
OND	8,00	1026,95	1022,15	6,02	5484,64	29,83	65,56	44,16	167,41	192,32	181,67	39,95	35,74	24,91	4,80

Tableau 3.82 Caractéristiques des anticyclones Groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 35 °N en valeurs saisonnières.

Pour les quatre bandes zonales inférieures à 50, 45, 40, 35 °N, les résultats sont comparables (tableaux 3.79, 3.80, 3.81, 3.82) :

- les anticyclones sont nombreux au printemps et en été,
- ils parcourent des distances en des temps plus importants en hiver et automne,
- ils apparaissent à des latitudes méridionales et des longitudes occidentales au printemps et en été,
- ils atteignent des latitudes méridionales et des longitudes orientales en hiver et automne,
- ils se déplacent plus vite en hiver et automne,
- ils s'étendent plus en latitude et en longitude en hiver et automne,
- ils ont un différentiel de pression élevé en hiver et automne.

• Bande zonale d'arrivée inférieure à 30 °N

	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	5,10	1028,07	1022,58	6,60	5872,51	28,25	65,40	42,23	163,67	187,56	176,81	39,75	37,15	23,89	5,48
AMJ	1,96	1027,05	1022,08	7,05	5850,42	28,86	62,97	42,07	160,71	181,89	171,41	37,69	34,12	21,18	4,97
JAS	1,84	1024,49	1020,51	5,82	5478,64	28,58	63,16	42,59	156,54	177,80	168,73	42,79	34,58	21,26	3,98
OND	4,94	1026,92	1021,75	6,68	5911,24	27,96	65,55	42,52	165,56	190,67	179,80	39,85	37,59	25,10	5,17

Tableau 3.83 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 30 °N en valeurs saisonnières.

On remarque dans cette bande zonale (tableau 3.83), par rapport aux constats précédents, que :

- les fréquences les plus élevées se produisent en hiver et automne,
- la durée de trajet est maximale au printemps,
- la vitesse de déplacement est maximale en été.

Les anticyclones groenlando-scandinaves aptes à atteindre les latitudes inférieures à 30 °N sont ceux, qui apparaissent aux longitudes les plus occidentales, et qui ont des étendues en longitude minimales (c'est-à-dire qu'ils suivent des trajectoires méridiennes).

- En valeurs saisonnières selon les bandes zonales

JFM	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50	11,96	1028,57	1023,77	5,61	4904,24	34,66	66,64	47,63	168,24	192,10	182,05	37,83	31,97	23,86	4,80
45	11,27	1028,43	1023,53	5,73	5000,13	33,91	66,41	46,93	168,50	192,65	182,59	37,91	32,49	24,15	4,89
40	8,80	1028,36	1023,24	6,09	5443,20	31,36	66,42	45,09	167,89	192,07	181,99	39,04	35,05	24,18	5,12
35	7,69	1028,11	1022,97	6,19	5618,32	30,22	66,40	44,16	167,50	192,25	181,63	39,95	36,17	24,74	5,13
30	5,10	1028,07	1022,58	6,60	5872,51	28,25	65,40	42,23	163,67	187,56	176,81	39,75	37,15	23,89	5,48
AMJ	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50	17,47	1025,64	1021,53	4,85	4359,21	37,30	66,13	49,16	165,65	188,67	178,41	38,34	28,83	23,02	4,11
45	16,78	1025,45	1021,27	4,86	4437,25	36,72	66,12	48,85	165,86	189,49	179,06	38,96	29,40	23,63	4,18
40	13,25	1025,35	1021,04	5,18	4689,00	34,71	65,57	47,15	165,85	189,47	179,13	38,98	30,86	23,62	4,30
35	7,86	1025,47	1020,90	5,69	5056,71	32,43	64,70	45,09	164,95	189,81	178,92	39,13	32,27	24,86	4,57
30	1,96	1027,05	1022,08	7,05	5850,42	28,86	62,97	42,07	160,71	181,89	171,41	37,69	34,12	21,18	4,97
JAS	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50	19,45	1023,80	1020,07	4,90	4353,40	36,36	64,02	47,67	166,81	189,69	179,61	37,90	27,66	22,88	3,73
45	18,94	1023,81	1020,05	4,94	4391,96	36,04	63,94	47,38	166,90	189,90	179,80	37,99	27,89	23,00	3,76
40	16,27	1023,83	1019,92	5,16	4574,48	34,64	63,62	46,23	166,91	189,95	179,93	38,13	28,97	23,04	3,91
35	10,45	1024,07	1020,02	5,54	4846,52	32,45	62,70	44,49	166,23	189,19	179,28	38,13	30,25	22,96	4,05
30	1,84	1024,49	1020,51	5,82	5478,64	28,58	63,16	42,59	156,54	177,80	168,73	42,79	34,58	21,26	3,98
OND	Freq	P M _x	P M _y	Du	Dist	La Mi	La M _x	La	Lg Mi	Lg M _x	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
50	13,08	1027,32	1022,78	5,28	4806,61	34,87	66,23	48,03	166,40	191,62	180,76	39,11	31,36	25,22	4,54
45	12,53	1027,12	1022,54	5,34	4896,95	34,27	66,29	47,71	167,27	192,56	181,74	39,51	32,02	25,29	4,58
40	9,35	1026,89	1022,19	5,83	5299,37	31,09	65,90	45,29	167,22	191,71	181,27	39,77	34,81	24,49	4,70
35	8,00	1026,95	1022,15	6,02	5484,64	29,83	65,56	44,16	167,41	192,32	181,67	39,95	35,74	24,91	4,80
30	4,94	1026,92	1021,75	6,68	5911,24	27,96	65,55	42,52	165,56	190,67	179,80	39,85	37,59	25,10	5,17

Tableau 3.84 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves selon les zones d'agglutinations en valeurs saisonnières.

Quelle que soit la saison, les anticyclones qui atteignent des latitudes méridionales (tableau 3.84) :

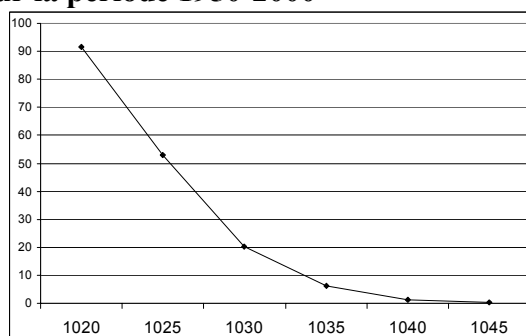
- sont les moins nombreux,
- parcourent des distances en des temps plus importants,
- apparaissent à des latitudes méridionales,
- s'étendent plus en latitude,
- ont un différentiel de pression élevé.

Il est intéressant de noter l'existence d'anticyclones estivaux qui vont d'autant plus bas en latitude qu'ils ont des pressions élevées. Il n'y a pas d'étude sur les zones d'agglutination des anticyclones groenlando-scandinaves en longitude, car cela n'aurait qu'une représentativité très faible du fait des limites de l'espace d'étude.

3.3.1.6 Analyses des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression

La validation d'un anticyclone groenlando-scandinave s'effectue dans chaque seuil dès qu'il a au moins une pression durant son cycle d'existence située au dessus de la valeur choisie.

- Sur la période 1950-2000



	Fréquence	%
1020hPa	2958	91,44
1025hPa	1709	52,83
1030hPa	658	20,34
1035hPa	201	6,21
1040hPa	41	1,27
1045hPa	9	0,28

Figure 3.32 Analyses des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Tableau 3.85 Analyses des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Plus de la moitié des anticyclones groenlando-scandinave a des pressions supérieures à 1025 hPa, mais seulement un sur cinq dépasse le seuil de 1030 hPa (tableau 3.86 et figure 3.32).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	58,00	1026,83	1022,37	5,04	4453,09	36,54	65,49	48,64	166,83	189,83	179,68	36,93	28,95	23,00	4,45
1025	33,51	1029,87	1024,49	5,46	4554,35	36,73	65,34	48,90	165,49	189,11	178,38	34,91	28,61	23,62	5,38
1030	12,90	1033,90	1027,64	6,32	4585,82	37,20	64,22	49,01	164,51	187,78	176,59	30,59	27,02	23,27	6,26
1035	3,94	1038,06	1031,12	6,84	4357,87	38,11	63,04	49,68	164,70	186,82	175,74	27,15	24,93	22,12	6,94

Tableau 3.86 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Les anticyclones groenlando-scandinaves ayant les pressions les plus élevées (tableau 3.86) :

- sont les moins nombreux,
- durent plus longtemps,
- apparaissent à des latitudes méridionales et à des longitudes plus occidentales,
- atteignent des latitudes moins méridionales et des longitudes plus occidentales,
- se déplacent moins vite,
- couvrent un espace en latitude d'étendue minimale,
- ont un différentiel de pression maximal.

- En valeurs saisonnières

• Anticyclones groenlando-scandinaves de pression supérieure à 1020 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	11,67	1029,27	1024,38	5,54	4791,87	35,00	66,61	47,91	168,57	190,73	181,17	36,69	31,60	22,16	4,89
AMJ	16,51	1026,27	1021,93	4,80	4298,33	37,77	66,05	49,70	165,63	188,37	177,97	37,61	28,28	22,74	4,34
JAS	17,16	1024,80	1020,73	4,87	4267,57	36,73	63,71	47,97	166,66	188,98	179,08	36,73	26,98	22,32	4,07
OND	12,67	1027,78	1023,15	5,28	4708,96	35,65	66,32	48,44	167,55	191,71	181,38	37,43	30,67	24,16	4,63

Tableau 3.87 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1020 hPa en valeurs saisonnières.

Les anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1020 hPa (tableau 3.87) :

- sont plus fréquents au printemps et en été,
- ont des pressions maximales en hiver et en automne,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance en hiver et en automne,
- apparaissent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus orientales en hiver et en automne,
- atteignent des latitudes plus méridionales et des longitudes plus orientales en hiver et en automne,
- couvrent des espaces maximaux en latitude en hiver et en automne,
- ont des différentiels de pression maximaux en hiver et en automne.

• Anticyclones groenlando-scandinaves de pression supérieure à 1025 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	8,84	1031,64	1026,02	5,91	4967,21	35,14	67,00	48,19	167,04	189,80	179,86	36,14	31,86	22,77	5,62
AMJ	9,22	1029,12	1023,90	5,10	4319,70	38,24	66,02	50,36	163,20	186,11	175,15	35,80	27,78	22,92	5,22
JAS	6,96	1028,12	1022,89	5,44	4313,53	36,77	62,67	47,86	163,80	186,54	175,94	33,60	25,90	22,74	5,23
OND	8,49	1030,21	1024,80	5,61	4768,58	36,26	66,00	48,93	166,67	192,09	181,05	35,73	29,74	25,42	5,40

Tableau 3.88 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1025 hPa en valeurs saisonnières.

Les anticyclones supérieurs à 1025 hPa (tableau 3.88) :

- sont plus fréquents au printemps,
- ont des pressions maximales en hiver et en automne,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance en hiver et en automne,
- apparaissent à des longitudes plus orientales en hiver et en automne,
- atteignent des latitudes plus méridionales et des longitudes plus orientales en hiver et en automne,
- couvrent des espaces maximaux en latitude en hiver et en automne,
- ont des différentiels de pression maximaux en hiver et en automne.

• Anticyclones groenlando-scandinaves de pression supérieure à 1030 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM	4,84	1034,77	1028,33	6,28	4825,82	35,87	66,20	48,34	167,57	189,50	179,71	33,08	30,33	21,94	6,43
AMJ	3,04	1032,93	1026,87	6,44	4502,56	38,53	64,92	50,30	159,08	181,88	170,25	30,42	26,39	22,80	6,06
JAS	1,67	1032,87	1026,97	6,66	4422,86	38,03	60,63	48,23	158,44	182,77	171,34	28,78	22,59	24,33	5,90
OND	3,90	1034,20	1027,60	6,39	4785,46	36,44	64,14	48,90	165,89	192,03	179,54	32,09	27,69	26,14	6,60

Tableau 3.89 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1030 hPa en valeurs saisonnières.

Les anticyclones supérieurs à 1030 hPa (tableau 3.89) :

- sont plus fréquents en hiver et en automne,
- ont des pressions maximales en hiver et en automne,
- durent moins longtemps et parcourent plus de distance en hiver et en automne,
- apparaissent à des longitudes plus orientales en hiver et en automne,
- atteignent des latitudes plus méridionales et des longitudes plus orientales en hiver et en automne,
- se déplacent plus vite en hiver et en automne,
- couvrent des espaces maximaux en latitude en hiver et en automne.

- En valeurs saisonnières selon les seuils de pression

JFM	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	11,67	1029,27	1024,38	5,54	4791,87	35,00	66,61	47,91	168,57	190,73	181,17	36,69	31,60	22,16	4,89
1025	8,84	1031,64	1026,02	5,91	4967,21	35,14	67,00	48,19	167,04	189,80	179,86	36,14	31,86	22,77	5,62
1030	4,84	1034,77	1028,33	6,28	4825,82	35,87	66,20	48,34	167,57	189,50	179,71	33,08	30,33	21,94	6,43
1035	1,80	1038,16	1031,34	6,57	4299,32	38,05	63,48	48,88	167,44	185,47	177,25	27,88	25,43	18,02	6,82
AMJ	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	16,51	1026,27	1021,93	4,80	4298,33	37,77	66,05	49,70	165,63	188,37	177,97	37,61	28,28	22,74	4,34
1025	9,22	1029,12	1023,90	5,10	4319,70	38,24	66,02	50,36	163,20	186,11	175,15	35,80	27,78	22,92	5,22
1030	3,04	1032,93	1026,87	6,44	4502,56	38,53	64,92	50,30	159,08	181,88	170,25	30,42	26,39	22,80	6,06
1035	1,04	1038,02	1030,46	7,07	4560,40	39,71	65,19	52,67	160,67	185,69	171,71	28,36	25,48	25,02	7,56
JAS	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	17,16	1024,80	1020,73	4,87	4267,57	36,73	63,71	47,97	166,66	188,98	179,08	36,73	26,98	22,32	4,07
1025	6,96	1028,12	1022,89	5,44	4313,53	36,77	62,67	47,86	163,80	186,54	175,94	33,60	25,90	22,74	5,23
1030	1,67	1032,87	1026,97	6,66	4422,86	38,03	60,63	48,23	158,44	182,77	171,34	28,78	22,59	24,33	5,90
1035	0,44	1037,71	1031,68	6,36	4115,43	39,20	62,95	50,28	161,93	186,59	174,12	26,50	23,75	24,66	6,03
OND	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
1020	12,67	1027,78	1023,15	5,28	4708,96	35,65	66,32	48,44	167,55	191,71	181,38	37,43	30,67	24,16	4,63
1025	8,49	1030,21	1024,80	5,61	4768,58	36,26	66,00	48,93	166,67	192,09	181,05	35,73	29,74	25,42	5,40
1030	3,90	1034,20	1027,60	6,39	4785,46	36,44	64,14	48,90	165,89	192,03	179,54	32,09	27,69	26,14	6,60
1035	1,08	1037,40	1030,93	6,91	4637,09	37,87	61,83	49,03	166,81	190,34	179,10	27,65	23,96	23,52	6,47

Tableau 3.90 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs saisonnières.

Quelle que soit la saison, les anticyclones ayant les pressions les plus élevées (tableau 3.90) :

- sont les moins nombreux,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance (sauf en hiver),
- apparaissent à des latitudes plus méridionales et à des longitudes plus occidentales,
- atteignent des latitudes moins méridionales et des longitudes plus occidentales,
- se déplacent moins vite,
- couvrent un espace d'extension minimal en latitude,
- ont un différentiel de pression maximal.

Densités de passage des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression

Il n'y a pas de grandes différences des densités de passage avec l'augmentation des pressions jusqu'au seuil 1025 hPa. Au delà, les anticyclones couvrent un espace très réduit (figure 3.33)

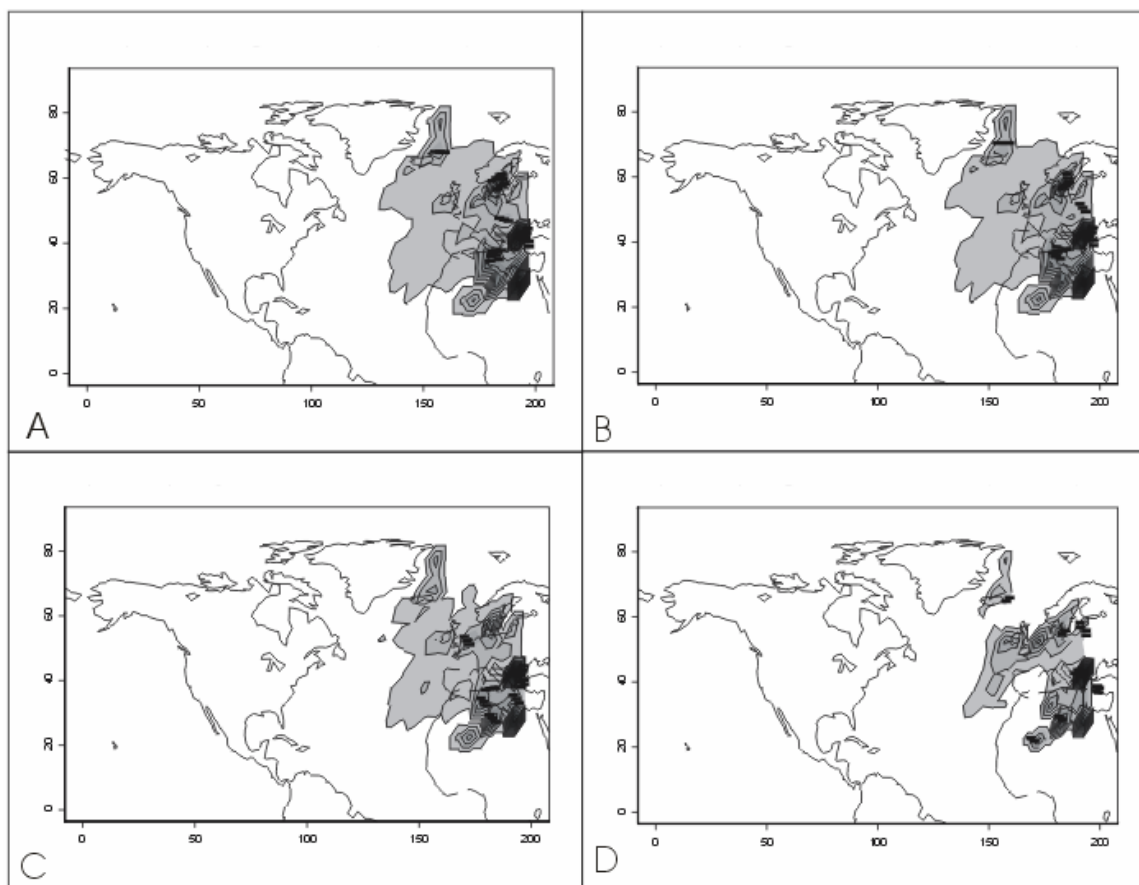


Figure 3.33 Densités de passage des anticyclones groenlando-scandinaves dans des secteurs de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ selon les seuils de pression en valeurs annuelles : A > 1015, B > 1020, C > 1025 et D > 1030 hPa. La première courbe d'iso-passages englobe les aires supérieures à 25 passages. Pour les longitudes, 0 correspond à 180° O et 200 à 20° E.

3.3.2 Analyses de l'évolution à partir des séries temporelles

3.3.2.1 Coefficients de variation et coefficients de détermination

Nous avons établi les tableaux récapitulatifs des coefficients de variation des courbes de tendance (régression linéaire) et des coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications, aux échelles temporelles : annuelles, et saisonnières des anticyclones.

a- Anticyclones groenlando-scandinaves

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,28 0,11	0 0,03	0 0,02	0 0,02	0,83 0	- 0,03 0,23	0,02 0,05	- 0,02 0,11	0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,03	0,03 0,05	0,01 0,02	0 0	0 0
JFM	- 0,02 0	0,02 0,02	0,01 0,02	0 0	4,3 0	0 0	0 0	- 0,01 0	0,05 0,02	- 0,02 0,01	0,02 0	0 0	0,02 0	- 0,07 0,05	0 0,01
AMJ	0,14 0,18	0 0	0 0,01	0 0	2,9 0,01	- 0,04 0,11	0 0	- 0,01 0,02	- 0,02 0	0 0	- 0,02 0	0,03 0,01	0,03 0,03	0,02 0	0 0
JAS	0,14 0,1	0 0,02	0 0,02	0 0,06	- 1,93 0	- 0,03 0,08	- 0,02 0	- 0,01 0,02	0,11 0,12	0,1 0,13	0,11 0,18	0,05 0,05	0 0	0 0	0 0
OND	0,02 0	0,03 0,07	0,02 0,05	0 0	4,2 0	- 0,06 0,11	- 0,03 0,02	- 0,06 0,1	- 0,04 0,03	0 0	- 0,01 0	0,02 0	0,03 0,01	0,04 0,03	0 0,04

b- Anticyclones groenlando-scandinaves >1020 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,28 0,11	0 0,01	0 0	0 0,02	0,71 0	- 0,03 0,2	0,02 0,04	- 0,02 0,08	0,02 0,01	0,02 0,02	0,02 0,03	0,04 0,05	0,01 0	0 0	0 0,02
JFM	- 0,02 0	0,02 0,02	0,02 0,02	0 0	4,38 0	- 0,01 0	0 0	- 0,01 0	0,05 0,02	- 0,02 0	0,02 0	0 0	0,02 0	0,07 0,05	0 0,01
AMJ	0,14 0,14	0 0	0 0	0 0	3,48 0,02	- 0,04 0,1	0 0	- 0,01 0,02	0 0	- 0,02 0	0 0	0,03 0,01	0,03 0,03	0,02 0	0 0
JAS	0,14 0,13	0 0	0 0	- 0,01 0,01	-3,01 0	- 0,03 0,04	- 0,01 0	0 0	0,1 0,08	0,1 0,11	0,1 0,14	0,07 0,08	0,01 0	0 0	0 0
OND	0,03 0	0,03 0,06	0,02 0,03	0 0	3,8 0	- 0,07 0,12	- 0,04 0,03	- 0,07 0,11	- 0,04 0,02	0 0	0 0	0,03 0	0,03 0,01	0,04 0,03	0 0,04

c- Anticyclones groenlando-scandinaves >1025 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,2 0,11	0 0	0 0	0 0	0,05 0	- 0,03 0,1	- 0,03 0,05	- 0,03 0,08	0,02 0,01	0,02 0,02	0,02 0,02	0,02 0,01	0 0	0 0	0 0,02
JFM	0,01 0	0 0	0 0	0 0	5,64 0	- 0,01 0	0,02 0	- 0,03 0,01	0,06 0,01	- 0,04 0,01	0,02 0	0,03 0	0,04 0,01	- 0,11 0,07	0 0
AMJ	0,09 0,1	0 0	0 0	0 0	-1,26 0	- 0,03 0,03	- 0,02 0	- 0,02 0,03	- 0,05 0,02	- 0,02 0	- 0,04 0,01	0 0	0,01 0	0,03 0	0 0,02
JAS	0,06 0,06	0 0	0 0	0,02 0,08	-10,6 0,06	0 0	0,05 0,04	0 0	0,09 0,03	0,11 0,06	0,12 0,06	0,04 0,02	- 0,04 0,03	0,02 0	0 0
OND	0,05 0,03	0,03 0,08	0,01 0,03	0 0	2,6 0	- 0,05 0,04	- 0,05 0,03	- 0,06 0,05	0 0	0,06 0,04	0,04 0,03	0 0	0 0	0,05 0,03	0,01 0,04

Tableau 3.91 Coefficients de variation des courbes de tendances (régression linéaire) et les coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications aux échelles temporelles : annuelle et saisonnière, JFM, AMJ, JAS, OND selon les seuils de pression (a) 1015 hPa, (b) 1020 hPa, (c) 1025 hPa.

Comme pour les tableaux des anticyclones américano-atlantiques, la trop grande richesse des tableaux précédents n'autorise pas une analyse exhaustive immédiate. Retenons ici les points essentiels. Les tendances des variables des anticyclones groenlando-scandinaves (tableaux 3.91) sont semblables à celles des anticyclones américano-atlantiques. Pour tous les seuils de pression :

- les fréquences connaissent une tendance à la hausse en valeurs annuelles et printanières, et une tendance à la baisse pour les valeurs hivernales,
- les distances augmentent en valeurs hivernales et automnales, et baissent pour les valeurs annuelles, printanières et estivales.

Pour les autres variables aucune tendance nette ne ressort de l'analyse des tableaux.

3.3.2.2 Evolutions des variables à l'échelle annuelle et saisonnière

- Evolutions des variables en valeurs annuelles

Les caractéristiques évoluent durant la période 1950-2000 (figure 3.34) :

- le nombre d'anticyclones, les pressions maximales et moyennes, les vitesses de déplacement augmentent régulièrement,
- les latitudes (maximales, moyennes, minimales) se sont décalées vers le sud de façon constante tout au long des 51 années,
- les longitudes (maximales, moyennes, minimales) se sont décalées vers l'est de 1950 à 2000.

Les autres caractéristiques ne montrent pas d'évolution nette.

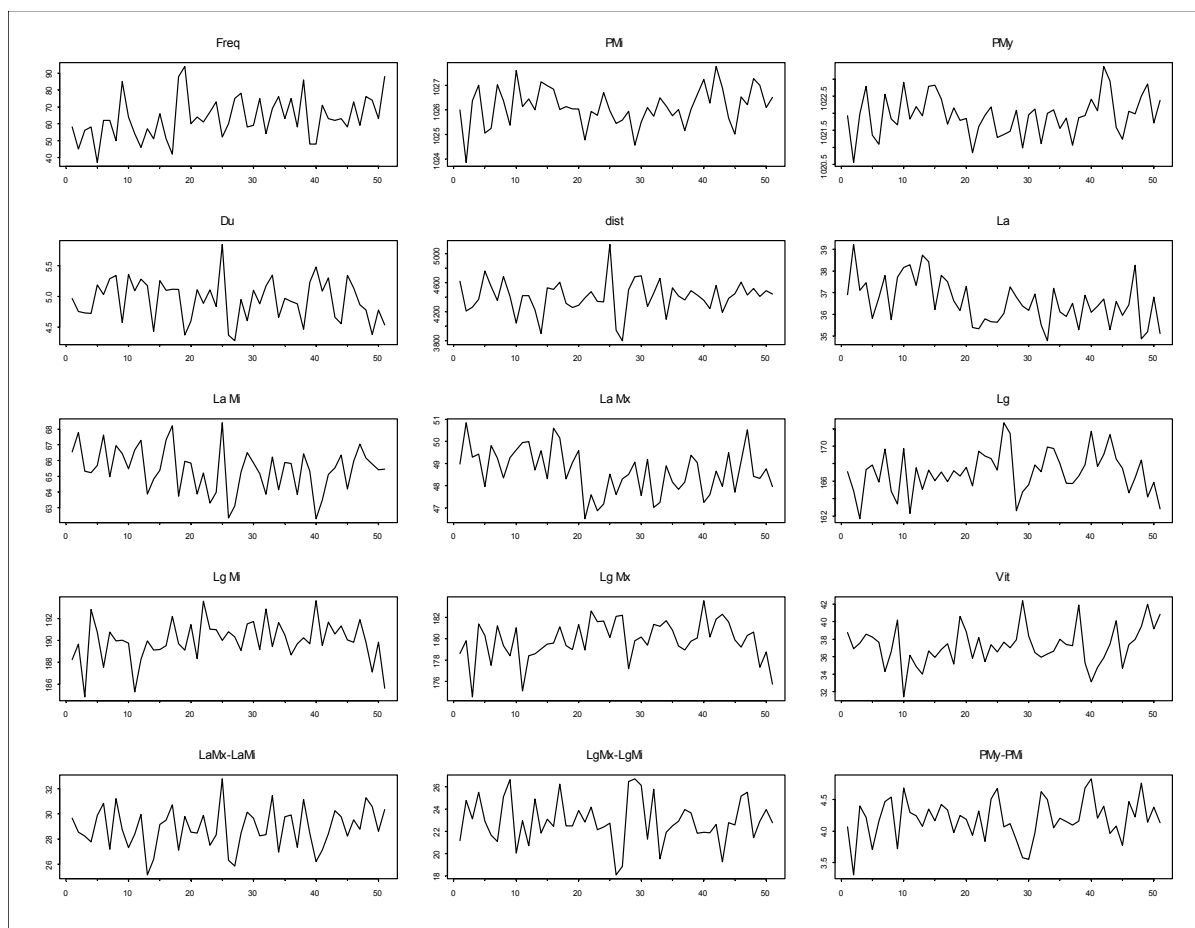


Figure 3.34 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en valeurs annuelles. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

- Evolutions des variables en valeurs saisonnières

Nous ne montrons que les données saisonnières les plus significatives : fréquence et latitude minimale.

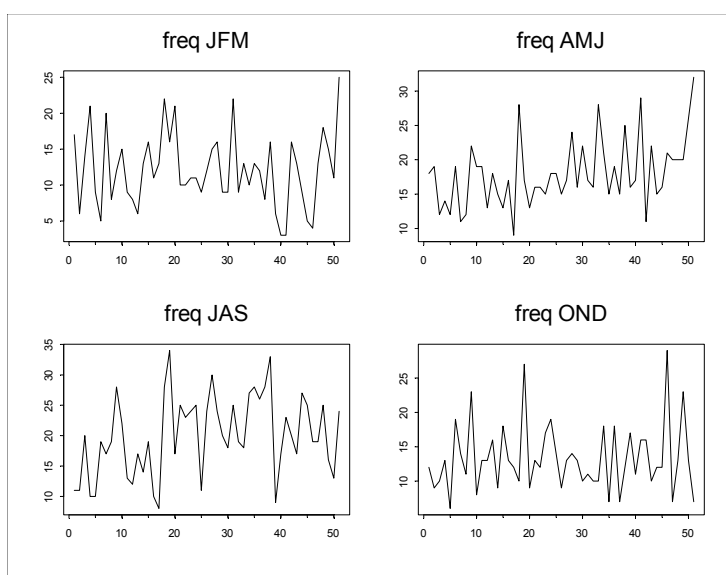


Figure 3.35 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des fréquences des anticyclones groenlando-scandinaves en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Fréquences : Nous constatons que le nombre des anticyclones groenlando-scandinaves augmente quelle que soit la saison. Les hausses sont particulièrement marquées en AMJ et JAS (figure 3.35)

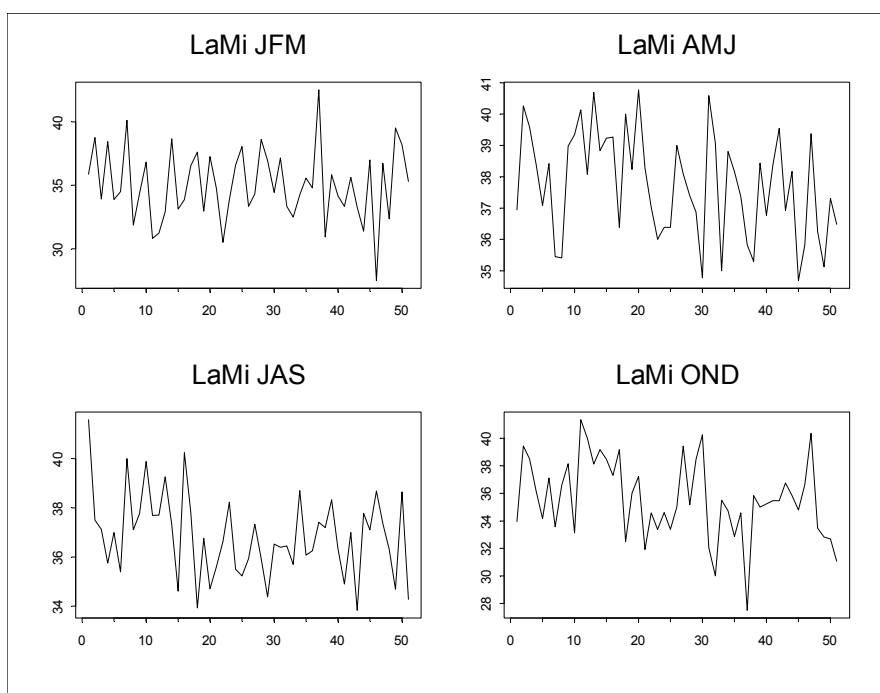


Figure 3.36 Séries temporelles sur la période des latitudes minimales des anticyclones groenlando-scandinaves en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Latitudes minimales : Dans le cas des latitudes d'agglutination, nous constatons également une certaine homogénéité des tendances pour l'ensemble des saisons. Les anticyclones de 1950 à 2000 ont enregistré une translation vers le sud des lieux d'agglutination. **Il y a donc augmentation du transport méridien d'air polaire vers les latitudes subtropicales** (figure 3.36).

Puis, en fonction des seuils de pression.

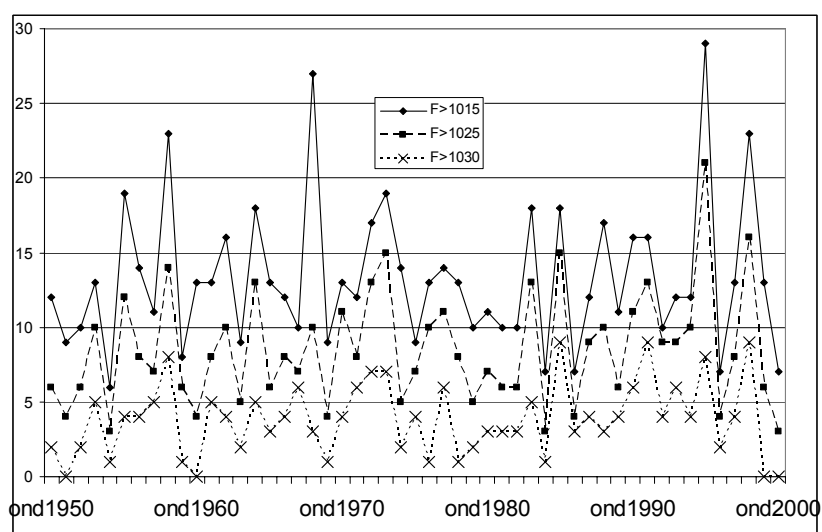


Figure 3.37 Séries temporelles en OND des fréquences des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression.

Fréquences : Quel que soit le seuil de pression utilisé les anticyclones connaissent la même évolution durant l'automne avec hausse régulière, et enregistrent deux maxima en 1968 et 1995 (figure 3.37).

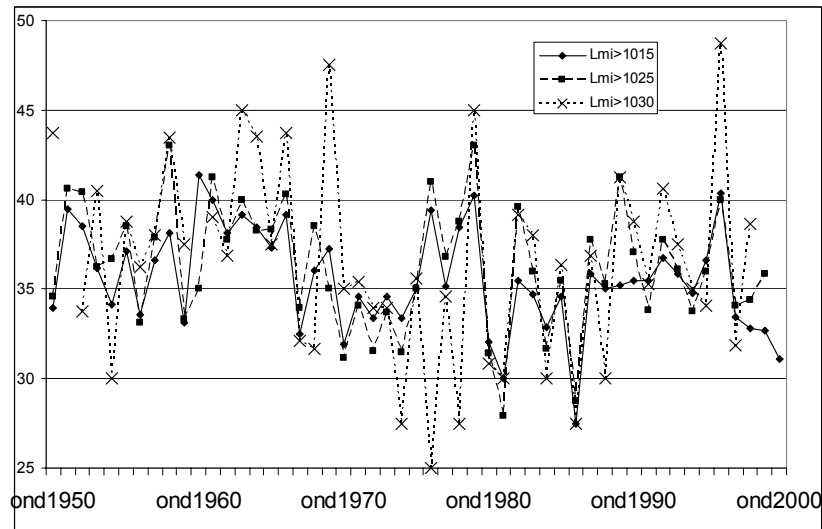


Figure 3.38 Série temporelle en OND des latitudes d'agglutination des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression.

Latitudes d'agglutination : Encore une fois, quelles que soient les pressions, les tendances sont les mêmes avec une capacité des anticyclones à s'agglutiner à des latitudes plus méridionales. Dans ce cas, on remarque également une variabilité inter-annuelle plus grande avec l'augmentation des pressions (figure 3.38).

3.3.2.3 Tableaux des coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves et l'ONA

a- Anticyclones groenlando-scandinaves

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,17	0,03	0,04	0,29	-0,06	-0,26	-0,33	-0,42	0,41	0,18	0,33	-0,27	-0,12	-0,33	-0,01
JFM	-0,30	0,08	0,06	0,26	0,13	-0,08	-0,08	-0,22	0,36	0,02	0,25	-0,25	0,01	-0,39	0,07
AMJ	-0,20	-0,14	0,02	0,02	-0,03	0,04	0,06	0,02	0,27	0,01	0,12	-0,04	0,08	-0,32	-0,23
JAS	-0,56	-0,09	-0,15	0,32	0,12	-0,10	0,01	-0,17	0,19	0,11	0,13	-0,25	0,15	-0,03	0,04
OND	-0,46	-0,08	0,08	0,21	0,15	-0,25	-0,24	-0,34	0,25	0,02	0,20	-0,08	0,00	-0,22	-0,29

b- Anticyclones groenlando-scandinaves > 1020 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,16	0,04	0,05	0,29	0,06	-0,24	-0,29	-0,39	0,35	0,14	0,29	-0,25	-0,11	-0,29	-0,02
JFM	-0,29	-0,07	0,05	0,25	0,13	-0,09	-0,06	-0,20	0,34	0,02	0,25	-0,22	0,01	-0,39	0,07
AMJ	-0,24	-0,01	0,14	0,08	0,03	-0,02	0,09	-0,01	0,24	-0,09	0,03	-0,06	0,08	-0,32	-0,23
JAS	-0,56	-0,07	-0,11	0,34	0,20	-0,11	0,10	-0,12	0,17	0,17	0,17	-0,16	0,15	-0,33	0,04
OND	-0,49	0,01	0,16	0,25	0,20	-0,25	-0,22	-0,33	0,24	0,02	0,21	-0,08	0,00	-0,22	-0,29

c- Anticyclones groenlando-scandinaves > 1025 hPa

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,13	0,01	0,00	0,28	0,07	-0,16	-0,34	-0,37	0,25	0,07	0,15	-0,29	-0,21	-0,23	-0,06
JFM	-0,21	0,05	0,02	0,24	0,16	-0,12	-0,02	-0,23	0,28	0,00	0,18	-0,15	0,06	-0,38	0,06
AMJ	-0,16	0,01	0,19	-0,09	0,04	0,00	0,01	-0,11	-0,12	-0,33	-0,27	0,11	0,01	-0,29	-0,24
JAS	-0,47	0,15	0,10	0,23	0,16	-0,04	0,09	-0,11	-0,01	-0,01	-0,04	-0,10	0,10	0,00	0,04
OND	-0,37	0,01	0,23	0,20	0,20	-0,20	-0,10	-0,24	0,18	0,02	0,16	-0,01	0,04	-0,17	-0,30

Tableau 3.92 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves et l'ONA selon les seuils de pression : (a) >1015 hPa, (b) >1020 hPa, (c) >1025 hPa, (d) >1030 hPa.

Les coefficients font apparaître que seules quelques caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves rendent compte de l'évolution de l'ONA, avec une capacité accrue lorsque l'on considère l'ensemble des anticyclones. Les fréquences sont efficaces pour les saisons estivales et automnales, les latitudes (maximales, moyennes) pour les valeurs annuelles. L'espace d'extension

en longitude est pertinent pour les valeurs annuelles, hivernales et printanières dans le cas des anticyclones > 1015 et 1020 hPa (tableaux 3.92).

3.3.2.4 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves

a- En valeurs annuelles

	Freq	P Mx	P Mv	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,12	1,00										
P Mv	0,20	0,92	1,00									
Du	- 0,44	0,16	0,03	1,00								
Dist	- 0,21	- 0,10	- 0,17	0,55	1,00							
La Mx	- 0,21	- 0,08	- 0,09	0,07	0,54	1,00						
La Mi	- 0,31	- 0,04	0,03	- 0,03	- 0,38	0,17	1,00					
La	- 0,20	0,05	0,08	- 0,16	- 0,06	0,64	0,75	1,00				
Lg Mi	- 0,08	0,25	0,19	0,06	- 0,33	- 0,43	- 0,18	- 0,28	1,00			
Lg Mx	- 0,20	0,00	- 0,03	0,11	0,04	- 0,21	- 0,05	- 0,17	0,58	1,00		
Lg	- 0,14	0,12	0,08	0,10	- 0,14	- 0,32	- 0,17	- 0,28	0,86	0,88	1,00	
vit	0,35	- 0,25	- 0,16	- 0,69	0,23	0,38	- 0,30	0,13	- 0,35	- 0,09	- 0,23	1,00

- Entre la fréquence, la durée ($R = - 0,44$) et la vitesse ($R = 0,35$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux ils durent moins longtemps, et se déplacent plus rapidement.
- Entre la distance et la latitude d'apparition ($R = 0,54$), disparition ($R = - 0,38$) et la longitude de création ($R = - 0,33$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, et se créent à des longitudes plus orientales.
- Entre la latitude d'apparition et la longitude d'apparition ($R = - 0,43$), moyenne ($R = - 0,32$) et la vitesse ($R = 0,38$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils apparaissent, se déplacent à des longitudes plus orientales et plus rapidement.
- Entre la longitude d'apparition et la vitesse ($R = - 0,35$) :
quand les anticyclones apparaissent à des longitudes plus orientales ils se déplacent moins vite (tableau 3.93 a).

b- En valeurs JFM

	Freq	P Mx	P Mv	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,10	1,00										
P Mv	0,13	0,94	1,00									
Du	- 0,36	0,38	0,24	1,00								
Dist	- 0,34	0,05	- 0,04	0,74	1,00							
La Mx	- 0,05	- 0,31	- 0,28	0,02	0,46	1,00						
La Mi	0,30	- 0,22	- 0,13	- 0,57	- 0,67	- 0,02	1,00					
La	0,29	- 0,37	- 0,31	- 0,61	- 0,41	0,40	0,80	1,00				
Lg Mi	- 0,17	0,29	0,26	0,20	- 0,17	- 0,52	- 0,02	- 0,22	1,00			
Lg Mx	0,12	0,03	- 0,03	0,14	0,12	- 0,12	- 0,14	- 0,07	0,51	1,00		
Lg	- 0,03	0,14	0,09	0,20	- 0,01	- 0,29	- 0,10	- 0,17	0,83	0,85	1,00	
vit	0,12	- 0,51	- 0,41	- 0,56	0,13	0,56	0,05	0,41	- 0,52	- 0,04	- 0,30	1,00

- Entre la fréquence, la durée ($R = -0,36$) et la distance ($R = -0,34$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux ils durent moins longtemps et parcourent moins de distance.
- Entre la pression maximale, la durée ($R = 0,38$), la latitude moyenne ($R = -0,37$) et la vitesse ($R = -0,51$) :
quand les anticyclones ont des pressions élevées, ils durent plus longtemps, se déplacent à des latitudes plus méridionales et moins rapidement.
- Entre la distance et la latitude moyenne ($R = -0,57$) et d'agglutination ($R = -0,61$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition, la longitude d'agglutination ($R = -0,52$) et la vitesse ($R = 0,56$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils s'agglutinent à des longitudes plus orientales et se déplacent plus rapidement.
- Entre la latitude moyenne et la vitesse ($R = 0,41$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent plus rapidement.
- Entre la longitude d'apparition et la vitesse ($R = -0,35$) :
quand les anticyclones apparaissent à des longitudes plus orientales, ils se déplacent moins vite (tableau 3.93 b).

c- En valeurs AMJ

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,31	1,00										
P My	0,32	0,88	1,00									
Du	0,01	0,26	0,18	1,00								
Dist	0,01	0,07	-0,01	0,60	1,00							
La Mx	-0,15	-0,06	-0,05	0,02	0,54	1,00						
La Mi	-0,13	0,21	0,23	-0,12	-0,42	0,01	1,00					
La	-0,14	0,20	0,19	-0,17	-0,04	0,53	0,69	1,00				
Lg Mi	-0,22	-0,31	-0,38	-0,15	-0,34	-0,20	-0,09	-0,10	1,00			
Lg Mx	-0,31	-0,20	-0,39	0,14	0,14	-0,04	0,09	0,04	0,49	1,00		
Lg	-0,32	-0,29	-0,44	0,04	-0,09	-0,07	0,02	-0,05	0,79	0,84	1,00	
vit	-0,03	-0,29	-0,26	-0,70	0,15	0,47	-0,20	0,21	-0,12	-0,03	-0,12	1,00

- Entre la fréquence, la pression moyenne ($R = 0,32$) et la longitude moyenne ($R = -0,32$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux ils ont des pressions plus élevées et se déplacent à des longitudes plus orientales.
- Entre la pression moyenne et la longitude minimale ($R = -0,38$), moyenne ($R = -0,39$) et max ($R = -0,44$) :
quand les anticyclones ont des pressions élevées, ils apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des longitudes plus occidentales.
- Entre la distance, la latitude d'apparition ($R = 0,54$), d'agglutination ($R = -0,42$) et la longitude d'apparition ($R = -0,34$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent à des latitudes plus méridionales et à des longitudes plus orientales, et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition et la vitesse ($R = 0,47$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent plus rapidement (tableau 3.93c).

d- En valeurs JAS

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,04	1,00										
P My	0,18	0,90	1,00									
Du	- 0,43	0,24	0,19	1,00								
Dist	- 0,15	0,06	0,09	0,60	1,00							
La Mx	- 0,09	- 0,19	- 0,15	- 0,03	0,49	1,00						
La Mi	- 0,22	0,03	0,02	- 0,03	- 0,39	0,13	1,00					
La	- 0,03	- 0,03	0,01	- 0,24	- 0,14	0,60	0,74	1,00				
Lg Mi	0,15	- 0,03	- 0,16	- 0,33	- 0,47	- 0,20	- 0,02	0,00	1,00			
Lg Mx	0,10	- 0,09	- 0,21	- 0,09	0,09	0,06	- 0,17	- 0,04	0,60	1,00		
Lg	0,14	- 0,14	- 0,28	- 0,28	- 0,22	- 0,02	- 0,16	- 0,04	0,87	0,88	1,00	
vit	0,36	- 0,22	- 0,13	- 0,54	0,35	0,55	- 0,38	0,14	- 0,13	0,19	0,09	1,00

- Entre la fréquence, la durée ($R = - 0,43$) et la vitesse ($R = 0,36$) :
quand les anticyclones sont plus nombreux, ils durent moins longtemps et se déplacent plus rapidement.
- Entre la durée et la longitude d'apparition ($R = - 0,33$) :
quand les anticyclones durent moins longtemps, ils apparaissent à des longitudes plus orientales.
- Entre la distance, la latitude d'apparition ($R = 0,49$), d'agglutination ($R = - 0,39$) et la longitude d'apparition ($R = - 0,47$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent à des latitudes plus méridionales et à des longitudes plus orientales, et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition et la vitesse ($R = 0,55$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent plus rapidement.
- Entre la latitude d'agglutination et la vitesse ($R = - 0,38$) :
quand les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent moins rapidement (tableau 3.93 d).

e- En valeurs OND

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit
Freq	1,00											
P Mx	0,20	1,00										
P My	0,12	0,91	1,00									
Du	- 0,10	0,29	0,21	1,00								
Dist	- 0,10	- 0,03	- 0,14	0,75	1,00							
La Mx	0,02	- 0,41	- 0,48	- 0,17	0,32	1,00						
La Mi	0,11	- 0,15	- 0,01	- 0,67	- 0,74	0,13	1,00					
La	0,13	- 0,36	- 0,31	- 0,61	- 0,38	0,62	0,80	1,00				
Lg Mi	- 0,22	- 0,06	0,00	- 0,05	- 0,30	- 0,30	0,08	- 0,08	1,00			
Lg Mx	- 0,12	0,13	0,18	0,04	0,07	0,00	0,08	0,07	0,34	1,00		
Lg	- 0,22	0,03	0,12	0,01	- 0,15	- 0,14	0,08	- 0,01	0,78	0,73	1,00	
vit	0,01	- 0,46	- 0,49	- 0,42	0,28	0,65	- 0,06	0,32	- 0,33	0,04	- 0,21	1,00

Tableau 3.93 Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves, en valeurs annuelles (a), en valeurs hivernales (b), en valeurs printanières (c), en valeurs estivales (d), en valeurs automnales (e).

- Entre la pression maximale, la latitude d'apparition ($R = - 0,41$), moyenne ($R = - 0,36$) et la vitesse ($R = - 0,46$) :
quand les anticyclones ont des pressions élevées, ils apparaissent, se déplacent à des latitudes plus méridionales et moins rapidement.
- Entre la pression moyenne, la latitude d'apparition ($R = - 0,48$) et la vitesse ($R = - 0,49$) :
quand les anticyclones ont des pressions élevées, ils apparaissent à des latitudes plus méridionales et se déplacent moins rapidement.

- Entre la distance et la latitude d'apparition ($R = 0,32$), moyenne ($R = - 0,74$) et d'agglutination ($R = - 0,38$) :
quand les anticyclones parcourent moins de distance, ils apparaissent à des latitudes plus méridionales, et se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition et la vitesse ($R = 0,65$) :
quand les anticyclones apparaissent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent plus rapidement.
- Entre la latitude moyenne et la vitesse ($R = 0,32$) :
quand les anticyclones se déplacent à des latitudes plus septentrionales, ils se déplacent plus rapidement.
- Entre la longitude d'apparition et la vitesse ($R = 0,33$) :
quand les anticyclones apparaissent à des longitudes plus orientales, ils se déplacent moins vite (tableau 3.93 e).

3.3.2.5 Examens en Analyse en Composantes Principales (ACP)

De la même façon que pour l'ensemble des anticyclones et pour les anticyclones américano-atlantiques, nous avons analysé les comportements des anticyclones groenlando-scandinaves par des ACP, dont voici les résultats essentiels (tableau 3.94).

	PC1	PC2	PC3
An % var	27.7	18.7	17.9
An CC/ONA	0,07	0,21	- 0,13
JFM % var	33.1	22.6	16.8
JFM CC/ONA	0,02	- 0,11	0,2
AMJ % var	27.4	18.6	17.4
AMJ CC/ONA	- 0,15	0	0,06
JAS % var	26	19.6	17.9
JAS CC/ONA	0,09	0,14	0,49
OND % var	29.4	23.8	17.5
OND CC/ONA	0,28	0,02	- 0,31

% var = pourcentage de la variance totale représenté par l'axe. CC/ONA= coefficient de corrélation avec l'indice de l'ONA.

Tableau 3.94 Résultats des ACP concernant les anticyclones groenlando-scandinaves.

Pour toutes les valeurs, les premiers axes représentent une part significative de l'information, mais nous constatons qu'ils ne rendent pas compte de l'évolution de l'ONA. Seul le troisième axe pour l'été, montre un coefficient de corrélation avec l'ONA significatif à 98%. Sur cet axe, on observe une opposition entre les latitudes (minimales et moyennes) du côté positif et la durée et la distance du côté négatif.

Nous avons décrit, dans le détail et de façon individuelle, les différents caractères et modes d'évolution des deux grandes trajectoires d'anticyclones dans l'Atlantique. Nous allons maintenant réaliser un examen croisé des caractéristiques, afin de faire apparaître les principales similitudes et différences comportementales.

3.4 Similitudes / différences entre les anticyclones américano-atlantiques et les anticyclones groenlando-scandinaves

Après les analyses séparées de ces deux trajectoires des anticyclones, il convient maintenant de les comparer. Nous traiterons donc successivement :

- les données moyennes,
- les séries temporelles.

3.4.1 Analyses des données moyennes

3.4.1.1 Les valeurs moyennes sur la période 1950-2000

- En valeurs annuelles

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
AMP	229,92	1027,49	1022,74	6,04	6105,59	34,67	66,78	47,72	100,52	150,61	129,85	42,10	32,11	50,09	4,75
AME	166,49	1027,99	1023,03	6,47	6753,87	33,94	67,32	47,37	75,4	135,76	110,96	43,52	33,38	60,36	4,96
GS	63,43	1026,12	1021,93	4,94	4408,62	36,59	65,45	48,66	167,03	189,97	179,87	37,28	28,86	22,94	4,2

Tableau 3.95 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves à l'échelle moyenne sur la période 1950-2000.

- En valeurs saisonnières

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
JFM AME	12,12	1028,91	1024,15	5,48	4759,54	35,03	66,16	47,84	168,81	190,83	181,33	36,76	31,60	22,16	4,89
JFM GS	44,06	1030,66	1024,94	6,55	6938,34	33,63	67,34	47,12	70,06	132,95	106,95	44,26	33,71	62,89	5,72
AMJ AME	43,69	1027,74	1022,68	6,51	6636,41	34,87	68,47	48,51	79,71	140,27	115,84	42,71	33,60	60,56	5,06
AMJ GS	18,00	1025,58	1021,51	4,72	4261,16	37,75	65,56	49,58	165,82	188,69	178,34	37,91	28,28	22,74	4,34
JAS AME	37,94	1024,99	1020,92	6,80	7025,62	32,27	66,16	45,50	78,59	137,30	113,82	43,35	33,89	58,71	4,07
JAS GS	20,02	1023,94	1020,23	4,75	4213,87	36,86	63,48	48,12	166,99	189,29	179,42	37,17	26,98	22,32	4,07
OND AME	40,80	1029,01	1023,81	6,67	6958,54	33,53	66,88	46,78	73,04	134,03	108,48	43,65	33,35	60,99	5,20
OND GS	13,29	1027,33	1022,84	5,20	4688,67	35,59	66,03	48,42	167,48	191,71	181,36	37,82	30,67	24,16	4,63

Tableau 3.96 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves sur la période 1950-2000. en valeurs saisonnières.

- En valeurs mensuelles

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus nombreux, ont des pressions plus élevées, parcourent plus de distance, durent plus longtemps, se déplacent plus rapidement, apparaissent à des latitudes plus septentrionales, se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales que les anticyclones groenlando-scandinaves (parce que ces derniers partent vers l'est)(tableaux 3.95, 3.96 et 3.97).

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
01 AME	15,59	1030,68	1025,14	6,54	7005,7	32,63	66,47	46,15	67,02	129,9	104,17	44,66	33,84	62,88	5,54
01 GS	4,41	1029,44	1024,56	5,68	5000,91	34,14	66,39	46,67	168,38	191,18	181,7	37,74	32,25	22,79	4,88
02 AME	13,33	1030,84	1025,03	6,46	6906,69	34,03	67,38	47,45	69,7	132,38	105,96	44,68	33,35	62,68	5,8
02 GS	3,55	1028,48	1023,81	5,3	4627,49	34,84	66,37	48,56	169,78	192,18	182,81	38,25	31,53	22,4	4,68
03 AME	14,51	1030,47	1024,64	6,64	6902,64	34,22	68,17	47,77	73,45	136,56	110,73	43,45	33,94	63,11	5,83
03 GS	4,12	1027,62	1023,05	5,15	4621,43	36,95	65,99	48,31	162,95	190,29	176,26	38,04	29,04	27,33	4,58
04 AME	15,12	1029,52	1023,84	6,69	6712,57	35,88	69,02	49,14	79,33	141,49	116,01	42,02	33,13	62,15	5,68
04 GS	4,35	1026,71	1022,45	4,87	4474,58	38,13	68,03	50,31	164,12	187,77	177,45	39,52	29,91	23,64	4,26
05 AME	15,88	1027,94	1022,8	6,28	6528,77	35,2	68,78	48,93	79,72	139,66	115,5	43,47	33,58	59,94	5,14
05 GS	6,8	1025,95	1021,71	4,67	4206,12	38	65,67	49,89	164,88	188,85	178	38,2	27,67	23,97	4,23
06 AME	10,69	1025,76	1021,4	6,56	6667,91	33,53	67,62	47,46	80,08	139,67	116,02	42,65	34,09	59,59	4,36
06 GS	6,84	1024,47	1020,67	4,94	4253,89	36,97	64,68	48,19	167,79	188,85	179,21	36,49	27,71	21,06	3,8
07 AME	9,45	1024,7	1020,8	6,89	6823,01	31,96	66,24	45,36	78,98	134,16	112,7	41,51	34,27	55,17	3,9
07 GS	6,73	1023,42	1019,95	4,94	4248,41	37,38	63,63	47,98	166,95	188,47	178,78	36,53	26,25	21,52	3,47
08 AME	11,45	1024,53	1020,67	6,9	7166,13	32,39	65,98	45,33	80,49	139,91	115,91	43,69	33,59	59,42	3,86
08 GS	7,25	1023,27	1019,76	4,74	4178,55	37,13	63,26	48,13	166,17	188,96	178,6	37,44	26,12	22,79	3,51
09 AME	13,47	1025,75	1021,29	6,62	7087,74	32,45	66,25	45,8	76,29	137,82	112,84	44,85	33,81	61,54	4,45
09 GS	6,06	1024,78	1020,71	4,9	4479,38	35,83	65,36	47,93	167,43	191,32	181,08	39,27	29,52	23,89	4,06
10 AME	13,47	1027,5	1022,55	6,92	7094,17	33,76	67,67	47,05	75,7	137,25	111,5	42,93	33,91	61,54	4,95
10 GS	5,33	1026,06	1021,81	5,08	4657,31	35,6	66,55	48,6	167,35	191,12	181	38,6	30,95	23,77	4,25
11 AME	13,51	1029,26	1023,87	6,7	6892,51	33,84	67,01	47,21	73,23	135,1	109,25	42,97	33,17	61,87	5,39
11 GS	4,59	1028,23	1023,41	5,6	4820,16	36	66,48	48,62	165,9	191,48	180,82	37,51	30,48	25,58	4,82
12 AME	12,86	1030,26	1025,01	6,39	6888,95	33	65,96	46,07	70,18	129,73	104,69	45,05	32,96	59,55	5,25
12 GS	3,39	1027,95	1023,53	5,12	4822,97	34,8	66,33	48,04	166,94	193	181,14	40,62	31,53	26,06	4,42

01 : janvier.....12 : décembre.

Tableau 3.97 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves sur la période 1950-2000. en valeurs mensuelles.

- Fréquences (figure 3.39 et tableau 3.98) :

Pourcentage des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves suivant les différentes échelles de temps.

	% des Anticyclones américano-atlantiques	% des Anticyclones groenlando-scandinaves
Année	72,41	27,59
JFM	78,4	21,6
AMJ	70,9	29,1
JAS	64,96	35,04
OND	75,41	24,59
Janvier	78,11	21,89
Février	79,36	20,64
Mars	77,93	22,07
Avril	78,14	21,86
Mai	70,96	29,04
Juin	63,03	36,97
Juillet	61,71	38,29
Août	63,95	36,05
Septembre	70,00	30,00
Octobre	72,38	27,62
Novembre	75,03	24,97
Décembre	79,45	20,55

Tableau 3.98 Analyses des fréquences des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves.

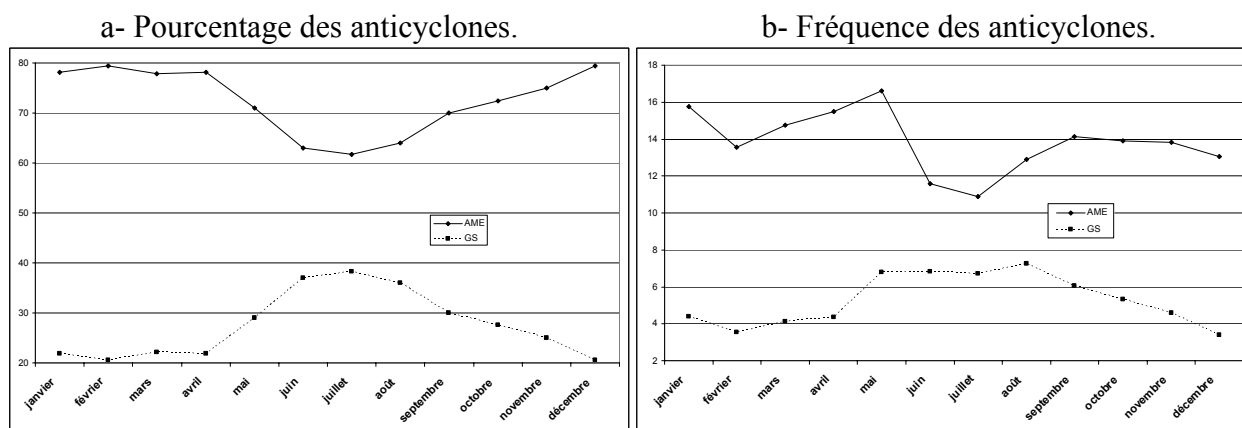


Figure 3.39 Pourcentages des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves en valeurs mensuelles (a) et fréquences mensuelles (b).

Les anticyclones américano-atlantiques sont plus nombreux que les anticyclones groenlando-scandinaves en toutes périodes :

- en moyenne annuelle, 72,5% des anticyclones sont américano-atlantiques,
- le pourcentage des anticyclones américano-atlantiques est maximal en hiver et automne, et minimal en été. Cela est dû à une baisse du nombre des anticyclones américano-atlantiques concomitante d'une hausse de la fréquence des anticyclones groenlando-scandinaves,
- en valeurs mensuelles, le maximum se produit en décembre avec 79,5% et le minimum en juillet avec 61,71% (figure 3.39 et tableau 3.98).

- Pression maximale et pression moyenne (tableau 3.98) :

Les deux cycles sont similaires, mais quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques ont toujours des pressions maximales et moyennes supérieures à celles des anticyclones groenlando-scandinaves, avec des écarts maximaux en hiver.

- Durée (tableau 3.98) :

Quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques durent plus longtemps que les anticyclones groenlando-scandinaves. De plus, la différence est marquée entre les deux cycles annuels en valeurs mensuelles :

- les anticyclones américano-atlantiques ont une durée constante tout au long de l'année,
- le cycle de la durée des anticyclones groenlando-scandinaves est unimodal avec un minimum estival,

- Distance parcourue (tableau 3.98) :

Les anticyclones américano-atlantiques parcourent plus de distance que les anticyclones groenlando-scandinaves tout au long de l'année (en raison de la vision partielle de l'unité de circulation orientale). La différence est assez stable durant toute l'année avec des deux cycles similaires.

- Latitude minimale atteinte (tableau 3.98) :

Les deux cycles sont similaires. Quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques s'agglutinent à des latitudes plus méridionales que les anticyclones groenlando-scandinaves. La différence est assez stable durant toute l'année (exceptions faites des mois de juillet et août),

- Latitude maximale atteinte (tableau 3.98) :

Quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques apparaissent à des latitudes plus septentrionales que les anticyclones groenlando-scandinaves (exceptions faites des mois de janvier et décembre),

- Latitude atteinte (tableau 3.98) :

Quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques se déplacent à des latitudes plus septentrionales que les anticyclones groenlando-scandinaves (exceptions faites des mois de juillet et août). Les deux cycles sont similaires.

- Vitesse de déplacement (tableau 3.98) :

Les deux cycles sont similaires. Quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques se déplacent plus rapidement que les anticyclones groenlando-scandinaves.

- Latitude maximale-Latitude minimale (tableau 3.98) :

Quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques ont des espaces de couverture en latitude toujours plus importants que les anticyclones groenlando-scandinaves. Les deux cycles sont très différents :

- les espaces en latitude des anticyclones américano-atlantiques ont une amplitude très faible,
- les espaces en latitude des anticyclones groenlando-scandinaves sont minimaux en été et maximaux en hiver et automne.

- Pression maximale-pression moyenne (tableau 3.98) :

Quel que soit le mois étudié, les anticyclones américano-atlantiques ont des différentiels de pression toujours plus importants que les anticyclones groenlando-scandinaves, mais avec des cycles d'évolutions similaires.

Les longitudes ne sont pas traitées car cela n'aurait aucun sens, du fait des aires d'apparition respectives des deux trajectoires.

3.4.1.2 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles

Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
- 0,29	0,97	0,98	0,20	0,61	0,51	0,59	0,82	- 0,41	- 0,67	- 0,68	0,53	- 0,06	0,49	0,91

Tableau 3.99 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles.

Les cycles annuels en valeurs mensuelles des caractéristiques des deux itinéraires ne sont que partiellement comparables. Sur les quinze variables décrivant les évolutions des trajectoires, seules sept sont statistiquement significatives. Pour les pressions (maximales et moyennes), les distances parcourues, les latitudes moyennes de déplacement, et les différentiels de pression, les deux trajectoires connaissent les mêmes variations à l'échelle mensuelle. Les longitudes moyennes et d'agglutination sont en opposition de phase (tableau 3.99).

3.4.1.3 Similitudes / différences selon les pourcentages d'anticyclones ayant atteint différentes latitudes

- En valeurs annuelles

	50 °N	45 °N	40 °N	35 °N	30 °N	25 °N	20 °N
% AME	93,7	89,9	86,3	74,7	50,9	20	2,6
% GS	95,5	92,01	73,7	52,5	19,85	3,65	0,37

Tableau 3.100 Similitudes/différences selon les pourcentages d'anticyclones ayant atteint différentes latitudes en valeurs annuelles.

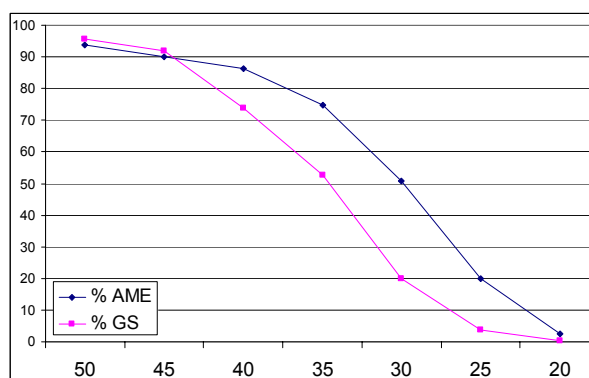


Figure 3.40 Similitudes/différences selon les pourcentages d'anticyclones ayant atteint différentes latitudes en valeurs annuelles.

Il y a deux régions aux comportements différents (tableau 3.100 et figure 3.40) :

- de 90 à 45 °N, le pourcentage d'anticyclones groenlando-scandinaves est supérieur à celui des anticyclones américano-atlantiques,
- le pourcentage des anticyclones américano-atlantiques ayant atteint les latitudes inférieures à 45 °N est supérieur à celui des anticyclones groenlando-scandinaves, avec un accroissement du différentiel avec l'abaissement des latitudes.

- En valeurs saisonnières

	50 °N	45 °N	40 °N	35 °N	30 °N	25 °N
% AME JFM	87,31	85,68	82,91	72,45	52,38	22,08
% GS JFM	98,60	92,91	72,55	63,40	42,04	7,76
% AME AMJ	95,06	86,36	79,97	67,59	46,67	17,99
% GS AMJ	95,46	91,69	72,40	42,95	10,71	1,3
% AME JAS	94,57	92,51	89,40	76,75	51,58	19,64
% GS JAS	93,20	90,75	77,96	50,07	8,82	0,69
% AME OND	88,68	86,59	85,17	75,12	48,01	18,41
% GS OND	96,67	92,61	69,11	59,13	36,51	7,52

Tableau 3.101 Similitudes/différences selon les pourcentages d'anticyclones ayant atteint différentes latitudes en valeurs saisonnières.

D'après l'étude du tableau 3.101 :

- en JFM, les deux évolutions sont différentes. Les anticyclones groenlando-scandinaves ont des pourcentages supérieurs au nord des latitudes 45 °N, et inversement au sud,
- en AMJ, les anticyclones groenlando-scandinaves ont des pourcentages supérieurs au nord des latitudes 40 °N, et inversement au sud avec des différences accrues entre les valeurs,
- en JAS, les deux variations sont similaires. Les anticyclones américano-atlantiques ont toujours des pourcentages supérieurs avec un écart accru au sud des latitudes 40 °N,
- en OND, les anticyclones groenlando-scandinaves ont des pourcentages supérieurs au nord des latitudes 45 °N, et inversement au sud.

3.4.1.4 Similitudes / différences entre les anticyclones selon différents seuils de pression

- En valeurs annuelles

	1020hPa	1025	1030	1035	1040	1045	1050hPa
% GS	91,44	52,83	20,34	6,21	1,27	0,28	0
% AME	95,7	66,03	32,43	11,45	3,32	0,76	0,6

Tableau 3.102 Similitudes/Différences entre les anticyclones selon différents seuils de pression en valeurs annuelles.

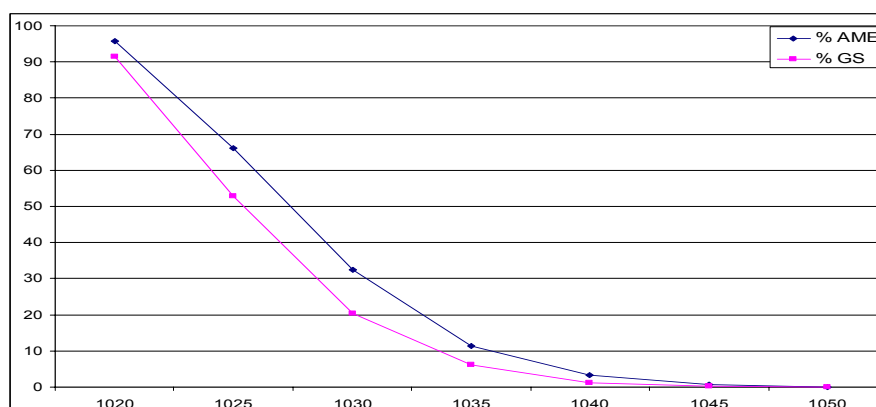


Figure 3.41 Similitudes/différences entre les anticyclones selon différents seuils de pression en valeurs annuelles.

La distribution des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves en fonction des pressions est comparable, avec des pourcentages supérieurs concernant les anticyclones américano-

atlantiques. Il faut noter qu'aucun anticyclone groenlando-scandinave n'atteint la pression de 1050 hPa (tableau 3.102 et figure 3.41).

- En valeurs saisonnières

	1020hPa	1025	1030	1035	1040hPa
% AME JFM	94,67	79,12	49,00	21,67	6,06
% GS JFM	96,21	72,88	39,90	14,84	
% AME AMJ	94,87	64,98	30,26	8,70	1,92
% GS AMJ	90,22	50,38	16,61	5,68	
% AME JAS	89,98	40,56	8,07	2,48	0,26
% GS JAS	82,22	33,35	8,00	2,11	
% AME OND	93,33	69,98	36,27	12,75	6,00
% GS OND	93,64	62,75	28,82	7,98	

Tableau 3.103 Similitudes/différences entre les anticyclones selon différents seuils de pression en valeurs saisonnières.

Quelle que soit la saison, les deux courbes sont semblables. A seuils de pression équivalents, les anticyclones américano-atlantiques ont toujours des pourcentages plus élevés (tableau 3.103).

3.4.2 Analyses des séries temporelles

3.4.2.1 Coefficients de corrélation entre les évolutions des caractéristiques des anticyclones sur la période 1950-2000

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	0,06	- 0,16	- 0,15	- 0,07	- 0,29	0,33	0,35	0,37	- 0,33	- 0,16	- 0,22	0,01	0,18	- 0,21	0,03
JFM	0,04	- 0,05	- 0,01	- 0,06	- 0,24	0,15	0,11	0,17	- 0,30	- 0,04	- 0,10	- 0,27	- 0,03	- 0,25	- 0,04
AMJ	0,37	- 0,10	- 0,18	0,11	0,18	0,26	0,10	- 0,05	0,06	0,08	0,07	0,05	0,37	0,15	0,18
JAS	0,18	- 0,01	- 0,09	- 0,04	- 0,08	0,20	0,25	0,24	- 0,06	0,14	- 0,01	0,19	0,07	0,08	0,07
OND	0,05	- 0,03	- 0,06	- 0,01	0,01	0,26	0,17	0,25	- 0,04	- 0,07	- 0,07	0,05	0,08	- 0,14	0,28

Tableau 3.104 Coefficients de corrélation entre les évolutions des caractéristiques sur la période 1950-2000.

Les évolutions des anticyclones sont très dissemblables, seules quelques caractéristiques laissent apparaître des liens (tableau 3.104):

- en valeurs annuelles, les latitudes minimales ($R = 0,33$), maximales ($R = 0,35$), moyennes ($R = 0,37$) sont en phase et les longitudes d'apparition sont en opposition de phase ($R = - 0,33$),
- durant le printemps les fréquences ($R = 0,37$) et l'espace couvert en latitude ($R = 0,37$) sont en phase.

3.4.2.2 Evolution des valeurs annuelles sur la période 1950-2000

Nous étudions maintenant, les séries temporelles de certains caractères afin de savoir si au delà des variations interannuelles (sans liens) il y a des similitudes ou des oppositions des tendances d'évolution sur les 51 années d'études, en valeurs annuelles.

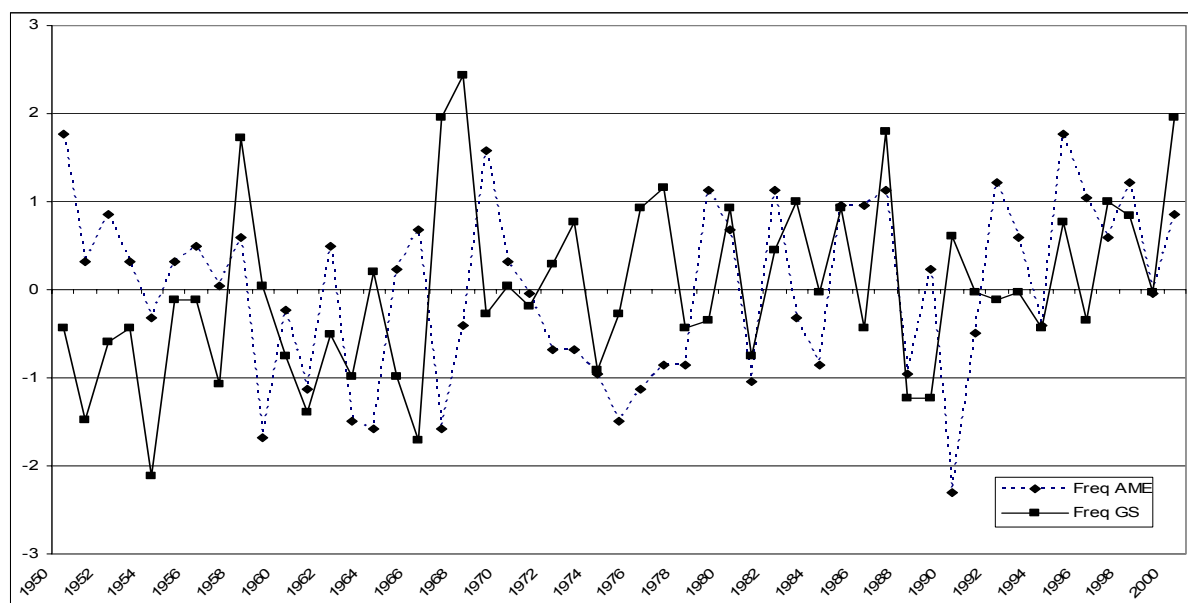


Figure 3.42 Série temporelle annuelle des fréquences des anticyclones. Les données sont standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.

Il existe une similitude d'ensemble de la forme d'évolution des deux courbes, marquée par une hausse faible mais constante sur la période 1950-2000 (figure 3.42).

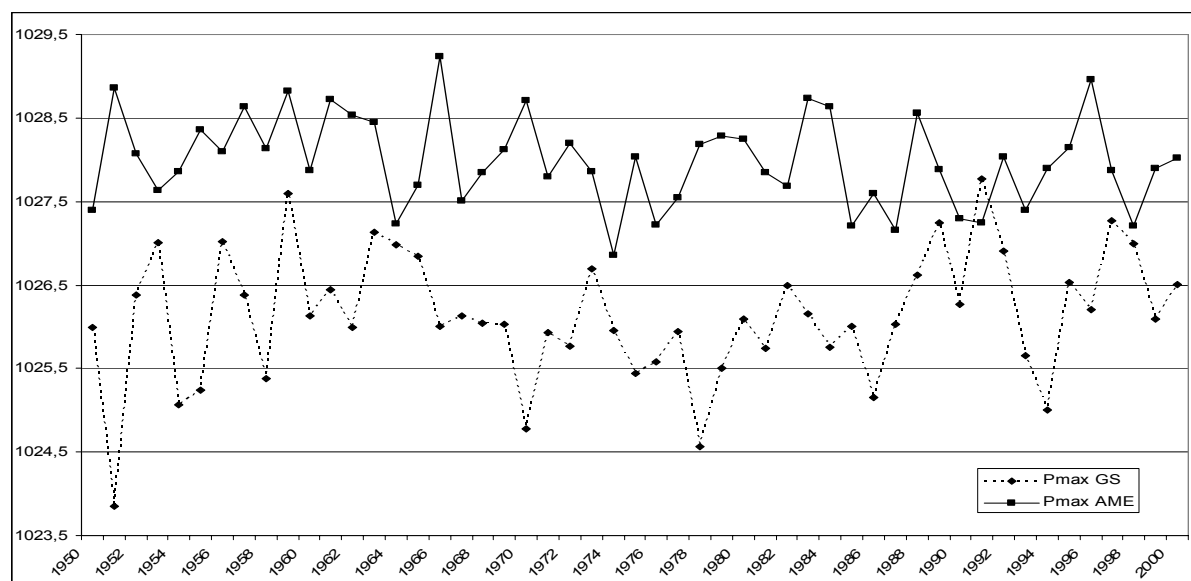


Figure 3.43 Série temporelle annuelle des pressions maximales des anticyclones.

Les pressions des anticyclones américano-atlantiques décroissent assez régulièrement sur la période, tandis que les anticyclones groenlando-scandinaves connaissent trois phases successives (figure 3.43) :

- de 1950 à 1960, hausse des pressions,
- de 1960 à 1978, baisse des pressions,
- depuis 1978, hausse des pressions.

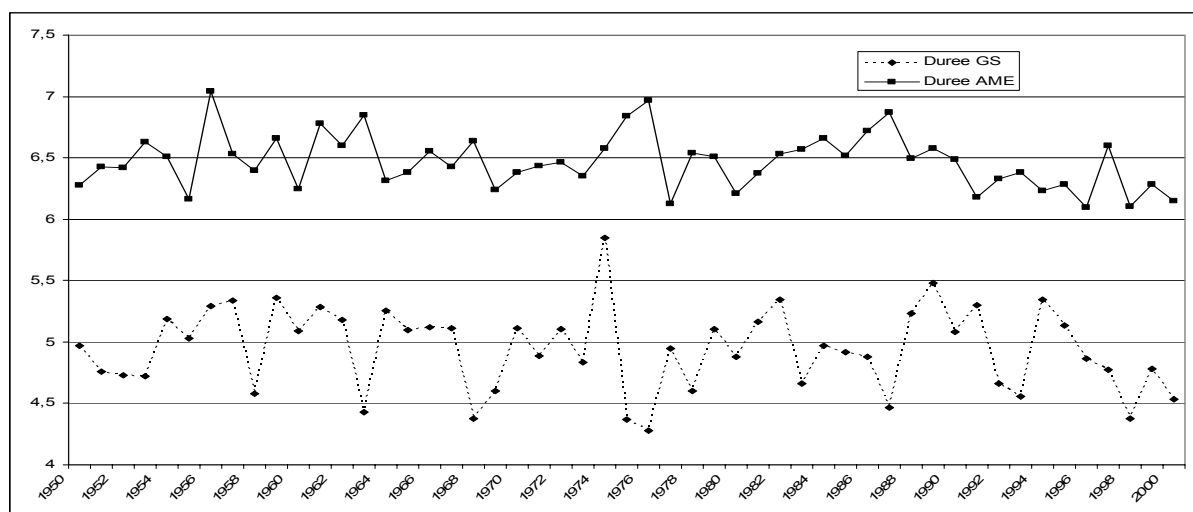


Figure 3.44 Série temporelle annuelle des durées des anticyclones.

Sur la période 1950-2000, les anticyclones voient leurs durées décroître régulièrement (figure 3.44).

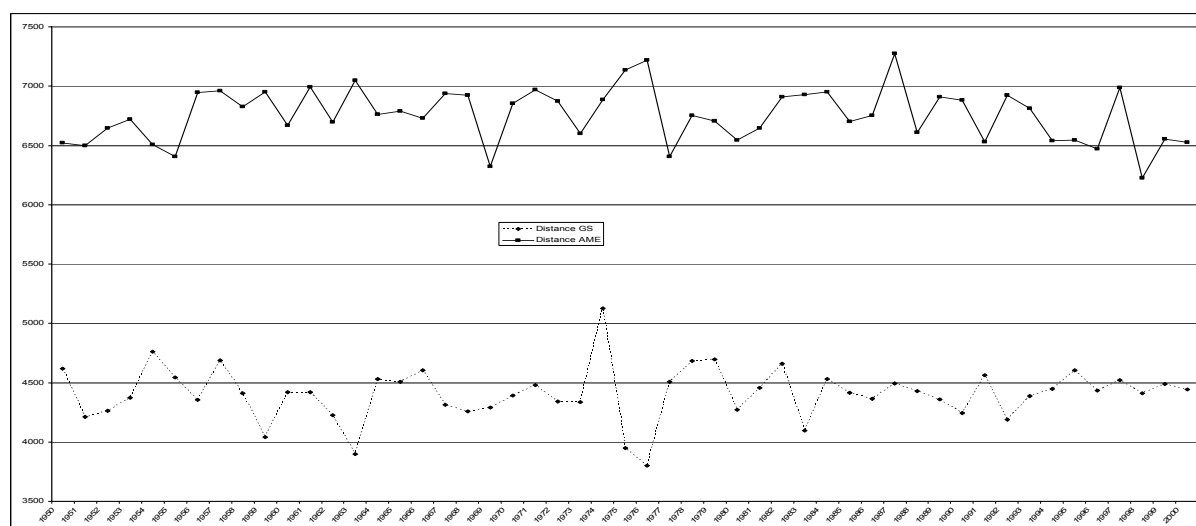


Figure 3.45 Série temporelle annuelle des distances des anticyclones.

Sur la période 1950-2000, les anticyclones parcourent de moins en moins de distance (figure 3.45).

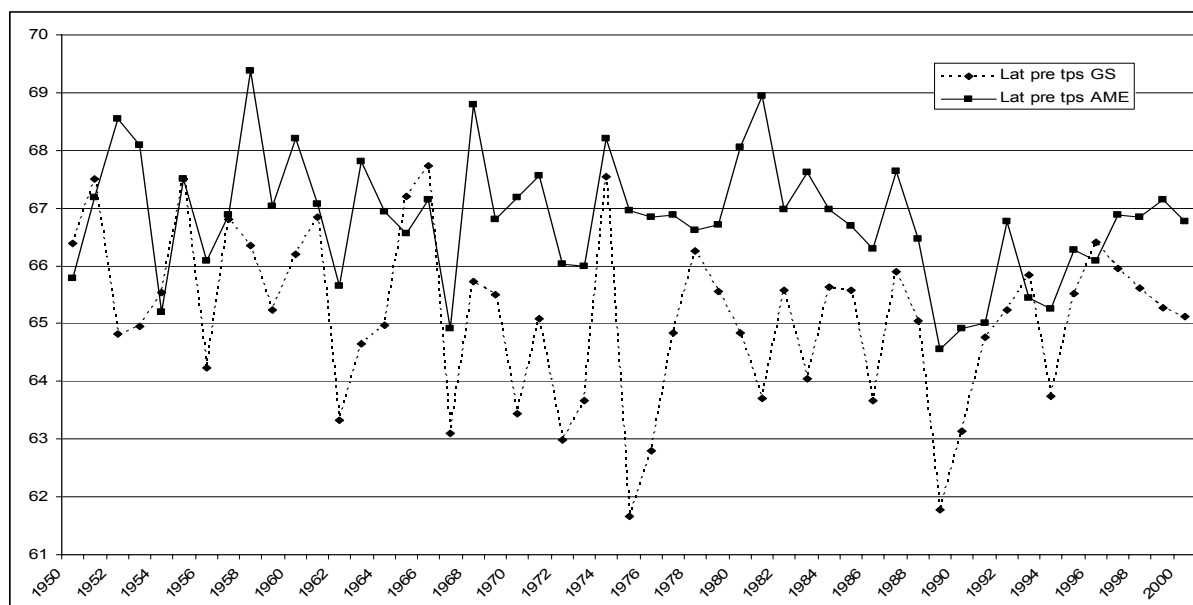


Figure 3.46 Série temporelle annuelle des latitudes d'apparition des anticyclones.

Sur la période 1950-2000, dans l'ensemble, les anticyclones apparaissent à des latitudes de plus en plus méridionales (figure 3.46).

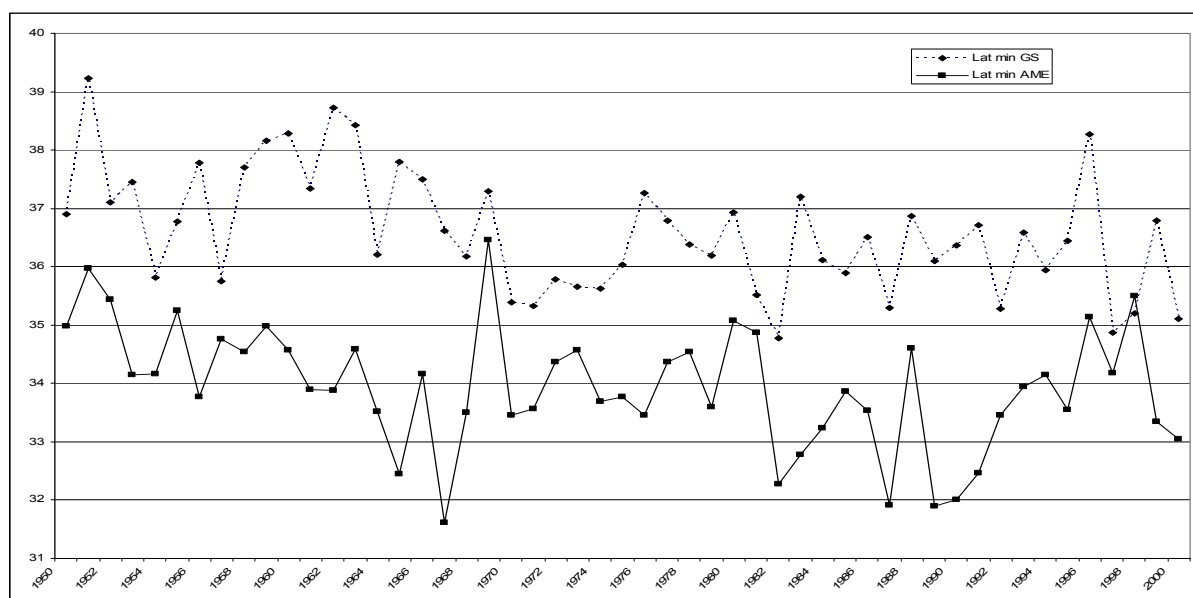


Figure 3.47 Série temporelle annuelle des latitudes d'agglutination des anticyclones.

Durant les 51 années, les anticyclones (pour les deux trajectoires) sont capables d'atteindre des latitudes de plus en plus méridionales (figure 3.47).

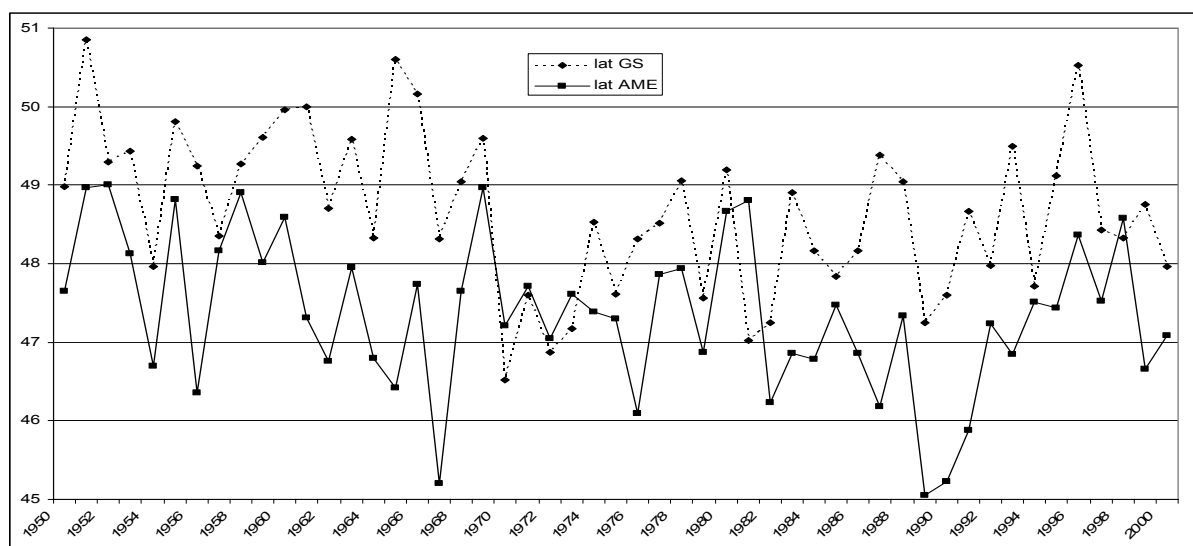


Figure 3.48 Série temporelle annuelle des latitudes moyennes des anticyclones.

Sur la période 1950-2000, les anticyclones se déplacent à des latitudes de plus en plus méridionales. On peut noter tout de même une translation vers le nord durant la dernière décennie (figure 3.48).

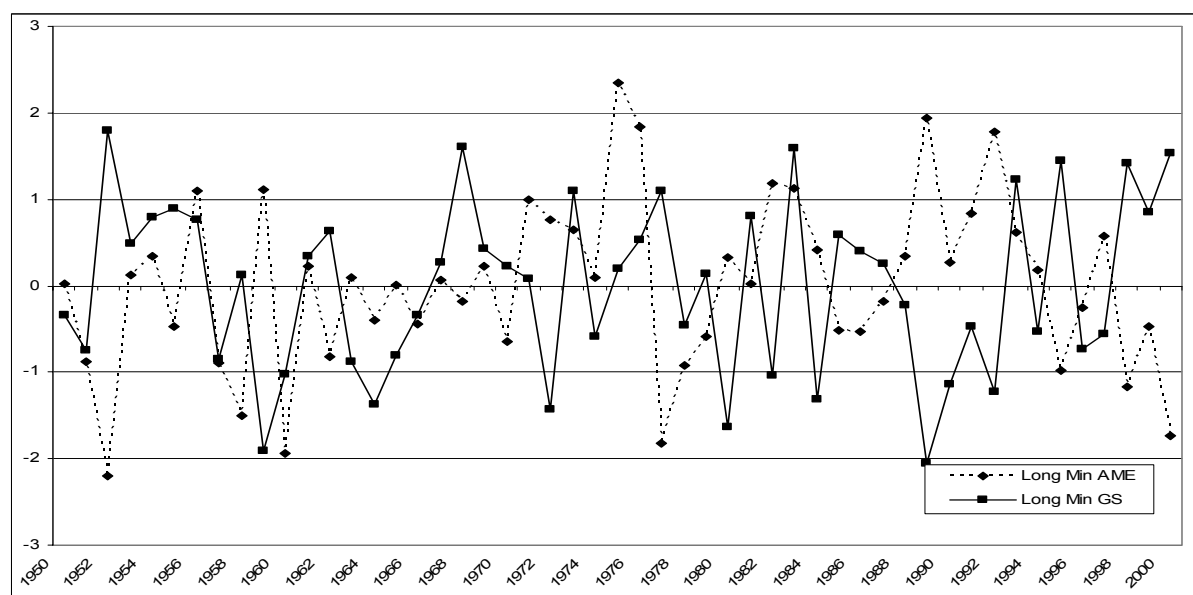


Figure 3.49 Série temporelle annuelle des longitudes d'apparition des anticyclones. Les données sont standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.

Il n'y a que peu de variations des lieux d'apparition des anticyclones en longitude sur la période, mais avec une forte variabilité interannuelle (figure 3.49).

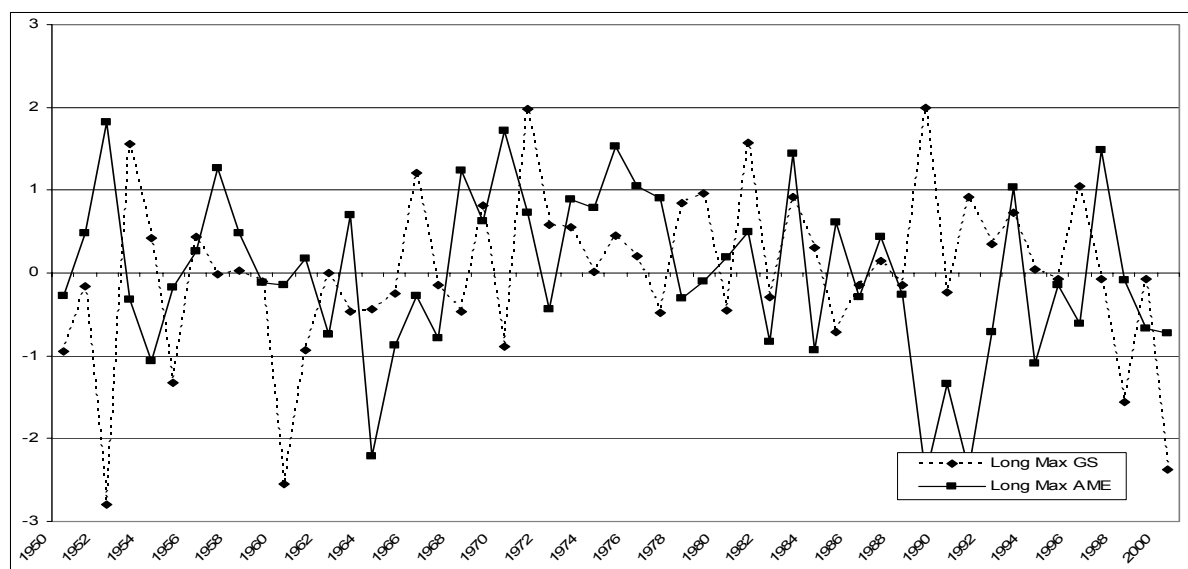


Figure 3.50 Série temporelle annuelle des longitudes d'agglutination des anticyclones. Les données sont les données standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.

Les lieux d'agglutination des anticyclones ne varient que peu en longitude avec, comme pour les longitudes d'apparition, une forte variabilité interannuelle (figure 3.50).

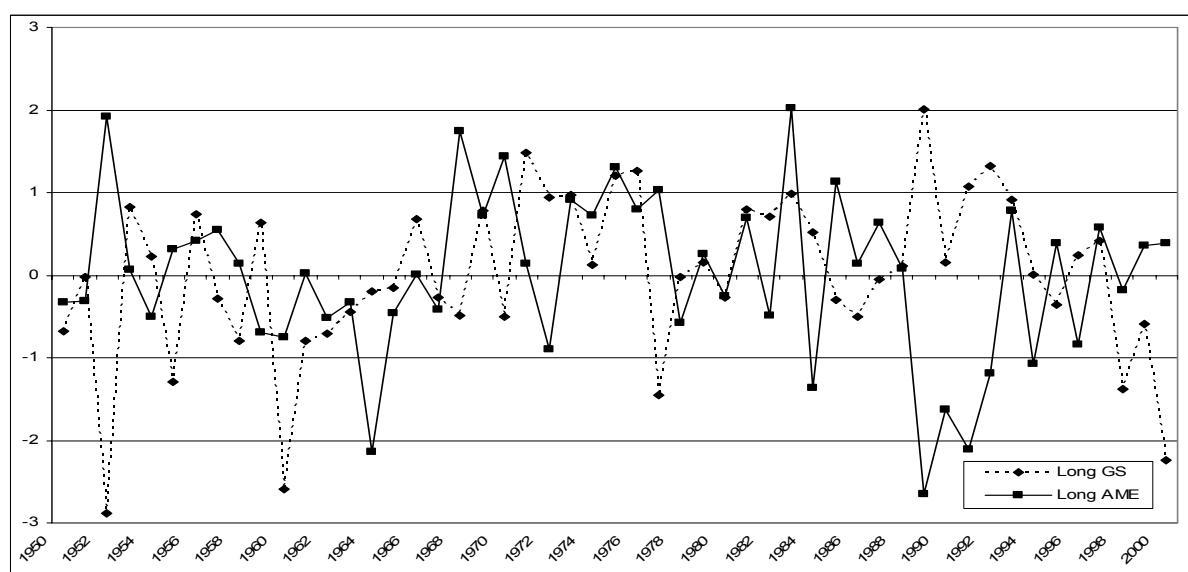


Figure 3.51 Série temporelle annuelle des longitudes moyennes des anticyclones. Les données sont standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.

Les anticyclones se déplacent sensiblement aux mêmes longitudes durant toute la période. On peut noter tout de même certaines dates remarquables durant lesquelles il y a opposition entre les deux trajectoires, comme en 1963, 1990 ou encore en 2000 (figure 3.51).

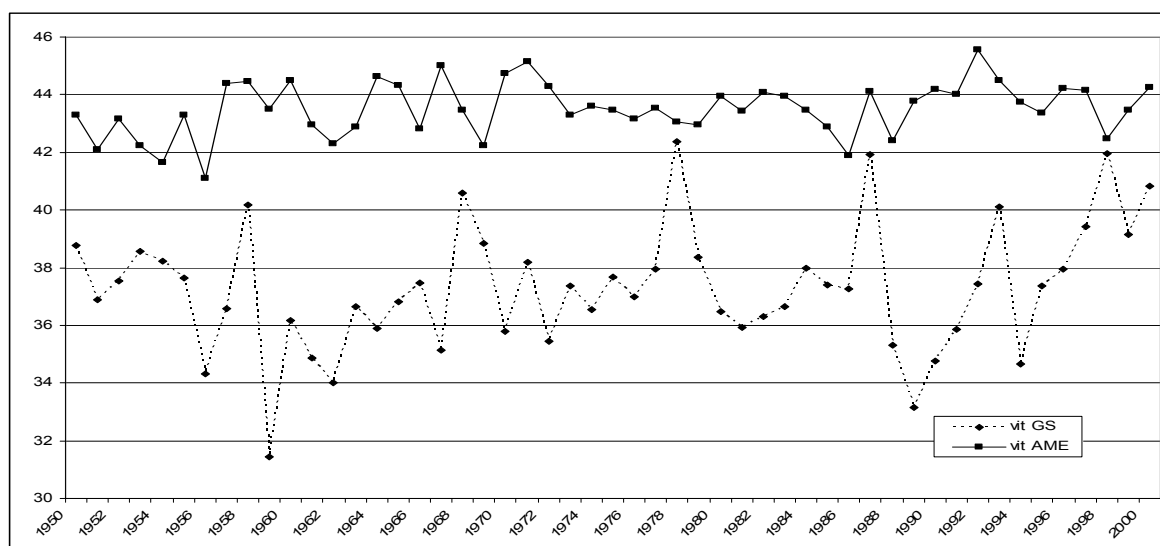


Figure 3.52 Séries temporelles annuelles des vitesses de déplacement des anticyclones.

Les vitesses de déplacement augmentent régulièrement sur la période, avec des variations interannuelles plus marquées pour les anticyclones groenlando-scandinaves (figure 3.52).

Afin de comparer encore plus précisément leurs comportements, nous reprenons les tableaux comparant leurs caractéristiques avec l'ONA.

3.4.2.3 Tableaux des coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques, groenlando-scandinaves et l'ONA

a- Anticyclones américano-atlantiques

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,23	-0,22	-0,11	0,09	0,08	-0,33	-0,53	-0,49	-0,22	-0,42	-0,41	0,00	-0,19	-0,19	-0,32
JFM	0,75	0,49	0,35	-0,40	-0,46	0,54	0,54	0,71	0,31	0,21	0,23	-0,11	0,04	-0,08	0,55
AMJ	-0,28	-0,21	-0,20	0,15	0,10	-0,21	-0,30	-0,31	-0,27	-0,35	-0,36	-0,05	-0,02	-0,14	-0,15
JAS	-0,26	-0,11	-0,05	0,00	-0,11	0,21	-0,17	0,03	-0,21	-0,10	-0,15	-0,12	-0,34	0,07	-0,12
OND	-0,31	-0,18	-0,02	0,15	0,18	-0,23	-0,38	-0,36	-0,20	-0,31	-0,32	0,03	-0,13	-0,08	-0,35

b- Anticyclones groenlando-scandinaves

	Freq	P Mx	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
An	-0,17	0,03	0,04	0,29	0,06	-0,26	-0,33	-0,42	0,41	0,18	0,33	-0,27	-0,12	-0,33	-0,01
JFM	-0,30	0,08	0,06	0,26	0,13	-0,08	-0,08	-0,22	0,36	0,02	0,25	-0,25	0,01	-0,39	0,07
AMJ	-0,20	-0,14	0,02	0,02	-0,03	0,04	0,06	0,02	0,27	0,01	0,12	-0,04	0,08	-0,32	-0,23
JAS	-0,56	-0,09	-0,15	0,32	0,12	-0,10	0,01	-0,17	0,19	0,11	0,13	-0,25	0,15	-0,03	0,04
OND	-0,46	-0,08	0,08	0,21	0,15	-0,25	-0,24	-0,34	0,25	0,02	0,20	-0,08	0,00	-0,22	-0,29

Tableau 3.105 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques (a), groenlando-scandinaves (b) et l'ONA.

Si l'on se concentre uniquement sur les fréquences on constate que les anticyclones américano-atlantiques rendent bien compte de la variabilité hivernale, et les anticyclones groenlando-scandinaves de la variabilité estivale et automnale. En valeurs annuelles, les latitudes (maximales et moyennes) et les longitudes moyennes sont efficaces (R significatifs) pour représenter les évolutions de l'oscillation (tableaux 3.105).

3.5 Conclusions sur les analyses des anticyclones

3.5.1 Tous les anticyclones

Les anticyclones ont des pressions, durées, distances, vitesses de déplacement, espaces couverts en longitude, maximaux en hiver et minimaux en été.

Les longitudes de création, de déplacement et d'agglutination sont minimales en hiver et maximales en été. C'est-à-dire, qu'il y a déplacement vers l'est des trajectoires des anticyclones en été et vers l'ouest durant l'hiver.

La trajectoire préférentielle des anticyclones est la même quelle que soit la saison : du nord canadien à la région des Açores, en passant par la côte est des EUA.

En ce qui concerne les évolutions en valeurs annuelles sur la période 1950-2000 :

- le nombre d'anticyclones diminue de 1950 à 1963, puis augmente avec une rupture en 1988,
- les pressions maximales et moyennes ont connu trois périodes successives. De 1950 à 1966, les pressions maximales des anticyclones s'accroissent, puis baissent jusqu'en 1976, pour depuis repartir à la hausse,
- la durée, la distance, les latitudes d'apparition, d'agglutination, et moyennes diminuent régulièrement (avec minima en 1990) sur la période,
- les longitudes d'apparition, d'agglutination, moyenne ainsi que la vitesse de déplacement augmentent régulièrement durant la période (mais avec minimum en 1990).

Pour les évolutions en valeurs saisonnières :

- En hiver, la fréquence augmente de 1950 à 1970 puis diminue régulièrement. Au printemps et en automne, les fréquences augmentent de façon nette alors qu'en été on enregistre deux phases. L'une de 1950 à 1966, caractérisée par une hausse puis l'autre de 1968 à 2000, caractérisée par une baisse. Les périodes étant séparées par un palier en 1967.
- En hiver et durant l'été, les anticyclones apparaissent à des latitudes de plus en plus méridionales. Pour le printemps et l'automne, il n'y a pas de tendance nette,
- quelle que soit la saison, les anticyclones atteignent des latitudes de plus en plus méridionales sur la période d'étude.
- Les anticyclones apparaissent durant la période 1950-2000 à des longitudes de plus en plus orientales au printemps et durant l'été, et occidentales durant l'automne. En hiver, malgré une forte variabilité interannuelle il n'y a pas de tendance nette.
- Les anticyclones sont capables d'atteindre des longitudes de plus en plus orientales au printemps et durant l'été et inversement restent à des longitudes occidentales durant l'hiver et l'automne. On enregistre donc un déplacement vers l'est de l'espace couvert par les anticyclones durant les saisons chaudes et vers l'ouest durant les saisons froides.

Il y a deux aires d'apparition des anticyclones situées à l'ouest et à l'est du Groenland, donnant naissance respectivement aux anticyclones américano-atlantiques (72,5 % du total en moyenne annuelle) et groenlando-scandinaves (27,5 %).

3.5.2 Les anticyclones américano-atlantiques

Les pressions, moyennes et minimales, la durée, la distance, la vitesse, les différences entre les latitudes maximales-latitudes minimales, entre les longitudes maximales-longitudes minimales, et entre les pressions maximales-pressions moyennes des anticyclones sont maximales en hiver et minimales en été.

Les longitudes (maximales, moyennes, minimales) des anticyclones sont minimales en hiver et maximales en été. C'est-à-dire que les trajectoires des anticyclones sont décalées vers l'est durant l'été et vers l'ouest durant l'hiver.

La fréquence, les latitudes (maximales, moyennes, minimales) des anticyclones sont maximales au printemps et minimales en été.

Les aires d'apparition les plus prolifiques sont :

- en latitude, la bande zonale 70-60 °N,
- en longitude, la bande méridienne 75-100° (80-55 °O).

50 % des anticyclones américano-atlantiques atteignent la latitude 30 °N, et 43,4 % atteignent la longitude 140° (40 °O) et 32,43 % des anticyclones ont au moins une fois durant leur cycle d'existence une pression supérieure à 1030 hPa.

La trajectoire préférentielle des anticyclones américano-atlantiques est constante durant l'année (du Nord-Ouest canadien à la région des Açores en passant par la côte est des E.U.A).

Les évolutions en valeurs annuelles :

- les fréquences diminuent de 1950 à 1975, puis augmentent jusqu'en 2000 (avec tout de même un minimum en 1990),
- les pressions maximales et moyennes, les durées, les latitudes (minimales, maximales, moyennes) baissent au long de la période,
- les distances augmentent de 1950 à 1976, puis diminuent jusqu'en 2000 (à l'exception de 1987),
- les vitesses de déplacement augmentent régulièrement de 1950 à 2000.

Pour les évolutions en valeurs saisonnières :

- en hiver, la fréquence augmente de 1950 à 1970, puis baisse jusqu'en 2000. Au printemps, la baisse de 1950 à 1972, est suivie d'une augmentation en fréquence et en variabilité interannuelle. Durant l'été, la hausse est régulière, et en automne il n'y a pas d'évolution nette sauf sur les deux dernières décennies qui ont connu une hausse des fréquences,
- quelle que soit la saison, les anticyclones américano-atlantiques atteignent des latitudes plus méridionales,
- les longitudes atteintes par les anticyclones américano-atlantiques varient selon les saisons. En hiver, au printemps et durant l'automne, les longitudes atteintes sont de plus en plus occidentales. En été, ils atteignent des longitudes plus orientales de 1950 à 1969, puis on constate un basculement vers l'ouest jusqu'en 2000.

3.5.3 Les anticyclones groenlando-scandinaves

La fréquence et les latitudes moyennes des anticyclones groenlando-scandinaves sont minimales en hiver et maximales en été.

Les pressions (moyennes et maximales), la durée, la distance, la vitesse, les longitudes minimales, les différences entre les latitudes maximales-latitudes minimales, entre les longitudes maximales-longitudes minimales, et entre les pressions maximales-pressions moyennes des anticyclones, sont maximales en hiver et minimales en été.

Les longitudes (maximales, moyennes, minimales) des anticyclones groenlando-scandinaves sont minimales en hiver et maximales en été. C'est-à-dire que les trajectoires des anticyclones sont décalées vers l'est durant l'été et vers l'ouest durant l'hiver.

Les latitudes maximales sont plus septentrionales au printemps et méridionales en hiver, les latitudes minimales sont plus septentrionales au printemps et méridionales en été.

Les aires d'apparition les plus prolifiques sont :

- en latitude, la bande zonale 70-60 °N,
- en longitude, la bande méridienne 150-175° (30-5 °O).

20 % des anticyclones groenlando-scandinaves atteignent la latitude 30 °N et 20, 34 % des anticyclones ont au moins une fois durant leur cycle d'existence une pression supérieure à 1030 hPa. Les aires de passage sont similaires pour toutes les saisons, avec un gonflement vers l'ouest durant le printemps et l'été.

Les évolutions en valeurs annuelles :

- le nombre d'anticyclones groenlando-scandinaves, les pressions maximales et moyennes, les vitesses de déplacement augmentent régulièrement au cours de la période 1950-2000,
- les latitudes (maximales, moyennes, minimales) se sont décalées vers le sud de façon constante tout au long des 51 années,
- les longitudes (maximales, moyennes, minimales) se sont décalées vers l'est de 1950 à 2000,
- les autres caractéristiques ne montrent pas d'évolution nette.

Les évolutions en valeurs saisonnières :

- les anticyclones groenlando-scandinaves voient leur nombre augmenter quelle que soit la saison.
- les hausses sont particulièrement marquées en AMJ et JAS.
- en ce qui concerne les latitudes d'agglutination, nous constatons également une certaine homogénéité des tendances pour l'ensemble des saisons. Mais la question se pose de savoir si ce constat n'est pas lié aux conditions orographiques qui peuvent conditionner les lieux d'agglutination ?
- de 1950 à 2000, les anticyclones ont enregistré une translation vers le sud des lieux d'agglutination.

3.5.4 Différences principales entre les deux trajectoires

- les anticyclones américano-atlantiques sont plus nombreux que les groenlando-scandinaves (8 491 contre 3 235 sur la période).
- les anticyclones groenlando-scandinaves ont leurs fréquences maximales durant les mois estivaux, alors que les anticyclones américano-atlantiques sont les plus fréquents en mai,
- les anticyclones américano-atlantiques atteignent des latitudes plus méridionales,
- les anticyclones américano-atlantiques ont des pressions supérieures,
- les anticyclones américano-atlantiques (avec l'aide des filtres) rendent mieux compte de l'évolution du climat en valeurs annuelles et hivernales. Mais les anticyclones groenlando-scandinaves sont plus performants durant les périodes estivales et automnales.

En conclusion, l'air polaire transporté par les anticyclones atteint des latitudes plus méridionales. Cela implique une augmentation de la circulation méridienne nord-sud attestée sur la figure 1.10 n°1 par les variations de pression nettes. L'augmentation de pression atteint 4,5 hPa entre les valeurs moyennes de JFM 1971-2000 et JFM 1950-1970 au sud-est de l'espace atlantique. En revanche la pression diminue sur le nord-est de l'Atlantique. Cette baisse atteint - 6.2 hPa, ce qui à cette échelle moyenne est considérable. Les paramètres majeurs influençant la dynamique des

anticyclones sont la fréquence, les latitudes (minimales, maximales, moyennes) et la vitesse de déplacement.

Serreze M.C. et al (1993) concluent leur étude limitée à l'Arctique sur la période 1952-1989 : «*anticyclones being least numerous but strongest during winter months*», tandis que : «*anticyclone numbers have increased during spring, summer and autumn*» et que «*these trends [...] may represent a true climatic shift*».

Ainsi, nos résultats sont en accord avec de multiples études qui examinent les trajectoires des anticyclones et leurs principales caractéristiques. Notre analyse permet de confirmer de manière objective des études portant sur des périodes plus courtes et utilisant d'autres méthodes et prouve la continuité entre l'Arctique et le reste de l'espace analysé. Nous y reviendrons ci-dessous, dans le chapitre 5.

Synthèse

Question initiale.

L'objectif initial était de déterminer l'évolution des caractéristiques des anticyclones (avec différents filtres), en valeurs moyennes et en séries temporelles sur la période 1950-2000, selon diverses échelles de temps.

Les résultats.

Les analyses montrent que :

- les anticyclones sont expulsés du bassin arctique en direction du sud. L'algorithme les fait apparaître et les décrit dans deux espaces distincts, de part et d'autre du Groenland,
- l'espace balayé par les anticyclones s'étend de plus en plus vers l'équateur,
- les anticyclones américano-atlantiques sont les plus nombreux, et ont des pressions plus élevées que les anticyclones groenlando-scandinaves, quelle que soit la saison,
- les anticyclones groenlando-scandinaves ont leurs fréquences maximales durant la période estivale, alors que les anticyclones américano-atlantiques sont les plus fréquents en mai,
- certaines caractéristiques : fréquence, latitudes (minimales, maximales, moyennes), longitudes (maximales, moyennes), rendent bien compte de l'évolution de l'ONA avec une prépondérance pour les anticyclones américano-atlantiques durant l'hiver, et les anticyclones groenlando-scandinaves durant l'été et l'automne.

Questions non résolues.

Les analyses précédentes ne résolvent pas tous les problèmes posés. Il apparaît en particulier que :

- 1- Le cycle annuel en valeurs mensuelles des fréquences des anticyclones n'est pas régulier.
- 2- Les anticyclones atteignent des latitudes plus basses en été qu'en hiver. Pourquoi les anticyclones apparaissent-ils plus bas en latitude en été qu'en hiver, alors qu'en période d'activité intense hivernale les anticyclones apparaissent plus au sud ? Cela provient sans doute d'un artefact dû à l'algorithme qui prend en compte les centres des anticyclones. Les anticyclones sont plus étendus en hiver qu'en été (figure 3.53), et ainsi en moyenne les latitudes atteintes par les centres sont plus méridionales (en été), mais les limites sud des anticyclones sont quant à elles situées bien plus basse en latitude durant la période hivernale. En première approximation, il faut donc préférer l'extension géographique des trajectoires (latitude maximale-latitude minimale) aux seules latitudes minimales.

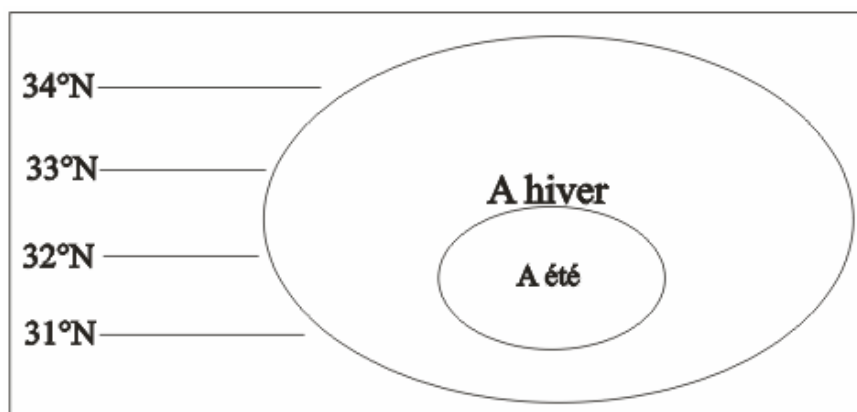


Figure 3.53 Latitudes des centres anticycloniques et extension géographique des anticyclones en hiver et en été.

- 3- Pourquoi la pression des anticyclones n'est-elle pas représentative des évolutions de l'ONA ? En effet les anticyclones ayant la pression la plus élevée ne vont pas plus au sud, et n'ont pas les trajectoires les plus méridiennes.

4- Pourquoi les anticyclones groenlando-scandinaves sont-ils plus fréquents en été ? Le nombre d'anticyclones expulsés de l'Arctique est assez constant au long de l'année (56,2 en JFM, 61,6 en AMJ, 58 en JAS et 54 en OND), mais leur répartition selon les trajectoires est contrastée. On note en effet une diminution nette des anticyclones américano-atlantiques, en même temps qu'une augmentation des anticyclones de trajectoire groenlando-scandinaves en JAS. Existe-t-il alors un système de compensation entre les lieux d'expulsion selon les saisons ?

D'autres interrogations persistent, dues aux effets de l'algorithme, aux caractères des unités de circulation, à la vision partielle des anticyclones groenlando-scandinaves. Mais ces analyses apportent des progrès dans la connaissance des anticyclones et de la dynamique de l'espace Nord-Atlantique.

Il faut maintenant se consacrer aux analyses des dépressions.

4. CARACTERISTIQUES DES TRAJECTOIRES DES DEPRESSIONS

Le chapitre est construit en plusieurs étapes afin de prendre en compte l'ensemble des phénomènes. Ainsi, nous analysons :

- Dans un premier temps, les données moyennes sur la période avec :
 - les valeurs moyennes annuelles, puis les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles pour l'ensemble des anticyclones et selon diverses sélections (filtres),
 - les densités de passage selon les saisons.
- Dans un deuxième temps, les séries temporelles avec :
 - les tableaux de tendances de toutes les variables à différentes échelles temporelles,
 - les évolutions des variables à l'échelle annuelle et saisonnière,
 - les coefficients de corrélation entre les variables et l'ONA,
 - les coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions.

Mais dans un premier temps, il convient de définir les caractéristiques utilisées dans ces études.

4.1 Liste des caractères majeurs

Tout au long de notre travail nous allons étudier en détail les comportements des dépressions et pour les caractériser, nous avons à disposition plusieurs variables :

- **Fréquence** (Freq),
- **Pression Minimale** (P Mi), seule la pression minimale (en hPa) de chaque dépression est considérée,
- **Pression Moyenne** (P My), toutes les pressions (en hPa) de toutes les dépressions sont utilisées,
- **Durée** (Du), nombre de jours que durent les trajectoires,
- **Distance** (Dist), nombre de kilomètres parcouru au cours des trajectoires,
- **Latitude Première** (La p), première latitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque dépression, en °N,
- **Latitude Minimale** (La Mi), latitude minimale prise en compte dans le cycle d'existence de chaque dépression, en °N,
- **Latitude Maximale** (La Mx), latitude maximale prise en compte dans le cycle d'existence de chaque dépression, en °N,
- **Latitude Dernière** (La d), dernière latitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque dépression, en °N,
- **Latitude** (La), toutes les latitudes de toutes les dépressions, en °N,
- **Longitude première** (Lg p), première longitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque dépression, en ° (cf. base de données et méthodes),
- **Longitude dernière** (Lg d), dernière longitude prise en compte dans le cycle d'existence de chaque dépression, en °,
- **Longitude** (Lg), toutes les longitudes de toutes les dépressions, en °,
- **Vitesse** (Vit), vitesse de déplacement du centre en km/h sur l'ensemble des trajectoires,

- **Latitude dernière-Latitude première (La-La).** Ceci informe sur l'extension géographique des trajectoires en latitude, en °,
- **Longitude dernière-Longitude première (Lg-Lg).** Cette valeur indique extension géographique des trajectoires en longitude, en °,
- **Pression dernière-Pression première (P-P),** donne des indications sur la distribution des pressions profondes par rapport à l'ensemble, en hPa.

4.2 Les dépressions : analyses des données moyennes

Les études portent sur l'ensemble des 9 755 dépressions reconnues par l'algorithme durant la période d'étude 1950-2000.

4.2.1 Données moyennes sur la période

Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
191,27	986,48	993,75	4,02	2562,44	60,59	56,87	58,38	53,11	64,00	124,18	146,18	135,31	26,59	- 3,72	21,99	7,27

Tableau 4.1. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000.

En moyenne, on enregistre 191 dépressions par an ce qui signifie une dépression toutes les 45 heures (soit 1 j et 21 h) (tableau 4.1). Les figures 4.1 et 4.2 présentent en situation moyenne les régions de cyclogenèses (région d'apparition des dépressions reconnues par l'algorithme) et de cyclolyse (région finale de reconnaissance).

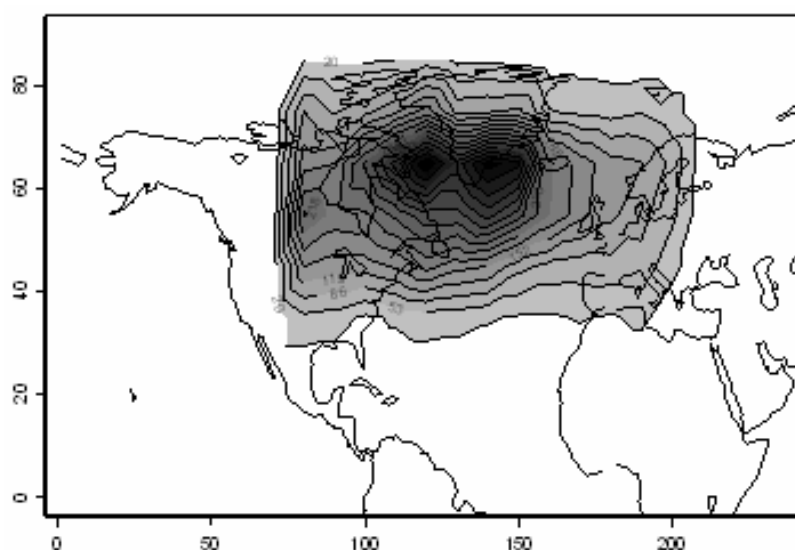


Figure 4.1. Régions des cyclogenèses en valeurs annuelles sur la période 1950-2000. La première courbe d'iso-cyclogenèse englobe les aires supérieures à 20 générations ($10^{\circ} \times 10^{\circ}$). Pour les longitudes, 0 correspond à 180° O et 200 à 20° E.

Il y a deux régions principales de génération, l'une sur la Mer du Labrador et l'autre sur le sud du Groenland représentées par les deux aires les plus foncées (figure 4.1). Dans ces régions les valeurs atteignent 400 générations.

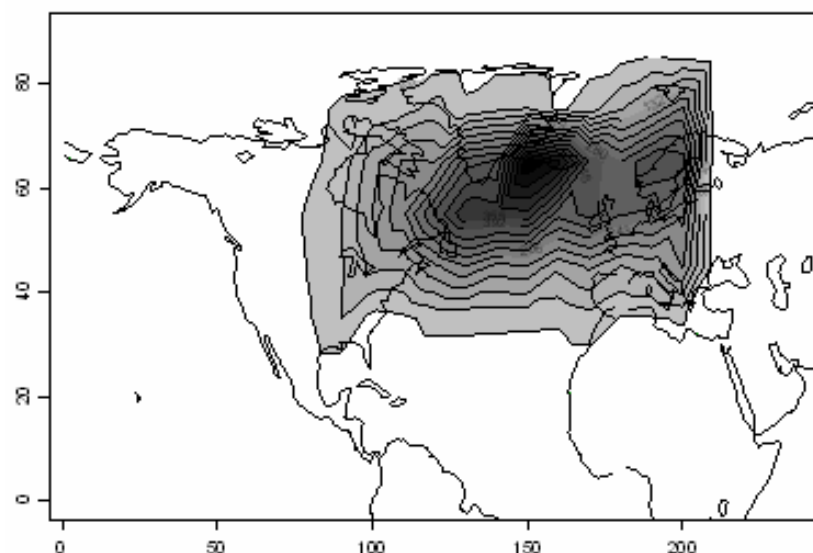


Figure 4.2. Régions des cyclolyses en valeurs annuelles sur la période 1950-2000. La première courbe d'iso-cyclolyse englobe les aires supérieures à 20 dissolutions ($10^{\circ} \times 10^{\circ}$). Pour les longitudes, 0 correspond à 180° et 200 à 20° E.

Les régions de cyclolyse les plus fréquentes sont situées au sud et sud-ouest du Groenland (figure 4.2), avec des valeurs maximales de 450.

Ces valeurs cadrent les phénomènes étudiés mais n'autorisent pas d'analyses. Il faut pour cela réduire l'échelle temporelle.

4.2.2 Les cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles

- Cycles annuels en valeurs saisonnières

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
JFM	57,31	982,67	991,04	3,88	2548,38	59,99	55,87	57,64	52,20	63,33	127,20	148,34	137,86	27,43	8,36	-4,12	21,14
AMJ	39,65	991,22	997,03	4,25	2503,41	57,77	55,21	56,18	51,15	61,61	123,05	142,24	132,81	24,56	5,81	-2,56	19,18
JAS	40,84	991,16	997,02	4,11	2577,10	63,43	59,20	60,89	55,75	66,45	120,12	144,15	132,27	26,17	5,86	-4,23	24,03
OND	53,47	983,50	991,76	3,95	2619,98	61,01	57,36	58,81	53,44	64,55	125,02	148,58	136,96	27,67	8,26	-3,66	23,56

Tableau 4.2. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.

Les dépressions, en hiver et en automne (tableau 4.2) :

- sont plus fréquentes,
- sont plus profondes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent et se combent à des longitudes plus orientales,
- se déplacent plus vite,
- ont un différentiel de pression plus élevé,
- ont des trajectoires plus méridiennes en hiver.

Les dépressions ont par contre des trajectoires plus zonales en été.

- Cycles annuels en valeurs mensuelles

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
Ja	20,92	981,25	990,03	3,81	2547,56	60,87	56,66	58,49	53,06	64,22	127,38	148,64	138,26	27,87	-4,21	21,26	8,78
Fe	17,92	982,47	990,97	3,89	2571,59	60,35	56,08	57,86	52,24	63,80	126,04	147,65	136,98	27,69	-4,27	21,61	8,49
Mr	18,47	984,77	992,43	4,00	2535,93	57,70	54,31	55,80	50,53	61,15	128,24	148,31	138,23	26,48	-3,39	20,07	7,66
Av	14,88	988,84	995,55	4,21	2490,67	55,30	53,89	54,36	49,45	59,57	126,48	145,58	136,29	24,63	-1,41	19,10	6,71
Ma	12,12	992,12	997,49	4,36	2498,09	56,93	54,64	55,51	50,49	60,86	123,83	141,92	133,30	23,89	-2,29	18,09	5,37
Ju	12,65	993,08	998,27	4,27	2563,27	61,24	57,43	58,93	53,75	64,66	118,10	138,72	128,18	24,97	-3,81	20,62	5,19
Jl	12,27	993,81	998,63	4,10	2468,95	64,00	59,29	61,21	56,15	66,68	118,75	139,94	129,39	25,14	-4,71	21,19	4,82
Ao	13,37	992,17	997,84	4,16	2584,47	63,86	59,54	61,30	56,21	66,83	120,37	144,22	132,69	26,06	-4,32	23,86	5,67
Se	15,20	988,09	994,99	4,13	2665,39	62,32	58,75	60,07	54,85	65,70	121,02	147,55	134,27	26,95	-3,57	26,52	6,91
Oc	17,47	985,22	993,05	4,00	2590,92	61,39	57,73	59,08	53,80	64,81	124,14	148,47	136,35	27,09	-3,66	24,33	7,83
No	18,27	983,72	992,00	4,00	2657,89	60,78	57,38	58,73	53,30	64,52	124,10	148,05	136,10	27,77	-3,40	23,94	8,28
De	17,73	981,42	990,13	3,87	2619,07	60,75	57,02	58,58	53,17	64,26	127,21	149,73	138,95	28,23	-3,74	22,52	8,71

Tableau 4.3. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.

Les dépressions, durant les mois hivernaux et automnaux (tableau 4.3 et figure 4.3) :

- sont plus fréquentes,
- sont plus profondes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales,
- se déplacent plus vite,
- ont un différentiel de pression plus élevé.

Elles ont des trajectoires plus zonales en été et plus méridiennes au printemps.

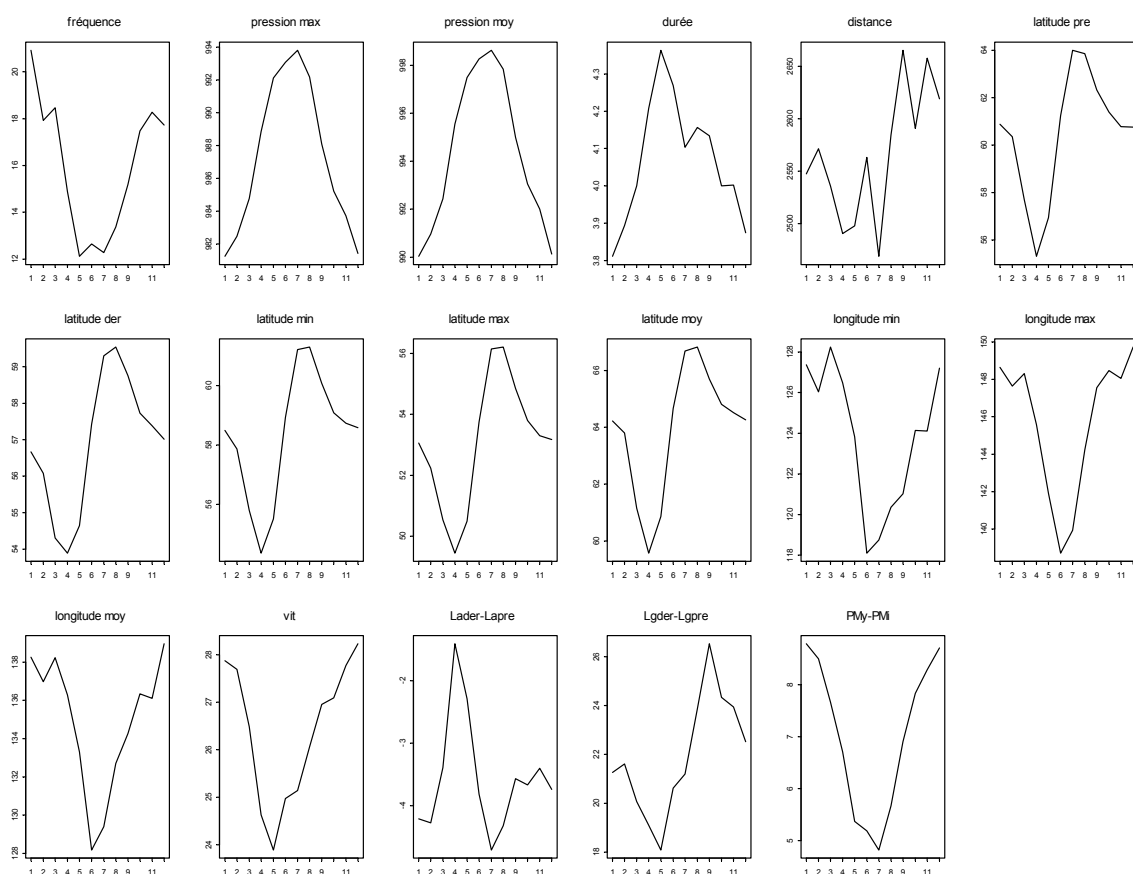


Figure 4.3. Cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions.

Tous les cycles sont unimodaux avec des minima durant les mois d'été comme la fréquence, la pression (moyenne et minimale), la durée, les longitudes (moyennes, maximales, minimales), la

vitesse de déplacement, la pression moyenne-pression minimale. Les autres cycles sont également unimodaux mais avec comme point d'inflexion le mois de mai. On constate donc bien une régularité des phénomènes sur l'ensemble de la période.

4.2.3 Densités de passage selon les saisons

Les fréquences par saisons sur les 51 années d'études sont de 2 923 en JFM, 2 022 en AMJ, 2 083 en JAS et 2 727 en OND.

On observe nettement les fluctuations des formes des trajectoires avec une forte extension méridienne en JFM et une zonalité dominante en JAS. Les deux autres saisons connaissent une situation hybride entre les deux modalités précédentes (figure 4.4).

Les régions de densités maximales varient peu entre les saisons. En toutes saisons la région de passage privilégiée, située au sud-sud-ouest du Groenland, est invariante.

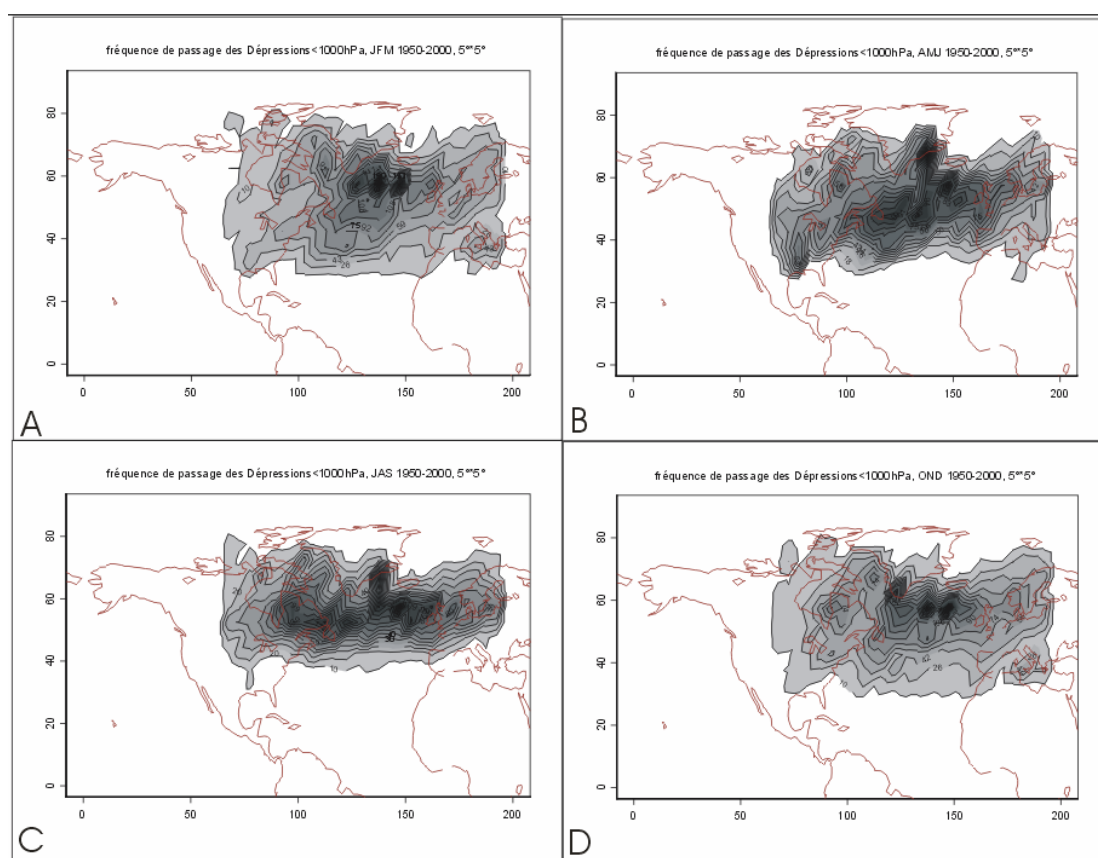


Figure 4.4. Densités de passage des dépressions < 1000 hPa dans des secteurs de 5°*5° selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. Les premières courbes d'iso-passage englobent les aires supérieures à 10 passages. Valeurs maximales de 150 en JFM, 91 en AMJ, 109 en JAS et 165 en OND. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

4.2.4 Les bandes zonales de génération en latitude des dépressions

Les dépressions sont validées (par le filtre) dans les bandes zonales de génération en latitude lorsque la première valeur de leurs trajectoires se situe entre les valeurs seuils.

Analyses des régions de génération des dépressions en fonction de la latitude (10°/10°) :

- Sur la période 1950-2000

	Fréquences	%
80-90°N	496	5.08
70-80°N	2254	23.11
60-70°N	3039	31.35
50-60°N	2152	22.06
40-50°N	1433	14.69
30-40°N	381	3.91

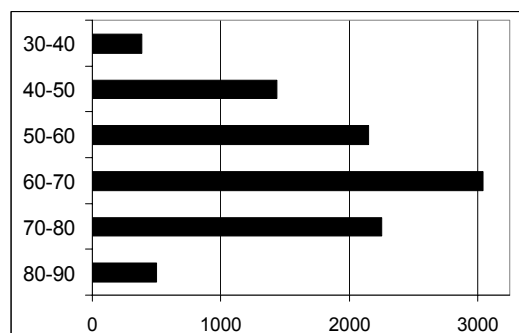


Tableau 4.4. Régions de génération en latitude 10°/10° en valeurs annuelles.

Figure 4.5. Régions de génération en latitude 10°/10° en valeurs annuelles.

Nous ne consacrons notre étude qu'aux quatre bandes zonales comprises entre 80 °N et 40 °N, les deux zones 90-80 °N et 40-30 °N ayant un nombre insuffisant pour autoriser une étude statistique significative (tableau 4.4 et figure 4.5).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
80-70	44,20	986,35	994,35	3,78	2785,67	72,92	62,13	66,56	123,84	151,79	137,93	30,75	-10,80	27,94	8,00
70-60	59,59	985,48	992,93	3,91	2483,88	63,69	59,21	61,19	129,86	151,35	140,68	26,48	-4,49	21,49	7,44
60-50	42,20	986,53	993,15	4,20	2403,40	53,88	54,43	54,08	123,20	141,61	132,49	23,88	0,55	18,42	6,63
50-40	28,10	987,89	994,48	4,38	2453,79	44,11	48,80	46,80	120,52	136,35	128,28	23,29	4,60	15,51	6,47

Tableau 4.5. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs annuelles.

La région de génération la plus prolifique est comprise entre les latitudes 70-60 °N, puis suivent les régions 80-70 °N, 60-50 °N et enfin 50-40 °N. Les dépressions qui apparaissent plus bas en latitude, durent plus longtemps, se combent plus à l'ouest, se déplacent moins vite et ont un différentiel de pression minimal. Cela signifie donc que les dépressions connaissent des «creux» de pression de faible amplitude) (tableau 4.5).

Il est à noter que les dépressions apparaissant au nord de 60 °N, se dissipent à des latitudes inférieures tandis que celles paraissant au sud se combent à des latitudes plus septentrionales par l'action du relief Groenlandais qui impose aux dépressions cette forme de trajectoire.

-En valeurs moyennes saisonnières

• Bande zonale de génération 80-70 °N

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
JFM	13,59	982,41	991,63	3,67	2807,06	72,89	61,85	66,42	124,91	153,24	139,52	31,89	-11,04	28,33	9,22
AMJ	7,63	991,67	997,89	3,95	2668,36	73,00	61,66	66,33	128,53	152,04	140,60	28,18	-11,33	23,51	6,22
JAS	10,53	991,22	997,47	3,91	2812,51	73,03	62,23	66,61	120,51	147,70	133,84	30,02	-10,80	27,19	6,24
OND	12,45	983,71	992,85	3,78	2888,98	72,93	62,19	66,62	123,76	154,54	139,19	31,92	-10,74	30,78	9,14

Tableau 4.6. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 80-70 °N en valeurs saisonnières.

Les dépressions, en hiver et automne (tableau 4.6) :

- sont plus fréquentes, plus profondes, durent moins longtemps, apparaissent à des latitudes plus méridionales, et se combent à des longitudes plus orientales,

- ont des vitesses de déplacement plus rapides, couvrent un espace en longitude maximal, ont un différentiel de pression maximum (donc que les dépressions connaissent des «creux» de pression plus marquées).

• Bande zonale de génération 70-60 °N

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
JFM	16,73	981,46	990,02	3,69	2396,61	63,91	59,12	61,36	134,43	154,76	144,53	27,04	-4,79	20,33	8,56
AMJ	10,25	991,03	996,96	4,16	2488,27	63,57	58,84	60,86	129,79	149,29	139,56	24,89	-4,73	19,50	5,93
JAS	14,27	990,59	996,42	4,07	2483,13	63,65	59,57	61,28	125,87	148,09	137,19	25,45	-4,08	22,22	5,83
OND	18,33	982,45	990,95	3,86	2578,21	63,60	59,21	61,15	128,96	152,17	140,64	27,79	-4,39	23,21	8,50

Tableau 4.7. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 70-60 °N en valeurs saisonnières.

Les dépressions, en hiver et automne (tableau 4.7) :

- sont plus fréquentes, plus profondes, durent moins longtemps, se combinent à des longitudes plus orientales,
- ont des vitesses de déplacement plus rapides, ont un différentiel de pression maximum.

• Bande zonale de génération 60-50 °N

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
JFM	10,57	981,52	989,43	4,09	2489,33	53,64	53,11	53,36	127,84	144,80	136,33	25,37	-0,53	16,96	7,91
AMJ	10,67	990,57	996,30	4,36	2432,56	53,71	53,77	53,55	121,61	137,94	129,96	23,25	0,06	16,34	5,73
JAS	10,35	991,63	996,97	4,28	2302,11	54,44	56,66	55,59	117,21	138,09	127,80	22,35	2,23	20,89	5,34
OND	10,61	982,31	989,93	4,03	2415,41	53,91	54,99	54,37	124,71	144,93	134,65	24,96	1,09	20,21	7,62

Tableau 4.8. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 60-50 °N en valeurs saisonnières.

Les dépressions, en hiver et automne (tableau 4.8) :

- sont plus profondes, durent moins longtemps, apparaissent et se combinent à des longitudes plus orientales,
- ont des vitesses de déplacement plus rapides, ont un différentiel de pression maximum.

• Bande zonale de génération 50-40 °N

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
JFM	9,71	984,83	992,18	4,25	2443,14	43,77	47,77	46,17	124,16	138,55	131,44	23,96	4,00	14,39	7,35
AMJ	7,94	991,33	996,85	4,63	2493,02	44,26	48,60	46,67	112,92	129,21	120,93	22,19	4,34	16,30	5,52
JAS	2,90	991,28	997,50	4,83	2705,70	45,17	53,48	49,88	111,27	133,75	121,89	23,34	8,32	22,48	6,22
OND	7,64	986,07	993,20	4,30	2459,76	44,09	49,60	47,12	122,33	138,53	130,32	23,79	5,51	16,20	7,13

Tableau 4.9. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 50-40 °N en valeurs saisonnières.

Les dépressions, en hiver et automne (tableau 4.9) :

- sont plus fréquentes, plus profondes, durent moins longtemps, apparaissent à des latitudes plus méridionales, apparaissent et se combinent à des longitudes plus orientales,
- ont des vitesses de déplacement plus rapides, ont un différentiel de pression maximum.

- En valeurs moyennes saisonnières selon les bandes zonales

• Valeurs en JFM

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
80-70	13,59	982,41	991,63	3,67	2807,06	72,89	61,85	66,42	124,91	153,24	139,52	31,89	-11,04	28,33	9,22
70-60	16,73	981,46	990,02	3,69	2396,61	63,91	59,12	61,36	134,43	154,76	144,53	27,04	-4,79	20,33	8,56
60-50	10,57	981,52	989,43	4,09	2489,33	53,64	53,11	53,36	127,84	144,80	136,33	25,37	-0,53	16,96	7,91
50-40	9,71	984,83	992,18	4,25	2443,14	43,77	47,77	46,17	124,16	138,55	131,44	23,96	4,00	14,39	7,35

Tableau 4.10. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs hivernales.

Les dépressions en hiver (tableau 4.10) :

- sont plus fréquentes, sont plus profondes, apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales, dans la zone 70-60 °N,
- durent plus longtemps, se déplacent moins vite, couvrent un espace en longitude minimal, et ont un différentiel de pression maximum, quand elles apparaissent au sud.

• Valeurs en AMJ

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
80-70	7,63	991,67	997,89	3,95	2668,36	73,00	61,66	66,33	128,53	152,04	140,60	28,18	-11,33	23,51	6,22
70-60	10,25	991,03	996,96	4,16	2488,27	63,57	58,84	60,86	129,79	149,29	139,56	24,89	-4,73	19,50	5,93
60-50	10,67	990,57	996,30	4,36	2432,56	53,71	53,77	53,55	121,61	137,94	129,96	23,25	0,06	16,34	5,73
50-40	7,94	991,33	996,85	4,63	2493,02	44,26	48,60	46,67	112,92	129,21	120,93	22,19	4,34	16,30	5,52

Tableau 4. 11. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs printanières.

Les dépressions au printemps (tableau 4.11) :

- sont plus fréquentes, sont plus profondes, dans la zone 60-50 °N,
- durent plus longtemps, se déplacent moins vite, apparaissent et se combrent à des longitudes plus occidentales, couvrent un espace en longitude minimal, ont un différentiel de pression maximum, quand elles apparaissent au sud.

• Valeurs en JAS

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
80-70	10,53	991,22	997,47	3,91	2812,51	73,03	62,23	66,61	120,51	147,70	133,84	30,02	-10,80	27,19	6,24
70-60	14,27	990,59	996,42	4,07	2483,13	63,65	59,57	61,28	125,87	148,09	137,19	25,45	-4,08	22,22	5,83
60-50	10,35	991,63	996,97	4,28	2302,11	54,44	56,66	55,59	117,21	138,09	127,80	22,35	2,23	20,89	5,34
50-40	2,90	991,28	997,50	4,83	2705,70	45,17	53,48	49,88	111,27	133,75	121,89	23,34	8,32	22,48	6,22

Tableau 4.12. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs estivales.

Les dépressions en été (tableau 4.12):

- sont plus fréquentes, sont plus profondes, apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales, dans la zone 70-60 °N,
- durent plus longtemps, quand elles apparaissent au sud.

• Valeurs en OND

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
80-70	12,45	983,71	992,85	3,78	2888,98	72,93	62,19	66,62	123,76	154,54	139,19	31,92	-10,74	30,78	9,14
70-60	18,33	982,45	990,95	3,86	2578,21	63,60	59,21	61,15	128,96	152,17	140,64	27,79	-4,39	23,21	8,50
60-50	10,61	982,31	989,93	4,03	2415,41	53,91	54,99	54,37	124,71	144,93	134,65	24,96	1,09	20,21	7,62
50-40	7,64	986,07	993,20	4,30	2459,76	44,09	49,60	47,12	122,33	138,53	130,32	23,79	5,51	16,20	7,13

Tableau 4.13. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs automnales.

Les dépressions en automne (tableau 4.13) :

- sont plus fréquentes, apparaissent à des longitudes plus orientales, dans la zone 70-60 °N,
- durent plus longtemps, se déplacent moins vite, se combrent à des longitudes plus occidentales, couvrent un espace en longitude minimal, ont un différentiel de pression minimum, quand elles apparaissent au sud.

4.2.5 Régions de génération en longitude des dépressions

Les dépressions sont validées (par le filtre) dans les aires de génération en longitude lorsque la première valeur de leurs trajectoires se situe entre les valeurs seuils choisies.

Analyses des régions de génération des dépressions en fonction de la longitude (10°/10°) sur la période 1950-2000.

	fréquences	%
70-80° (110-100°O)	764	7,82
80-90° (100-90°O)	660	6,75
90-100° (90-80°O)	778	7,96
100-110° (80-70°O)	1007	10,30
110-120° (70-60°O)	1297	13,27
120-130° (60-50°O)	1027	10,51
130-140° (50-40°O)	1171	11,98
140-150° (40-30°O)	1009	10,32
150-160° (30-20°O)	596	6,10
160-170° (20-10°O)	477	4,88
170-180° (10-0°O)	392	4,01
180-190° (0-10°E)	394	4,03
190-200° (10-20°E)	203	2,08

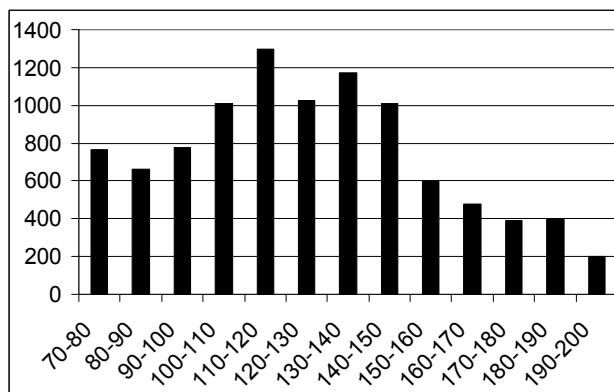


Tableau 4.14. Régions de génération en longitude 10°/10° en valeurs annuelles. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Figure 4.6. Régions de génération en longitude 10°/10° en valeurs annuelles.

La région de «production» principale des dépressions est comprise entre les longitudes 100° et 150° (80-30°O) (56,38 % des fréquences) (tableau 4.14 et figure 4.6).

Analyses des régions de génération des dépressions en fonction de la longitude (25°/25°) :

- Sur la période 1950-2000

	fréquences	%
50-75° (130-105°O)	393	4,03
75-100° (105-80°O)	1809	18,54
100-125° (80-55°O)	2782	28,52
125-150° (55-30°O)	2729	27,98
150-175° (30-5°O)	1280	13,12
175-200° (5°O-20°E)	762	7,81

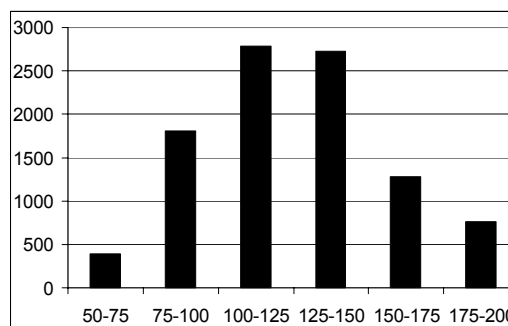


Tableau 4.15. Régions de génération en longitude 25°/25° en valeurs annuelles. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Figure 4.7. Aires de générations en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.

Les régions de production maximales sont comprises entre 100° et 125° (80-55 °O) suivie immédiatement de la région 125-150° (55-30 °O) (tableau 4.15 et figure 4.7).

Nous concentrons notre analyse sur les quatre régions comprises entre 75 et 175° (105-5 °O).

- En valeurs moyennes annuelles (selon les quatre régions principales de génération)

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
75-100	35,47	990,36	996,81	4,18	2918,53	59,76	56,25	57,70	52,05	63,67	86,51	118,44	103,01	29,10	-3,51	31,93	6,44
100-125	54,55	986,23	994,00	4,02	2711,84	61,14	57,71	59,17	53,59	65,12	111,59	137,17	124,45	28,13	-3,43	25,58	7,77
125-150	53,51	983,94	991,91	3,99	2493,99	61,61	57,52	59,07	53,93	64,67	135,74	155,57	145,70	26,07	-4,09	19,83	7,97
150-175	25,10	984,18	991,17	3,98	2144,62	59,12	56,20	57,36	52,89	62,06	160,25	173,47	166,73	22,48	-2,92	13,22	6,99

Tableau 4.16. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 25°/25° en valeurs annuelles.

La région de génération la plus importante est comprise entre les longitudes 100° et 125° (80-55 °O), suivie de la région 125-150° (55-30 °O), puis la région 75-100° (105-80 °O) et enfin la région 150-175° (30-5 °O) (tableau 4.16). Les pressions sont d'autant plus profondes que les dépressions apparaissent à des longitudes occidentales. Les distances parcourues et les durées des dépressions diminuent en fonction du déplacement vers l'est des régions de génération. Les longitudes de comblement des dépressions augmentent avec le déplacement vers l'est des lieux de génération. La vitesse de déplacement diminue avec le déplacement vers l'est des régions de génération. Les latitudes d'apparition, de comblement, le différentiel de pression sont maximaux dans les régions de génération les plus prolifiques.

- En valeurs moyennes saisonnières.

• Région de génération 75-100° (105-80 °O)

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
JFM	8,20	988,77	996,11	3,93	2913,82	58,70	55,45	56,52	50,66	62,77	87,28	118,95	103,72	31,01	-3,25	31,67	7,34
AMJ	8,00	993,26	998,35	4,40	2760,81	54,73	52,73	53,65	48,54	59,05	85,30	112,63	99,39	26,11	-2,00	27,33	5,09
JAS	9,47	991,99	997,69	4,39	2975,47	63,31	58,33	60,60	54,98	66,49	86,08	119,73	103,60	28,31	-4,98	33,65	5,71
OND	9,80	987,92	995,36	3,98	2958,43	61,05	57,51	58,90	53,02	65,13	87,03	121,03	104,63	31,01	-3,55	34,00	7,44

Tableau 4.17. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 75-100° (105-80 °O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.17):

- sont plus fréquentes, en été et en automne,
- sont plus profondes, durent moins longtemps, apparaissent à des longitudes plus orientales, ont des vitesses de déplacement plus rapides, ont un différentiel de pression maximum en hiver et automne.

• Région de génération 100-125° (80-55 °O)

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
JFM	17,96	982,55	991,62	3,90	2718,79	60,61	57,03	58,69	52,87	64,82	112,47	138,15	125,73	29,08	-3,59	25,68	9,07
AMJ	9,76	990,92	997,10	4,44	2678,56	56,48	55,46	55,79	50,47	61,48	111,31	131,85	121,39	25,13	-1,02	20,54	6,18
JAS	11,27	991,38	997,31	4,05	2668,21	64,12	59,33	61,25	55,98	67,10	110,36	135,93	122,78	27,56	-4,79	25,56	5,93
OND	15,55	983,78	992,33	3,95	2785,68	61,52	58,33	59,67	53,95	65,64	111,66	140,07	125,95	29,32	-3,19	28,41	8,55

Tableau 4.18. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 100-125° (80-55 °O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.18):

- sont plus fréquentes, plus profondes, durent moins longtemps et parcourent plus de distance,
- apparaissent et se comblent à des longitudes plus orientales, ont des vitesses de déplacement plus rapides, ont un différentiel de pression maximum en hiver et automne.

• Région de génération 125-150° (55-30 °O)

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
JFM	17,67	979,22	988,30	3,87	2451,39	60,46	56,36	58,00	52,88	63,39	135,67	154,60	144,98	26,47	-4,10	18,93	9,08
AMJ	11,61	990,09	996,46	4,22	2531,79	61,66	57,23	58,90	53,61	64,88	135,78	154,79	145,78	25,05	-4,43	19,01	6,37
JAS	9,84	990,65	996,85	4,04	2443,31	63,91	59,55	61,18	56,24	66,73	136,18	157,62	146,87	25,21	-4,36	21,44	6,20
OND	14,39	980,34	989,44	3,98	2544,52	60,86	57,50	58,64	53,56	64,13	135,41	156,12	145,73	26,72	-3,36	20,71	9,11

Tableau 4.19. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 125-150° (55-30 °O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.19):

- sont plus fréquentes, plus profondes, durent moins longtemps, apparaissent à des latitudes plus méridionales, et se comblent à des longitudes plus orientales,
- ont des vitesses de déplacement plus rapides, couvrent un espace en latitude maximal, ont un différentiel de pression maximum en hiver et automne.

• Région de génération 150-175° (30-5 °O)

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
JFM	7,55	980,77	988,31	3,78	2175,35	58,83	55,06	56,67	52,11	61,33	159,51	173,33	165,86	24,01	-3,77	13,82	7,54
AMJ	4,78	988,85	994,86	4,19	2030,39	57,42	56,04	56,35	52,40	60,58	160,65	172,62	166,39	20,21	-1,39	11,97	6,00
JAS	5,27	988,52	994,59	4,02	2128,88	61,90	59,72	60,45	55,98	65,17	160,58	175,14	168,10	22,14	-2,18	14,56	6,08
OND	7,53	980,98	988,89	4,03	2227,92	59,56	55,82	57,46	52,70	62,53	160,25	173,80	167,10	23,03	-3,74	13,55	7,91

Tableau 4.20. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 150-175° (30-5 °O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.20):

- sont plus fréquentes, plus profondes, parcourent plus de distance, apparaissent à des longitudes plus orientales,
- ont des vitesses de déplacement plus rapides, couvrent un espace en latitude maximal, ont un différentiel de pression maximum en hiver et automne.

- En valeurs moyennes saisonnières selon les régions

• Valeurs en JFM

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
75-100	8,20	988,77	996,11	3,93	2913,82	58,70	55,45	56,52	50,66	62,77	87,28	118,95	103,72	31,01	-3,25	31,67	7,34
100-125	17,96	982,55	991,62	3,90	2718,79	60,61	57,03	58,69	52,87	64,82	112,47	138,15	125,73	29,08	-3,59	25,68	9,07
125-150	17,67	979,22	988,30	3,87	2451,39	60,46	56,36	58,00	52,88	63,39	135,67	154,60	144,98	26,47	-4,10	18,93	9,08
150-175	7,55	980,77	988,31	3,78	2175,35	58,83	55,06	56,67	52,11	61,33	159,51	173,33	165,86	24,01	-3,77	13,82	7,54

Tableau 4.21. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs hivernales

Les dépressions en hiver (tableau 4.21) :

- sont plus fréquentes, apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales, ont un différentiel de pression accru, dans les régions 100-125° (80-55 °O) et 125-150° (55-30 °O),
- sont plus profondes, durent moins longtemps, parcourent moins de distance, et se déplacent moins vite quand elles apparaissent à l'est.

• Valeurs en AMJ

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
75-100	8,00	993,26	998,35	4,40	2760,81	54,73	52,73	53,65	48,54	59,05	85,30	112,63	99,39	26,11	-2,00	27,33	5,09
100-125	9,76	990,92	997,10	4,44	2678,56	56,48	55,46	55,79	50,47	61,48	111,31	131,85	121,39	25,13	-1,02	20,54	6,18
125-150	11,61	990,09	996,46	4,22	2531,79	61,66	57,23	58,90	53,61	64,88	135,78	154,79	145,78	25,05	-4,43	19,01	6,37
150-175	4,78	988,85	994,86	4,19	2030,39	57,42	56,04	56,35	52,40	60,58	160,65	172,62	166,39	20,21	-1,39	11,97	6,00

Tableau 4.22. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs printanières.

Les dépressions au printemps (tableau 4.22) :

- sont plus fréquentes, ont un différentiel de pression accru, dans les régions 100-125° (80-55°O) et 125-150° (55-30 °O),
- sont plus profondes, parcourent moins de distance, et se déplacent moins vite quand elles apparaissent à l'est.

• Valeurs en JAS

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
75-100	9,47	991,99	997,69	4,39	2975,47	63,31	58,33	60,60	54,98	66,49	86,08	119,73	103,60	28,31	-4,98	33,65	5,71
100-125	11,27	991,38	997,31	4,05	2668,21	64,12	59,33	61,25	55,98	67,10	110,36	135,93	122,78	27,56	-4,79	25,56	5,93
125-150	9,84	990,65	996,85	4,04	2443,31	63,91	59,55	61,18	56,24	66,73	136,18	157,62	146,87	25,21	-4,36	21,44	6,20
150-175	5,27	988,52	994,59	4,02	2128,88	61,90	59,72	60,45	55,98	65,17	160,58	175,14	168,10	22,14	-2,18	14,56	6,08

Tableau 4.23. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs estivales.

Les dépressions en été (tableau 4.23) :

- sont plus fréquentes, dans les régions 100-125° (80-55°O) et 125-150° (55-30 °O),
- apparaissent à des latitudes plus méridionales, dans les régions 75-100° (105-80 °O) et 175-200° (5 °O-20 °E),

- sont plus profondes, durent moins longtemps, parcourent moins de distance, et se déplacent moins vite quand elles apparaissent à l'est.

• Valeurs en OND

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
75-100	9,80	987,92	995,36	3,98	2958,43	61,05	57,51	58,90	53,02	65,13	87,03	121,03	104,63	31,01	-3,55	34,00	7,44
100-125	15,55	983,78	992,33	3,95	2785,68	61,52	58,33	59,67	53,95	65,64	111,66	140,07	125,95	29,32	-3,19	28,41	8,55
125-150	14,39	980,34	989,44	3,98	2544,52	60,86	57,50	58,64	53,56	64,13	135,41	156,12	145,73	26,72	-3,36	20,71	9,11
150-175	7,53	980,98	988,89	4,03	2227,92	59,56	55,82	57,46	52,70	62,53	160,25	173,80	167,10	23,03	-3,74	13,55	7,91

Tableau 4.24. Caractéristiques des dépressions dans les aires de génération 10°/10° en valeurs automnales.

Les dépressions en automne (tableau 4.24) :

- sont plus fréquentes, ont un différentiel de pression accru, dans les régions 100-125° (80-55 °O) et 125-150° (55-30 °O),
 - sont plus profondes, parcourent moins de distance, et se déplacent moins vite quand elles apparaissent à l'est.

4.2.6 Régions de comblement des dépressions en latitude

Les dépressions sont validées (par le filtre) dans les aires de génération en latitude lorsque la dernière valeur de leurs trajectoires dépasse les valeurs seuils choisies.

Régions de comblement des dépressions en latitude (10°/10°) :

- Sur la période 1950-2000

	Fréquence	%
>50 °N	7833	80,30
>60 °N	4442	45,54
>70 °N	900	9,23
>80 °N	75	0,77

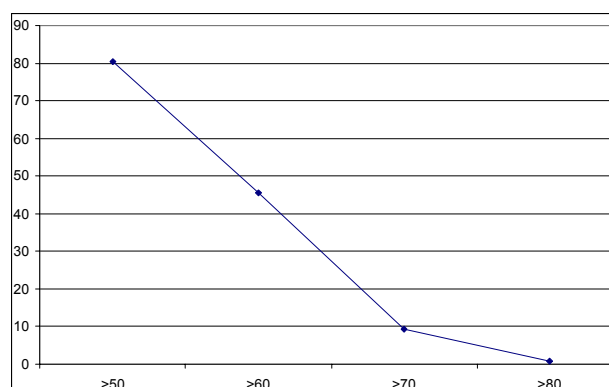


Tableau 4.25. Régions de comblement en latitude en valeurs annuelles.

Figure 4.8. Régions de comblement en latitude en valeurs annuelles.

Seules les régions d'arrivée supérieures à 50°, 60°, 70 °N sont analysées dans cette étude car les autres régions n'ont pas un nombre suffisant d'entités pour mener des analyses fiables. Les régions de comblement principales se situent entre les latitudes 70-60 °N et 60-50 °N avec plus de 30 % pour chaque intervalle. Les dépressions atteignant les latitudes supérieures à 80 °N sont relativement rares (tableau 4.25 et figure 4.8).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
>50	153,59	985,64	993,19	3,97	2588,48	63,38	60,29	61,39	56,10	67,06	123,65	147,92	135,90	27,20	-3,09	24,27	7,56
>60	87,10	984,58	992,57	3,84	2544,03	66,39	65,00	65,05	59,95	70,57	124,29	151,57	137,79	27,59	-1,39	27,28	7,99
>70	17,65	986,15	993,47	3,65	2428,41	69,25	73,37	70,25	65,12	75,59	125,74	157,94	141,48	27,74	4,13	32,20	7,31

Tableau 4.26. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement en valeurs annuelles.

Les dépressions qui sont capables d'atteindre des latitudes septentrionales (tableau 4.26) :

- sont moins nombreuses, durent moins longtemps, parcourent moins de distance, apparaissent et se combrent à des latitudes plus septentrionales,
- apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales, se déplacent plus rapidement et couvrent un espace en longitude maximum.

Les dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N, sont les plus profondes et ont le différentiel de pression maximum. Il convient de souligner que ce ne sont pas les dépressions les plus profondes qui atteignent les plus hautes latitudes.

- En valeurs moyennes saisonnières

• Région de comblement supérieure à 50 °N

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P- P
JFM	42,72	980,83	989,80	3,79	2576,11	64,11	60,49	61,88	56,31	67,75	126,27	149,88	138,25	28,37	-3,62	23,61	8,97
AMJ	29,69	990,71	996,68	4,22	2534,15	61,04	59,18	59,69	54,54	65,26	124,92	145,94	135,53	25,02	-1,87	21,03	5,97
JAS	37,96	991,01	996,89	4,09	2579,61	64,06	60,21	61,67	56,57	67,20	120,15	144,99	132,67	26,29	-3,85	24,84	5,88
OND	43,48	982,22	990,85	3,88	2655,24	63,60	60,72	61,71	56,32	67,45	123,26	149,57	136,47	28,54	-2,88	26,31	8,63

Tableau 4.27. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 50 °N en valeurs saisonnières.

Les dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N (tableau 4.27) :

- sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps, atteignent des latitudes maximales, et atteignent des longitudes plus orientales,
- se déplacent plus rapidement, couvrent un espace en longitude maximal, et ont un différentiel de pression maximal, en hiver et en automne.

• Région de comblement supérieure à 60 °N

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P- P
JFM	25,69	980,28	989,63	3,67	2500,95	66,75	65,12	65,33	60,16	70,92	125,04	151,18	138,15	28,45	-1,63	26,14	9,34
AMJ	14,45	990,50	996,61	4,07	2419,34	65,03	65,01	64,49	59,51	69,87	128,05	151,86	139,66	24,76	0,01	23,81	6,11
JAS	20,65	990,37	996,42	3,97	2538,10	66,64	64,82	65,02	60,04	70,46	122,61	150,23	136,24	26,66	-1,82	27,63	6,06
OND	26,31	981,45	990,44	3,81	2633,36	66,29	64,93	64,97	59,79	70,52	123,55	152,55	137,85	28,80	-1,37	28,99	8,99

Tableau 4.28. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 60 °N en valeurs saisonnières.

Les dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N (tableau 4.28) :

- sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps,
- atteignent des latitudes maximales, se déplacent plus rapidement, et ont un différentiel de pression maximal, en hiver et en automne.

• Région de comblement supérieure à 70 °N

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg -Lg	P-P
JFM	5,22	982,04	990,93	3,53	2448,37	69,08	73,35	70,18	65,07	75,30	127,68	159,16	142,96	29,23	4,27	31,49	8,88
AMJ	3,14	992,00	997,38	3,77	2275,91	68,52	73,17	70,03	65,29	74,93	124,42	156,98	141,05	25,03	4,65	32,56	5,38
JAS	4,25	992,27	997,51	3,72	2288,41	70,23	73,38	71,11	66,19	76,18	122,59	152,50	136,59	25,91	3,15	29,91	5,24
OND	5,18	981,97	990,86	3,67	2644,88	68,45	73,47	69,71	64,27	75,44	125,62	162,03	143,58	30,12	5,02	36,41	8,89

Tableau 4.29. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 70 °N en valeurs saisonnières.

Les dépressions ayant atteint les latitudes 70 °N (tableau 4.29) :

- sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps, parcourent plus de distance,
- apparaissent et atteignent des longitudes plus orientales, se déplacent plus rapidement, et ont un différentiel de pression maximal, en hiver et en automne.

- En valeurs moyennes saisonnières selon les régions de comblement

• Valeurs en JFM

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg-Lg	P-P
>50	42,72	980,83	989,80	3,79	2576,11	64,11	60,49	61,88	56,31	67,75	126,27	149,88	138,25	28,37	-3,62	23,61	8,97
>60	25,69	980,28	989,63	3,67	2500,95	66,75	65,12	65,33	60,16	70,92	125,04	151,18	138,15	28,45	-1,63	26,14	9,34
>70	5,22	982,04	990,93	3,53	2448,37	69,08	73,35	70,18	65,07	75,30	127,68	159,16	142,96	29,23	4,27	31,49	8,88

Tableau 4.30. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs hivernales.

En hiver, les dépressions atteignant les latitudes les plus septentrionales (tableau 4.30) :

- sont moins nombreuses, sont moins profondes, durent moins longtemps, parcourent moins de distance, apparaissent à des latitudes plus septentrionales,
- atteignent des longitudes plus orientales, se déplacent plus rapidement et parcourent un espace en longitude maximal.

• Valeurs en AMJ

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg-Lg	P-P
>50	29,69	990,71	996,68	4,22	2534,15	61,04	59,18	59,69	54,54	65,26	124,92	145,94	135,53	25,02	-1,87	21,03	5,97
>60	14,45	990,50	996,61	4,07	2419,34	65,03	65,01	64,49	59,51	69,87	128,05	151,86	139,66	24,76	-0,01	23,81	6,11
>70	3,14	992,00	997,38	3,77	2275,91	68,52	73,17	70,03	65,29	74,93	124,42	156,98	141,05	25,03	4,65	32,56	5,38

Tableau 4.31. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs printanières.

Au printemps, les dépressions atteignant les latitudes les plus septentrionales (tableau 4.31) :

- sont moins nombreuses, sont moins profondes, durent moins longtemps, parcourent moins de distance,
- apparaissent à des latitudes plus septentrionales, atteignent des longitudes plus orientales, couvrent un espace en longitude maximal.

• Valeurs en JAS

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg-Lg	P-P
>50	37,96	991,01	996,89	4,09	2579,61	64,06	60,21	61,67	56,57	67,20	120,15	144,99	132,67	26,29	-3,85	24,84	5,88
>60	20,65	990,37	996,42	3,97	2538,10	66,64	64,82	65,02	60,04	70,46	122,61	150,23	136,24	26,66	-1,82	27,63	6,06
>70	4,25	992,27	997,51	3,72	2288,41	70,23	73,38	71,11	66,19	76,18	122,59	152,50	136,59	25,91	3,15	29,91	5,24

Tableau 4.32. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs estivales.

En été, les dépressions ayant atteint les latitudes les plus septentrionales (tableau 4.32) :

- sont moins nombreuses, sont moins profondes, durent moins longtemps, parcourent moins de distance, apparaissent à des latitudes plus septentrionales,
- atteignent des longitudes plus orientales, se déplacent plus rapidement, et parcourent un espace en longitude maximal.

• Valeurs en OND

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg-Lg	P-P
>50	43,48	982,22	990,85	3,88	2655,24	63,60	60,72	61,71	56,32	67,45	123,26	149,57	136,47	28,54	-2,88	26,31	8,63
>60	26,31	981,45	990,44	3,81	2633,36	66,29	64,93	64,97	59,79	70,52	123,55	152,55	137,85	28,80	-1,37	28,99	8,99
>70	5,18	981,97	990,86	3,67	2644,88	68,45	73,47	69,71	64,27	75,44	125,62	162,03	143,58	30,12	5,02	36,41	8,89

Tableau 4.33. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs automnales.

En automne, les dépressions atteignant les latitudes les plus septentrionales (tableau 4.33) :

- sont moins nombreuses, sont moins profondes, durent moins longtemps, parcourent moins de distance, apparaissent à des latitudes plus septentrionales,
- apparaissent à, et atteignent des longitudes plus orientales, se déplacent plus rapidement, et couvrent un espace en longitude maximal.

Il est à noter que ce sont toujours les dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N qui sont les plus profondes et qui ont un différentiel de pression maximal.

4.2.7 Régions de comblement des dépressions en longitude

Les dépressions sont validées (par le filtre) dans les aires de génération en longitude lorsque la dernière valeur de leurs trajectoires dépasse les valeurs seuils.

- Sur la période 1950-2000

Quatre seuils sont retenus : les longitudes supérieures à 120° (60 °O), 140° (40 °O), 160° (20 °O), 180° (°O).

	Fréquence	%
>120° (60 °O)	7989	81.9
>140° (40 °O)	6064	62.37
>160° (20 °O)	3755	39.42
>180° (°O)	2076	22.54

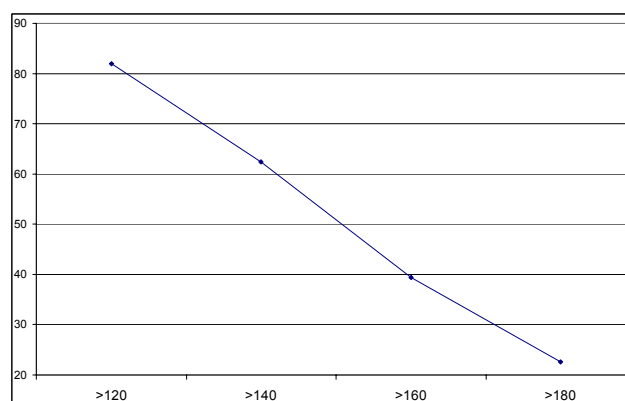


Tableau 4.34. Régions de comblement en longitude en valeurs annuelles. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Figure 4.9. Régions de comblement en longitude en valeurs annuelles.

La baisse de la fréquence des dépressions est régulière à chaque palier longitudinal (tableau 4.34 et figure 4.9).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La	Lg-Lg	P-P
>120	156,65	985,24	992,97	4,08	2654,30	61,30	57,38	58,97	53,66	64,68	132,04	156,21	144,28	27,10	-3,91	24,17	7,73
>140	118,90	984,33	992,32	4,11	2693,08	62,40	58,07	59,80	54,57	65,47	139,29	165,70	152,75	27,32	-4,33	26,40	7,99
>160	73,63	984,26	992,15	4,18	2773,83	62,48	58,47	59,98	54,91	65,53	148,58	178,16	163,81	27,65	-4,01	29,58	7,89
>180	40,71	985,36	992,98	4,11	2804,09	63,29	59,65	61,08	55,94	66,57	155,89	187,71	172,47	28,49	-3,63	31,82	7,63

Tableau 4.35. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement en valeurs annuelles.

Les dépressions qui atteignent les longitudes les plus orientales (tableau 4.35) :

- sont moins nombreuses,
- parcourent des distances plus longues,
- apparaissent et se dissipent à des latitudes septentrionales,
- apparaissent à des longitudes orientales,
- se déplacent plus rapidement,
- parcourent un espace en longitude maximal.

- En valeurs moyennes saisonnières

• Région de comblement supérieure à 120° (60 °O).

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
JFM	49,65	981,40	990,19	3,93	2608,70	60,60	56,23	58,13	52,69	63,87	132,72	155,50	144,26	27,73	-4,36	22,78	8,79
AMJ	30,37	990,49	996,63	4,37	2618,83	59,17	56,40	57,40	52,23	63,07	134,20	155,24	144,91	24,99	-2,77	21,04	6,14
JAS	31,51	990,60	996,77	4,21	2706,80	63,63	59,53	61,10	55,98	66,75	129,48	156,61	143,18	26,84	-4,10	27,13	6,17
OND	45,12	982,24	990,95	4,01	2699,09	61,65	57,70	59,27	53,91	65,02	131,66	157,30	144,65	28,08	-3,95	25,63	8,71

Tableau 4.36. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement >120° (60 °O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.36) :

- sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps, se déplacent plus vite, ont un différentiel de pression maximal, en hiver et en automne,
- apparaissent et se combinent à des latitudes les plus septentrionales, apparaissent à des longitudes plus occidentales, et couvrent un espace en longitude maximum, en été.

• Région de comblement supérieure à 140° (40 °O).

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
JFM	37,69	980,29	989,34	3,93	2627,94	61,85	56,84	58,97	53,66	64,64	139,74	164,68	152,38	27,95	-5,01	24,94	9,05
AMJ	22,73	990,05	996,36	4,40	2649,31	60,62	57,30	58,54	53,40	64,22	142,23	165,18	153,97	25,14	-3,31	22,95	6,31
JAS	23,90	990,01	996,41	4,24	2738,75	64,49	60,30	61,84	56,76	67,49	137,00	166,43	152,09	26,93	-4,19	29,43	6,41
OND	34,59	981,19	990,18	4,07	2768,14	62,66	58,29	60,00	54,72	65,73	138,59	166,64	152,91	28,39	-4,38	28,05	8,99

Tableau 4.37. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement >140° (40 °O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.37) :

- sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps, se déplacent plus vite, ont un différentiel de pression maximum, en hiver et en automne,
- apparaissent et se combinent à des latitudes les plus septentrionales, apparaissent à des longitudes plus occidentales, et couvrent un espace en longitude maximal, en été.

• Région de comblement supérieure à 160° (20 °O).

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
JFM	22,22	980,91	989,65	3,98	2741,16	61,77	57,41	59,24	54,16	64,61	149,16	178,61	163,99	28,80	-4,36	29,45	8,74
AMJ	13,76	989,93	996,23	4,48	2695,24	60,56	57,11	58,25	53,35	63,80	152,73	178,17	165,96	25,07	-3,45	25,44	6,30
JAS	15,31	989,51	995,97	4,35	2782,02	64,48	60,85	62,08	57,12	67,59	146,44	178,06	162,87	26,61	-3,63	31,61	6,46
OND	22,33	980,56	989,55	4,13	2841,43	62,97	58,78	60,32	55,13	66,05	147,23	178,04	163,20	28,73	-4,19	30,81	8,99

Tableau 4.38. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 160° (20 °O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.38) :

- sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps, se déplacent plus vite, parcourent un espace en longitude maximum, et possèdent un différentiel de pression maximal, en hiver et en automne,
- apparaissent et se combinent à des latitudes les plus septentrionales, et apparaissent à des longitudes plus occidentales en été.

• Région de comblement supérieure à 180° (°O).

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
JFM	12,51	982,19	990,65	3,96	2776,12	62,03	57,97	59,84	54,65	65,12	156,65	188,31	172,70	29,39	-4,06	31,65	8,46
AMJ	7,18	991,31	997,11	4,36	2693,52	61,21	58,35	59,17	54,16	64,66	161,69	188,39	175,68	25,81	-2,85	26,69	5,80
JAS	8,55	990,26	996,38	4,18	2770,34	65,59	62,73	63,67	58,73	68,99	153,21	187,40	171,00	27,76	-2,86	34,20	6,12
OND	12,47	982,10	990,91	4,08	2924,81	64,17	60,09	61,69	56,45	67,47	152,86	187,20	171,14	29,85	-4,08	34,33	8,81

Tableau 4.39. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement >180° (°O) en valeurs saisonnières.

Les dépressions (tableau 4.39) :

- sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps, parcourent plus de distance, se déplacent plus rapidement, couvrent un espace en latitude maximum, ont un différentiel de pression maximum, en hiver et en automne,
- apparaissent et se combent à des latitudes plus septentrionales en été.

En résumé, quelles que soient les longitudes atteintes par les dépressions, les constatations sont identiques :

- les dépressions sont plus nombreuses, plus profondes, durent moins longtemps,
- elles ont un différentiel de pression maximum, en hiver et en automne,
- elles apparaissent et se combent à des latitudes plus septentrionales en été.

- En valeurs moyennes saisonnières selon les régions de comblement

• Régions de comblement en JFM

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
>120	49,65	981,40	990,19	3,93	2608,70	60,60	56,23	58,13	52,69	63,87	132,72	155,50	144,26	27,73	-4,36	22,78	8,79
>140	37,69	980,29	989,34	3,93	2627,94	61,85	56,84	58,97	53,66	64,64	139,74	164,68	152,38	27,95	-5,01	24,94	9,05
>160	22,22	980,91	989,65	3,98	2741,16	61,77	57,41	59,24	54,16	64,61	149,16	178,61	163,99	28,80	-4,36	29,45	8,74
>180	12,51	982,19	990,65	3,96	2776,12	62,03	57,97	59,84	54,65	65,12	156,65	188,31	172,70	29,39	-4,06	31,65	8,46

Tableau 4.40. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement 10°/10° en valeurs hivernales.

Les dépressions qui atteignent les longitudes les plus orientales, en hiver (tableau 4.40):

- sont moins nombreuses, durent plus longtemps, parcourent plus de distance,
- apparaissent et se combent à des latitudes plus septentrionales, se déplacent plus rapidement, et apparaissent à des longitudes orientales.

• Régions de comblement en AMJ

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
>120	30,37	990,49	996,63	4,37	2618,83	59,17	56,40	57,40	52,23	63,07	134,20	155,24	144,91	24,99	-2,77	21,04	6,14
>140	22,73	990,05	996,36	4,40	2649,31	60,62	57,30	58,54	53,40	64,22	142,23	165,18	153,97	25,14	-3,31	22,95	6,31
>160	13,76	989,93	996,23	4,48	2695,24	60,56	57,11	58,25	53,35	63,80	152,73	178,17	165,96	25,07	-3,45	25,44	6,30
>180	7,18	991,31	997,11	4,36	2693,52	61,21	58,35	59,17	54,16	64,66	161,69	188,39	175,68	25,81	-2,85	26,69	5,80

Tableau 4.41. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement 10°/10° en valeurs printanières.

Les dépressions qui atteignent les longitudes les plus orientales, au printemps (tableau 4.41) :

- sont moins nombreuses, parcourent plus de distance,
- apparaissent et se combent à des latitudes plus septentrionales, se déplacent plus rapidement, et apparaissent à des longitudes orientales.

• Régions de comblement en JAS

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
>120	31,51	990,60	996,77	4,21	2706,80	63,63	59,53	61,10	55,98	66,75	129,48	156,61	143,18	26,84	-4,10	27,13	6,17
>140	23,90	990,01	996,41	4,24	2738,75	64,49	60,30	61,84	56,76	67,49	137,00	166,43	152,09	26,93	-4,19	29,43	6,41
>160	15,31	989,51	995,97	4,35	2782,02	64,48	60,85	62,08	57,12	67,59	146,44	178,06	162,87	26,61	-3,63	31,61	6,46
>180	8,55	990,26	996,38	4,18	2770,34	65,59	62,73	63,67	58,73	68,99	153,21	187,40	171,00	27,76	-2,86	34,20	6,12

Tableau 4.42. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement 10°/10° en valeurs estivales.

Les dépressions qui atteignent les longitudes les plus orientales, durant l'été (tableau 4.42):

- sont moins nombreuses, apparaissent et se combent à des latitudes plus septentrionales,
- se déplacent plus rapidement, et apparaissent à des longitudes orientales.

• Régions de comblement en OND

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
>120	45,12	982,24	990,95	4,01	2699,09	61,65	57,70	59,27	53,91	65,02	131,66	157,30	144,65	28,08	-3,95	25,63	8,71
>140	34,59	981,19	990,18	4,07	2768,14	62,66	58,29	60,00	54,72	65,73	138,59	166,64	152,91	28,39	-4,38	28,05	8,99
>160	22,33	980,56	989,55	4,13	2841,43	62,97	58,78	60,32	55,13	66,05	147,23	178,04	163,20	28,73	-4,19	30,81	8,99
>180	12,47	982,10	990,91	4,08	2924,81	64,17	60,09	61,69	56,45	67,47	152,86	187,20	171,14	29,85	-4,08	34,33	8,81

Tableau 4.43. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement 10°/10° en valeurs automnales.

Les dépressions qui atteignent les longitudes les plus orientales, en automne (tableau 4.43):

- sont moins nombreuses, parcourent plus de distance, apparaissent et se comblent à des latitudes plus septentrionales,
- se déplacent plus rapidement, apparaissent à des longitudes orientales.

Ce sont toujours les dépressions ayant atteint les longitudes supérieures à 160° (20 °O) qui sont les plus profondes, qui durent le plus longtemps et qui ont un différentiel de pression maximal.

Nous avons décrit les caractéristiques moyennes des dépressions inférieures à 1000 hPa. Nous allons maintenant traiter des dépressions en fonction de différents seuils de pression.

4.2.8 Analyses des dépressions selon les seuils de pression

L'analyse des dépressions est effectuée en fonction des seuils de pression inférieures à 990, 980, 970, 960 hPa. La répartition par seuil est réalisée par validation (par le filtre) d'une dépression dès qu'elle contient au moins une valeur durant son cycle d'existence en-dessous du seuil retenu.

- Sur la période 1950-2000

	fréquences	%
< 990 hPa	5204	53,35
< 980 hPa	2347	24,06
< 970 hPa	850	8,71
< 960 hPa	202	2,07

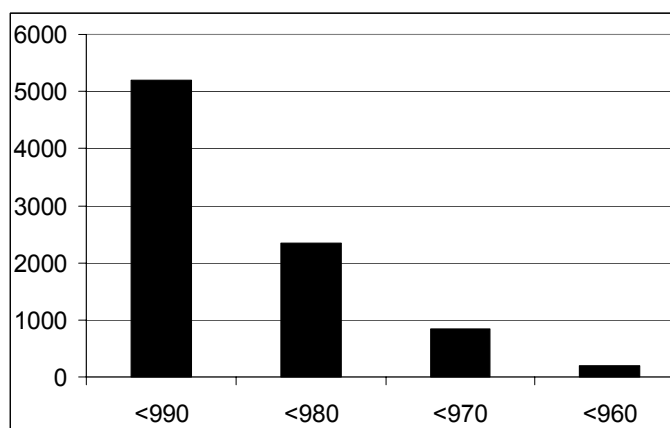


Tableau 4.44. Analyses des dépressions selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Figure 4.10. Analyses des dépressions selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

La moitié des dépressions atteint le seuil de 990 hPa, mais seulement 9 % ont des pressions inférieures à 970 hPa. En deçà de ce seuil il n'y a que 202 dépressions au cours de la période d'étude (tableau 4.44 et figure 4.10).

- En valeurs moyennes annuelles

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
<990	102,04	979,05	989,01	4,20	2718,54	61,32	58,02	59,24	53,85	64,98	127,70	152,15	140,14	26,99	-3,31	24,44	9,96
<980	46,02	971,12	982,98	4,26	2716,90	61,70	59,66	60,06	54,86	65,57	131,17	157,17	144,59	26,59	-2,04	25,99	11,86
<970	16,67	963,35	976,40	4,35	2677,47	61,94	60,78	60,66	55,66	65,88	134,23	160,68	148,15	25,68	-1,16	26,45	13,05
<960	3,98	955,62	968,40	4,16	2333,96	61,01	61,30	60,60	56,04	65,01	139,32	160,38	150,51	23,13	0,29	21,06	12,78

Tableau 4. 45. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs annuelles.

Les dépressions les plus profondes (tableau 4.45) :

- sont les moins nombreuses,
- durent plus longtemps et parcourent plus de distance (exception faite des dépressions inférieures à 960 hPa),
- apparaissent et se combent à des latitudes septentrionales,
- apparaissent et se combent à des longitudes orientales,
- se déplacent moins vite,
- couvrent un espace en latitude minimum et un espace en longitude maximum, (exception faite des dépressions < 960 hPa). Donc les trajectoires des dépressions profondes sont plus zonales,
- ont un différentiel de pression maximal, (exception faite des dépressions < 960 hPa).

- En valeurs saisonnières

Nous n'utilisons ici que les seuils 990, 980, 970 hPa du fait du trop faible nombre des dépressions inférieures à 960 hPa (202 sur la période 1950-2000).

a- Dépressions de pression inférieure à 990 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
JFM	38,61	976,90	987,19	4,00	2645,84	60,99	57,35	58,82	53,35	64,58	129,65	152,53	141,30	27,66	-3,64	22,88	10,29
AMJ	13,94	983,85	992,85	4,71	2724,38	57,85	56,28	56,64	51,59	62,05	127,32	148,24	137,99	24,06	-1,57	20,92	9,00
JAS	14,00	983,33	992,48	4,55	2867,23	63,65	59,79	61,13	55,74	67,00	123,59	151,63	137,78	26,33	-3,86	28,04	9,15
OND	35,49	977,89	988,15	4,12	2739,39	61,87	58,68	59,84	54,39	65,62	127,62	153,63	140,84	27,77	-3,19	26,00	10,26

b- Dépressions de pression inférieure à 980 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
JFM	21,59	970,29	982,05	4,11	2622,11	61,44	59,11	59,73	54,54	65,20	131,23	155,22	143,58	26,67	-2,34	23,99	11,76
AMJ	2,90	975,38	986,95	4,98	2732,14	57,60	57,62	57,20	52,24	62,33	132,97	154,51	144,35	22,89	0,02	21,55	11,57
JAS	3,24	974,44	986,29	5,06	3072,19	62,53	60,77	60,72	54,89	67,01	127,96	158,73	144,63	25,92	-1,76	30,77	11,84
OND	18,35	971,07	983,01	4,30	2790,39	62,08	60,02	60,46	55,21	65,99	131,40	159,19	145,69	27,15	-2,06	27,79	11,94

c- Dépressions de pression inférieure à 970 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
JFM	9,06	962,99	975,76	4,32	2604,49	61,31	60,14	60,07	55,11	65,24	133,77	157,61	145,99	25,16	-1,18	23,84	12,77
AMJ	1,06	965,88	978,62	4,56	2645,02	62,39	62,08	61,38	56,49	66,30	138,22	167,79	154,57	24,09	0,31	29,58	12,74
JAS	0,51	964,37	977,09	4,48	2483,41	61,74	63,26	61,50	56,64	66,44	133,94	165,23	151,32	22,22	1,53	31,30	12,72
OND	6,73	963,38	976,62	4,45	2800,85	62,43	61,00	60,95	55,87	66,34	135,27	163,54	150,38	26,01	-1,43	28,27	13,24

Tableaux 4.46. Caractéristiques des dépressions en fonction des seuils de pression : (a) 990 hPa, (b) 980 hPa, (c) 970 hPa, en valeurs saisonnières.

Les cycles saisonniers des caractéristiques sont similaires pour les dépressions, quels que soient les seuils de pression considérés (tableaux 4.46) :

- fréquence maximale en hiver et minimale en été,
- pression minimale en hiver et maximale en été,
- durée minimale en hiver et maximale en été,

- vitesse de déplacement maximale en hiver et minimale en été,
 - différentiel de pression maximal en hiver et minimal en été,
- Lorsqu'il s'agit des latitudes les choses sont plus complexes : les latitudes sont minimales au printemps et maximales en été.

- En valeurs moyennes saisonnières en fonction des seuils de pression

• Valeurs en JFM

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
<990	38,61	976,90	987,19	4,00	2645,84	60,99	57,35	58,82	53,35	64,58	129,65	152,53	141,30	27,66	-3,64	22,88	10,29
<980	21,59	970,29	982,05	4,11	2622,11	61,44	59,11	59,73	54,54	65,20	131,23	155,22	143,58	26,67	-2,34	23,99	11,76
<970	9,06	962,99	975,76	4,32	2604,49	61,31	60,14	60,07	55,11	65,24	133,77	157,61	145,99	25,16	-1,18	23,84	12,77

Tableau 4.47. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs hivernales.

Les dépressions les plus profondes, en hiver (tableau 4.47) :

- sont moins nombreuses,
- durent plus longtemps,
- parcourent moins de distance,
- se dissipent à des latitudes plus septentrionales,
- ont des latitudes minimales et maximales plus septentrionales,
- apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales,
- se déplacent moins rapidement,
- couvrent un espace en latitude minimum,
- ont un différentiel de pression maximal.

• Valeurs en AMJ

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
<990	13,94	983,85	992,85	4,71	2724,38	57,85	56,28	56,64	51,59	62,05	127,32	148,24	137,99	24,06	-1,57	20,92	9,00
<980	2,90	975,38	986,95	4,98	2732,14	57,60	57,62	57,20	52,24	62,33	132,97	154,51	144,35	22,89	0,02	21,55	11,57
<970	1,06	965,88	978,62	4,56	2645,02	62,39	62,08	61,38	56,49	66,30	138,22	167,79	154,57	24,09	-0,31	29,58	12,74

Tableau 4.48. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs printanières.

Les dépressions les plus profondes, au printemps (tableau 4.48) :

- sont moins nombreuses,
- durent plus longtemps, exception faite des dépressions inférieures à 970 hPa,
- se dissipent à des latitudes plus septentrionales,
- ont des latitudes minimales et maximales plus septentrionales,
- apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales,
- couvrent un espace en longitude maximum,
- ont un différentiel de pression maximal.

• Valeurs en JAS

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
<990	14,00	983,33	992,48	4,55	2867,23	63,65	59,79	61,13	55,74	67,00	123,59	151,63	137,78	26,33	-3,86	28,04	9,15
<980	3,24	974,44	986,29	5,06	3072,19	62,53	60,77	60,72	54,89	67,01	127,96	158,73	144,63	25,92	-1,76	30,77	11,84
<970	0,51	964,37	977,09	4,48	2483,41	61,74	63,26	61,50	56,64	66,44	133,94	165,23	151,32	22,22	1,53	31,30	12,72

Tableau 4.49. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs estivales.

Les dépressions les plus profondes, en été (tableau 4.49) :

- sont moins nombreuses,
- durent plus longtemps, exception faite des dépressions inférieures à 970 hPa,
- apparaissent à des latitudes plus méridionales,
- se dissipent à des latitudes plus septentrionales,
- apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales,

- se déplacent moins rapidement,
- parcourent un espace en latitude minimum,
- couvrent un espace en longitude maximum,
- ont différentiel de pression maximum.

• Valeurs en OND

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La- La	Lg - Lg	P-P
<990	35,49	977,89	988,15	4,12	2739,39	61,87	58,68	59,84	54,39	65,62	127,62	153,63	140,84	27,77	-3,19	26,00	10,26
<980	18,35	971,07	983,01	4,30	2790,39	62,08	60,02	60,46	55,21	65,99	131,40	159,19	145,69	27,15	-2,06	27,79	11,94
<970	6,73	963,38	976,62	4,45	2800,85	62,43	61,00	60,95	55,87	66,34	135,27	163,54	150,38	26,01	-1,43	28,27	13,24

Tableau 4.50. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs automnales.

Les dépressions les plus profondes, en automne (tableau 4.50) :

- sont moins nombreuses,
- durent plus longtemps,
- parcourent moins de distance,
- apparaissent et se dissipent à des latitudes plus septentrionales,
- ont des latitudes minimales et maximales plus septentrionales,
- apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales,
- se déplacent moins rapidement,
- couvrent un espace en latitude minimum,
- parcourent un espace en longitude maximum,
- ont un différentiel de pression maximum.

4.2.9 Densités de passage des dépressions en fonction des seuils de pression

Les valeurs maximales atteintes sont de 360 pour les dépressions < 990, 250 pour les dépressions < 980, 85 pour les dépressions < 970 et de 40 pour les dépressions < 960 hPa.

Il apparaît nettement que, plus les dépressions sont profondes, moins leur aire d'occurrence est étendue. En effet, des dépressions inférieures à 990 hPa, peuvent se produire sur la totalité de l'espace aérologique. Mais en fonction du creusement barométrique, l'aire se resserre dans les quatre directions.

En revanche, la région de densité maximale reste la même, quels que soient les seuils de pression, cette région est située au sud-sud-est du Cap Farewell (figure 4.11).

Les grandes spécificités à l'échelle moyenne (période, saisons et mois) des dépressions ont été décrites. Nous allons maintenant étudier l'évolution des paramètres durant la seconde moitié du XX^e siècle.

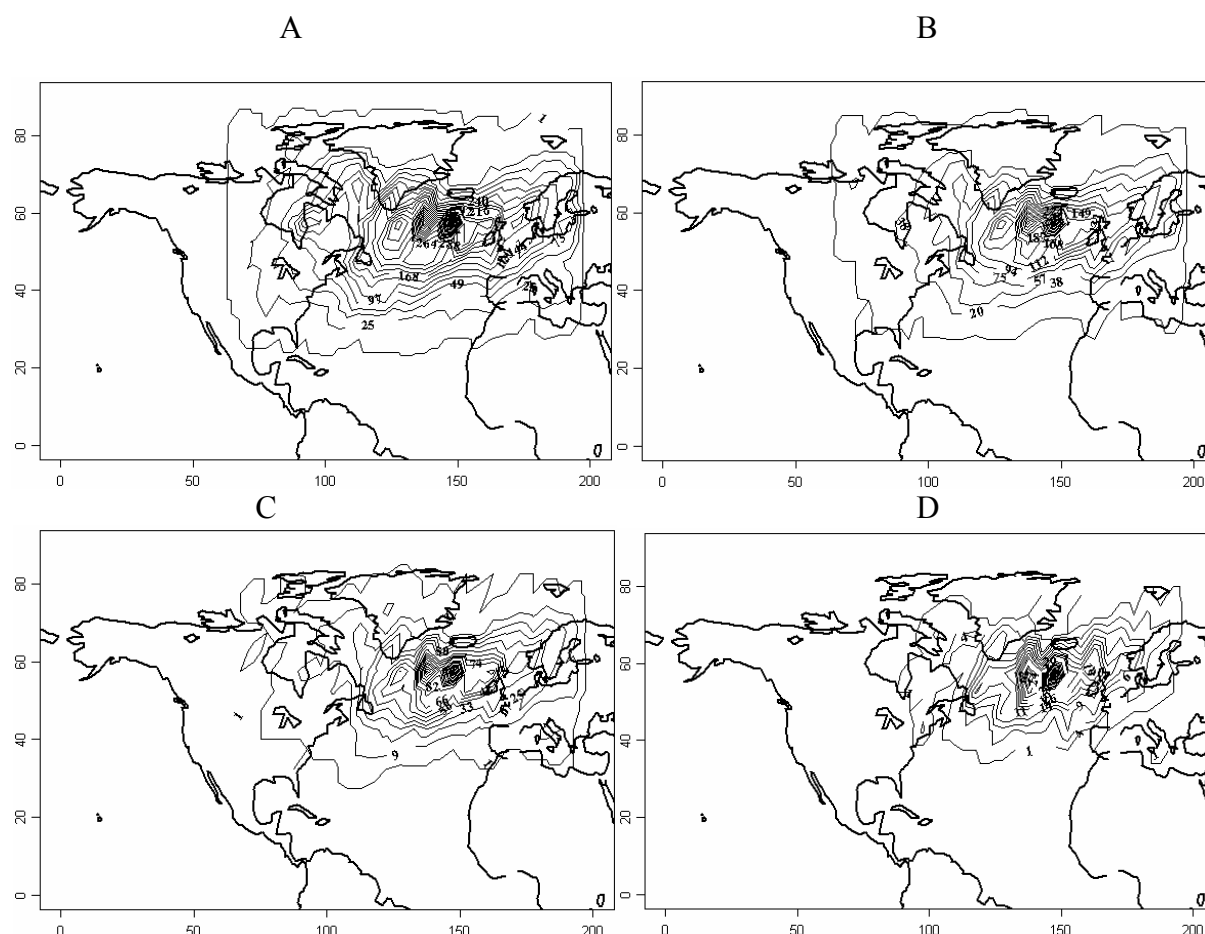


Figure 4.11. Densités de passage des dépressions dans des secteurs de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. A < 990, B < 980, C < 970, D < 960 hPa. Les premières courbes d'iso-passages englobent les aires supérieures à 1 passage. Pour les longitudes 0 correspond à 180° O et 200 à 20° E.

4.3 Analyses de l'évolution à partir des séries temporelles

L'analyse des évolutions au cours de la période 1950-2000 est fondée sur l'analyse de tableaux et de graphiques (de tous les paramètres) concernant dans un premier temps les valeurs annuelles puis les valeurs saisonnières.

4.3.1 Tableaux de tendances d'évolution des variables en fonction des seuils de pression

Tableaux récapitulant les coefficients de variation des courbes de tendance (régression linéaire), et les coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications aux échelles temporelles annuelle et saisonnières.

a- Les dépressions < 1000 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
An	0,22 0,07	- 0,02 0,12	- 0,01 0,1	0,76 0,01	0,00 0,09	0,02 0,08	0,03 0,15	0,03 0,13	- 0,05 0,10	- 0,05 0,01	- 0,03 0,07	0,02 0,14	0,00 0,03	0,03 0,08	0,00 0,09
JFM	0,05 0,01	- 0,05 0,12	- 0,02 0,08	2,9 0,06	0,18 0,27	0,08 0,21	0,11 0,25	0,09 0,24	- 0,11 0,1	0,04 0,01	- 0,02 0,00	0,06 0,20	0,00 0,07	0,00 0,15	0,02 0,12
AMJ	0,05 0,02	0,02 0,09	0,01 0,07	0,0 0,04	- 1,03 0,00	- 0,01 0,02	0,00 0,00	- 0,01 0,01	0,02 0,00	0,00 0	0,01 0,00	0,00 0,00	0,01 0,02	- 0,04 0,02	0,00 0,05
JAS	0,05 0,02	- 0,01 0,06	0,00 0,03	0,75 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	- 0,12 0,10	- 0,13 0,13	- 0,13 0,13	0,01 0,0	- 0,01 0,01	0,0 0,0	0,00 0,07
OND	0,06 0,02	- 0,02 0,04	- 0,02 0,06	- 0,2 0,0	0 0	0,01 0,02	0,01 0,01	0,01 0,02	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	- 0,02 0	0,0 0,0

b- Les dépressions < 990 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
An	0,17 0,06	- 0,03 0,13	- 0,02 0,1	0,75 0	0 0,05	0,04 0,1	0,06 0,17	0,04 0,14	- 0,03 0,03	0,01 0	0 0	0,03 0,11	- 0,02 0,06	0,05 0,08	0 0,08
JFM	0,12 0,08	- 0,05 0,11	- 0,03 0,07	3,4 0,06	0 0,1	0,1 0,24	0,12 0,26	0,13 0,23	- 0,11 0,08	0,1 0,06	0 0	0,07 0,2	0 0	0,25 0,38	0,02 0,08
AMJ	- 0,2 0	0,01 0,04	0 0,05	5,46 0,03	0 0	- 0,02 0	0 0	- 0,01 0	- 0,04 0	0 0	- 0,01 0	0,03 0,05	0,02 0,06	0,04 0	0 0
JAS	0,06 0,07	0 0	0 0	- 8,3 0,1	0 0,03	0 0	- 0,01 0	0 0	0,01 0	- 0,14 0,02	- 0,08 0,05	- 0,05 0,05	0 0	- 0,19 0,17	0 0,01
OND	0,06 - 0,02	- 0,02 0,02	- 0,02 0,03	- 0,75 0	0 0	0,02 0,03	0,02 0,01	0,03 0,02	0,04 0,01	0,02 0	0,02 0	0 0	0 0,02	- 0,03 0	0 0

c- Les dépressions < 980 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
An	0,17 0,1	0,03 0,11	0 0,07	2,4 0,03	0 0,04	0,04 0,08	0,06 0,14	0,05 0,11	- 0,08 0,09	0 0	- 0,05 0,04	0,05 0,16	- 0,03 0,04	0,11 0,11	0 0,02
JFM	0,14 0,1	- 0,04 0,11	- 0,03 0,05	1,33 0	0 0,1	0,09 0,11	0,1 0,13	0,11 0,12	- 0,09 0,06	0,1 0,04	0 0	0,07 0,13	0 0	0,23 0,2	0,01 0,03
AMJ	- 0,02 0,05	0 0,01	0 0	15,19 0,05	0,03 0,13	- 0,09 0,07	- 0,07 0,04	- 0,11 0,05	- 0,2 0,02	- 0,12 0	- 0,2 0,03	0,02 0	0,03 0,01	0,16 0,02	0,02 0,03
JAS	0,01 0,01	- 0,02 0,01	- 0,02 0,01	- 9,51 0,02	- 0,01 0	0,04 0	0 0	0 0	- 0,06 0	- 0,21 0,03	- 0,16 0,02	- 0,04 0,01	0 0	- 0,15 0,02	0 0
OND	0,06 0,03	- 0,02 0,01	- 0,02 0,02	- 0,44 0	0 0,04	0,02 0,03	0,03 0,03	0,04 0,04	- 0,02 0	- 0,02 0	- 0,03 0	0,03 0,04	- 0,01 0,03	0 0	0 0

d- Les dépressions < 970 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit	La-La
An	0,14 0,15	- 0,02 0,06	0,01 0,01	1,01 0	0 0,05	0,01 0	0,03 0,02	0,02 0,01	- 0,04 0,01	0,01 0	0 0	0,05 0,08	0 0	0,1 0,04	0,01 0
JFM	0,12 0,16	- 0,01 0	- 0,02 0,01	- 3,3 0	- 0,01 0,05	0,07 0,04	0,07 0,06	0,06 0,05	- 0,06 0,01	0,1 0,02	0,05 0	0,06 0,04	- 0,01 0	0,22 0,07	0 0
AMJ															
JAS															
OND	0,03 0,02	- 0,03 0,05	- 0,02 0	3,34 0	0 0	- 0,01 0,01	- 0,01 0	- 0,02 0	- 0,11 0,02	- 0,12 0,02	- 0,13 0,03	0,05 0,03	0,02 0,02	0 0	0,01 0

Tableaux 4.51. Coefficients de variation des courbes de tendance (régression linéaire) et coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications pour les échelles temporelles annuelle et saisonnières : JFM, AMJ, JAS, OND, selon les seuils de pression (a) 1000 hPa, (b) 990 hPa, (c) 980 hPa, (d) 970 hPa.

Les tableaux 4.51 résument les tendances d'évolution des quinze variables décrivant le comportement des dépressions selon les seuils de pression. Nous analysons les tendances pour les dépressions inférieures à 1000 hPa :

- les fréquences augmentent pour toutes les échelles temporelles,
- les pressions minimales diminuent en valeurs annuelles, hivernales, estivales et automnales et augmentent en valeurs printanières,
- les pressions moyennes diminuent en valeurs annuelles, hivernales, automnales, augmentent en valeurs printanières et les valeurs estivales sont invariantes,
- les durées augmentent en valeurs annuelles, hivernales et estivales, stagnent en valeurs printanières et diminuent en valeurs automnales,
- les distances sont stables en valeurs annuelles, estivales et automnales, s'allongent en valeurs hivernales et diminuent en valeurs printanières,
- les latitudes maximales, minimales et moyennes se décalent vers le nord en valeurs annuelles, hivernales et automnales et stagnent en valeurs printanières et estivales,
- les longitudes minimales, maximales et moyennes baissent en valeurs annuelles, hivernales et estivales et augmentent en valeurs printanières et stagnent en valeurs automnales,
- les vitesses augmentent en valeurs annuelles, hivernales et estivales et restent stables en valeurs printanières et automnales,
- les différentiels de latitude restent stables en valeurs annuelles, hivernales et automnales, augmentent en valeurs printanières et baissent en valeurs estivales,
- les différentiels de longitude ne fluctuent pas en valeurs hivernales et estivales, baissent en valeurs printanières, automnales et augmentent en valeurs annuelles.

Il n'y a pas de tendances pour les valeurs des dépressions inférieures à 970 hPa car l'échantillon est trop réduit, ce qui interdit toute analyse statistique fiable.

4.3.2 Evolutions des variables à l'échelle annuelle et saisonnière

En valeurs annuelles

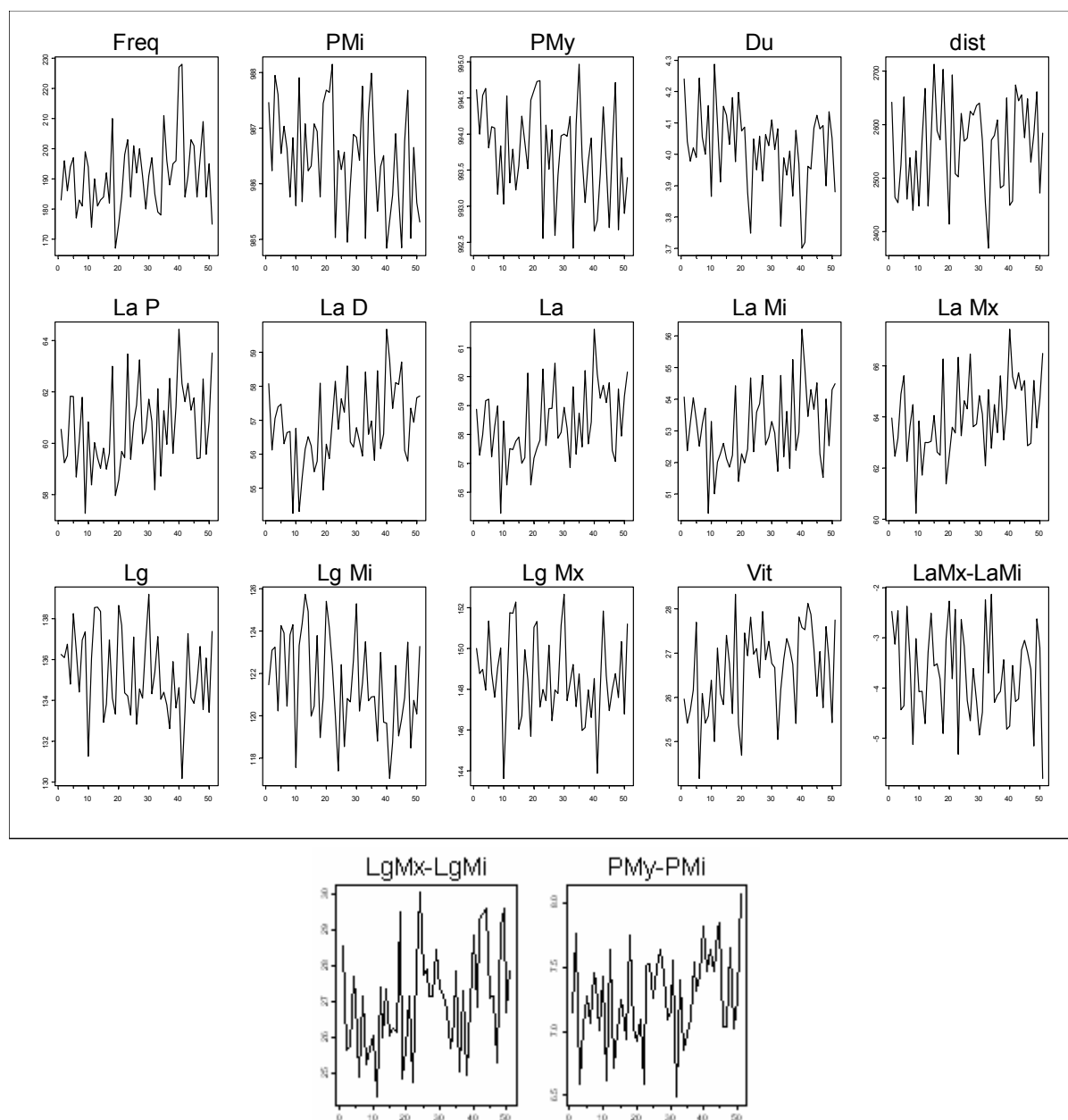


Figure 4.12. Série temporelle sur la période 1950-2000 des caractéristiques des dépressions en valeurs annuelles. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Plusieurs variables évoluent de façon régulière sur l'ensemble de la période (figure 4.12) :

- les pressions minimales, moyennes, les longitudes (maximales, minimales, moyennes) et les durées diminuent de 1950 à 2000,
- les vitesses, l'espace couvert en longitude et les distances augmentent sur la période 1950-2000,

- les latitudes (premières, dernières, maximales, minimales, moyennes) et les fréquences ont une évolution particulière. Une baisse de 1950 à 1970 suivie d'une forte augmentation jusqu'en 2000 avec deux maxima en 1989-1990.

• En valeurs hivernales

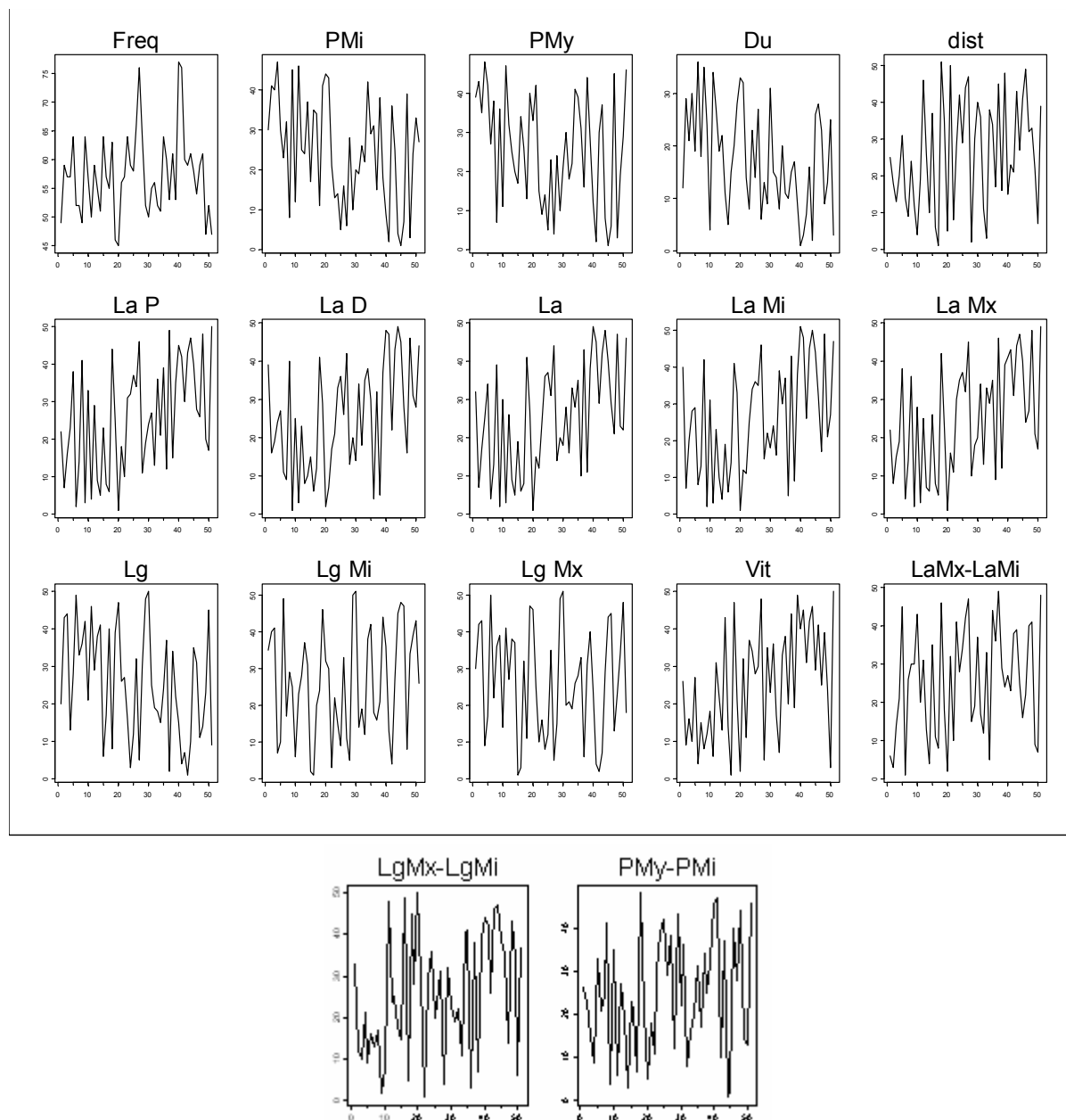


Figure 4.13. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des dépressions en valeurs hivernales. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Les évolutions hivernales sont semblables à celles décrites pour les valeurs annuelles (figure 4.13).

Afin de préciser les analyses nous caractérisons quelques variables aux échelles de temps annuelles et saisonnières.

- Fréquence :

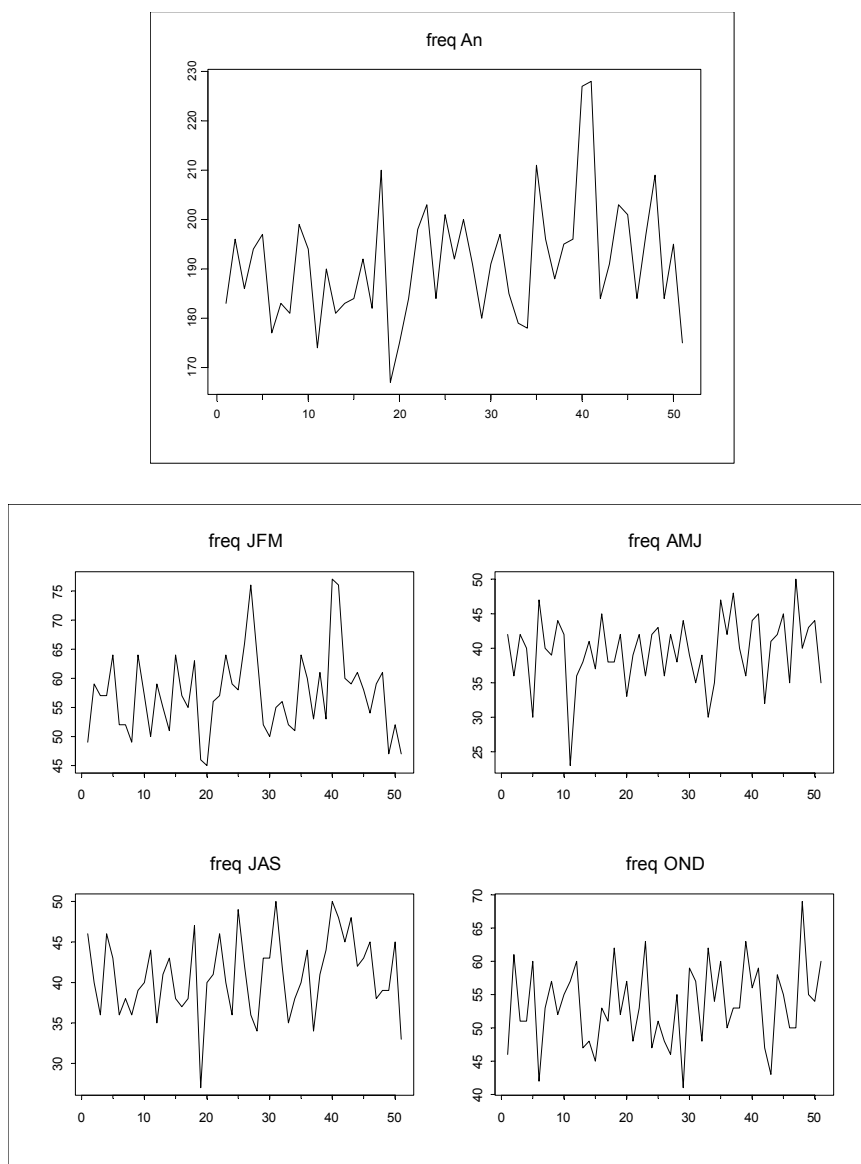


Figure 4.14. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des fréquences en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Quelle que soit la période envisagée, on observe une augmentation marquée du nombre de dépressions. Les valeurs hivernales connaissent la même évolution avec une baisse de 1950 à 1970, suivie d'une hausse sur le reste de la période avec un maximum en 1989-1990. Pour les valeurs AMJ et JAS l'évolution est plus constante sur l'ensemble de la période. Enfin, les dépressions en OND ont vu leurs fréquences diminuer régulièrement durant les 30 premières années d'observations, puis il y a eu une forte reprise d'activité (figure 4.14).

- Pression minimale :

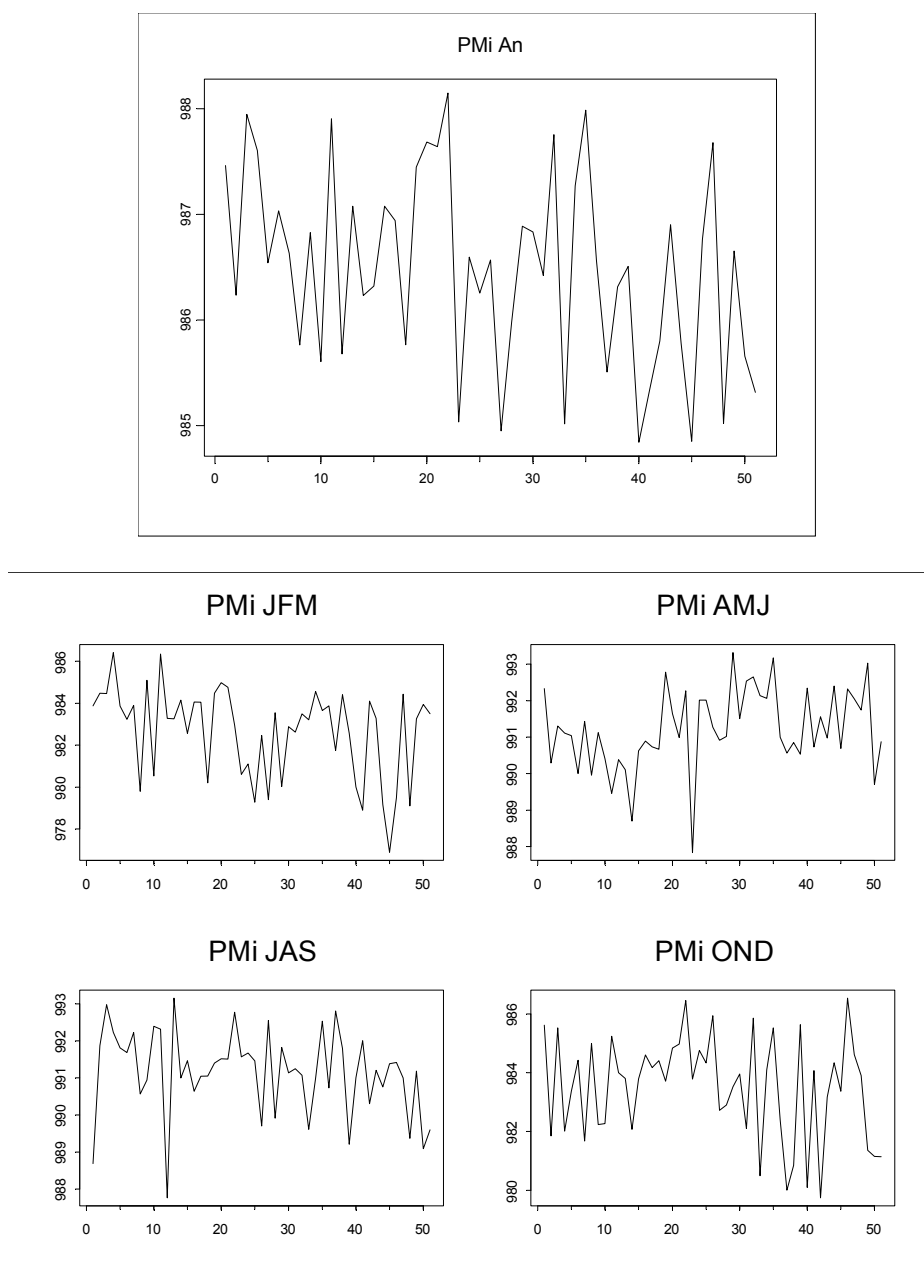


Figure 4.15. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des pressions minimales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Aux échelles annuelles, hivernales, estivales et automnales, on remarque un creusement régulier des dépressions. En revanche au printemps, on observe deux périodes aux tendances opposées. Le creusement des dépressions de 1950 à 1965 est ainsi suivi d'une réaugmentation des pressions jusqu'en 2000 (figure 4.15)

- Latitude moyenne des trajectoires :

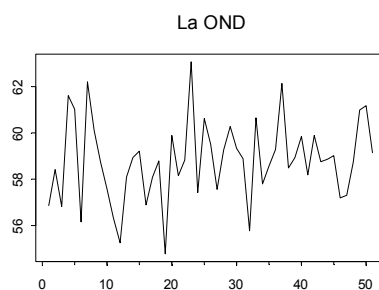
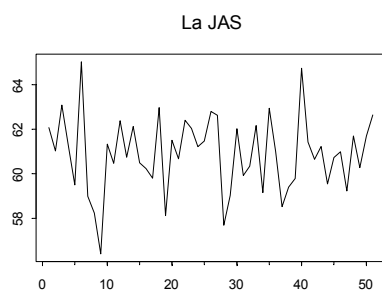
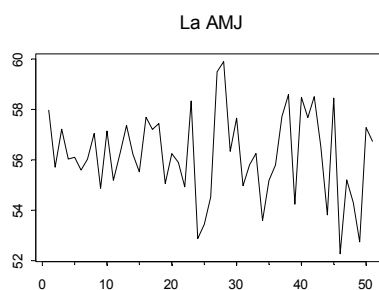
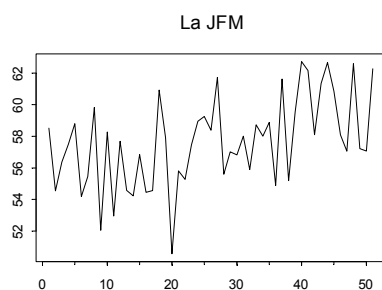
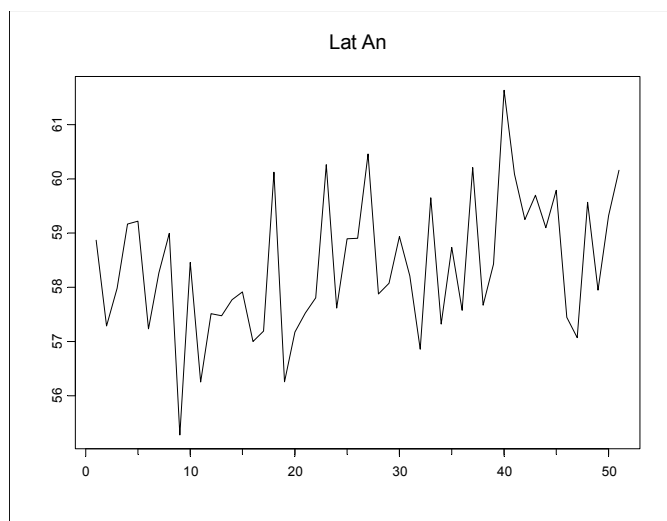


Figure 4.16. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des latitudes moyennes en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Aux échelles annuelles et hivernales, l'évolution est nette avec baisse de 1950 à 1970, et remontée vers le nord jusqu'en 2000. Pour les autres saisons, les tendances sont moins claires. On peut noter une forte augmentation de la variabilité interannuelle au printemps depuis 1970 (figure 4.16).

- Longitude moyenne des trajectoires :

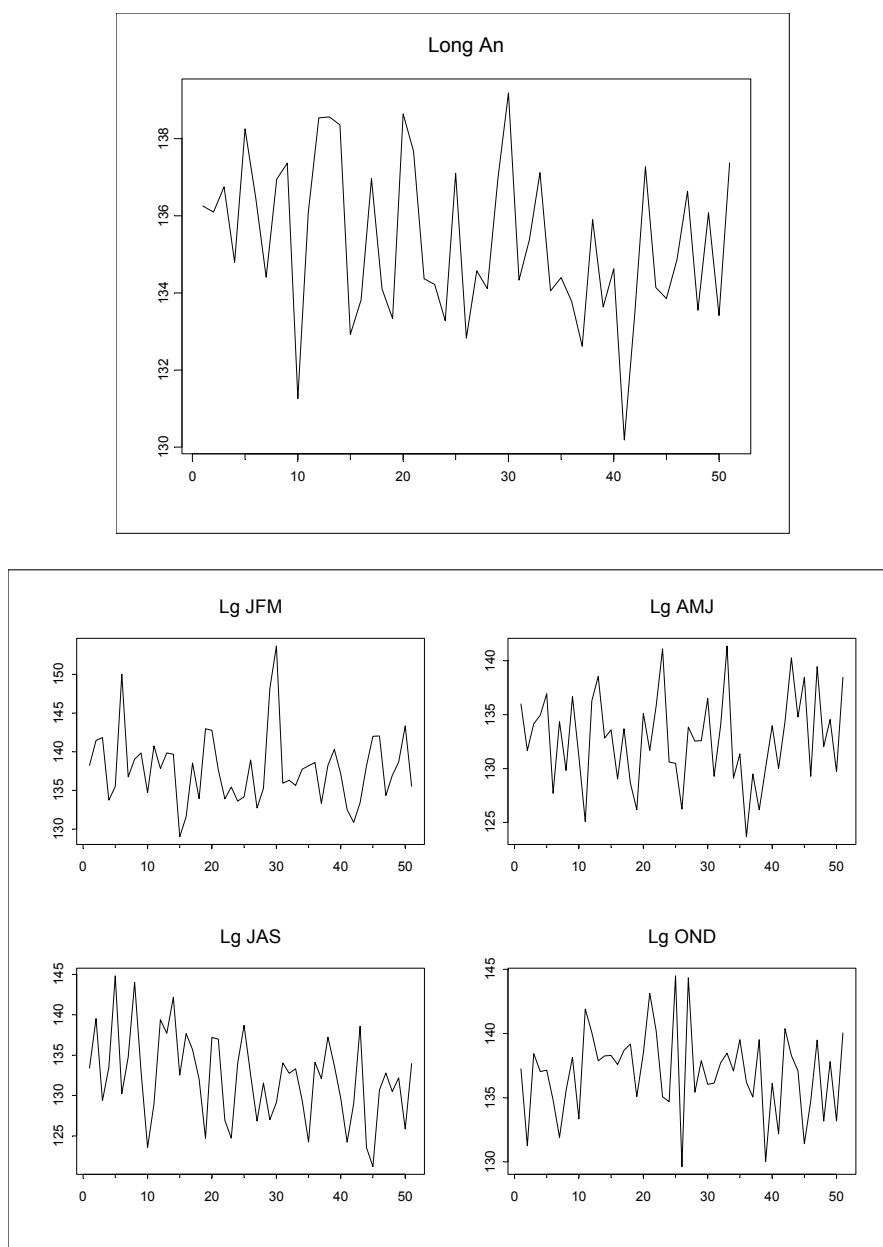


Figure 4.17. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des longitudes moyennes en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

Les évolutions sont singulières pour chaque échelle de temps (figure 4.17) :

- en valeur annuelle, on observe un déplacement des trajectoires vers l'ouest, avec un minimum en 1990,
- en valeur hivernale, on note un décalage vers l'ouest de 1950 à 1965, puis vers l'est depuis 1965,
- en période printanière, on remarque une forte variabilité interannuelle, avec une légère tendance des dépressions à se déplacer plus à l'est sur l'ensemble de la période,
- durant l'été, l'évolution est remarquable avec une tendance régulière à un décalage vers l'ouest des trajectoires,
- en automne, deux phases se succèdent : de 1950 à 1974-1976 on observe une translation vers l'est des trajectoires, à laquelle succède depuis 1976, un déplacement vers l'ouest. Il est intéressant de noter que les deux maxima de 1974-1976 entourent le minimum de la période centré sur 1975.

- Vitesse de déplacement :

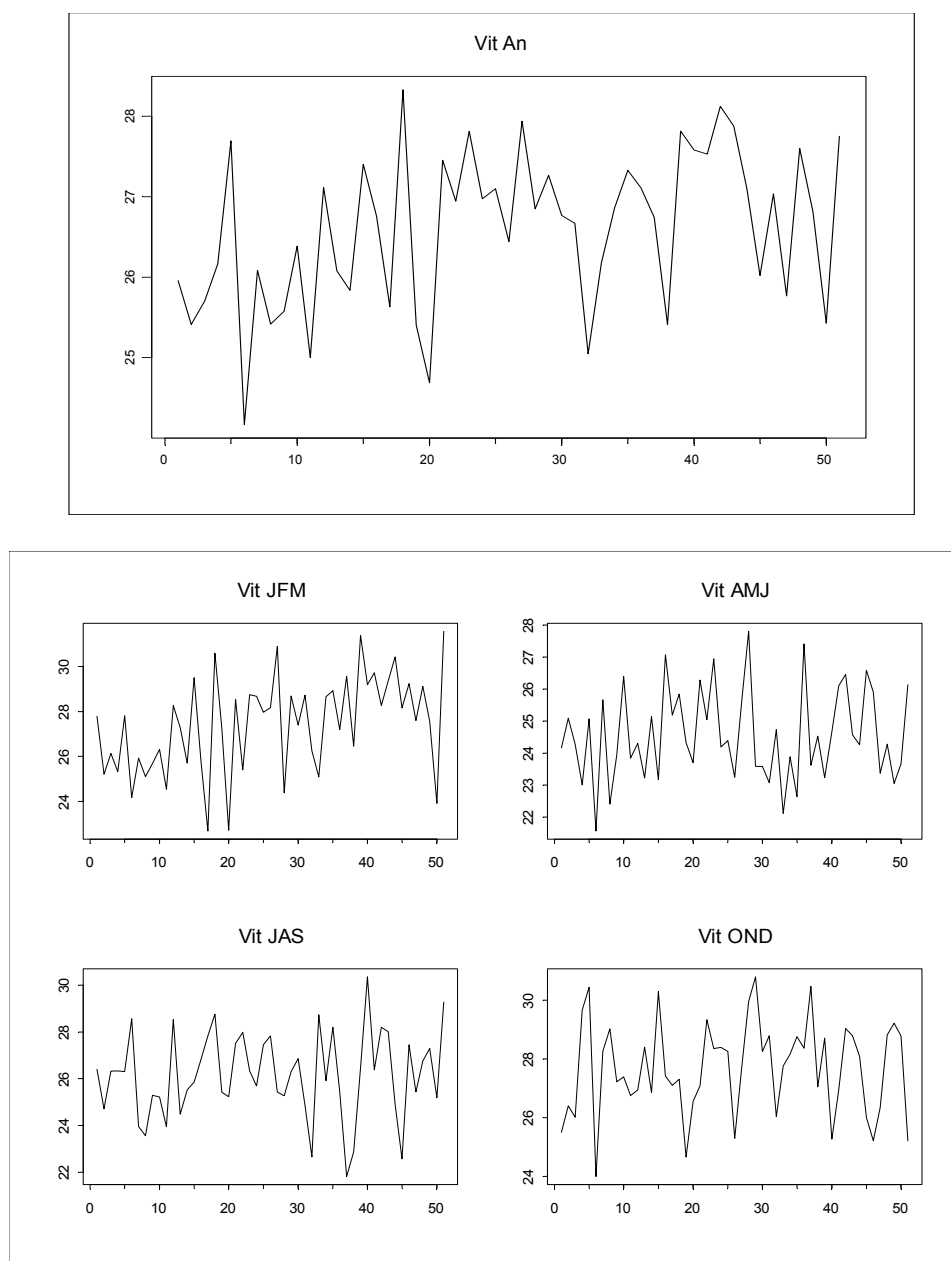


Figure 4.18. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des vitesses de déplacement en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.

A l'échelle annuelle, hivernale et printanière, on observe une augmentation de la vitesse de déplacement des dépressions. Pour les deux autres saisons on constate une forte variabilité interannuelle, mais pas de tendance générale (figure 4.18).

4.3.3 Evolutions de certaines caractéristiques selon les seuils de pression en valeurs hivernales

- Fréquence :

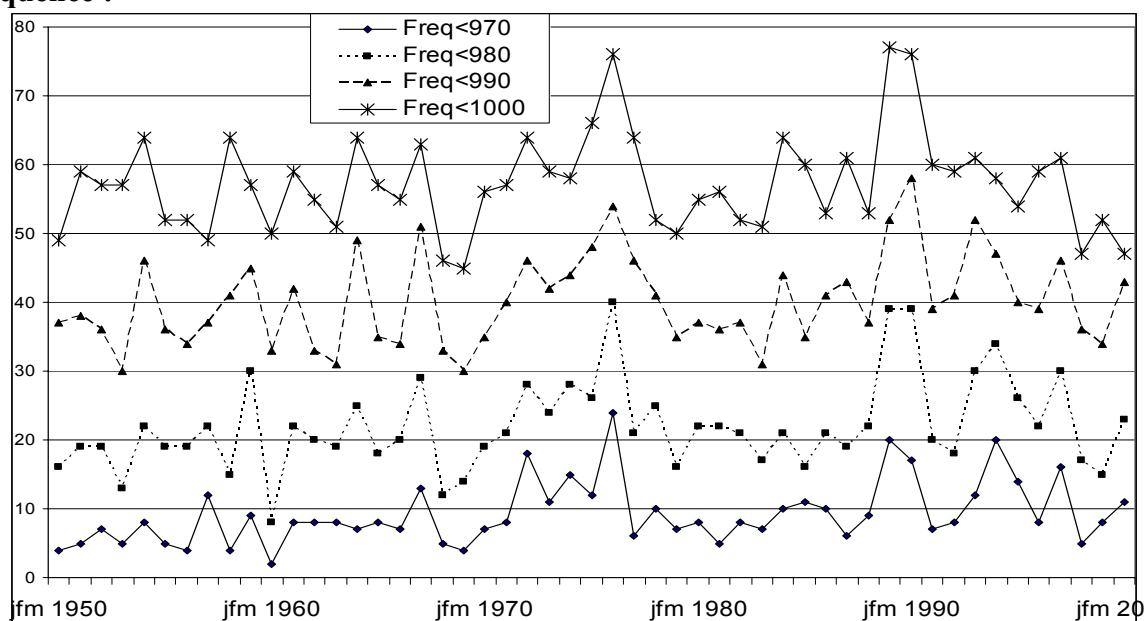


Figure 4.19. Séries temporelles en hiver des fréquences selon les seuils de pression.

Les courbes de fréquence des dépressions sont semblables quel que soit le seuil de pression considéré. Les variations sont divisées en deux phases (figure 4.19) :

- de 1950 à 1970, on constate une diminution du nombre de dépressions,
- de 1970 à 2000, on observe une augmentation régulière avec deux maxima en 1989-1990.

- Latitude de comblement :

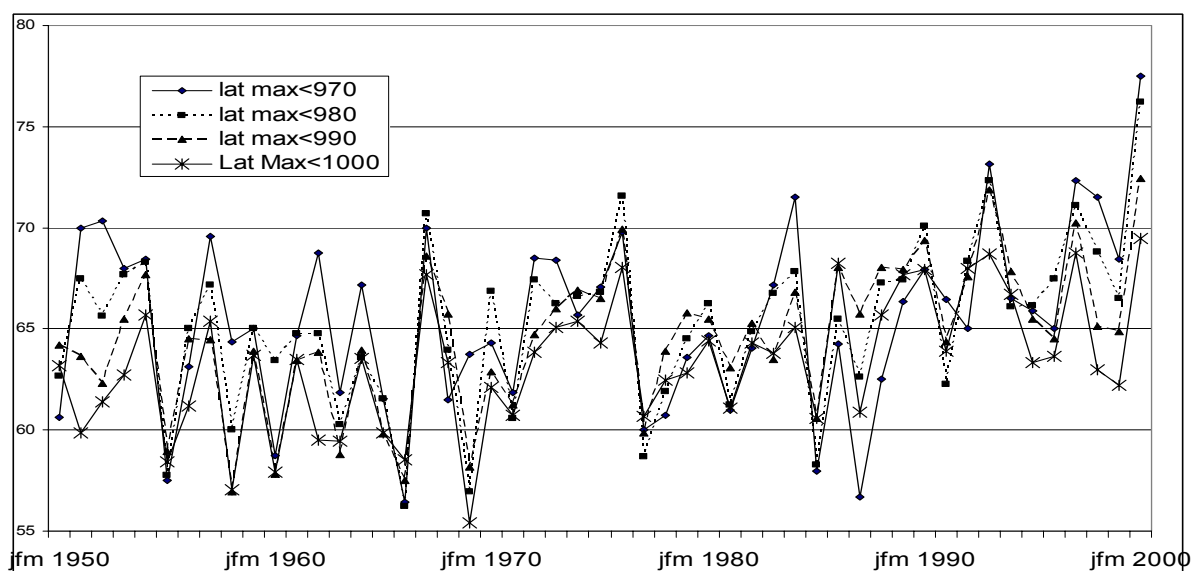


Figure 4.20. Séries temporelles en hiver des latitudes de comblement selon les seuils de pression.

Dans le cas des latitudes de comblement, les évolutions sont similaires avec des écarts minimes entre les valeurs selon les seuils. Quelle que soit la pression considérée les dépressions se comblent aux mêmes latitudes (figure 4.20)

- Pression minimale :

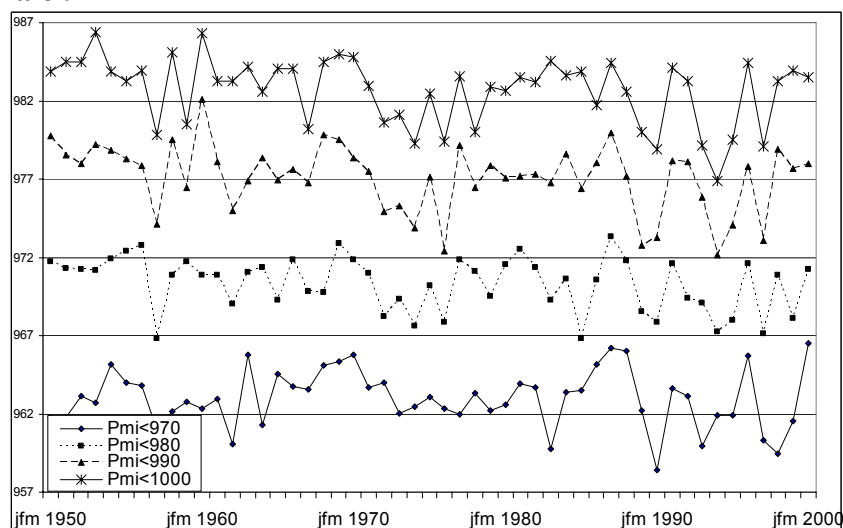


Figure 4.21. Séries temporelles en hiver des pressions minimales selon les seuils de pression.

Les pressions minimales des dépressions baissent de façon régulière sur la période (figure 4.21) donc les dépressions sont de plus en plus violentes.

4.3.4 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions et l'ONA

Afin d'affiner la description des évolutions des caractéristiques sur la période nous établissons des coefficients de corrélations avec l'ONA (indice de Hurrell J.1995) comme l'ont fait Gulev S.K., Zolina O., Gregoriev S. (2001) qui concluent : «*Atlantic cyclone frequency demonstrates a high correlations with NAO and reflects the NAO shift in the mid 1970s, associated with considerable changes in European storm tracks*». Conclusion à laquelle sont également parvenus Hilmer M., Jung T. (2000) et Koder K. et al (1999).

Les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 98 %.

a- En valeurs annuelles

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
<960	0,53	- 0,29	0,11	0,08	0,25	0,23	0,35	0,29	- 0,17	0,25	0,06	0,30	0,20	0,42	0,35
<970	0,52	- 0,47	- 0,29	- 0,31	- 0,13	0,59	0,53	0,60	0,13	0,35	0,28	0,13	0,03	0,27	0,09
<980	0,51	- 0,41	- 0,30	- 0,46	- 0,05	0,80	0,75	0,79	- 0,16	0,36	0,09	0,42	- 0,23	0,49	0,24
<990	0,39	- 0,54	- 0,43	- 0,60	- 0,20	0,75	0,73	0,76	- 0,40	0,01	- 0,22	0,45	- 0,26	0,45	0,56
<1000	0,46	- 0,48	- 0,41	- 0,58	- 0,01	0,76	0,73	0,76	- 0,41	- 0,09	- 0,26	0,49	- 0,07	0,43	0,47

b- En valeurs hivernales

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
<970	0,65	- 0,36	- 0,22	- 0,48	- 0,28	0,65	0,52	0,55	0,08	0,36	0,30	0,19	- 0,19	0,31	0,06
<980	0,63	- 0,50	- 0,25	- 0,47	0,08	0,78	0,67	0,69	- 0,24	0,39	0,13	0,49	- 0,13	0,63	0,41
<990	0,55	- 0,59	- 0,41	- 0,54	0,21	0,78	0,78	0,83	- 0,50	0,11	- 0,19	0,56	- 0,14	0,68	0,65
<1000	0,38	- 0,62	- 0,48	- 0,45	0,42	0,84	0,80	0,83	- 0,52	0,09	- 0,23	0,64	0,34	0,74	0,68

La variabilité annuelle et hivernale se décompose en **deux phases successives de part et d'autre de 1969-1970**. Pour tous les seuils de pression, nous observons, respectivement de 1950 à 1970, et (entre parenthèses) de 1970 à 2000 (tableau 4.52a et 4.52b) :

- une baisse (hausse) des fréquences,

- une augmentation (diminution) des pressions,
- une augmentation (diminution) de la durée des dépressions,
- une descente vers le sud (remontée vers le nord) des latitudes d'apparition, moyennes et de comblement.
- une diminution (augmentation) de l'extension longitudinale des trajectoires,
- une diminution (augmentation) de la vitesse de déplacement.

Pour les valeurs hivernales (période durant laquelle les dépressions sont les plus violentes) on peut noter le changement de phase lors des années 1969-1970, **Tout cela démontre une intensité accrue des dépressions durant les trente dernières années.**

Ces résultats sont en accord avec les conclusions de Gulev S.K. et al (2002) pour qui, il y a en hiver «*a remarkable change in atmospheric variability over the North Atlantic in late 1970s*» ou encore «*observed changes in the North Atlantic wave height*» (Bacon S., Carter J.T. (1991, 1993), Kushnir Y. et al (1997), Gulev S.K., Hasse L. (1999)) «*can be influenced not only by the wind forcing magnitude but also by forcing frequency*».

c- En valeurs printanières

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
<970	0,16	0,16	0,17	0,06	0,06	- 0,02	- 0,03	- 0,01	0,21	0,28	0,27	0,03	0,01	0,02	0,10
<980	0,48	- 0,15	- 0,25	- 0,35	- 0,23	0,33	0,26	0,36	0,14	0,17	0,17	0,00	0,08	0,05	- 0,13
<990	0,31	- 0,39	- 0,34	- 0,20	- 0,09	0,21	0,25	0,27	0,00	0,02	0,01	0,09	0,05	0,11	0,15
<1000	0,09	- 0,46	- 0,43	- 0,11	0,12	0,51	0,50	0,51	0,00	0,26	0,14	0,29	0,17	0,37	0,35

d- En valeurs estivales

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
<970	0,07	- 0,13	- 0,18	- 0,02	- 0,02	0,37	0,40	0,42	0,13	0,27	0,27	- 0,01	- 0,15	0,03	- 0,25
<980	0,22	- 0,22	- 0,34	- 0,06	0,00	- 0,03	0,20	0,32	0,21	0,32	0,26	0,02	0,10	0,08	- 0,16
<990	0,21	- 0,36	- 0,34	- 0,18	0,12	0,18	0,19	0,22	0,00	0,10	0,05	0,36	- 0,21	0,14	0,15
<1000	0,33	- 0,31	- 0,34	- 0,28	0,09	0,39	0,35	0,39	0,22	0,38	0,32	0,35	0,11	0,26	0,19

Il n'y a pas de variabilité bien nette se répercutant sur la totalité des dépressions (exception faite de l'évolution des pressions moyennes) en période printanière et estivale (tableaux 4.52c et d). Ce sont seulement les dépressions < 1000 hPa qui imposent les variations, les autres ayant des comportements marginaux en grande partie dus à la surreprésentation des dépressions < 1000 hPa durant ces périodes relativement chaudes (cf. cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions).

e- En valeurs automnales

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	Vit	La-La	Lg-Lg	P-P
<970	0,40	- 0,23	- 0,19	- 0,33	- 0,17	0,14	0,26	0,45	0,17	0,24	0,23	0,06	0,10	0,09	- 0,06
<980	0,49	- 0,12	- 0,12	- 0,45	- 0,03	0,49	0,53	0,62	0,09	0,37	0,26	0,42	- 0,01	0,44	0,04
<990	0,29	- 0,34	- 0,26	- 0,44	0,01	0,52	0,49	0,57	- 0,05	0,37	0,22	0,52	- 0,11	0,47	0,37
<1000	0,26	- 0,37	- 0,30	- 0,44	0,03	0,65	0,59	0,64	- 0,14	0,11	0,01	0,49	0,09	0,35	0,42

Tableaux 4.52. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions et l'ONA selon les seuils de pression (a) en valeurs annuelles, (b) en valeurs hivernales, (c) en valeurs printanières, (d) en valeurs estivales, (e) en valeurs automnales.

Avec le retour du froid automnal, le nombre des dépressions augmente (pour tous les seuils barométriques) et de ce fait les comportements des dépressions, quel que soit le seuil, peuvent rendre compte de la variabilité de l'ONA. Les mécanismes de la variabilité sur la période automnale sont proches de ceux de la variabilité hivernale (tableau 4.52e).

En résumé, les évolutions sont significatives en valeurs annuelles, hivernales et dans une moindre mesure en automne et au printemps. En revanche, elles sont assez floues durant l'été. Cela est dû au

fait que les dépressions ont des caractères plus tranchés pendant les périodes froides, marquant ainsi de façon plus tangible les champs climatiques.

4.3.5 Comparaisons des coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa

a- En valeurs annuelles

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit
Freq	1,00													
P Mi	- 0,41	1,00												
P My	- 0,36	0,95	1,00											
Du	- 0,54	0,50	0,50	1,00										
Di	- 0,02	0,04	0,16	0,35	1,00									
La p	0,53	- 0,68	- 0,57	- 0,68	0,05	1,00								
La d	0,51	- 0,59	- 0,53	- 0,64	- 0,10	0,84	1,00							
La	0,52	- 0,68	- 0,60	- 0,68	- 0,01	0,97	0,94	1,00						
La Mi	0,49	- 0,64	- 0,57	- 0,66	- 0,16	0,91	0,95	0,97	1,00					
La Mx	0,53	- 0,65	- 0,55	- 0,67	0,11	0,97	0,89	0,98	0,91	1,00				
Lg p	- 0,41	0,35	0,27	0,33	- 0,11	- 0,34	- 0,39	- 0,37	- 0,38	- 0,35	1,00			
Lg d	- 0,24	0,21	0,23	0,24	0,20	- 0,04	- 0,09	- 0,07	- 0,09	- 0,03	0,67	1,00		
Lg	- 0,39	0,29	0,26	0,31	0,00	- 0,22	- 0,27	- 0,26	- 0,27	- 0,23	0,91	0,89	1,00	
vit	0,46	- 0,40	- 0,29	- 0,55	0,59	0,64	0,46	0,58	0,43	0,68	- 0,38	- 0,03	- 0,27	1,00

Tableau 4.53. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa en valeurs annuelles.

- Entre la fréquence et les pressions (minimales ($R = - 0,41$) et moyennes ($R = - 0,36$)), la durée ($R = - 0,54$), les latitudes (minimales ($R = 0,49$), maximales ($R = 0,53$), moyennes ($R = 0,52$)), les longitudes premières ($R = - 0,41$), moyennes ($R = - 0,39$) et la vitesse ($R = 0,46$) :

quand les dépressions sont nombreuses, elles ont des pressions profondes, apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, durent moins longtemps, apparaissent et se déplacent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus rapidement.

- Entre la pression minimale et la durée ($R = 0,50$), les latitudes (minimales $R = - 0,68$), maximales ($R = - 0,59$), moyennes ($R = - 0,68$)), la longitude première ($R = 0,35$) et la vitesse ($R = - 0,4$) :

quand les dépressions sont plus profondes, elles durent moins longtemps, apparaissent, se déplacent et se combent à des latitudes plus septentrionales, durent moins longtemps, apparaissent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus rapidement.

- Entre la pression moyenne et la durée ($R = 0,50$), les latitudes (minimales ($R = - 0,57$), maximales, moyennes ($R = - 0,57$)), la longitude première ($R = - 0,55$) :

quand les dépressions sont plus profondes, elles durent moins longtemps, apparaissent, se déplacent et se combent à des latitudes plus septentrionales.

- Entre la durée et les latitudes (minimales ($R = - 0,66$), maximales ($R = - 0,67$), moyennes ($R = - 0,68$)), la longitude première ($R = 0,33$) :

quand les dépressions durent moins longtemps, elles apparaissent, se déplacent et se combent à des latitudes plus septentrionales, et apparaissent à des longitudes plus occidentales.

- Entre la latitude d'apparition, la longitude d'apparition ($R = - 0,34$) et la vitesse ($R = 0,64$) :

quand les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales, elles apparaissent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.

- Entre la latitude de comblement, la longitude d'apparition ($R = - 0,39$) et la vitesse ($R = 0,46$) :

quand les dépressions se combent à des latitudes plus septentrionales, elles apparaissent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.

- Entre la latitude moyenne, la longitude d'apparition ($R = - 0,37$) et la vitesse ($R = 0,58$) :

quand les dépressions se combent à des latitudes plus septentrionales, elles apparaissent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.

- Entre la longitude d'apparition et la vitesse ($R = - 0,38$) :

quand les dépressions apparaissent à des longitudes plus occidentales, elles se déplacent plus vite (tableau 4.53).

b- En valeurs JFM

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit
Freq	1,00													
P Mi	- 0,38	1,00												
P My	- 0,35	0,94	1,00											
Du	- 0,44	0,37	0,32	1,00										
Di	0,11	- 0,32	- 0,14	0,12	1,00									
La p	0,39	- 0,63	- 0,44	- 0,51	0,54	1,00								
La d	0,29	- 0,67	- 0,51	- 0,48	0,41	0,87	1,00							
La	0,36	- 0,67	- 0,49	- 0,51	0,51	0,98	0,95	1,00						
La Mi	0,34	- 0,67	- 0,51	- 0,50	0,41	0,94	0,97	0,98	1,00					
La Mx	0,36	- 0,64	- 0,44	- 0,50	0,58	0,99	0,91	0,99	0,94	1,00				
Lg p	- 0,42	0,31	0,19	0,57	- 0,30	- 0,65	- 0,58	- 0,63	- 0,59	- 0,66	1,00			
Lg d	- 0,31	- 0,19	- 0,15	0,29	0,30	0,01	0,18	0,09	0,14	0,04	0,51	1,00		
Lg	- 0,45	0,07	0,03	0,50	- 0,01	- 0,38	- 0,23	- 0,32	- 0,27	- 0,37	0,87	0,86	1,00	
vit	0,36	- 0,50	- 0,31	- 0,49	0,81	0,78	0,65	0,75	0,66	0,80	- 0,59	0,10	- 0,30	1,00

Tableau 4.54. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs hivernales.

- Entre la fréquence et les pressions (minimales ($R = - 0,38$) et moyennes ($R = - 0,44$), la durée ($R = - 0,44$), les latitudes (premières ($R = - 0,39$), minimales ($R = 0,34$), maximales ($R = 0,36$), moyennes ($R = - 0,36$), les longitudes premières ($R = - 0,42$), moyennes ($R = - 0,45$), la vitesse ($R = 0,36$) :

quand les dépressions sont nombreuses, elles ont des pressions profondes, apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus septentrionales, durent moins longtemps, apparaissent et se déplacent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus rapidement.

- Entre la pression minimale et la durée ($R = 0,37$), la distance ($R = - 0,32$), les latitudes (premières ($R = - 0,63$), minimales ($R = - 0,67$), maximales ($R = - 0,64$), dernières ($R = - 0,67$), moyennes ($R = - 0,67$)) et la vitesse ($R = - 0,5$) :

quand les dépressions sont plus profondes, elles durent moins longtemps, parcourent plus de distance, apparaissent, se déplacent et se combinent à des latitudes plus septentrionales, durent moins longtemps, apparaissent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus rapidement.

- Entre la pression moyenne et la durée ($R = 0,32$), les latitudes (premières ($R = - 0,44$), minimales ($R = - 0,51$), maximales ($R = - 0,44$), dernières ($R = - 0,51$), moyennes ($R = - 0,49$)) :

quand les dépressions sont plus profondes, elles durent moins longtemps, apparaissent, se déplacent et se combinent à des latitudes plus septentrionales.

- Entre la durée, les latitudes (premières ($R = - 0,51$), minimales ($R = - 0,5$), maximales ($R = - 0,5$), dernières ($R = - 0,48$), moyennes ($R = - 0,49$)) et les longitudes premières ($R = 0,57$) et moyennes ($R = 0,5$) :

quand les dépressions durent moins longtemps, elles apparaissent, se déplacent et se combinent à des latitudes plus septentrionales, et apparaissent et se déplacent à des longitudes plus occidentales.

- Entre la distance et les latitudes (premières ($R = 0,54$), minimales ($R = 0,41$), maximales ($R = 0,58$), dernières ($R = 0,41$), moyennes ($R = 0,51$) :

quand les dépressions durent moins longtemps, elles apparaissent, se déplacent et se combinent à des latitudes plus septentrionales.

- Entre la latitude d'apparition, les longitudes d'apparition ($R = - 0,65$), moyennes ($R = - 0,38$) et la vitesse ($R = 0,78$) :

quand les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales, elles apparaissent et se déplacent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.

- Entre la latitude de comblement, les longitudes d'apparition ($R = - 0,39$) et la vitesse, ($R = 0,65$) :

quand les dépressions se combent à des latitudes plus septentrionales, elles apparaissent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.

- Entre la latitude moyenne, les longitudes d'apparition ($R = -0,63$), moyennes ($R = -0,32$) et la vitesse, ($R = 0,75$) :

quand les dépressions se combent à des latitudes plus septentrionales, elles apparaissent, se déplacent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.

- Entre la longitude d'apparition et la vitesse ($R = -0,59$) :

quand les dépressions apparaissent à des longitudes plus occidentales elles se déplacent plus vite (tableau 4.54).

c- En valeurs AMJ

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit
Freq	1,00													
P Mi	0,19	1,00												
P My	0,16	0,92	1,00											
Du	- 0,34	- 0,03	0,08	1,00										
Di	- 0,26	- 0,18	0,01	0,71	1,00									
La p	0,01	- 0,37	- 0,29	- 0,37	0,01	1,00								
La d	0,12	- 0,36	- 0,28	- 0,26	0,10	0,82	1,00							
La	0,08	- 0,40	- 0,30	- 0,33	0,06	0,96	0,92	1,00						
La Mi	0,13	- 0,35	- 0,28	- 0,42	- 0,13	0,92	0,89	0,96	1,00					
La Mx	- 0,01	- 0,41	- 0,30	- 0,24	0,20	0,94	0,91	0,96	0,88	1,00				
Lg p	0,10	0,06	- 0,01	- 0,31	- 0,40	- 0,02	0,06	0,00	0,05	- 0,05	1,00			
Lg d	- 0,09	- 0,07	- 0,02	- 0,05	0,16	0,37	0,46	0,41	0,37	0,43	0,61	1,00		
Lg	- 0,03	0,00	- 0,03	- 0,18	- 0,12	0,18	0,27	0,21	0,21	0,21	0,88	0,90	1,00	
vit	- 0,03	- 0,23	- 0,06	0,06	0,74	0,37	0,40	0,39	0,21	0,51	- 0,28	0,27	- 0,01	1,00

Tableau 4.55. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs printanières.

- Entre la fréquence et la durée ($R = -0,34$) :

quand les dépressions sont nombreuses, elles durent moins longtemps.

- Entre la pression minimale et les latitudes premières ($R = -0,37$), minimales ($R = -0,35$), maximales ($R = -0,4$), dernières ($R = -0,36$) et moyennes ($R = -0,41$) :

quand les dépressions sont plus profondes, elles apparaissent, se déplacent et se combent à des latitudes plus septentrionales.

- Entre la durée et les latitudes premières ($R = -0,37$), minimales ($R = -0,33$) et moyennes ($R = -0,42$) :

quand les dépressions durent moins longtemps, elles apparaissent et se déplacent à des latitudes plus septentrionales.

- Entre la distance et la longitude minimale ($R = -0,4$) :

quand les dépressions durent moins longtemps, elles apparaissent à des longitudes plus septentrionales.

- Entre la latitude d'apparition et la longitude de comblement ($R = 0,37$) et la vitesse ($R = 0,37$) :

quand les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales, elles se combent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus rapidement.

- Entre la latitude de comblement, la longitude de comblement ($R = 0,46$) et la vitesse ($R = 0,40$) :

quand les dépressions se combent à des latitudes plus septentrionales, elles se combent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.

- Entre la latitude moyenne, la longitude de comblement ($R = 0,41$) et la vitesse ($R = 0,39$) :

quand les dépressions se déplacent à des latitudes plus septentrionales, elles se combent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite (tableau 4.55).

d- En valeurs JAS

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit
Freq	1,00													
P Mi	0,04	1,00												
P My	0,05	0,92	1,00											
Du	-0,25	-0,10	-0,04	1,00										
Di	-0,05	-0,34	-0,15	0,53	1,00									
La p	0,26	-0,16	0,01	-0,43	0,26	1,00								
La d	0,29	0,04	0,14	-0,25	0,17	0,65	1,00							
La	0,26	-0,04	0,11	-0,43	0,19	0,91	0,86	1,00						
La Mi	0,23	0,01	0,12	-0,46	0,04	0,83	0,87	0,95	1,00					
La Mx	0,28	-0,08	0,09	-0,40	0,29	0,96	0,78	0,96	0,85	1,00				
Lg p	-0,06	-0,09	-0,31	-0,10	-0,24	-0,27	-0,30	-0,27	-0,26	-0,27	1,00			
Lg d	0,03	-0,21	-0,33	0,02	0,16	-0,04	-0,08	-0,03	-0,04	-0,05	0,79	1,00		
Lg	-0,01	-0,17	-0,34	-0,04	-0,03	-0,15	-0,21	-0,15	-0,17	-0,17	0,93	0,94	1,00	
vit	0,16	-0,31	-0,13	-0,26	0,67	0,67	0,42	0,59	0,45	0,68	-0,19	0,16	0,00	1,00

Tableau 4.56. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs estivales.

- Entre la pression minimale et la distance ($R = -0,34$) :
quand les dépressions sont plus profondes, elles parcourent plus de distance.
- Entre la pression moyenne et les longitudes moyennes ($R = -0,33$), maximales ($R = -0,34$):
quand les dépressions sont plus profondes, elles se déplacent et se combent à des longitudes plus orientales.
- Entre la durée et les latitudes premières ($R = -0,43$), minimales ($R = -0,46$), moyennes ($R = -0,43$) et maximales ($R = -0,4$) :
quand les dépressions durent moins longtemps, elles apparaissent, se déplacent et se combent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition et la vitesse ($R = 0,67$) :
quand les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales, elles se déplacent plus vite.
- Entre la latitude de comblement et la vitesse ($R = 0,42$) :
quand les dépressions se combent à des latitudes plus septentrionales, elles se déplacent plus vite.
- Entre la latitude moyenne et la vitesse ($R = 0,59$) :
quand les dépressions se déplacent à des latitudes plus septentrionales, elles se déplacent plus vite (tableau 4.56).

e- En valeurs OND

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La p	La d	La	La Mi	La Mx	Lg p	Lg d	Lg	vit
Freq	1,00													
P Mi	-0,08	1,00												
P My	-0,09	0,96	1,00											
Du	-0,48	0,25	0,33	1,00										
Di	-0,37	0,03	0,14	0,57	1,00									
La p	0,29	-0,46	-0,42	-0,47	0,11	1,00								
La d	-0,02	-0,42	-0,38	-0,45	-0,07	0,63	1,00							
La	0,21	-0,48	-0,44	-0,54	0,03	0,92	0,84	1,00						
La Mi	0,20	-0,50	-0,47	-0,58	-0,15	0,85	0,89	0,96	1,00					
La Mx	0,18	-0,42	-0,37	-0,45	0,19	0,93	0,77	0,97	0,87	1,00				
Lg p	-0,12	0,14	0,08	0,11	-0,07	-0,38	-0,21	-0,31	-0,34	-0,28	1,00			
Lg d	-0,35	-0,04	0,02	0,29	0,56	-0,03	0,05	0,02	-0,09	0,11	0,59	1,00		
Lg	-0,24	0,02	0,03	0,23	0,29	-0,21	-0,09	-0,16	-0,24	-0,08	0,85	0,90	1,00	
vit	0,08	-0,22	-0,19	-0,38	0,54	0,60	0,38	0,59	0,43	0,67	-0,19	0,32	0,08	1,00

Tableau 4.57. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs automnales.

- Entre la fréquence, la durée ($R = -0,48$), la distance ($R = -0,37$) et la longitude de comblement ($R = -0,35$) :
quand les dépressions sont nombreuses, elles durent moins longtemps, parcourent moins de distance et se combent plus à l'ouest.

- Entre la pression minimale et les latitudes premières ($R = -0,46$), minimales ($R = -0,5$), maximales ($R = -0,42$), dernières ($R = -0,42$) et moyennes ($R = -0,48$) :
quand les dépressions sont plus profondes, elles apparaissent, se déplacent et se combrent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la pression moyenne et les latitudes premières ($R = -0,42$), minimales ($R = -0,47$), maximales ($R = -0,37$), dernières ($R = -0,38$) et moyennes ($R = -0,44$) :
quand les dépressions sont plus profondes, elles apparaissent, se déplacent et se combrent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la durée et les latitudes premières ($R = -0,47$), minimales ($R = -0,58$), maximales ($R = -0,45$), dernières ($R = -0,45$) et moyennes ($R = -0,54$) :
quand les dépressions durent moins longtemps, elles apparaissent, se déplacent et se combrent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la distance et la longitude de comblement ($R = 0,56$) :
quand les dépressions durent moins longtemps, elles se combrent à des latitudes plus septentrionales.
- Entre la latitude d'apparition, la longitude d'apparition ($R = -0,38$) et la vitesse ($R = 0,60$) :
quand les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales, elles apparaissent à des longitudes plus occidentales et se déplacent plus vite.
- Entre la latitude de comblement et la vitesse ($R = 0,38$) :
quand les dépressions se combrent à des latitudes plus septentrionales, elles se déplacent plus vite.
- Entre la latitude moyenne et la vitesse ($R = 0,59$) :
quand les dépressions se combrent à des latitudes plus septentrionales, elles se déplacent plus vite.
- Entre la longitude de comblement et la vitesse ($R = 0,32$) :
quand les dépressions se combrent à des longitudes plus orientales, elles se déplacent plus vite (tableau 4.57).

4.3.6 Examens à partir d'Analyse en Composantes Principales (ACP)

Afin de compléter et de valider l'analyse, nous pratiquons des ACP dont nous présentons ici un tableau récapitulatif.

	PC1	PC2	PC3
An % var	48.8	19.1	13.7
An CC/ONA	0,71	- 0,18	0,03
JFM % var	49.8	22	12
JFM CC/ONA	0,8	- 0,34	- 0,65
AMJ % var	33.1	23.4	17.1
AMJ CC/ONA	0,56	0,19	0,08
JAS % var	32.9	25.5	17.3
JAS CC/ONA	- 0,24	0,55	0,15
OND % var	38.2	24.7	14.3
OND CC/ONA	0,61	0,25	0,01

% var = pourcentage de la variance totale représenté par l'axe. CC/ONA = coefficient de corrélation avec l'indice de l'ONA.

Tableau 4.58. Résultats des ACP sur les dépressions < 1000 hPa.

Pour toutes les périodes d'étude les premiers axes représentent une part significative de l'information et nous observons que les coefficients de corrélation avec l'ONA sont significatifs à 98 %, à l'exception de l'été durant lequel c'est le second axe qui représente bien l'évolution de l'ONA (tableau 4.58).

Pour toutes les périodes d'études, il y a opposition entre les fréquences, les longitudes (minimales, moyennes et maximales) sauf en JAS, les latitudes (minimales, moyennes et maximales) et la vitesse du côté positif, tandis que la durée et les pressions minimales et moyennes sont du côté négatif.

Deux modes de fonctionnement opposés coexistent donc, avec :

- d'un côté, des dépressions nombreuses qui apparaissent, se déplacent et se combrent à des longitudes plus orientales et à des latitudes plus septentrionales, sont plus profondes et se déplacent plus rapidement,
- d'un autre côté, l'exacte opposition de phase des caractéristiques précédemment annoncées.

Les paramètres majeurs influençant la dynamique des dépressions sont la fréquence, les pressions (minimales et moyennes), les latitudes (minimales, maximales, moyennes) et la vitesse de déplacement.

Sur la période 1950-2000, on observe une augmentation du nombre de dépressions (quel que soit le seuil de pression). Elles apparaissent et se combrent à des latitudes plus septentrionales, sont plus profondes et se déplacent plus vite. En outre elles couvrent des espaces en longitude plus importants. Cela non du fait d'un déplacement oriental des régions de comblement mais d'un déplacement occidental des régions de génération (tableau 4.59). Ceci en contradiction avec les résultats d'études montrant un déplacement vers l'est du centre d'action moyen dénommé «Dépression d'Islande» (T. Jung et al 2001).

	Lg Mi	Lg Mx	Lg Mx-Lg Mi
<960hPa	0,15	0,38	0,45
<970hPa	0,03	0,40	0,31
<980hPa	- 0,28	0,44	0,63
<990hPa	- 0,54	0,18	0,68
<1000hPa	- 0,55	0,15	0,74

Tableau 4.59. Coefficients de corrélation entre certains paramètres des dépressions et l'ONA sur la période JFM 1950-JFM 2000.

4.3 Conclusions

L'analyse des cycles annuels en valeurs mensuelles, nous permet de constater que les dépressions :

- sont plus fréquentes en hiver et en automne,
- sont plus profondes en hiver et en automne,
- durent moins longtemps en hiver et en automne,
- apparaissent et se combrent à des longitudes plus orientales en hiver et en automne,
- se déplacent plus vite en hiver et en automne,
- ont un différentiel de pression plus élevé en hiver et en automne,
- ont des trajectoires plus zonales en été et plus méridiennes au printemps.

Les régions de génération les plus importantes sont :

- en latitude, la bande zonale 70-60 °N, ce qui est en accord avec les résultats de Rogers J.C., Van Loon H. (1979),
- en longitude, la bande méridienne 100-125° (80-55 °O).

Pour les régions de comblement :

- 45,54 % des dépressions atteignent les latitudes supérieures à 60 °N,
- 39,42 % des dépressions atteignent les longitudes supérieures à 160° (20 °O).

L'espace d'occurrence des dépressions se réduit dans les quatre directions, en fonction du creusement accentué des pressions. Un quart des dépressions (24,06 %) ont des pressions inférieures à 980 hPa.

Les analyses des séries chronologiques font apparaître clairement (aux échelles annuelles et hivernales) deux phases successives durant lesquelles les dépressions ont connu des comportements bien nuancés de part et d'autre de 1969-1970. Pour tous les seuils de pression, nous avons de 1950 à 1969-70 et (entre parenthèses) de 1970 à 2000 :

- une baisse (hausse) des fréquences,
- une augmentation (diminution) des pressions,
- une augmentation (diminution) de la durée des dépressions,
- une migration vers le sud (remontée vers le nord) des latitudes d'apparition, moyennes et de comblement,
- une diminution (augmentation) de l'extension longitudinale des trajectoires,
- et une diminution (augmentation) de la vitesse de déplacement.

Les caractéristiques les plus remarquables sont la fréquence, les pressions (minimales et moyennes), les latitudes (minimales, maximales, moyennes) et la vitesse de déplacement.

Nos résultats sont en accord avec les conclusions de Serreze M.C. et al (1993) constatant que *«summer cyclones are considerably weaker than their winter counterparts»*, et que *«cyclone numbers have increased during winter, spring and summer»*. Cet accord s'applique aussi aux travaux de Jung T. et al (2001) pour qui *«tracks are more zonal during summer»*, ou encore ceux de Gulev S.K. et al (2002) concluant que *«during summer, the North Atlantic storm track area align more zonally than for the winter season»*. En revanche, on constate un désaccord entre nos résultats et ceux de Serreze M.C. et al (1993) sur le constat que les dépressions sont *«least numerous, but strongest during the winter months»*. Nous constatons en effet que les dépressions sont plus fréquentes et plus profondes durant l'hiver.

Synthèse

Question de départ.

Quelles sont les caractéristiques moyennes des dépressions et leurs évolutions (selon différents filtres) sur la période 1950-2000 selon diverses échelles de temps ?

Résultats.

- les cycles annuels en valeurs mensuelles sont parfaitement unimodaux avec maxima hivernaux et minima estivaux.
- les trajectoires sont plus méridiennes en hiver et automne, et zonales durant l'été,
- la région de densité maximale de passage se situe au sud-sud-est du Groenland,
- on observe deux phases successives dans l'évolution des caractères de 1950 à 1970, et ensuite jusqu'en 2000, en valeurs annuelles et hivernales, marquée par un gonflement vers le nord de l'espace couvert par des dépressions plus nombreuses et plus profondes durant les trente dernières années du XX^e siècle,
- les variables descriptives des dépressions, particulièrement les fréquences, les pressions, les latitudes (minimales, maximales, moyennes) et les longitudes (minimales, maximales, moyennes), quels que soient les seuils de pression considérés rendent bien compte de la variabilité de l'ONA.

Mais évidemment, en dépit de la précision des analyses précédentes, quelques points restent encore à éclaircir.

Question non résolue.

1- Pourquoi les dépressions vont-elles plus haut en latitude en été par rapport à l'hiver? Est-ce associé à l'extension plus grande de l'espace occupé par les anticyclones ? Ou bien est-ce parce que les pressions sont déjà plus faibles au nord en été ?... Pourquoi les dépressions apparaissent-elles plus nord en été qu'en hiver, alors qu'en période d'activité intense hivernale, elles apparaissent également plus au nord ? Il ne faut pas uniquement se focaliser sur la latitude de cyclolyse mais également sur l'extension latitudinale des trajectoires, c'est-à-dire au paramètre : latitude de cyclolyse-latitude de cyclogenèse. Dans ce cas l'extension géographique des trajectoires des dépressions est plus importante en hiver, et on constate également qu'il y a un décalage général septentrional des trajectoires durant l'été (tableau 4.60).

	Lat A L	Lat D L	Lat D-Lat A L
JFM	52,20°	63,33°	11,13°
JAS	55,75°	66,45°	10,70°

Lat A L: latitudes of apparition of Lows, Lat D L: latitudes of disappearance of Lows

Tableau 4.60. Latitude de cyclogenèse et de cyclolyse en JFM et JAS.

Nous revenons à la réflexion posée dans la synthèse concernant les anticyclones. Le cycle annuel en valeurs mensuelles des fréquences des anticyclones n'est pas régulier.

Si nous restreignons l'analyse des cycles mensuels des anticyclones en fonction des seuils de pression (>1025, >1030, >1035 hPa) et des dépressions, nous obtenons :

	Anticyclones >1025 hPa	Anticyclones >1030 hPa	Anticyclones >1035 hPa
Dep<1000 hPa	0,7	0,72	0,74

Tableau 4.61. Corrélations entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des fréquences des anticyclones (selon seuils de pression) et des dépressions <1000 hPa.

Il y a donc bien une cohérence entre les phénomènes (tableau 4.61).

Au cours des deux chapitres précédents, nous avons travaillé successivement, et séparément, sur les anticyclones et sur les dépressions, par commodité tout en ayant parfaitement conscience de l'artificialité de cette approche. Nous devons donc maintenant rétablir la réalité atmosphérique dans laquelle les deux éléments sont indissociables.

Cette première partie concernant les connaissances de bases nécessaires à nos objectifs d'études étant terminée nous pouvons nous consacrer aux analyses des mécanismes proprement dits de la dynamique aérologique.

Partie II. La dynamique aérologique de l'Atlantique Nord et les dépressions profondes

5. LA CIRCULATION GENERALE DE BASSES COUCHES

Décrire un schéma explicatif simple résumant la circulation générale est un des axes majeurs des recherches en climatologie, tant par son antériorité que par les moyens consacrés à ces tentatives, ou encore par la quantité d'écrits produits par nombre d'auteurs internationaux. Une introduction brève sur ces travaux essentiels est donc nécessaire.

5.1 Historique succinct des schémas de circulation générale

Nous retraçons ici grossièrement et très brièvement l'évolution chronologique de la construction des différents schémas de circulation générale, en ne décrivant que les principales étapes (la description exhaustive constituerait en soi le corps d'un doctorat).

La première théorie de circulation générale, dénommée «cheminée équatoriale» est l'œuvre de Halley E. (1686). Les ascendances de l'air équatorial sont le moteur fondamental de la circulation. C'est un circuit purement thermique avec les alizés au sol et les contre-alizés en altitude. Hadley G. (1735), accorde aussi la préférence à la chaleur tropicale. L'air chaud s'élève à l'équateur, il se dirige en altitude vers les pôles et revient dans les basses couches vers la zone tropicale où il est attiré par le vide relatif de la «cheminée». La circulation générale est donc constituée par deux cellules de convection (une dans chaque hémisphère). Ferrel W. (1856), utilisant les travaux de Coriolis G. (1835), propose un schéma tri-cellulaire de circulation générale régi par la force géostrophique, comprenant :

- une cellule subtropicale (dite de Hadley), où l'air équatorial monte puis redescend vers 30 °N pour rejoindre en partie l'équateur ou se diriger vers les pôles,
- une cellule aux moyennes latitudes (dite de Ferrel), où l'air s'élève en rencontrant de l'air froid venu du nord puis retourne vers les basses latitudes en altitude,
- une cellule aux hautes latitudes (dite polaire), où l'air froid polaire s'élève en se réchauffant vers 60 °N et retourne vers les pôles en altitude.

Le schéma tri-cellulaire de Ferrel W. apporte des réponses (bien que lacunaires) aux questions alors en suspens, comme l'existence des calmes équatoriaux redoutés par les marins au point de rencontre des deux cellules tropicales. C'est la subsidence vers 30° Nord et Sud au-dessus des ceintures de hautes pressions qui explique la présence des grands déserts sur les continents, et les calmes tropicaux (« *horse latitudes*») sur les océans. Aux latitudes polaires, la force de Coriolis crée des vents d'ouest dominants, et pour la même raison les vents équatoriaux (alizés) deviennent des vents d'est. La rencontre vers 60 °N de l'air polaire et de l'air chaud de la zone tempérée forme les grandes dépressions et les anticyclones des latitudes moyennes.

Le modèle de Ferrel W. est à son époque salué comme une avancée scientifique majeure et l'esprit du modèle de circulation tri-cellulaire imprègne encore profondément la météorologie actuelle. Pourtant, des insuffisances affectent ce modèle et nombreux sont ceux qui ont tenté d'y apporter des améliorations.

Durant la fin 19^{ème} et le début du 20^{ème} siècle, de nombreuses tentatives faisant apparaître autant de schémas «alternatifs» sont proposées : Guldeberg-Mohn (1875), Von Helmholtz H. (1888) énonçant le principe de la conservation de l'énergie et les lois des tourbillons, Margules M. (1903) qui précise la structure d'un front, Hasselberg-Sverdrup (1914), Exner F.M. (1913), Bjerknes J. (1923),

Bergeron T. (1928), Dedebant et Wehrle (1933) et surtout Rossby C.G. et al. qui en 1948 bouleversent les conceptions et considère que l'origine des perturbations tempérées (Front Polaire) se situe en altitude (jet-stream).

Defant A., en 1921, a expliqué que les échanges s'effectuent de proche en proche (au sein des grandes perturbations) et non par un courant continu du pôle vers l'équateur. Ainsi, ce sont les familles successives de cyclones qui réalisent les échanges méridiens. Cette idée est reprise par Palmen E. (1951), qui tente de concilier les points de vue en introduisant dans son schéma :

- la zone polaire comme étant une espace de mélange,
- l'existence des jets,
- la liaison entre cellule tempérée et cellule tropicale.

Depuis cette époque, le modèle de Ferrel W. a été jugé irréaliste par la communauté météorologique, car non conforme aux observations (Joly A., 1995). Mais aujourd'hui, c'est toujours ce modèle légèrement remanié (Palmen E. (1951), Palmen E., Newton C.W. (1969), Palmen E., Riehl H. (1951, 1969)) qui est considéré comme le schéma le plus achevé de la circulation générale.

Problématique.

Longtemps la chaleur de la zone tropicale a été considérée comme le moteur de la circulation générale (concept de la «cheminée équatoriale»). Mais il apparaît de plus en plus fréquemment comme résultat de recherche, que ce sont les régions polaires qui commandent les processus initiaux de la circulation atmosphérique. Nous placerons donc nos études selon cet axe de recherche.

Les évolutions servant ici de socle analytique ne sont pas novatrices (sauf exceptions) puisqu'elles ont été analysées par nombre de travaux :

Premièrement, beaucoup d'auteurs ont travaillé et travaillent encore sur les évolutions thermiques des régions polaires et leurs liens avec l'activité synoptique:

- d'après Kahl J. et al (1993) ou Litinsky J. (1999) et Przbylak R. (2000), le bassin arctique occidental et la partie Nord-Est du Canada ont subi un refroidissement pendant la période 1961-1990,
- pour Rigor I. (2000), «*A trend of +1°C (decade) is found during winter in the eastern Arctic ocean, but a trend of -1°C (decade) is found in the western Arctic Ocean*»,

Ces évolutions thermiques sont à mettre en relation avec les variations de la banquise. Deser C., Walsh J., Timlin M.S. (1999) écrivent que «*The dominant mode of winter (JFM) sea ice variability exhibits out of phase fluctuations between western and eastern North Atlantic [...] with diminishing ice cover east of Greenland and increasing ice cover west of Greenland*».

Deuxièmement, des travaux concernant les évolutions barométriques ont été menés entre autre par Walsh J.E., Chapman W.L., Shy T.L., (1996) ou Deser C., Walsh J., Timlin M.S. (1999) qui concluent que «*Cyclone frequencies have increased and mean SLPs have decreased over the retracted ice margin in the Greenland Sea*».

Troisièmement, des auteurs se sont intéressés aux caractéristiques d'une région spécifique. Par exemple, Reynaud J. (1994) travaillant sur l'évolution récente de la pression en surface et des températures dans l'espace Atlantique nord-est (du Groenland à la Scandinavie), constate une évolution nette au cours des trois dernières décennies :

- hausse des températures,
- baisse des pressions,
- augmentation des précipitations.

Quatrièmement, Serreze M.C. et al (1993) ont synthétisé leurs travaux antérieurs et analysé la dynamique des anticyclones et des cyclones au nord de 65 °N, de 1952 à 1989. Mais seulement sur une aire géographique restreinte et seulement dans un but descriptif sans intégration des deux éléments dans un système explicatif commun.

Enfin les conséquences de ces analyses (et d'autres) peuvent être résumées par deux cartes (figure 5.1) représentant les différentes évolutions de paramètres climatiques sur diverses régions en fonction de la dynamique aérologique. Mais il faut prendre des précautions à la lecture de ces cartes. En effet, il faut uniquement se concentrer sur les variations climatiques régionales de surface et faire abstraction des flèches bleues (Jet stream and Stormtrack) qui représentent des concepts d'altitude et qui sont donc par essence hors de notre propos.

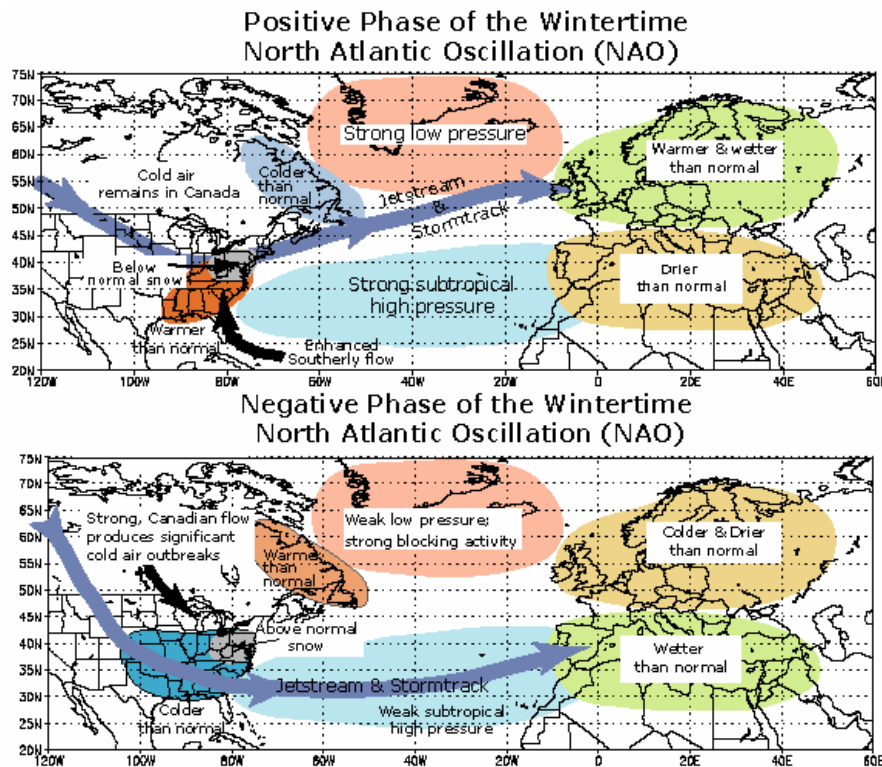


Figure 5.1 Cartes des deux phases de l'ONA tiré de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>

Mais cela est une liste de constats plus ou moins isolés les uns des autres, sans fil conducteur. En reprenant notre hypothèse de départ selon laquelle «**des variations du temps et donc du climat peuvent être comprises (en grande partie) par l'analyse des comportements des dépressions et des anticyclones en surface**», nous allons essayer de construire un schéma d'ensemble basé sur ce fil directeur unique répondant pas à pas aux variations constatées.

Le chapitre contient plusieurs étapes, apportant chacune un complément explicatif à l'ensemble formé précédemment. Le tout constituant un schéma cohérent et «complet» en fin d'analyse :

- 1- cycles annuels en valeurs mensuelles des anticyclones et des dépressions,
- 2- caractères des anticyclones et des dépressions selon les différentes échelles de temps,
- 3- latitudes d'apparition des anticyclones et des dépressions,
- 4- latitudes de fin des anticyclones et des dépressions,
- 5- trajectoires des anticyclones, concentration / dispersion,
- 6- positions et étendues des Agglutinations Anticycloniques (AA des Açores et AA des Bermudes),
- 7- extensions spatiales des pressions de surface de certaines régions essentielles,
- 8- extensions spatiales de température de régions clés de l'espace,
- 9- liens entre extensions spatiales et fréquences des anticyclones et des dépressions,

- 10- «modèle de circulation générale de surface» en JFM,
 11- limites,
 12- point de vue sur le concept Anticyclone Mobile Polaire (AMP).

Pour la totalité de l'étude, les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 98 %.

5.2 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions et des anticyclones

5.2.1 Avec les dépressions inférieures à 1000 hPa

	Freq	PMx/ PMi	P My	Du	Di	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	vit	LaMx- LaMi	LgMx- LgMi	PMx/ PMi /PMi	LaMi/ LaMx
Dep/A	-0,19	-0,85	0,87	0,55	0,65	0,70	0,90	0,90	0,94	0,87	0,94	0,64	0,39	0,06	0,77	-0,77
Dep/A1020	0,12	-0,84	0,86	0,47	0,66	0,74	0,92	0,90	0,95	0,89	0,94	0,62	0,32	0,05	0,76	-0,81
Dep/1020A Ame	0,52	-0,82	0,85	0,17	0,74	0,93	0,91	0,94	0,82	0,71	0,83	0,64	-0,16	0,03	0,71	-0,92
Dep/1020A GS	-0,63	-0,88	0,88	0,79	0,58	0,38	0,65	0,77	0,25	0,76	0,67	0,44	0,58	0,34	0,82	-0,49
Dep/1025	0,71	-0,83	0,85	0,15	0,72	0,77	0,94	0,95	0,95	0,86	0,93	0,63	0,28	0,16	0,64	-0,85
Dep/1025A Ame	0,70	-0,80	0,85	0,35	0,25	0,91	0,90	0,97	0,88	0,86	0,90	0,66	-0,22	0,28	0,57	-0,94
Dep/1025A GS	0,41	-0,90	0,86	0,75	0,54	0,41	0,56	0,81	0,60	0,78	0,79	0,54	0,60	0,25	0,75	-0,52
Dep/1030	0,72	-0,83	0,83	0,38	0,50	0,51	0,88	0,79	0,84	0,84	0,87	0,60	0,14	0,03	0,31	-0,60
Dep/1030A Ame	0,75	-0,91	0,72	0,12	0,44	0,32	0,44	0,55	0,53	0,66	0,64	0,62	0,60	0,63	0,66	-0,41
Dep/1030A GS	0,70	-0,83	0,86	0,33	0,13	0,93	0,81	0,92	0,79	0,87	0,89	0,67	-0,38	0,08	-0,17	-0,94
Dep/A<40°	0,82	-0,84	0,85	0,22	0,57	0,26	0,69	0,24	0,32	0,79	0,69	0,58	-0,09	0,33	-0,17	0,20

Tableau 5.1 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions inférieures à 1000 hPa et des anticyclones.

Dep : dépressions inférieures à 1000 hPa, **A Ame** : anticyclones américano-atlantiques, **A GS** : anticyclones groenlando-scandinaves.

5.2.2 Avec les dépressions inférieures à 990 hPa

	Freq	PMx/ PMi	P My	Du	Di	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	vit	LaMx- LaMi	LgMx- LgMi	PMx/ PMi /PMi	LaMi/ LaMx
Dep990/A	-0,33	-0,86	0,90	0,76	0,28	0,64	0,89	0,86	0,71	0,61	0,73	0,54	0,03	0,02	0,68	-0,73
Dep990/A 1020	0,00	-0,85	0,88	0,68	0,26	0,69	0,90	0,87	0,73	0,65	0,74	0,51	0,04	0,00	0,67	-0,81
Dep990/1020 A Ame	0,51	-0,83	0,88	0,11	0,42	0,93	0,86	0,93	0,45	0,37	0,50	0,55	0,15	0,12	0,61	-0,91
Dep990/1020 A GS	-0,82	-0,89	0,90	0,83	0,35	0,30	0,71	0,72	0,19	0,72	0,39	0,34	0,21	0,32	0,76	-0,39
Dep990/a1025	0,70	-0,84	0,87	0,19	0,22	0,70	0,93	0,93	0,76	0,68	0,77	0,53	-0,01	0,11	0,55	-0,76
Dep990/1025 A Ame	0,74	-0,82	0,87	0,46	0,65	0,87	0,84	0,95	0,61	0,69	0,70	0,55	-0,06	0,33	0,48	-0,89
Dep990/1025 A GS	0,22	-0,91	0,87	0,69	0,29	0,31	0,64	0,76	0,27	0,82	0,62	0,45	0,29	0,23	0,67	-0,42
Dep990/A1030	0,78	-0,84	0,84	0,48	0,17	0,43	0,87	0,75	0,82	0,81	0,88	0,50	-0,17	0,11	0,27	-0,50
Dep990/1030 A Ame	0,75	-0,89	0,69	0,15	0,25	0,26	0,51	0,51	0,34	0,78	0,55	0,52	0,25	0,54	0,61	-0,41
Dep990/1030 A GS	0,76	-0,84	0,88	0,42	0,36	0,89	0,74	0,89	0,55	0,75	0,76	0,57	0,02	0,07	-0,22	-0,91
Dep990/A <40°	0,82	-0,85	0,87	0,41	0,28	0,34	0,69	0,18	0,22	0,87	0,68	0,49	-0,22	0,25	0,71	0,27

Tableau 5.2 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions inférieures à 990 hPa et des anticyclones.

Les tableaux 5.1 et 5.2 font apparaître des liens intenses entre certaines caractéristiques des cycles annuels en valeurs mensuelles :

- les fréquences des dépressions sont corrélées avec les anticyclones américano-atlantiques ($R = 0,52$, pour les dépressions <1000 hPa, $R = 0,51$ pour les dépressions <990 hPa) et anti-corrélées avec les anticyclones groenlando-scandinaves ($R = -0,63$ pour les dépressions <1000 hPa, $R = -0,82$ pour les dépressions <990 hPa) (exception faite des anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1030 hPa ($R = 0,7$ pour les dépressions <1000 hPa, $R = 0,76$ pour les dépressions <990 hPa)).
- lorsque les anticyclones ont des pressions élevées, les dépressions sont profondes et inversement (R égal en moyenne à 0,8 pour les dépressions <1000 hPa et <990 hPa).
- lorsque les anticyclones ont des trajectoires basses en latitude, les dépressions ont des trajectoires septentrionales (R égal en moyenne à - 0,8 pour les dépressions <1000 hPa, R égal en moyenne à - 0,75 pour les dépressions <990 hPa).
- lorsque les anticyclones ont des trajectoires orientales (c'est-à-dire que les longitudes sont décalées vers l'est), les dépressions ont des trajectoires occidentales (c'est-à-dire que les longitudes sont décalées vers l'ouest) (R égal en moyenne à - 0,85 pour les dépressions <1000 hPa, R égal en moyenne à - 0,7 pour les dépressions <990 hPa).
- lorsque les anticyclones se déplacent rapidement, les dépressions font de même (R égal en moyenne à 0,65 pour les dépressions <1000 hPa, R égal en moyenne à 0,5 pour les dépressions <990 hPa).
- lorsque les anticyclones vont bas en latitude, les dépressions atteignent des latitudes plus septentrionales (R égal en moyenne à - 0,6 pour les dépressions <990 hPa).

5.2.3 Avec d'autres dépressions

	Freq	PMx/ PMi	P My	Du	Di	La Mi	La Mx	La	Lg Mi	Lg Mx	Lg	vit	LaMx- LaMi	LgMx- LgMi	PMx/ PMi /PMi	LaMi/ LaMx
Dep>70 /A<40	-	- 0,86	0,87	0,52	0,26	- 0,35	0,15	0,81	- 0,52	- 0,44	0,47	0,76	0,03	0,59	0,79	0,04
Dep>70/ A<30	0,56	- 0,84	0,83	0,45	0,31	- 0,37	- 0,01	0,53	0,44	0,08	0,67	0,69	0,01	0,72	0,83	0,05
Dep>60/ A<40	-	- 0,88	0,90	0,68	0,00	- 0,62	0,08	0,73	- 0,67	- 0,63	0,61	0,62	0,45	0,27	0,79	- 0,27
Dep>60/ A<30	0,63	- 0,86	0,85	0,45	0,07	- 0,41	0,02	0,43	0,51	0,11	0,73	0,60	0,50	0,43	0,83	- 0,37

Tableau 5.3 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions et des anticyclones.

Dep>70, >60 : correspond aux dépressions ayant atteint une latitude supérieure à 70 ou 60 °N.

A<40 : correspond aux anticyclones ayant atteint une latitude inférieure à 40 °N.

Les constats sont semblables aux cas précédents, sauf pour l'évolution des latitudes atteintes par chacun des éléments où il n'y a pas de relation ($R = 0,05$). Ces coefficients de corrélation montrent bien l'intensité des relations qui existent entre les dépressions et les anticyclones.

5.3 Analyses croisées des caractéristiques des anticyclones et des dépressions selon les différentes échelles de temps

Nous étudions ici les coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions (inférieures à 1000, et 990 hPa) et des anticyclones (totalité, tous les anticyclones ayant des pressions supérieures à 1020 hPa, les anticyclones américano-atlantiques, les anticyclones groenlando-scandinaves) selon les échelles de temps.

5.3.1 En valeurs annuelles

	Freq A	Freq>1020	Freq A AME	Freq A GS
Fréquence	- 0,21	- 0,24	- 0,29	- 0,03
Fréquence<990	- 0,07	- 0,03	- 0,32	0,19
	Lat min A	Lat min>1020	Lat minA AME	Lat min A GS
Lat Max	- 0,52	- 0,51	- 0,44	- 0,42
Lat Max<990	- 0,46	- 0,42	- 0,38	- 0,41
	Pmax A	Pmax>1020	Pmax A AME	Pmax A GS
Pression Mi	0,17	0,21	0,24	- 0,14
Pression Mi<990	0,17	0,16	0,26	- 0,12
	Lat A	Lat>1020	Lat A AME	Lat A GS
Latitude	- 0,68	- 0,67	- 0,62	- 0,50
Latitude <990	- 0,62	- 0,58	- 0,57	- 0,44
	Long A	Long>1020	Long A AME	Long A GS
Longitude	- 0,35	- 0,42	0,12	- 0,26
Longitude<990	- 0,20	- 0,22	0,20	- 0,21
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Longitude Mi	0,48	0,50	0,36	0,44
Longitude Mi<990	0,41	0,42	0,31	0,41
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Latitude Mi	- 0,60	- 0,58	- 0,55	- 0,44
Latitude Mi<990	- 0,60	- 0,57	- 0,57	- 0,40

Tableau 5.4 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs annuelles.

Durant la période 1950-2000, pour les valeurs annuelles, il ressort que (tableau 5.4) :

- lorsque les anticyclones vont bas en latitude, les dépressions atteignent des latitudes plus septentrionales (R égal en moyenne à - 0,48),
- lorsque les anticyclones ont des trajectoires basses en latitude, les dépressions ont des trajectoires septentrionales (R égal en moyenne à - 0,6),
- lorsque les anticyclones apparaissent bas en latitude, les dépressions se créent à des longitudes plus occidentales (R égal en moyenne à 0,45) et à des latitudes plus septentrionales (R égal en moyenne à - 0,55)

5.3.2 En valeurs JFM

	Freq A	Freq>1020	Freq A AME	Freq A GS
Fréquence	- 0,49	- 0,51	- 0,47	- 0,21
Fréquence<990	- 0,54	- 0,59	- 0,60	- 0,14
	Lat min A	Lat min>1020	Lat min A AME	Lat min A GS
Lat Max	- 0,45	- 0,49	- 0,53	- 0,02
Lat Max<990	- 0,39	- 0,42	- 0,46	- 0,03
	Pmax A	Pmax>1020	Pmax A AME	Pmax A GS
Pression Mi	0,09	0,19	0,14	- 0,04
Pression Mi<990	0,06	0,15	0,12	- 0,07
	Lat A	Lat>1020	Lat A AME	Lat A GS
Latitude	- 0,67	- 0,66	- 0,68	- 0,21
Latitude <990	- 0,59	- 0,60	- 0,61	- 0,15
	Long A	Long>1020	Long A AME	Long A GS
Longitude	- 0,31	0,00	0,05	- 0,41
Longitude<990	- 0,26	0,06	0,11	- 0,49
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Longitude Mi	0,48	0,46	0,40	0,30
Longitude Mi<990	0,44	0,44	0,36	0,26
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Latitude Mi	- 0,49	- 0,49	- 0,45	- 0,18
Latitude Mi<990	- 0,51	- 0,50	- 0,47	- 0,18

Tableau 5.5 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs hivernales.

Les constats pour les valeurs hivernales sont similaires à ceux pour les valeurs annuelles (tableau 5.5). En plus une anti-corrélation existe entre les fréquences (R égal en moyenne à - 0,55), à l'exception des anticyclones groenlando-scandinaves (R égal en moyenne - 0,17).

5.3.3 En valeurs AMJ

	Freq A	Freq>1020	Freq A AME	Freq A GS
Fréquence	- 0,01	0,01	- 0,03	0,03
Fréquence<990	0,02	- 0,07	- 0,09	0,14
	Lat min A	Lat min>1020	Lat min A AME	Lat min A GS
Lat Max	- 0,25	- 0,30	- 0,05	- 0,03
Lat Max<990	- 0,26	- 0,32	- 0,02	- 0,02
	Pmax A	Pmax>1020	Pmax A AME	Pmax A GS
Pression Mi	- 0,06	- 0,15	- 0,09	0,06
Pression Mi<990	0,07	- 0,10	- 0,01	0,17
	Lat A	Lat>1020	Lat A AME	Lat A GS
Latitude	- 0,33	- 0,37	- 0,32	- 0,08
Latitude <990	- 0,23	- 0,25	- 0,24	- 0,03
	Long A	Long>1020	Long A AME	Long A GS
Longitude	- 0,17	- 0,14	- 0,11	0,06
Longitude<990	- 0,05	- 0,09	- 0,03	0,11
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx AME	lat Mx A GS
Longitude Mi	0,26	0,25	0,17	0,26
Longitude Mi<990	- 0,02	0,03	- 0,10	0,13
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx AME	lat Mx A GS
Latitude Mi	- 0,05	- 0,09	- 0,07	0,03
Latitude Mi<990	- 0,16	- 0,18	- 0,09	- 0,12

Tableau 5.6 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs printanières.

Durant la période printanière, il n'y a pas de relations exploitables, exceptions faites des latitudes moyennes de déplacement qui sont anti-corrélées (R égal en moyenne à - 0,35) (tableau 5.6).

5.3.4 En valeurs JAS

	Freq A	Freq>1020	Freq A AME	Freq A GS
Fréquence	- 0,22	- 0,07	- 0,04	- 0,28
Fréquence<990	- 0,17	- 0,06	- 0,12	- 0,14
	Lat min A	Lat min>1020	Lat min A AME	Lat min A GS
Lat Max	- 0,32	- 0,19	- 0,22	- 0,24
Lat Max<990	- 0,21	- 0,11	- 0,17	- 0,10
	Pmax A	Pmax>1020	Pmax A AME	Pmax A GS
Pression Mi	0,01	- 0,01	- 0,03	0,04
Pression Mi<990	0,32	0,16	0,23	0,16
	Lat A	Lat>1020	Lat A AME	Lat A GS
Latitude	- 0,45	- 0,36	- 0,36	- 0,30
Latitude <990	- 0,37	- 0,25	- 0,31	- 0,21
	Long A	Long>1020	Long A AME	Long A GS
Longitude	- 0,27	0,22	0,18	- 0,21
Longitude<990	- 0,21	0,30	0,21	- 0,17
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Longitude Mi	0,33	0,36	0,20	0,23
Longitude Mi<990	0,19	0,25	0,04	0,28
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Latitude Mi	- 0,51	- 0,52	- 0,47	- 0,27
Latitude Mi<990	- 0,47	- 0,44	- 0,41	- 0,28

Tableau 5.7 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs estivales.

Durant la période estivale (tableau 5.7):

- lorsque les anticyclones se déplacent bas en latitude, les dépressions se déplacent à des latitudes plus septentrionales (R égal en moyenne à - 0,40),
- lorsque les anticyclones apparaissent bas en latitude, les dépressions se créent à des latitudes plus septentrionales (R égal en moyenne à - 0,45).

5.3.5 En valeurs OND

	Freq A	Freq>1020	Freq A AME	Freq A GS
Fréquence	- 0,22	- 0,20	- 0,12	- 0,22
Fréquence<990	- 0,21	- 0,17	- 0,09	- 0,23
	Lat min A	Lat min>1020	Lat min A AME	Lat min A GS
Lat Max	- 0,51	- 0,44	- 0,47	- 0,29
Lat Max<990	- 0,40	- 0,38	- 0,39	- 0,17
	Pmax A	Pmax>1020	Pmax A AME	Pmax A GS
Pression Mi	- 0,04	- 0,03	0,00	- 0,07
Pression Mi<990	0,21	0,15	0,18	0,10
	Lat A	Lat>1020	Lat A AME	Lat A GS
Latitude	- 0,68	- 0,52	- 0,55	- 0,50
Latitude<990	- 0,60	- 0,50	- 0,51	- 0,39
	Long A	Long>1020	Long A AME	Long A GS
Longitude	- 0,16	- 0,07	- 0,07	- 0,21
Longitude<990	- 0,28	- 0,12	- 0,12	0,10
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Longitude Mi	0,06	0,09	0,11	- 0,02
Longitude Mi<990	- 0,01	0,01	- 0,02	0,08
	lat Mx A	lat Mx>1020	lat Mx A AME	lat Mx A GS
Latitude Mi	- 0,52	- 0,52	- 0,39	- 0,44
Latitude Mi<990	- 0,61	- 0,61	- 0,60	- 0,23

Tableau 5.8 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs automnales.

Durant la période automnale (tableau 5.8) :

- lorsque les anticyclones vont bas en latitude, les dépressions atteignent des latitudes plus septentrionales (R égal en moyenne à - 0,48),
- lorsque les anticyclones ont des trajectoires basses en latitude, les dépressions ont des trajectoires septentrionales (R égal en moyenne à - 0,55),
- lorsque les anticyclones apparaissent bas en latitude, les dépressions se créent à des latitudes plus septentrionales (R égal en moyenne à - 0,55).

En résumé, pour les valeurs annuelles, hivernales et automnales, lorsque les anticyclones apparaissent, se déplacent et s'agglutinent bas en latitude, les dépressions se créent, se déplacent et se combinent à des latitudes plus septentrionales. De plus, en période hivernale, lorsqu'il y a peu d'anticyclones, les dépressions sont nombreuses.

5.4 Les latitudes d'apparition des anticyclones et des dépressions

Pour analyser ces caractéristiques, il faut diviser les anticyclones et les dépressions en :

- anticyclones américano-atlantiques et anticyclones groenlando-scandinaves,
- dépressions générées à l'ouest et à l'est de la longitude 135° (45 °O).

Nous allons d'abord examiner les comportements des anticyclones américano-atlantiques et des dépressions uniquement à l'ouest de la longitude 135° (45°O) (afin de ne prendre en considération que les dépressions apparaissant sur la façade est du continent nord américain).

	Année	JFM	AMJ	JAS	OND	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Lat AME	66,83	66,83	67,96	65,67	66,55	66,31	67,33	68,14	68,91	68,67	67,36	66,02	65,75	66,35	67,73	67,04	65,95
Lat Dep <135°	60,57	60,19	56,24	63,53	61,21	61,2	60,95	56,33	52,7	56,29	59,52	63,52	64,34	62,61	61,44	60,58	60,93
Diff en °	6,26	6,64	11,72	2,14	5,34	5,11	6,38	11,81	16,21	12,38	7,84	2,5	1,42	3,74	6,3	6,46	5,02

Tableau 5.9 Latitudes moyennes d'apparition et différences des latitudes d'apparition.

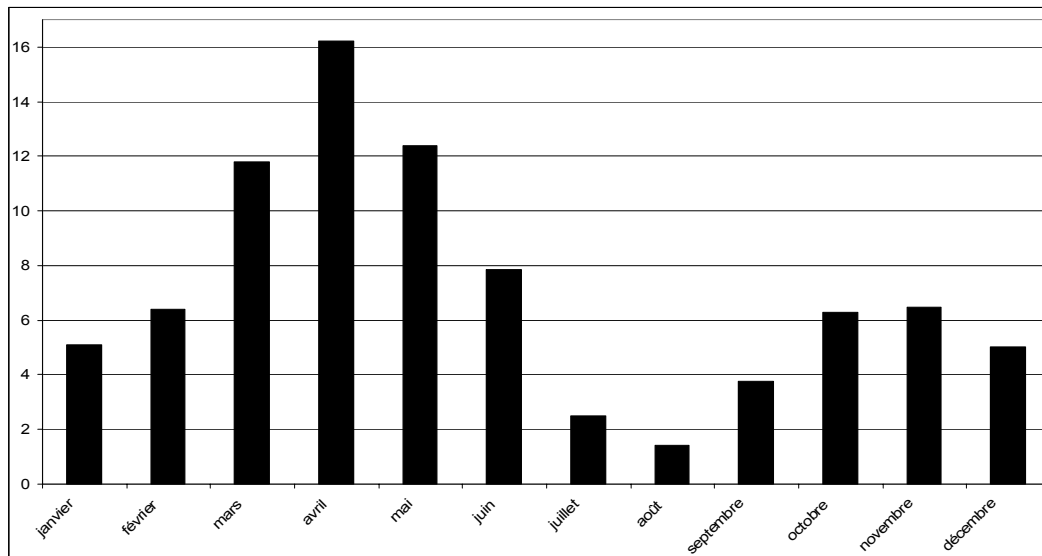


Figure 5.2 Différences des latitudes d'apparition.

Les moyennes annuelles, saisonnières et mensuelles des latitudes d'apparition des anticyclones américano-atlantiques sont toujours supérieures à celles des dépressions générées à l'ouest de la longitude 135° (45 °O). Les écarts les plus marqués se produisent au printemps et les plus réduits en été (tableau 5.9 et figure 5.2).

Les valeurs moyennes ayant été décrites, nous étudions les variations sur la période durant différentes échelles de temps.

5.4.1 En valeurs annuelles

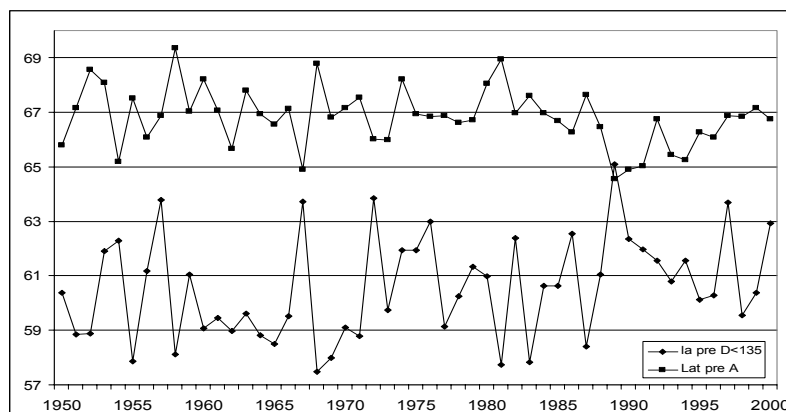


Figure 5.3 Latitudes moyennes d'apparition en valeurs annuelles.

Sur la période 1950-2000 (figure 5.3) :

- les latitudes d'apparition des dépressions s'abaissent de 1950 à 1969, puis se déplacent en direction du pôle jusqu'à la fin de la période d'étude,
- les latitudes d'apparition des anticyclones se décalent vers le sud.

Le coefficient de corrélation entre les deux courbes est $R = -0,56$. Cela signifie que lors des périodes durant lesquelles les anticyclones apparaissent à des latitudes plus méridionales, concomitamment les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales. L'année 1989 est remarquable puisque les latitudes des dépressions sont en moyenne supérieures à celles des anticyclones de 0,53°. Ceci est d'autant plus intéressant que cette année 1989 marque le maximum de fréquence des dépressions profondes sur l'ensemble de la période d'étude. Les variations des

latitudes d'apparition pourraient donc être un marqueur (dans une optique prévisionnelle) utile pour l'appréciation de la violence du temps.

5.4.2 En valeurs JFM

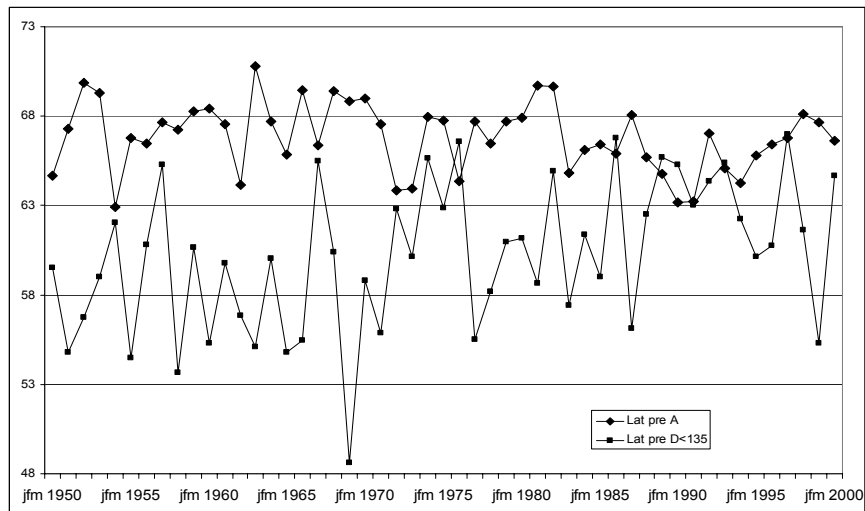


Figure 5.4 Latitudes moyennes d'apparition en valeurs hivernales.

Sur la période 1950-2000, en valeurs hivernales (figure 5.4) :

- les latitudes d'apparition des dépressions migrent vers le sud de 1950 à 1969, puis se décalent vers le nord jusqu'à la fin de la période d'étude,
- les latitudes d'apparition des anticyclones sont de plus en plus méridionales.

Le coefficient de corrélation entre les deux courbes est $R = -0,38$. Cela signifie que lors des périodes durant lesquelles les anticyclones apparaissent à des latitudes plus méridionales, concomitamment les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales. Nous constatons que durant plusieurs hivers, les latitudes des dépressions sont en moyenne supérieures à celles des anticyclones : 1976 ($2,18^\circ$), 1986 ($0,92^\circ$), 1989 ($0,95^\circ$), 1990 ($2,11^\circ$), 1993 ($0,35^\circ$), 1997 ($0,2^\circ$). Il est intéressant de souligner que toutes ces dates se situent dans la deuxième moitié de la période d'étude.

Il faut à partir de ce constat approfondir les analyses afin de savoir si les périodes, durant lesquelles les différences sont faiblement négatives voire positives, se produisent lors de phases spécifiques de dynamique aérologique. Pour ce faire, nous établissons, le tableau des coefficients de corrélation entre la différence des latitudes d'apparition des dépressions-latitudes d'apparition des anticyclones et l'ONA.

	Année	JFM	AMJ	JAS	OND	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
ONA	0,66	0,76	0,38	0,33	0,45	0,67	0,58	0,76	0,39	0,46	0,54	0,35	0,42	0,33	0,56	0,49	0,47

Tableau 5.10 Coefficients de corrélation entre les latitudes d'apparition et l'ONA.

Il ressort très nettement que les différences sont similaires aux évolutions de la dynamique aérologique (tableau 5.10) :

- les différences sont positives en phase active de la dynamique (période durant laquelle l'ONA est positive),
- les différences sont négatives en phase lente de la dynamique (période durant laquelle l'ONA est négative).

Pour exemple, nous montrons le graphique concernant la période JFM (figure 5.5). La ressemblance des courbes de l'ONA et de la différence des latitudes d'apparition des dépressions-latitudes d'apparition des anticyclones est flagrante ($R = 0,76$).

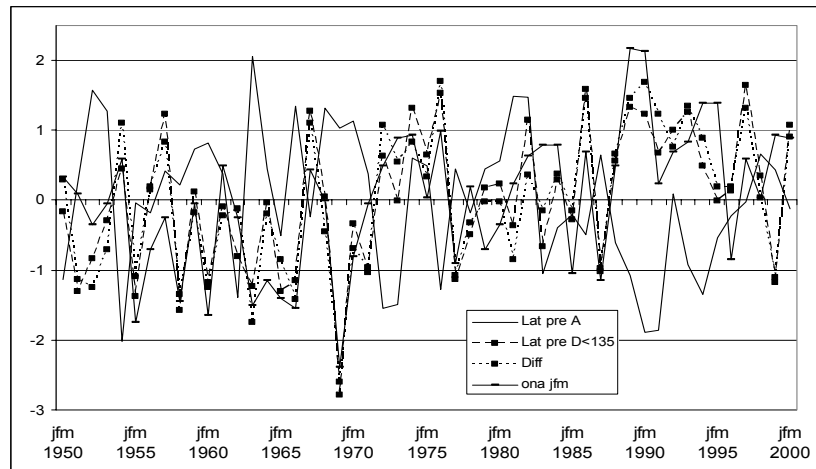


Figure 5.5 Séries temporelles des latitudes d'apparition des anticyclones et des dépressions, des différences entre elles et l'ONA.

Afin d'améliorer la description, nous pouvons poser la question suivante : comment expliquer que durant les périodes de dynamique intense, les latitudes d'apparition des dépressions sont plus septentrionales que celles des anticyclones ?

Pour y répondre, il faut analyser les liens avec d'autres caractéristiques. Successivement :

- pour les coefficients de corrélation entre latitudes d'apparition des anticyclones américano-atlantiques et :
 - les longitudes d'apparition des dépressions, en valeurs annuelles $R = 0,32$, en JFM $R = 0,37$,
 - les latitudes d'apparition des dépressions, en valeurs annuelles $R = -0,56$, en JFM $R = -0,38$,
- pour les coefficients de corrélation entre longitudes d'apparition des anticyclones américano-atlantiques et :
 - les longitudes d'apparition des dépressions, en valeurs annuelles $R = 0,13$, en JFM $R = 0,24$,
 - les latitudes d'apparition des dépressions, en valeurs annuelles $R = -0,37$, en JFM $R = -0,39$,
- pour les coefficients de corrélation entre longitudes d'apparition des dépressions et latitudes d'apparition des dépressions, en valeurs annuelles $R = -0,33$, en JFM $R = -0,61$,
- pour les coefficients de corrélation entre la fréquence et les latitudes d'apparition des anticyclones américano-atlantiques en valeurs annuelles $R = 0,05$, en JFM $R = 0,44$,
- pour les coefficients de corrélation entre la fréquence et les latitudes d'apparition des dépressions en valeurs annuelles $R = 0,59$, en JFM $R = 0,6$,
- pour les coefficients de corrélation entre la fréquence des anticyclones américano-atlantiques et la fréquence des dépressions en valeurs annuelles $R = -0,36$, en JFM $R = -0,67$.

Ainsi lorsque les anticyclones américano-atlantiques sont peu nombreux, leur mise en place se fait plus lentement, donc leurs latitudes d'apparition se situent plus au sud. Dans cette situation, les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus occidentales. De plus, lorsque les anticyclones se mettent en place à des longitudes plus occidentales, les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales.

5.5 Les latitudes d'agglutination des anticyclones et de comblement des dépressions

Nous étudions premièrement les moyennes des latitudes d'agglutination des anticyclones américano-atlantiques et des latitudes de dissipation des dépressions (toutes les dépressions) ainsi que leurs différences en valeurs annuelles, saisonnières et mensuelles (tableau 5.11 et figure 5.6).

	Année	JFM	AMJ	JAS	OND	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Lat AME	33,94	33,7	35,1	32,83	33,77	32,71	34,09	34,24	35,89	35,27	33,68	32,66	32,53	32,96	33,85	33,96	33,02
Lat Dep	56,87	63,3	55,21	59,2	57,36	56,66	56,08	54,31	53,89	54,64	57,43	59,29	59,54	58,75	57,73	57,38	57,02
Diff en °	22,93	29,6	20,11	26,37	23,58	23,96	21,99	20,07	18	19,37	23,74	26,63	27,01	25,8	23,88	23,42	24

Tableau 5.11 Latitudes d'agglutination et de comblement et différences des latitudes.

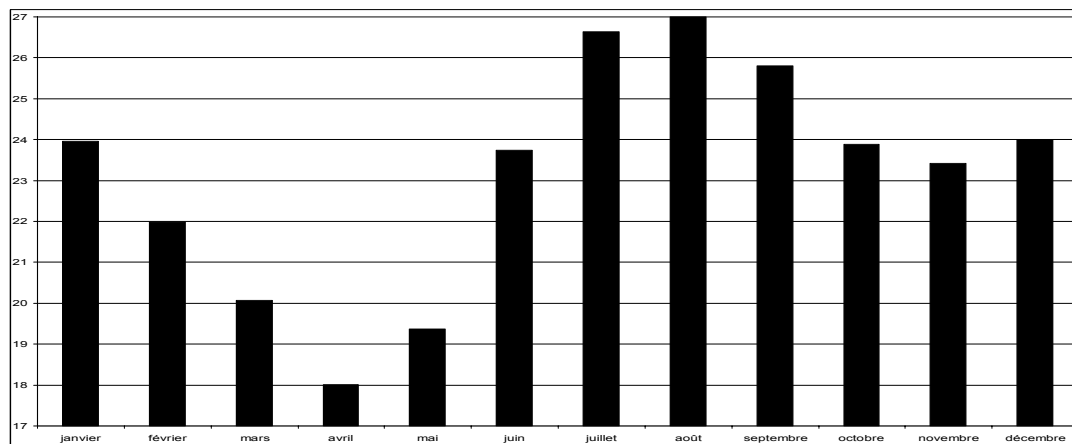


Figure 5.6 Latitudes d'agglutination et de comblement et différences des latitudes.

Les écarts sont maximaux durant l'été et dans une moindre mesure en automne et minimaux durant le printemps. Le mois où la différence est la plus réduite est le mois d'avril avec 18°, et le mois durant lequel les latitudes finales sont les plus contrastées est le mois d'août durant lequel la différence atteint 27,01° (tableau 5.11 et figure 5.6).

Il est à noter que le coefficient de corrélation entre les différences entre les latitudes d'apparition et d'agglutination / comblement est de - 0,97, ce qui implique une forte imbrication des éléments.

Deuxièmement, nous analysons les variations sur la période selon les différentes échelles de temps.

5.5.1 En valeurs annuelles

Les données étant d'un ordre de grandeur différent, nous travaillons à partir des déviations standard des valeurs.

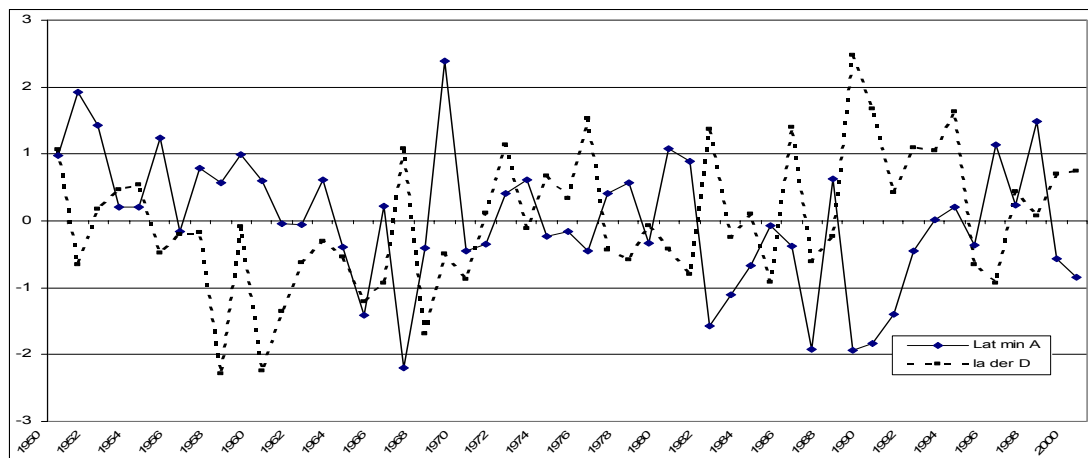


Figure 5.7 Série temporelle des latitudes d'agglutination et de comblement en valeurs annuelles.

Le coefficient de corrélation entre les deux courbes est $R = -0,36$. Nous constatons que lors des périodes durant lesquelles les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus méridionales, les dépressions atteignent des latitudes plus septentrionales (figure 5.7).

5.5.2 En valeurs JFM

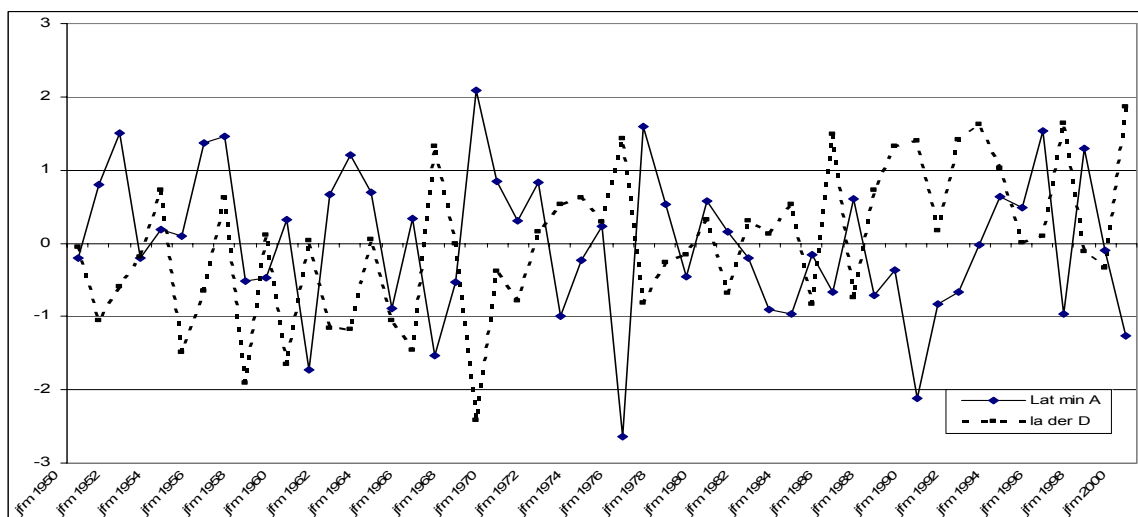


Figure 5.8 Série temporelle des latitudes d'agglutination et de comblement en valeurs hivernales.

Le coefficient de corrélation entre les deux courbes est $R = -0,53$. De façon concomitante, lorsque les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus méridionales, les dépressions se combent à des latitudes plus septentrionales (figure 5.8).

	Année	JFM	AMJ	JAS	OND	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
ONA	0,69	0,79	0,44	0,08	0,47	0,7	0,68	0,7	0,49	0,35	0,51	0,16	0,3	0,23	0,6	0,35	0,6

Tableau 5.12 Coefficients de corrélation entre latitudes de comblement des dépressions - latitudes d'agglutination des anticyclones et l'ONA.

Il ressort très nettement de la comparaison entre les latitudes de comblement des dépressions - latitudes d'agglutination des anticyclones et l'ONA que les variations des différences sont similaires aux évolutions de la dynamique aérologique (tableau 5.12 et figure 5.9) :

- les différences sont grandes en phase active de la dynamique,
- les différences sont «faibles» (toujours supérieures à 18° en moyenne mensuelle) en phase lente de la dynamique.

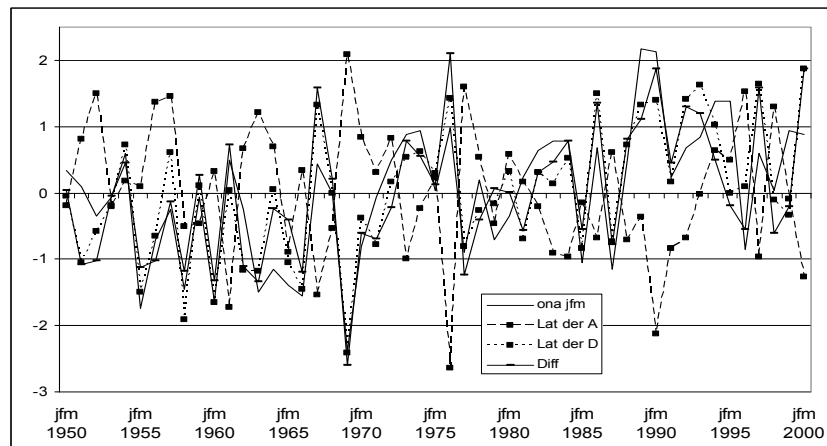


Figure 5.9 Séries temporelles des latitudes d'agglutination des anticyclones et de comblement des dépressions, des différences entre elles et l'ONA.

En conclusion de cette sous-partie, nous pouvons affirmer que durant la période 1970-2000, il y a donc «gonflement» de l'espace aérologique couvert par les dépressions et les anticyclones. Les anticyclones américano-atlantiques atteignent des latitudes plus méridionales et les dépressions atteignent des latitudes plus septentrionales.

Ce gonflement a des répercussions sur l'évolution climatique tant au nord qu'au sud de l'espace. Nous pouvons citer pour la partie méridionale, les liens étroits entre cette «migration vers le sud des anticyclones» et l'intensification de la sécheresse sahélienne (Sagna P., communication personnelle, 2004) ou encore l'augmentation de la vitesse des alizés. Pour la partie septentrionale, les conséquences sur les glaciers scandinaves montrant une augmentation de leurs masses (World Glacier Monitoring Service (2003) et Six D., Reynaud L. et Letréguilly A. (2001)) ou sur la banquise entre Groenland et Scandinavie (Jung T. 2000) concluant à une diminution de la superficie et un amincissement, sont les exemples les plus marquants du déplacement vers le nord des lieux de comblement des dépressions.

5.6 Trajectoires des anticyclones

La question est ici de savoir si la dynamique aérologique dépend du nombre et de la concentration / dispersion des trajectoires des anticyclones

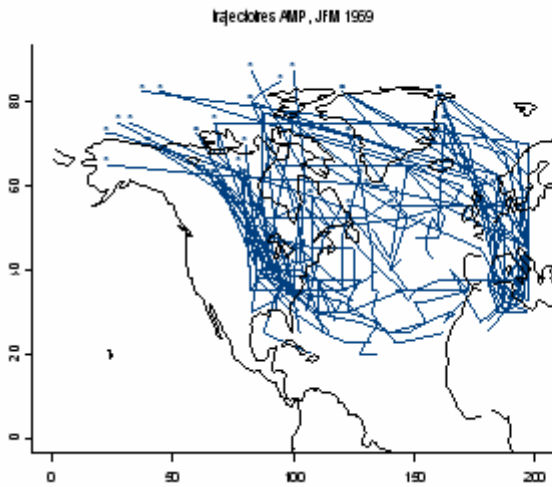
	Année	JFM	AMJ	JAS	OND
ONA	- 0.28	- 0.59	- 0.29	- 0.54	- 0.52

Tableau 5.13 Coefficients de corrélation entre l'ONA et la fréquence des anticyclones.

Le tableau 5.13 montre parfaitement le lien entre la fréquence des anticyclones et la dynamique aérologique. Durant les périodes actives (JFM 1990 qui est le maximum de l'ONA sur la période 1950-2000), le nombre d'anticyclones est faible, et inversement lors des périodes peu actives (JFM

1969 qui est le minimum de l'ONA sur la période 1950-2000). Ce constat fonctionne aux échelles hivernales, estivales et automnales.

a- Dispersion, JFM 1969



b- Concentration, JFM 1990

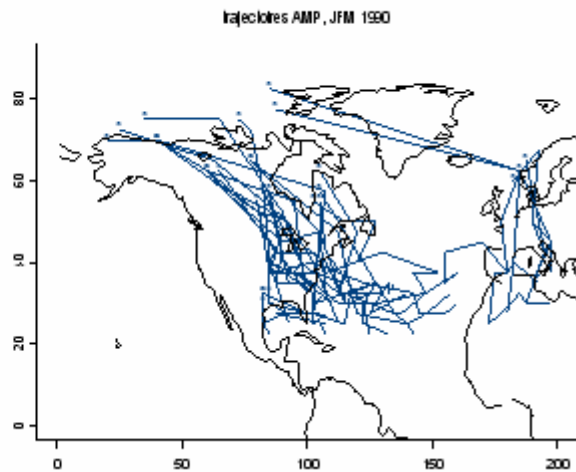


Figure 5.10 Dispersion (a) et concentration (b) des anticyclones. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Mais au-delà de la simple fréquence des anticyclones, il faut prendre en compte leurs trajectoires :

- en période peu active, les anticyclones sont nombreux et répartis sur tout l'espace (figure 5.10a),
- durant les périodes actives les anticyclones sont peu nombreux et concentrés sur la trajectoire américano-atlantique (figure 5.10b).

Cette concentration plus ou moins grande des trajectoires a des conséquences primordiales. :

- lorsque la concentration sur la trajectoire américano-atlantique est maximale, l'Atlantique nord et la Mer du Groenland sont «laissés libres» et donc les dépressions peuvent se développer et s'intensifier jusqu'au stade de dépressions profondes si le potentiel énergétique est suffisant,
- lors des périodes de dispersion des anticyclones, l'espace libre est bien moindre et donc les dépressions sont confinées bas en latitude et ne peuvent se développer.

Afin de représenter encore mieux l'impact de cette concentration / dispersion sur la dynamique aérologique, nous établissons un tableau des coefficients de corrélation entre l'ONA et la fréquence des anticyclones «islandais». Les anticyclones «islandais» sont définis par leur trajectoire. Celle-ci doit avoir survolé au moins une partie de l'espace compris entre le Groenland et la Scandinavie au nord de la latitude 60 °N.

	Année	JFM	AMJ	JAS	OND
ONA	- 0,43	- 0,61	- 0,45	- 0,59	- 0,58

Tableau 5.14 Coefficients de corrélations entre l'ONA et la fréquence des anticyclones «islandais».

La relation apparaît clairement : lorsque l'on observe beaucoup d'anticyclones «islandais», la dynamique faiblit, et inversement. Il est particulièrement intéressant de noter que ce constat fonctionne parfaitement pour toutes les saisons y compris l'été (tableau 5.14).

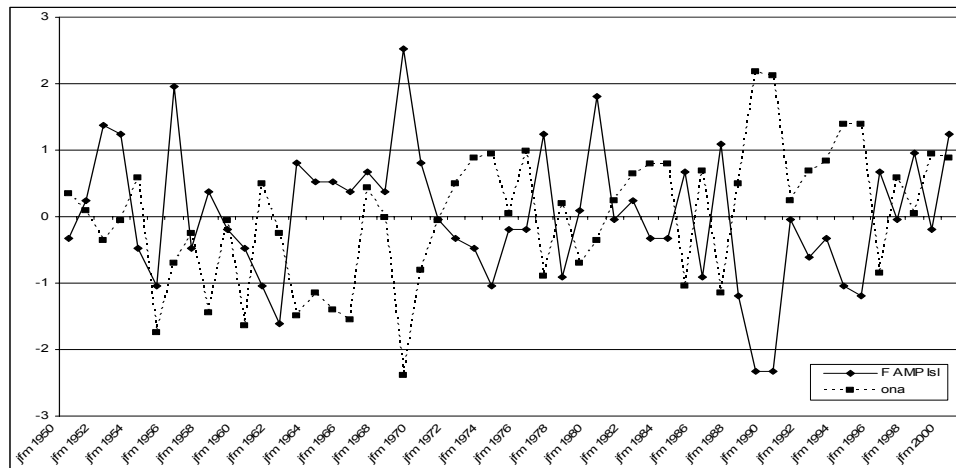


Figure 5.11 Série temporelle des fréquences des anticyclones «islandais» et de l'ONA durant les hivers 1950-2000.

S'il y a beaucoup d'anticyclones «islandais», la pression des stations prises en compte dans le calcul de l'indice de l'ONA pour le pôle septentrional (Reykjavik ou Stykkiholmsmur) augmente. De fait la différence, entre la pression de Gibraltar et de l'Islande, est réduite et donc l'indice de l'ONA diminue (figure 5.11)

Mais cela mérite d'être largement nuancé. En effet, il peut y avoir dichotomie entre la réalité et les conclusions faites en première analyse. Ce nombre d'anticyclones passant sur la Mer du Groenland, peut engendrer deux dynamiques opposées :

- on enregistre beaucoup d'anticyclones, donc la pression augmente sur les stations de cet espace, et ainsi l'ONA diminue (puisque la différence entre les pressions diminue). Ces anticyclones interdisent le passage et donc le développement des dépressions, ce qui intensifie la hausse de pression relative et débouche sur un temps clément sur l'Europe occidentale,
- on enregistre beaucoup d'anticyclones, donc la pression augmente sur les stations de cet espace, et ainsi l'indice de l'ONA diminue (puisque la différence entre les pressions diminue). Ces anticyclones sont très puissants et rapides, donc capables de générer des dépressions profondes sur leur face avant. C'est le cas des descentes rapides (2 ou 3 jours de l'Arctique à la Méditerranée) sur l'Europe occidentale créant des chutes de neige (04/01/2003 sur l'Île de France) ou bien des pluies diluviennes (Nîmes en 1988, Vaison-la-Romaine en 1992, Alger en novembre 2001, cf. introduction).

5.7 Positions et étendues des Agglutinations Anticycloniques (AA des Açores et AA des Bermudes) et des Réunions Dépressionnaires

5.7.1 Centres d'action versus Agglutinations Anticycloniques et Réunions Dépressionnaires.

La perception statistique des phénomènes, fondée sur les moyennes de pression, est à l'origine de la reconnaissance des centres d'action. Dans le cas de l'Atlantique nord, deux centres d'action permanents ont été reconnus par l'école climatologique :

- «l'Anticyclone des Açores»,
- la «Dépression d'Islande»,

et plusieurs centres d'actions semi-permanents ou saisonniers (dont la liste varie selon les auteurs) comme «l'Anticyclone des Bermudes» ou «la Dépression Ligue» etc.

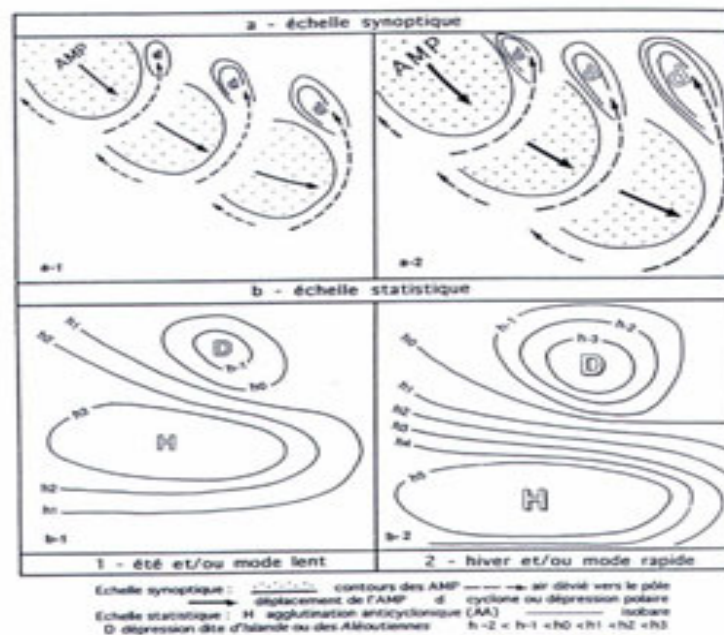


Figure 5.12 Relation entre échelle synoptique et échelle moyenne (d'après M. Leroux 1996).

La figure 5.12 résume parfaitement la dichotomie entre les visions statistique et synoptique :

- à l'échelle statistique, les moyennes de pression calculées sur une période donnent des indications pertinentes sur les évolutions barométriques moyennes, mais masquent les mouvements réels des éléments qui les expliquent,
- à l'échelle synoptique, les éléments responsables des variations de pression sont parfaitement identifiables (tant par leur intensité que par leur trajectoire). Cette vision des phénomènes permet une meilleure analyse des évolutions barométriques.

Nous utilisons ainsi le concept d'Agglutinations Anticycloniques (AA). Ce concept est basé sur le fait que les anticyclones arrivant successivement dans la zone subtropicale «s'entrechoquent» et s'entremêlent (plus ou moins différemment selon leurs caractéristiques : pression, vitesse, trajectoire, température...) pour former des régions de hautes pressions. Ces aires sont mouvantes au gré des arrivées (ir)régulières d'anticyclones. L'Agglutination Anticyclonique des Açores (AAA) se forme donc aux alentours de l'archipel des Açores avec les arrivées successives des anticyclones dans cette région.

La même analyse peut être faite pour le pendant dépressionnaire. La Réunion Dépressionnaire d'Islande (RDI) est formée par les passages successifs de dépressions plus ou moins distinctes sur une région plus ou moins constante.

Ainsi l'AAA ou la RDI sont le résultat de passage successifs et préférentiels des trajectoires des anticyclones et des dépressions sur des aires géographiques plus ou moins restreintes. Leurs migrations ou gonflements / rétrécissements sont générés par les caractères des anticyclones et des dépressions y pénétrant. Par exemple, un anticyclone de trajectoire groenlando-scandinave arrivant dans l'AA des Açores (donc par le nord) entraîne à l'échelle statistique un gonflement de «l'Anticyclone des Açores» ainsi que lorsque sa pression est élevée, la migration de son centre de gravité vers le nord (figure 5.13).

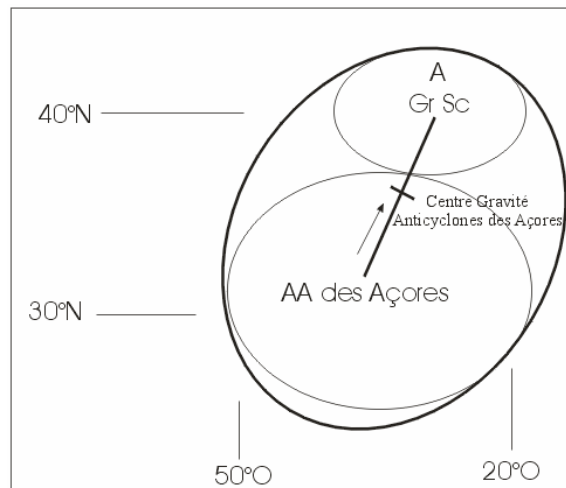


Figure 5.13 «Migration, gonflement» de «l'Anticyclone des Açores».

Par la structure de l'algorithme les positions (centre de gravité) de ces éléments sont mesurées de la façon la plus réaliste :

- par les latitudes minimales, longitudes maximales des trajectoires des anticyclones pour les Agglutinations Anticycloniques,
- par les latitudes maximales, longitudes maximales des trajectoires des dépressions pour les Réunions Dépressionnaires.

5.7.2 Cycles annuels en valeurs saisonnières et mensuelles

Trois critères sont à mesurer afin de bien appréhender les migrations et les variations de taille des AA :

- les latitudes d'agglutination des anticyclones, des anticyclones américano-atlantiques et des anticyclones groenlando-scandinaves,
- les longitudes d'agglutination des anticyclones, des anticyclones américano-atlantiques et des anticyclones groenlando-scandinaves,
- l'extension spatiale des pressions (que nous appelons «Superficie de pression» supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0°) (Açores). Le calcul de la superficie couverte par des pressions déterminées s'effectue par comptabilisation du nombre de pixels (dans les matrices de données initiales) répondant aux critères de sélection dans un espace donné (fixe durant la période analysée). Les pixels comptabilisés ne sont pas pondérés en fonction de leurs latitudes. Mais cela ne nuit pas aux résultats puisque les analyses sont toujours conduites à l'intérieur d'un même espace (d'extension latitudinale réduite) et que nous ne comparons pas les ordres de grandeur des valeurs d'une région par rapport à une autre, mais uniquement leurs évolutions.

5.7.2.1 Pour l'ensemble des anticyclones

	Lat Min A	Long Max A	Superficie >1020
Année	34,67	150,61 (29,39°O)	155,46
JFM	34,08	145,15 (34,85°O)	232,67
AMJ	35,89	153,88 (26,12°O)	120,22
JAS	34,21	154,53 (25,47°O)	114,21
OND	34,24	147,61(32,39°O)	154,43
Janvier	32,97	141,97 (38,03°O)	261,01
Février	34,24	143,57 (36,43°O)	221,57
Mars	34,91	148,39 (31,61°O)	188,61
Avril	36,39	151,52 (28,48°O)	164,79
Mai	36,10	152,7 (27,3°O)	151,80
Juin	35,06	156,77 (23,23°O)	148,07
Juillet	34,53	153,19 (26,81°O)	147,17
Août	34,21	155,68 (24,32°O)	141,50
Septembre	33,82	153,57 (26,43°O)	135,58
Octobre	34,36	151,27 (28,73°O)	133,47
Novembre	34,42	148,31 (31,69°O)	137,08
Décembre	33,46	142,15 (37,85°O)	145,99

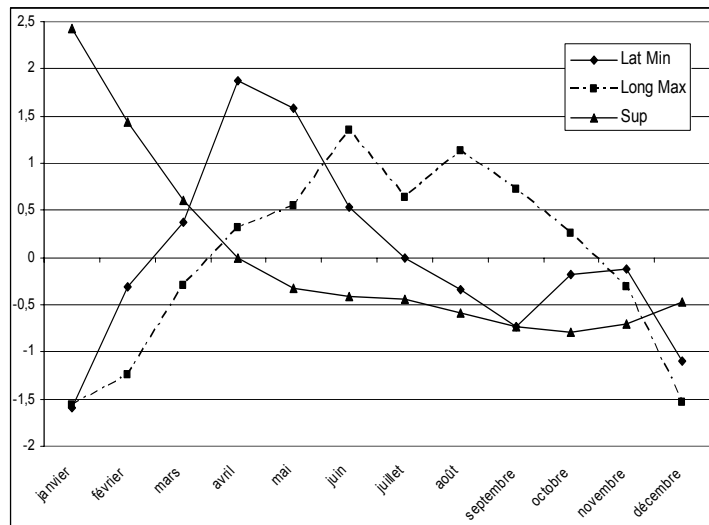


Tableau 5.15 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones et de surface de l'AAA et Figure 5.14 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones et de surface de l'AAA.

L'analyse du tableau 5.15 et de la figure 5.14 fait ressortir que :

- les superficies supérieures à 1020 hPa sont maximales durant les mois hivernaux et automnaux et minimales durant les mois estivaux,
- les anticyclones s'agglutinent à des latitudes plus méridionales durant les mois hivernaux et automnaux et dans une moindre mesure durant les mois estivaux et plus septentrionales durant les mois printaniers,
- les anticyclones s'agglutinent à des longitudes plus occidentales durant les mois hivernaux et automnaux et plus orientales durant les mois printaniers.

L'Agglutination Anticyclonique des Açores (à l'échelle statistique) est donc :

- en hiver, située plus au sud-ouest et plus étendue,
- en été, située plus au nord-est et moins étendue.

L'évolution d'un mode à l'autre s'effectue de façon non uniforme avec le décalage d'évolution des courbes au printemps.

Mais comme nous l'avons décrit dans le chapitre consacré à la description des anticyclones, il existe deux trajectoires préférentielles (américano-atlantique et groenlando-scandinave). Nous analysons maintenant les caractéristiques de chacune de ces trajectoires, afin de montrer leur part respective dans les variations de position de l'AAA.

5.7.2.2 Pour les anticyclones américano-atlantiques

	Lat Min AME	Long Max AME	Superficie >1020
Année	33,94	135,76 (44,24°O)	155,46
JFM	33,73	132,97 (47,03°O)	232,67
AMJ	35,10	139,75 (40,25°O)	120,22
JAS	32,83	136,57 (43,43°O)	114,21
OND	33,77	133,54 (46,46°O)	154,43
Janvier	32,71	129,44 (50,56°O)	261,01
Février	34,09	132,22 (47,78°O)	221,57
Mars	34,24	136,47 (43,53°O)	188,61
Avril	35,89	141,47 (38,53°O)	164,79
Mai	35,27	138,43 (41,57°O)	151,80
Juin	33,68	138,30 (41,7°O)	148,07
Juillet	32,66	132,54 (47,46°O)	147,17
Août	32,53	138,18 (41,82°O)	141,50
Septembre	32,96	137,70 (42,3°O)	135,58
Octobre	33,85	136,80 (43,2°O)	133,47
Novembre	33,96	134,77 (45,23°O)	137,08
Décembre	33,02	129,48 (50,52°O)	145,99

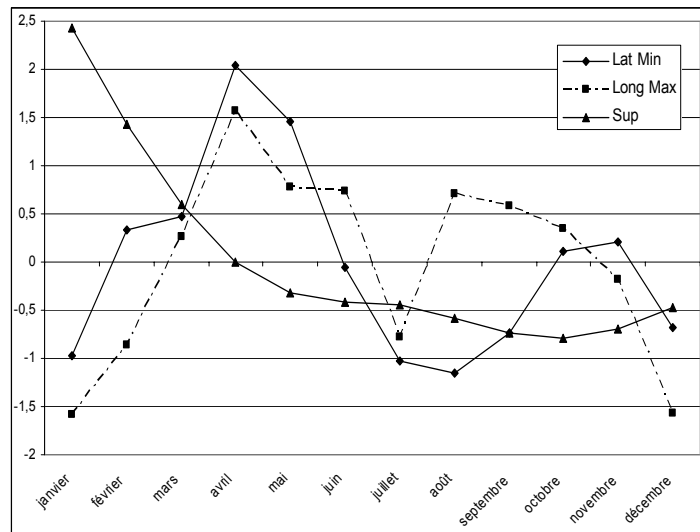


Tableau 5.16 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones américano-atlantiques et de surface de l'AAA et Figure 5.15 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones américano-atlantiques et de surface de l'AAA.

Le tableau 5.16 et la figure 5.15 indiquent que :

- les superficies supérieures à 1020 hPa sont maximales durant les mois hivernaux et automnaux et minimales durant les mois estivaux,
- les deux courbes concernant les latitudes et les longitudes ont des évolutions similaires :
 - les anticyclones américano-atlantiques s'agglutinent à des latitudes plus méridionales durant les mois hivernaux et estivaux et septentrionales durant les mois printaniers,
 - les anticyclones américano-atlantiques s'agglutinent à des longitudes plus occidentales durant les mois hivernaux, estivaux et automnaux et plus orientales durant les mois printaniers.

On constate donc au cours de l'année quatre phases successives :

- durant l'hiver et l'été, les anticyclones américano-atlantiques s'agglutinent plus au sud-ouest,
- durant le printemps et l'automne, les anticyclones américano-atlantiques s'agglutinent plus au nord-est.

5.7.2.3 Pour les anticyclones groenlando-scandinaves

	Lat Min GS	Long Max GS	Superficie >1020
Année	36,59	189,97 (9,97°E)	155,46
JFM	35,03	190,83 (10,83°E)	232,67
AMJ	37,75	188,69 (8,69°E)	120,22
JAS	36,86	189,29 (8,29°E)	114,21
OND	35,59	191,71 (11,71°E)	154,43
Janvier	34,14	191,18 (11,18°E)	261,01
Février	34,84	192,18 (12,18°E)	221,57
Mars	36,95	190,29 (10,29°E)	188,61
Avril	38,13	187,77 (7,77°E)	164,79
Mai	38,00	188,85 (8,85°E)	151,80
Juin	36,97	188,85 (8,85°E)	148,07
Juillet	37,38	188,47 (8,47°E)	147,17
Août	37,13	188,96 (8,96°E)	141,50
Septembre	35,83	191,32 (11,32°E)	135,58
Octobre	35,60	191,12 (11,12°E)	133,47
Novembre	36,00	191,48 (11,48°E)	137,08
Décembre	34,80	193,00 (13°E)	145,99

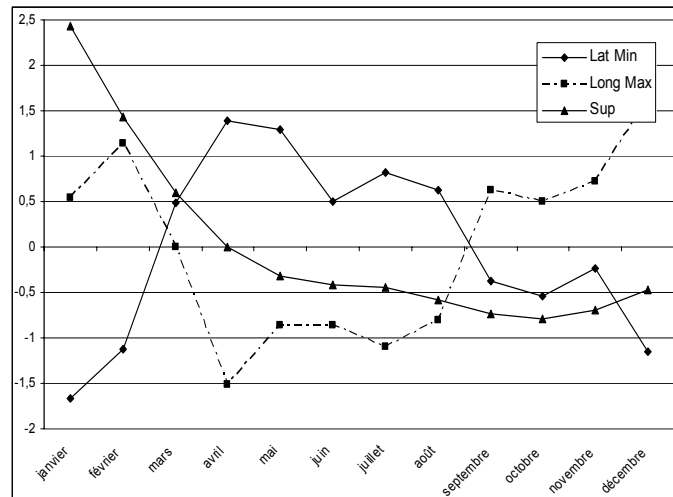


Tableau 5.17 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones groenlando-scandinaves et de surface de l'AAA et Figure 5.16 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones groenlando-scandinaves et de surface de l'AAA.

Les résultats tirés du tableau 5.17 et de la figure 5.16 montrent que :

- les superficies supérieures à 1020 hPa sont maximales durant les mois hivernaux et automnaux et minimales durant les mois estivaux,
- les deux courbes concernant les latitudes et les longitudes sont très fortement anti-corrélées, $R = -0,88$:
 - les anticyclones groenlando-scandinaves s'agglutinent à des latitudes plus méridionales durant les mois hivernaux, plus septentrionales durant les mois printaniers. Puis les latitudes décroissent régulièrement jusqu'à l'automne,
 - les anticyclones groenlando-scandinaves s'agglutinent à des longitudes plus orientales durant les mois hivernaux, plus occidentales durant les mois printaniers. Puis les longitudes d'agglutination augmentent jusqu'à l'automne.

Au fil de l'année, l'influence des anticyclones groenlando-scandinaves sur la position de l'Agglutination Anticyclonique varie :

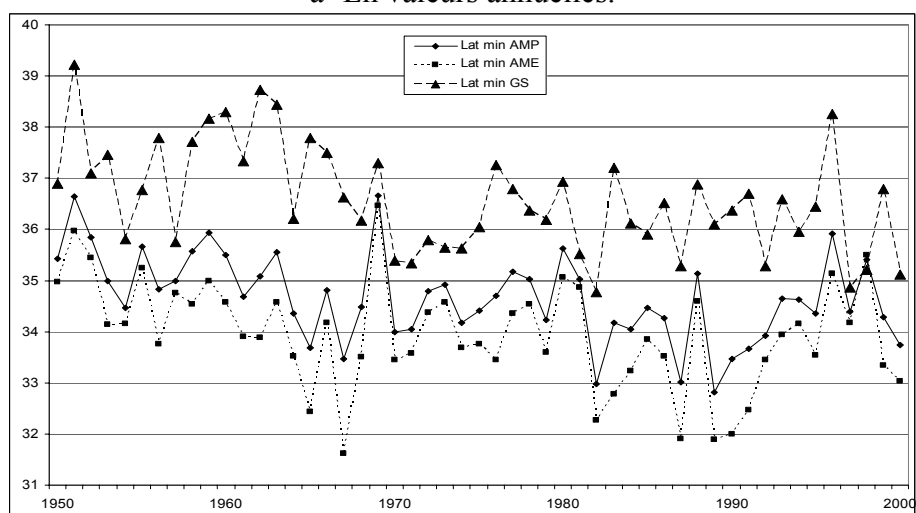
- en hiver, les anticyclones groenlando-scandinaves s'agglutinent plus au sud-est,
- au printemps, le lieu d'agglutination est situé plus au nord-ouest,
- durant l'été et l'automne, la position d'agglutination revient à une position sud-est.

5.7.3 Evolution sur la période à différentes échelles de temps

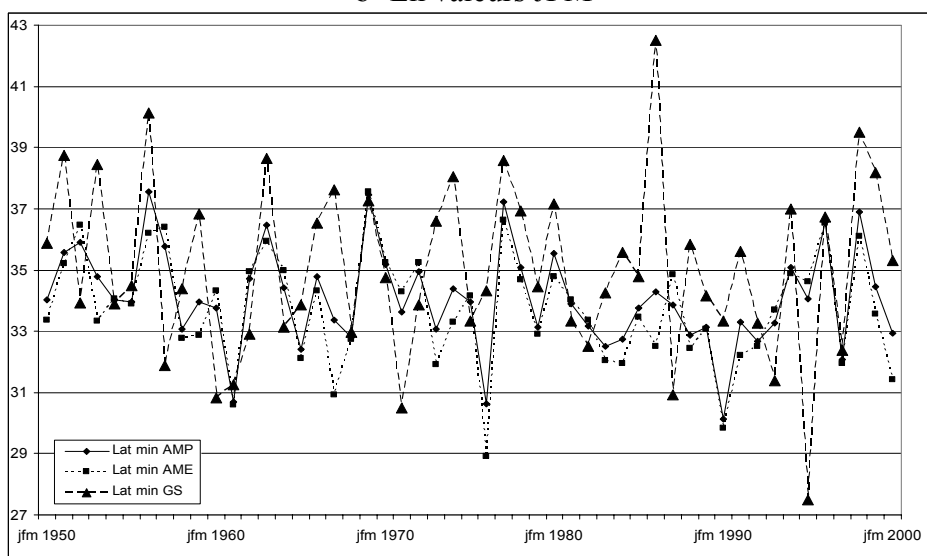
Après avoir établi les moyennes annuelles, saisonnières, mensuelles, il faut maintenant évaluer les évolutions à différentes échelles de temps sur la période 1950-2000.

5.7.3.1 En latitude

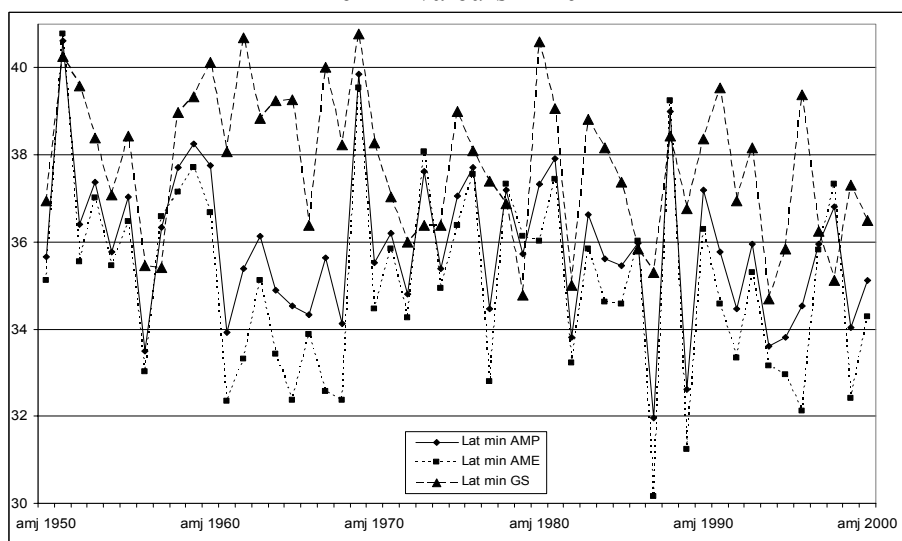
a- En valeurs annuelles.

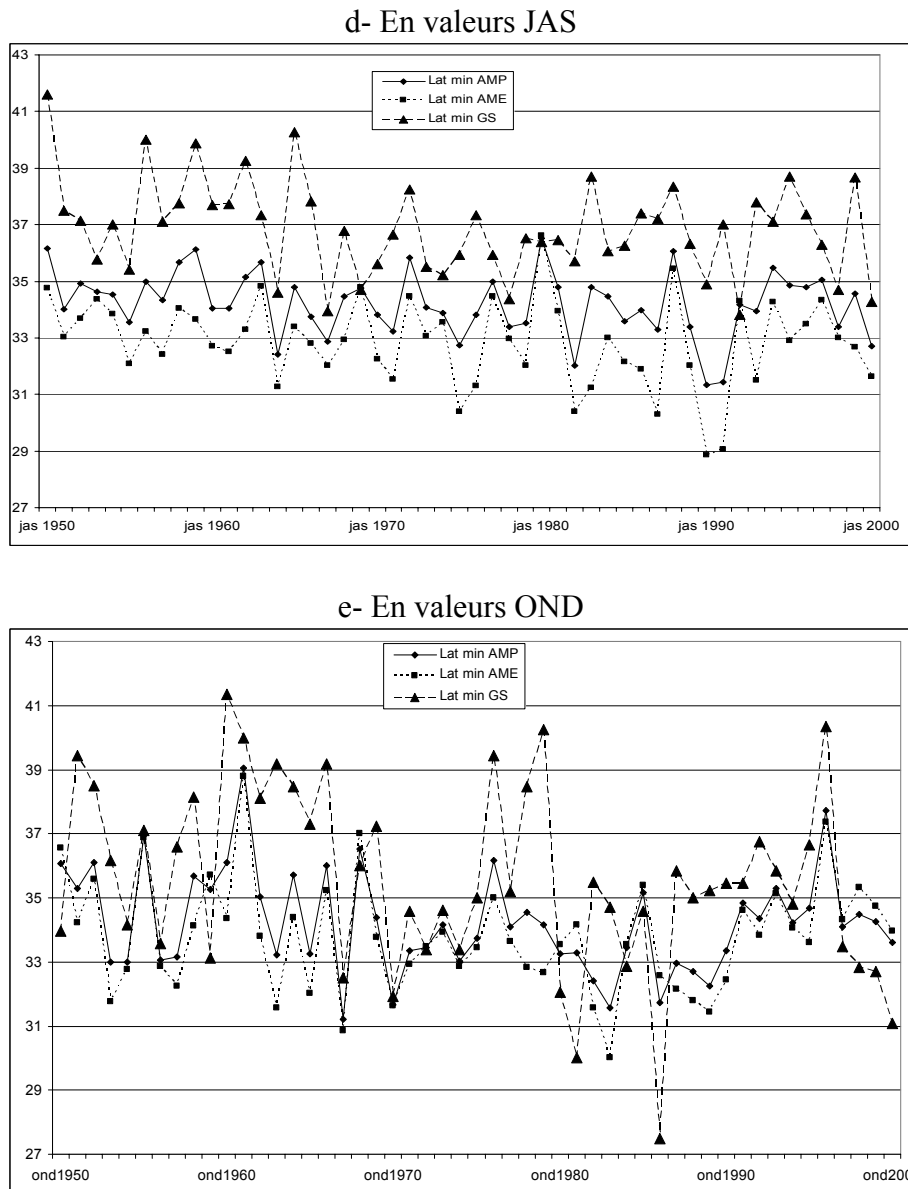


b- En valeurs JFM



c- En valeurs AMJ



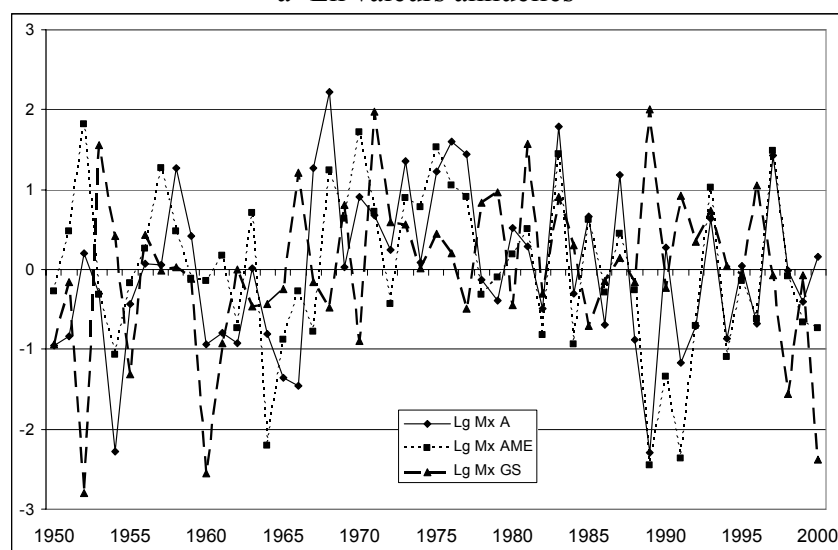


Figures 5.17 Evolutions des latitudes minimales sur la période 1950-2000 à différentes échelles de temps. (a) en valeurs annuelles, (b) hivernales, (c) printanières, (d) estivales, (e) automnales.

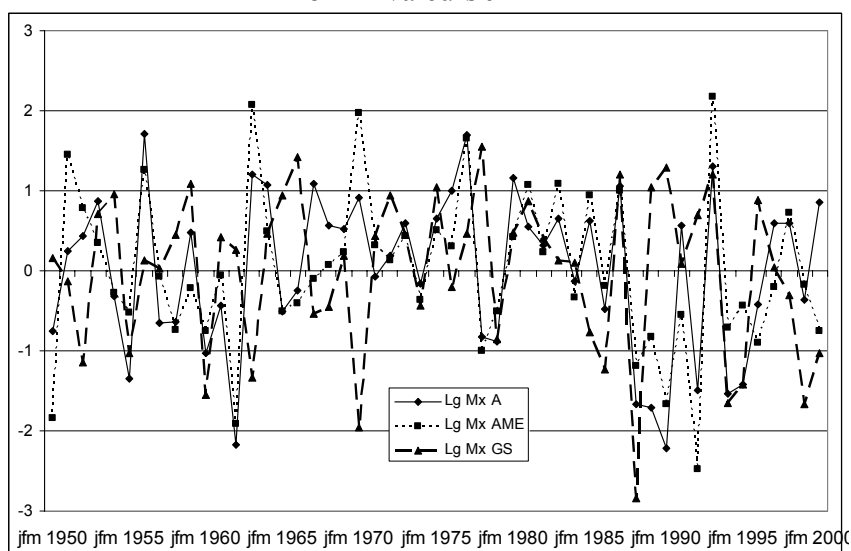
Quelle que soit l'échelle de temps considérée, il y a une migration nette de la position de l'Agglutination vers le sud. Cela prouve bien une nouvelle fois, le «gonflement» de l'espace aérologique nord-atlantique. De plus, on remarque de très fortes similitudes entre les courbes des latitudes minimales des anticyclones et celle de l'ONA (pour chaque saison étudiée) (figure 5.17).

5.7.3.2 En longitude

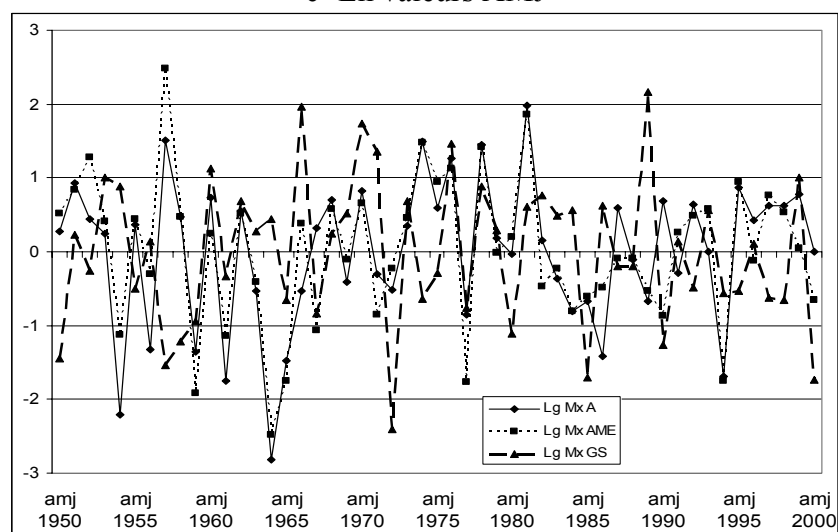
a- En valeurs annuelles



b- En valeurs JFM



c- En valeurs AMJ



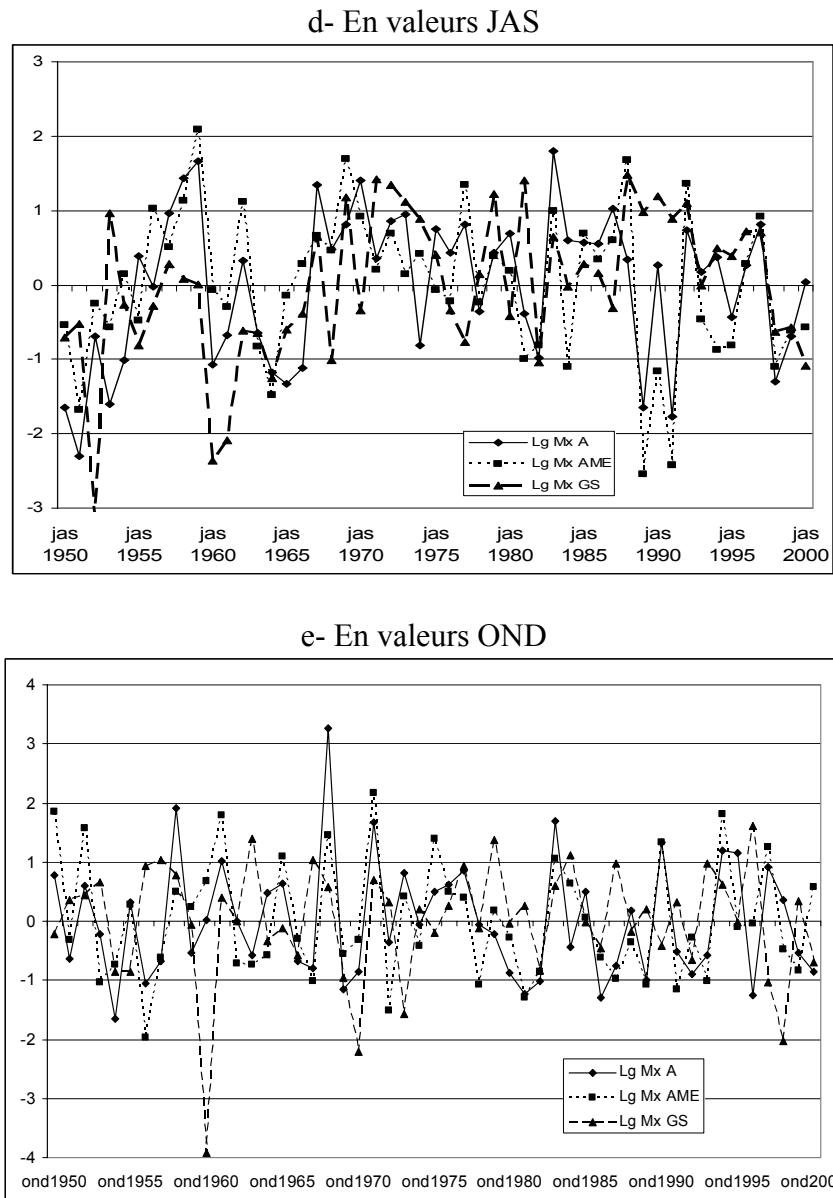


Figure 5.18 Evolution des longitudes maximales sur la période 1950-2000 à différentes échelles de temps. (a) en valeurs annuelles, (b) hivernales, (c) printanières, (d) estivales, (e) automnales.

Les variations de positionnement en longitude sont beaucoup moins nettes que celles en latitude. En effet :

- à l'échelle annuelle, on observe deux phases successives : de 1950 à 1970, l'Agglutination a tendance à se déplacer vers l'est, puis de 1970 à 2000, on observe un décalage vers l'ouest,
- en hiver, sur la période 1950-2000, on remarque un léger décalage vers l'ouest,
- au printemps et durant l'automne, les longitudes d'agglutination restent identiques,
- durant l'été, est noté sur la période 1950-2000, un léger décalage vers l'est.

De plus, à l'inverse des latitudes, on ne remarque aucune similitude entre les variations des différentes courbes et celle de l'ONA (exception faite des valeurs annuelles).

Il semblerait donc que la dynamique aérologique soit plus dépendante des migrations latitudinales que longitudinales des anticyclones.

5.8 Extension spatiale des pressions réduites au niveau de la mer de certaines régions-clés

Dans cette section et la suivante, nous avons fait le choix de travailler à partir des superficies de pression et de température, plutôt que directement sur les évolutions moyennes de ces deux variables au-dessus d'une aire géographique donnée. Le choix de cette méthode est motivé par la volonté de représenter le mieux possible les évolutions dans leur dimension spatiale. Il faut alors étudier les superficies des pressions réduites au niveau de la mer et de température au-dessus de plusieurs régions. Chacune de ces régions est en effet représentative d'un élément de la dynamique aérologique.

Nous avons choisi trois espaces géographiques (cf. carte page 318 afin de faciliter la lecture) reconnus comme ayant subi des évolutions significatives sur les dernières décennies. En effet, Gillett N. P. et al en 2003 ont conclu que «*lower surface pressure over the Arctic and increased surface pressure over subtropical North Atlantic*»:

- la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) parce que c'est l'espace de création des anticyclones américano-atlantiques,
- la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) parce que c'est l'espace de création des anticyclones groenlando-scandinaves ainsi que l'aire préférentielle de passage des dépressions,
- la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) parce que c'est la région regroupant les Agglutinations Anticycloniques des Açores (AAA) et des Bermudes (AAB).

Justification de la méthode des superficies et des moyennes sur un espace géographique.

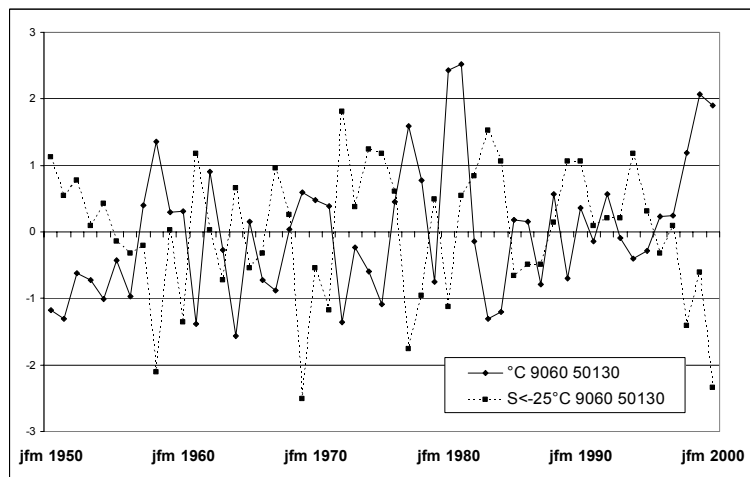


Figure 5.19 évolution thermique de la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), en valeur moyenne et en superficie de température inférieures à - 25 °C.

Le coefficient de corrélation entre les deux valeurs est de $R = -0,65$, ce qui démontre bien que les superficies de température représentent bien la réalité de l'évolution thermique (figure 5.19). Mais il apparaît que cette valeur a une meilleure capacité de représentation de l'évolution de l'ONA puisque $R = 0,56$ avec la superficie de température et $R = -0,06$ avec la moyenne de température (non montré). Pour l'espace entre Groenland et Scandinavie, le coefficient de corrélation entre les deux valeurs est de $R = -0,70$ (non montré). L'analyse des superficies fonctionne donc pour tous les espaces (même ceux ayant connu des évolutions thermiques fortement contrasté, cf. tableau 5.24).

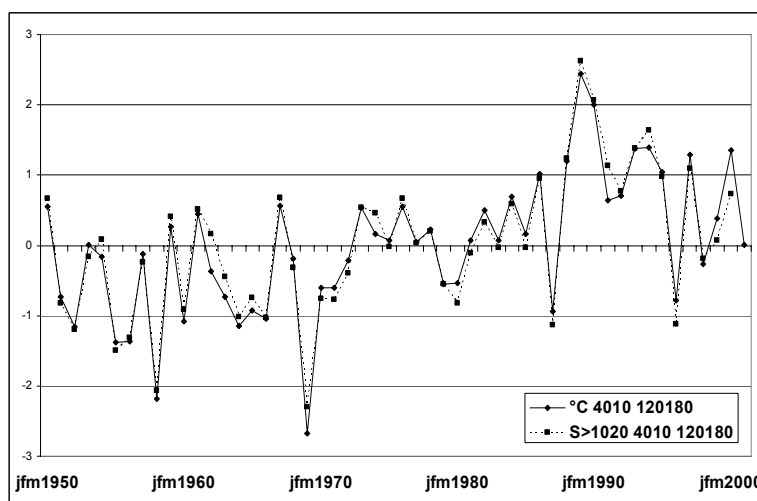


Figure 5.20 évolution barométrique de la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), en valeur moyenne et en superficie de pression supérieure à 1020 hPa.

Sur cet espace géographique 40-10°N et 120-180° (60°O-0) (Açores), et en ce qui concerne les évolutions barométriques, le coefficient de corrélation entre les deux valeurs est de $R = 0,97$. Ceci démontre bien que les superficies de pression représentent également la réalité de l'évolution barométrique (figure 5.20). Pour les relations avec l'ONA, la différence est minimale puisque $R = 0,86$ avec la superficie de pression et $R = 0,84$ avec la moyenne des pressions.

5.8.1 Superficie couverte par des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada)

	An	JFM	AMJ	JAS	OND
S>1020	106,91	164,92	137,62	45,08	100,57

Tableau 5.18 Évolutions de la superficie couverte par des pressions supérieures à 1020 hPa dans la zone comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada).

Le cycle en valeurs saisonnières de la superficie couverte par des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) est unimodal avec un maximum hivernal et un minimum estival (tableau 5.18).

	ONA	VZ	VV	S<990	Freq 990	P Mi	Lat pre	Lat der	Vit	Freq 970	Freq A	Lat p	Lat d
S>1020	- 0,69	- 0,65	- 0,57	- 0,66	- 0,69	0,48	- 0,69	- 0,66	- 0,60	- 0,59	0,53	0,58	0,60

ONA : indice de l'oscillation nord atlantique, S<990 : superficie des pressions inférieures à 990 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), Freq 990 : fréquence des dépressions inférieures à 990 hPa, P Mi : pression minimale des dépressions inférieures à 990 hPa, Lat pre : latitude de cyclogenèse des dépressions inférieures à 990 hPa, Lat der : latitude de cyclolyse des dépressions inférieures à 990 hPa, vit : vitesse de déplacement des dépressions inférieures à 990 hPa, Freq 970 : fréquence des dépressions inférieures à 970 hPa, Freq A : fréquence des anticyclones, Lat p : latitude d'apparition des anticyclones, Lat d : latitude d'agglutination des anticyclones, VZ : vitesse du vent zonal entre 30 et 10 °N et 140-170° (40-10°O) (Açores), VV : vitesse du vent entre 30 et 10 °N et 140-170° (40-10°O) (Açores). Ces deux valeurs sont des approximations assez réalistes de la puissance des alizés circulant sur l'Atlantique nord issus de l'Agglutination Anticyclonique des Açores et dans une moindre mesure de celle des Bermudes.

Tableau 5.19 Coefficients de corrélation entre la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la zone comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) et certains éléments de la dynamique aérologique en hiver (JFM) de 1950 à 2000.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), diminue (tableau 5.19) :

- l'ONA augmente ($R = - 0,69$),
- les alizés sont plus rapides ($R = - 0,65$ et $R = - 0,57$),
- la superficie des pressions inférieures à 990 hPa s'étend ($R = - 0,66$),

- les dépressions sont plus fréquentes ($R = -0,69$), plus profondes ($R = 0,48$), apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = -0,69$ et $R = -0,66$), se déplacent plus rapidement ($R = -0,6$),
- les dépressions (inférieures à 970hPa) sont plus fréquentes ($R = -0,59$),
- les anticyclones sont moins fréquents ($R = 0,53$), apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales ($R = 0,58$ et $R = 0,6$).

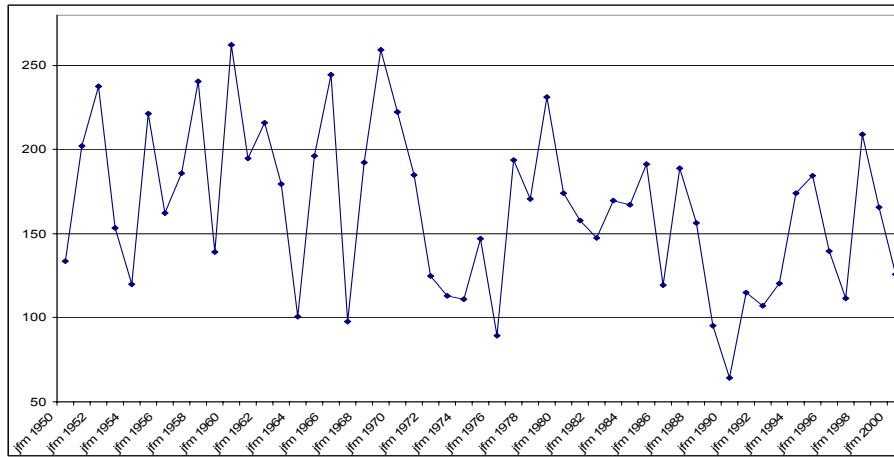


Figure 5.21 Evolution de la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) sur la période en JFM.

Au nord-est du Canada, il y a augmentation nette des superficies entre 1950 et 1968-1969 puis à partir de 1970 cet espace connaît une baisse constante des superficies durant l'hiver avec un minimum en 1990 (figure 5.21).

5.8.2 Superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie)

	An	JFM	AMJ	JAS	OND
S<1000	125,08	201,75	58,91	88,89	170,66

Tableau 5.20 Superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa dans la zone comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).

Le cycle en valeurs saisonnières de la superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa dans la zone comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) est unimodal avec maximum hivernal et minimum estival (tableau 5.20).

	ONA	VZ	VV	S <990	Freq 990	P Mi	Lat pre	Lat der	Vit	Freq 970	Freq A	Lat p	Lat d
S<1000	0,72	0,60	0,54	0,81	0,77	-0,70	0,66	0,62	0,50	0,74	-0,68	-0,64	-0,63

Tableau 5.21 Coefficients de corrélation entre la superficie des pressions inférieures à 1000 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) et certains éléments de la dynamique aérologique en hiver (JFM) de 1950 à 2000.

Lorsque la superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), augmente (tableau 5.21):

- l'indice de l'ONA augmente ($R = 0,72$),
- les alizés sont plus rapides ($R = 0,6$ et $R = 0,54$),
- la superficie des pressions inférieures à 990 hPa s'étend ($R = 0,81$),

- les dépressions sont plus fréquentes ($R = 0,77$), plus profondes ($R = -0,70$), apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,66$ et $R = 0,62$), et se déplacent plus rapidement ($R = 0,5$),
- les dépressions profondes inférieures à 970hPa sont plus fréquentes ($R = 0,74$),
- les anticyclones sont moins fréquents ($R = -0,68$), apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales ($R = -0,64$ et $R = -0,63$).

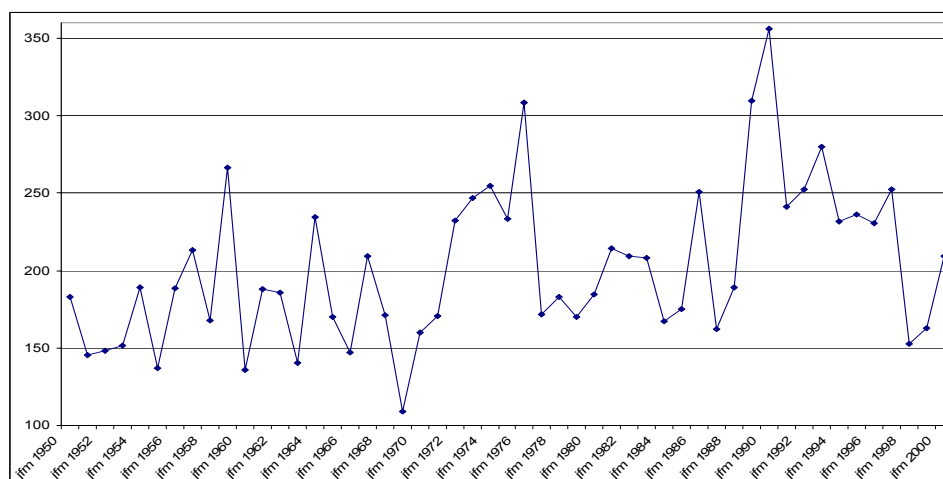


Figure 5.22 Evolution de la superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) sur la période en JFM.

Dans la région entre Groenland et Scandinavie, on observe une baisse des superficies entre 1950 et 1968-1969, puis à partir de 1970 cet espace connaît une augmentation constante des superficies en JFM avec un maximum en 1990 (figure 5.22).

5.8.3 Superficie couverte par des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores)

	An	JFM	AMJ	JAS	OND
S>1020	155,46	232,07	120,22	114,21	154,43

Tableau 5.22 Superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores).

Le cycle en valeurs saisonnières de la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la zone comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores) est unimodal avec maximum hivernal et minimum estival (tableau 5.22).

	ONA	VZ	VV	S <990	Freq 990	P Mi	Lat pre	Lat der	Vit	Freq 970	Freq A	Lat p	Lat d
S>1020	0,86	0,83	0,70	0,69	0,59	-0,56	0,79	0,77	0,56	0,63	-0,57	-0,52	-0,51

Tableau 5.23 Coefficients de corrélation entre la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la zone comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores) et certains éléments de la dynamique aérologique en hiver (JFM) de 1950 à 2000.,

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), augmente (tableau 5.23):

- l'indice de l'ONA augmente ($R = 0,86$),
- les alizés sont plus rapides ($R = 0,83$ et $R = 0,7$). Les liens entre alizés et dynamique anticyclonique ont déjà été mis en évidence par Viaut A., (1969), Meehl G.A. et Van Loon H. (1979) ou Visbek M. et al (1998, 2003) pour qui «*when the Azores high is anomalously high [...] the easterly surface winds in the trade wind belt are strong*»,
- la superficie des pressions inférieures à 990 hPa s'étend ($R = 0,69$),

- les dépressions sont plus fréquentes ($R = 0,59$), plus profondes ($R = -0,56$), apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,79$ et $R = 0,77$), et se déplacent plus rapidement ($R = 0,56$),
- les dépressions (dépressions profondes) inférieures à 970 hPa sont plus fréquentes ($R = 0,63$),
- les anticyclones sont moins fréquents ($R = -0,57$), apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales ($R = -0,52$ et $R = -0,51$).

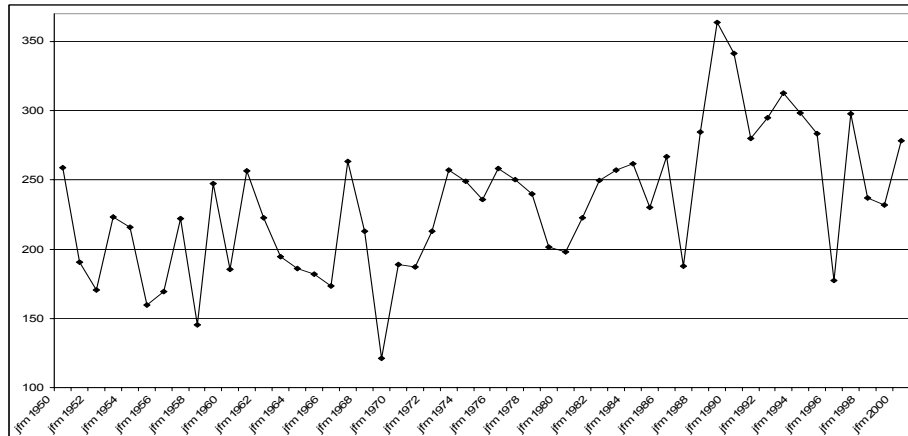


Figure 5.23 Evolution de la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores) sur la période en JFM.

Dans la région méridionale de l'Atlantique nord, on observe une baisse des superficies entre 1950 et 1968-1969, puis à partir de 1970 cet espace connaît une augmentation constante et importante des superficies de pression durant l'hiver avec un maximum en 1990 (figure 5.23).

5.8.4 Comparaisons entre les régions-clés

	S<1000hPa 90-60 150-200 (entre Groenland et Scandinavie)	S>1020 90-60 50-130 (nord Canada)	S>1020 40-10 120-180 (Açores)
S<1000hPa 90-60 150-200 (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie)	1		
S>1020 90-60 50-130 (130-50°O) (nord Canada)	- 0,83	1	
S>1020 40-10 120-180 (60°O-0) (Açores)	0,74	- 0,69	1

Tableau 5.24 Coefficients de corrélation entre les superficies des pressions au-dessus des différentes régions durant les hivers (JFM) de 1950-2000.

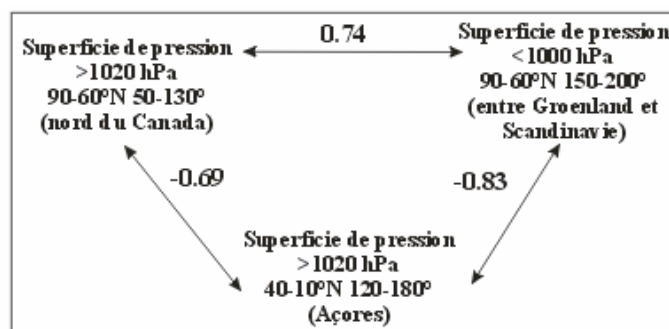


Figure 5.24 Relations entre les superficies couvertes par des pressions particulières au-dessus des différentes régions durant les hivers (JFM) de 1950-2000.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) diminue (tableau 5.24 et figure 5.24) :

- la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), augmente ($R = -0,69$),
- la superficie des pressions inférieures à 1000 hPa, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), augmente ($R = -0,83$).

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), augmente :

- la superficie des pressions inférieures à 1000 hPa, dans la zone comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), augmente ($R = 0,74$).

En résumé, les superficies de pression rendent parfaitement compte de l'évolution de la dynamique aérologique avec les années remarquables de 1969 et 1990. C'est-à-dire qu'en période de dynamique intense, on observe une pression faible sur le nord-est du Canada, une pression élevée sur le sud de l'Atlantique nord et une pression faible sur le nord-ouest de l'Atlantique nord.

5.9 Extensions spatiales des températures au-dessus de certaines régions-clés

Le calcul des superficies couvertes par des températures particulières s'effectue comme celui des pressions par la comptabilisation du nombre de pixels dans les matrices de données correspondant au seuil choisi.

Pour les superficies de températures nous ne traitons que des périodes hivernales. L'importance des contrastes inter-saisonniers interdisant de mener des études avec les mêmes seuils tout au long de l'année. Nous avons choisi des aires géographiques similaires à celles utilisées pour les superficies de pression afin de garder une constance régionale :

- la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada),
- la régions comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).

Mais pour l'aire subtropicale, nous avons divisé l'espace afin de prendre en compte les évolutions des deux façades de l'Océan Atlantique nord :

- la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O). Cette aire géographique correspond au Golfe du Mexique, l'espace Caraïbe et le sud-est des E.U.A et la mer des Saragasses.
- la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0). Cet espace d'étude recouvre la façade orientale de l'Atlantique nord ainsi que la frange littorale de l'Afrique de l'Ouest.

5.9.1 Superficie hivernale couverte par des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) en JFM

On observe une diminution nette des superficies entre 1950 et 1969 ce qui traduit une hausse de la température sur cette région. En revanche à partir de 1970 et jusqu'en 1995, cet espace connaît une hausse constante des superficies reflétant une baisse importante des températures. Puis durant les cinq dernières années il y a de nouveau hausse de la température (figure 5.25).

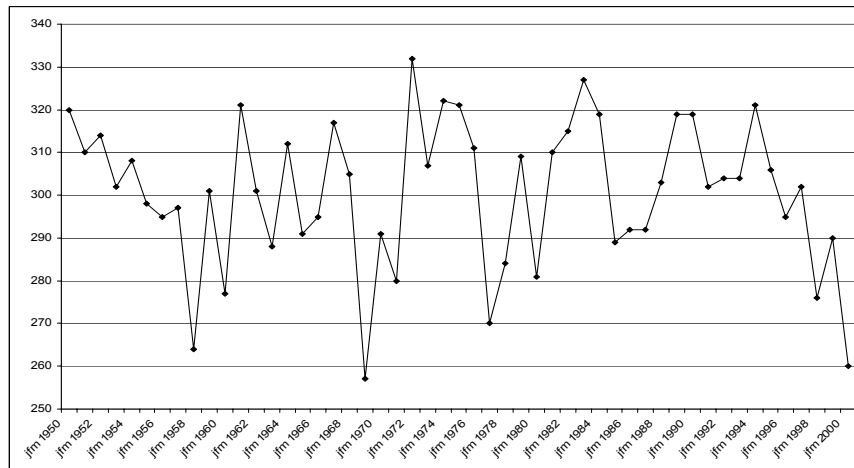


Figure 5.25 Variations de la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.

	S>1020 90-60 50-130 (130-50°O)	S>1020 40-10 120-180 (60°O-0)	ONA	VZ	VV	S <990	Freq 990	P Mi	Lat pre	Lat der	Vit	Freq 970	Freq A	Lat p	Lat d
S< -25°C	- 0,47	0,46	0,56	0,52	0,49	0,40	0,35	- 0,43	0,44	0,44	0,31	0,44	- 0,51	- 0,40	- 0,39

Tableau 5.25 Coefficients de corrélation entre la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.

Lorsque la superficie des températures inférieures à - 25 °C, dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), augmente (donc que la température baisse) (tableau 5.25) :

- la superficie des pressions de la région 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), diminue ($R = - 0,47$),
- la superficie des pressions de la zone 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), diminue ($R = 0,46$),
- la fréquence des anticyclones diminue ($R = - 0,51$), ils apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales ($R = - 0,4$, $R = - 0,39$),
- l'indice de l'ONA augmente ($R = 0,56$),
- les dépressions ont des fréquences accrues ($R = 0,35$), sont plus profondes ($R = - 0,43$), apparaissent et se combent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,44$, $R = 0,44$),
- les dépressions (inférieures à 970 hPa) sont plus nombreuses ($R = 0,44$),
- les alizés sont plus rapides ($R = 0,52$, $R = 0,49$).

Quand le déficit thermique sur le bassin arctique occidental est accru, la «contraction de l'air» s'intensifie donc les anticyclones sont moins fréquents et ainsi la superficie des pressions de la zone 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), diminue. Ces anticyclones sont plus «froids», donc ils parviennent à garder plus longtemps leurs caractères propres (par désaggrégation plus lente). Ils s'agglutinent donc plus au sud et de ce fait la superficie des pressions augmente aux latitudes inférieures à 40 °N.

Pour exemple, nous montrons les courbes d'évolutions de la superficie des températures inférieures à - 25 °C et des pressions supérieures à 1020 hPa (40-10 °N et 120-180° (60°O-0), Açores) en JFM (Fig. 5.23).

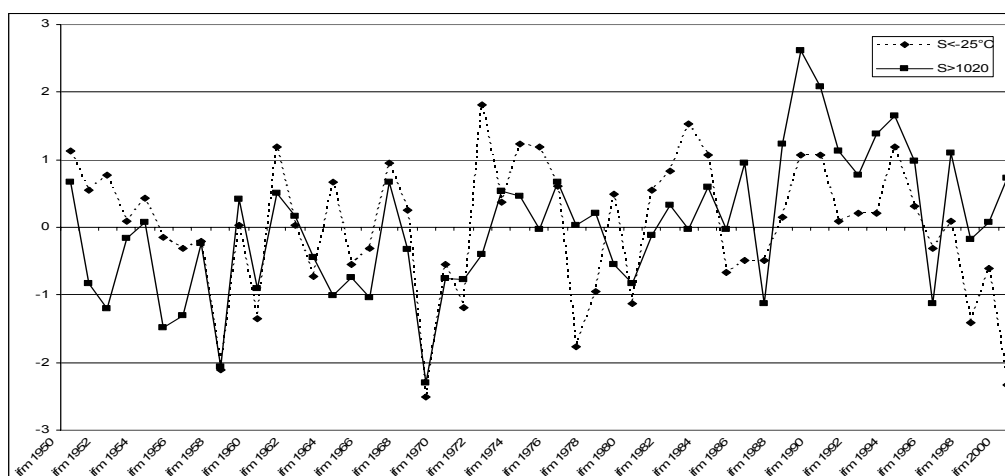


Figure 5.26 Variations des superficies des températures inférieures à - 25 °C et des pressions supérieures à 1020 hPa (40-10 °N 120-180° (60°O-0), Açores), en JFM.

Il apparaît nettement que ces deux courbes connaissent la même évolution sur la période 1950-2000 (figure 5.26). C'est-à-dire que par le biais des anticyclones il existe un lien direct entre ces paramètres ($R = 0,46$).

5.9.2 Superficie hivernale couverte par des températures supérieures à 20 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores)

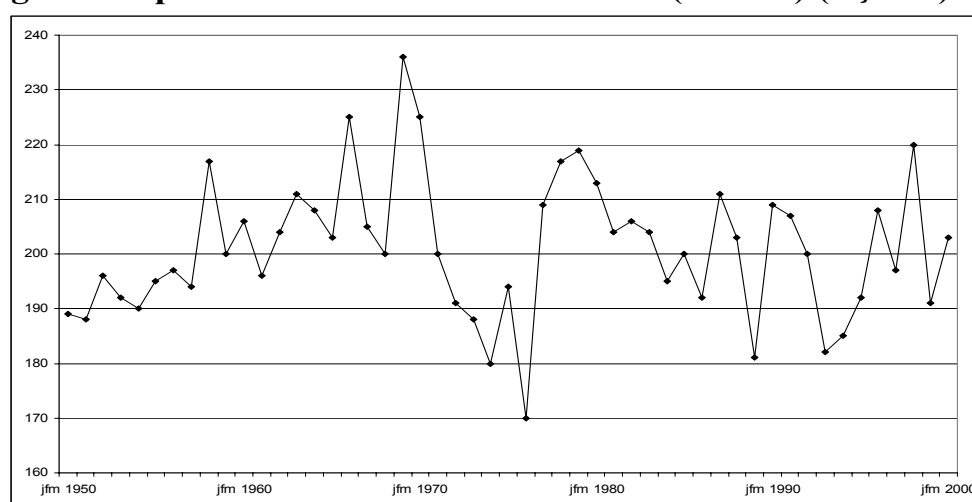


Figure 5.27 Variations de la superficie des températures supérieures à 20 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.

On note sur la figure 5.27 une augmentation nette des superficies entre 1950 et 1968-1969 ce qui traduit une hausse de la température sur cette région. En revanche à partir de 1970 cet espace connaît une baisse constante des superficies (avec un minimum en 1974) reflétant une baisse importante des températures.

	S>1020 90-60 50-130 (130°O-50°O)	S>1020 40-10 120-180 (60°O-0)	S<1000 90-60 150-200 (30°O-20°E)	ONA	VZ	VV	S <990	Freq 990	P Mi	Lat pre	Lat der	Vit	Freq 970	Freq A	Lat p	Lat d
S> 20°C	0,52	- 0,51	- 0,49	- 0,61	- 0,68	- 0,7	- 0,46	- 0,42	0,46	- 0,56	- 0,53	- 0,3	- 0,54	0,5	0,46	0,48

Tableau 5.26 Coefficients de corrélation entre la superficie des températures supérieures à 20 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.

Lorsque la superficie des températures supérieures à 20 °C, dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0)(Açores), diminue (donc que la température diminue) (tableau 5.26) :

- la superficie des pressions de la région 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), diminue, ($R = 0,52$),
- la superficie des pressions de la région 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), augmente ($R = -0,51$),
- la superficie des pressions de surface inférieures à 1000 hPa, dans la zone comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), augmente ($R = -0,49$),
- l'indice de l'ONA augmente ($R = -0,61$),
- les alizés sont plus rapides ($R = -0,68$, $R = -0,7$),
- les dépressions sont plus fréquentes ($R = -0,42$), plus étendues ($R = -0,46$), plus profondes ($R = 0,46$), apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,56$, $R = 0,53$),
- les dépressions (inférieures à 970 hPa) sont plus nombreuses ($R = -0,54$),
- les anticyclones sont moins fréquents ($R = 0,5$), apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales ($R = 0,46$, $R = 0,48$).

5.9.3 Superficie hivernale couverte par des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses)

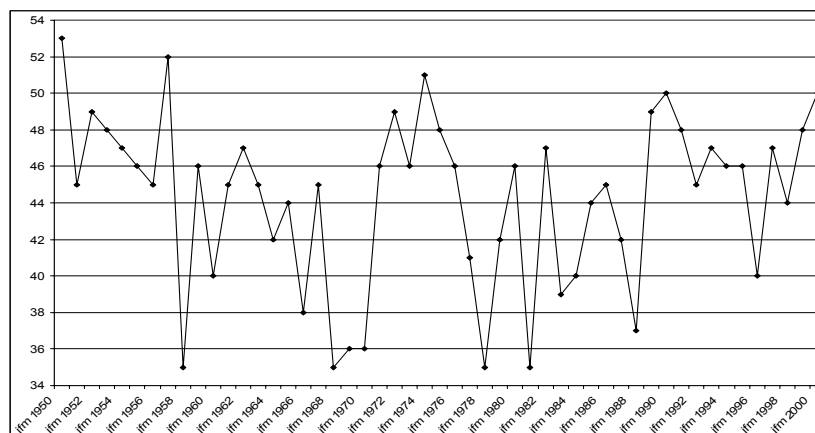


Figure 5.28 Variations de la superficie des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.

La figure 5.28 fait apparaître une diminution nette des superficies entre 1950 et 1968-1969 ce qui traduit une baisse de la température sur cette région. En revanche, à partir de 1970, cet espace connaît une hausse constante des superficies reflétant une hausse importante des températures. Il est à noter que les dernières valeurs restent malgré la hausse, légèrement inférieures à celles du début de la période d'étude.

	S>1020 90-60 50-130 (130-50°O)	S>1020 40-10 120-180 (60°O-0)	S<1000 90-60 150-200 (30°O-20°E)	ONA	VZ	VV	S <990	Freq 990	P Mi	Lat pre	Lat der	Vit	Freq 970	Freq A	Lat p	Lat d
S> 18°C	- 0,47	0,42	0,4	0,45	0,51	0,51	0,37	0,32	- 0,41	0,52	0,48	0,10	0,42	- 0,17	- 0,36	- 0,35

Tableau 5.27 Coefficients de corrélation entre la superficie des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.

Lorsque la superficie des températures à supérieures à 18 °C, dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses), augmente (donc que la température augmente) (tableau 5.27) :

- la superficie des pressions de la région 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), diminue ($R = -0,47$),
- la superficie des pressions de la région 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), augmente ($R = 0,42$),
- la superficie des pressions de surface inférieures à 1000 hPa, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), augmente ($R = 0,4$),
- les dépressions sont plus profondes ($R = -0,41$), apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,52$, $R = 0,48$),
- les anticyclones apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales ($R = -0,36$, $R = -0,35$),
- l'indice de l'ONA augmente ($R = 0,45$),
- les dépressions (inférieures à 970 hPa) sont plus nombreuses ($R = 0,42$),
- les alizés sont plus rapides ($R = 0,51$, $R = 0,51$).

Il faut noter l'absence de corrélation entre les variations des températures de cette région et la fréquence des anticyclones. Cela tend bien à prouver que les flux responsables des évolutions sont d'une autre nature (flux d'alizés et couloirs dépressionnaires).

Les AA des Açores, Bermudes étant plus étendues et plus méridionales, les flux d'alizés qui en sont issus sont plus rapides, et survolent des latitudes plus proches de l'équateur (donc dont la température est relativement plus chaude). Ces alizés transportent donc plus d'air, de l'air plus énergétique (chaleur et potentiel précipitable) vers le Golfe du Mexique, et ainsi la température s'élève sur l'espace compris entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses) en période de dynamique intense.

5.9.4 Superficie hivernale couverte par des températures inférieures à - 2,5 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie)

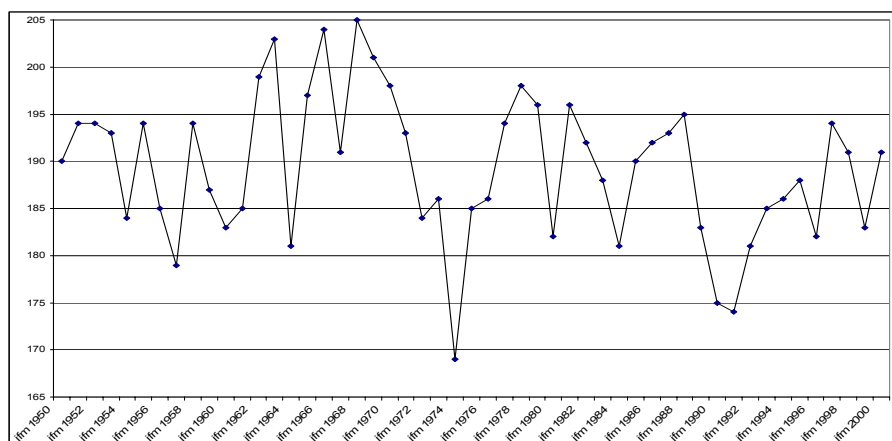


Figure 5.29 Variations de la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.

On observe une augmentation nette des superficies entre 1950 et 1970 ce qui traduit une baisse de la température sur cette région. En revanche à partir de 1970 cet espace connaît une baisse constante et marquée des superficies reflétant une hausse importante des températures (figure 5.29).

	S>1020 90-60 50-130 (130- 50°O)	S>1020 40-10 120-180 (60°O- 0)	S<1000 90-60 150-200 (30°O- 20°E)	ONA	VZ	VV	S <990	Freq 990	P Mi	Lat pre	Lat der	Vit	Freq 970	Freq A	Lat p	Lat d
S< - 2,5°C	0,50	- 0,59	- 0,59	0,47	0,46	0,43	0,41	0,49	0,30	0,34	0,40	0,25	0,38	0,46	0,45	0,44

Tableau 5.28 Coefficients de corrélations entre la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.

Lorsque la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), diminue (donc que la température augmente) (tableau 5.28):

- la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, de la région 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), diminue (R = 0,5),
- la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, de la région 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), augmente (R = - 0,59),
- la superficie des pressions inférieures à 1000 hPa, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), augmente (R = - 0,59),
- la fréquence des dépressions, augmente (R = - 0,49) ; elles apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales (R = - 0,34 et R = - 0,4),
- la fréquence des anticyclones, diminue (R = 0,46) ; ils apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales (R = 0,45 et R = 0,44),
- l'indice de l'ONA augmente (R = - 0,47 et R = - 0,48),
- les dépressions (inférieures à 970 hPa) sont plus nombreuses (R = - 0,38),
- les alizés sont plus rapides (R = - 0,46 et R = - 0,43).

En période active (typiquement les années 1989-1990), la température augmente sur le Golfe du Mexique en raison de l'arrivée massive d'air chaud par le biais des alizés. Ce potentiel énergétique se transmet aux dépressions qui se succèdent sur l'Atlantique nord par le biais des couloirs dépressionnaires. Ces dépressions sont donc plus fréquentes et advectent plus d'air chaud en direction des moyennes et hautes latitudes en accord avec les résultats de Peixoto J., Oort A. (1992). De ce fait, on enregistre une hausse de la température sur l'Atlantique nord-est.

5.9.5 Comparaisons entre les régions-clés en période hivernale

	S<-25°C 9060 50130	S<-2,5°C 9060 150200	S>18°C 4010 80120	S>20°C 4010 120180
S<-25°C 9060 50130 (130-50°O)	1			
S<-2,5°C 9060 150200 (30°O-20°E)	- 0,37	1		
S>18°C 4010 80120 (100-60°O)	0,34	- 0,52	1	
S>20°C 4010 120180 (60°O-0)	- 0,57	0,45	- 0,60	1

Tableau 5.29 Coefficients de corrélation entre les superficies des températures des différentes régions-clés durant les hivers (JFM) de 1950-2000.

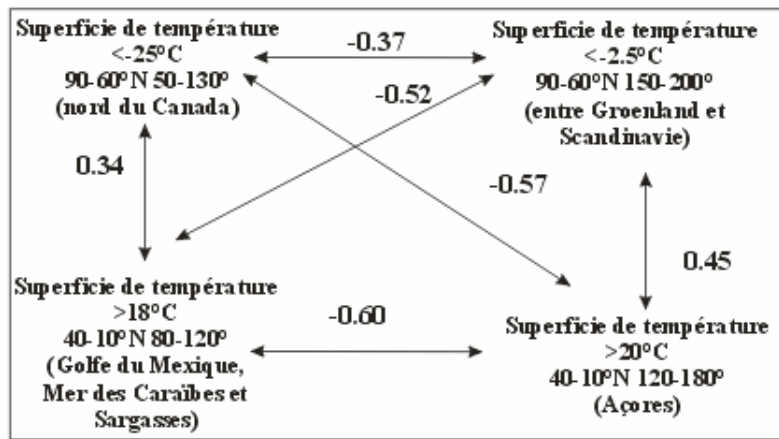


Figure 5.30 Coefficients de corrélation entre les superficies de températures selon différents seuils au-dessus des différentes régions-clés en JFM.

Le tableau 5.29 et la figure 5.30, reprennent les évolutions thermiques des quatre espaces permettant de mieux comprendre la circulation atmosphérique dans l'espace nord atlantique.

Lorsque les températures sont basses sur le nord du continent américain et le bassin Arctique occidental, elles sont dans le même temps :

- relativement basses sur l'espace des Açores (au sens large) ($R = -0,57$),
- relativement élevées sur le nord-est de l'Océan Atlantique ($R = -0,37$),
- relativement élevées sur le Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses ($R = 0,34$).

Il est intéressant de noter la dichotomie entre les deux façades de l'Océan aux basses latitudes ($R = -0,6$) avec un refroidissement à l'est et un réchauffement à l'ouest en période active (et inversement). Le lien est également très fort entre le sud-ouest de l'espace d'étude et le nord-est de l'Atlantique au-dessus desquels les températures suivent la même tendance ($R = -0,52$).

5.10 Liens entre superficies et fréquences des anticyclones et des dépressions inférieures à 990 hPa

	Année	JFM	AMJ	JAS	OND
F A/F DEP	- 0,07	- 0,54	0,02	- 0,17	- 0,21
S A/S DEP	0,73	0,71	0,27	0,18	0,59
S A/ F DEP	0,38	0,57	0,25	0,12	0,24
F A/ S DEP	- 0,20	- 0,60	- 0,01	- 0,30	- 0,47

F: fréquence, S: superficie.

Tableau 5.30 Liens entre superficies et fréquences des anticyclones et des dépressions inférieures à 990 hPa.

Durant l'hiver, existent des relations étroites entre les dépressions et les anticyclones (tableau 5.30) :

- lorsque les anticyclones sont peu fréquents, le nombre de dépressions augmente ($R = -0,54$) et la superficie des dépressions au nord de 50 °N s'accroît ($R = -0,6$).
- lorsque les anticyclones sont étendus au sud de 40 °N, la superficie des dépressions au nord de 50 °N s'accroît également ($R = 0,71$) et le nombre de dépressions augmente ($R = 0,57$).

Pour les périodes printanières et estivales, les relations exposées ci-dessus ne sont pas valables. Enfin, pour les valeurs automnales et annuelles, une relation apparaît concernant les superficies ($R = 0,59$ et $R = 0,73$). Lorsque les anticyclones sont étendus, les dépressions sont également étendues (et vice versa). Une corrélation notable en OND, correspondant au lien entre les fréquences des anticyclones et les superficies des dépressions, est également à prendre en considération ($R = -0,47$). Lorsque les anticyclones sont peu fréquents, les dépressions sont étendues (et inversement).

5.11 «Modèle de circulation générale de surface» en période hivernale (JFM)

Afin de construire le schéma d'ensemble de la circulation générale de surface, nous résumons maintenant les analyses précédentes (uniquement pour la période hivernale) (cf. figure 5.32).

En période de dynamique aérologique intense (ONA fortement positive, dont JFM 1989 ou JFM 1990 offrent un exemple typique) :

- la superficie des températures inférieures à - 25 °C, dans la région 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), augmente (c'est-à-dire que le déficit thermique arctique s'intensifie),
- la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, dans la région 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), diminue,
- la fréquence des anticyclones diminue. Ils suivent ultra majoritairement la trajectoire américano-atlantique. En outre ils apparaissent, se déplacent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales,
- la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, dans la région 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores) augmente,
- la vitesse des alizés augmente,
- la superficie des températures supérieures à 20 °C, dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores) , diminue,
- la superficie des températures supérieures à 18 °C, dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses), augmente,
- la fréquence des dépressions augmente. Elles sont également plus profondes, apparaissent, se déplacent et se combinent à des latitudes plus septentrionales,
- la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), diminue (donc la température augmente),
- la superficie des pressions de surface inférieures à 990 hPa, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), augmente.

Durant les périodes de dynamique lente (ONA négative comme en JFM 1969 ou JFM 1970) les constatations précédentes sont inversées.

5.11.1 Mode de circulation

De façon plus intelligible, il existe ainsi deux modes extrêmes :

- **Un mode contrasté (ou actif)** : Lorsque le déficit thermique sur le bassin occidental de l'Arctique est plus intense, les anticyclones sont moins fréquents, donc la pression diminue de façon relative sur cette aire géographique. Mais ils sont plus froids et ainsi ils parviennent à garder plus longtemps leurs caractères propres (du fait d'une désagrégation plus lente par inertie thermique), donc la superficie des pressions augmente dans les latitudes inférieures à 40 °N (zone où ils s'agglutinent).

Les anticyclones étant plus froids, ils sont plus énergétiques (différence accrue par rapport à l'environnement) et ainsi peuvent générer des dépressions plus profondes du fait du contraste thermique renforcé. Ces dépressions peuvent d'autant plus se développer que les anticyclones étant ultra majoritairement concentrés sur la trajectoire américano-atlantique, ils laissent libre l'espace de l'Atlantique du nord-est et de la Mer du Groenland. Le réservoir énergétique constitué par l'AA des Açores et des Bermudes alimente plus intensément la circulation cyclonique. Cette alimentation est plus énergétique puisqu'elle s'effectue par le biais d'alizés (qui drainent la chaleur latente cf. évaporation) plus rapides et méridionaux (du fait du décalage méridional et au « gonflement » de l'AA de Açores). Les dépressions sont donc plus fréquentes, ont des superficies accrues et sont

capables d'atteindre des latitudes plus septentrionales, en advectant de l'air issu des latitudes plus méridionales donc relativement plus chaud. De ce fait sur l'aire géographique balayée par les dépressions successives, la température s'élève.

- **Un mode «homogène» ou lent (c'est-à-dire moins contrasté puisque dans l'atmosphère on observe jamais d'homogénéité réelle)** : Lorsque le déficit thermique sur le bassin occidental de l'Arctique décroît, les anticyclones sont plus fréquents donc la pression augmente de façon relative sur cette région. Mais ils sont moins froids, et ainsi ils ne parviennent pas à garder longtemps leurs caractères propres et donc la superficie des pressions diminue dans les latitudes inférieures à 40 °N.

Les anticyclones étant moins froids, ils sont moins énergétiques et ainsi provoquent des dépressions moins profondes. Ces dépressions restent d'autant plus circonscrites à des latitudes méridionales qu'un grand nombre d'anticyclones de trajectoire groenlando-scandinave circule sur leur cheminement préférentiel. Le réservoir énergétique constitué par l'AA des Açores et des Bermudes qui alimente la circulation cyclonique est affaibli (du fait d'un ralentissement des alizés). Les dépressions ont donc des superficies moindres, ne sont pas capables d'atteindre des latitudes très septentrionales, et advectent moins d'air issu des latitudes subtropicales et par conséquent sur l'aire géographique de comblement, la température s'abaisse relativement.

Entre ces deux modes diamétralement opposés, une infinité de séquences est possible (plus ou moins ressemblantes) et la répétition de ces situations similaires sur une période (mois, saison) permet de rendre compte de l'évolution climatique.

Au terme de ces analyses successives nous avons pu formuler une description de la circulation de basses couches répondant aux critères fixés dans la problématique. Au regard des résultats obtenus, nous pouvons conclure par l'affirmative à notre hypothèse de départ qui, nous le rappelons, était que **«les variations du temps et donc du climat peuvent être comprises (en grande partie) par l'analyse des comportements des éléments de la dynamique de surface que sont les dépressions et les anticyclones»**.

5.11.2 Evolution de la dynamique au cours de la période 1950-2000

A partir des évolutions des caractéristiques des anticyclones et des dépressions nous pouvons affirmer que la dynamique aérologique a connu deux phases successives sur la période 1950-2000 :

- de 1950 à 1970, marquée par une diminution de l'intensité de l'activité aérologique,
- depuis 1970, une intensification très nette de l'activité illustrée par un «gonflement» de l'espace aérologique, puisque :
 - les anticyclones sont capables d'atteindre des latitudes plus méridionales. Cela a des conséquences très importantes sur la circulation tropicale (translation vers le sud de la position de l'Equateur Météorologique),
 - les dépressions remontant plus au nord, elles apportent plus de chaleur, et de précipitations sur la Scandinavie. De plus cette remontée renforce les régimes de vents, accélère les courants océaniques et ainsi entraîne des variations dans la circulation océanique et la banquise (non traitées ici).

Gulev S.K. et al sont arrivés à la même conclusion dans leur article de 2002, dans lequel ils soulignent *«a remarkable change in atmospheric variability over the North Atlantic in late 1970s»*. Ce schéma de circulation rend bien compte de l'existence d'une continuité des phénomènes sur l'ensemble de l'espace d'étude (du pôle à l'équateur et inversement). Les éléments constitutifs de la circulation évoluent, se transforment, mais il n'y a pas de rupture au cours de leur cheminement.

5.11.3 Structure de la circulation de surface dans l'espace atlantique

Pour bien appréhender cette continuité, nous pouvons prendre l'exemple d'un volume d'air au-dessus du pôle nord et le suivre durant son trajet (figure 5.31) :

- du fait du déficit thermique des hautes latitudes notre échantillon va «descendre» jusqu'au sol,
- il va ensuite être éjecté probablement au sein d'un anticyclone de trajectoire américano-atlantique (70% des fréquences totales en valeurs annuelles) selon une direction sud-sud-est,
- arrivé aux latitudes subtropicales, après avoir traversé l'Atlantique, il va s'insérer dans l'AA des Açores, et permettre son maintien,
- de cette AA, il pénètre dans la circulation tropicale sous forme d'alizé et va traverser l'Atlantique d'est en ouest, en se chargeant de chaleur et d'humidité,
- arrivé sur la façade sud-ouest du bassin atlantique, sa trajectoire va s'incurver (du fait de la circulation anticyclonique des AA, et de l'arrivée des couloirs dépressionnaires à l'avant des anticyclones) vers le nord puis le nord-est sous forme de flux alimentant les dépressions (couloir dépressionnaire),
- enfin notre spécimen va rejoindre les hautes latitudes au sein d'une dépression.

La circulation de basse couche s'effectue donc sous la forme d'un huit avec des variations d'intensité mais sans interruption.

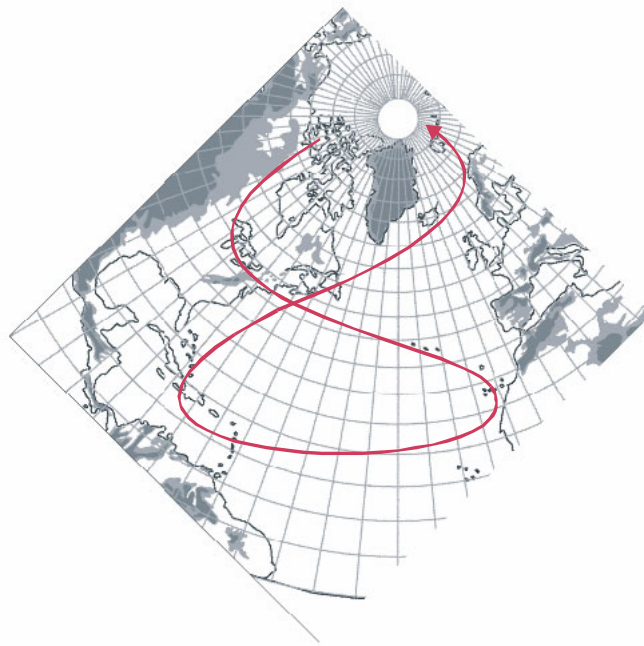
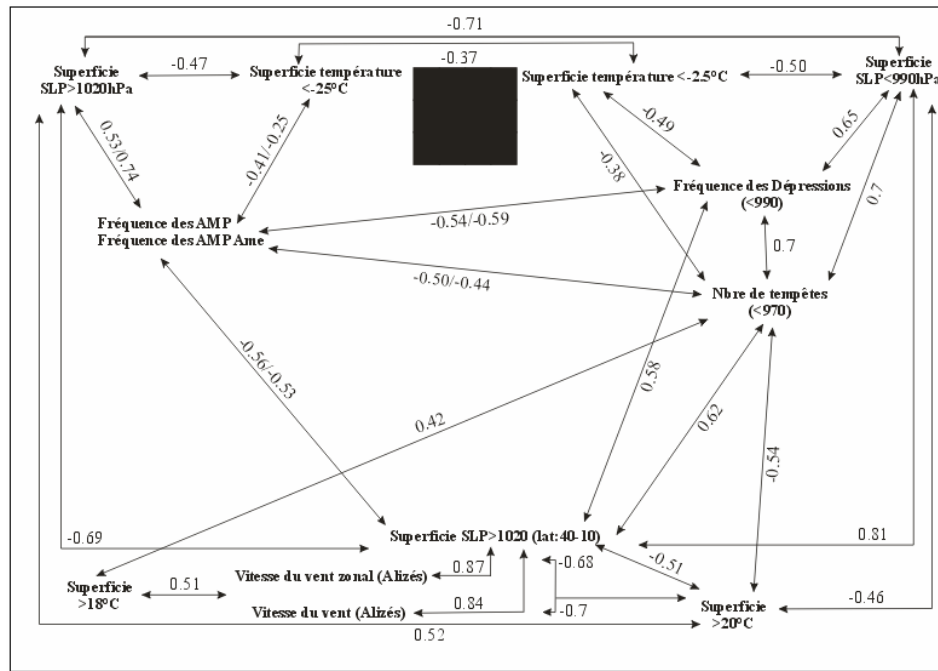


Figure 5.31 La circulation en 8 des basses couches.

Les mécanismes de la circulation atmosphérique des hautes latitudes sont assez bien connus (formation d'anticyclones par mouvements subsidents dus au déficit thermique de surface), les détails des processus physiques, délais, variations d'intensité échappent encore largement à la description. C'est la raison pour laquelle le système est ouvert au nord de notre schéma (au dessus de l'Arctique) bien que cela soit contraire à la réalité.

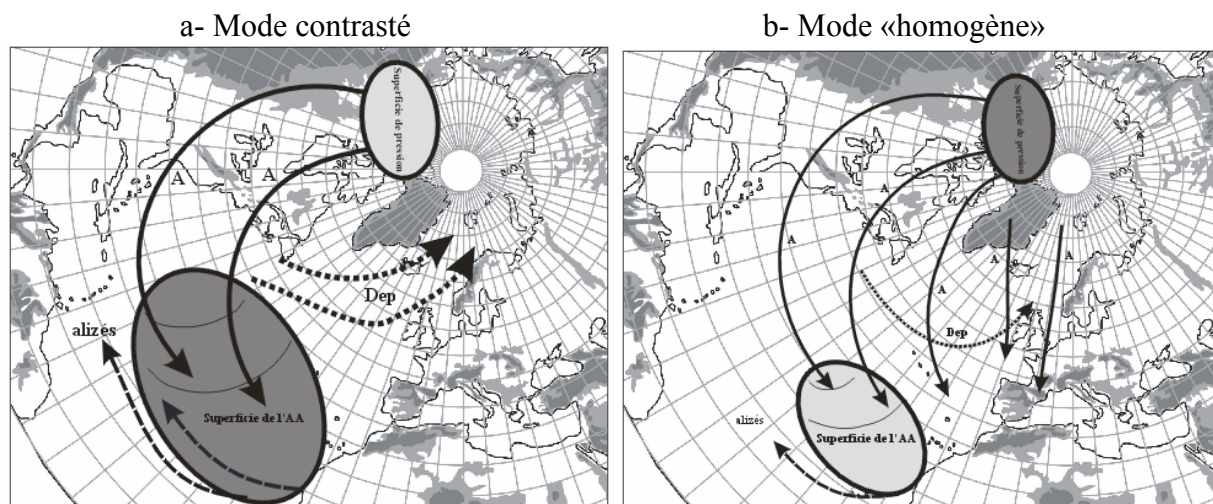
Plusieurs schémas récapitulent les éléments constitutifs de la dynamique aérologique hivernale (figure 5.31, 5.32 et 5.33).



Le carré noir en haut au centre est la représentation schématique du Groenland. Les chiffres représentent les valeurs des coefficients de corrélation liant les deux extrémités de chaque flèche. Tous les coefficients de corrélation sont significatifs à 98 %.

Figure 5.32 Schéma de la dynamique aérologique en JFM.

La figure 5.32 reprend les éléments principaux de la dynamique aérologique hivernale de surface. Les coefficients de corrélation marquent l'intensité des liens (directs ou indirects) entre les différentes entités. Pour être aisément compris, ce schéma doit se lire du coin gauche supérieur vers le centre en bas, puis vers le coin gauche inférieur pour arriver en fin d'analyse au coin droit supérieur (afin de suivre la logique de la dynamique atmosphérique décrite dans le schéma 5.31). Cette figure illustre ainsi bien la cohérence de la circulation générale par l'importance des coefficients (corrélations ou anti-corrélations) entre des variables climatiques de nature diverses : pression, température, vitesse des alizés, fréquence des anticyclones et des dépressions.



La couleur des ellipses représente les valeurs des pressions de surface :
 - foncé correspond à des hautes pressions,
 - clair correspond à des pressions plus faibles,

La longueur des flèches représentant les alizés est «proportionnelle» à l'intensité des flux.

Figure 5.33 Schémas de circulation générale de surface sur l'espace Atlantique nord en JFM. (a) Mode contrasté et (b) Mode «homogène».

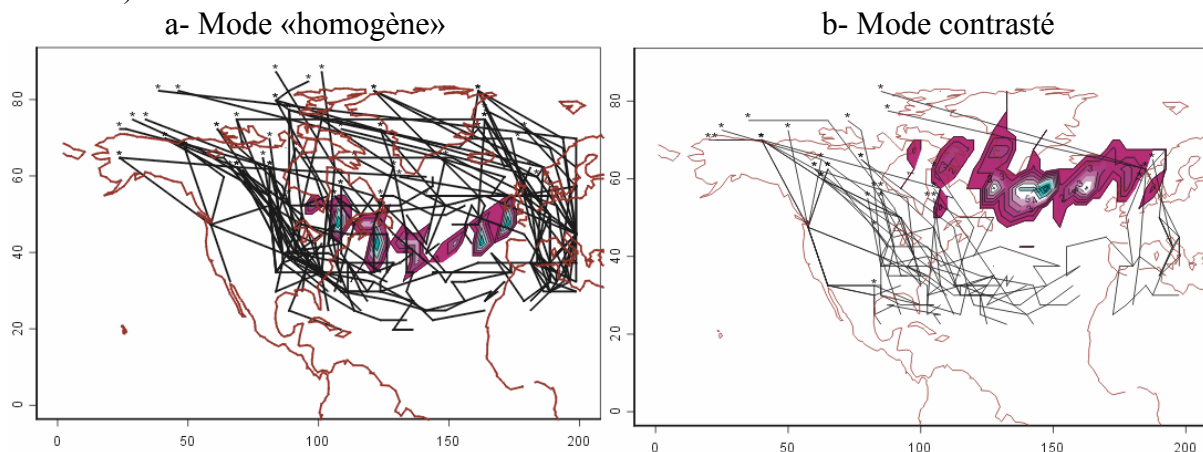
La figure 5.33 met en évidence l'opposition des variations de superficies des pressions dans les hautes latitudes et les régions subtropicales. En première lecture, ces schémas semblent faux et incompréhensibles : comment des faibles pressions peuvent-elles engendrer des hautes pressions ?

Mais en fait ces schémas sont logiques, car il faut comprendre le point de vue que ces graphiques sont censés résumer. Les mesures représentent les valeurs par rapport à la moyenne sur la période 1950-2000, et ainsi :

- en mode contrasté, il y a peu d'anticyclones et ils sont concentrés sur la trajectoire américano-atlantique, ce qui entraîne un rétrécissement de la superficie des hautes pressions sur le bassin arctique occidental (en raison, en outre de l'arrivée d'air chaud par le départ des anticyclones eux mêmes). Mais ces anticyclones étant plus froids leur altération est plus lente ce qui fait qu'ils conservent leurs pressions initiales plus longtemps et ainsi la superficie des pressions dans la zone subtropicale augmente.

- en mode «homogène», il y a davantage d'anticyclones sur l'ensemble de l'espace, ce qui entraîne une augmentation de la superficie des hautes pressions sur le bassin arctique. Mais ces anticyclones sont relativement moins froids au départ, et ainsi leur altération est plus rapide engendrant une diminution de la superficie des pressions dans la zone subtropicale.

De plus, ces variations ont des impacts sur la vitesse des alizés, qui sont plus rapides et sur les dépressions, qui sont plus fréquentes, plus profondes, plus rapides quand l'AA est étendue (et inversement).



Les traits noirs représentent les trajectoires des anticyclones. Les zones rosées et bleues représentent les densités de passage des dépressions.

Figure 5.34 «Schémas/Images» de la circulation générale de surface l'espace Atlantique nord en JFM. (a-) Mode «homogène» et (b-) Mode contrasté. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

La figure 5.34 montre bien les différences (concentration / dispersion) des trajectoires des anticyclones et des dépressions en fonction de l'intensité de la dynamique aérologique :

- durant les périodes de circulation contrastée, les anticyclones sont majoritairement de trajectoire américano-atlantique et ont également des trajectoires plus méridiennes. Ils laissent ainsi libre l'espace entre Terre Neuve et Spitzberg sur lequel les dépressions peuvent se développer aisément et ainsi avoir des trajectoires plus septentrionales,
- durant les périodes de circulation «homogène», les anticyclones sont répartis sur la totalité de l'espace. Les dépressions sont de ce fait moins développées et restent à des latitudes plus méridionales.

La récurrence de la phase active depuis 1970 implique donc des répercussions sur le climat de la façade orientale de l'Atlantique nord :

- sur le sud de l'Europe, on note une diminution drastique des volumes de précipitations,
- sur la Scandinavie, la hausse des précipitations est importante.

afin d'illustrer ces oppositions entre le sud et le nord de l'Europe, nous montrons les relations entre l'ONA et les bilans de masse annuels (gains ou pertes de masse sur l'année hydrologique) de glaciers scandinaves (7) et alpins (9) (Six D., Reynaud L., Letréguilly A., 2001) (figure 5.35).

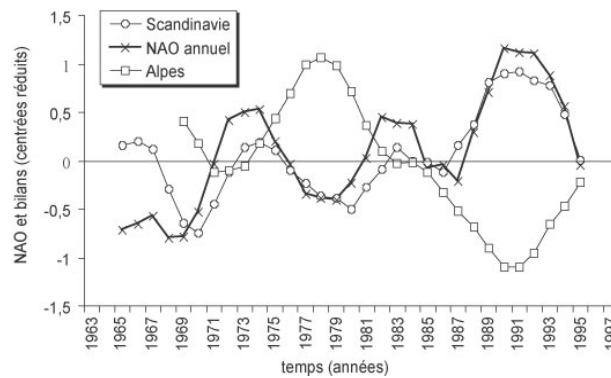


Figure 5.35 NAO et bilans de masse annuels de glaciers scandinaves et alpins d'après Six D., Reynaud L., Letréguilly A. (2001).

La figure 5.35 fait apparaître nettement la corrélation entre les bilans de masses annuels des glaciers scandinaves et l'ONA et l'anti-corrélation entre les bilans de masses annuels des glaciers alpins et l'ONA. En effet, quand l'ONA est en mode positif, les glaciers scandinaves gagnent de la masse tandis que les glaciers alpins en perdent.

5.12 Limites et critiques du schéma

Nonobstant les résultats prometteurs de ce schéma de description de la circulation générale, il existe plusieurs lacunes.

Premièrement, nous n'avons décrit précisément que la saison hivernale car c'est celle qui concerne les dépressions profondes. Mais il est évident qu'il faudrait mener des analyses permettant de démontrer la validité de ce schéma (avec les variantes nécessaires) pour les autres saisons.

Deuxièmement, nous avons choisi de prendre comme point de départ de nos explications la variation du déficit thermique sur l'ouest du bassin arctique. Mais comme nous l'avons précisé en introduction, tout point de départ explicatif est par nature critiquable. Ainsi les variations de températures peuvent être motrices des événements, et donc notre point initial est parfaitement choisi, ou bien elles sont des conséquences d'autres phénomènes, et alors l'état initial est faussé. Mais le rôle central des conditions en hautes latitudes est depuis longtemps reconnu (Hobbs W.H. (1926), Matthes F.E. et Belmont A.D. (1946), Namias J. (1958), Leroux M. (1996, 2000, 2005)) ou encore Polyakov I. (communication personnelle, 2005) qui dit que «*the Labrador region may be the key region for climate evolution for the entire north Atlantic area*».

Une question fondamentale est de savoir pourquoi et comment le bassin Arctique occidental se refroidit. Cette question se pose pour limiter la portée de nos explications. Rigor I. (communication personnelle, 2005) dit : «*I think that high Arctic Oscillation (AO) conditions are the primary drivers of Surface Air Temperature (SAT) trends over the Arctic Ocean*». Nous remontons donc ainsi la chaîne des explications. Mais dans le même temps Rigor I. ajoute que «*the question regarding about what drives the AO is a good one*», et alors nous voilà devant un nouveau «mur pour l'explication».

Troisièmement, notre schéma décrit la circulation de surface mais ne fait absolument pas intervenir les autres niveaux de l'atmosphère qui peuvent interagir avec celle-ci.

Nous resterons donc pour l'instant sur les avancées apportées par ce schéma d'ensemble tout en étant conscient de ses limites.

5.13 Point de vue sur le concept Anticyclone Mobile Polaire (AMP)

Plusieurs travaux basés sur l'observation directe des cartes synoptiques, des clichés de satellite et des bases de données chiffrées avaient déjà aidé à bâtir ou solidifier le corpus théorique du modèle explicatif Anticyclone Mobile Polaire (AMP). Nous présentons donc ici un bref résumé de cette théorie développée par Leroux M. (1983, 1986, 1996, 2000, 2005), constitué de citations tirées de l'ouvrage de 1996.

La genèse des AMP, leurs trajectoires et les variations saisonnières sont fonction de déficit thermique des latitudes polaires :

- *«le froid polaire est régulièrement exporté, de manière discontinue, par le détachement d'imposantes masses d'air dense»,*
- *«le refroidissement de l'Arctique augmente la puissance et la fréquence des AMP»,*
- *«éjectés de l'Arctique ou l'Antarctique, les AMP forment des masses mobiles pelliculaires [...] d'un diamètre moyen d'environ 2000 à 3000 kilomètres»,*
- *«ils se déplacent d'une manière générale d'ouest en est, avec une composante méridienne qui les éloigne du pôle»,*
- *«les conditions dynamiques du déplacement des AMP variant en fonction de la saison et du substratum survolé», «les continents perturbent fortement ces conditions dynamiques, par accroissement du frottement, et surtout par la présence des reliefs»,*

Le lien entre les anticyclones et les dépressions est très étroit :

- *«au cours de son déplacement l'avantage de densité (air froid, de manière absolue ou relative) permet à l'AMP d'écarter et de soulever devant lui les flux chauds (de manière absolue ou relative)»,*
- *«dans le cyclone la vorticité est d'autant plus intense que le flux dévié est lui même intense, et donc que l'AMP est plus puissant»,*
- *«la dépression fermée (cyclone) est ainsi indissociable de l'anticyclone (AMP) qui a provoqué le soulèvement à l'origine de la dépression initiale et la déviation de sens cyclonique»,*
- *«l'AMP et la dépression sont d'abord étroitement accolés, puis ils se séparent, s'éloignent progressivement l'un de l'autre au cours de la migration vers l'est»,*

Les anticyclones dans les zones subtropicales subissent des transformations mais sans ruptures :

- *«les AMP perdent progressivement leur dynamisme, et ils rencontrent aussi des facteurs plus puissants qu'eux, des AMP plus récents et plus froids, et surtout des reliefs qui imposent la formations d'Agglutinations Anticycloniques»,*
- *«les AA, en fonction des conditions de l'alimentation extra-tropicale (saison, modalités d'écoulement), déterminent les circulation initiales d'alizés»,*
- *« l'Agglutination anticyclonique, zone tampon des échanges méridiens, forme un réservoir d'air à redistribuer, et régularise l'écoulement tropical en pondérant sa vitesse par rapport à la circulation extra-tropicale»,*

La circulation générale de surface s'organise en fonction de plusieurs principes majeurs :

- *«le facteur géographique détermine des espaces de circulation bien individualisés dans les basses couches»,*
- *«les échanges méridiens suivent plusieurs voies. Le point de départ se trouve aux pôles»,*
- *«les secteurs où les circulations en «8» se croisent sont le lieu d'intenses échanges verticaux impulsés par l'air dense des AMP obligeant l'air chaud à s'élever»*

Conclusion :

Tels sont les principaux caractères des AMP selon M. Leroux. La grande nouveauté de ce concept est de proposer un schéma de la circulation générale, sans hiatus entre zones, d'intégrer les perturbations dans la circulation générale, d'en expliquer les variations journalières, saisonnières et interannuelles jusqu'à l'échelle paléoclimatique : *«La cohérence d'ensemble du modèle, qui explique aussi bien la circulation (de l'échelle synoptique, saisonnière, à climatique et paléoclimatique) et la dynamique de la circulation c'est-à-dire les perturbations, directement dans les zones extratropicales et indirectement dans la zone tropicale, permet le passage logique du temps au climat puis à l'évolution climatique actuelle et passée».*

Depuis le début de ce travail nous avons analysé les anticyclones et les dépressions de façon individualisée, puis croisée, afin de déterminer leurs comportements et les éventuels liens, sans pré requis, ni théories sous jacentes. Au bout de ces travaux nous pouvons faire ressortir quelques conclusions essentielles, concernant :

- **le déficit thermique de certaines régions polaires.** C'est un des aspects majeurs de la variabilité climatique à l'échelle de notre espace d'étude (I. Polyakov, 2005). On note la concordance entre les régions de générations des anticyclones et les aires géographiques de déficit accru. Lorsque le froid est intense (en valeur relative), les anticyclones générés sont plus froids, donc plus contractés (la pression moyenne diminue donc sur ces zones polaires concernées par le passage des anticyclones (nord-est canadien)). Ils sont donc capables de transporter plus longtemps leur «quantité de froid». La pression de l'Agglutination dans laquelle ils s'intègrent augmente. Cela montre bien qu'il n'y pas de limites entre la circulation des hautes latitudes, des zones tempérées et des latitudes tropicales.

Les variations du déficit thermique au cours de l'année entraînent des évolutions cycliques des caractéristiques des anticyclones et des dépressions :

- les pressions moyennes et maximales, la durée, la distance, la vitesse des anticyclones, les différences entre les latitudes maximales-latitudes minimales, les longitudes maximales-longitudes minimales, les pressions maximales-pressions moyennes sont maximales en hiver et minimales en été,
- les longitudes maximales, moyennes, minimales des anticyclones sont minimales en hiver et maximales en été :
 - les dépressions sont plus fréquentes, plus profondes, durent moins longtemps, apparaissent et se combinent à des longitudes plus orientales, se déplacent plus vite, ont un différentiel de pression plus élevé en hiver et en automne,
 - ont des trajectoires plus zonales en été et plus méridiennes au printemps.

Les variations inter-annuelles du déficit thermique entraînent des modifications des caractéristiques des anticyclones. En période froide («chaude» = moins froide), les anticyclones sont moins (plus) nombreux, apparaissent, se déplacent et s'agglutinent plus bas (haut) en latitude.

- **les trajectoires des anticyclones et des dépressions.** Deux trajectoires principales ressortent pour les anticyclones : la trajectoire américano-atlantique et la trajectoire groenlando-scandinave. Quelle que soit la trajectoire, ils se déplacent du pôle vers l'équateur avec une composante méridienne plus ou moins marquée en fonction du déficit thermique polaire et de l'environnement global. Les dépressions ont des trajectoires comprises dans une bande plus ou moins zonale entre le nord de la Baie d'Hudson et Terre-Neuve à l'ouest, passant au sud du Cap Farewell, et entre le Spitzberg et la Scandinavie à l'est.

- **les similitudes / différences de comportements.** Les cycles annuels en valeurs saisonnières, mensuelles ou les évolutions sur la période 1950-2000, des anticyclones et des dépressions sont fortement (anti)corrélés, ce qui tend à prouver qu'ils sont bien deux parties d'un même ensemble : le vortex dipôle.

- **la mobilité des éléments de la dynamique aérologique.** Les anticyclones comme les dépressions se déplacent en permanence. Nous pouvons suivre un anticyclone ou une dépression tout au long de leur trajet jour après jour jusqu'à leur intégration dans les Agglutinations Anticycloniques ou les Réunions Dépressionnaires.

- **les variations des champs climatiques.** Tout au long de leur déplacement, les anticyclones et les dépressions, selon leurs caractéristiques propres, permettent d'expliquer aisément les variations des champs climatiques (barométrique, thermique, pluviométrique, hygrométrique.....). Et ce sur tout notre espace d'étude. C'est cette succession de temps qui «crée» le climat à toutes échelles temporelles.

- **la circulation en huit.** Le schéma en huit (figure 5.29) révèle que les échanges méridiens (dans le sens pôle-équateur et inversement) sont impulsés par les trajectoires et les caractères des anticyclones et des dépressions.

Notre étude objective (par l'établissement des trajectoires par un algorithme informatique) menée pas à pas sans a priori, nous permet d'affirmer que notre hypothèse de départ selon laquelle **les variations du temps et du climat sont compréhensibles par l'analyse des comportements des anticyclones et des dépressions** est valable.

En outre, elle confirme la validité du concept AMP, pour l'essentiel et surtout pour les points les plus importants. Mais il existe des résultats qui ne sont pas en accord avec la théorie :

- la dichotomie entre les fréquences des anticyclones et des dépressions. Les coefficients de corrélation entre respectivement les cycles annuels en valeurs mensuelles et les séries temporelles annuelles, en JFM, en AMJ, en JAS et en OND sont de $R = -0,19$; $-0,49$; $-0,21$; $-0,01$ et $-0,22$,
- opposition entre faible fréquence des anticyclones et activité atmosphérique intense. Lorsque les anticyclones sont peu nombreux (mais froids), la dynamique aérologique est plus contrastée. Sur la période 1950-2000 :

- en hiver, les anticyclones sont moins fréquents,
- au printemps et en été, les anticyclones sont plus fréquents,
- en valeurs mensuelles, les anticyclones sont plus fréquents durant le printemps,
- la pression des anticyclones n'est pas représentative des évolutions inter-annuelles, saisonnières ou mensuelles de l'intensité de la dynamique atmosphérique. En effet, les anticyclones ayant les pressions les plus élevées ne se produisent pas obligatoirement durant les périodes d'ONA active ($R = -0,15$ entre la pression maximale des anticyclones et l'ONA en JFM),
- les anticyclones ayant les pressions les plus élevées apparaissent plus au nord, les anticyclones apparaissent plus bas en latitude en été qu'en hiver, alors qu'en période d'activité intense hivernale les anticyclones apparaissent plus au sud,
- les dépressions apparaissent plus nord en été qu'en hiver, alors qu'en période d'activité intense hivernale, elles apparaissent également plus au nord,

Il faudra donc mener à l'avenir d'autres examens afin de savoir s'il faut corriger en partie le concept ou si ce sont des biais dans nos résultats dus aux méthodes d'analyses (cf. reconnaissance par l'algorithme).

Synthèse

Question de départ.

Peut-on établir un schéma décrivant la circulation générale de surface dans le secteur de l'Atlantique nord exclusivement basé sur les évolutions des caractéristiques des anticyclones et des dépressions ?

Résultats.

- en valeurs annuelles, hivernales et automnales, lorsque les anticyclones apparaissent, se déplacent et s'agglutinent bas en latitude, les dépressions se créent, se déplacent et se combrent à des latitudes plus septentrionales. De plus, en période hivernale, lorsqu'il y a peu d'anticyclones, les dépressions sont nombreuses.

- les variations des différences entre les latitudes d'apparition des dépressions - latitudes d'apparition des anticyclones sont similaires aux évolutions de la dynamique aérologique (tableau 5.10) :

- les différences sont positives en phase active de la dynamique (période durant laquelle l'ONA est positive),
- les différences sont négatives en phase lente de la dynamique (période durant laquelle l'ONA est négative).

- les variations des différences entre les latitudes de comblement des dépressions - latitudes d'agglutination des anticyclones sont similaires aux évolutions de l'ONA (tableau 5.12 et figure 5.9) :

- les différences sont grandes en phase active de la dynamique,
- les différences sont «faibles» (toujours supérieure à 18° en moyenne mensuelle) en phase lente de la dynamique.

- la dynamique aérologique est plus influencée par les migrations latitudinales que longitudinales des anticyclones.

- quelle que soit l'échelle de temps considérée, la migration vers le sud de la position de l'Agglutination est nette. Cela prouve bien, une nouvelle fois, le «gonflement» de l'espace aérologique nord-atlantique.

- il existe deux modes principaux autour desquels se décline l'ensemble des modulations de la variabilité climatique hivernale :

- **Un mode contrasté** : Lorsque le déficit thermique du bassin occidental de l'Arctique est plus intense, les anticyclones sont moins fréquents donc la pression diminue de façon relative sur le bassin arctique occidental. Mais, ils sont plus froids et ainsi ils parviennent à garder plus longtemps leurs caractères propres (du fait d'une désagrégation plus lente par inertie thermique), donc la superficie des pressions augmente aux latitudes inférieures à 40°N .

Les anticyclones étant plus froids, ils sont plus énergétiques (différence accrue par rapport à l'environnement) et ainsi génèrent des dépressions plus profondes du fait du contraste thermique renforcé. Ces dépressions peuvent d'autant plus se développer que les anticyclones étant ultra majoritairement concentrés sur la trajectoire américano-atlantique, ils laissent libre l'espace de l'Atlantique du nord-est et de la Mer du Groenland. Le réservoir énergétique constitué par l'AA des Açores et des Bermudes alimente plus fortement les dépressions (par le biais des alizés). Cette alimentation est d'autant plus énergétique qu'elle

s'effectue par le biais d'alizés plus rapides et méridionaux du fait du décalage méridional et de la dilatation de l'AA de Açores. Les dépressions sont donc plus fréquentes, ont des superficies accrues et sont capables d'atteindre des latitudes plus septentrionales, en advectant de l'air issu des latitudes plus méridionales donc relativement plus chaud. De ce fait la température s'élève sur l'aire géographique balayée par les dépressions successives.

- **Un mode «homogène»** : Lorsque le déficit thermique du bassin occidental de l'Arctique décroît, les anticyclones sont plus fréquents donc la pression augmente de façon relative sur le bassin arctique occidental. Mais, ils sont moins froids, et ainsi ils ne parviennent pas à garder longtemps leurs caractères propres (du fait d'une désagrégation plus rapide) et donc la superficie des pressions diminue aux latitudes inférieures à 40 °N.

Les anticyclones étant moins froids, ils sont moins énergétiques et ainsi génèrent des dépressions moins profondes du fait du contraste thermique adouci. Ces dépressions circulent d'autant plus à des latitudes méridionales qu'un grand nombre d'anticyclones de trajectoire groenlando-scandinave circule sur leur cheminement préférentiel. Le réservoir énergétique constitué par l'AA des Açores et des Bermudes qui alimente les dépressions est affaibli. Les dépressions ont donc des superficies moindres, ne sont pas capables d'atteindre des latitudes très septentrionales et advectent moins d'air issu des latitudes subtropicales et donc au-dessus de cette aire géographique la température s'abaisse relativement.

- la dynamique aérologique de l'Atlantique nord a connu deux phases consécutives sur la période d'étude. De 1950 à 1970, on note une baisse de l'intensité de la dynamique suivie d'un fort accroissement de cette même intensité (avec deux maxima en 1989 et 1990) durant la période 1970-2000. Ces deux périodes sont marquées par la récurrence du mode homogène au début de l'étude remplacée par la récurrence du mode contrasté de 1970 à 2000. Les changements climatiques peuvent donc être interprétés en terme de répartition temporelle des modes de dynamique aérologique.

- ce schéma de circulation rend bien compte de l'existence d'une continuité des phénomènes sur l'ensemble de l'espace d'étude (du pôle à l'équateur et inversement).

- les analyses objectives de notre étude confirment les points forts du concept AMP.

Limites.

- ce travail ne prend en compte qu'un niveau de l'atmosphère (basses couches),
- cet examen décrit un schéma de circulation générale complet uniquement pour la période hivernale,

Questions non résolues.

1- pourquoi y a-t-il dichotomie entre les fréquences des anticyclones et des dépressions (figure 5.36)?

Pour tenter une explication nous nous intéressons aux liens unissant durées et fréquences des phénomènes.

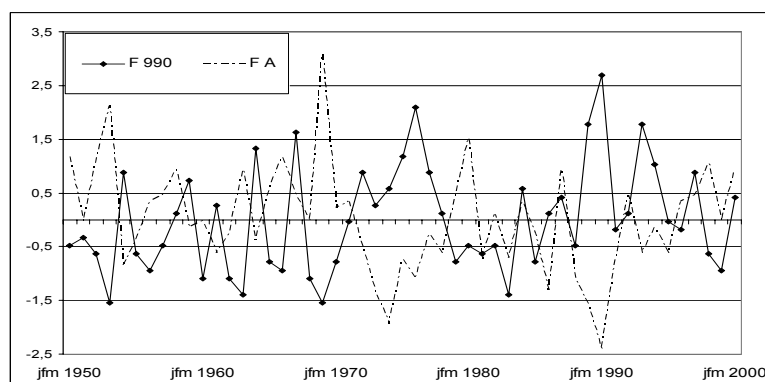


Figure 5.36 Fréquence des anticyclones et des dépressions en hiver de 1950 à 2000.

	Fréquence A	Durée A	Fréquence Dep<1000 hPa	Durée Dep<1000 hPa
Fréquence A	1			
Durée A	- 0,45	1		
Fréquence Dep<1000 hPa	- 0,49	- 0,30	1	
Durée Dep<1000 hPa	- 0,34	- 0,31	- 0,44	1

Tableau 5.31 Coefficients de corrélation entre durée et fréquence des anticyclones et des dépressions (Bravais Pearson méthode) en JFM. Les chiffres en gras sont significatifs au seuil de 98% ou plus.

Les anticyclones lorsqu'ils sont peu fréquents, ont des trajectoires plus longues ($R = - 0,45$). Les dépressions lorsqu'elles sont plus fréquentes durent moins longtemps ($R = - 0,44$). En outre, nous savons que lors de périodes de faibles occurrences d'anticyclones, les dépressions sont plus fréquentes ($R = - 0,49$).

De plus le coefficient de corrélation entre les fréquences des anticyclones et les pourcentages des dépressions qui ont duré plus de 5 jours en hiver (JFM) est de $R = 0,36$ (non montré ici), ce qui tend à prouver que lorsque les anticyclones sont peu nombreux, on enregistre sensiblement le même nombre de dépressions significatives (c'est-à-dire longues), agrémentées de beaucoup de petites dépressions annexes ou secondaires. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que l'opposition de phase entre les fréquences est le résultat de la durée de trajectoires des anticyclones. Ainsi lorsque ceux ci couvrent un long trajet «ils ont davantage la possibilité» de rencontrer des conditions environnementales favorables à la cyclogenèse principale ou secondaire et dès lors le nombre de dépressions augmente. Ceci reste bien sûr à vérifier lors de travaux plus approfondis.

L'explication est peut être à rechercher également dans les liens entre fréquences et superficies des entités. Durant l'hiver, lorsque les anticyclones sont peu fréquents et étendus, le nombre de dépressions augmente ($R = 0,56$) et la superficie des dépressions au nord de 60°N s'accroît ($R = 0,71$).

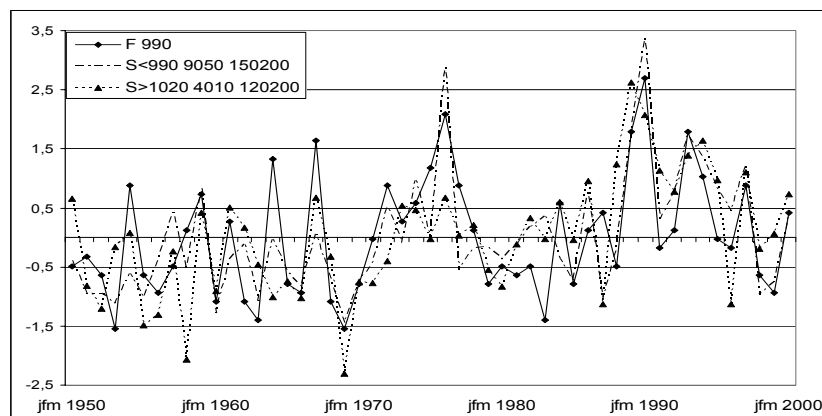


Figure 5.37 Séries temporelles (JFM) des superficies des anticyclones, des fréquences et des superficies des dépressions inférieures à 990 hPa.

En revanche, l'explication de l'existence de périodes durant lesquelles les dépressions sont plus fréquentes que les anticyclones demande à être approfondie.

2- pourquoi y a t'il variations des trajectoires (nombre, caractères.....) ?

3- pourquoi et comment le bassin Arctique occidental se refroidit-il ?

6. L'INDICE DE DYNAMIQUE AEROLOGIQUE DE L'ATLANTIQUE NORD (IDAN)

Nous avons déterminé certains mécanismes de la circulation générale de surface dans l'espace Nord-Atlantique sur la période 1950-2000, mettant en évidence le bien fondé de l'analyse de la variabilité climatique dirigée par les évolutions des caractéristiques des anticyclones (AMP) et des dépressions.

Il est à présent pertinent d'essayer d'établir un indice résumant cette évolution de la dynamique aérologique, que nous nommons Indice de la Dynamique aérologique de l'Atlantique Nord (IDAN). La structure de cet indice est exclusivement basée sur les caractères des AMP et des dépressions.

Notre chapitre s'articulera ainsi en six temps :

- 1- Etat de la question sur les grands indices climatiques de l'Atlantique nord,
- 2- Méthodes de construction de l'IDAN,
- 3- Résultats et interprétations,
- 4- Potentialités de l'IDAN,
- 5- Conclusions et Synthèse.

6.1 Etat de la question sur les grands indices climatiques de l'Atlantique nord

Il existe déjà depuis longtemps des indices rendant compte de l'intensité de la circulation générale. Parmi ceux ci «*the north atlantic oscillation is one of the most dominant and oldest known weather patterns*» (D.B. Stephenson et al., 2003). C'est pourquoi nous allons faire un rapide résumé de ce concept.

6.1.1 Historique de l'Oscillation Nord-Atlantique (ONA)

Durant son séjour au Groenland entre 1770 et 1778, le missionnaire Saabye H.S. écrivait dans son journal de bord : «*In Greenland, all winters are severe, yet they are not alike. The Danes have noticed that when the winter in Denmark was severe, as we perceive it, the winter in Greenland in its manner was mild, and conversely*».

Crantz D., dans son ouvrage Historie von Gronland publié en 1765, notait également l'opposition de rudesse des périodes hivernales entre le Danemark et le Groenland. Hann (1890) décrivait ce différentiel à partir de l'analyse des températures moyennes à **Jakobshavn** (située sur la côte ouest du Groenland (69 °N, 51°O)) et Vienne en Autriche sur une période de 42 ans. Par la suite les études remplacèrent Vienne par **Oslo** en Norvège (60 °N, 11°E).

Le phénomène a donc été décrit initialement à partir des variations de températures hivernales selon un axe ouest-est.

L'ONA sous sa forme actuelle (comme la North Pacific Oscillation et la Southern Oscillation) a été décrite dans les années 1920 par Sir Walker G.T. dans des publications successives (1923 et 1924). Ces indices étaient issus d'analyses des corrélations des pressions (et non plus des températures) entre différentes régions, selon une méthode inspirée par Exner F.M. (1913).

Dans l'ouvrage de Walker G.T., Bliss E.W (1932), l'ONA est définie par une combinaison linéaire de températures et pressions de neuf stations : **Vienne** (48,3 °N et 16,4°E), **Bermudes** (32,4 °N et 64,7°O), **Stykkisholmur** (65,1 °N et 22,7°O), **Ivigut** (61,2 °N et 48,2°O), **Bodo** (67,3 °N et 14,4°E), **Stornoway** (58,2 °N et 6,3°O), **Hatteras** (35,3 °N et 75,6°O), **Washington** (38,9 °N et 77°O), **Godthaab** (64,2 °N et 51,8°O) entre décembre et février. Cette oscillation marque *«la tendance de la pression à être faible à proximité de l'Islande en hiver, quand elle est simultanément forte à proximité des Açores et sur la partie sud-ouest de l'Europe [...] Cette distribution étant associée à des températures élevées sur l'Europe nord-ouest et basses sur les côtes du Labrador»* (Walker G.T., Bliss E.W. 1932).

Durant la seconde guerre mondiale, Rossby C.G. et ses collègues promurent ce concept au rang d'«indice cyclique», grâce auquel ils espéraient faire des prévisions à une ou deux semaines. Pour ce faire, ils se basèrent sur des observations de la variation de la puissance des vents d'ouest. Ces analyses suggéraient que ces variations étaient assimilables aux ondes planétaires qui fluctuent de façon assez lente, et qui déterminent les longitudes auxquelles les températures sont supérieures ou inférieures à la moyenne. Ces travaux débouchèrent sur l'invention d'un «indice zonal» qui décrit la puissance des vents d'ouest avoisinant la latitude 45 °N.

Mais à la fin des années 1940, Rossby C.G. ne croit plus aux possibilités de «l'indice cyclique». En 1950, deux jeunes chercheurs de son équipe reprennent tout de même les travaux, en en proposant une redéfinition. Le premier, Namias J. (1950), au lieu de se focaliser sur la puissance des vents d'ouest, avance qu'il serait plus opportun de caractériser la circulation hémisphérique par détermination des latitudes principales des vents d'ouest. Pour construire son indice, J. Namias utilise la différence de puissance des vents d'ouest aux latitudes 55 °N et 35 °N.

Il y a donc, selon lui, deux phases de l'indice :

- indice haut : quand les vents d'ouest les plus puissants sont situés à proximité des pôles, les masses d'air arctiques froides sont confinées dans les régions polaires, et les températures dans les latitudes moyennes ont tendance à être supérieures à la moyenne,
- indice bas : quand les vents d'ouest les plus puissants sont situés plus bas en latitude, les incursions d'air froid dans les moyennes latitudes sont plus fréquentes et plus marquées.

Le second, Lorenz E. (1951) travaille sur une analyse statistique de corrélations entre les pressions et les vents à différentes latitudes. Ces travaux se rapprochent de ceux effectués par F. Exner, 40 ans plus tôt. Malgré quelques différences dans la méthodologie, les résultats sont similaires, c'est-à-dire que la pression au niveau de la mer au dessus du pôle semble être anti-corrélée avec la pression vers 55 °N.

A la fin des années 1950, ces indices, du fait de leur manque de représentativité des variations du temps dans différents secteurs de l'hémisphère nord, perdirent de leur influence dans les

études météorologiques. Mais avec les articles de Van Loon H. et Rogers J. (1978 et 1979), Barnston A.G. et Livezey R.E. (1987) et Hurrell J.W. (1995) principalement, on remarque une reprise vigoureuse des travaux consacrés à cette oscillation (mécanismes, variations, impacts,...), qui joue selon eux un rôle majeur dans la variabilité du climat de l'ensemble de l'hémisphère nord, voire plus.

6.1.2 L'ONA, méthodes de calculs de l'indice

L'Oscillation Nord-Atlantique est définie par un indice dont il existe plusieurs modalités de calcul. Les deux plus couramment utilisées se font soit par :

- construction à partir des différences de pression entre «l'Anticyclone des Açores» et la «Dépression d'Islande». La station météorologique de **Stykkisholmur** (Islande) est toujours utilisée, tandis que trois stations peuvent être retenues pour «l'Anticyclone des Açores»: **Ponta Delgada** (Açores), **Lisbonne** (Portugal) et **Gibraltar** (Royaume-Uni) (figure 6.1).

- analyse en composante principale (ACP) du champ de pression de surface ou du géopotential à 500 mb.

Quelle que soit la méthode retenue, les valeurs de l'indice sont similaires (figure 6.1) et les deux modes de l'ONA, traduisant la puissance différentielle des deux «centres d'action» :

- *la phase positive*: durant laquelle la pression de «l'Anticyclone des Açores» est plus élevée que la moyenne et la pression de la «Dépression d'Islande» est plus faible que la moyenne,
- *la phase négative*: durant laquelle la pression de «l'Anticyclone des Açores» est moins élevée que la moyenne et la pression de la «Dépression d'Islande» est plus élevée que la moyenne.

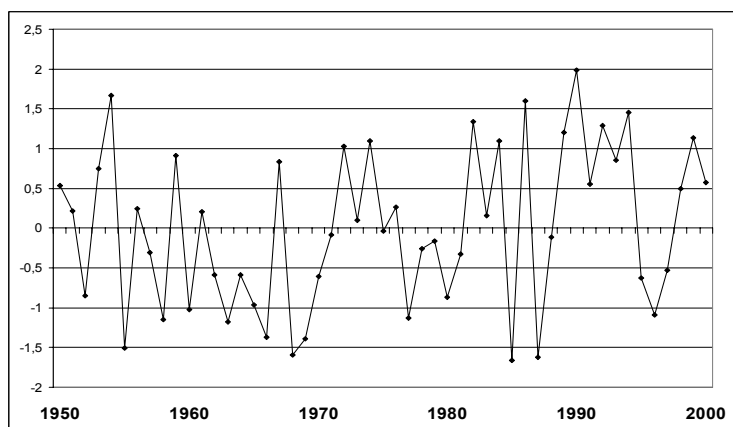


Figure 6.1 Courbe de l'ONA en valeurs annuelles de 1950 à 2000 d'après J. Hurrell.

La figure 6.1 met en évidence les deux phases successives de l'ONA sur la période d'étude :

- une baisse de 1950 à 1969,
- puis une hausse de 1970 à 2000.

6.1.3 Limites de l'indice et problématique

De nombreux travaux marquent l'importance de l'ONA dans le système climatique :

- Barnston A.G. et Livezey R.E. (1987) la décrivent comme la téléconnexion majeure de l'espace Nord Atlantique,
- Hurrell J. (1995) introduit son article par la phrase: *«a major source of interannual variability in the atmospheric circulation is the North Atlantic Oscillation»*. Celle-ci reprenant les conclusions de plusieurs études précédentes montrant que: *«an empirical orthogonal function analysis reveals that the NAO is the dominant mode of variability of surface atmospheric circulation in the Atlantic and accounts for more than 36% of the variance of the mean December to March SLP field over the region from 20 °N to 80 °N and 90°W to 40°E during 1899 through 1994»*.

Les explications des variations de l'ONA ne sont abordées qu'en liaison avec d'autres phénomènes, comme :

- le nombre de dépressions profondes (Rogers J.C., 1990),
- les migrations des centres d'actions durant la seconde moitié du XX^e siècle (Hilmer M., Jung T., 2000),
- la température de l'océan (Frankignoul C., Czaja A., 1999),
- le vortex polaire (Baldwin M., 1994, Baldwin M., Dunkerton T., 1999),
- les gaz à effet de serre (Ulbrich U., Christoph M., 1999),
- l'extension de la banquise et de la couverture neigeuse des continents (Deser C. et al 2000, Jung T. 2001).

Mais en tout état de cause, comme le constatent Stephenson D.B., Pavan V., Bojura R. en 2000: *«after more than a century of scientific investigation, the fundamental mechanisms determining evolution of the NAO are still far from being elucidated»*.

Toutes ces études, analysant les variations de l'ONA, considèrent les modifications de pression des deux centres d'action de l'Atlantique nord comme étant des conséquences d'autres éléments du système climatique. Ces évolutions commandant elles mêmes, in fine, les comportements des AMP et des dépressions (cf. la première voie analytique définie dans l'introduction).

Mais cette vision fait tout de même apparaître quelques lacunes. D'une part, cet indice est basé sur la définition statistique des centres d'actions (cf. chapitre sur la circulation générale de basses couches). Ceci oblitère en grande partie les possibilités de compréhension des variations que connaissent ces régions, parce que les moyennes masquent les évolutions synoptiques des pressions.

D'autre part, il existe le «paradoxe» de l'ONA négative. On enregistre une augmentation de la pression sur le nord de l'Atlantique nord soit parce qu' il y a :

- moins de dépressions ou qu'elles sont moins profondes,
- plus d'AMP qui «survolent» cet espace.

Mais la structure de l'indice interdit de savoir dans quel cas nous nous situons, puisque celui-ci est représenté par une valeur relative. Ainsi la même valeur de l'ONA peut résulter de deux réalités opposées, ayant des conséquences météorologiques bien différentes.

Enfin, cette oscillation est basée sur des données stationnelles ou sur des grandes aires géographiques fixes. Cela entraîne une prise en compte partielle des phénomènes quand ceux-ci ne survolent pas exactement les zones au-dessus desquelles sont effectuées les mesures. Il faut noter une tentative novatrice essayant de réduire ce problème de fixité spatiale des données, par la création d'un indice de NAO «mobile». Cet indice est calculé par la corrélation négative maximale à l'intérieur d'un espace large censé représenter les deux «centres d'action» de la Dépression d'Islande et de l'Anticyclone des Açores (Portis D.H. et al, 2000). Cet indice offre des avantages par rapport au calcul classique puisque les auteurs écrivent que: «*The NAOm index is robust across datasets, and correlates more highly than EOF coefficients with historical measures of westerly wind intensity across North Atlantic midlatitudes*» et que «*the NAO's nodes maintain their correlation from winter to summer to a greater degree than traditional NAO indices based on fixed stations*».

La volonté de construire un indice à partir des anticyclones et des dépressions repose donc sur l'intérêt de prendre en compte la totalité des éléments mobiles du temps et du climat, et ainsi de se soustraire aux problèmes de fixité dans l'espace, pour résumer la variabilité sur une vaste aire géographique. Gulev S.K., Zolina O., et Gregoriev S. (2001) ont déjà travaillé sur la pertinence des liens entre dépressions et variabilité climatique puisqu'ils concluent : «*Atlantic cyclone frequency demonstrates a high correlation with NAO and reflects the NAO shift in the mid 1970s, associated with considerable changes in European storm tracks*».

Afin de juger de la pertinence potentielle d'un tel travail basé sur l'étude des comportements des anticyclones et des dépressions, nous établissons :

- Premièrement, un certain nombre de corrélations entre certaines caractéristiques des AMP américano-atlantiques, des AMP groenlando-scandinaves, des dépressions et l'ONA. Pour la totalité de l'étude, les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 98% (sauf indication contraire) (tableau 6.1).

a- AMP et ONA

	Freq	Du	Dist	Lat Mi	Lat Mx	lat	Long Mi	Long Mx	Long
Annuel	- 0,28	0,24	0,14	- 0,38	- 0,56	- 0,09	- 0,28	- 0,21	- 0,20
JFM	- 0,59	0,44	0,34	- 0,47	- 0,56	- 0,67	- 0,17	- 0,26	- 0,21
AMJ	- 0,29	0,15	0,10	- 0,18	- 0,21	- 0,29	- 0,17	- 0,38	- 0,33
JAS	- 0,54	0,26	0,17	0,03	- 0,07	- 0,09	- 0,33	- 0,28	- 0,32
OND	- 0,52	0,32	0,32	- 0,29	- 0,44	- 0,47	- 0,34	- 0,44	- 0,42

b- AMP américano-atlantiques et ONA

	Freq	Lat Mx	Lat Mi	Lat	Long Mx	Long
An	- 0,23	- 0,53	- 0,33	- 0,49	- 0,42	- 0,41
JFM	- 0,54	- 0,56	- 0,52	- 0,66	- 0,25	- 0,20
AMJ	- 0,28	- 0,30	- 0,21	- 0,31	- 0,35	- 0,36
JAS	- 0,26	- 0,17	0,21	0,03	- 0,10	- 0,15
OND	- 0,31	- 0,38	- 0,23	- 0,36	- 0,31	- 0,32

c- AMP groenlando-scandinaves et ONA

	Freq	Long Mx
An	- 0,17	0,33
JFM	- 0,30	0,02
AMJ	- 0,20	0,01
JAS	- 0,56	0,11
OND	- 0,46	0,02

d- dépressions <1000hPa et ONA

	Freq	P Mi	P My	Lat Mi	Lat Mx	Long Mi	Long Mx	Vit
An	0,46	- 0,48	- 0,41	0,76	0,73	- 0,41	- 0,09	0,49
JFM	0,38	- 0,62	- 0,48	0,84	0,80	- 0,52	0,09	0,64
AMJ	0,09	- 0,46	- 0,43	0,51	0,50	0	0,26	0,29
JAS	0,33	- 0,31	- 0,34	0,39	0,35	0,22	0,38	0,35
OND	0,26	- 0,37	- 0,30	0,65	0,59	- 0,14	0,11	0,49

Tableau 6.1 Corrélations entre l'ONA et les AMP (a), les AMP américano-atlantiques (b), les AMP groenlando-scandinaves (c) et les dépressions (d).

- Deuxièmement, des ACP sur chacune des bases de données initiales, afin de créer des sous-indices sur les n premiers facteurs explicatifs à partir des matrices de composantes. Nous avons effectué une ACP pour les AMP et une autre pour les dépressions en JFM. L'axe 1 des dépressions représentant 50% de la variance est corrélé à $R = 0,8$ avec l'ONA, et l'axe 1 des AMP représentant 35% de la variance est corrélé à $R = - 0,34$ avec l'ONA. Lorsque l'on soustrait les coordonnées des premiers axes des AMP et des dépressions nous obtenons un coefficient de corrélation de $R = 0,75$ avec l'ONA.

Il apparaît donc qu'il existe des liens directs entre les caractéristiques des AMP, des dépressions et l'évolution de l'ONA, quelle que soit l'échelle de temps considérée, ce qui autorise à poursuivre ce travail.

En restant donc sur notre hypothèse (maintenant étayée par la partie sur la circulation générale) que les variations du temps et donc du climat peuvent être comprises par l'analyse des comportements des éléments de la dynamique de surface, nous voulons créer un indice à partir des caractères des anticyclones et des dépressions résumant l'évolution des comportements de ces deux éléments sur la période 1950-2000.

Après avoir établi l'indice, il faudra juger de sa validité en le corrélant avec l'ONA et ce à toutes échelles de temps.

Si les corrélations sont significatives nous pourrions donc postuler que notre indice est une bonne représentation de la dynamique aérologique sur l'espace d'étude au même titre que l'indice précédemment cité. L'intérêt de notre travail se concrétisera à partir de cet état de fait. En effet, par sa structure de fabrication basée sur un grand nombre de paramètres distincts et indentifiables par les différentes étapes de construction, notre indice permettra de remonter la chaîne explicative. En mettant en relation les divers sous-indices avec l'ONA, nous pourrions aboutir à une compréhension accrue des phénomènes qui ont concouru aux variations d'intensité de la dynamique aérologique durant la seconde moitié du XX^e siècle (figure 6.2)

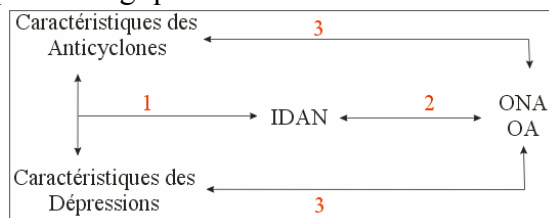


Figure 6.2 Organigramme de l'étude concernant l'IDAN.

6.2 La méthode de construction de l'IDAN

6.2.1 Choix des fichiers

Les composantes à retenir pour l'indice en fonction des résultats obtenus dans les chapitres consacrés aux anticyclones et aux dépressions sont (figure 6.3):

- les AMP américano-atlantiques,
- les AMP groenlando-scandinaves,
- les dépressions <1000 hPa.

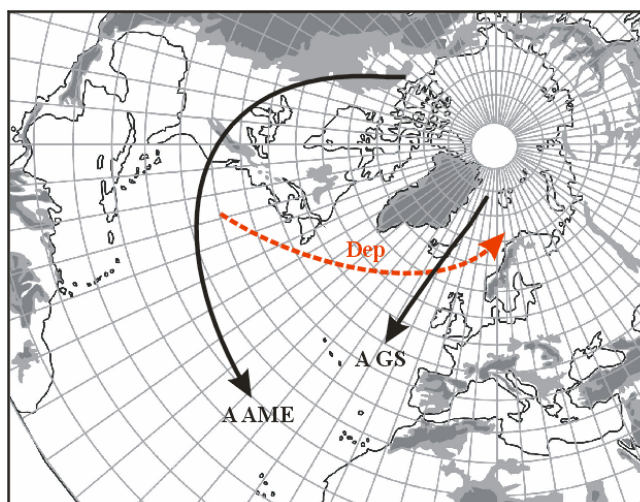


Figure 6.3 Trajectoires schématiques des composantes de la circulation générale dans l'espace nord atlantique.

Nous utilisons donc les séries temporelles annuelles, saisonnières et mensuelles des AMP américano-atlantiques, des AMP groenlando-scandinaves et des dépressions inférieures à 1000 hPa.

6.2.2 L'IDAN: construction

Afin d'élaborer cet indice, nous procédons par l'établissement successif d'indices intermédiaires caractérisant chaque élément constitutif des composantes retenues.

Trois sous-indices apparaissent appropriés afin de couvrir la réalité de la dynamique :

- **le sous-indice de fréquence** :

Formule : valeurs centrées réduites (Fréquence)

- **le sous-indice de puissance** :

Formule : Moyenne des valeurs centrées réduites (Pression Maximale (Minimale), Pression Moyenne, Vitesse de déplacement des AMP (dépressions))

- **le sous-indice de l'espace couvert** ou d'extension géographique :

Formule : Moyenne des valeurs centrées réduites (Longitude Maximale, Latitude Minimale)*(Longitude Moyenne*Latitude Moyenne).

A partir de ces sous-indices, il est possible de créer des indices plus généraux représentant l'activité des éléments aérologiques :

- **L'Indice de Dynamique** des AMP américano-atlantiques (IDAA), des AMP groenlando-scandinaves (IDGS) et l'indice de dynamique des dépressions (IDD):

Formule : - Moyenne (Moyenne pour l'IDD) (sous-indice de fréquence, sous-indice de puissance, sous-indice de l'espace couvert)

- **L'Indice de Dynamique des AMP (IDA)** couplant les deux indices IDAA et IDGS :

Formule : Moyenne des valeurs centrées réduites (indice des AMP américano-atlantiques, indice des AMP groenlando-scandinaves)

Enfin, par couplage des indices précédents, nous obtenons un indice global :

L'Indice de Dynamique Aérologique de l'Atlantique Nord (IDAN) :

Formule de l'IDAN : Moyenne (Indice de Dynamique des AMP, Indice de Dynamique des Dépressions)

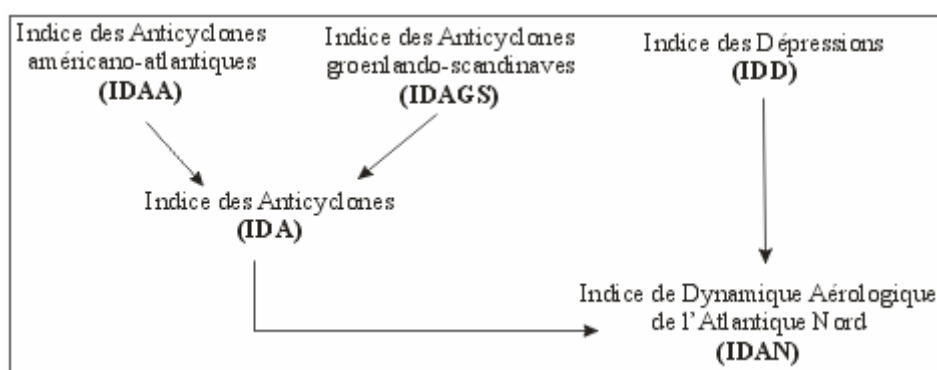


Figure 6.4 Schéma de construction de l'IDAN.

Afin de bien faire appréhender la structure de construction nous montrons l'organigramme de l'IDAN (figure 6.4).

6.3 Les résultats et les interprétations

6.3.1 Coefficients de corrélation de l'IDAN avec l'ONA

	An	JF M	AM J	JA S	ON D	Jv	Fe	Mr	Av	Ma	Jn	Jl	At	Spt	Oct	Nv	Dc
ON A	0,7 6	0,76	0,62	0,5 8	0,64	0,7 6	0,7 0	0,5 8	0,4 1	0,4 3	0,5 8	0,5 6	0,6 2	0,5 9	0,6 8	0,6 0	0,6 0

Tableau 6.2 Coefficients de corrélation de l'IDAN avec l'ONA.

A l'échelle mensuelle, les coefficients de corrélation sont toujours supérieurs à $R = 0,41$. A l'échelle saisonnière, les coefficients de corrélation sont toujours supérieurs à $R = 0,58$. A l'échelle annuelle, le coefficient de corrélation est égal à $R = 0,76$. Cela prouve l'acuité représentative de notre indice (tableau 6.2).

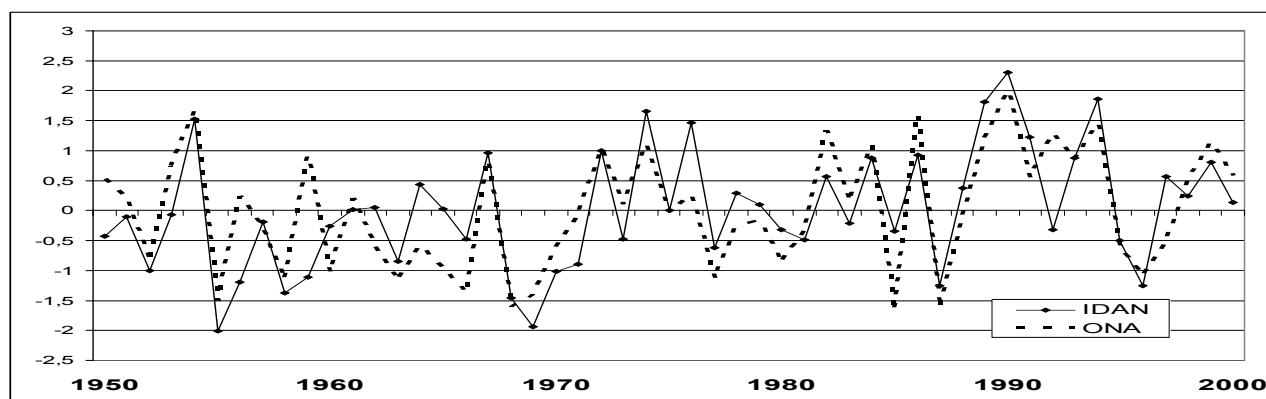


Figure 6.5 Variations de l'IDAN et de l'ONA, en valeurs annuelles de 1950 à 2000. $R = 0,76$.

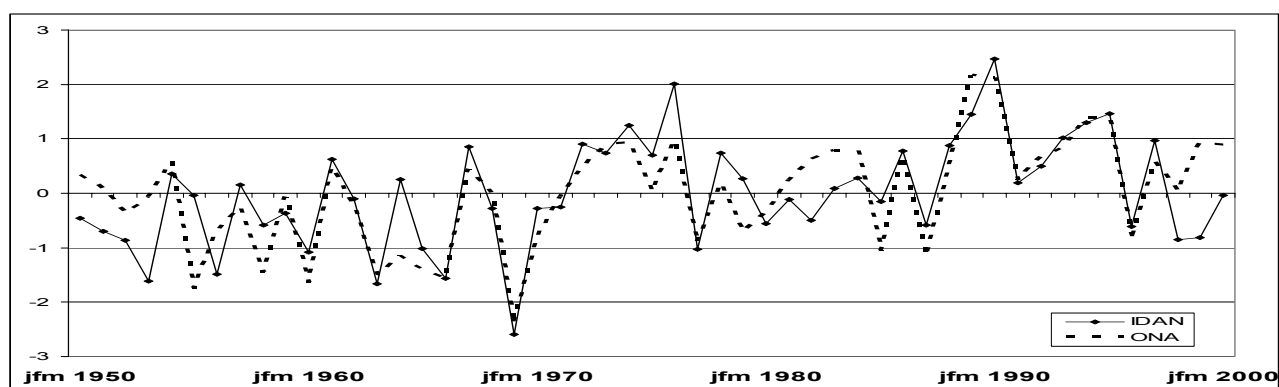


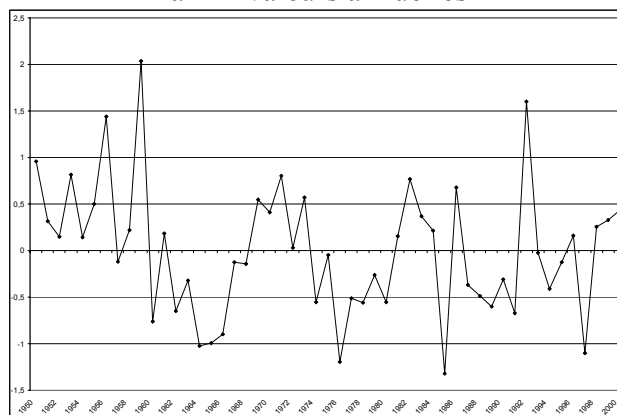
Figure 6.6 Variations de l'IDAN et de l'ONA, en valeurs hivernales (JFM) de 1950 à 2000. $R = 0,76$.

Ces deux graphiques (figure 6.5 et 6.6) et le tableau précédent (tableau 6.2), montrent que l'IDAN rend parfaitement compte des variations de l'ONA, tant pour les variations inter-annuelles ou inter-hivernales que pour l'intensité des phénomènes (bonnes estimations des pics et des creux d'activité). Notre indice peut donc être considéré comme une bonne représentation synthétique de la variabilité climatique de l'Atlantique nord.

6.3.2 Ecarts et explications des écarts entre l'IDAN et l'ONA

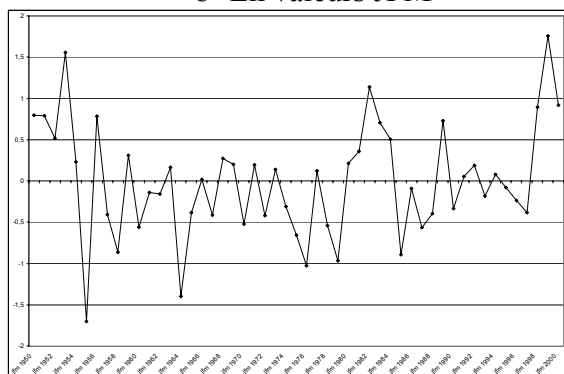
Les graphiques suivants (figure 6.7), exposent les écarts entre les valeurs (déviations standards) de l'ONA et de l'IDAN selon diverses échelles temporelles, afin de mieux appréhender quelles peuvent être les différences internes des deux indices.

a- En valeurs annuelles

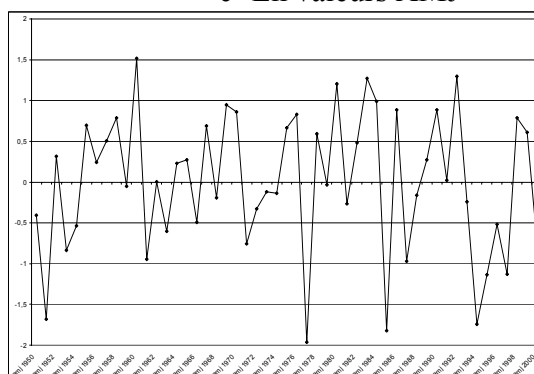


Les différences des valeurs annuelles, décroissent sur la période 1950-2000.

b- En valeurs JFM

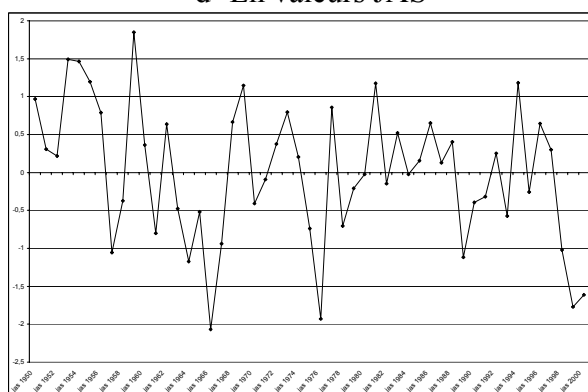


c- En valeurs AMJ



Les différences des valeurs hivernales, décroissent de JFM 1950 à JFM 1976, puis augmentent jusqu'en JFM 2000 et les différences des valeurs printanières, croissent de AMJ 1950 à AMJ 1988, puis réduisent légèrement jusqu'en AMJ 2000.

d- En valeurs JAS



e- En valeurs OND

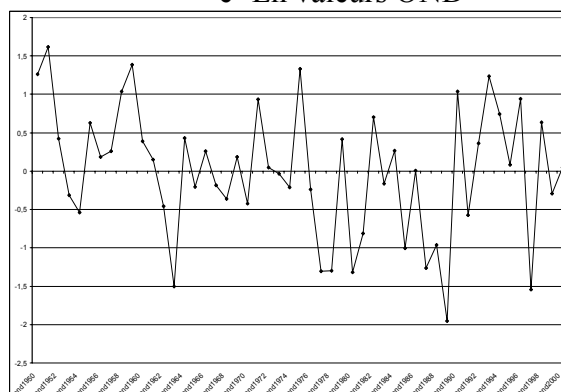


Figure 6.7 Écart entre les valeurs (déviations standards) de l'ONA et de l'IDAN selon diverses échelles temporelles : annuelles (a), JFM (b), AMJ (c), JAS (d) et OND (e).

Les différences des valeurs estivales et automnales, décroissent régulièrement sur la période 1950-2000.

Afin de pouvoir expliquer les écarts, nous calculons :

- Premièrement, les coefficients de corrélation entre les écarts (ONA-IDAN), et les indices des AMP américano-atlantiques, des AMP groenlando-scandinaves et l'indice des dépressions (tableau 6.3).

	IDAA	IDGS	IDD
An	- 0,27	- 0,01	- 0,34
JFM	- 0,16	- 0,37	- 0,27
AMJ	- 0,22	- 0,22	- 0,37
JAS	- 0,41	- 0,16	- 0,41
OND	- 0,38	- 0,12	- 0,38

Tableau 6.3 Coefficients de corrélation entre les écarts (ONA/IDAN) et les indices des AMP américano-atlantiques, des AMP groenlando-scandinaves et des dépressions.

Selon les saisons, les écarts sont le fait de différentes composantes de la circulation générale :

- les AMP américano-atlantiques pour l'été et l'automne,
- les AMP groenlando-scandinaves pour l'hiver,
- les dépressions pour le printemps, l'été, l'automne ainsi que pour les valeurs annuelles.

- Deuxièmement, les coefficients de corrélation entre les écarts (ONA/IDAN) et les sous-indices des AMP américano-atlantiques, des AMP groenlando-scandinaves et des dépressions (tableau 6.4).

a- AMP américano-atlantiques

	I Freq	I Puis	I EC
An	0,18	0,20	0,16
JFM	0,14	0,08	0,11
AMJ	0,17	0,00	0,22
JAS	0,22	- 0,04	0,46
OND	0,14	0,23	0,39

b- AMP groenlando-scandinaves

	I Freq	I Puis	I EC
An	- 0,01	0,04	0,00
JFM	0,25	0,12	0,32
AMJ	0,01	0,14	0,26
JAS	- 0,02	0,09	0,19
OND	- 0,04	0,11	0,17

c- dépressions

	I Freq	I Puis	I EC
An	0,51	0,53	0,62
JFM	0,61	0,62	0,61
AMJ	0,47	0,24	0,26
JAS	0,27	- 0,22	0,19
OND	0,48	0,37	0,53

Tableau 6.4 Coefficients de corrélation entre les écarts (ONA/IDAN) et les sous-indices des AMP américano-atlantiques (a), des AMP groenlando-scandinaves (b) et des dépressions (c).

L'analyse du tableau 6.4 fait ressortir que les responsables des variations des écarts sont les sous-indices d'espaces couverts. C'est-à-dire que ce sont les variations des latitudes, longitudes d'apparition ainsi que les latitudes et longitudes de fin de parcours (agglutination et comblement) qui entraînent ces écarts plus ou moins grands entre l'IDAN et l'ONA.

La différence de perception entre le calcul d'un indice à partir de stations fixes et le calcul à partir du suivi des entités atmosphériques (AMP et dépressions) apparaît de façon flagrante. En effet, si un anticyclone disparaît à une latitude plus septentrionale et / ou à une longitude à l'ouest des Açores, son action sur la dynamique aérologique ne sera pas ou peu prise en compte dans l'indice de l'ONA. De même, si une dépression ne passe pas exactement à «l'aplomb» de l'Islande, elle ne sera pas efficacement prise en considération dans l'indice de l'ONA.

6.4 Possibilités explicatives, potentialités de l'IDAN

Les premières analyses ont apporté des preuves du bien fondé de notre indice. Nous allons essayer de démontrer maintenant que l'IDAN peut offrir des capacités de représentation des phénomènes, et offrir plusieurs avantages pour expliquer certains aspects de la circulation générale. Ceci par différents biais comme les représentations des évolutions des variables climatiques.

6.4.1 Représentations des variations de certains paramètres climatiques

Nous établissons pour ce faire des cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer, les températures, les vitesses du vent, à l'échelle de l'espace d'étude afin d'évaluer si l'IDAN permet d'expliquer les grandes évolutions régionales.

En valeurs annuelles

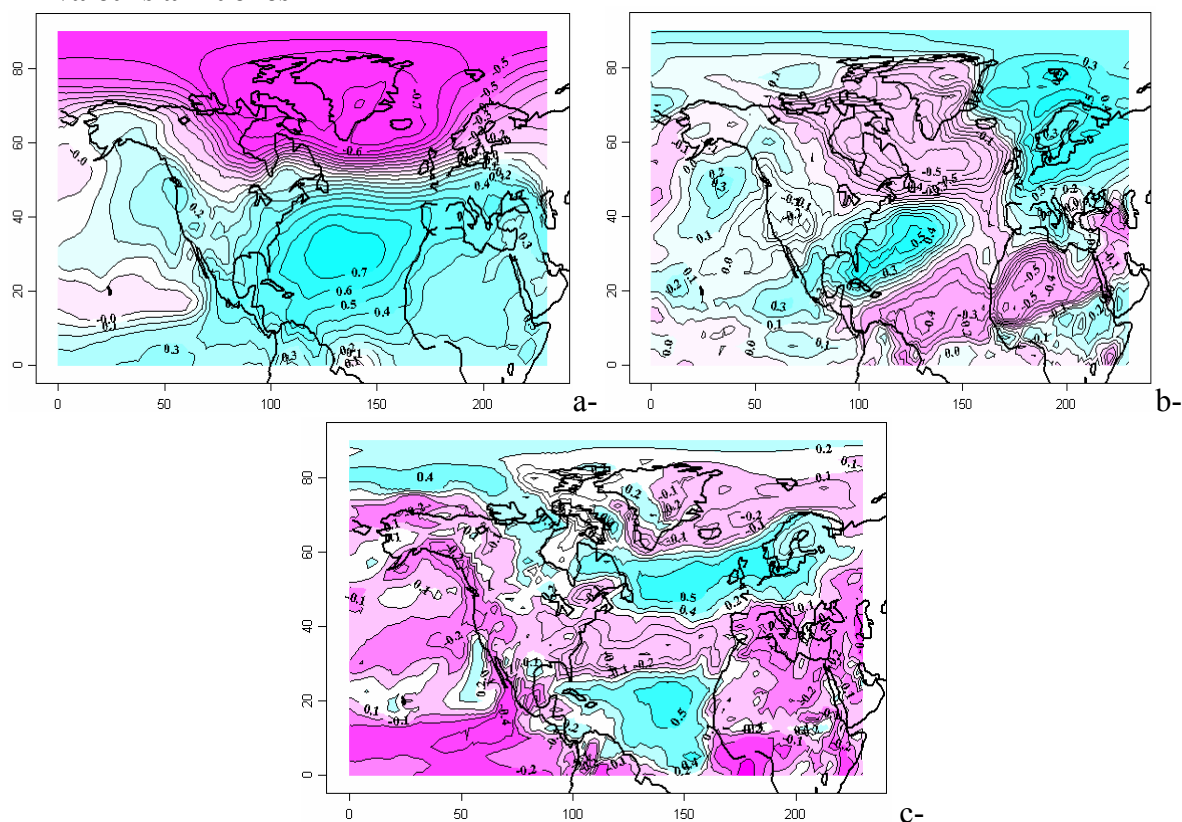


Figure 6.8 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs annuelles. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Pour les figures 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 et 6.12, les chiffres compris entre -1 et 1 correspondent aux coefficients de corrélation. Pour les cartes se référant aux pressions réduites au niveau de la mer et les températures, le violet correspond aux coefficients négatifs (plus ou moins foncé en fonction de l'intensité de l'anti corrélation) et le bleu-vert correspond aux coefficients positifs (plus ou moins foncé en fonction de l'intensité de la corrélation). Pour les cartes concernant les vitesses du vent, le bleu-vert correspond aux coefficients négatifs (plus ou moins foncé en fonction de l'intensité de l'anti corrélation) et le violet correspond aux coefficients positifs (plus ou moins foncé en fonction de l'intensité de la corrélation)

En valeurs JFM

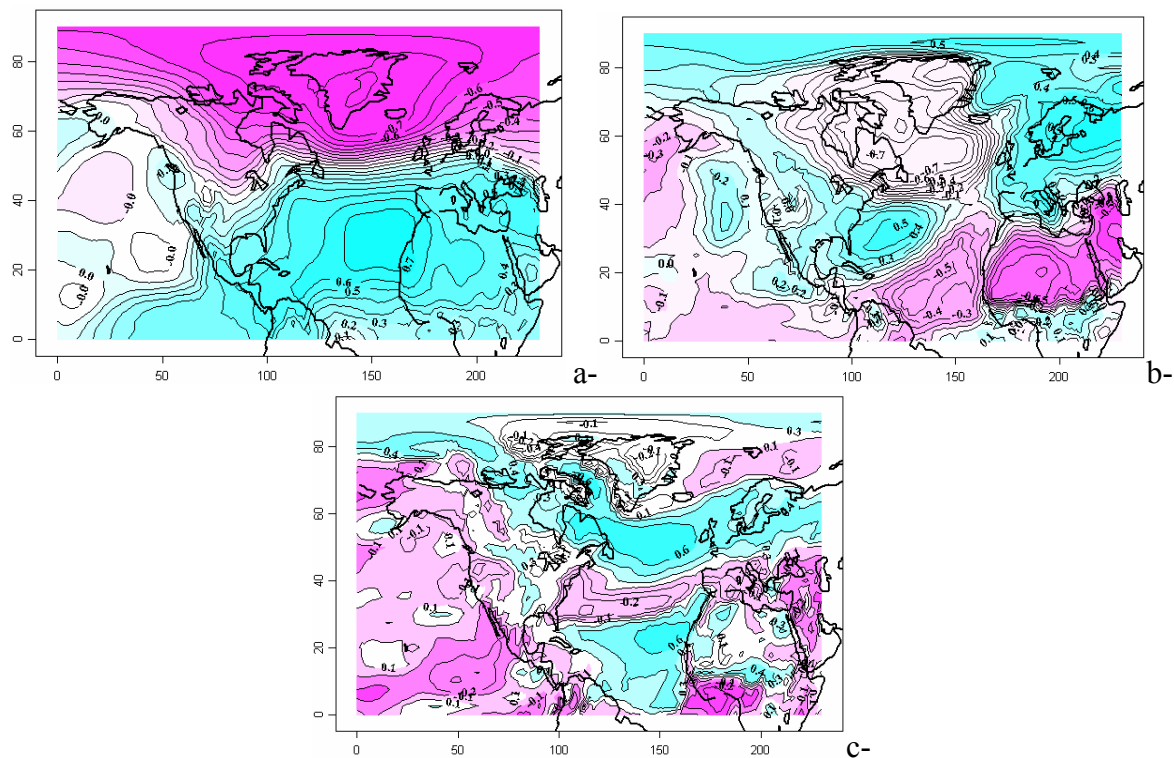


Figure 6.9 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs JFM. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

En valeurs AMJ

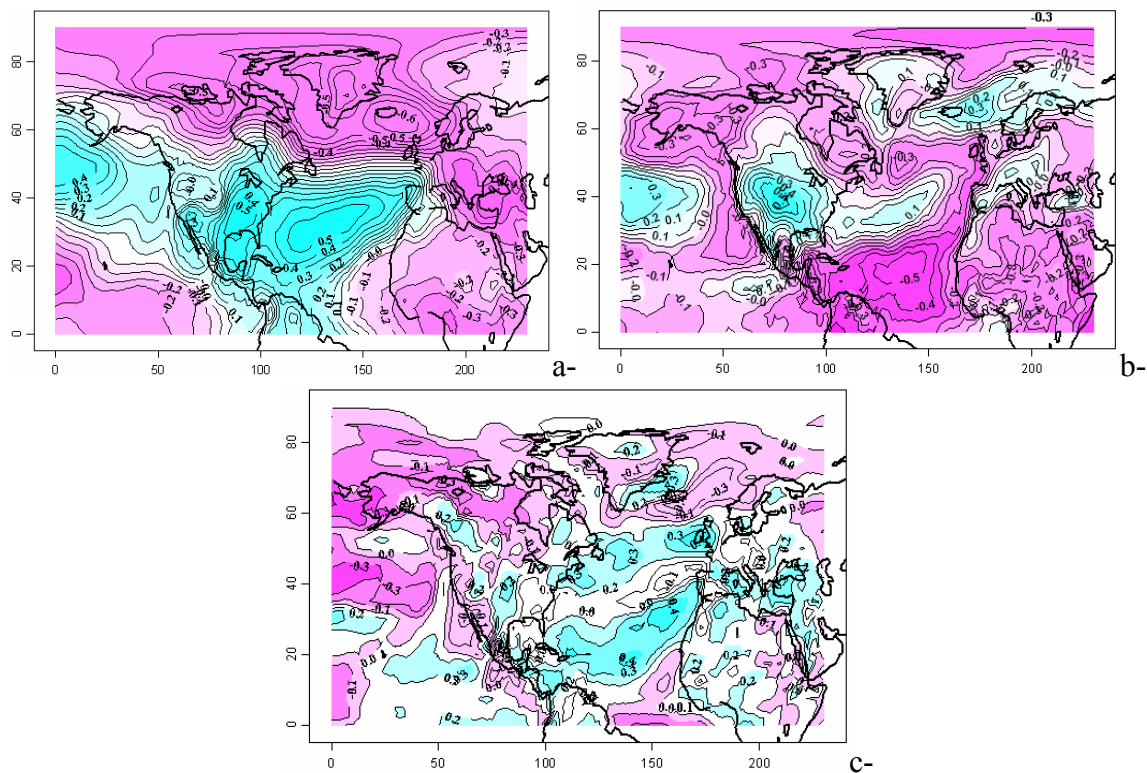


Figure 6.10 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs AMJ. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

En valeurs JAS

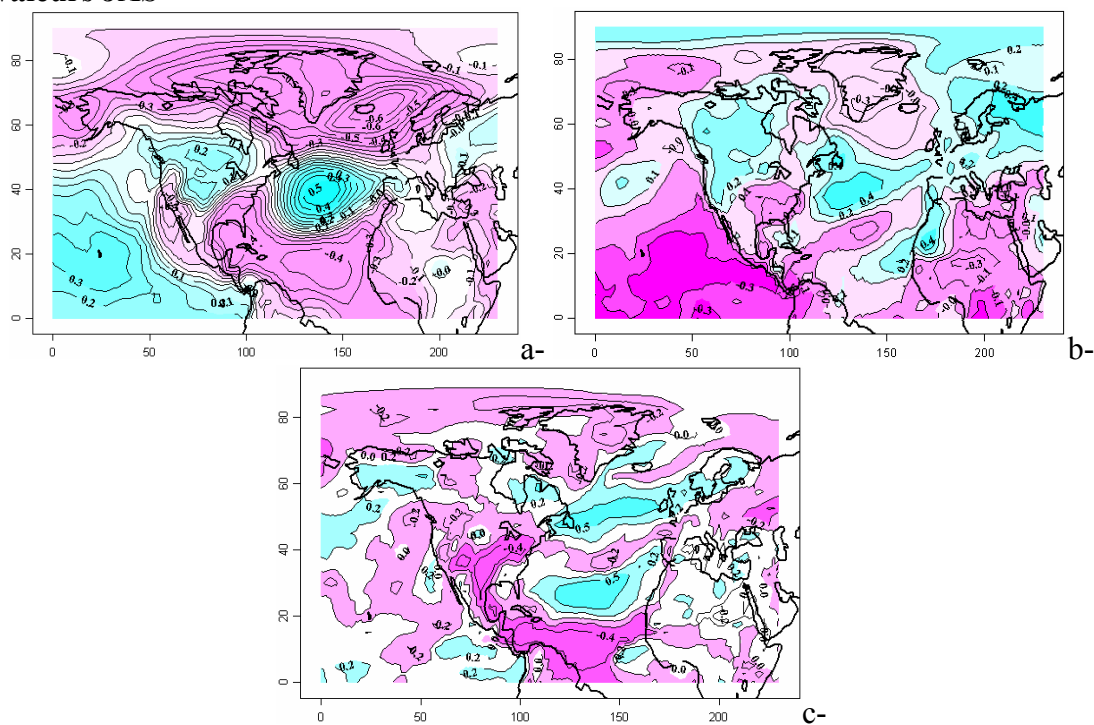


Figure 6.11 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs JAS. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

En valeurs OND

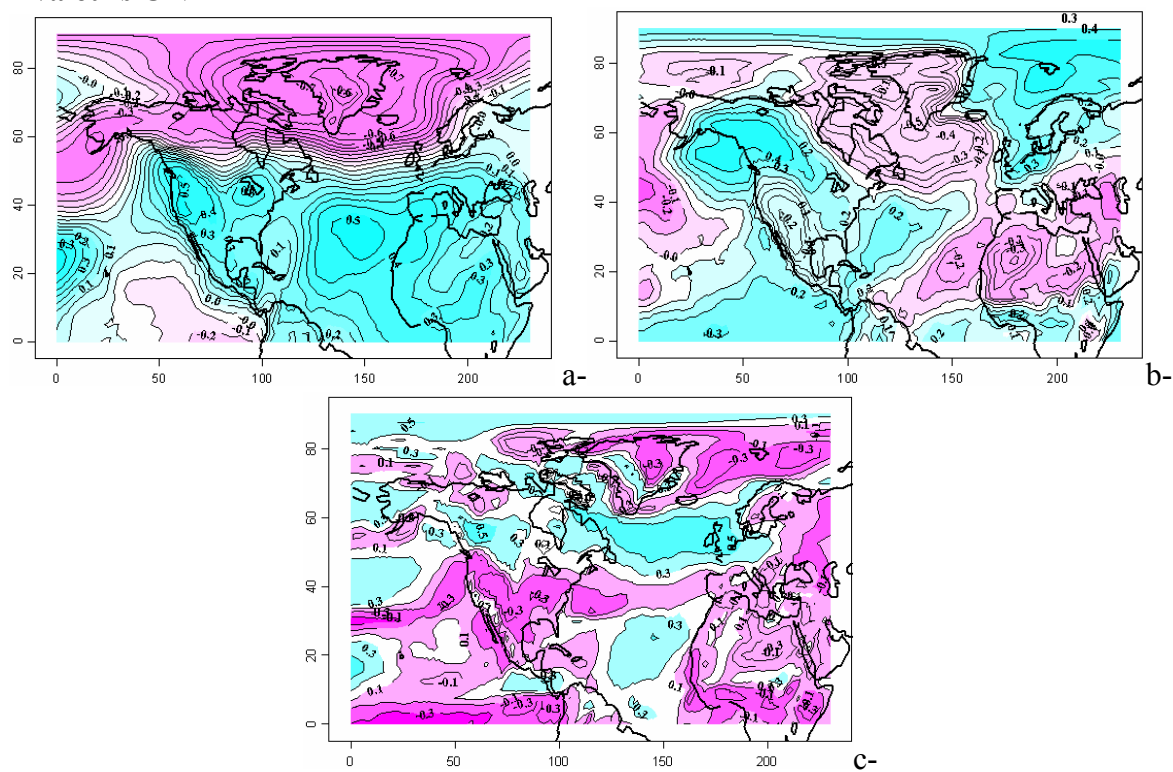


Figure 6.12 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs OND. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Les figures 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 confirment que l'IDAN est un bon outil pour rendre compte des évolutions barométriques, thermiques et éoliennes, sur la période 1950-2000, en toutes saisons :

- **Pour la pression réduite au niveau de la mer**, deux espaces bien délimités de part et d'autre d'une ligne passant par les Rocheuses, les Grands Lacs, Terre Neuve, les Iles Britanniques et la Baltique s'individualisent. Lorsque l'IDAN se renforce, les pressions diminuent au nord de cette ligne et augmentent au sud, accroissant ainsi les contrastes barométriques sur l'espace Nord Atlantique.

- **Pour la température**, quatre aires coexistent. Lorsque l'IDAN augmente, dans l'aire couvrant le nord du Canada, la baie de Baffin, la Mer du Labrador, le Groenland, l'Atlantique au nord de la latitude 45 °N et jusqu'à une longitude de 150° (30°O) et dans celle s'étendant de l'Afrique du nord-ouest aux Caraïbes, les températures baissent. En revanche dans les aires du Golfe du Mexique, la Côte est des E. U.A d'un côté et de l'Europe du nord, et occidentale, la Mer du Groenland jusqu'au Spitzberg, les températures s'élèvent.

- **Pour la vitesse du vent**, deux espaces remarquables ressortent. Lorsque l'IDAN est fortement positif, les vents accélèrent dans l'aire de passage des dépressions (entre Terre Neuve et Islande), ainsi que dans la zone de balayage des alizés.

Des nuances sont à appoter à ce schéma en période printanière et estivale :

- en AMJ, les pressions sur la Méditerranée et sur l'Afrique diminuent lorsque l'IDAN augmente,

- en JAS, les pressions au sud de 30 °N diminuent lorsque l'IDAN augmente, car les anticyclones restent plus au nord durant cette période.

6.4.2 Représentations des variations de certains paramètres climatiques de stations météorologiques

La mise en relation des différents sous-indices constitutifs de l'IDAN avec les différents paramètres climatiques (pressions réduites au niveau de la mer, températures moyennes et précipitations moyennes), de différentes stations météorologiques situées dans des régions différentes autorise à déterminer quel(s) élément(s) est (sont) responsable(s) des évolutions climatiques pour chaque région.

Afin de faciliter l'analyse, nous avons divisé les tableaux d'analyses en deux parties, eux-mêmes organisées du nord au sud : zone polaire et sub-polaire, zone tempérée, zone subtropicale :

- à l'est du Groenland,
- à l'ouest du Groenland.

La liste des stations météorologiques utilisées avec leurs coordonnées est la suivante : **Bjornoya** (74,5 °N ; 19 °E), **Bodo** (67,3 °N ; 14,4 °E), **Jan Mayen** (71 °N ; 8,7 °O), **Akureyri** (67,5 °N ; 8,1 °O), **Edimbourg** (56 °N, 3,4 °O), **Valentia** (51,9 °N, 0,3 °O), **Brest** (48,5 °N ; 4,4 °O), **Zurich** (47,4 °N ; 8,6 °O), **La Horta** (38,5 °N ; 28,7 °O),

Lisbonne (38,8 °N ; 9,1 °O), **Casablanca** (33,6 °N ; 7,7 °O), **Tenerife** (28,5 °N ; 16,3° O), **Frobisher Bay** (63,8° N ; 68,6 °O), **Godthaab** (62,8 °N ; 71,8 °O), **Winnipeg** (49.9 °N ; 97,2 °O), **Edmonton** (53,6 °N ; 113,5 °O), **Denver** (39,8 °N ; 104,9 °O), **Boston** (42,4 °N ; 71 °O), **Cape Hatteras** (35,3 °N ; 75,6 °O), **île des Barbades** (13,1 °N ; 59,5 °O).

Nous traitons premièrement les corrélations entre IDAN et les pressions réduites au niveau de la mer moyennes de différentes stations.

a- En valeurs annuelles

	IDAN	I F Ame	I Puis Ame	I EC Ame	IDAA	I F GS	I Puis GS	I EC GS	IDGS	IDD
Bjornoya	0,03	0,24	- 0,14	0,37	- 0,30	0,17	0,08	- 0,04	- 0,13	0,23
Bodo	- 0,39	0,05	0,08	0,26	- 0,21	0,07	0,02	0,40	- 0,33	- 0,29
Jan mayen	- 0,64	0,27	0,02	0,46	- 0,43	0,14	0,07	0,34	- 0,37	- 0,52
Akureyri	- 0,72	0,26	0,09	0,48	- 0,46	0,17	0,06	0,29	- 0,34	- 0,62
Edimbourgh	- 0,28	0,00	- 0,10	0,01	0,04	0,33	0,40	- 0,10	- 0,34	- 0,25
Valentia	- 0,02	- 0,09	- 0,11	- 0,16	0,18	0,23	0,29	- 0,21	- 0,15	- 0,06
Brest	0,11	- 0,04	- 0,23	- 0,21	0,25	0,25	0,32	- 0,41	- 0,03	0,04
Zurich	0,42	- 0,12	- 0,21	- 0,46	0,41	0,26	0,35	- 0,42	- 0,05	0,39
La horta	0,64	- 0,25	- 0,14	- 0,32	0,38	- 0,09	- 0,16	- 0,24	0,28	0,60
Lisbonne	0,53	0,00	- 0,12	- 0,37	0,25	0,16	0,04	- 0,45	0,16	0,56
Casablanca	0,41	- 0,10	- 0,19	- 0,11	0,20	0,02	- 0,10	- 0,36	0,28	0,34
tenerife	0,47	- 0,27	- 0,04	- 0,11	0,24	0,17	0,00	- 0,31	0,10	0,49
Frobisher bay	0,09	0,20	0,01	- 0,09	- 0,06	0,07	- 0,10	- 0,07	0,05	0,13
Godthaab	- 0,63	0,41	0,22	0,46	- 0,58	0,07	0,00	0,23	- 0,20	- 0,50
Winnipeg	- 0,12	0,55	0,31	0,04	- 0,46	- 0,20	- 0,09	0,25	0,00	0,07
Edmonton	- 0,06	0,39	0,27	0,01	- 0,33	- 0,19	- 0,17	0,25	0,03	0,07
Denver	- 0,05	0,02	0,14	- 0,02	- 0,06	- 0,19	- 0,08	0,51	- 0,17	0,02
Boston	0,47	- 0,01	0,07	- 0,54	0,29	- 0,16	- 0,13	- 0,19	0,29	0,38
Cape Hatteras	0,56	- 0,31	- 0,02	- 0,49	0,47	- 0,07	- 0,22	- 0,25	0,33	0,40
Barbades	0,32	- 0,12	- 0,32	0,08	0,17	0,15	- 0,11	- 0,26	0,12	0,31

b- En JFM

	IDAN	I F Ame	I Puis Ame	I EC Ame	IDAA	I F GS	I Puis GS	I EC GS	IDGS	IDD
Bjornoya	- 0,61	0,31	- 0,06	0,40	- 0,35	0,27	- 0,21	0,34	- 0,30	- 0,59
Bodo	- 0,53	0,12	- 0,08	0,36	- 0,22	0,44	- 0,16	0,38	- 0,42	- 0,51
Jan mayen	- 0,75	0,38	0,15	0,43	- 0,49	0,32	- 0,12	0,28	- 0,32	- 0,72
Akureyri	- 0,78	0,50	0,23	0,42	- 0,56	0,35	0,05	0,23	- 0,36	- 0,74
Edimbourgh	- 0,30	- 0,03	- 0,01	0,06	- 0,01	0,53	0,47	0,00	- 0,47	- 0,25
Valentia	0,02	- 0,12	0,07	- 0,12	0,10	0,29	0,43	- 0,11	- 0,24	0,09
Brest	0,25	- 0,25	- 0,04	- 0,32	0,32	0,19	0,42	- 0,21	- 0,13	0,28
Zurich	0,36	- 0,31	- 0,07	- 0,30	0,35	0,08	0,42	- 0,22	- 0,06	0,40
La Horta	0,68	- 0,50	- 0,13	- 0,40	0,51	- 0,33	- 0,13	0,04	0,21	0,68
Lisbonne	0,60	- 0,35	- 0,15	- 0,46	0,48	- 0,23	0,14	- 0,24	0,23	0,56
Casablanca	0,56	- 0,27	- 0,05	- 0,27	0,31	- 0,38	0,08	- 0,22	0,31	0,55
tenerife	0,63	- 0,47	- 0,22	- 0,34	0,50	- 0,29	- 0,11	- 0,10	0,27	0,58
Frobisher bay	- 0,55	0,64	0,21	0,31	- 0,57	0,00	0,02	- 0,08	0,05	- 0,56
Godthaab	- 0,68	0,67	0,25	0,45	- 0,67	0,03	0,06	0,04	- 0,06	- 0,66
Winnipeg	- 0,30	0,55	0,63	0,04	- 0,54	- 0,11	0,09	- 0,07	0,07	- 0,22
Edmonton	- 0,26	0,49	0,64	0,09	- 0,53	- 0,08	0,08	- 0,12	0,09	- 0,18
Denver	0,09	0,04	0,40	- 0,26	- 0,03	- 0,37	0,29	- 0,25	0,26	0,04
Boston	0,47	- 0,15	0,13	- 0,29	0,18	- 0,35	0,11	- 0,01	0,17	0,54
Cape Hatteras	0,47	- 0,27	0,08	- 0,32	0,27	- 0,29	- 0,05	0,03	0,16	0,50
Barbades	0,38	- 0,37	- 0,14	- 0,13	0,33	- 0,19	0,10	- 0,10	0,13	0,35

Tableau 6.5 Corrélations entre IDAN et les pressions réduites au niveau de la mer moyennes de différentes stations en valeurs annuelles (a) et en valeurs JFM (b).

Entre les pressions réduites au niveau de la mer et l'IDAN, existe un gradient presque uniquement nord-sud. Les stations situées au nord du 50° parallèle pour l'est de l'espace d'étude et le 40° parallèle pour l'ouest, ont un coefficient de corrélation (R) négatif et les stations situées au sud un R positif (tableau 6.5).

Entre les pressions réduites au niveau de la mer et l'indice de dynamique des AMP américano-atlantiques, nous constatons le même gradient nord-sud. Il est à noter la curiosité a priori des R conséquents avec les stations du nord-est de l'Atlantique nord (aire non couverte par les AMP américano-atlantiques). Mais c'est en réalité parfaitement logique si l'on se réfère à la circulation générale. Les AMP américano-atlantiques peu nombreux sont très étendus : ils génèrent donc des dépressions intenses qui remontent alors loin vers le nord. Le paradoxe souligné ci-dessus n'est donc qu'apparent car le lien est indirect mais pour autant parfaitement clair.

Entre les pressions réduites au niveau de la mer et l'indice de dynamique des AMP groenlando-scandinaves, nous remarquons également un gradient nord-sud mais concernant uniquement la partie est de l'espace d'étude. Les valeurs sont inférieures à celles des AMP américano-atlantiques, ce qui tend à prouver que ces derniers ont une influence plus importante.

Entre les pressions réduites au niveau de la mer et l'indice de dynamique des dépressions, nous enregistrons encore une fois le même gradient nord-sud avec des coefficients de corrélation élevés.

Deuxièmement, nous nous concentrons sur les corrélations entre IDAN et les températures moyennes de différentes stations.

a- En valeurs annuelles

b-

	IDAN	IF Ame	IPuis Ame	IEC Ame	IDAA	IF GS	IPuis GS	IEC GS	IDGS	IDD
Bjornoya	0,39	- 0,05	- 0,28	- 0,24	0,27	0,09	0,05	- 0,17	0,03	0,39
Bodo	0,51	- 0,16	- 0,06	- 0,30	0,29	0,00	0,34	- 0,16	- 0,05	0,58
Jan mayen	0,24	0,11	- 0,17	- 0,07	0,05	0,05	0,22	0,13	- 0,23	0,40
Akurevri	0,27	- 0,17	- 0,23	- 0,26	0,34	0,02	0,27	0,01	- 0,15	0,26
Edimbourg	0,33	- 0,24	0,05	- 0,13	0,19	0,18	0,25	- 0,34	0,00	0,35
Valentia	0,10	- 0,06	0,03	- 0,03	0,04	0,12	0,28	- 0,26	- 0,03	0,13
Brest	0,12	0,06	0,22	0,12	- 0,20	0,12	0,09	- 0,29	0,08	0,21
Zurich	0,40	- 0,08	0,03	- 0,15	0,12	0,02	0,06	- 0,22	0,11	0,45
La horta	0,01	0,06	0,11	- 0,21	0,04	- 0,10	0,01	0,02	0,05	- 0,02
Lisbonne	0,09	0,07	- 0,03	- 0,27	0,13	0,12	0,11	- 0,15	- 0,03	0,07
Casablanca	0,14	0,21	0,02	- 0,08	- 0,07	0,13	0,32	- 0,25	- 0,07	0,26
Tenerife	- 0,04	0,25	- 0,08	0,00	- 0,11	- 0,03	0,31	- 0,03	- 0,09	0,04
Frobisher bay	- 0,44	0,13	- 0,14	0,36	- 0,22	- 0,10	0,01	0,39	- 0,17	- 0,43
Godthaab	- 0,47	0,20	- 0,03	0,40	- 0,33	0,01	- 0,07	0,17	- 0,10	- 0,43
Winnipeg	- 0,02	- 0,22	- 0,25	0,06	0,19	0,16	0,29	- 0,16	- 0,13	- 0,08
Edmonton	0,19	- 0,22	- 0,31	- 0,09	0,30	0,29	0,33	- 0,31	- 0,13	0,16
Denver	- 0,09	- 0,10	- 0,16	0,01	0,11	- 0,26	- 0,05	0,28	0,01	- 0,19
Boston	0,11	- 0,19	- 0,05	0,24	0,00	- 0,08	0,08	0,02	0,00	0,14
Cape Hatterras	0,45	- 0,05	- 0,33	- 0,21	0,28	- 0,15	0,00	- 0,19	0,24	0,37
Barbades	- 0,16	0,28	0,05	0,34	- 0,36	- 0,06	- 0,31	0,22	0,02	0,21

b- En valeurs JFM

	IDAN	I F Ame	I Puis Ame	I EC Ame	IDAA	I F GS	I Puis GS	I EC GS	IDGS	IDD
Bjornoya	0,33	- 0,38	- 0,50	- 0,23	0,50	0,00	- 0,20	0,01	0,06	0,22
Bodo	0,52	- 0,47	- 0,18	- 0,30	0,47	- 0,06	0,29	- 0,16	0,03	0,54
Jan mayen	0,14	- 0,19	- 0,25	- 0,14	0,27	0,06	- 0,02	- 0,03	- 0,01	0,08
Akureyri	0,08	- 0,39	- 0,34	- 0,02	0,33	0,29	0,07	0,07	- 0,23	0,05
Edimbourg	0,44	- 0,33	- 0,15	- 0,27	0,37	- 0,05	0,06	- 0,23	0,15	0,41
Valentia	0,34	- 0,24	- 0,04	- 0,28	0,29	- 0,03	0,10	- 0,32	0,18	0,29
Brest	0,48	- 0,24	- 0,12	- 0,20	0,27	- 0,12	0,08	- 0,09	0,10	0,50
Zurich	0,46	- 0,21	0,01	- 0,32	0,27	- 0,22	- 0,14	- 0,11	0,24	0,45
La horta	0,24	0,07	0,01	- 0,21	0,07	- 0,17	0,02	- 0,32	0,28	0,21
Lisbonne	0,24	0,01	- 0,09	- 0,17	0,12	- 0,35	- 0,07	- 0,14	0,31	0,17
Casablanca	- 0,13	0,27	- 0,01	0,02	- 0,15	0,10	0,16	0,00	- 0,11	- 0,08
Tenerife	- 0,19	0,24	0,11	0,08	- 0,21	0,14	0,25	0,16	- 0,25	- 0,08
Frobisher bay	- 0,59	0,38	0,14	0,34	- 0,43	0,13	- 0,16	0,16	- 0,11	- 0,62
Godthaab	- 0,49	0,25	0,05	0,25	- 0,28	0,17	- 0,10	0,31	- 0,24	- 0,49
Winnipeg	0,13	- 0,19	- 0,45	- 0,01	0,27	- 0,03	0,22	- 0,10	0,01	0,06
Edmonton	0,34	- 0,40	- 0,35	- 0,13	0,40	- 0,10	0,16	- 0,11	0,07	0,29
Denver	0,01	- 0,04	- 0,22	- 0,02	0,11	0,18	- 0,21	0,17	- 0,13	0,01
Boston	0,20	- 0,28	- 0,61	- 0,07	0,41	- 0,05	0,17	0,15	- 0,12	0,14
Cape Hatterras	0,48	- 0,37	- 0,37	- 0,35	0,51	- 0,12	0,01	- 0,01	0,07	0,44
Barbades	- 0,26	- 0,24	- 0,12	- 0,20	0,27	- 0,12	0,08	- 0,09	0,10	0,50

Tableau 6.6 Corrélations entre IDAN et les températures moyennes de différentes stations en valeurs annuelles (a) et en valeurs JFM (b).

Entre la température et l'IDAN les résultats sont plus compliqués. Des nuances existent entre les régions (tableau 6.6) :

- les régions polaires réagissent de manière opposée selon que l'on se trouve à l'est ou à l'ouest du Groenland. Lorsque la température diminue au nord du Canada, la dynamique est puissante et cela entraîne la hausse de la température sur la Mer du Groenland (cf. circulation générale).
- les zones tempérées des deux façades atlantiques, réagissent sensiblement de la même façon. Lorsque la dynamique est active la température augmente à l'est et diminue à l'ouest. Il faut noter que la façade orientale réagit beaucoup plus.
- les zones sub-tropicales, fonctionnent en phase. C'est-à-dire que lors des périodes de dynamique active, la température augmente (et inversement).

Nous remarquons que les R sont plus tranchés avec les indices décrivant les AMP américano-atlantiques, ce qui tend à prouver une nouvelle fois leur prépondérance.

Troisièmement, nous analysons les corrélations entre IDAN et les précipitations moyennes de différentes stations. Pour cette partie, les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 95%

a- En valeurs annuelles

	IDAN	I F Ame	I Puis Ame	I EC Ame	IDAA	I F GS	I Puis GS	I EC GS	IDGS	IDD
Bjornoya	0,22	- 0,14	0,13	- 0,10	0,08	0,14	0,23	- 0,35	0,04	0,24
Bodo	- 0,05	- 0,13	0,16	- 0,11	0,07	0,10	0,26	- 0,17	- 0,07	- 0,08
Jan mayen	0,12	- 0,11	- 0,11	0,11	0,04	0,00	- 0,06	- 0,08	0,08	0,11
Akureyri	0,32	0,03	0,00	- 0,19	0,09	- 0,20	- 0,02	- 0,16	0,25	0,28
Edimbourgh	0,19	0,27	- 0,24	- 0,08	- 0,01	0,04	0,07	- 0,05	- 0,02	0,27
Valentia	0,30	0,12	- 0,07	- 0,08	0,00	0,04	- 0,14	- 0,06	0,08	0,38
Brest	0,16	0,11	0,06	- 0,05	- 0,06	- 0,23	- 0,26	0,19	0,13	0,18
Zurich	- 0,14	0,11	0,05	0,07	- 0,13	- 0,11	- 0,29	0,01	0,20	- 0,21
La horta	- 0,34	0,21	- 0,25	0,12	- 0,10	0,26	0,19	- 0,01	- 0,25	- 0,33
Lisbonne	- 0,30	0,01	0,27	0,16	- 0,21	- 0,01	- 0,06	0,47	- 0,28	- 0,19
Casablanca	- 0,21	0,00	0,25	0,04	- 0,12	- 0,12	0,05	0,30	- 0,15	- 0,17
Tenerife	- 0,17	0,22	- 0,15	0,02	- 0,08	0,12	- 0,02	0,09	- 0,14	- 0,15
Frobisher bay	- 0,09	- 0,23	0,31	0,13	- 0,07	0,08	0,02	0,17	- 0,19	- 0,02
Godthaab	- 0,21	0,00	0,21	0,34	- 0,27	0,09	- 0,30	0,12	- 0,02	- 0,15
Winnipeg	- 0,09	- 0,04	- 0,27	0,03	0,11	0,11	0,12	- 0,08	- 0,07	- 0,16
Edmonton	0,23	- 0,01	- 0,25	- 0,14	0,19	- 0,06	- 0,10	0,07	0,04	0,20
Denver	0,05	0,18	- 0,26	0,11	- 0,06	0,15	0,37	- 0,21	- 0,13	0,15
Boston	- 0,01	- 0,01	- 0,01	- 0,04	0,03	0,08	- 0,13	0,07	- 0,05	- 0,01
Cape Hatterras	0,18	0,27	- 0,08	- 0,32	0,06	- 0,01	0,15	- 0,08	- 0,01	0,22
Barbades	- 0,32	0,08	0,00	- 0,17	0,04	0,14	- 0,02	- 0,13	0,00	0,03

b- En valeurs JFM

	IDAN	I F Ame	I Puis Ame	I EC Ame	IDAA	I F GS	I Puis GS	I EC GS	IDGS	IDD
Bjornoya	0,40	- 0,22	0,01	- 0,09	0,16	- 0,14	0,13	- 0,25	0,19	0,44
Bodo	0,20	- 0,18	0,02	- 0,15	0,17	0,02	0,29	- 0,22	0,03	0,20
Jan mayen	0,22	- 0,10	- 0,21	- 0,05	0,16	- 0,15	0,20	- 0,15	0,11	0,21
Akureyri	0,25	- 0,08	- 0,10	- 0,20	0,18	- 0,35	0,03	- 0,05	0,22	0,19
Edimbourgh	0,33	- 0,01	- 0,05	- 0,08	0,07	- 0,32	- 0,22	- 0,10	0,32	0,32
Valentia	0,23	- 0,18	- 0,07	0,03	0,11	- 0,34	- 0,36	0,00	0,31	0,16
Brest	0,21	0,03	- 0,02	- 0,05	0,02	- 0,52	- 0,36	- 0,07	0,46	0,11
Zurich	- 0,05	0,18	0,17	0,02	- 0,16	- 0,29	- 0,08	0,01	0,19	- 0,07
La horta	- 0,56	0,29	- 0,01	0,44	- 0,38	0,40	0,25	- 0,11	- 0,25	- 0,55
Lisbonne	- 0,42	0,24	0,09	0,32	- 0,33	0,13	0,09	0,22	- 0,24	- 0,37
Casablanca	- 0,41	0,21	0,16	0,38	- 0,38	0,00	- 0,06	0,28	- 0,13	- 0,38
Tenerife	- 0,16	0,01	0,04	- 0,01	- 0,02	0,12	- 0,01	0,40	- 0,31	- 0,11
Frobisher bay	- 0,42	0,28	- 0,04	0,33	- 0,30	0,06	- 0,08	0,28	- 0,17	- 0,41
Godthaab	- 0,08	- 0,03	0,22	0,11	- 0,12	0,21	0,09	0,07	- 0,20	0,02
Winnipeg	- 0,21	0,07	- 0,01	0,06	- 0,06	0,10	0,06	0,05	- 0,11	- 0,23
Edmonton	- 0,14	0,16	0,03	0,07	- 0,13	0,03	- 0,36	0,26	- 0,06	- 0,13
Denver	- 0,12	0,13	- 0,12	0,18	- 0,12	0,09	0,06	0,23	- 0,21	- 0,04
Boston	- 0,24	0,23	0,09	0,12	- 0,22	0,20	0,03	0,20	- 0,25	- 0,14
Cape Hatterras	- 0,04	0,08	0,08	0,07	- 0,11	0,01	0,30	- 0,16	- 0,01	- 0,01
Barbades	- 0,14	0,11	0,28	0,04	- 0,19	0,03	- 0,11	0,19	- 0,10	- 0,07

Tableau 6.7 Corrélations entre IDAN et les précipitations moyennes de différentes stations en valeurs annuelles (a) et en valeurs JFM (b).

Entre les précipitations et l'IDAN les valeurs sont moins facilement exploitables (du fait de l'importance des conditions purement locales dans les processus pluviométriques). Mais nous pouvons tout de même extraire quelques informations du tableau 6.7 :

- dans la partie orientale, il y a passage de R positifs vers des R négatifs en basculant du nord au sud du 45° parallèle,
- dans la partie occidentale, les R sont négatifs quelles que soient les latitudes.

Par conséquent, en ce qui concerne les pressions, les températures et les précipitations, les corrélations sont éloquentes et montrent la forte implication de l'évolution des comportements des anticyclones et des dépressions dans l'évolution de ces variables climatiques.

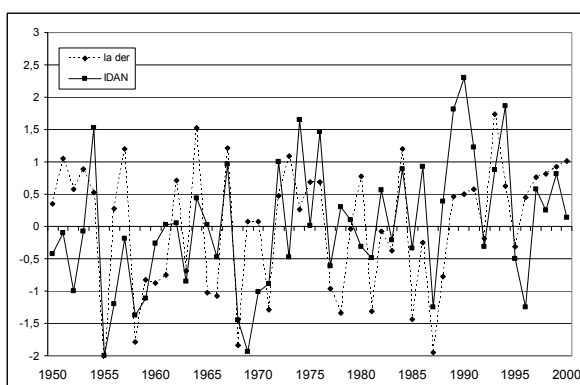
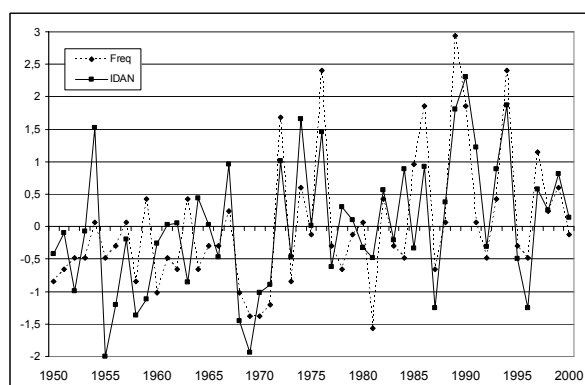
Cette sous-partie n'est qu'une ébauche de travail. En effet, les stations ont été choisies aléatoirement sur l'ensemble de l'espace d'étude. Il serait nécessaire de détailler les régions par une analyse de multiples stations afin d'extraire les variations dues aux conditions locales.

6.4.3 Représentations des variations de certaines caractéristiques des dépressions <970 hPa

Premièrement, nous mettons en relation l'IDAN et différents paramètres des dépressions <970 hPa, en valeurs annuelles (figure 6.13).

a- Fréquences des dépressions < 970 hPa,
R = 0,71

b- Latitudes maximales atteintes par les
dépressions, < 970 hPa, R = 0,52



Plus l'IDAN est positif, plus les dépressions sont fréquentes et atteignent des latitudes septentrionales.

c- Latitudes des dépressions < 970 hPa,
R = 0,51

d- Pressions minimales des dépressions <970 hPa,
R = - 0,56

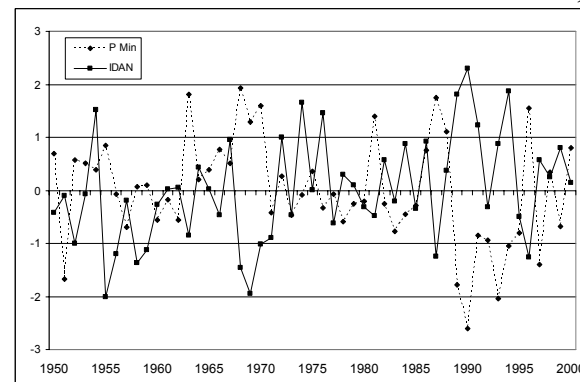
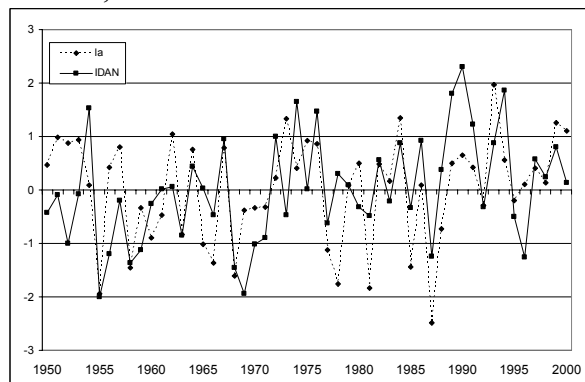
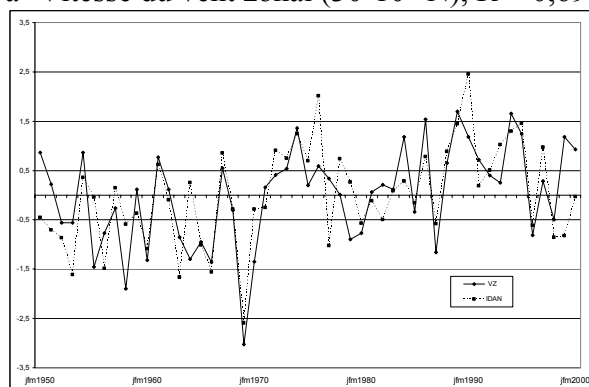


Figure 6.13 Corrélation entre l'IDAN et différents paramètres des dépressions < 970 hPa, en valeurs annuelles.

Plus l'IDAN est positif, plus les dépressions sont profondes et ont des trajectoires septentrionales.

Deuxièmement, nous montrons les évolutions de l'IDAN et du vent des dépressions <970 hPa, en valeurs hivernale (JFM).

a- Vitesse du vent zonal (30-10 °N), $R = 0,69$



b- Vitesse du vent (30-10 °N), $R = 0,63$

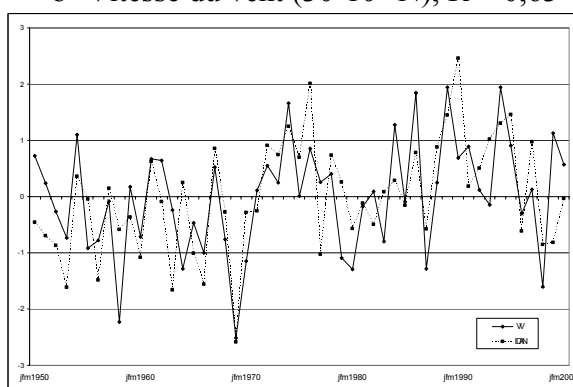


Figure 6.14 Corrélation entre l'IDAN et la vitesse du vent, en JFM.

Plus l'IDAN est positif, plus les alizés sont rapides (figure 6.14).

6.4.5 Explications des constats repris dans différents graphiques de l'ONA en JFM

C'est à partir de ce stade d'analyse que les avantages potentiels de l'IDAN apparaissent. En effet, l'ensemble des analyses précédentes aurait pu être mené à partir de l'indice de l'ONA avec des résultats de qualité semblable.

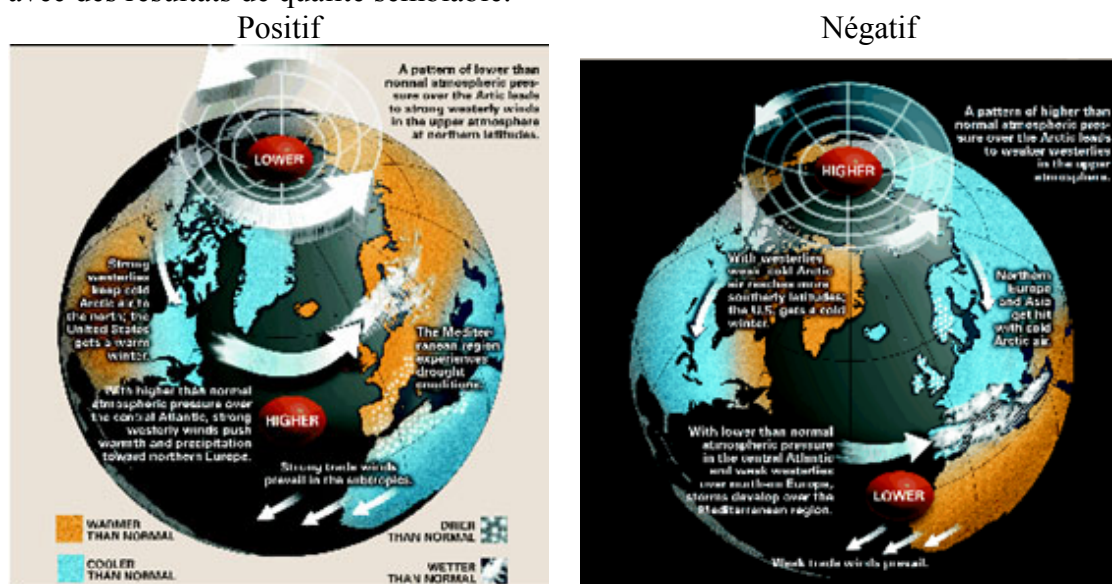


Figure 6.15 Graphiques résumant les caractéristiques/conséquences de l'ONA tiré de G. Hodges, National Geographic, Mars 2000.

En phase positive de l'ONA donc de l'IDAN (typiquement JFM 1990), l'espace Nord Atlantique (figure 6.15b en haut) connaît :

- une baisse de pression moyenne sur l'ouest du bassin arctique,
- refroidissement relatif du nord-est du Canada,
- des vents d'ouest plus puissants accompagnés de plus de dépressions profondes ayant des trajectoires plus septentrionales,
- plus de précipitations et des températures plus élevées sur l'Europe du Nord,
- une baisse de la pression moyenne sur la Mer du Groenland,
- moins de précipitations sur le bassin Méditerranéen,
- une hausse de pression moyenne sur l'Atlantique au sud de la latitude 40 °N,
- des alizés plus puissants,
- réchauffement relatif du sud-est des Etats-Unis d'Amérique, dû aux alizés plus intenses.

En partant de ces constats, nous allons tenter de démontrer l'avantage de la perception dynamique et non moyenne, afin d'expliquer les mécanismes à partir des différents sous-indices constitutifs de l'IDAN :

- durant les phases positives, les AMP américano-atlantiques sont moins fréquents, cela entraîne donc une baisse relative de la pression moyenne sur l'ouest du bassin arctique (figure 6.16).

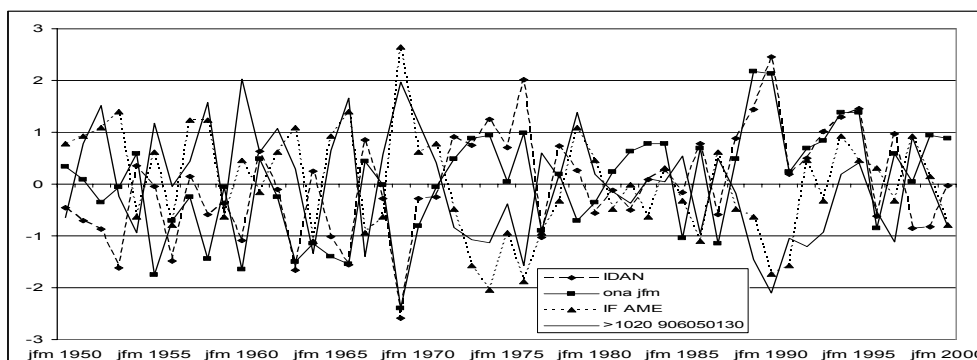


Figure 6.16 Superficie des pressions supérieures à 1020 hPa (90-60 °N, 50-130° (130-50°O), nord du Canada), indice de fréquence des AMP américano-atlantiques, ONA et IDAN, en JFM.

- les AMP américano-atlantiques sont peu fréquents mais plus froids. Ils sont donc plus étendus quand ils s'agglutinent. Ils accumulent une énorme quantité d'énergie sous l'Agglutination Anticyclonique des Açores (AAA) d'où sont expulsés des alizés, rapides qui traversent l'Atlantique et apportent leur potentiel énergétique jusqu'au Golfe du Mexique (figure 6.17).

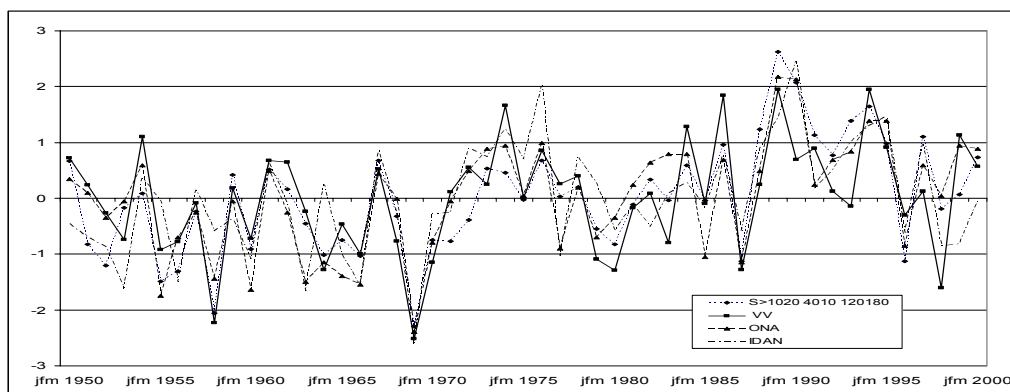


Figure 6.17 Superficie des pressions supérieures à 1020 hPa (40-10 °N, 120-180° (60°O-0), Açores), vitesse du vent (latitudes 30-10 °N et 140-170°), l'IDAN et ONA, en JFM.

- ces alizés issus de latitudes plus basses sont plus rapides et ainsi alimentent plus intensément les couloirs dépressionnaires. Les dépressions générées dans ces conditions sont plus profondes et ont des trajectoires plus septentrionales (figure 6.18).

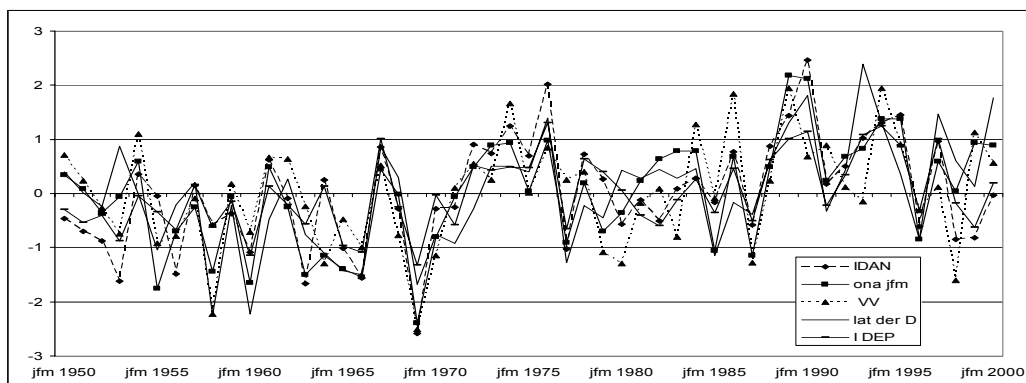


Figure 6.18 Vitesse du vent (latitudes 30-10 °N), latitude de comblement des dépressions, indice des dépressions, indice de l'ONA et l'IDAN, en JFM.

- en remontant dans les hautes latitudes les dépressions apportent plus d'air «chaud» (important potentiel précipitable), donc la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C 90-60 °N 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), diminue (figure 6.19).

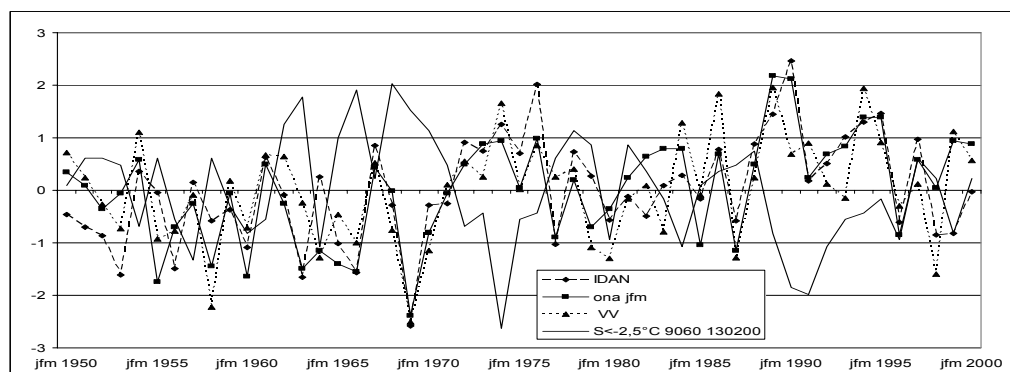


Figure 6.19 Superficie des températures inférieures à - 2,5 °C (90-60 °N, 150-200° (30°O-20°E)), vitesse du vent (latitudes 30-10 °N) l'IDAN et ONA, en JFM.

A l'échelle moyenne durant ces phases actives illustrant des échanges méridiens intenses il y a une baisse de la pression sur la Mer du Groenland, ainsi qu'une hausse des précipitations et des températures sur l'Europe du nord. Les dépressions évitant le bassin méditerranéen du fait du barrage aérologique du à l'Agglutination Anticyclonique, le volume des pluies se réduit.

Pour résumer, nous présentons une figure reprenant les coefficients de corrélation entre différents éléments de la dynamique aérologique et l'IDAN (figure 6.20).

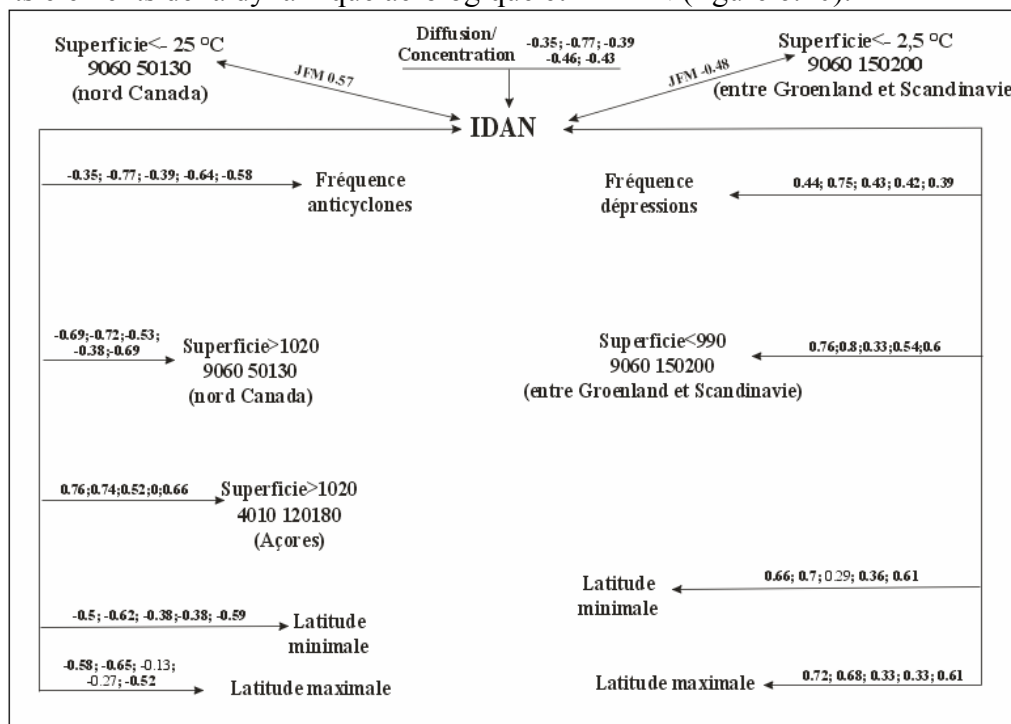


Figure 6.20 Schéma des liens entre l'IDAN et la dynamique aérologique selon différentes échelles de temps (valeurs respectives : Annuelles, JFM, AMJ, JAS, OND, sauf indication contraire). Les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 98%.

L'IDAN démontre ses possibilités explicatives des évolutions interannuelles sur la période 1950-2000 de façon performante. Exception faite des latitudes minimales des dépressions en AMJ et les latitudes maximales des AMP en AMJ et JAS, les coefficients de corrélation sont tous significatifs à 98%.

6.4.6 Explications des évolutions de la dynamique aérologique

6.4.6.1 avec les sous-indices de l'IDAN

Les sous-indices de l'IDAN offrent la possibilité d'expliquer quels sont les éléments responsables des variations de la dynamique aérologique. C'est cette partie qui constitue le point central des améliorations fournies par notre indice. En effet, par sa structure de construction, notre indice permet de pénétrer plus avant dans les mécanismes internes des variations.

	An	JFM	AMJ	JAS	OND
I GS	0,35	0,24	0,13	0,56	0,46
I AME	0,46	0,59	0,42	0,17	0,39
I AMP	0,52	0,61	0,47	0,49	0,53
I DEP	0,59	0,74	0,57	0,53	0,56
I F AME	- 0,23	- 0,54	- 0,28	- 0,26	- 0,31
I P AME	- 0,16	- 0,20	- 0,20	- 0,14	- 0,08
I EC AME	- 0,45	- 0,46	- 0,34	0,08	- 0,34
IF GS	- 0,17	- 0,30	- 0,20	- 0,56	- 0,46
IP GS	- 0,10	- 0,06	- 0,09	- 0,24	- 0,05
I EC GS	- 0,26	- 0,08	0,04	- 0,10	- 0,25
I F DEP	0,51	0,61	0,47	0,27	0,48
I P DEP	0,53	0,62	0,24	- 0,22	0,33
I EC DEP	0,62	0,61	0,25	0,2	0,53

Tableau 6.8 Corrélations entre les sous-indices de l'IDAN et l'ONA.

En analysant les coefficients de corrélation entre les indices et sous-indices des anticyclones et des dépressions, avec l'ONA (tableau 6.8), il ressort que :

- En ce qui concerne les anticyclones :

- les AMP groenlando-scandinaves expliquent bien l'évolution de l'ONA en été et en automne,
- pour les deux autres saisons les AMP américano-atlantiques sont plus efficaces,
- si nous ne différencions pas les AMP groenlando-scandinaves et américano-atlantiques, l'indice des anticyclones permet d'expliquer les variations de l'ONA à toutes échelles de temps. En revanche les sous-indices sont moins performants pour élucider les mécanismes de variations de l'ONA à l'exception de l'indice de fréquences des AMP américano-atlantiques en JFM, l'indice d'espace couvert des AMP américano-atlantiques en valeurs annuelles et hivernales, et l'indice de fréquence des AMP groenlando-scandinaves en été et automne.

- En ce qui concerne les dépressions :

- l'indice des dépressions rend bien compte des variations de l'ONA pour toutes les échelles temporelles,
- les sous-indices des dépressions sont également performants sauf pour les périodes printanières et estivales. Il est à noter que les meilleurs scores sont obtenus (comme pour les anticyclones) par les sous-indices d'extension géographique.

6.4.6.2 avec les caractéristiques des anticyclones et des dépressions

Afin de profiter au maximum des avantages proposés par le mode d'assemblage de notre indice, nous revenons aux données initiales pour ainsi boucler le processus explicatif. Nous analysons ici les coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones, des dépressions et l'IDAN.

a- Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones et l'IDAN

	Freq	P Max	P Moy	Du	Dist	Lat Min	Lat Max	lat	Long Min	Long Max	Long	vit
Annuel	- 0,28	- 0,17	- 0,07	0,24	0,14	- 0,38	- 0,56	- 0,09	- 0,28	- 0,21	- 0,20	- 0,21
JFM	- 0,59	- 0,15	- 0,01	0,44	0,34	- 0,47	- 0,56	- 0,67	- 0,17	- 0,26	- 0,21	- 0,27
AMJ	- 0,29	- 0,22	- 0,13	0,15	0,10	- 0,18	- 0,21	- 0,29	- 0,17	- 0,38	- 0,33	- 0,06
JAS	- 0,54	- 0,16	- 0,18	0,26	0,17	0,03	- 0,07	- 0,09	- 0,33	- 0,28	- 0,32	- 0,16
OND	- 0,52	- 0,10	0,08	0,32	0,32	- 0,29	- 0,44	- 0,47	- 0,34	- 0,44	- 0,42	0,00

b- Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des AMP américano-atlantiques et l'IDAN

	Freq	P Max	P Moy	Du	Dist	Lat Min	Lat Max	lat	Long Min	Long Max	Long	vit
Annuel	- 0,36	- 0,39	- 0,29	0,08	0,12	- 0,47	- 0,58	- 0,62	- 0,28	- 0,47	- 0,46	0,06
JFM	- 0,64	- 0,33	- 0,22	0,35	0,35	- 0,58	- 0,62	- 0,71	- 0,24	- 0,31	- 0,32	0,02
AMJ	- 0,42	- 0,18	- 0,17	0,21	0,12	- 0,37	- 0,25	- 0,42	- 0,30	- 0,51	- 0,47	- 0,11
JAS	- 0,46	- 0,06	- 0,04	0,05	- 0,04	- 0,16	- 0,32	- 0,32	- 0,25	- 0,41	- 0,40	- 0,11
OND	- 0,43	- 0,30	- 0,19	0,29	0,23	- 0,51	- 0,42	- 0,60	- 0,35	- 0,59	- 0,56	- 0,10

c- Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des AMP groenlando-scandinaves et l'IDAN

	Freq	P Max	P Moy	Du	Dist	Lat Min	Lat Max	lat	Long Min	Long Max	Long	vit
Annuel	- 0,17	- 0,01	- 0,01	0,32	0,16	- 0,26	- 0,32	- 0,40	0,28	0,15	0,25	- 0,23
JFM	- 0,47	0,03	- 0,02	0,29	0,14	- 0,31	- 0,19	- 0,39	0,41	0,00	0,27	- 0,27
AMJ	- 0,21	- 0,30	- 0,18	0,11	0,24	- 0,18	0,22	- 0,01	- 0,01	- 0,15	- 0,12	0,09
JAS	- 0,54	- 0,19	- 0,28	0,16	- 0,01	- 0,28	- 0,15	- 0,39	0,20	- 0,05	0,11	- 0,19
OND	- 0,42	- 0,09	0,02	0,30	0,18	- 0,40	- 0,38	- 0,49	0,18	0,05	0,16	- 0,17

d- Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des dépressions < 1000 hPa et l'IDAN

	Freq	P Max	P Moy	Du	Dist	Lat Min	Lat Max	lat	Long Min	Long Max	Long	vit
Annuel	0,59	- 0,61	- 0,58	- 0,53	0,18	0,67	0,75	0,73	- 0,42	- 0,12	- 0,30	0,62
JFM	0,56	- 0,78	- 0,67	- 0,37	0,62	0,71	0,74	0,75	- 0,41	0,16	- 0,14	0,76
AMJ	0,11	- 0,54	- 0,43	0,03	0,50	0,50	0,65	0,61	0,01	0,45	0,25	0,68
JAS	0,33	- 0,56	- 0,50	- 0,10	0,53	0,39	0,57	0,52	0,15	0,45	0,33	0,69
OND	0,26	- 0,59	- 0,55	- 0,39	0,27	0,66	0,77	0,74	- 0,08	0,26	0,12	0,70

Tableau 6.9 Corrélations entre l'IDAN et les caractéristiques des anticyclones (a), des AMP américano-atlantiques (b), des AMP groenlando-scandinaves (c) et les caractéristiques des dépressions < 1000 hPa (d). Les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 98%.

A l'échelle annuelle, lorsque l'IDAN est en mode positif (tableau 6.9a) :

- les AMP américano-atlantiques :
 - sont peu nombreux ($R = - 0,36$),
 - ont des pressions faibles ($R = - 0,39$),
 - ont des espaces de couverture décalés vers le sud-ouest. C'est-à-dire que leurs lieux d'apparition et d'agglutination sont bas en latitude ($R = - 0,58$, $R = - 0,47$), et simultanément à des longitudes occidentales ($R = - 0,47$).
- les AMP groenlando-scandinaves :
 - apparaissent et se déplacent à des latitudes plus méridionales ($R = - 0,32$, $R = - 0,4$),
 - durent plus longtemps ($R = 0,32$).
- les dépressions :
 - sont nombreuses ($R = 0,59$),
 - sont profondes ($R = - 0,61$),
 - apparaissent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus occidentales, respectivement ($R = 0,67$ et $R = - 0,42$),
 - se combent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,75$),
 - se déplacent plus rapidement ($R = 0,62$).

Durant les hivers, lorsque l'IDAN est en mode positif (tableau 6.9b) :

- les AMP américano-atlantiques :
 - sont peu fréquents ($R = -0,64$),
 - ont des pressions faibles ($R = -0,33$),
 - durent plus longtemps et parcourent plus de distance ($R = 0,35$, $R = 0,35$),
 - ont des espaces de couverture décalés vers le sud. C'est-à-dire que leurs lieux d'apparition et d'agglutination sont bas en latitude, respectivement ($R = -0,62$ et $R = -0,58$). De plus ils se déplacent à des longitudes plus occidentales ($R = -0,32$),
- les AMP groenlando-scandinaves :
 - ont peu fréquents ($R = -0,47$),
 - apparaissent à des longitudes plus orientales et se déplacent à des latitudes plus méridionales ($R = 0,41$, $R = -0,39$).
- les dépressions :
 - sont nombreuses ($R = 0,56$),
 - sont profondes ($R = -0,78$),
 - apparaissent à des latitudes plus septentrionales, et à des longitudes plus occidentales, respectivement ($R = 0,74$ et $R = -0,41$),
 - se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,7$),
 - se déplacent plus rapidement ($R = 0,76$).

La dynamique aérologique intense est donc, principalement, le résultat d'AMP américano-atlantiques peu fréquents mais froids, dont les trajectoires sont décalées vers le sud. De plus ces AMP génèrent des dépressions nombreuses, et profondes qui remontent rapidement vers les latitudes polaires.

Au printemps, lorsque l'IDAN est en mode positif (tableau 6.9c) :

- les AMP américano-atlantiques :
 - ils sont peu fréquents ($R = -0,42$),
 - ont des espaces de couverture décalés vers le sud-ouest. C'est-à-dire que leurs lieux d'agglutination sont bas en latitude ($R = -0,37$), et situés à des longitudes occidentales ($R = -0,51$).
- les dépressions:
 - sont profondes ($R = -0,54$),
 - apparaissent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,50$),
 - se combinent à des latitudes plus septentrionales et à des longitudes plus orientales ($R = 0,65$, $R = 0,45$),
 - se déplacent plus rapidement ($R = 0,68$).
- les AMP groenlando-scandinaves n'influencent pas, ou peu, la dynamique.

Durant l'été, lorsque l'IDAN est en mode positif (tableau 6.9d) :

- les AMP américano-atlantiques :
 - sont peu fréquents ($R = -0,46$),
 - s'agglutinent à des latitudes plus méridionales et à des longitudes plus occidentales ($R = -0,32$, $R = -0,41$).

- les AMP groenlando-scandinaves :
 - sont peu fréquents ($R = -0,54$).
- les dépressions :
 - sont fréquentes ($R = 0,3$),
 - sont profondes ($R = -0,56$),
 - apparaissent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,39$),
 - se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,57$) et à des longitudes plus occidentales ($R = 0,45$),
 - se déplacent plus rapidement ($R = 0,68$).

Enfin, en automne, lorsque l'IDAN est en mode positif (tableau 6.9e) :

- les AMP américano-atlantiques :
 - ils sont peu fréquents ($R = -0,43$),
 - les espaces couverts sont décalés vers le sud-ouest, c'est-à-dire que leurs lieux de départ sont bas en latitude et les lieux d'arrivée sont à des longitudes plus occidentales, respectivement ($R = -0,51$ et $R = -0,59$).
- les AMP groenlando-scandinaves :
 - ils sont peu fréquents ($R = -0,42$),
 - ils apparaissent et s'agglutinent à des latitudes plus méridionales ($R = -0,4$, $R = -0,38$).
- les dépressions :
 - elles sont profondes ($R = -0,59$),
 - elles apparaissent et se combinent à des latitudes plus septentrionales ($R = 0,66$, $R = 0,77$),
 - elles se déplacent plus rapidement ($R = 0,7$).

Il apparaît donc que la dynamique aérologique en JFM tourne bien autour des deux modes décrits durant le chapitre consacré à la circulation générale de surface (un mode «homogène» et un mode contrasté). Mais notre indice est pertinent à toutes les échelles de temps et il donne ainsi des indications sur les modes des autres saisons, bien que moins nettes.

Nous avons donc atteint notre objectif, à savoir établir un indice rendant compte des variations d'intensité de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000, et de décrire quels éléments en ont été responsables.

6.6 Conclusions

Ces analyses font apparaître l'intérêt de l'IDAN :

- 1- Cet indice permet l'analyse et la description des évolutions barométrique, thermique, anémométrique et pluviométrique (stations) sur l'espace Nord Atlantique.
- 2- L'IDAN permet une analyse «synoptique» de l'évolution climatique qui est largement plus efficace que la vision moyenne dont rend compte l'ONA.
- 3- En prenant en compte tous les anticyclones et toutes les dépressions, donc la totalité des éléments de la circulation générale de surface, cet indice rend mieux compte de la dynamique

aérolologique. A l'inverse de l'ONA qui ne rend compte que de la dynamique aérolologique à partir des éléments qui ont «survolé» les deux stations de mesures (si représentatives qu'elles soient par ailleurs).

4- Mais l'apport principal est la possibilité de décomposition extrême de l'indice pendant une période donnée. Par sa structure de construction basée sur plusieurs caractéristiques (fréquence, pression maximale, minimale, moyenne, durée, distance, latitude première, dernière, moyenne, longitude première, dernière, moyenne, vitesse) de chacune des composantes de la circulation générale de surface, cet indice permet de déterminer quels sont les facteurs prédominants des évolutions de la dynamique aérolologique (c'est-à-dire les caractéristiques des modes de dynamique aérolologique : «homogène» ou contrasté). Cela autorise à expliquer ses variations sur la période 1950-2000, quelle que soit l'échelle de temps considérée, en pénétrant un peu plus les mécanismes internes.

En illustration des bénéfices apportés par les possibilités de décomposition de l'IDAN, considérons les phases négatives de l'ONA.

L'IDAN comme l'ONA sont représentés par une unique valeur pour une période donnée. Mais dans le cas d'une valeur négative, l'interprétation des phénomènes par le biais de l'ONA est rendue difficile (voire impossible) par son mode de calcul. En effet, cette valeur est-elle due à :

- moins de dépressions sur l'Islande ?
- plus d'AMP sur l'Islande ?

qui ont tous les deux pour conséquence l'augmentation de la pression sur la station considérée le centre d'action islandais. L'IDAN permet, lui de répondre à la question grâce son mode construction avec plusieurs sous-indices reprenant chaque partie de la dynamique atmosphérique. Une autre méthode dite des régimes de temps, Vautard (1990), Corti et al (1999), d'Andréa (2003), Cassou (2001), permet également de sortir de cette impasse, mais c'est une méthode donnant des résultats beaucoup plus complexes qu'une seule valeur représentative. En cela notre indice réunit les bénéfices des deux méthodes pour décrire / résumer la variabilité climatique :

- à l'ONA, la simplicité,
- aux régimes de temps, la précision analytique.

5- Enfin, il nous semble que ce chapitre couplé au précédent concernant la circulation générale permet de valider notre choix sur la position initiale face aux phénomènes de surface (cf. introduction). Ce sont bien les dépressions et les anticyclones qui engendrent (le verbe pesant ici son poids causalité) l'évolution de l'ONA et non l'inverse.

Synthèse

Question de départ.

Peut-on créer un indice à partir des caractéristiques des comportements des anticyclones et des dépressions résumant la variabilité climatique de surface sur la période 1950-2000 ?

Résultats.

- en prenant en compte tous les anticyclones et toutes les dépressions, donc la totalité des éléments de la circulation générale de surface, cet indice rend parfaitement compte de la dynamique aérologique.
- par sa structure de construction basée sur plusieurs caractéristiques (fréquence, pression maximale, minimale, moyenne, durée, distance, latitude première, dernière, moyenne, longitude première, dernière, moyenne, et vitesse) de chacune des composantes de la circulation générale de surface, cet indice permet de déterminer quels sont les facteurs prédominants des évolutions de la dynamique aérologique, et donc d'expliquer ses variations sur la période 1950-2000, quelle que soit l'échelle de temps considérée, en pénétrant un peu plus les mécanismes internes.
- les résultats probants apportés par cet indice permettent de valider notre choix sur la position initiale face aux phénomènes de surface. Ce sont donc bien les comportements des dépressions et les anticyclones qui engendrent l'évolution de l'ONA et non l'inverse.

Limites et questions non résolues.

- bien que les lacunes soient amoindries par la structure de construction qui permet d'avoir accès aux caractéristiques des évolutions qui concourent à telle ou telle variabilité climatique à différentes échelles du mois au demi siècle, l'IDAN reste une valeur statistique moyenne.
- l'IDAN représente bien la variabilité aérologique mais ne permet pas l'explication des processus qui font osciller la dynamique du mode «homogène» au mode contrasté (c'est-à-dire le refroidissement du bassin arctique occidental).

Perspectives de travail.

Cette étude constitue un axe de travail potentiellement intéressant pour des analyses futures. Il faudrait alors, entre autres :

- affiner l'indice à l'échelle quotidienne ou au moins décadaire, afin d'effectuer des examens concernant les extrêmes météorologiques sur différentes sous-régions de notre espace d'étude, de façon à identifier les «responsables» précis (diverses caractéristiques des anticyclones et des dépressions) de tel ou tel événement météorologique,
- établir des indices régionaux de dynamique aérologique. En choisissant des espaces géographiques cohérents et en analysant les séries temporelles des anticyclones et des dépressions ayant survolé ces régions, nous pourrions décrire la variabilité climatique de façon plus précise,
- corréler les sous-indices et les extrêmes climatiques (précipitations et températures notamment pour les quantiles supérieurs à 90 et inférieurs à 10). Ces analyses pourraient améliorer les chaînes de prévision et donc de protection des biens et des personnes.

7. ANALYSES DES DÉPRESSIONS PROFONDES DES SAISONS FROIDES

Durant cette thèse, nous avons premièrement décrit les comportements (après reconstruction des trajectoires) des anticyclones et des dépressions, puis nous avons mis en place une méthodologie précise permettant d'étudier les phénomènes constitutifs de la circulation générale de basses couches, afin d'en construire un modèle logique. Dans un troisième temps, nous avons synthétisé les caractéristiques des anticyclones et des dépressions dans le but de créer un indice de dynamique aérologique pouvant résumer les variations climatiques sur la période 1950-2000. Les mécanismes principaux de la dynamique aérologique et leur évolution ayant été décrits, nous pouvons dès lors nous concentrer sur les dépressions profondes.

Au cours de l'année, les anticyclones et les dépressions se succèdent au dessus des océans et des continents. Les anticyclones entraînent généralement des épisodes de temps stable et les dépressions génèrent les phases de mauvais temps (pluie, vent, nuages...). Ces dépressions peuvent avoir des impacts majeurs sur les sociétés lorsque les ascendances et la baisse de pression sont intenses. Nous nous intéressons donc, dans ce dernier chapitre, aux dépressions profondes des saisons froides (en gardant à l'esprit que ces dépressions répondent aux mêmes mécanismes de développement que les dépressions «banales», seuls l'intensité et les impacts peuvent éventuellement être qualifiés d'extraordinaires). Bien que cela ne soit pas notre propos, nous devons dans un premier temps retracer de façon très simpliste et chronologique l'historique de la cyclogenèse.

L'histoire des théories de la cyclogenèse est calquée sur les avancées technologiques d'observation / représentation de l'atmosphère.

Le premier schéma conceptuel est le modèle norvégien Bjerknes J., Solberg H. (1922). Grâce à des observations (de plus en plus nombreuses du fait des demandes militaires) depuis la surface en un point géographique précis (**Bergen** : 60,4 °N ; 5,3 °E), les chercheurs de l'Ecole Norvégienne font trois découvertes :

- la présence de masses d'air de températures différentes au sein d'une même dépression,
- la concentration de contrastes de températures de certains espaces, appelées fronts,
- l'association entre fronts et précipitations.

En remontant dans le temps à partir du stade atteint dans leur évolution par les dépressions survolant la Norvège, les chercheurs de Bergen ont construit un schéma couvrant la totalité du cycle de vie des dépressions aux latitudes tempérées, dont l'élément fondamental est le Front Polaire (structure permanente et instable au sein de laquelle se développent les dépressions).

L'apparition du ballon-sonde (1948) permet l'étude de la structure verticale de l'atmosphère avec la mise en évidence de l'existence de deux structures :

- la tropopause, frontière entre la troposphère et la stratosphère,
- les courants-jets, tubes de vents fort situés au niveau de la tropopause.

Dès lors les liens entre ces phénomènes d'altitude et les dépressions de surface furent examinés par Bjerknes J., Palmen E. (1937). Ils constatent qu'une onde du courant-jet (ayant une courbure cyclonique à l'ouest des dépressions) est systématiquement associée aux dépressions de surface les plus profondes. Deux interprétations sont faites de ces observations :

- Godske C.C., Bergeron T., Bjerknes J., Bundgaard R.C. (1957) considèrent la structure d'altitude comme une conséquence de l'onde de surface,
- Pettersen S. (1955) reprenant les idées de Sutcliffe R.C. (1947), pense que le développement des dépressions est entièrement piloté par les conditions en altitude : c'est l'arrivée d'une perturbation d'altitude pré-existante au-dessus du Front Polaire qui va conduire à la cyclogénèse.

Mais le maillage trop lâche des réseaux d'observations empêche de trancher en faveur de l'une ou l'autre des interprétations. Cette fragilité des bases de travail amène certains chercheurs à rejeter au moins en partie le Front Polaire (surtout son caractère permanent, ainsi que sa structure devant occuper toute la troposphère). Sutcliffe R.C. (1952) propose que les dépressions apparaissent au sein d'une zone barocline définie par un gradient horizontal de température relativement faible et de grande échelle, associé au courant-jet par la relation du vent thermique. Plus tard, Pettersen S., Smebye S.J. (1971) séparent les cyclogénèses en deux catégories:

- «le type A» qui regroupe les perturbations infinitésimales se développant simultanément en surface et en altitude correspondant aux idées de Eady E. en 1949.
- «le type B» faisant appel à un précurseur d'altitude, conforme aux idées de Pettersen S. en 1955.

L'apparition des images satellitales au cours des années 1960 ainsi que l'augmentation de la puissance de l'outil informatique permettant de créer une atmosphère simulée, idéalisée (les modèles numériques) vont donner un nouvel élan aux études sur la cyclogénèse. Cela autorise :

- l'augmentation des observations (en nombre et en variables) sur de grandes aires géographiques,
- l'élaboration de nouvelles théories grâce aux modèles (justifiées par des démonstrations mathématiques).

Mais les premiers modèles n'étaient pas vraiment performants et il fallut attendre plusieurs années pour obtenir des résultats prometteurs :

- Hoskins B., West N.V. (1979), établissent la simulation de l'évolution non linéaire de l'instabilité barocline,
- Farrell B.F. en 1984 et en 1989, montre que la croissance de certaines perturbations au sein d'une zone barocline peut-être plus rapide grâce à une modification du déphasage entre les thalwegs de surface et d'altitude. Ce modèle repose sur l'interaction entre deux trains d'ondes, l'un en altitude (près de la tropopause) et l'autre en surface.

A l'heure actuelle, c'est donc le schéma de Farrell B.F. plus ou moins modifié (Joly A. 1995, Ayrault F., 1998) qui fait autorité. Mais celui-ci est théorique au sens où il n'est pas sous-tendu par des observations directes dans l'atmosphère.

Pour un historique complet, le lecteur peut se référer à Newton C.W., Holopainen E.O. (1990) ou Thorpe A.J. (2002).

En 1991, un projet international est lancé sous le nom de **F**ronts and **A**tlantic **S**torm-**T**rack **E**Xperiment (FASTEX). L'objectif principal de cette campagne de mesure qui s'est déroulée du 17 au 20 février 1997 était justement l'observation des précurseurs d'altitude afin d'apporter «des observations nouvelles réclamées par cette évolution des concepts» (Arbogast P., Joly A., 1998).

Mais, comme les auteurs cités précédemment l'écrivent, la période d'observation intense 17, «permet de mettre en évidence le rôle très inattendu d'un précurseur confiné dans les basses couches, dans un cas où une plus classique induction par une perturbation d'altitude semblait à priori nette» (idem) et que «c'est l'action à distance de ce système de basses couches qui, modifiant la base de la zone de confluence, est le vrai déclencheur [de la dépression violente au moins dans ce cas d'étude]» (idem).

Il semble donc que malgré la qualité de la recherche, la puissance des outils à disposition, le temps passé à décrypter les principes de la cyclogénèse et les avancées conceptuelles indéniables, il reste beaucoup de zones d'ombre (quel niveau atmosphérique est prépondérant, qui est le précurseur de quoi, etc.....) autour de cette question (oh, combien importante).

C'est pourquoi nous ne voulons, dans ce chapitre, en aucune façon tenter d'élaborer un schéma conceptuel de la cyclogénèse (car nous sommes, entre autres limites, très loin d'avoir les capacités intellectuelles pour gérer ce genre de problématique). Mais nous désirons utiliser une méthodologie permettant de donner un cadre explicatif pour comprendre les phénomènes. C'est-à-dire, essayer de fournir des explications sur les variations de fréquence (de 1956 à 1970 puis de 1970 à 1994) des systèmes dépressionnaires (950 hPa) représentées sur la figure 7.1.

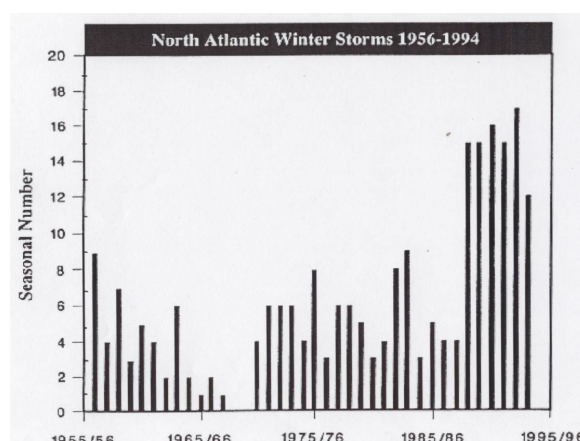


Figure 7.1 Nombre de systèmes dépressionnaires (950 hPa et inférieur) dans l'Atlantique nord déterminé à partir de quatre à huit cartes par jour pour la saison hivernale (Novembre-Mars de 1956 à 1994), Franke DWD, source OMM (1995) tirée de http://www.clivar.org/publications/other_pubs/iip/iplan/iip/pd1.htm

A l'image de nos analyses antérieures nous ne prenons en considération que le niveau de surface en examinant les liens (directs et indirects) entre anticyclones et dépressions profondes dans les basses couches avec une méthode d'examen similaire à celle utilisée dans la partie circulation générale de surface.

Nous ne traiterons ici que des dépressions profondes qui traversent l'Atlantique nord, d'est en ouest (donc nous n'examinerons pas les dépressions sur l'Europe continentale ou sur la Méditerranée). De ce fait, nous conduirons nos analyses en nous servant uniquement des AMP de trajectoire américano-atlantiques.

Le cycle d'existence des dépressions comprend trois phases majeures :

- l'apparition (fréquence, pression, latitudes et longitudes d'apparition),
- la trajectoire avec les diverses caractéristiques (fréquence, pression, vitesse, latitudes et longitudes moyennes, durée, distance),
- le comblement (latitudes et longitudes de comblement).

Pour analyser ces trois phases nous reprenons le schéma de circulation générale de surface décrit dans la partie précédente. La circulation de basses couches s'effectuant sous la forme d'un huit avec des variations d'intensité, nous nous intéressons donc aux différents espaces clés de ce système («extrémités» puisque c'est une boucle sans fin, l'air chaud redescendant pour être recyclé en anticyclones, changements de directions, croisement) comme schématisé sur la figure 7.2.

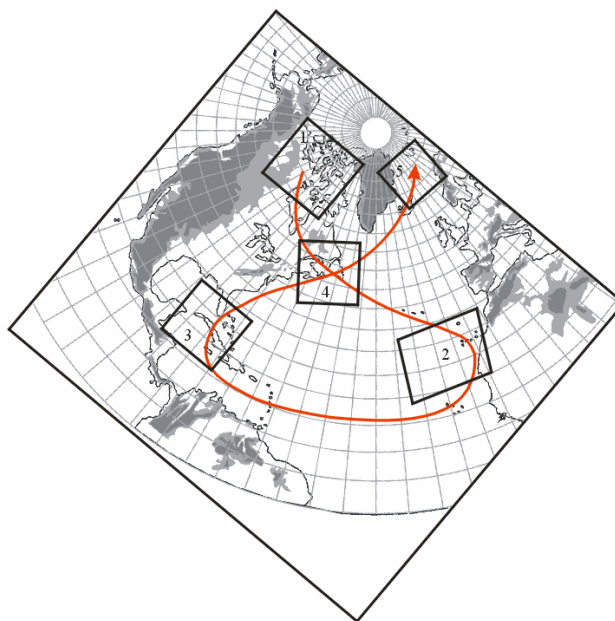


Figure 7.2 La circulation en 8 des basses couches et les aires géographiques remarquables (notées de 1 à 5).

Le choix de cette méthodologie impose quelques règles arbitraires, mais nécessaires :

- les espaces géographiques de référence utilisés dans les diverses analyses sont strictement bornées (en latitude et longitude). Cela n'implique en rien qu'elles soient les seules et uniques régions pertinentes. Par exemple des dépressions peuvent se creuser sur la Floride ou encore

sur les grandes plaines du «Middle West» ou encore sur la côte est du Groenland mais la plupart se forment dans un large espace, du «Cap Hatteras» au Groenland,

- les mesures de pression, de température et de vent représentent les caractéristiques des flux qui survolent ces aires géographiques. Par exemple, la superficie de pression de la région géographique n° 2 mesure l'évolution de la pression des anticyclones qui s'agglutinent dans l'AA des Açores,
- les dépressions profondes se produisant majoritairement durant l'hiver et l'automne, nous nous concentrons logiquement sur ces seules périodes même si les mécanismes fondamentaux sont invariants au cours de l'année.

Ce chapitre est construit en plusieurs étapes, apportant chacune un complément explicatif à l'ensemble formé précédemment. Le tout constituant un schéma cohérent et «complet» en fin d'analyse :

- 1- Les éléments constitutifs de l'occurrence des dépressions profondes en JFM,
- 2- Application de la méthode pour d'autres saisons : OND et ONDJFM,
- 3- Discussion et conclusions.

Synthèse

7.1 Les éléments constitutifs de l'occurrence des dépressions profondes en JFM

7.1.1 L'apparition des dépressions

Parmi les phénomènes relatifs à l'apparition des dépressions profondes, nombre de travaux ont mis en évidence l'importance d'un gradient de température :

- Dickson R.R., Namias J. (1976) ont les premiers mis en évidence les liens entre le gradient de température sur les E.U.A (entre continent-océan) et l'intensité de la cyclogénèse,
- Gulev S.K. et al (2002) ont observé que sur l'espace aérologique de l'Atlantique nord le lieu où les gradients thermiques étaient les plus marqués se situait sur la côte est de l'Amérique du nord,
- Wallace J.M. et al (1995) ont prouvé que ce gradient accentué était le résultat d'une évolution en opposition de phase entre les anomalies de températures entre le continent nord américain (se refroidissant) et l'océan Atlantique ouest (se réchauffant),
- Gulev S.K. et al (2002) de conclure que ce réchauffement régional de l'océan engendrant un gradient thermique plus contrasté est en partie responsable des changements de l'instabilité barocline dans les basses couches de l'atmosphère.
- Mansfield D.A. (1993), ayant étudié la tempête du 10/01/1993 entre l'Islande et l'Ecosse (pression inférieure à 916 hPa) a conclu que cette situation avait été créée par de «l'air inhabituellement froid sur l'Arctique canadien et de l'air très chaud poussé vers le nord-est à partir de la Floride».

Ce gradient thermique omniprésent a donc des définitions variables selon les auteurs.

Dans nos analyses nous considérons comme gradient thermique, le gradient engendré par la confrontation d'air anticyclonique froid venant du nord-ouest et d'air chaud et humide venant du sud-sud-ouest (alimenté par les alizés) à l'échelle synoptique. Ce gradient thermique est donc bien la mesure entre les caractéristiques des AMP de trajectoires américano-atlantiques

et des flux déviés de sud qui alimenteront les dépressions futures et non pas un contraste thermique strictement océan-continent qui ne détermine pas les causes des variations (déterminées par la dynamique aérologique à petites échelles et non par des phénomènes relevant de l'échelle régionale). C'est donc un gradient sans cesse remis en question en fonction des caractéristiques de chaque anticyclone et flux dépressionnaire.

Pour comprendre l'existence d'un contraste thermique plus ou moins intense et son évolution de 1950 à 2000, il faut analyser l'origine des flux qui en sont à l'origine :

- l'air anticyclonique froid venant du nord-ouest. Les caractéristiques de ce secteur septentrional du gradient sont analysables par l'examen des liens entre AMP américano-atlantiques et dépressions profondes et l'étude de le secteur géographique n° 1 de la figure 7.2,
- l'air chaud et humide venant du sud sud-ouest. Le secteur méridional est analysable de façon directe et indirecte par l'étude des caractéristiques des secteurs géographiques n° 1, 2, 3 de la figure 7.2.

L'étude de ces deux secteurs (n° 1 et 3) permet de quantifier (de façon indirecte) le gradient thermique dont le lieu de confrontation majoritaire est la côte orientale de l'Amérique du nord et notamment la région de Terre-Neuve (secteur géographique n°4).

7.1.1.1 Le secteur septentrional du gradient thermique

Dans le but de comprendre le comportement de ce secteur du gradient thermique, nous établissons les coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones et des dépressions profondes dans leurs phases initiales.

7.1.1.1.2 Relations entre les AMP américano-atlantiques avec les dépressions inférieures à 990, 980 et 970 hPa

a- Dépressions inférieures à 990 hPa

	Freq	P Mi	P My	La pre	Lg pre
Freq	- 0,53	0,37	0,25	- 0,45	0,52
P Mx	- 0,34	0,14	0,14	- 0,14	0,41
P My	- 0,27	0,01	0,04	0,01	0,32
LaMx	- 0,47	0,41	0,20	- 0,44	0,36
Lgp	- 0,31	0,19	0,17	- 0,11	0,38

b- Dépressions inférieures à 980 hPa

	Freq	P Mi	P My	La pre	Lg pre
Freq	- 0,52	0,25	0,06	- 0,36	0,26
P Mx	- 0,23	0,17	0,11	- 0,09	0,24
P My	- 0,11	0,08	0,06	0,01	0,20
LaMx	- 0,45	0,37	0,10	- 0,38	0,15
Lgp	- 0,27	0,18	0,15	- 0,08	0,17

c- Dépressions inférieures à 970 hPa

	Freq	P Mi	P My	La pre	Lg pre
Freq	- 0,44	0,10	- 0,10	- 0,30	0,07
P Mx	- 0,23	0,07	0,14	- 0,13	0,06
P My	- 0,10	0,02	0,09	- 0,05	0,07
LaMx	- 0,47	0,30	- 0,01	- 0,27	- 0,01
Lgp	- 0,23	0,11	- 0,04	0,00	0,04

Tableau 7.1 Coefficients de corrélation entre les AMP américano-atlantiques et les dépressions (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980 hPa et (c) inférieures à 970 hPa pour les caractéristiques concernant l'apparition des phénomènes.

Après analyse du tableau 7.1, nous constatons qu'il y a des liens unissant les AMP américano-atlantiques et les dépressions (quel que soit le seuil de pression) lors de leurs apparitions :

- lorsque les AMP sont peu nombreux, beaucoup de dépressions sont générés ($R = -0,50$ en moyenne),
- lorsque les AMP apparaissent à des latitudes plus méridionales, les dépressions sont plus fréquentes ($R = -0,46$ en moyenne),

Pour les dépressions inférieures à 990 et 980 hPa, il existe des liens plus étroits :

- lorsqu'il y a peu d'AMP, les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales ($R = -0,40$ en moyenne),
- lorsque les AMP apparaissent à des latitudes plus méridionales, les dépressions sont plus profondes ($R = 0,39$ en moyenne),
- lorsque les AMP apparaissent à des latitudes plus méridionales, les dépressions apparaissent à des latitudes plus septentrionales ($R = -0,41$ en moyenne),

7.1.1.1.3 Secteur géographique remarquable n° 1 : 90-60° N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada)

Nous analysons les variations thermiques et / ou barométriques, en lien avec les évolutions des caractéristiques des dépressions profondes dans les régions géographiques importantes notées de 1 à 5 dans la figure 7.2, selon une méthode semblable à celle utilisée dans le chapitre concernant la circulation générale de surface.

- superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, entre 90 et 60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada).

	sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	la pre	La der	la	la Mi	la Ma	lg pre	lg der	lg	vit
<990	-0,71	-0,63	0,56	0,36	0,73	-0,17	-0,78	-0,74	-0,79	-0,76	-0,79	0,73	0,10	0,49	-0,61
<980	-0,65	-0,68	0,39	0,15	0,63	-0,02	-0,63	-0,67	-0,65	-0,65	-0,63	0,49	-0,16	0,19	-0,53
<970	-0,6	-0,62	0,21	0,09	0,49	0,24	-0,44	-0,54	-0,54	-0,52	-0,52	0,08	-0,24	-0,11	-0,24

Tableau 7.2 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada).

Lorsque, les superficies des pressions supérieures à 1020hPa, aux latitudes comprises entre 90 et 60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), sont peu étendues, les dépressions (tableau 7.3) :

- sont plus étendues,
- sont plus fréquentes,
- inférieures à 990 hPa sont plus profondes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent, se combrent, se déplacent, à des latitudes plus septentrionales,
- inférieures à 990 hPa et 980 hPa, apparaissent à des longitudes plus occidentales,
- inférieures à 990 hPa et 980 hPa se déplacent plus rapidement.

- superficies des températures inférieures à - 25 °C, entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada).

	sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	la pre	La der	la Mi	la Ma	la	lg pre	lg der	lg	vit
<990	0,43	0,35	-0,43	-0,28	-0,27	0,15	0,41	0,44	0,44	0,40	0,44	-0,30	-0,07	-0,22	0,31
<980	0,44	0,44	-0,35	-0,20	-0,25	0,01	0,38	0,37	0,35	0,32	0,32	-0,16	-0,13	0,08	0,22
<970	0,40	0,44	-0,27	-0,11	-0,37	-0,28	0,37	0,25	0,32	0,25	0,20	0,00	0,02	0,00	0,05

Tableau 7.3 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures inférieures à - 25 °C entre 90-60 °N et 50-130°(130-50°O) (nord du Canada).

Plus le déficit thermique est intense, plus les dépressions sont (tableau 7.4):

- étendues, fréquentes, profondes, apparaissent, se combinent, se déplacent, à des latitudes septentrionales.

Le secteur septentrional a donc connu deux phases successives (figure 7.3) :

- un réchauffement de 1950 à 1970,
- un refroidissement depuis 1970.

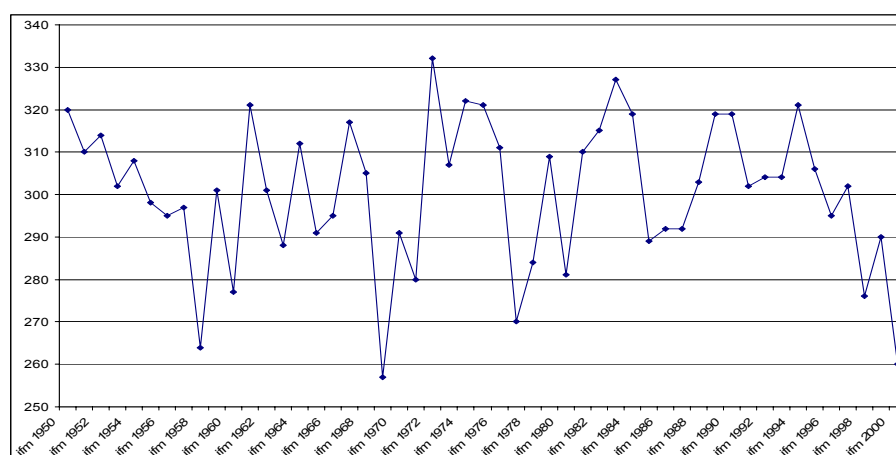


Figure 7.3 Variations de la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.

Quand l'aire de haute pression se rétrécit avec de façon concomitante une augmentation de la superficie des températures très basses sur le nord de l'Amérique du Nord ($R = -0,47$ cf. circulation générale), on constate de façon statistique un accroissement de l'intensité des dépressions.

7.1.1.2 Le secteur méridional du gradient thermique

Afin d'apprécier correctement le secteur méridional du gradient, il faut examiner l'origine des flux qui l'alimente, c'est-à-dire les alizés de l'Atlantique nord. Deux espaces géographiques particuliers permettent ces examens :

- la façade est de l'Océan où les anticyclones s'étant agglutinés donnent naissance aux alizés,
- la façade ouest de l'Océan qui marque la fin du parcours des alizés sous cette forme.

7.1.1.2.1 Secteur géographique remarquable n° 2 : 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores)

- superficies des pressions supérieures à 1020 hPa, entre 40 et 10 °N et 120-180° (60°O-0)(Açores).

	Sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	la pre	La der	la	la Mi	la Ma	lg pre	lg der	lg	vit
<990	0,71	0,51	- 0,61	- 0,45	- 0,62	0,22	0,73	0,75	0,79	0,79	0,73	- 0,49	0,24	- 0,15	0,59
<980	0,70	0,63	- 0,51	- 0,26	- 0,44	0,12	0,53	0,64	0,63	0,66	0,55	- 0,27	0,42	0,10	0,48
<970	0,65	0,51	- 0,61	- 0,45	- 0,62	0,22	0,73	0,75	0,79	0,79	0,73	- 0,49	0,24	- 0,15	0,59

Tableau 7.4 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores).

Plus l'Agglutination Anticyclonique des Açores est étendue (tableau 7.5) :

- plus les dépressions sont étendues,
- plus les dépressions sont fréquentes,
- plus les dépressions sont profondes,
- moins durent les dépressions,
- plus les dépressions se déplacent rapidement,
- plus les dépressions apparaissent, se combent, se déplacent, à des latitudes septentrionales,
- plus les dépressions <990 et <970 hPa apparaissent à des longitudes occidentales.

- superficie des températures supérieures à 20 °C, entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores).

	sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	la pre	La der	la Mi	la Ma	la	lg pre	lg der	lg	vit
<990	- 0,46	- 0,42	0,46	0,30	0,36	- 0,05	- 0,52	- 0,56	- 0,53	- 0,50	- 0,55	0,36	0,38	0,06	- 0,30
<980	- 0,42	- 0,45	0,48	0,20	0,32	0,07	- 0,58	- 0,52	- 0,54	- 0,46	- 0,45	0,18	- 0,17	0,00	- 0,20
<970	- 0,36	- 0,54	0,21	0,01	0,42	0,33	- 0,52	- 0,36	- 0,49	- 0,40	- 0,35	- 0,05	- 0,12	- 0,09	0,01

Tableau 7.5 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures supérieures à 20°C entre 40-10 °N et 120-180°(60°O-0) (Açores).

Lorsque l'Agglutination Anticyclonique des Açores connaît des températures plus froides, les dépressions (tableau 7.6) :

- sont étendues,
- sont fréquentes,
- sont profondes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent, se combent, se déplacent, à des latitudes septentrionales,
- inférieures 990 hPa apparaissent et se combent à des longitudes occidentales.

- la vitesse des alizés entre 30 et 10 °N et 140-170° (40-10°O) (Açores).

	sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La pre	La der	la Max	La	Lg pre	Lg der	Lg	Vit
<990	0,53	0,47	- 0,52	- 0,40	- 0,49	0,08	0,59	0,50	0,55	0,53	0,58	- 0,39	0,02	- 0,22	0,42
<980	0,51	0,54	0,45	0,25	0,39	0,07	0,53	0,41	0,47	0,43	0,38	0,07	0,10	0,23	0,26
<970	0,45	0,62	0,09	0,03	0,46	0,32	0,42	0,26	0,40	0,32	0,29	0,12	0,21	0,18	0,06

Tableau 7.6 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la vitesse des alizés entre 30-10 °N et 140-170° (40-10°O) (Açores).

Quand les alizés s'intensifient (c'est-à-dire qu'il y a accélération et augmentation du volume transporté), les dépressions (tableau 7.7) :

- sont plus fréquentes,
- sont plus profondes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent, se combent à des latitudes plus septentrionales
- apparaissent à des longitudes plus occidentales,
- se déplacent plus rapidement.

- liens entre superficies des températures supérieures à 20 °C, des pressions supérieures à 1020 hPa, entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) et la vitesse des alizés, entre 30 et 10 °N et 140-170° (40-10°O) (Açores).

	S>1020 hPa	Vit alizés	S>20 °C
S>1020 hPa	1		
Vit alizés	0,78	1	
S>20 °C	- 0,51	- 0,7	1

Tableau 7.7 Corrélations entre les superficies de température, de pression et la vitesse des alizés.

Quand la superficie de pression augmente (par agglutination d'AMP dont la pression est plus importante), on note la baisse de la température de l'AA des Açores et l'accélération des flux d'alizés (tableau 7.8).

L'espace dans lequel les anticyclones s'agglutinent a connu des variations barométrique, thermique et éolienne franches. Depuis 1969-70, nous avons constaté que les anticyclones étaient moins nombreux mais capables d'atteindre des latitudes plus méridionales. Ainsi l'Agglutination Anticyclonique des Açores est plus étendue donc plus puissante. Cet accroissement de puissance permet l'expulsion d'alizés plus rapides et plus méridionaux vers l'est qui apportent plus de chaleur en direction du bassin occidental de l'Atlantique nord.

7.1.1.2.2 Région géographique remarquable n° 3 : 40-20 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses)

- liens entre les superficies des températures supérieures à 20 °C, des pressions supérieures à 1020 hPa, entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), la vitesse des alizés, entre 30 et 10 °N et 140-170° (40-10°O) et la superficie des températures supérieures à 18 °C, entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses).

	S>20 °C	S>1020 hPa	Vit vent
S>18 °C	- 0,6	0,41	0,51

Tableau 7.8 Corrélations entre la superficie des températures supérieures à 18 °C entre 40-20 °N et 80-120° et les superficies de température, de pression et la vitesse des vents dans la région 2.

Ce tableau 7.9 fait apparaître les liens unissant les évolutions de part et d'autre du bassin atlantique. Quand l'Agglutination Anticyclonique des Açores est puissante (étendue, froide et engendrant des alizés rapides et méridionaux), cela entraîne un réchauffement sur l'ouest du bassin atlantique.

- superficie des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses).

	sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	la pre	La der	la	la Mi	la Ma	lg pre	lg der	lg	vit
<990	0,37	0,32	- 0,41	- 0,33	- 0,33	- 0,15	0,52	0,48	0,47	0,44	0,42	- 0,43	- 0,28	- 0,41	0,10
<980	0,38	0,37	- 0,41	- 0,26	- 0,39	- 0,26	0,55	0,48	0,49	0,44	0,42	- 0,22	0,06	- 0,08	0,06
<970	0,37	0,42	- 0,32	- 0,25	- 0,35	- 0,36	0,52	0,36	0,51	0,48	0,44	0,07	0,08	0,07	- 0,15

Tableau 7.9 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures supérieures à 18 °C entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses).

Plus les superficies sont étendues (donc plus les températures sont élevées) (tableau 7.10) :

- plus les dépressions sont fréquentes, sont profondes, apparaissent, se combinent, se déplacent à des latitudes septentrionales,
- plus les dépressions inférieures à 990 hPa, se déplacent à des longitudes occidentales.

Le secteur méridional a donc connu deux phases successives (figure 7.4) :

- refroidissement de 1950 à 1970,
- réchauffement depuis 1970.

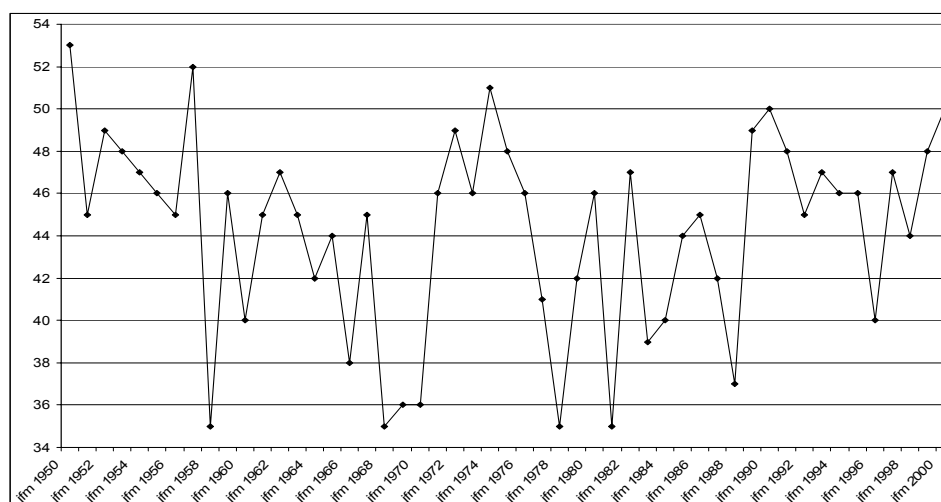


Figure 7.4 Variations de la superficie des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.

Toutes ces analyses permettent d'appréhender le gradient thermique qui fait se confronter les deux flux généralement sur la région de Terre-Neuve.

7.1.1.3 Représentation du gradient thermique (le secteur géographique d'intérêt n°4)

Cette région (située au large de Terre Neuve) n'est pas traitée directement, car elle subit la double influence des dépressions et des anticyclones, si bien que les valeurs barométriques et thermiques ne sont pas facilement analysables. Mais elle est particulièrement importante, car c'est la région de création principale des dépressions sur la côte est de l'Amérique du nord.

En période dépressionnaire active, les alizés sont plus rapides et ont en outre des trajectoires plus méridionales. Ceci entraîne un apport de plus de potentiel énergétique sur le Golfe du Mexique et ainsi la température augmente. D'autre part, il y a aggravation du déficit thermique sur le bassin arctique occidental (le nord du continent nord américain). Le gradient thermique est donc accru sur la côte est des E.U.A et du Canada.

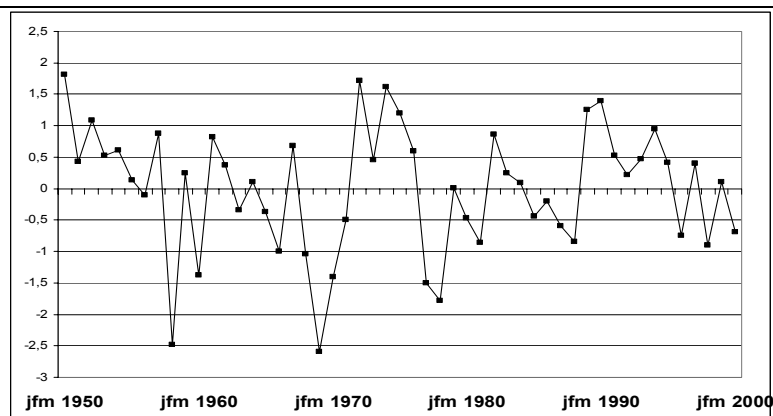


Figure 7.5 Évolution du gradient thermique. Calcul : superficie de température < - 25 °C de la région n°1 (nord du Canada) - superficie de température > 18 °C de la région n°3 (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses).

La figure 7.5 fait apparaître nettement que le gradient thermique (entre les caractéristiques des anticyclones et des flux de sud issus des alizés, nous le répétons encore une fois) qui génère les dépressions profondes au large de Terre-Neuve est le résultat d'une double influence fonctionnant en phase. De façon simultanée, le secteur nord du gradient se refroidit (car les anticyclones issus du bassin arctique occidental sont plus froids) et le secteur sud se réchauffe (puisque les alizés issus de l'Agglutination Anticyclonique des Açores sont plus rapides et plus méridionaux) ($R = 0,35$ de 1950 à 2000 et $R = 0,60$ de 1950 à 1980).

Les éléments de la dynamique aérologique concourant à l'apparition des dépressions profondes ayant été définis, nous poursuivons l'analyse par l'étude des trajectoires.

7.2.1 Les caractères des trajectoires

Les trajectoires des dépressions profondes sont tributaires des anticyclones qui les génèrent ainsi que de la qualité de l'air qui les alimentent (la dépression proprement dite et le couloir dépressionnaire). Nous analysons donc successivement :

- les liens entre les caractéristiques concernant les trajectoires des AMP américano-atlantiques et des dépressions profondes,
- l'influence de la concentration des anticyclones sur la trajectoire américano-atlantique,
- les liens entre les caractéristiques thermiques de l'air alimentant les couloirs dépressionnaires et les caractères concernant les trajectoires dépressions profondes.

7.2.1.1 Analyse des trajectoires des AMP américano-atlantiques et dépressions

Relations entre les AMP américano-atlantiques avec les dépressions inférieures à 990, 980, 970 hPa

a- Dépressions inférieures à 990 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La	Lg	Vit
Freq	- 0,53	0,37	0,25	0,55	- 0,20	- 0,51	0,42	- 0,53
P Mx	- 0,34	0,14	0,14	0,37	0,03	- 0,19	0,47	- 0,21
P My	- 0,27	0,01	0,04	0,28	0,09	- 0,04	0,42	- 0,11
Du	0,32	- 0,31	- 0,27	- 0,39	- 0,04	0,40	- 0,05	0,21
Dist	0,38	- 0,33	- 0,28	- 0,45	- 0,03	0,38	- 0,26	0,26
La	- 0,54	0,39	0,20	0,53	- 0,36	- 0,64	0,27	- 0,66
Lg	- 0,19	0,16	0,11	0,03	- 0,18	- 0,12	0,17	- 0,18
Vit	0,10	- 0,02	- 0,03	- 0,11	0,04	- 0,05	- 0,39	0,11

b- Dépressions inférieures à 980 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La	Lg	Vit
Freq	- 0,52	0,25	0,06	0,32	- 0,18	- 0,40	0,13	- 0,44
P Mx	- 0,23	0,17	0,11	0,33	0,11	- 0,11	0,28	- 0,17
P My	- 0,11	0,08	0,06	0,26	0,13	- 0,02	0,28	- 0,10
Du	0,40	- 0,17	- 0,11	- 0,34	- 0,11	0,35	0,02	0,16
Dist	0,43	- 0,20	- 0,13	- 0,36	- 0,07	0,36	- 0,10	0,23
La	- 0,51	0,37	0,08	0,29	- 0,27	- 0,58	- 0,05	- 0,52
Lg	- 0,15	0,24	0,15	- 0,09	- 0,11	- 0,08	- 0,03	- 0,04
Vit	0,05	- 0,06	- 0,03	- 0,04	0,07	0,02	- 0,23	0,11

c- Dépressions inférieures à 970 hPa

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La	Lg	Vit
Freq	- 0,44	0,10	- 0,10	0,34	0,14	- 0,32	0,05	- 0,19
P Mx	- 0,23	0,07	0,14	0,27	0,13	- 0,15	0,09	- 0,12
P My	- 0,10	0,02	0,09	0,16	0,07	- 0,08	0,13	- 0,10
Du	0,36	- 0,14	- 0,11	- 0,28	- 0,28	0,33	0,14	- 0,09
Dist	0,37	- 0,11	- 0,04	- 0,25	- 0,22	0,36	0,10	- 0,03
La	- 0,51	0,24	- 0,09	0,19	- 0,05	- 0,47	- 0,16	- 0,32
Lg	- 0,21	0,12	- 0,10	- 0,29	- 0,27	0,04	0,01	- 0,07
Vit	0,03	0,06	0,14	0,05	0,11	0,05	- 0,09	0,11

Tableau 7.10 Coefficients de corrélation entre les AMP américano-atlantiques et les dépressions (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980 hPa et (c) inférieures à 970 hPa pour les caractéristiques concernant les trajectoires.

Le tableau 7.10 montre l'existence de liens entre :

- les fréquences des AMP américano-atlantiques et les durées des dépressions ($R = 0,41$). Lorsque les AMP américano-atlantiques sont peu fréquents, les dépressions ont des cycles d'existence plus courts,
- les fréquences des AMP américano-atlantiques et les latitudes moyennes des dépressions ($R = - 0,42$). Lorsque les AMP américano-atlantiques sont peu fréquents, les dépressions ont des trajectoires septentrionales,
- les durées des AMP américano-atlantiques et les fréquences des dépressions ($R = 0,33$). Lorsque les AMP américano-atlantiques durent longtemps, les dépressions sont plus fréquentes,
- les distances parcourues par les AMP américano-atlantiques et les fréquences des dépressions ($R = 0,39$). Lorsque les AMP américano-atlantiques parcourent de plus grandes distances, les dépressions sont plus fréquentes,
- les latitudes moyennes des AMP américano-atlantiques et des dépressions ($R = - 0,52$ en moyenne), c'est-à-dire que lorsque les AMP américano-atlantiques ont des trajectoires méridionales, les dépressions ont des trajectoires septentrionales,
- les latitudes moyennes des AMP américano-atlantiques et les vitesses de déplacement des dépressions ($R = - 0,50$ en moyenne), c'est-à-dire que quand les AMP américano-atlantiques ont des trajectoires méridionales, les dépressions se déplacent rapidement,
- les latitudes moyennes des AMP américano-atlantiques et les latitudes moyennes des dépressions ($R = - 0,52$). Lorsque les AMP américano-atlantiques ont des trajectoires méridionales, les dépressions ont des trajectoires septentrionales,
- les durées, les distances des AMP américano-atlantiques et les latitudes moyennes des dépressions ($R = - 0,33$ et $R = 0,33$). Lorsque les AMP américano-atlantiques durent longtemps, parcourent de plus grandes distances, les dépressions ont des trajectoires septentrionales.

7.2.1.2 Concentration / dispersion des anticyclones

Comme nous l'avons déjà décrit dans la partie concernant la circulation générale de surface, les anticyclones ont des trajectoires plus ou moins concentrées (figure 5.10). Cette concentration / dispersion a d'importantes répercussions sur les caractéristiques des trajectoires des dépressions profondes.

Afin de mesurer efficacement ces impacts nous établissons les coefficients de corrélation entre la fréquence des anticyclones «islandais» (ayant survolé au moins une partie de l'espace compris entre le Groenland et la Scandinavie au nord de la latitude 60 °N) et les caractéristiques des dépressions profondes (tableau 7.11).

	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La pre	La der	La	Lg pre	Lg der	Lg	Vit
Freq A Isl/<990	- 0,44	0,54	0,46	0,16	- 0,23	- 0,39	- 0,34	- 0,37	0,12	- 0,25	- 0,08	- 0,30
Freq A Isl/<980	- 0,50	0,52	0,36	0,02	- 0,16	- 0,33	- 0,26	- 0,29	- 0,14	- 0,34	- 0,29	- 0,17
Freq A Isl/<970	- 0,53	0,36	0,06	0,03	- 0,03	- 0,22	- 0,15	- 0,21	- 0,14	- 0,24	- 0,22	- 0,06

Tableau 7.11 Coefficients de corrélation entre la fréquence des anticyclones «islandais» et les caractéristiques des dépressions profondes.

Il apparaît que lorsque les anticyclones «islandais» sont peu nombreux, c'est-à-dire que l'ensemble des anticyclones sont concentrés sur la trajectoire américano-atlantique, les dépressions sont plus fréquentes ($R = - 0,49$ en moyenne), plus profondes ($R = 0,47$ en moyenne).

7.2.1.3 Analyse des flux de sud alimentant les couloirs dépressionnaires

- superficie des températures supérieures à 18 °C dans la zone comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et Sargasses).

	sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	la	lg	vit
<990 hPa	0,37	0,32	- 0,41	- 0,33	- 0,33	- 0,15	0,47	- 0,41	0,10
<980 hPa	0,38	0,37	- 0,41	- 0,26	- 0,39	- 0,26	0,49	- 0,08	0,06
<970 hPa	0,37	0,42	- 0,32	- 0,25	- 0,35	- 0,36	0,51	0,07	- 0,15

Tableau 7.12 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures supérieures à 18 °C entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Açores).

Plus les superficies sont étendues, en raison d'une alimentation des couloirs dépressionnaires par des flux de sud, plus chauds et plus rapides (non montré ici) (tableau 7.12) :

- plus les dépressions sont fréquentes, sont profondes, durent moins longtemps et se déplacent à des latitudes septentrionales,
- plus les dépressions inférieures à 990 hPa, se déplacent à des longitudes occidentales.

Les examens précédents ont fait apparaître que les trajectoires des dépressions profondes sont commandées par trois phénomènes essentiels. En effet, lors des périodes durant lesquelles :

- les anticyclones connaissent des latitudes de déplacement plus méridionales,
 - la concentration des anticyclones sur la trajectoire américano-atlantique est majoritaire,
 - les couloirs dépressionnaires sont alimentés par de l'air plus chaud et humide,
- le nombre et la puissance des dépressions profondes s'accroissent et celles-ci ont des trajectoires plus septentrionales.

Il faut maintenant traiter de la dernière phase du cycle d'existence des dépressions profondes, c'est-à-dire le comblement.

7.4.3 Le comblement

Les régions de comblement sont fonction des caractéristiques des éléments précédents (région d'apparition et les trajectoires). Nous analysons donc successivement :

- les liens entre les caractéristiques concernant les lieux d'agglutination des AMP américano-atlantiques et des dépressions profondes,
- les conséquences thermiques et anémométriques sur la région géographique n° 5 (90-60°N 150-200 (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).

7.4.3.1 Analyse des caractéristiques de comblement des AMP américano-atlantiques et dépressions

Relations entre les AMP américano-atlantiques avec les dépressions inférieures à 990, 980, 970 hPa

a- Dépressions inférieures à 990 hPa

	Lla der	Lg der
LaMi	- 0,41	- 0,04
Lg der	- 0,07	- 0,05

b- Dépressions inférieures à 980 hPa

	La der	Lg der
LaMi	- 0,45	- 0,29
Lg der	- 0,09	- 0,18

c- Dépressions inférieures à 970 hPa

	La der	Lg der
LaMi	- 0,35	- 0,18
Lg der	0,00	- 0,10

Tableau 7.13 Coefficients de corrélation entre les AMP américano-atlantiques et les dépressions (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980 hPa et (c) inférieures à 970 hPa pour les caractéristiques concernant le comblement des dépressions.

L'examen des tableaux 7.13 montre que lorsque les AMP américano-atlantiques s'agglutinent à des latitudes méridionales, les dépressions profondes se comblent à des latitudes septentrionales ($R = - 0,4$ en moyenne).

7.4.3.2 Région géographique remarquable n° 5 : 90-60° N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie)

Cette région est l'espace dans lequel se situent les conséquences des variabilités des dépressions profondes.

- vent zonal (U), entre 70 et 40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).

	Sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La pre	La der	La Max	La	Lg Pre	Lg der	Lg	Vit
<990	0,70	0,54	- 0,55	- 0,36	- 0,53	0,23	0,80	0,85	0,85	0,80	0,84	- 0,49	0,28	- 0,11	0,58
<980	0,74	0,61	- 0,48	- 0,22	- 0,48	0,11	0,70	0,81	0,82	0,72	0,79	- 0,28	0,49	0,17	0,54
<970	0,74	0,62	- 0,37	- 0,23	- 0,47	- 0,23	0,56	0,67	0,62	0,59	0,69	0,00	0,48	0,37	0,26

Tableau 7.14 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et le vent zonal entre 70-40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).

Le vent zonal au-dessus de cette région accélère lorsque, les dépressions (tableau 7.14) :

- sont plus fréquentes,
- sont plus profondes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent, se combent à des latitudes plus septentrionales,
- apparaissent à des longitudes plus occidentales et se combent à des longitudes plus orientales,
- se déplacent plus rapidement.

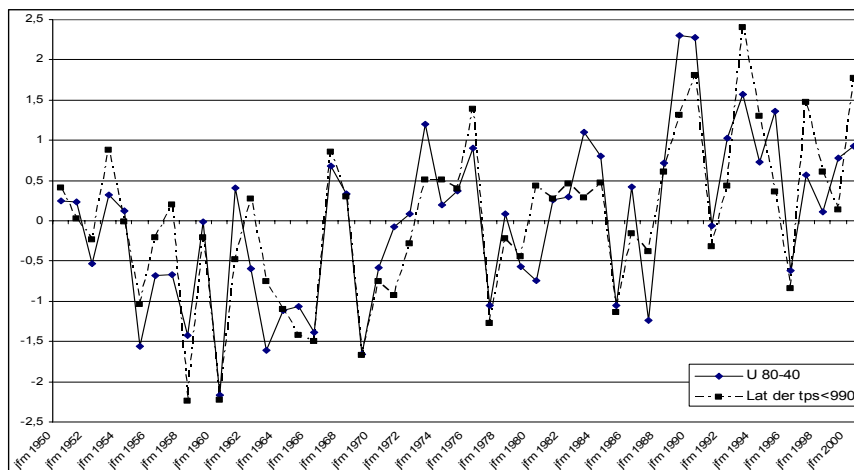


Figure 7.6 Série temporelle du vent zonal entre 70-40 °N et 130-180° (entre Groenland et Scandinavie) et des latitudes de comblement des dépressions inférieures à 990hPa en valeurs JFM.

La figure 7.6 illustre le lien étroit entre vitesse de vents et les latitudes atteintes par les dépressions. Lorsque les dépressions sont générées dans un contexte contrasté (gradient thermique entre anticyclones et flux de sud), elles engendrent des vents plus violents et sont capables d'atteindre des latitudes plus septentrionales ($R = 0,85$).

- vent méridien (V), entre 70 et 40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).

	Sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La pre	La der	la Max	La	Lg pre	Lg der	Lg	Vit
<990	0,56	0,50	- 0,32	- 0,16	- 0,57	0,10	0,60	0,51	0,50	0,61	0,57	- 0,75	- 0,36	- 0,65	0,49
<980	0,45	0,46	- 0,24	- 0,02	- 0,53	- 0,12	0,48	0,46	0,48	0,48	0,48	- 0,59	- 0,16	- 0,47	0,33
<970	0,4	0,42	- 0,11	- 0,03	- 0,43	- 0,31	0,29	0,38	0,34	0,32	0,38	- 0,14	- 0,08	- 0,15	0,07

Tableau 7.15 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et le vent méridien entre 70-40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).

Le vent méridien au-dessus de cette région se renforce lorsque, les dépressions (tableau 7.15):

- sont plus fréquentes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent, se combent à des latitudes plus septentrionales,
- apparaissent à des longitudes plus occidentales,
- se déplacent plus rapidement.

- vent résultant (vitesse du vent $\sqrt{(U^2+V^2)}$), entre 70 et 40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).

	Sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La pre	La der	la Max	La	Lg pre	Lg der	Lg	Vit
<990	0,73	0,62	- 0,62	- 0,52	- 0,56	0,00	0,61	0,71	0,67	0,59	0,67	- 0,44	0,13	- 0,18	0,40
<980	0,74	0,69	- 0,53	- 0,35	- 0,48	- 0,07	0,49	0,61	0,56	0,48	0,57	- 0,18	0,38	0,14	0,36
<970	0,68	0,69	- 0,39	- 0,21	- 0,38	- 0,22	0,37	0,46	0,36	0,37	0,46	0,08	0,33	0,26	0,14

Tableau 7.16 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et le vent résultant entre 70-40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).

Le vent au-dessus de cette région s'intensifie lorsque, les dépressions (tableau 7.16) :

- sont plus fréquentes,
- sont plus profondes,
- durent moins longtemps,
- apparaissent, se combent à des latitudes plus septentrionales,
- apparaissent à des longitudes plus occidentales,
- se déplacent plus rapidement.

- superficie des températures inférieures à - 2,5 °C, entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).

	Sup	Freq	P Mi	P My	Du	Dist	La Mi	La pre	La der	la Max	La	Lg pre	Lg der	Lg	Vit
<990	- 0,50	- 0,49	0,30	0,16	0,31	- 0,02	- 0,34	- 0,30	- 0,41	- 0,48	- 0,37	0,46	0,28	0,43	- 0,25
<980	- 0,46	- 0,39	0,35	0,07	0,28	0,02	- 0,39	- 0,35	- 0,42	- 0,41	- 0,42	0,24	- 0,01	0,12	- 0,24
<970	- 0,48	- 0,38	0,34	0,01	0,17	0,06	- 0,28	- 0,22	- 0,30	- 0,35	- 0,32	0,03	- 0,01	0,01	- 0,14

Tableau 7.17 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).

Plus les dépressions sont fréquentes, profondes, se déplacent à des latitudes septentrionales, plus la température de cet espace géographique augmente (tableau 7.17).

Dans cette région, on enregistre donc une baisse de la pression, associée à une accélération des vents et une hausse de la température, du fait de l'augmentation de la fréquence des dépressions profondes.

Par l'analyse des évolutions thermiques, barométriques et éoliennes, le cas échéant, nous avons pu mettre en lumière les grands fondements des mécanismes impliqués dans l'occurrence des dépressions profondes.

7.4.4 Résumé

Nous récapitulons les analyses précédentes entre certaines caractéristiques de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions qui permettent de décrire le processus d'occurrence des dépressions profondes.

- Dépressions inférieures à 990 hPa

	S <990	Freq <990	P Min	P Moy	Du	Dist	la pre	la der	Lat Min	Lat Max	la	Lg pre	Lg der	lg	vit
S<25°C	0,43	0,35	- 0,43	- 0,28	- 0,27	0,15	0,44	0,44	0,41	0,40	0,44	- 0,34	- 0,04	- 0,22	0,31
S<2,5°C	- 0,50	- 0,49	0,30	0,16	0,31	- 0,02	- 0,34	- 0,30	- 0,41	- 0,48	- 0,37	0,46	0,28	0,43	- 0,25
S>1020 9060 50130	- 0,71	- 0,69	0,48	0,32	0,72	- 0,10	- 0,69	- 0,66	- 0,73	- 0,74	- 0,73	0,76	0,26	0,60	- 0,60
S>1020 4010 120180	0,71	0,57	- 0,59	- 0,45	- 0,60	0,17	0,78	0,75	0,71	0,71	0,78	- 0,49	0,19	- 0,18	0,57
S>18°C	0,37	0,32	- 0,41	- 0,33	- 0,33	- 0,15	0,52	0,48	0,44	0,42	0,47	- 0,43	- 0,30	- 0,41	0,10
Freq AME	- 0,60	- 0,54	0,49	0,41	0,38	- 0,12	- 0,38	- 0,31	- 0,40	- 0,37	- 0,40	0,30	0,02	0,19	- 0,37
lat pre AME	- 0,61	- 0,51	0,47	0,28	0,35	- 0,28	- 0,44	- 0,45	- 0,49	- 0,50	- 0,49	0,45	0,06	0,31	- 0,50
lat der AME	- 0,50	- 0,43	0,26	0,15	0,29	- 0,27	- 0,37	- 0,35	- 0,43	- 0,39	- 0,41	0,19	- 0,14	0,03	- 0,46
vit alizés VV	0,53	0,47	- 0,52	- 0,40	- 0,49	0,08	0,59	0,50	0,55	0,53	0,58	- 0,39	0,02	- 0,22	0,42
vent	0,73	0,62	- 0,62	- 0,52	- 0,56	0,00	0,61	0,71	0,67	0,59	0,67	- 0,44	0,13	- 0,18	0,40

Tableau 7.18 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions inférieures à 990 hPa.

Lorsque la superficie des températures très basses augmente sur le bassin occidental de l'Arctique (tableau 7.18), la superficie et le creusement augmentent tandis que les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes des dépressions se décalent vers le nord.

Lorsque la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C sur l'Atlantique nord-est, diminue:

- la superficie, la fréquence, les latitudes minimales, maximales des dépressions augmentent,
- les longitudes d'apparition et moyennes sont plus occidentales.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, au nord-est du continent nord américain, diminue :

- la superficie, la fréquence, le creusement, la durée, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes et la vitesse de déplacement, des dépressions augmentent,
- les longitudes d'apparition et moyennes des dépressions sont plus occidentales.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, au sud du 40° parallèle, augmente:

- la superficie, la fréquence, le creusement, la durée, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes et la vitesse de déplacement des dépressions, augmentent,
- les longitudes d'apparition des dépressions sont plus occidentales.

Lorsque la superficie des températures supérieures à 18 °C sur le Golfe du Mexique, augmente:

- le creusement, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes, des dépressions augmentent,
- les longitudes d'apparition et moyennes des dépressions sont plus occidentales.

Lorsque la fréquence des AMP américano-atlantiques diminue, la superficie, la fréquence, le creusement, les latitudes minimales, moyennes et la vitesse de déplacement des dépressions augmentent.

Lorsque les latitudes d'apparition des AMP américano-atlantiques sont plus méridionales :

- la superficie, la fréquence, le creusement, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes et la vitesse de déplacement des dépressions augmentent,
- les longitudes d'apparition et moyennes des dépressions sont plus occidentales.

Lorsque les latitudes d'agglutination des AMP américano-atlantiques sont plus méridionales, la superficie, la fréquence, les latitudes minimales, moyennes, la vitesse de déplacement, des dépressions augmentent.

Lorsque la vitesse des alizés augmente :

- la superficie, la fréquence, le creusement, la durée, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes, la vitesse de déplacement, des dépressions augmentent,
- les longitudes d'apparition des dépressions sont plus occidentales.

- Dépressions inférieures à 980 hPa

	S <980	Freq <980	P Min	P Moy	Du	Dist	La pre	la der	Lat Min	Lat Max	la	Lg pre	lg der	lg	vit
S<25°C	0,44	0,44	- 0,35	- 0,20	- 0,25	0,01	0,38	0,37	0,35	0,32	0,32	- 0,16	0,09	- 0,04	0,22
S<2,5°C	- 0,46	- 0,39	0,35	0,07	0,28	0,02	- 0,39	- 0,35	- 0,41	- 0,42	- 0,42	0,24	- 0,01	0,12	- 0,24
S>1020 9060 50130	- 0,65	- 0,67	0,31	0,10	0,65	0,06	- 0,59	- 0,58	- 0,60	- 0,60	- 0,59	0,53	- 0,02	0,31	- 0,51
S>1020 4010 120180	0,70	0,64	- 0,51	- 0,30	- 0,47	0,02	0,65	0,63	0,62	0,53	0,54	- 0,25	0,37	0,09	0,44
S>18°C	0,38	0,37	- 0,41	- 0,26	- 0,39	- 0,26	0,55	0,48	0,44	0,42	0,49	- 0,22	0,06	- 0,08	0,06
Freq AME	- 0,53	- 0,56	0,39	0,25	0,24	- 0,03	- 0,28	- 0,19	- 0,29	- 0,29	- 0,24	0,03	- 0,07	0,00	- 0,24
lat pre AME	- 0,55	- 0,50	0,42	0,15	0,25	- 0,17	- 0,39	- 0,44	- 0,41	- 0,40	- 0,42	0,25	- 0,10	0,09	- 0,40
lat der AME	- 0,50	- 0,34	0,36	0,16	0,07	- 0,17	- 0,37	- 0,34	- 0,38	- 0,33	- 0,32	- 0,01	- 0,23	- 0,14	- 0,27
vit alizés VV	0,51	0,54	- 0,45	- 0,25	- 0,39	- 0,07	0,53	0,41	0,47	0,43	0,38	0,07	- 0,10	0,23	0,26
vent	0,74	0,69	- 0,53	- 0,35	- 0,48	- 0,07	0,49	0,61	0,56	0,48	0,57	- 0,18	0,38	0,14	0,36

Tableau 7.19 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions inférieures à 980 hPa.

Lorsque la superficie des températures très basses augmente sur le bassin occidental de l'Arctique (tableau 7.19), la superficie, la fréquence, le creusement des dépressions augmentent.

Lorsque la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C sur l'Atlantique nord-est, diminue, la superficie, les latitudes minimales, maximales, moyennes des dépressions augmentent.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, au nord du continent nord américain, diminue :

- la superficie, la fréquence, la durée, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes, la vitesse de déplacement des dépressions augmentent,
- les longitudes d'apparition des dépressions sont plus occidentales.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, au sud du 40° parallèle, augmente, la superficie, la fréquence, le creusement, la durée, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes, la vitesse de déplacement des dépressions, augmentent.

Lorsque la superficie des températures supérieures à 18 °C sur le Golfe du Mexique, augmente, le creusement, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes, des dépressions augmentent.

Lorsque la fréquence des AMP américano-atlantiques, diminue, la superficie et la fréquence des dépressions augmentent.

Lorsque les latitudes d'apparition des AMP américano-atlantiques sont plus méridionales, la superficie, la fréquence, le creusement, les latitudes de comblement, minimales, maximales, moyennes, la vitesse de déplacement, des dépressions augmentent.

Lorsque les latitudes d'agglutination des AMP américano-atlantiques sont plus méridionales, la superficie des dépressions augmente.

Lorsque la vitesse des alizés augmente, la superficie, la fréquence, le creusement, la durée, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes des dépressions augmentent.

En résumé, les dépressions sont plus profondes, se déplacent plus rapidement à des latitudes plus septentrionales quand :

- les anticyclones sont moins fréquents, plus froids et qu'ils se déplacent plus au sud,
- les alizés sont puissants et qu'ils apportent beaucoup de chaleur et de potentiel énergétique sur la façade ouest de l'Océan Atlantique

- Dépressions inférieures à 970 hPa

	S <970	Freq <970	P Min	P Moy	Du	Dist	la pre	La der	Lat Min	Lat Max	la	Lg pre	lg der	lg	vit
S<25°C	0,40	0,44	- 0,27	- 0,11	- 0,37	- 0,28	0,37	0,25	0,32	0,25	0,20	0,00	0,03	- 0,02	0,05
S<-2,5°C	- 0,48	- 0,38	0,34	0,01	0,17	0,06	- 0,28	- 0,22	- 0,32	- 0,30	- 0,35	0,03	- 0,01	0,01	- 0,14
S>1020 9060 50130	- 0,60	- 0,59	0,14	0,10	0,50	0,29	- 0,46	- 0,41	- 0,47	- 0,41	- 0,43	0,04	- 0,14	- 0,05	- 0,19
S>1020 4010 120180	0,65	0,65	- 0,31	- 0,16	- 0,40	- 0,22	0,47	0,37	0,48	0,38	0,37	0,00	0,28	0,19	0,17
S>18°C	0,37	0,42	- 0,32	- 0,25	- 0,35	- 0,36	0,52	0,36	0,48	0,44	0,51	0,07	0,08	0,07	- 0,15
Freq AME	- 0,47	- 0,50	0,24	0,11	0,36	0,27	- 0,24	- 0,02	- 0,19	- 0,18	- 0,07	- 0,12	0,02	- 0,04	- 0,03
lat pre AME	- 0,53	- 0,52	0,33	0,05	0,28	0,10	- 0,32	- 0,31	- 0,35	- 0,31	- 0,34	0,00	- 0,12	- 0,05	- 0,24
lat der AME	- 0,46	- 0,38	0,17	0,00	0,11	0,06	- 0,23	- 0,20	- 0,24	- 0,13	- 0,14	- 0,16	- 0,08	- 0,13	- 0,10
vit alizés VV	0,45	0,62	- 0,09	- 0,03	- 0,46	- 0,32	0,42	0,26	0,40	0,32	0,29	0,12	0,21	0,18	0,06
vent	0,68	0,69	- 0,39	- 0,21	- 0,38	- 0,22	0,37	0,46	0,36	0,37	0,46	0,08	0,33	0,26	0,14

Tableau 7.20 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions inférieures à 970 hPa.

Lorsque la superficie des températures très basses augmente sur le bassin occidental de l'Arctique (tableau 7.20), la superficie, la fréquence des dépressions augmentent.

Lorsque la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C sur l'Atlantique nord-est, diminue, la superficie des dépressions augmente.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020hPa, au nord du continent nord américain, diminue, la superficie, la fréquence, la durée, les latitudes de création, de comblement, minimales, maximales, moyennes, la vitesse de déplacement des dépressions augmentent.

Lorsque la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa, au sud du 40° parallèle, augmente, la superficie, la fréquence, les latitudes maximales, moyennes, la vitesse de déplacement des dépressions augmentent.

Lorsque la superficie des températures supérieures à 18 °C sur le Golfe du Mexique, augmente, la fréquence, les latitudes de création, minimales, maximales, moyennes, des dépressions augmentent.

Lorsque la fréquence des AMP américano-atlantiques, diminue, la superficie et la fréquence des dépressions augmentent.

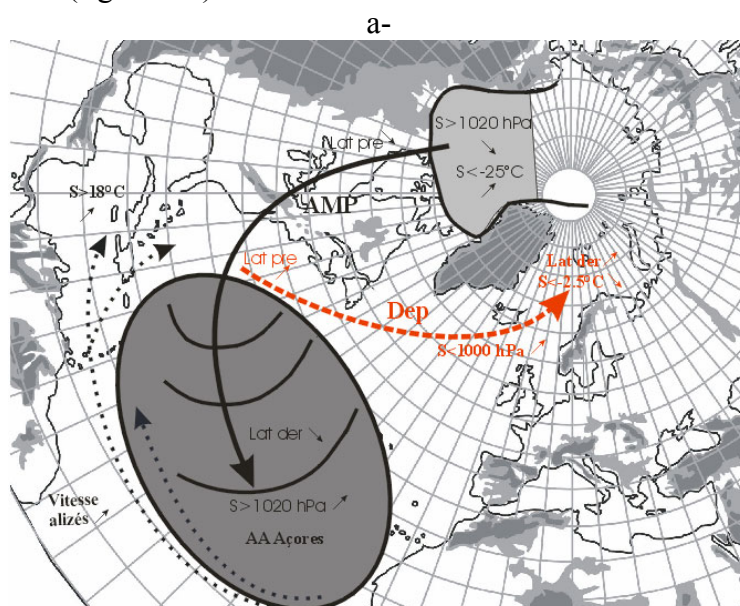
Lorsque les latitudes d'apparition des AMP américano-atlantiques sont plus méridionales, la superficie et la fréquence, des dépressions augmentent.

Lorsque les latitudes d'agglutination des AMP américano-atlantiques sont plus méridionales, la superficie et la fréquence, des dépressions augmentent.

Lorsque la vitesse des alizés augmente, la superficie, la fréquence, la durée, les latitudes de création, minimales, maximales, moyennes des dépressions augmentent.

Les mécanismes sont équivalents quel que soit le seuil de pression considéré, mais on constate une baisse de la significativité pour les dépressions très profondes. Ceci est parfaitement logique, puisque l'échantillon de départ est moins important. En effet, si une dépression très creuse a des caractéristiques atypiques (pour des raisons environnementales précises) celle ci «influencera» fortement les résultats statistiques.

Mais il reste possible grâce à ces constats de schématiser les processus responsables des dépressions profondes (figure 7.7).



La couleur des ellipses représente les valeurs des pressions de surface: le foncé correspond à des hautes pressions, le clair correspond à des pressions plus faibles. Nous rappelons encore une fois pour ne pas dérouter le lecteur que les mesures de pression représentent les valeurs par rapport à la moyenne sur la période 1950-2000 et c'est donc la dynamique des anticyclones qui explique qu'une faible pression polaire engendre des pressions élevées dans la zone subtropicale.

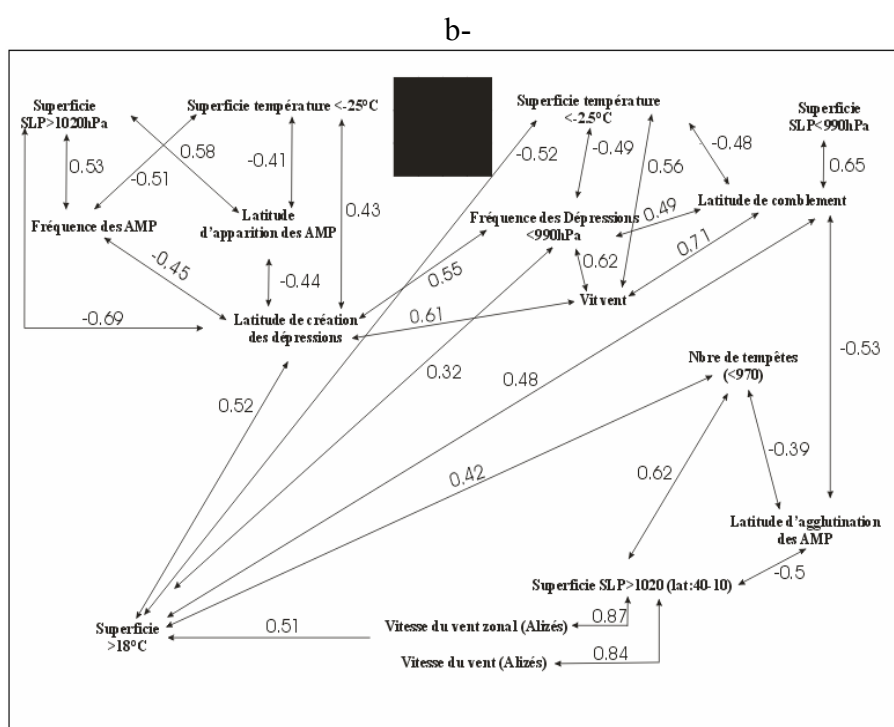


Figure 7.7 Schémas de cyclogenèse des dépressions inférieures à 990 hPa en JFM. a- graphique et b-corrélations entre les éléments de la circulation. Le carré noir en haut au centre est la représentation schématique du Groenland. Les coefficients de corrélation ont une significativité à 98%.

Notre méthode d'analyse basée sur les caractéristiques des anticyclones et les évolutions barométriques, thermiques et anémométriques de certains espaces géographiques remarquables, nous a permis de définir les éléments concourant à l'occurrence des dépressions profondes.

Lors des périodes de mode contrasté, la température baisse sur l'ouest du bassin arctique. Les AMP américano-atlantiques en étant issus sont donc plus froids et renforcent l'AAA (en fin de leurs parcours). Les alizés sont ainsi plus puissants (rapides et relativement plus chauds) et de ce fait la température sur le Golfe du Mexique augmente. De plus, cet air, en remontant vers les hautes latitudes va rencontrer l'air froid anticyclonique. Finalement, du fait de ce gradient thermique intense et de l'affrontement qui en résulte sur la face avant des anticyclones, il y a création de dépressions profondes (figure 7.7 a et b).

Le gradient thermique (nous le répétons encore une fois, entre caractéristique thermique des anticyclones et des flux de sud), qui est l'élément principal de l'apparition des dépressions profondes, fonctionne ainsi comme un cercle vicieux ou vertueux (je n'ai pas à me prononcer).

Lorsque les AMP américano-atlantiques sont générés lors d'un déficit thermique intense sur la bassin arctique occidental, ils sont dès leur maturité (forme barométrique reconnaissable), très différents de leur environnement. Le gradient thermique générant les dépressions est rapidement atteint et ainsi les dépressions apparaissent à des latitudes particulièrement septentrionales. En revanche, en période de faible déficit thermique, les AMP américano-atlantiques mettent plus de temps à être cohérents et doivent atteindre des latitudes plus méridionales (donc naturellement plus chaudes) afin de trouver des conditions assez contrastées pour créer des dépressions. Mais ce gradient est forcément moindre, donc les dépressions sont moins profondes.

En résumé, en période active, le secteur nord du gradient se refroidit. Par l'intermédiaire des éléments de la circulation générale, ce refroidissement entraîne une hausse de la température sur le secteur sud du gradient. Ainsi, tant que le refroidissement s'intensifie, il y a également intensification du réchauffement. Les dépressions sont dans ces conditions plus profondes. De la même façon le réchauffement du bassin occidental de l'arctique engendre directement et par rétroactions l'affaiblissement du gradient thermique.

La méthodologie développée ci-dessus peut être appliquée pour d'autres saisons (avec quelques nuances dues aux différences saisonnières).

7.2 Application de la méthode pour d'autres périodes

7.2.1 La saison automnale (OND)

Les tableaux suivants reprennent les mêmes systèmes d'analyses que ceux développés pour la période JFM. En fonction des différences de conditions climatiques entre l'automne et l'hiver, nous n'utilisons pas les mêmes seuils pour les conditions thermiques des régions 1 (- 15 °C au lieu de - 25 °C) et 5 (0 °C au lieu de - 2,5 °C).

- Pour les dépressions inférieures à 990 hPa

	S <990	Freq <990	P Min	P Moy	Du	Dist	la pre	La der	Lat Min	Lat Max	la	Lg pre	lg der	lg	vit
S<15°C	0,44	0,01	- 0,18	- 0,14	- 0,39	- 0,11	0,39	0,53	0,48	0,37	0,48	- 0,14	0,16	- 0,01	0,29
S<0°C	- 0,40	- 0,21	0,41	0,38	0,23	0,01	- 0,42	- 0,36	- 0,25	- 0,37	- 0,39	0,12	- 0,16	- 0,09	- 0,25
S>1020 9060 50130	- 0,72	- 0,25	0,43	0,39	0,47	- 0,02	- 0,63	- 0,59	- 0,43	- 0,59	- 0,61	0,23	- 0,15	0,02	- 0,54
S>1020 4010 120180	0,59	0,24	- 0,40	- 0,37	- 0,41	0,01	0,56	0,66	0,54	0,50	0,61	- 0,07	0,35	0,17	0,47
S>18°C	0,22	0,01	- 0,29	- 0,24	- 0,11	- 0,03	0,23	0,33	0,24	0,19	0,28	0,23	0,19	0,24	0,03
Freq AME	- 0,47	- 0,21	0,17	0,18	0,41	0,13	- 0,16	- 0,20	- 0,08	- 0,13	- 0,15	0,06	- 0,08	- 0,03	- 0,28
lat pre AME	- 0,44	- 0,14	0,24	0,20	0,41	- 0,05	- 0,61	- 0,59	- 0,54	- 0,58	- 0,61	- 0,01	- 0,32	- 0,21	- 0,50
lat der AME	- 0,32	- 0,35	- 0,01	0,04	0,46	0,21	- 0,37	- 0,49	- 0,43	- 0,40	- 0,44	0,11	- 0,01	0,06	- 0,23
vit alizés VV	0,41	0,30	- 0,33	- 0,31	- 0,28	- 0,10	0,23	0,23	0,07	0,11	0,18	0,18	0,35	0,34	0,18
vent	0,47	0,28	- 0,45	- 0,40	- 0,26	0,07	0,42	0,43	0,30	0,31	0,38	- 0,12	0,28	0,14	0,39

- Pour les dépressions inférieures à 980 hPa

	S <980	Freq <980	P Min	P Moy	Du	Dist	la pre	La der	Lat Min	Lat Max	la	Lg pre	lg der	lg	vit
S<15°C	0,51	0,14	- 0,07	- 0,09	- 0,34	- 0,10	0,30	0,46	0,45	0,28	0,39	- 0,05	0,12	0,03	0,24
S<0°C	- 0,37	- 0,46	0,22	0,22	0,21	0,15	- 0,32	- 0,32	- 0,21	- 0,25	- 0,30	0,15	0,01	0,07	- 0,04
S>1020 9060 50130	- 0,66	- 0,43	0,30	0,30	0,37	0,04	- 0,48	- 0,52	- 0,43	- 0,50	- 0,51	0,09	- 0,15	- 0,05	- 0,33
S>1020 4010 120180	0,63	0,44	- 0,28	- 0,27	- 0,48	- 0,03	0,48	0,61	0,56	0,49	0,58	0,01	0,25	0,13	0,45
S>18°C	0,21	0,12	0,11	0,10	- 0,07	0,11	0,13	0,26	0,30	0,17	0,24	0,01	0,15	0,06	0,20
Freq AME	- 0,34	- 0,25	0,08	0,12	0,24	0,00	- 0,15	- 0,22	- 0,18	- 0,23	- 0,22	- 0,04	- 0,22	- 0,15	- 0,23
lat pre AME	- 0,43	- 0,25	0,16	0,08	0,34	- 0,06	- 0,50	- 0,47	- 0,45	- 0,51	- 0,50	0,21	- 0,07	0,03	- 0,40
lat der AME	- 0,29	- 0,10	0,13	0,21	0,37	0,16	- 0,18	- 0,32	- 0,39	- 0,31	- 0,29	0,05	- 0,05	0,02	- 0,19
vit alizés VV	0,41	0,46	- 0,19	- 0,22	- 0,19	- 0,04	0,17	0,27	0,16	0,14	0,21	0,21	0,30	0,27	0,14
vent	0,5	0,60	- 0,20	- 0,17	- 0,23	0,06	0,36	0,42	0,36	0,35	0,40	- 0,03	0,21	0,11	0,31

- Pour les dépressions inférieures à 970 hPa

	S <970	Freq <970	P Min	P Moy	Du	Dist	la pre	La der	Lat Min	Lat Max	la	Lg pre	lg der	lg	vit
S<15°C	0,49	0,07	- 0,44	- 0,25	- 0,12	- 0,03	0,19	0,41	0,36	0,14	0,33	0,01	0,13	0,08	0,03
S<0°C	- 0,29	- 0,36	0,17	0,16	0,18	0,20	0,07	- 0,10	- 0,07	0,03	- 0,04	- 0,06	- 0,04	- 0,06	0,14
S>1020 9060 50130	- 0,54	- 0,44	0,39	0,27	0,26	0,19	- 0,04	- 0,31	- 0,35	- 0,14	- 0,24	- 0,02	- 0,04	- 0,01	0,04
S>1020 4010 120180	0,56	0,48	- 0,36	- 0,20	- 0,27	- 0,07	0,18	0,42	0,47	0,22	0,36	0,04	0,15	0,11	0,16
S>18°C	0,19	0,02	- 0,17	- 0,25	- 0,14	- 0,02	0,30	0,37	0,28	0,24	0,34	0,20	0,16	0,23	0,06
Freq AME	- 0,25	- 0,20	0,19	0,40	0,37	0,32	0,10	- 0,15	- 0,28	- 0,04	- 0,11	- 0,22	- 0,05	- 0,15	0,16
lat pre AME	- 0,29	- 0,24	0,26	- 0,02	0,09	- 0,16	- 0,33	- 0,32	- 0,40	- 0,36	- 0,39	0,31	- 0,03	0,13	- 0,33
lat der AME	- 0,23	- 0,19	0,09	0,14	0,18	0,04	- 0,12	- 0,23	- 0,36	- 0,26	- 0,19	- 0,01	- 0,06	- 0,04	- 0,04
vit alizés VV	0,36	0,37	- 0,23	- 0,20	- 0,18	- 0,10	- 0,01	0,22	0,27	0,04	0,15	0,16	0,25	0,23	0,08
vent	0,4	0,50	- 0,18	- 0,26	- 0,32	- 0,26	- 0,03	0,28	0,28	0,02	0,19	0,20	0,16	0,21	- 0,07

Tableau 7.21 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions en OND. (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980 hPa, (c) inférieures à 970 hPa.

Les mécanismes sont donc similaires à ceux présentés pour la période hivernale mais avec des coefficients de corrélation plus faibles marquant une pertinence moindre des processus durant cette période (tableau 7.21).

7.2.2 Les dépressions inférieures à 960 hPa en ONDJFM

La dernière partie de cette étude est consacrée à la problématique de départ de cette thèse. Nous essayons de montrer pourquoi et comment les dépressions profondes sur l'Atlantique nord ont connu une évolution très nette en deux phases de part et d'autre de l'année charnière 1969 (figure 7.1) :

- une baisse de la fréquence de 1950 à 1969 (avec l'absence en 1969 et 1970),
- une hausse du nombre des dépressions profondes de 1970 à 2000 (avec deux maxima en 1989-1990).

	S <960	Freq <960	P Min	P Moy	Du	Dist	la pre	La der	Lat Min	Lat Max	la	Lg pre	lg der	lg	vit
S<20°C	-0,06	-0,32	-0,24	-0,13	-0,03	-0,04	0,10	0,02	0,08	0,10	0,05	-0,02	0,16	-0,12	-0,06
S<1,5°C	0,46	0,32	-0,21	-0,01	-0,09	0,03	0,02	0,07	0,06	0,04	0,13	-0,11	0,07	-0,03	0,15
S>1020 9060 50130	-0,48	-0,58	0,09	-0,22	-0,11	-0,36	-0,13	-0,13	-0,13	-0,01	-0,27	0,29	-0,02	0,17	-0,41
S>1020 4010 120180	0,41	0,31	-0,17	0,17	0,23	0,52	0,46	0,53	0,54	0,44	0,56	0,07	0,90	0,69	0,56
S>18°C	0,33	0,45	-0,25	0,10	0,03	-0,03	0,05	0,07	0,09	0,08	0,14	-0,05	-0,02	-0,04	-0,02
Freq AME	-0,38	-0,52	0,09	-0,15	-0,04	-0,29	-0,36	-0,18	-0,29	-0,26	-0,32	0,21	-0,21	-0,06	-0,31
lat pre AME	-0,45	-0,44	0,10	-0,20	-0,04	-0,20	-0,30	-0,36	-0,38	-0,32	-0,38	0,21	-0,15	-0,02	-0,22
lat der AME	-0,37	-0,48	0,04	-0,22	0,03	-0,23	-0,10	-0,14	-0,19	-0,03	-0,31	0,24	0,02	0,15	-0,35
vit alizés VV	0,68	0,55	-0,38	0,00	0,03	0,30	0,22	0,31	0,31	0,23	0,36	-0,34	0,26	0,00	0,40
vent	0,58	0,58	-0,32	0,03	0,01	0,19	0,11	0,13	0,15	0,12	0,17	-0,33	0,11	-0,10	0,22

Tableau 7.22 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions <960 hPa en ONDJFM 1950 à 2000.

En reprenant les acquis des analyses précédentes nous pouvons affirmer que les dépressions profondes ont été de moins en moins fréquentes durant les vingt premières années jusqu'à l'absence en 1969-1970, parce que l'espace aérologique nord atlantique a connu durant cette période une circulation atmosphérique en mode «homogène» initié par un réchauffement du bassin arctique occidental (tableau 7.22). Ce mode est marqué par :

- la fréquence plus élevée des anticyclones,
- une Agglutination Anticyclonique des Açores moins puissante, générant des alizés affaiblis,
- un gradient thermique moindre sur la côte atlantique de l'Amérique du nord engendrant des dépressions moins nombreuses et moins puissantes,
- ces dépressions du fait de leur moindre creusement restent confinées plus bas en latitude et donc apportent moins de chaleur et de précipitation sur les hautes latitudes entre Groenland et Scandinavie.

En revanche depuis le tournant climatique des années 1969-70, on enregistre un basculement la circulation atmosphérique vers le mode contrasté du fait du refroidissement du bassin arctique occidental. Les conséquences de la récurrence de ce mode sont multiples :

- moins d'anticyclones et exclusivement concentrés sur la trajectoire nord américaine,
- une Agglutination Anticyclonique des Açores plus puissante, générant des alizés renforcés,
- un gradient thermique accru sur la côte atlantique de l'Amérique du nord, engendrant des dépressions plus nombreuses et plus puissantes,
- ces dépressions du fait de l'absence d'anticyclone groenlando-scandinaves et du gradient accentué peuvent atteindre le stade de dépressions profondes, remonter haut en latitude et ainsi apporter plus de chaleur et de précipitation sur les hautes latitudes entre Groenland et Scandinavie.

7.2.3 Les tempêtes de décembre 1999 sur l'Europe occidentale

L'application doit aboutir à l'échelle des dépressions individuelles notamment lorsque celles-ci sont très profondes. Tel fut le cas des tempêtes du 26 et des 27/28 décembre 1999. Ces événements météorologiques remarquables par leur violence et leurs conséquences environnementales, ont généré beaucoup de recherches. Ainsi, plusieurs positions explicatives cohabitent.

D'un côté, Météo-France, dans un document accessible sur le site internet de l'institution, explique l'occurrence de ces tempêtes par l'existence d'un courant-jet d'altitude et d'un rail

des dépressions (stormtrack). Ainsi «*tout se met en route dès qu'on touche le courant-jet, le rail des dépressions*». L'explication pour Météo-France est donc à chercher en altitude.

D'un autre côté, en conservant notre méthode d'analyse, nous montrons les caractéristiques thermiques et barométriques des régions géographiques utilisées dans les analyses précédentes pour le mois de décembre 1999 afin de voir si les mécanismes des deux tempêtes (Lothar et Martin) s'intègrent à nos conclusions.

	S>1020 hPa 9060 50130 (nord Canada)	S>1020 hPa 4010 120200 (Açores)	S<990 hPa 9060 150200 (entre Groenland et Scandinavie)
S>1020 hPa 9060 50130 (130-50°O)	1		
S>1020 hPa 4010 120180 (60°O-0)	- 0,41	1	
S<990 hPa 9060 150200 (30°O-20°E)	- 0,46	0,52	1

Tableau 7.23 Coefficients de corrélation entre les superficies de pression dans les différentes régions géographiques remarquables durant la seconde quinzaine de décembre 1999.

	S<-25°C 9060 50130 (nord Canada)	S>20°C 4010 120200 (Açores)	S>18°C 4010 80120 (Golfe Mexique, Caraïbes, Sargasses)	S<-2,5°C 9060 150200 (entre Groenland et Scandinavie)
S<-25°C 9060 50130 (130-50°O)	1			
S>20°C 4010 120180 (60°O-0)	- 0,44	1		
S>18°C 4010 80120 (100-60°O)	- 0,03	0,19	1	
S<-2,5°C 9060 150200 (30°O-20°E)	- 0,09	0,30	- 0,71	1

Tableau 7.24 Coefficients de corrélation entre les superficies de température dans les différentes régions géographiques remarquables durant la seconde quinzaine en décembre 1999.

Les processus d'apparition des dépressions profondes sur la période 1950-2000 ont été décrits dans les analyses précédentes. Les évolutions barométriques, thermiques de certains espaces géographiques remarquables en fonction des caractéristiques des AMP concourent à l'occurrence des dépressions profondes. En effet, lors des périodes de mode contrasté, le déficit thermique sur l'ouest du bassin arctique s'accroît. Les AMP américano-atlantiques en étant issus sont donc plus froids et renforcent l'AA des Açores. Les alizés sont ainsi plus puissants (rapides et relativement plus chauds) et de ce fait la température sur le Golfe du Mexique et la Mer des Caraïbes et des Sargasses augmente. De plus, cet air, en remontant vers les hautes latitudes va rencontrer l'air froid anticyclonique. Finalement, du fait de ce gradient thermique intense et de l'affrontement qui en résulte sur la face avant des anticyclones, il y a création de dépressions profondes.

D'après les tableaux 7.23 et 7.24 et la figure 7.8, ce schéma est bien respecté durant la seconde quinzaine de décembre 1999 :

- lorsque la superficie de températures inférieures à - 25 °C dans l'espace 90-60 °N 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) augmente (donc que le déficit thermique augmente), on note simultanément la diminution de la superficie de pression,
- dans ces conditions, la superficie de l'AA des Açores augmente, ceci accompagné d'une baisse de la température. Les coefficients de corrélation entre les températures inférieures à - 25 °C dans l'espace 90-60 °N 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) et les températures supérieures à 20 °C dans l'espace 40-10 °N 120-180° (60°O-0) (Açores) et entre les pressions supérieures à 1020 hPa dans l'espace 90-60 °N 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) et les pressions supérieures à 1020 hPa dans l'espace 40-10 °N 120-180° (60°O-0) (Açores) sont respectivement de $R = - 0,44$ et $- 0,40$.

- on constate également une hausse de la température sur la façade occidentale de l'Océan Atlantique (même s'il n'y a pas de simultanéité (figure 7.8 C)),
- finalement, avec l'existence des deux tempêtes, il y a augmentation de la superficie de pression inférieures à 990 hPa et hausse de la température sur la région 90-60 °N 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) (figure 7.8 B)

Mais il faut noter l'absence de lien entre les deux façades de l'Océan Atlantique aux latitudes inférieures à 40 °N où le coefficient de corrélation n'est pas significatif ($R = 0,19$).

Les flèches sur les graphiques suivants (figure 7.8) marquent la succession dans la mise en place des éléments atmosphériques concourant à l'existence des tempêtes. Le déficit thermique au nord du continent nord américain entraîne une baisse de la pression (figure 7.8 A). Par le biais d'AMP américano-atlantique plus froids mais plus denses, la superficie de pression de l'AA des Açores augmente (figure 7.8 B). Sur la façade occidentale de l'Océan Atlantique, la température augmente par l'arrivée d'air relativement chaud au sein des alizés (figure 7.8 C). Ces alizés arrivant dans le Golfe du Mexique, bloqués par les AMP américano-atlantiques situés au nord n'ont d'autre choix que de s'écouler rapidement vers le nord-est. Finalement, les deux tempêtes circulant sur l'Atlantique nord entraînent l'augmentation de la température et la diminution de la pression entre le Groenland et la Scandinavie (figure 7.8 D).

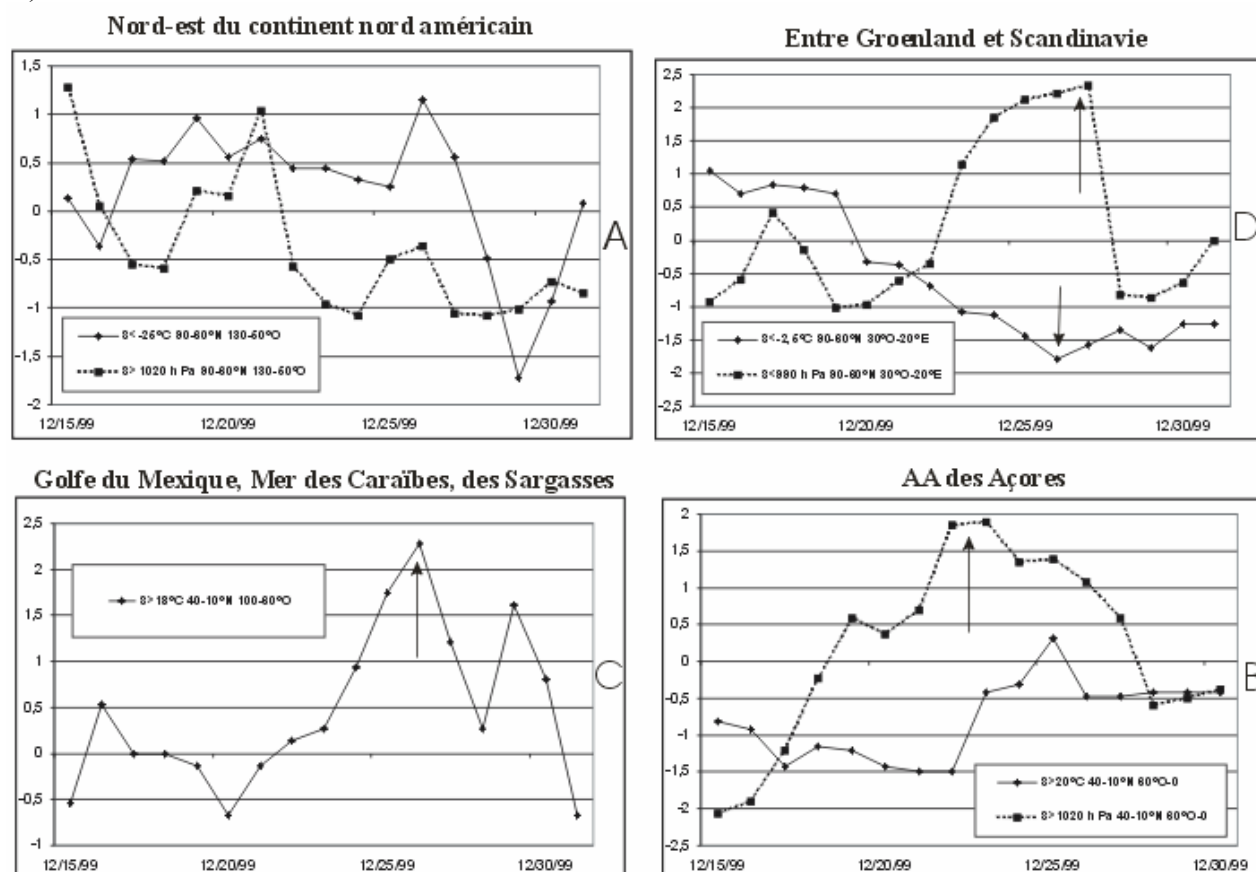


Figure 7.8 Séries temporelles des superficies de température, de pression, dans les différents secteurs géographiques remarquables, du 15 au 31 décembre 1999.

Enfin sur la figure 7.9, nous étudions les conditions moyennes de pression sur la période du 24-29 décembre 1999, puisque ces dates englobent les deux situations. Nous retrouvons bien

les grandes caractéristiques décrites précédemment avec une Agglutination des Açores qui recouvre la totalité de l'Atlantique. En conclusion, Lothar et Martin ont connu un cycle d'existence semblable au schéma défini dans ce chapitre.

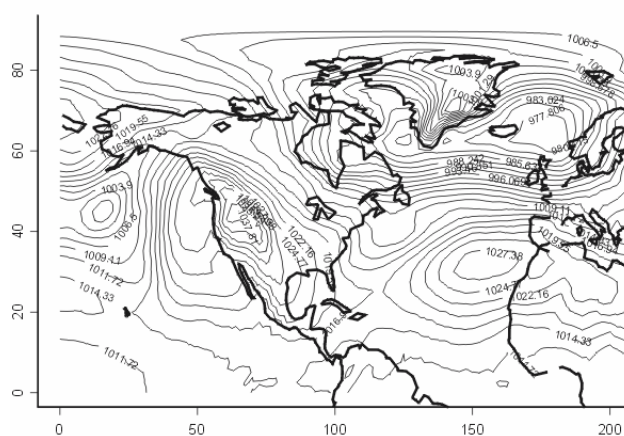


Figure 7.9 Situation moyenne entre le 24 et 29 décembre 1999. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Afin de compléter cette illustration, nous montrons deux graphiques résumant deux épisodes tempétueux démontrant bien la répétition des processus à petite échelle concourant à l'apparition des dépressions profondes (c'est-à-dire entre autres, des hautes pressions sur l'Amérique du nord et sur les Açores) (figure 7.10).

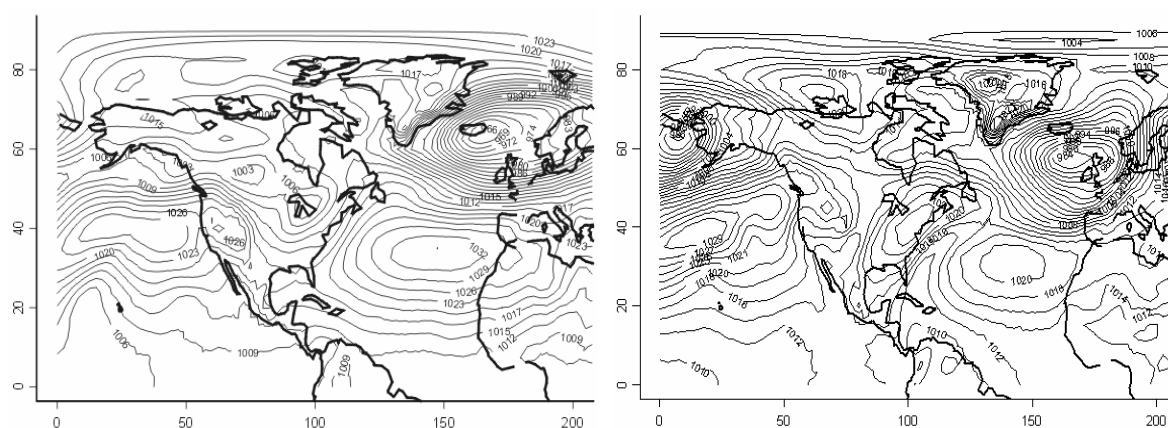


Figure 7.10 Situations moyennes entre le 23 et 27 janvier 1990 (gauche) et le 13 et 16 octobre 1987 (droite). Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Les constats précédents répondent donc bien au schéma défini dans ce chapitre. En revanche, l'algorithme éprouve des difficultés à faire ressortir les trajectoires exactes de ces deux tempêtes. De ce fait, afin de visualiser les itinéraires des deux tempêtes nous utilisons les cartes quotidiennes de pression réduites au niveau de la mer entre le 24 et 29 décembre issues :

- de NCEP/NCAR (figure 7.11),
- des Bulletins Météorologiques Européens (BME) (figure 7.12),

sur lesquels nous surimposons les déplacements des éléments aérologiques protagonistes (c'est-à-dire, A1 = anticyclone ayant commandé la première tempête D1 du 26 décembre et A2 = l'anticyclone ayant commandé la seconde tempête D2 du 27/28 décembre) de ces événements météorologiques.

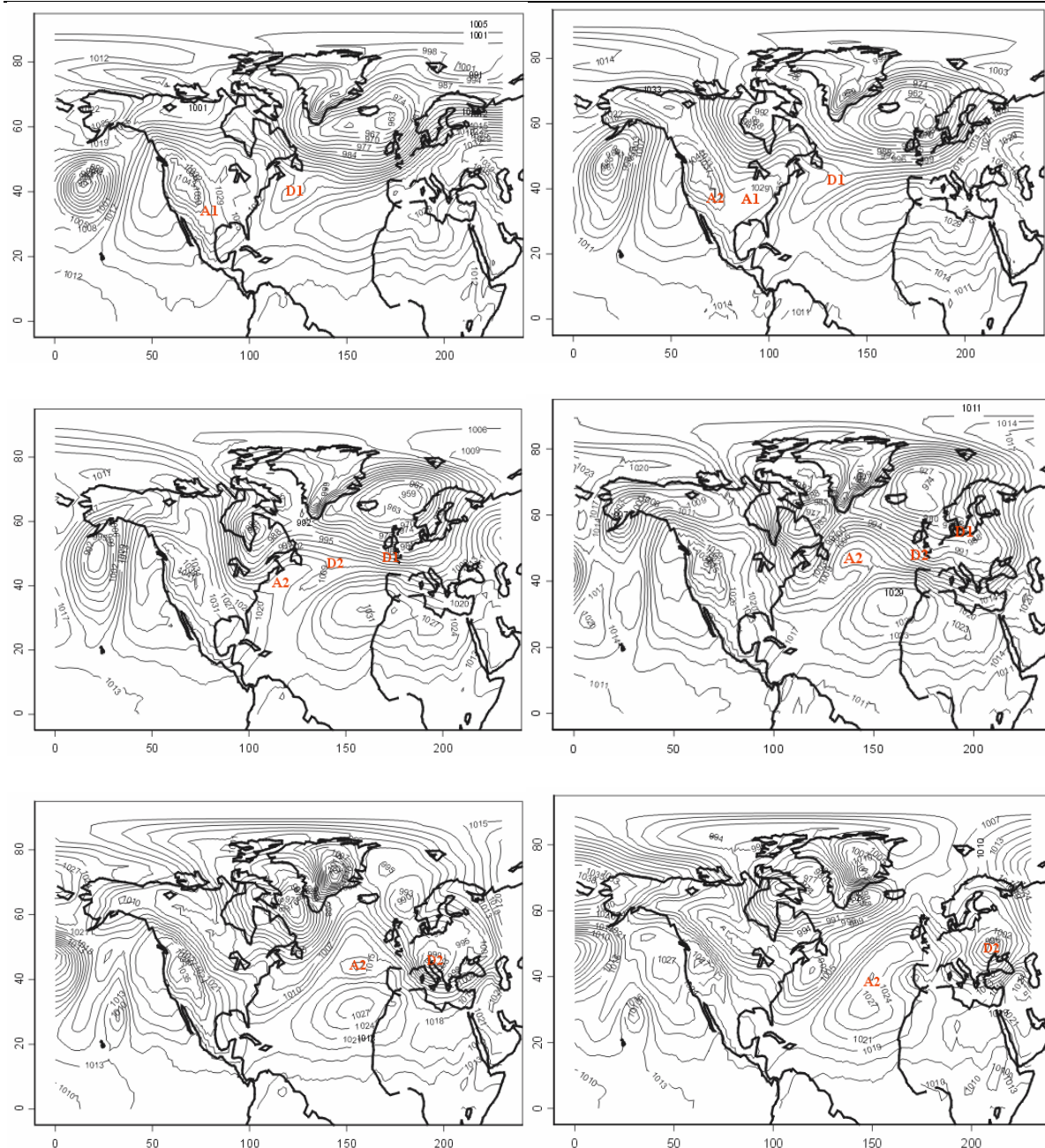


Figure 7.11 Cartes synoptiques (NCEP/NCAR) du 24 au 29 décembre 1999 avec les anticyclones et les dépressions protagonistes. La lecture se fait de droite à gauche et de haut en bas. Pour les longitudes, 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.

Sur les BME du 24 au décembre 1999, la structure aérologique qui a engendré les deux tempêtes du 26 et 27/28 décembre apparaît clairement (figure 7.12). On observe :

- la succession sur le continent nord américain d'anticyclones ayant des pressions élevées (1040 hPa),
- la présence d'une Agglutination Anticyclonique des Açores très étendue et intense (1030 hPa),
- des alizés rapides (entre 20 et 30 nœuds).

Cet agencement oblige l'air tropical à s'écouler rapidement vers l'Europe. Ces analyses à partir de cartes synoptiques sont donc efficaces mais revêtent une part de subjectivité que cette thèse a tenté d'atténuer.

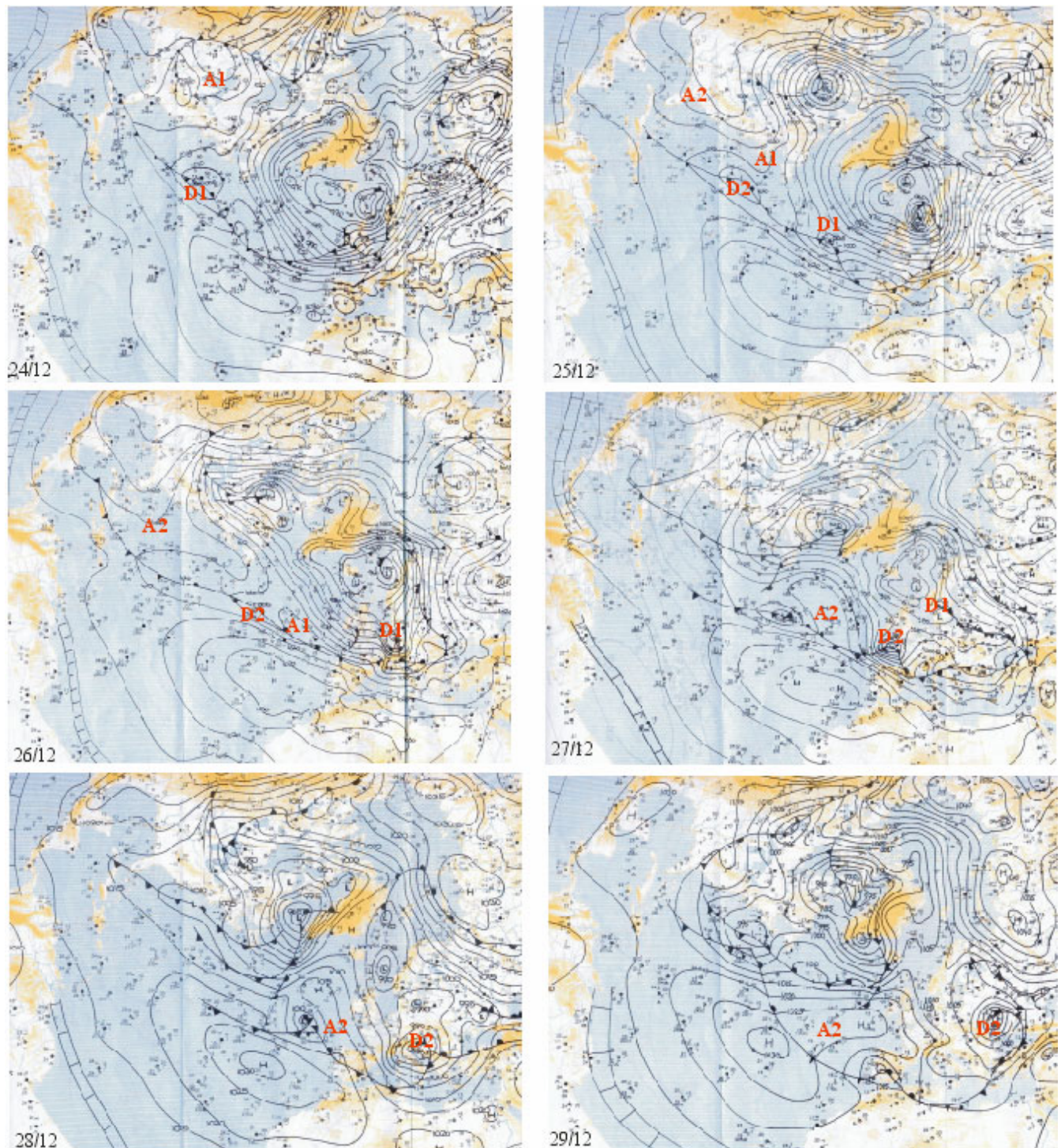


Figure 7.12 BME du 24 au 29 décembre 1999 avec les anticyclones et les dépressions protagonistes.

En résumé, l'algorithme atteint donc ses limites lorsqu'il s'agit d'analyser des événements météorologiques particulièrement violents. En effet, les vitesses de déplacement des deux

tempêtes excèdent la vitesse seuil de l'algorithme (fixée à 35 km/h), avec respectivement 45 km/h entre le 24 et le 26 décembre pour la première tempête et 40 km/h entre le 26 et le 29 décembre 1999 pour la seconde. La base de données des dépressions reste toutefois parfaitement pertinente pour le type d'étude que nous avons conduit (cf. figure 2.8 et 2.9). De plus, si l'on compare les deux jeux de cartes (figure 7.11 et 7.12), nous pouvons également poser la question de l'implication de la résolution des données NCEP/NCAR dans ce constat de difficultés. Ainsi, les «responsabilités» sont sans doute à partager entre la structure de l'algorithme et les données.

Pour pallier ces manques, il faudra donc dans le futur:

- améliorer l'algorithme en affinant les seuils limitatifs, voire envisager des seuils variables selon les phénomènes ou les saisons,
- utiliser des données à résolution plus fine comme les données ECMWF Re-Analysis : ERA-40 ou ERA-15 (full resolution) de l'European Center for Medium-Range Weather Forecasts et des données issues de modèle (comme le modèle canadien si cela est envisageable). Il faut noter ici que nous n'avons pas utilisé les données ERA dès le départ car nous voulions utiliser les données offrant la plus grande durée et dans ce cadre les données NCEP/NCAR sont supérieures parce qu'elles couvrent la période la plus longue.

7.3 Conclusions

Les études successives (évolutions des anticyclones et des dépressions, circulation générale de basses couches, indice de la dynamique aérologique) ont pu sembler assez éloignées du sujet au lecteur en première analyse. Mais nous espérons qu'au terme de la lecture, le cheminement apparaît comme pertinent : le recoupement des résultats des quatre premiers chapitres permettant de construire le dernier (ce qui explique que le lecteur ait pu avoir la sensation de redites).

Cet ensemble permettant en effet, de décrire de façon complète les mécanismes de la dynamique aérologique de l'espace nord atlantique et d'expliquer l'évolution de son intensité en deux phases successives de 1950 à 1969-70 et de 1970 à 2000.

Les dépressions profondes se produisent donc lors des périodes de récurrence du mode contrasté défini dans la partie circulation générale :

- l'occurrence de ces dépressions profondes relève d'une double dynamique ayant un moteur commun (le contraste thermique accru entre les anticyclones et leur environnement). Durant les phases de refroidissement du bassin arctique occidental :

- les AMP sur l'Amérique du Nord sont plus froids, donc le «contraste thermique» avec leur environnement est plus accentué et les ascendances renforcées,
- les flux advectés au sein des couloirs dépressionnaires sont plus intenses car issus par le biais des alizés de zones plus chaudes, du fait que les AMP précédents gardant plus longtemps leur cohérence ont été capables de former une AA des Açores plus étendue vers le sud et de pression plus élevée.

- les AMP américano-atlantiques agissent donc deux fois :

- l'anticyclone (noté 1) d'une situation donnée agit de façon directe lors de sa descente vers le sud-est. En effet, ce sont ses caractéristiques propres qui seront propices ou inhibitrices à la création d'un contraste thermique fort,
- les AMP américano-atlantiques précédents cette situation agissent de façon déphasée. Ils ont été générateurs d'alizés plus énergétiques alimentant en air chaud et

humide les futurs couloirs dépressionnaires, ceux-ci augmentant ainsi d'autant le contraste thermique avec l'anticyclone 1.

En résumé, l'évolution du nombre de dépressions profondes de 1950 à 2000, s'explique comme suit :

- durant les phases de refroidissement du bassin occidental de l'Arctique (1970-2000) les AMP américano-atlantiques sont plus froids. Par l'intermédiaire de la circulation générale, ce refroidissement entraîne une hausse de la température sur le secteur sud du gradient ainsi que dans la Mer de Norvège. Ainsi, tant que le refroidissement s'intensifie, le réchauffement s'accroît également. Cette situation entraîne donc une augmentation du nombre et de l'intensité des dépressions profondes.
- à l'opposé, les phases de réchauffement du bassin occidental de l'Arctique (1950-1970) engendre directement (froid moins intense des AMP américano-atlantiques) et par rétroactions (réductions de la taille de l'AAA, de la vitesse et du volume transporté par les alizés) l'affaiblissement du gradient thermique. Les contrastes entre air anticyclonique et l'environnement étant moindres, les dépressions sont moins profondes et moins intenses.

Ce schéma est pertinent mais des améliorations sont évidemment toujours possible :

- premièrement, nous devons trouver des solutions afin de repousser les limites de l'algorithme et des données qui sont apparues durant l'analyse des tempêtes de fin décembre 1999.
- dans un second temps, il faudra mieux prendre en compte l'environnement. Dans notre étude, les conditions environnementales se résument aux caractéristiques des alizés alimentant les couloirs dépressionnaires. Il faudrait, notamment pour améliorer le schéma, prendre en compte les situations synoptiques à l'avant de situations précises. En effet, la présence / absence d'un anticyclone ou d'une dépression sur l'Atlantique peut modifier les trajectoires des anticyclones et des dépressions suivantes.

Synthèse

Question de départ.

Peut-on expliquer la courbe de Franke (cf. figure 7.1) en conservant notre hypothèse selon laquelle la variabilité climatique peut être comprise par les caractéristiques des trajectoires des anticyclones et des dépressions. En d'autres termes est ce que notre simulation de l'activité synoptique permet de comprendre à petite échelle les phénomènes favorables à l'occurrence de dépressions profondes ?

Résultats.

- La dynamique atmosphérique conduisant à l'occurrence des dépressions profondes est une exacerbation du mode contrasté défini dans le chapitre concernant la circulation générale de surface.

- L'occurrence des dépressions profondes relève d'un double mécanisme qui a comme moteur commun les phases de refroidissement du bassin arctique occidental. Ainsi de 1970 à 2000 :

- le bassin arctique occidental se refroidissant, les AMP sur l'Amérique du Nord sont plus froids, donc le «contraste thermique» avec leur environnement est plus accentué et les ascendances renforcées,

- les flux advectés au sein des couloirs dépressionnaires sont plus intenses car issus par le biais des alizés de zones plus chaudes, du fait que les AMP précédents gardant plus longtemps leur cohérence ont été capables de former une AA des Açores plus étendue vers le sud et de pression plus élevée.

- In fine, dans les secteurs propices à la cyclogenèse (c'est-à-dire au large de Terre Neuve), il y a augmentation du gradient thermique entre anticyclones et environnement, et par conséquent plus d'énergie potentielle qui alimente des dépressions pouvant se développer jusqu'au stade de dépressions profondes (conditions nécessaires favorisées de surcroît par l'absence d'AMP groenlando-scandinaves).

- De 1950 à 2000, la dynamique atmosphérique a connu deux phases plus ou moins propices à l'occurrence de dépressions profondes :

- de 1950 à 1970, le bassin arctique occidental se réchauffe conduisant à une diminution du potentiel énergétique des AMP américano-atlantiques. Donc les dépressions ne trouvent pas alors les conditions optimales à creusement fort, ainsi le nombre de dépressions profondes décroît jusqu'à être nul en 1969-70,

- de 1970 à 2000, le bassin arctique occidental se refroidit qui génère des anticyclones peu fréquents mais très énergétiques et concentrés sur la trajectoire américano-atlantique. Ils permettent en retour l'arrivée d'alizés chauds créant le gradient thermique puissant favorable à la génération de dépressions profondes. Ainsi durant cette période, les dépressions ont été plus nombreuses (avec deux maxima en 1989-1990), capables d'atteindre des latitudes plus septentrionales, ont engendré des vents plus violents et ont de ce fait entraîné une hausse de la température sur la région comprise entre le Groenland et la Scandinavie.

- le processus d'occurrence des dépressions profondes peut être schématisé par la figure 7.8.

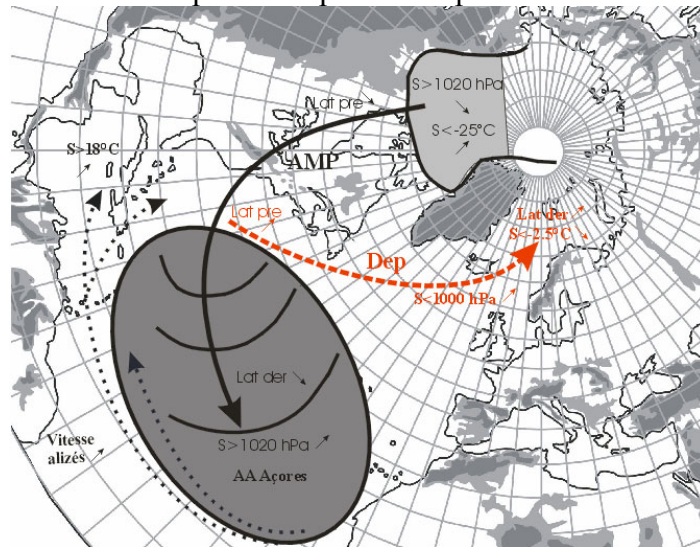


Figure 7.13 Schéma récapitulatif des dépressions profondes en JFM. Voir remarque spéciale dans la légende de la figure 7.7a

- il existe des variations en fonction des saisons considérées mais les mécanismes restent similaires.

Limites et questions non résolues.

- ce schéma décrit les phénomènes à petite échelle, mais n'apporte que peu d'éclaircissement sur les mécanismes proprement dits de la cyclogenèse.
- l'algorithme atteint ses limites dans l'étude de cas particulièrement violents (cf. tempêtes de 1999), mais reste très efficace pour la presque totalité des dépressions (y compris les profondes, cf. figure 2.8 et 2.9).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans cette thèse, nous nous sommes attaché à décrire les évolutions des différentes composantes de la circulation de surface. Ceci dans le but de décrypter les mécanismes et l'évolution de la dynamique aérologique dans l'espace Atlantique nord, à partir de l'analyse des **variations des comportements de la totalité des anticyclones et des dépressions en surface dans cet espace de 1950 à 2000**.

Une méthodologie a donc été mise en place permettant la reconstruction de la totalité des trajectoires des anticyclones et des dépressions, donnant une simulation acceptable de l'activité synoptique de surface.

A partir des deux bases de données des trajectoires, nous avons successivement :

- **résumé les grands caractères des anticyclones et des dépressions** (cf. chapitre 3 et 4), de façon arbitrairement individualisée afin de mieux prendre la mesure des objets d'étude,
- par une analyse croisée des trajectoires et de leurs conséquences sur l'ensemble de l'espace d'étude, établi un «**schéma**» **de circulation générale en surface** (particulièrement pour la période hivernale) (cf. chapitre 5),
- ce «schéma» décrivant les mécanismes régissant l'activité synoptique a autorisé **l'établissement d'un nouvel indice, résumant la dynamique aérologique à toutes échelles de temps et capable d'en mesurer l'intensité**. Cet Indice de Dynamique Aérologique de l'Atlantique Nord (IDAN) est uniquement basé sur les caractéristiques des trajectoires et non sur des données fixes dans l'espace (stations ou aires géographiques plus ou moins étendues) comme pour l'indice de référence (ONA) (cf. chapitre 6).

Ces chapitres (de 3 à 6) formant un ensemble cohérent, constituent le socle de connaissances nécessaire. Le chapitre 7, propose alors un :

- **schéma résumant les conditions hivernales conduisant à l'occurrence des dépressions profondes**.

Chaque étape de cette thèse apporte donc des réponses indépendantes mais forme un support descriptif et analytique indispensable aux analyses suivantes pour constituer en bout de chaîne un ensemble homogène du général au particulier (figure 8.1).

Ce travail constitue une modeste contribution à l'approfondissement des connaissances sur le climat terrestre. Le cadre spatio-temporel restreint et l'hypothèse de départ assez limitative permet toutefois d'apporter des réponses importantes sur les mécanismes et l'évolution de la dynamique de l'espace Atlantique nord.

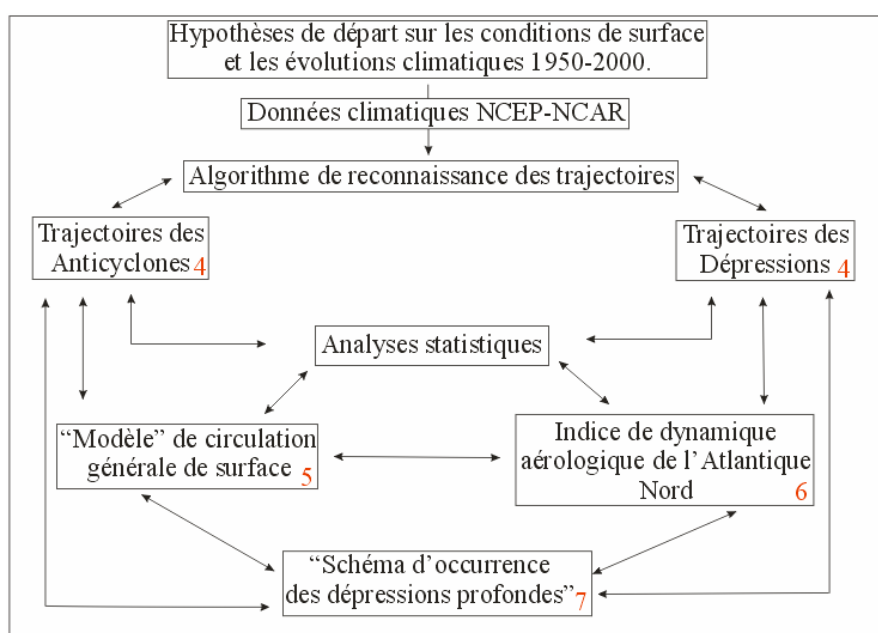


Figure 8.1 Schéma récapitulatif de la recherche. Les chiffres reprennent l'ordre des chapitres.

Nous reprenons donc ici les principales «avancées», les zones d'ombre et enfin les perspectives d'études ouvertes par notre travail.

Récapitulatif des réponses acquises :

1- Description complète des caractéristiques des trajectoires.

Pour les anticyclones :

- il existe deux aires de génération, situées de part et d'autre du Groenland. En moyenne annuelle, la trajectoire américano-atlantique représente 72,5 % des expulsions anticycloniques et la trajectoire groenlando-scandinave 27,5 %,
- on observe un gonflement vers le sud de l'espace balayé par les anticyclones. De 1970 à 2000, les latitudes d'agglutination des anticyclones ont migré de 3,5° vers l'équateur en valeurs annuelles,
- les anticyclones sont capables d'atteindre des longitudes de plus en plus orientales au printemps et durant l'été et inversement restent à des longitudes plus occidentales en hiver et à l'automne. Ceci entraîne donc un déplacement vers l'est de l'espace couvert par les anticyclones durant les saisons chaudes et vers l'ouest durant les saisons froides.

Pour les anticyclones américano-atlantiques :

- les aires d'apparition les plus prolifiques sont en latitude, la bande zonale 70-60 °N et en longitude, la bande méridienne 75-100 ° (80-55 °O),
- 50 % des anticyclones américano-atlantiques atteignent la latitude 30 °N, et 43,4 % atteignent la longitude 140° (40 °O) et 32,43 % de ces anticyclones ont au moins une fois durant leur cycle d'existence une pression supérieure à 1030 hPa,
- en hiver, la fréquence augmente de 1950 à 1970, puis baisse jusqu'en 2000. Au printemps, la baisse de 1950 à 1972, est suivie d'une augmentation en fréquence et en variabilité

interannuelle. Durant l'été, la hausse est régulière, et en automne les évolutions ne sont pas nettes sauf sur les deux dernières décennies qui ont connu une hausse des fréquences,

- quelle que soit la saison, les anticyclones américano-atlantiques atteignent des latitudes plus méridionales (enregistrant par exemple un décalage de 4 ° vers le sud en valeurs hivernales),
- les longitudes atteintes par les anticyclones américano-atlantiques varient selon les saisons. En hiver, au printemps et durant l'automne, les longitudes atteintes sont de plus en plus occidentales. En été, ils atteignent des longitudes plus orientales de 1950 à 1969, puis on constate un basculement vers l'ouest jusqu'en 2000.

Pour les anticyclones groenlando-scandinaves (dont il faut garder à l'esprit que nous n'avons qu'une vision partielle, cf. 3.3) :

- les aires d'apparition les plus prolifiques sont en latitude, la bande zonale 70-60 °N et en longitude, la bande méridienne 150-175° (30-5 °O),
- la fréquence et les latitudes moyennes des anticyclones groenlando-scandinaves sont minimales en hiver et maximales en été,
- 20 % des anticyclones groenlando-scandinaves atteignent la latitude 30 °N. 20,34 % de ces anticyclones ont au moins une fois durant leur cycle d'existence une pression supérieure à 1030 hPa. Les aires de passage sont similaires pour toutes les saisons, avec un gonflement vers l'ouest durant le printemps et l'été,
- les anticyclones groenlando-scandinaves voient leur nombre augmenter quelle que soit la saison. Les hausses sont particulièrement marquées en AMJ et JAS.

Comparaisons entre les deux trajectoires :

- les anticyclones américano-atlantiques sont plus nombreux que les groenlando-scandinaves (8 491 contre 3 235 sur la période 1950-2000),
- les anticyclones groenlando-scandinaves ont leurs fréquences maximales durant la période estivale alors que les anticyclones américano-atlantiques sont les plus fréquents en mai,
- les anticyclones américano-atlantiques sont plus nombreux, ont des pressions plus élevées, quelle que soit la saison par rapport aux anticyclones groenlando-scandinaves,
- les liens entre l'ONA et certaines caractéristiques (fréquence, latitude, longitude) démontrent que les anticyclones illustrent bien l'évolution de cet indice de référence avec une prépondérance pour les anticyclones américains durant l'hiver et les anticyclones groenlandais pour l'été et l'automne.

Pour les dépressions :

- les cycles annuels en valeurs mensuelles des caractéristiques sont parfaitement unimodaux avec un maximum hivernal et un minimum estival,
- les trajectoires sont plus méridiennes en hiver et automne, et plus zonales durant l'été,
- l'aire de densité maximale de passage se situe au sud-sud est du Groenland,
- les caractéristiques qui rendent le mieux compte des variations de l'activité synoptique sont : la fréquence, les pressions (minimales et moyennes), les latitudes (minimales maximales, moyennes et la vitesse de déplacement,
- l'évolution des caractéristiques connaît deux phases successives, l'une de 1950 à 1970 et l'autre jusqu'en 2000 en valeurs annuelles et hivernales caractérisées par un gonflement vers le nord de l'espace couvert par les dépressions, qui sont plus nombreuses et plus profondes depuis les trente dernières années du XX^e siècle,

- les coefficients de corrélation entre l'ONA et les caractéristiques des dépressions quel que soit le seuil de pression considéré, particulièrement les fréquences, les pressions, les latitudes (minimales, maximales, moyennes) et les longitudes (minimales, maximales, moyennes), démontrent l'efficacité des dépressions dans la détermination des variations de l'ONA.

En résumé, l'un des faits les plus marquants est l'accroissement de l'espace géographique couvert conjointement par les anticyclones (vers le sud) et par les dépressions (vers le nord).

2- La dynamique aérologique dans l'Atlantique varie autour de deux modes.

Ces modes (établis à partir d'analyses croisées des comportements des anticyclones et des dépressions), particulièrement bien caractérisés, sont illustrés, respectivement, par les situations de JFM 1969 pour le mode lent et JFM 1990 pour le mode actif :

- **Un mode contrasté** (ou actif) : Lorsque le déficit thermique sur le bassin occidental de l'Arctique est plus intense, les anticyclones sont moins fréquents, donc la pression diminue de façon relative sur cette aire géographique. Mais ils sont plus froids et ainsi ils parviennent à garder plus longtemps leurs caractères propres (du fait d'une désagrégation plus lente par inertie thermique). En conséquence la superficie des pressions augmente dans les latitudes inférieures à 40 °N (aire où ils s'agglutinent). Les anticyclones étant plus froids, ils sont plus dynamiques (différence thermique accrue par rapport à leur environnement), et ainsi peuvent générer des dépressions plus profondes du fait du contraste thermique renforcé. Ces dépressions peuvent d'autant plus se développer que les anticyclones sont très majoritairement concentrés sur la trajectoire américano-atlantique, ce qui a pour effet relatif de libérer l'espace de l'Atlantique du Nord-Est et de la Mer du Groenland. Le réservoir énergétique accumulé sous l'AA des Açores et des Bermudes alimente plus intensément la circulation cyclonique de sud. Cette alimentation est plus riche en énergie potentielle plus intense puisqu'elle s'effectue par le biais d'alizés (qui drainent la chaleur latente issue de l'évaporation) plus rapides et méridionaux (du fait du décalage vers le sud et du « gonflement » de l'AA de Açores). Les dépressions sont donc plus fréquentes, couvrent des superficies accrues et sont capables d'atteindre des latitudes plus septentrionales, en advectant de l'air issu des latitudes plus méridionales donc relativement plus chaud. De ce fait au dessus de l'aire géographique balayée par les dépressions successives, la température s'élève.

- **Un mode «homogène» (c'est-à-dire moins contrasté puisque dans l'espace atlantique les différences sont permanentes)** (ou mode lent) : Lorsque le déficit thermique sur le bassin occidental de l'Arctique décroît, les anticyclones sont plus fréquents, donc la pression augmente de façon relative sur cette région. Mais ils sont moins froids, et ainsi ils ne parviennent pas à garder longtemps leurs caractères propres. En conséquence la superficie des pressions diminue dans les latitudes inférieures à 40 °N. Les anticyclones étant moins froids, ils sont moins dynamiques et ainsi provoquent des ascendances atténuées et des dépressions moins profondes. Ces dépressions restent d'autant plus circonscrites à des latitudes moins septentrionales qu'un grand nombre d'anticyclones de trajectoire groenlando-scandinave circulent sur leur cheminement préférentiel. Le réservoir énergétique accumulé sous l'AA des

Açores et des Bermudes qui alimente la circulation cyclonique est affaibli (du fait d'un ralentissement des alizés). Les dépressions couvrent donc des superficies moindres, ne sont pas capables d'atteindre des latitudes très septentrionales, et advectionnent moins d'air issu des latitudes subtropicales. Par conséquent au dessus de cette aire géographique la température s'abaisse relativement.

Il faut noter à ce stade de notre conclusion, que ce schéma de circulation de surface (s'effectuant sous la forme d'un huit, sans interruption mais avec des variations d'intensité) et les conclusions concernant les comportements des anticyclones et des dépressions, confirment la validité du concept AMP.

3- Un nouvel indice représentatif de la variabilité climatique dans l'Atlantique Nord (IDAN)

En prenant en compte tous les anticyclones et toutes les dépressions, donc la totalité des éléments de la circulation générale de surface, cet indice rend parfaitement compte de la dynamique aérologique. En effet, l'IDAN permet de mettre en évidence la prédominance d'occurrence du mode actif depuis le tournant climatique de 1969-1970 en valeurs hivernales et plus généralement la variabilité climatique à toutes les échelles temporelles.

De plus, par sa structure de construction en sous-indices calculés pour chacune des composantes de l'activité synoptique (fréquence, puissance et extension géographique), il permet de comprendre de manière plus approfondie les mécanismes internes de la dynamique aérologique et permet de s'affranchir des problèmes de fixité des stations utilisées dans l'établissement de l'ONA. Les résultats probants apportés par cet indice permettent de valider notre choix sur la position initiale face aux phénomènes de surface. Ce sont donc bien les comportements des dépressions et des anticyclones qui engendrent l'évolution de l'ONA, et non l'inverse.

4- L'occurrence des dépressions profondes

Ce socle de connaissances synthétisé nous a permis de faire la description des éléments conduisant à l'existence de dépressions profondes durant les hivers et de répondre (partiellement) à la question : pourquoi et comment le nombre de dépressions profondes a d'abord diminué 1950 à 1969, jusqu'à être nul en 1969-70, pour de nouveau augmenter de 1970 à 2000 (accompagné d'une intensification : extension géographique, creusement, vitesse de déplacement....) avec les deux maxima de 1989-90.

L'occurrence des dépressions profondes obéit aux mêmes mécanismes que les autres dépressions. Seules l'intensité des ascendances et des baisses de pression sont plus marquées. Les conditions atmosphériques favorables aux tempêtes peuvent être considérées comme une exacerbation du mocomme un moteur commun, les phases de refroidissement du bassin arctique occidental (cf. figure 5.25). Ainsi de 1970 à 2000 :

- le bassin arctique occidental se refroidissant, les AMP sur l'Amérique du Nord sont plus froids, donc le «contraste thermique» avec leur environnement est plus accentué et les ascendances renforcées,
- les flux advectionnés au sein des couloirs dépressionnaires sont plus intenses car issus par le biais des alizés de zones plus chaudes, du fait que les AMP précédents gardant plus

longtemps leur cohérence ont été capables de former une AA des Açores plus étendue vers le sud et de pression plus élevée.

De ce fait, durant cette période, les dépressions ont été plus nombreuses (avec deux maxima en 1989-1990), ont été capables d'atteindre des latitudes plus septentrionales, ont engendré des vents plus violents et ont de ce fait entraîné une hausse de la température sur la région comprise entre le Groenland et la Scandinavie.

En revanche de 1950 à 1970, le bassin arctique occidental s'étant réchauffé, cela a conduit à une diminution du potentiel énergétique des AMP américano-atlantiques. En conséquence, les dépressions n'ont pas connu les conditions optimales à leur creusement intense, ainsi le nombre de dépressions profondes a diminué jusqu'à être égal à zéro en 1969-70.

La base de données des dépressions pour tous les seuils de pression est donc parfaitement efficace pour le type d'étude que nous avons voulu mener, même si un événement météorologique particulièrement intense (du fait de la vitesse de déplacement des centres dépressionnaires), a partiellement échappé à l'algorithme.

A l'instar de tout travail scientifique, nous ne prétendons absolument pas détenir la Vérité et sommes parfaitement conscient de nos lacunes personnelles, comme de celles de notre étude. Ainsi, nous exposons ci-dessous sous forme de liste, les imperfections et les questions non résolues.

Les imperfections :

- la marge d'erreur des résultats de l'algorithme entache d'une certaine manière et fort logiquement un peu la pertinence de nos résultats,
- l'espace d'étude ne couvre qu'une petite partie du globe et interdit des conclusions d'ordre général,
- les interactions entre différents espaces ne sont pas prises en compte,
- les analyses ne concernent qu'un seul niveau de l'atmosphère.

Le résumé des questions non résolues :

- 1- pourquoi/comment, y-a-t-il des variations de la température dans le bassin arctique occidental ?
- 2- pourquoi/comment, quand il y a peu d'AMP et qu'ils recouvrent un large espace aux latitudes subtropicales, ceux-ci ont-ils des pressions (maximales et moyennes) faibles ?
- 3- pourquoi certains AMP voient-ils leur pression augmenter au cours de leur trajet ?
- 4- pourquoi/comment, les années 1969-1970 constituent-elles un véritable tournant climatique ?

Nonobstant les imperfections et les inconnues qui subsistent, nous ne désespérons pas de progresser. Le premier pas vers cette amélioration potentielle qui sera dans le même temps le dernier de notre thèse, nous amène à lister les pistes de travail possibles.

Perspectives de recherches :

L'algorithme utilisé n'est pas suffisamment efficace pour mener l'analyse des événements météorologiques précis. Il faudrait donc, pour retrouver à l'échelle des événements météorologiques la pertinence de nos résultats aux échelles mensuelles, saisonnières et annuelles :

- améliorer l'algorithme (cf. chapitre 2), puis réitérer l'établissement et les analyses des trajectoires (c'est-à-dire construire des nouvelles bases de données). Cette démarche pouvant être complétée par l'étude des autres espaces aérologiques,
- appliquer la méthode d'analyse à partir des données ERA du ECMWF et / ou des données issues de modèles. Il faut noter, que nous n'avons pas utilisé les données ERA pour la présente étude car nous voulions travailler sur la durée la plus longue possible et dans ce cadre ce sont les données NCEP/NCAR qui sont les plus pertinentes.

En outre, d'autres études en lien avec notre thèse sont potentiellement prometteuses, comme :

- travailler sur un indice quotidien, ou au moins décadaire afin de tester les relations avec les extrêmes météorologiques au-dessus de différentes sous-régions de notre espace d'étude afin d'identifier les «responsables» précis de tels ou tels événements,
- corrélérer les sous-indices de l'IDAN et les extrêmes climatiques (précipitation, température, vent) sur différents secteurs de notre espace d'étude,
- apprécier les liens entre la couverture nuageuse (basse, moyenne et haute couches) (Hatzianastassiou N., 2005), et les évolutions des comportements des AMP et des dépressions,
- analyser les liens entre les conditions de surface et celles d'altitude,
- examiner la succession d'expulsions des AMP pour observer s'il existe une organisation des enchaînements répétitifs à différentes échelles de temps. La mise en rapport de ces éventuels schémas d'expulsions avec certaines conditions climatiques permettrait une amélioration des prévisions à court et moyen terme,
- approfondir les connaissances sur le processus de formation du vortex dipôle anticyclone / dépression à partir des travaux existants et notamment ceux de Van Heijst G.J.F., Flor J.B. et du Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) (figure 8.6). Nous avons déjà mené dans cet objectif, des expériences préparatoires au sein du laboratoire de Van Heijst G.J.F, à Eindhoven en 2004.

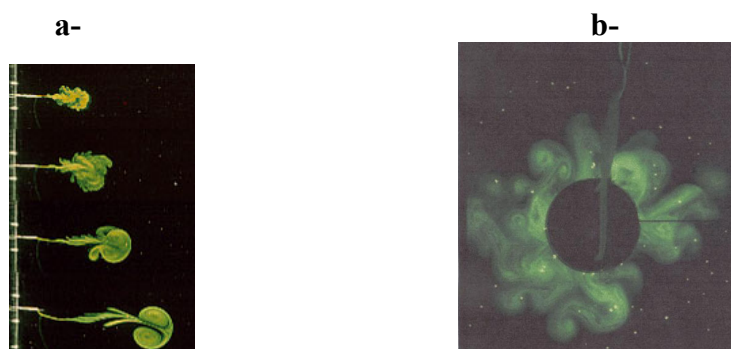


Figure 8.2 a-vue zénithale de la formation d'un vortex dipôle dans un fluide stratifié d'après Van Heijst G.J.F., Flor J.B. (1989). b- Modèle de circulation des hautes latitudes d'après <http://depts.washington.edu> (UW Geophysical Fluid Dynamics Laboratory).

Ces études représentent une masse considérable de travail. Mais c'est à notre avis la voie la plus efficace pour progresser vers une compréhension approfondie de la dynamique

atmosphérique, elle même débouchant sur la route de la prévision à moyen puis long terme qui est sans doute l'objectif suprême de toutes les recherches en météorologie / climatologie.

Nous avons maintenant une vision plus claire des mécanismes et de l'évolution de la dynamique aérologique de basses couches dans l'espace Atlantique Nord au cours de la période 1950-2000.

Mais notre étude ne s'arrête pas là et comme énoncé ci-dessus, des perspectives de recherches existent, afin de....

ANNEXES

1- Annexe sur le réchauffement climatique dit «global».

Comme nous l'avons constaté durant cette étude sur les périodes 1950-1970 puis 1970-2000, certaines régions des hautes latitudes se sont réchauffées tandis que d'autres se refroidissaient. Nous nous concentrons sur deux espaces l'un couvrant le nord est du Canada, la Mer du Labrador et la côte occidentale du Groenland et l'autre couvrant la Mer du Groenland qui ont subi des évolutions thermiques différentes durant les cinq dernières décennies du XX^e siècle.

Pour bien prendre en compte les variations nous établissons un tableau récapitulant les liens entre pressions et températures de part et d'autre de la grande île du nord (tableau A.1.).

	S<-25°C 9060 50130 (nord Canada)	S<-2,5°C 9060 150200 (entre Groenland et Scandinavie)	S>1020hPa 9060 50130 (nord Canada)	S<990hPa 9060 150200 (entre Groenland et Scandinavie)
S<-25°C 9060 50130 (130-50°O) (nord Canada)	1			
S<-2,5°C 9060 150200 (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie)	- 0,37	1		
S>1020hPa 9060 50130 (130-50°O) (nord Canada)	- 0,47	0,56	1	
S<990hPa 9060 150200 (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie)	0,43	- 0,50	- 0,71	1

Tableau A.1. Liens entre pressions et températures de part et d'autre du Groenland

Variations de la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000 :

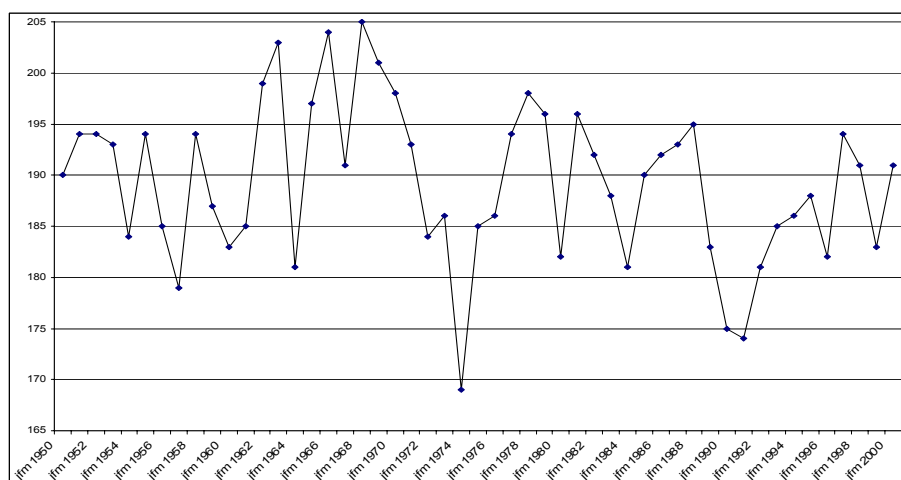


Figure A.1. Variations de la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.

Cet espace a connu une baisse des températures durant les vingt premières années suivi d'une hausse de 1970 à 2000 avec deux maxima en 1974 et 1990 (figure A.1.).

Variations de la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50 °O) (nord du Canada), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000 :

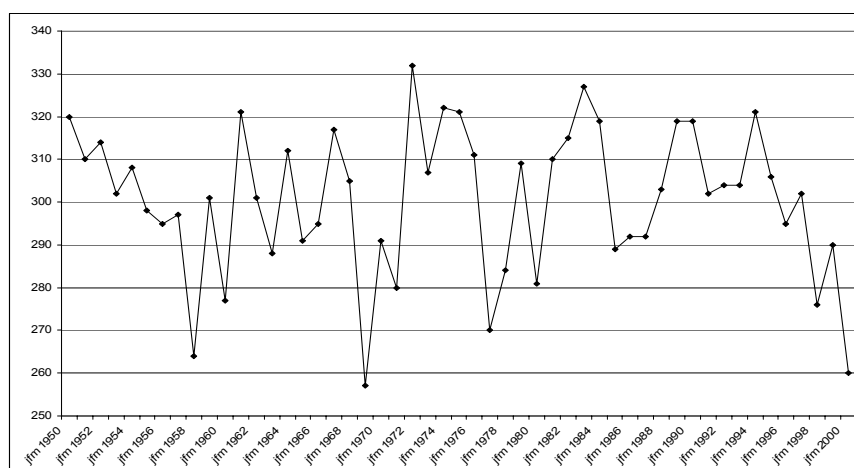


Figure A.2. Variations de la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000

Dans cette région, l'évolution thermique est inverse par rapport à l'espace situé à l'est du Groenland, avec une hausse de 1950 à 1970 puis une baisse de 1970 à 2000 avec tout de même une hausse de 1994 à 2000 (signe d'un nouveau changement de phase durable?) (figure A.2.).

Ces deux espaces constitutifs de ce qui est désigné comme étant les hautes latitudes connaissent deux évolutions différentes. Cela justifie la prudence qu'il faut respecter lorsque l'on discute d'évolution climatique sur une vaste aire géographique (est ce que les bornes sont cohérentes ou regroupons-nous des objets «incompatibles»?). Beaucoup d'études ont été consacrées à ce phénomène. Pour reprendre les principaux, Rigor I. (2000) constate que «*a trend of +1°C/decade is found during winter in the eastern Arctic Ocean, but a trend of -1°C/decade is found in the western Arctic Ocean*». Cela entraîne une baisse de la masse de la banquise comme l'a montré Deser C. et al. (1999) «*the dominant mode of winter (1958-1997) sea ice variability exhibits out-of-phase fluctuations between the western and eastern North Atlantic*». Conclusions auxquelles sont également parvenus les participants du colloque organisé à Reykjavik en novembre 2004 sous l'égide de l'Arctic Climate Impact Assessment (ACIA).

Reste à déterminer dans la mesure du possible les causes probables de ces variations thermiques. De nouveau, Deser C. et al. (1999), apporte une explication «*Cyclone frequencies have increased and mean SLPs have decreased over the retracted ice margin in the Greenland Sea*». Ce qui est tout à fait cohérent avec nos résultats, montrant que :

- les dépressions sont fréquentes et capables de migrer plus vers le nord, le tout en transportant de l'air plus chaud, ce qui implique en fin de compte une hausse des températures.

Il semble donc comme l'écrivent ces auteurs que ces évolutions du champ thermique soient le fait de «*the rapid reduction of arctic ice thickness in the 1990s may be one manifestation of the intense atmosphere and ice cyclonic circulation regime*». Polyakov I. et al. (2002).

Ces quelques lignes sont uniquement des pistes de réflexion et n'ont absolument pas valeur de conclusion.

Mais cela met en avant la nécessité d'évaluer les variations sur des espaces cohérents (à moteur dynamique unique) plus que d'effectuer des moyennes sur des espaces étendus. L'ensemble en moyenne peut se réchauffer mais il est primordial de savoir si cela s'effectue de façon homogène ou non afin d'émettre des conclusions pertinentes d'où les précautions à prendre lors de l'utilisation du terme **global**. Encore une fois tout est histoire de dimensions : la vérité à une échelle ne l'est pas forcément aux autres.

2- Annexe sur l'IDAN : Exercice sur les précurseurs de l'IDAN en JFM

Cette partie est à proprement parlé un exercice. A partir des différents fichiers constitués depuis les bases de données initiales, nous établissons des coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des anticyclones et des dépressions et l'IDAN en JFM, de façon à mettre en lumière d'éventuelles relations déphasées.

Premièrement, par le biais des données concernant les anticyclones :

- longitudes maximales des AMP groenlando-scandinaves en JAS et IDAN JFM, **R = 0,45**. Lorsque les AMP groenlando-scandinaves de l'été sont capables d'atteindre des longitudes plus orientales, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- pressions moyennes des AMP groenlando-scandinaves en OND et IDAN JFM, **R = 0,45**. Lorsque les AMP groenlando-scandinaves de l'automne ont des pressions élevées, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort (figure A.3.).

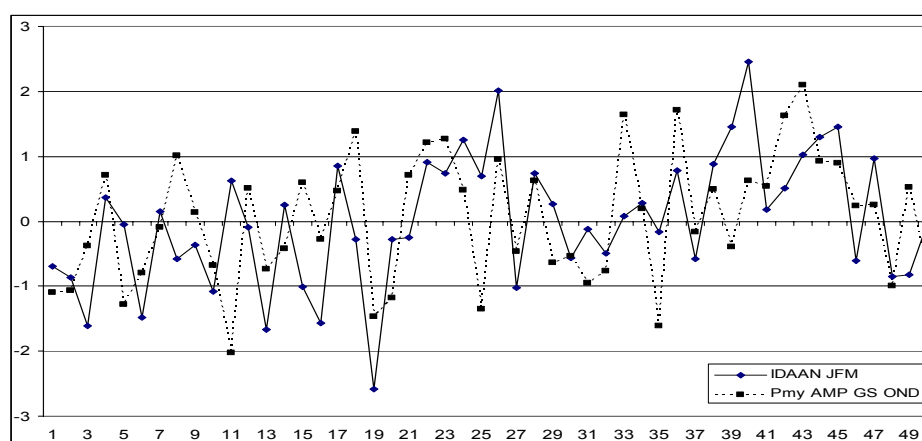


Figure A.3. Pressions moyennes des AMP groenlando-scandinaves en OND et IDAN JFM, $R = 0,45$. 1 correspond à 1950 et 51 à 1999, pour les pressions moyennes des AMP groenlando-scandinaves en OND et 1 correspond à 1951 et 51 à 2000, pour l'IDAN en JFM.

- longitudes moyennes des AMP groenlando-scandinaves en valeurs annuelles et IDAN JFM, **R = 0,45**. Lorsque les AMP groenlando-scandinaves ont des trajectoires plus orientales, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- longitudes maximales des AMP groenlando-scandinaves en valeurs annuelles et IDAN JFM, **R = 0,44**. Lorsque les AMP groenlando-scandinaves sont capables d'atteindre des longitudes plus orientales, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- longitudes minimales des AMP groenlando-scandinaves en valeurs annuelles et IDAN JFM, **R = 0,40**. Lorsque les AMP groenlando-scandinaves apparaissent à des longitudes plus orientales, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- pressions maximales des AMP générés entre 150-175° (30-5 °O) de longitude en JFM et IDAN JFM, **R = - 0,42**. Lorsque les pressions maximales des AMP générés entre 150-175° de longitude sont plus faibles en JFM, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.

Il apparaît que ce sont les AMP groenlando-scandinaves qui seuls peuvent apporter des possibilités de prédictions de l'IDAN JFM. Cela marque l'importance de la partie orientale de l'espace nord atlantique.

Deuxièmement, à partir des fichiers des dépressions :

- latitudes minimales des dépressions générées entre 100-125° (80-55 °O) de longitude en OND et IDAN JFM, **R = 0,40**, Lorsque les dépressions générées entre 100-125° (80-55 °O) de longitude ont des latitudes minimales plus septentrionales en automne, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- latitudes minimales des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en OND et IDAN JFM, **R = 0,44**. Lorsque les dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N ont des latitudes minimales plus septentrionales en automne, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- latitudes minimales des dépressions ayant atteint les longitudes 120° (60 °O) en novembre et IDAN JFM, **R = 0,43**. Lorsque les dépressions ayant atteint les longitudes 120° (60 °O) ont des latitudes minimales plus septentrionales en novembre, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- latitudes moyennes des dépressions ayant atteint les latitudes 40°, 50 °N en novembre et IDAN JFM, **R = 0,41**, **R = 0,52**. Lorsque les dépressions ayant atteint les latitudes 40°, 50 °N ont des latitudes moyennes plus septentrionales en novembre, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort (figure A.4).

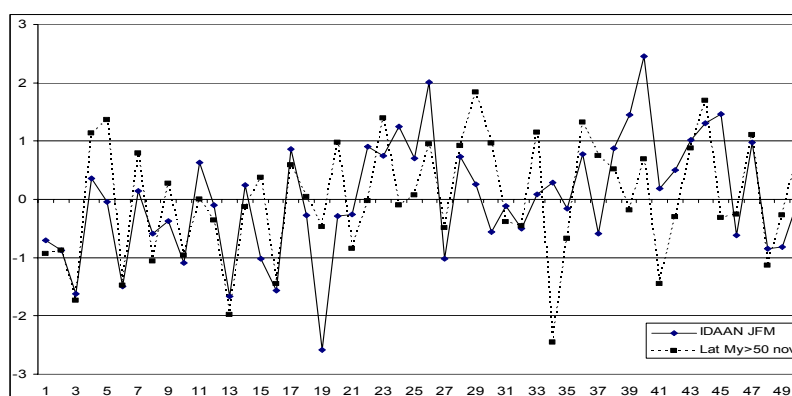


Figure A.4. Latitudes moyennes des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en novembre et IDAN JFM, **R = 0,52**. 1 correspond à 1950 et 51 à 1999, pour les latitudes moyennes des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en novembre et 1 correspond à 1951 et 51 à 2000, pour l'IDAN en JFM.

- fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en JAS et IDAN JFM, **R = 0,44**. Lorsque les dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N sont plus fréquentes en été, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- fréquences des dépressions ayant atteint les longitudes 100° (80 °O) en janvier et IDAN JFM, **R = 0,42**. Lorsque les dépressions ayant atteint les longitudes 100° (80 °O) sont plus fréquentes en janvier, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- fréquences des dépressions ayant atteint les longitudes 100° (80 °O) en septembre et IDAN JFM, **R = 0,41**. Lorsque les dépressions ayant atteint les longitudes 100° (80 °O) sont plus fréquentes en septembre, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 40°, 50 °N en janvier et IDAN JFM, **R = 0,4**, **R = 0,42**. Lorsque les dépressions ayant atteint les latitudes 40°, 50 °N sont plus fréquentes en janvier, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort.
- fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 40°, 50°, 60 °N en septembre et IDAN JFM, **R = 0,46**, **R = 0,41**, **R = 0,42**. Lorsque les dépressions ayant atteint les latitudes 40°, 50°, 60 °N sont plus fréquentes en septembre, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort
- fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 50°, 60 °N en novembre et IDAN JFM, **R = 0,53**, **R = 0,58**. Lorsque les dépressions ayant atteint les latitudes 50°, 60 °N sont plus fréquentes en novembre, l'IDAN JFM de l'année suivante sera fort. Lorsque les dépressions

capables de remonter haut en latitude sont nombreuses (donc que le volume d'air atteignant les latitudes polaires depuis les basses latitudes est considérable), l'IDAN de l'hiver suivant sera plus vigoureux (figure A.5).

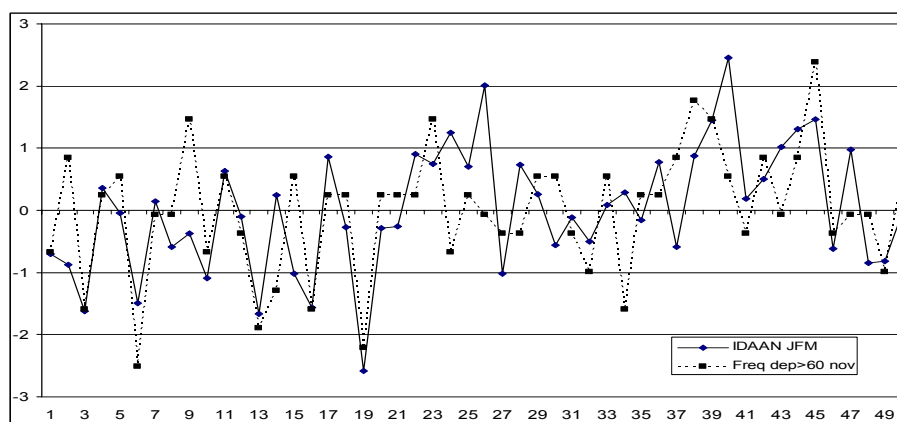


Figure A.5. Fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N en novembre et IDAN JFM, $R = 0,58$. 1 correspond à 1950 et 51 à 1999, pour les fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N en novembre et 1 correspond à 1951 et 51 à 2000, pour l'IDAN en JFM.

- moyenne (SD des latitudes minimales des dépressions ayant atteints les latitudes 50 °N en novembre ; SD des fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en novembre) et IDAN JFM, $R = 0,60$ (figure A .6).

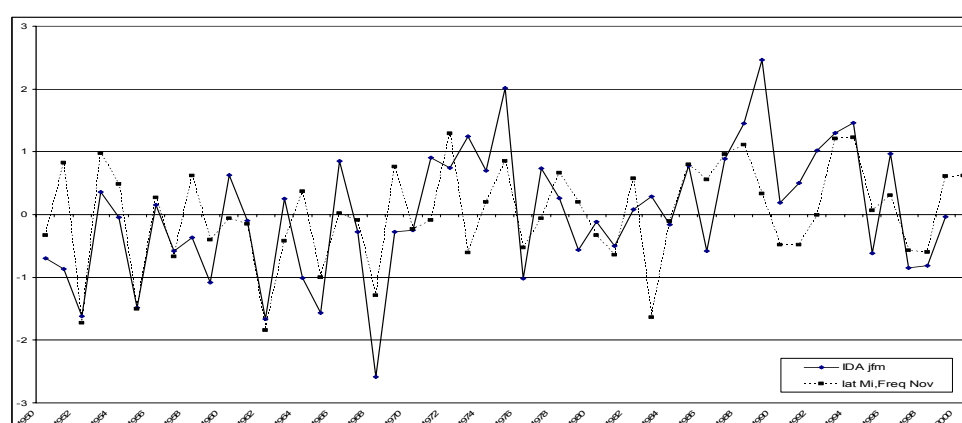


Figure A.6. Moyenne (SD des latitudes minimales des dépressions ayant atteints les latitudes 50 °N en novembre ; SD des fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en novembre) et IDAN JFM, $R = 0,60$. 1 correspond à 1950 et 51 à 1999, pour les moyenne (SD des latitudes minimales des dépressions ayant atteints les latitudes 50 °N en novembre ; SD des fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en novembre) et 1 correspond à 1951 et 51 à 2000, pour l'IDAN en JFM.

Il apparaît également avec les dépressions l'importance de la partie orientale de l'espace Atlantique nord. De plus les deux précurseurs majeurs, dont les coefficients sont bien supérieurs à ceux établis à partir des anticyclones, intéressent le mois de novembre. Cela pourrait vouloir dire qu'il y a un délai de deux à trois mois dans la mise en place de la dynamique aérologique des hautes latitudes, mais rien à ce stade des travaux ne permet de conclure.

Il ressort de l'analyse des graphiques précédents (figure A.5 et A.6) que les phases basses de l'IDAN JFM sont bien reconstituées (avec un bon accord dans la magnitude), en revanche les

phases hautes sont moins bien traitées avec une tendance nette à la sous-estimation de la puissance des phénomènes.

Grâce aux analyses de différents fichiers issus des deux bases de données initiales, nous avons mis en exergue des précurseurs utilisables dans une optique de prédiction de l'évolution inter hivernale de l'IDAN. Nous allons essayer de transformer l'essai en pratiquant un test de validité. Nous retenons les deux derniers précurseurs détaillés précédemment :

- fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N en novembre,
- moyenne (SD des latitudes minimales des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en novembre ; SD des fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 50 °N en novembre).

Il y a deux façons de valider la méthode, l'une a posteriori [1] et l'autre prédictive [2] :

[1] La méthode a posteriori consiste à calculer le nombre de fois où le signe de l'IDAN a été correctement prévu à partir des précurseurs utilisés. Le bon signe de l'IDAN est prévu avec succès dans 35 cas sur les 51 années d'études pour les deux précurseurs.

[2] La méthode prédictive (fausseté dans l'absolu car cette étude a été menée entre 2000 et 2005, mais véritablement dans les conditions initiales pratiquées pour cette validation) se déroule en trois étapes successives :

- premièrement, nous reconstituons les trajectoires des dépressions durant les mois de novembre 2001, 2002, 2003.
- deuxièmement, à partir des caractéristiques des dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N, en novembre, nous «prédisons» les valeurs de l'IDAN de JFM pour 2001, 2002, 2003, 2004,
- dans un troisième temps, nous comparons ces valeurs à celle de l'ONA. Sur la période 1950-2004, le coefficient de corrélation entre ONA et IDAN en JFM est de $R = 0,77$,
- enfin, nous effectuons un dernier test de corrélation entre le précurseur fréquence des dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N en novembre et IDAN JFM sur la période 1950-2004. Le coefficient de corrélation est un peu inférieur ($R = 0,54$ contre $R = 0,58$) par rapport à la période 1950-2000, mais le résultat reste similaire avec 70% de bonnes prévisions (figure A.7).

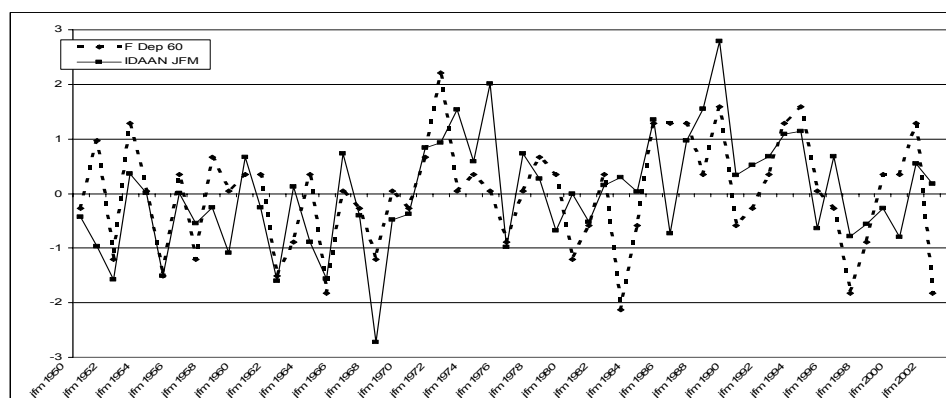


Figure A.7. Fréquences des dépressions ayant atteint les latitudes 60 °N en novembre et IDAN JFM, $R = 0,54$.

Pour le second précurseur les bonnes prévisions sont également de l'ordre de 70% (non montré). Ces précurseurs ne reposent sur aucun mécanisme de la circulation générale clairement identifié. Mais il semble, de manière intuitive, possible que le nombre des dépressions ayant atteint les latitudes polaires durant l'automne puisse influencer le mode de circulation dans les hautes latitudes la saison suivante.

En effet, quand le retour d'air est massif, la subsidence est intensifiée. De plus le seul passage autorisant l'écoulement de ces immenses masses d'air (suffisamment large) est le couloir large entre les Rocheuses et le Groenland (e.g. les trajectoires sont concentrées). En revanche quand les retours sont faibles, les masses à expulser sont réduites et donc peuvent empreinter tous les couloirs d'expulsions (e.g. les trajectoires sont réparties sur tout l'espace).

Selon Polyakov I. et al (2004), le nombre de dépressions plus important apportant en hautes latitudes plus d'eau et plus d'air relativement chaud peut créer un mode de variabilité précis en liaison avec les rétroactions océan, banquise et atmosphère. D'autres auteurs travaillant sur les liens entre stratosphère et surface aux dessus des pôles comme Baldwin M.P. et Dunkerton T.J. (1999, 2001), Perlwitz J., Graf H.F. (1995) argumentent qu'il existe une propagation des conditions stratosphériques vers le sol, «*a stronger polar vortex was associated with positive NAO-like anomalies in the troposphere, and vice-versa*». Thompson D.W.J. et al (2003), Wallace J.M., D.W.J. Thompson (2002) sont allés plus loin en examinant les liens entre les régimes de vents au niveau de la stratosphère et les conditions climatiques de surface pour répondre à deux objectifs :

- l'explication en premier lieu de cette «influence vers l'aval»,
- puis du fait de la reconnaissance d'une certaine stabilité des régimes de vents, ils essayent d'émettre des prédictions à long terme.

Il apparaît donc bien que les caractères des dépressions pourraient être un des éléments précurseurs des conditions stratosphériques au dessus de l'Arctique.

Récapitulatif des principaux précurseurs de l'ONA.

- Tableau extrait de C.G. Fletcher et M.A. Saunders, Climate Physics Group, Department of Space and Climate Physics, University College London, UK. COAPEC Student Workshop, July 2004.

Period	Lagged Predictor	Dataset	CRU NAO DJF		Hurrell NAO DJF		MSLP PC1 DJF	
			<i>r</i>	<i>MSSS</i>	<i>r</i>	<i>MSSS</i>	<i>r</i>	<i>MSSS</i>
	May SST (SVD)	Had	0.29	8	0.37	13	0.34	11
	JJASO SST (PC2)	NCEP	0.30	8	0.31	9	0.29	7
1950-2001	JJ d,T	NCEP	0.37	13	0.30	8	0.37	13
	MJJAS d,T	NCEP	0.27	6	0.26	6	0.35	12
	Oct EU Snow Cover	Brown/Rut	0	0	0	0	0.15	0

Lagged Predictor	Assessment Period	Reference
May North Atlantic SST (SVD)	1948-1998	Rodwell & Folland (2002)
JJASO North Atlantic SST (PC2)	1950-2001	Saunders & Qian (2002)
Oct Eurasian Snow Cover	1972-2001	Saito et. al (2001)
JJ NH Snow Cover	1972-2002	Saunders et. al (2003)

Tableau A.2. Tableau récapitulatif des principaux précurseurs de l'ONA avec les sources bibliographiques.

- Travaux de la Climatic Research Unit de la United Kingdom Met Office:

«*The forecast is based on a maximal covariance analysis of May North Atlantic SSTs and the following December to February 500hPa geopotential heights [...] for the period 1948 to 1998 [...] suggest that the correlation skill is about 0,45 with the correct sign of the NAO predicted for 66% of all winters*». (Extrait du site de la UKMO : <http://www.metoffice.gov.uk>)

A la vue des résultats obtenus par ces différentes équipes de recherches, il semble que nos travaux soient sensiblement dans le même ordre de potentialité. Mais cela ne reste pour l'instant qu'un exercice et non un résultat de recherche. En effet, il manque une explication physique des mécanismes prenant place en hautes latitudes et en altitude, et d'autre part nous ne savons que peu de choses des mécanismes impliquant l'augmentation (baisse) des fréquences des dépressions en novembre (qui de l'œuf ou de la poule.....?).

3- Annexe : les bilans de masses des glaciers sur la façade occidentale de l'Europe.

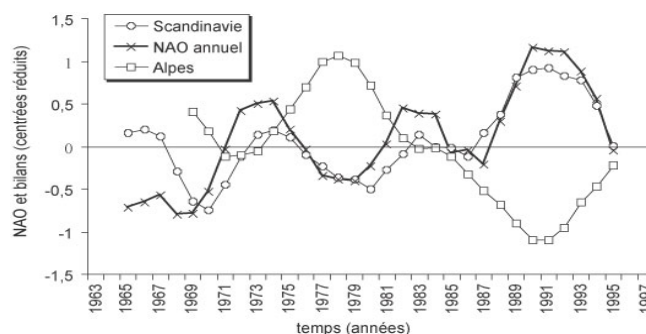


Figure A.8. ONA et bilans de masse de 9 glaciers et 7 glaciers scandinaves (centrés et réduits par leurs écarts types respectifs) lissé par un filtre pondéré sur 5 ans, d'après Six, Reynaud et Letréguilly, 2001.

Dans leur étude (figure A.8.), Six D., Reynaud L. et Letréguilly A. concluent que «*Les variations de cet indice ONA apparaissent en phase avec les variations du bilan moyen des 7 glaciers scandinaves (indice ONA et bilan glaciaire, positifs), et en opposition de phase avec celui des glaciers des Alpes (bilan glaciaire négatif) durant la même période. Cela suggère qu'il a existé ces dernières décennies des cycles d'une durée décennale où les conditions de régime dépressionnaire sur l'Atlantique Nord favorisent successivement, en moyenne, l'alimentation des glaciers scandinaves (indices ONA positifs) puis des glaciers alpins (indices ONA négatifs)*».

Pour aller plus loin nous utilisons notre simulation de l'activité synoptique pour décrire ces évolutions en opposition de phase.

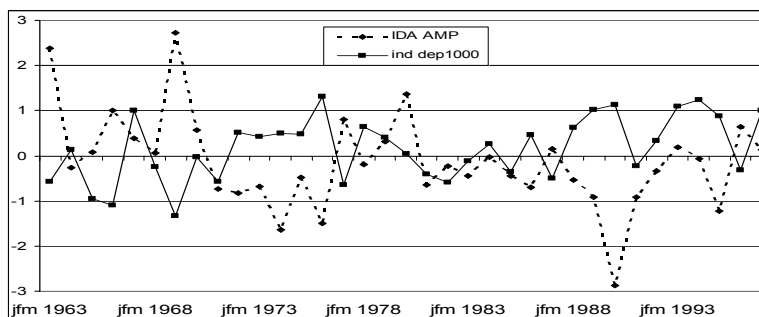


Figure A.9. Evolution des indices des anticyclones et des dépressions en valeurs hivernales.

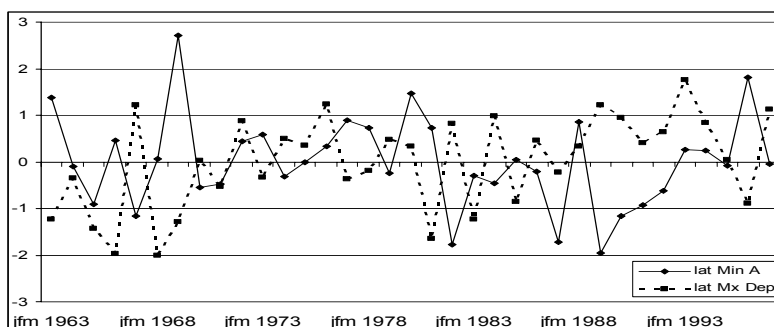


Figure A.10. Evolution des latitudes minimales des anticyclones et des latitudes maximales des dépressions en valeurs hivernales.

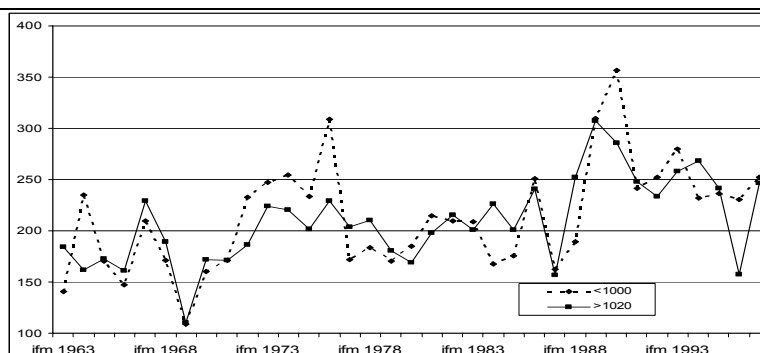


Figure A.11. Evolution des superficies des anticyclones et superficies des dépressions en valeurs hivernales.

Il apparaît que l'évolution des bilans de masses des glaciers groenlandais varie en fonction de la dynamique des dépressions (qui se situent sur les trajectoires de celles ci). Quand les dépressions sont nombreuses et intenses, elles sont capables d'atteindre des latitudes plus septentrionales, les glaciers gonflent et inversement (figure A.9.).

En revanche, pour les glaciers alpins, l'évolution des bilans de masses est commandée par l'activité des anticyclones. Quand les anticyclones sont peu nombreux, ils sont capables d'atteindre des latitudes plus méridionales et sont plus étendues. Ces conditions aérologiques entraînent une diminution des masses glacières (figure A.10 et A.11.).

Les glaciers répondent donc bien à l'activité synoptique plus qu'à un réchauffement dit «global» puisque ces deux régions assez proches à l'échelle du globe n'évoluent pas de la même façon.

4- Annexes : publications.**Posters :**

- **1st CLIVAR International Conference**, Baltimore, USA, 21-25 June 2004: Relationships between the features variations of Highs and Lows in the north atlantic region and north atlantic oscillation (NAO) from 1950 to 2000.
- **4th annual Meeting of the EMS**, Nice, France, 26-30 September 2004: Relationships between the surface and the frequency of Mobile Polar Highs and Lows in the north atlantic aerological space during winter (JFM) from 1950 to 2000.

Communications :

- **5th annual Meeting of the EMS**, 12-16 September 2005, Utrecht, the Netherlands:
 - 1- A description of storms dynamics (Lows under 990hPa) at surface level in the North Atlantic sector during winter (JFM) from 1950 to 2000.
 - 2- Analysis of north Atlantic Highs and Lows from 1950 to 2000 and their relationships with NAO (solicited).
- **XVIIe Colloque de l'AIC**, 8-11 septembre 2004, Caen, France :
 - L'intensité de la dynamique aérologique et les dépressions profondes dans l'Espace Aérologique Nord Atlantique de 1950 à 2000.
- **Commission climat et société CNFG**, 25-26 mars 2004, Nancy, France :
 - La représentation spatiale des variables climatiques. Trajectoires des AMP et des Dépressions dans le Pacifique Nord et l'Atlantique Nord de 1950 à 2000 (avec A. Favre).

Publication :

- **Commission climat et société CNFG**, 25-26 mars 2004, Nancy, France :
A. Favre, A. Pommier, (2005), La représentation spatiale des variables climatiques. Trajectoires des AMP et des Dépressions dans le Pacifique Nord et l'Atlantique Nord de 1950 à 2000. Commission climat et société CNFG, Journées de climatologie 2004, Nancy.

TABLE DES FIGURES

Figure 1.1 Forêt de Fontainebleau avant et après les dépressions profondes de décembre 1999.	13
Figure 1.2 Le pont de Russan (au dessus du Gardon), le 9 septembre 2002 et 5 jours après. (Photo de Valérie Stépanoff et photo aérienne de Hugo Snellen, septembre 2002).	14
Figure 1.3. Trace au sol d'une tornade, Oklahoma City, Mai 1999.	14
Figure 1.4. Est du Canada, janvier 1998. L'épaisseur de glace sur le véhicule est supérieure à 10cm.	15
Figure 1.5. Comparaison entre les températures de juillet 2001 et juillet 2003. Reto Stockli et Robert Simmon, NASA's Earth Observatory Team, sur des données provenant de «the MODIS Land Science Team». L'excès de chaleur a atteint +10°C pour les régions marquées en rouge.	15
Figure 1.6. Trajectoire d'un anticyclone du 08-11-2001 au 11-11-2001 à partir de clichés de Météosat 7 Vis, 12h UTC, Dundee University. L'anticyclone passe entre le Groenland et la Scandinavie puis descend sur l'Europe occidentale et le Maghreb après avoir été «coupé» par l'alignement Cantabriques-Pyrénées. Cette situation a provoqué les inondations les plus importantes de ces 20 dernières années en Algérie, faisant plus de 340 morts dans la région d'Alger.	16
Figure 1.7. Anticyclone dont la trajectoire passe sur l'Amérique du nord pour se poursuivre sur l'Atlantique nord, cliché (a) Météosat 7 Vis et Bulletin Météorologique Européen (BME) (b) du 01-04-03 à 12hUTC. La dépression associée, alimentée par des flux issus de la mer des Caraïbes et de l'Atlantique ouest, se situe au large de Terre-Neuve.	17
Figure 1.8. Nombre de systèmes dépressionnaires (950 hPa et inférieur) dans l'Atlantique nord déterminé à partir de quatre à huit cartes par jour pour la saison hivernale (Novembre-Mars de 1956 à 1994), Franke DWD, source OMM (1995) tirée de http://www.clivar.org/publications/other_pubs/iplan/iip/pd1.htm .	18
Figure 1.9. L'espace d'étude. Les surfaces en gris clair sont comprises entre 500 et 1000 m et les zones colorées en gris foncé recouvrent les altitudes supérieures à 1000 m.	19
Figure 1.10 Comparaisons entre certaines variables climatiques entre JFM 1971-2000 et JFM 1950-1970, 1. Pression réduite au niveau de la mer 2. Température de surface 3. Vitesse du vent (source : données NCEP-NCAR). Le bleu illustre les augmentations durant la seconde partie de la période d'étude par rapport à la première et le violet les diminutions. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	21
Figure 1.11. Schéma récapitulatif de la recherche. Les chiffres rouges reprennent l'ordre des exposés.	23
Figure 2.1 Cartes des trajectoires principales sur l'hémisphère nord des anticyclones en janvier (gauche) et juillet (droite) de Klein W.H (1957).	27
Figure 2.2. Image satellitale du 01/04/04, Météosat 7 Vis 12h UTC d'un anticyclone sur les Açores et d'une dépression au large des Iles Britanniques (a) et représentation schématique d'un dipôle anticyclone/dépression (b).	29
Figure 2.3. Schéma de la structure des matrices.	29
Figure 2.4. Exemple SLP89 (93,37,1). Carte des pressions réduites au niveau de la mer du 01-01-1989. Les couleurs de fond représentent les pressions moyennes pendant la période considérée (du violet pour les basses pressions au bleu-vert pour les hautes pressions).	30
Figure 2.5. Exemple d'extrait d'une liste d'anticyclones.	30
Figure 2.6. Exemple de trajectoires d'anticyclones (vert) et de dépressions (bleu) durant l'hiver JFM 1990, Les couleurs de fond représentent les pressions moyennes pendant la période considérée (du violet pour les basses pressions au bleu-vert pour les hautes pressions).	31
Figure 2.7. Trajectoires des anticyclones en bleu (a) et des dépressions en rouge (b) durant l'année 1981. Les couleurs de fond représentent les pressions moyennes pendant la période considérée (du rose pour les basses pressions au bleu clair pour les hautes pressions).	33
Figure 2.8. Séries temporelles des dépressions profondes dans l'Atlantique Nord de novembre à mars. Dépressions inférieures à 950 hPa (Dep<950 hPa) d'après Franke (cf. introduction) et nombre de dépressions profondes (nbre temp WASA) d'après WASA Group (1998) et la courbe dep<960 est le résultat de l'algorithme (nombre de dépressions inférieures à 960 hPa).	33
Figure 2.9. Séries temporelles des dépressions < 980 hPa dans l'Atlantique nord en hiver. La courbe <980 SK G est d'après S. K. Gulev et al (2001) et la courbe <980 AP est le résultat de l'algorithme.	34
Figure 2.10. Cycles annuels en valeurs mensuelles des caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques (a), anticyclones groenlando-scandinaves (b) et des dépressions (c). Freq : fréquence, PMx ou PMi : pression maximale, minimale, PMy : pression moyenne, Du : durée, Dist : distance, La Mi : latitude minimale, La : latitude moyenne, La Mx : latitude maximale, Lg Mi : longitude minimale, Lg : longitude moyenne, Lg Mx : longitude maximale, Vit : vitesse, LaMx-LaMi : latitude maximale- latitude minimale, LgMx-LgMi : longitude maximale- longitude minimale, PMx-PMi : pression maximale- pression moyenne.	35
Figure 3.1 Cycles annuels en valeurs mensuelles des anticyclones.	41
Figure 3.2 Densités de passage des anticyclones dans des secteurs de 5°*5° selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. Les courbes d'iso-passages englobent les aires supérieures à 5 passages. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	42
Figure 3.3 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des anticyclones en valeurs annuelles. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.	44
Figure 3.4 Les séries temporelles sur la période 1950-2000 des fréquences en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.	45
Figure 3.5 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des latitudes maximales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.	45
Figure 3.6 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des latitudes minimales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.	46
Figure 3.7 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des longitudes minimales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.	46
Figure 3.8 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des longitudes maximales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.	47
Figure 3.9 Aires d'apparition en longitude en valeurs annuelles. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	52
Figure 3.10 Espaces des anticyclogenèses en valeurs annuelles sur la période 1950-2000. Les courbes d'iso-anticyclogenèse englobent les aires supérieures à 55 apparitions. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	52

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 3.11 Cycles annuels en valeurs mensuelles des anticyclones américano-atlantiques.....	54
Figure 3.12 Densités de passage des anticyclones dans des secteurs de 5°*5° selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. La première courbe d'iso-passages englobe les aires supérieures à 5 passages.....	55
Figure 3.13 Zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.....	56
Figure 3.14 Aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.....	58
Figure 3.15 Bandes zonales d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles.....	61
Figure 3.16 Aires d'agglutination en longitude 5°/5° en valeurs annuelles.....	65
Figure 3.17 Analyses des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression en valeurs annuelles.....	67
Figure 3.18 Densités de passage des anticyclones américano-atlantiques dans des secteurs de 5°*5° selon les seuils de pression en valeurs annuelles, A >1020, B >1025, C >1030 et D >1035 hPa. La première courbe d'iso-passages englobe les aires supérieures à 25 passages. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.....	71
Figure 3.19 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques en valeurs annuelles. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	73
Figure 3.20 Séries temporelles des fréquences sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	74
Figure 3.21 Séries temporelles sur la période des latitudes minimales en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	74
Figure 3.22 Séries temporelles sur la période des longitudes maximales en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	75
Figure 3.23 Séries temporelles en JFM des fréquences des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieurs à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.....	75
Figure 3.24 Séries temporelles en JFM des latitudes d'apparition des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieurs à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.....	76
Figure 3.25 Séries temporelles en JFM des latitudes d'agglutination des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieurs à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.....	76
Figure 3.26 Séries temporelles en JFM des longitudes d'agglutination des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression supérieurs à 1015, 1020, 1025, 1030, 1035 hPa.....	77
Figure 3.27 Cycles annuels en valeurs mensuelles des anticyclones groenlando-scandinaves.....	83
Figure 3.28 Densités de passage des anticyclones dans des secteurs de 5°*5° selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. Les courbes d'iso-passage englobent les aires supérieures à 5 passages. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.....	84
Figure 3.29 Zones d'apparition en latitude 10°/10° en valeurs annuelles.....	84
Figure 3.30 Aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.....	87
Figure 3.31 Zones d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles entre les latitudes 50 °N et 20 °N.....	89
Figure 3.32 Analyses des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs annuelles.....	92
Figure 3.33 Densités de passage des anticyclones groenlando-scandinaves dans des secteurs de 5°*5° selon les seuils de pression en valeurs annuelles : A>1015, B >1020, C >1025 et D >1030 hPa. La première courbe d'iso-passages englobe les aires supérieures à 25 passages. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.....	95
Figure 3.34 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en valeurs annuelles. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	97
Figure 3.35 Séries temporelles sur la période 1950-2000 des fréquences des anticyclones groenlando-scandinaves en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	97
Figure 3.36 Séries temporelles sur la période des latitudes minimales des anticyclones groenlando-scandinaves en valeurs saisonnières. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	98
Figure 3.37 Séries temporelles en OND des fréquences des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	98
Figure 3.38 Séries temporelles en OND des latitudes d'agglutination des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression. En abscisse, 0 correspond à 1950 et 51 à 2000.....	99
Figure 3.39 Pourcentages des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves en valeurs mensuelles (a) et fréquences mensuelles (b).....	105
Figure 3.40 Similitudes/différences selon les pourcentages d'anticyclones ayant atteint différentes latitudes en valeurs annuelles.....	107
Figure 3.41 Similitudes/différences entre les anticyclones selon différents seuils de pression en valeurs annuelles.....	108
Figure 3.42 Séries temporelles annuelles des fréquences des anticyclones. Les données sont standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.....	110
Figure 3.43 Séries temporelles annuelles des pressions maximales des anticyclones.....	110
Figure 3.44 Séries temporelles annuelles des durées des anticyclones.....	111
Figure 3.45 Séries temporelles annuelles des distances des anticyclones.....	111
Figure 3.46 Séries temporelles annuelles des latitudes d'apparition des anticyclones.....	112
Figure 3.47 Séries temporelles annuelles des latitudes d'agglutination des anticyclones.....	112
Figure 3.48 Séries temporelles annuelles des latitudes moyennes des anticyclones.....	113
Figure 3.49 Séries temporelles annuelles des longitudes d'apparition des anticyclones. Les données sont standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.....	113
Figure 3.50 Séries temporelles annuelles des longitudes d'agglutination des anticyclones. Les données sont les données standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.....	114
Figure 3.51 Séries temporelles annuelles des longitudes moyennes des anticyclones. Les données sont standardisées du fait de la grande différence des ordres de valeurs.....	114
Figure 3.52 Séries temporelles annuelles des vitesses de déplacement des anticyclones.....	115
Figure 3.53 Latitudes des centres anticycloniques et extension géographique des anticyclones en hiver et en été.....	120
Figure 4.1 Régions des cyclogénèses en valeurs annuelles sur la période 1950-2000. La première courbe d'iso-cyclogénèse englobe les aires supérieures à 20 générations (10°*10°). Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.....	123
Figure 4.2 Régions des cyclolyses en valeurs annuelles sur la période 1950-2000. La première courbe d'iso-cyclolyse englobe les aires supérieures à 20 dissipations (10°*10°). Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.....	124
Figure 4.3 Cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions.....	125

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 4.4. Densités de passage des dépressions < 1000 hPa dans des secteurs de 5°*5° selon les saisons, A en JFM, B en AMJ, C en JAS et D en OND. Les premières courbes d'iso-passage englobent les aires supérieures à 10 passages. Valeurs maximales de 150 en JFM, 91 en AMJ, 109 en JAS et 165 en OND. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	126
Figure 4.5. Régions de génération en latitude 10°/10° en valeurs annuelles.	127
Figure 4.6. Régions de génération en longitude 10°/10° en valeurs annuelles.	130
Figure 4.7. Aires de générations en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.	130
Figure 4.8. Régions de comblement en latitude en valeurs annuelles.	133
Figure 4.9. Régions de comblement en longitude en valeurs annuelles.	136
Figure 4.10. Analyses des dépressions selon les seuils de pression en valeurs annuelles.	139
Figure 4.11. Densités de passage des dépressions dans des secteurs de 5°*5°. A < 990, BC < 980, C < 970, D < 960 hPa. Les premières courbes d'iso-passages englobent les aires supérieures à 1 passage. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	143
Figure 4.12. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des dépressions en valeurs annuelles. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	145
Figure 4.13. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des caractéristiques des dépressions en valeurs hivernales. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	146
Figure 4.14. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des fréquences en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	147
Figure 4.15. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des pressions minimales en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	148
Figure 4.16. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des latitudes moyennes en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	149
Figure 4.17. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des longitudes moyennes en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	150
Figure 4.18. Séries temporelles sur la période 1950-2000 des vitesses de déplacement en valeurs annuelles et en valeurs saisonnières. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	151
Figure 4.19. Séries temporelles en hiver des fréquences selon les seuils de pression.	152
Figure 4.20. Séries temporelles en hiver des latitudes de comblement selon les seuils de pression.	152
Figure 4.21. Séries temporelles en hiver des pressions minimales selon les seuils de pression.	153
Figure 5.1 Cartes des deux phases de l'ONA tiré de http://www.cpc.ncep.noaa.gov	167
Figure 5.2 Différences des latitudes d'apparition.	173
Figure 5.3 Latitudes moyennes d'apparition en valeurs annuelles.	173
Figure 5.4 Latitudes moyennes d'apparition en valeurs hivernales.	174
Figure 5.5 Séries temporelles des latitudes d'apparition des anticyclones et des dépressions, des différences entre elles et l'ONA.	175
Figure 5.6 Latitudes d'agglutination et de comblement et différences des latitudes.	176
Figure 5.7 Séries temporelles des latitudes d'agglutination et de comblement en valeurs annuelles.	177
Figure 5.8 Séries temporelles des latitudes d'agglutination et de comblement en valeurs hivernales.	177
Figure 5.9 Séries temporelles des latitudes d'agglutination des anticyclones et de comblement des dépressions, des différences entre elles et l'ONA.	178
Figure 5.10 Dispersion (a) et concentration (b) des anticyclones. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	179
Figure 5.11 Séries temporelles des fréquences des anticyclones «islandais» et de l'ONA durant les hivers 1950-2000.	180
Figure 5.12 Relation entre échelle synoptique et échelle moyenne (d'après M. Leroux 1996).	181
Figure 5.13 «Migration, gonflement» de «l'Anticyclone des Açores»	182
Tableau 5.15 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones et de surface de l'AAA et Figure 5.14 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones et de surface de l'AAA.	183
Tableau 5.16 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones américano-atlantiques et de surface de l'AAA et Figure 5.15 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones américano-atlantiques et de surface de l'AAA.	184
Tableau 5.17 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones groenlando-scandinaves et de surface de l'AAA et Figure 5.16 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones groenlando-scandinaves et de surface de l'AAA.	185
Figures 5.17 Evolutions des latitudes minimales sur la période 1950-2000 à différentes échelles de temps. (a) en valeurs annuelles, (b) hivernales, (c) printanières, (d) estivales, (e) automnales.	187
Figure 5.18 Evolution des longitudes maximales sur la période 1950-2000 à différentes échelles de temps. (a) en valeurs annuelles, (b) hivernales, (c) printanières, (d) estivales, (e) automnales.	189
Figure 5.19 évolution thermique de la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), en valeur moyenne et en superficie de température inférieures à - 25 °C.	190
Figure 5.20 évolution barométrique de la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), en valeur moyenne et en superficie de pression supérieures à 1020 hPa.	191
Figure 5.21 Evolution de la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) sur la période en JFM.	192
Figure 5.22 Evolution de la superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) sur la période en JFM.	193
Figure 5.23 Evolution de la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores) sur la période en JFM.	194
Figure 5.24 Relations entre les superficies couvertes par des pressions particulières au-dessus des différentes régions durant les hivers (JFM) de 1950-2000.	194
Figure 5.25 Variations de la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.	196
Figure 5.26 Variations des superficies des températures inférieures à - 25 °C et des pressions supérieures à 1020 hPa (40-10 °N 120-180° (60°O-0), Açores), en JFM.	197
Figure 5.27 Variations de la superficie des températures supérieures à 20 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.	197
Figure 5.28 Variations de la superficie des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.	198

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 5.29 Variations de la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.	199
Figure 5.30 Coefficients de corrélation entre les superficies de températures selon différents seuils au-dessus des différentes régions-clés en JFM.	201
Figure 5.31 La circulation en 8 des basses couches.	204
Figure 5.32 Schéma de la dynamique aérologique en JFM.	205
Figure 5.33 Schémas de circulation générale de surface sur l'espace Atlantique nord en JFM. (a) Mode contrasté et (b) Mode «homogène».	205
Figure 5.34 «Schémas/Images» de la circulation générale de surface l'espace Atlantique nord en JFM. (a-) Mode «homogène» et (b-) Mode contrasté.	206
Figure 5.35 ONA et bilans de masse annuels de glaciers scandinaves et alpins d'après Six D., Reynaud L., Letréguilly A. (2001).	207
Figure 5.36 Fréquence des anticyclones et des dépressions en hiver de 1950 à 2000.	213
Figure 5.37 Séries temporelles (JFM) des superficies des anticyclones, des fréquences et des superficies des dépressions inférieures à 990 hPa.	213
Figure 6.1 Courbe de l'ONA en valeurs annuelles de 1950 à 2000 d'après J. Hurrell.	217
Figure 6.2 Organigramme de l'étude concernant l'IDAN.	220
Figure 6.3 Trajectoires schématiques des composantes de la circulation générale dans l'espace nord atlantique.	221
Figure 6.4 Schéma de construction de l'IDAN.	222
Figure 6.5 Variations de l'IDAN et de l'ONA, en valeurs annuelles de 1950 à 2000. R = 0,76.	223
Figure 6.6 Variations de l'IDAN et de l'ONA, en valeurs hivernales (JFM) de 1950 à 2000. R = 0,76.	223
Figure 6.7 Écarts entre les valeurs (déviations standards) de l'ONA et de l'IDAN selon diverses échelles temporelles : annuelles (a), JFM (b), AMJ (c), JAS (d) et OND (e).	224
Figure 6.8 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs annuelles. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	226
Figure 6.9 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs JFM. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	227
Figure 6.10 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs AMJ. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	227
Figure 6.11 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs JAS. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	228
Figure 6.12 Cartes de corrélations spatiales entre l'IDAN et les pressions au niveau de la mer (a-), les températures (b-), les vitesses du vent (c-) en valeurs OND. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	228
Figure 6.13 Corrélation entre l'IDAN et différents paramètres des dépressions < 970 hPa, en valeurs annuelles.	234
Figure 6.14 Corrélation entre l'IDAN et la vitesse du vent, en JFM.	235
Figure 6.15 Graphiques résumant les caractéristiques/conséquences de l'ONA tiré de G. Hodges, National Geographic, Mars 2000.	235
Figure 6.16 Superficie des pressions supérieures à 1020 hPa (90-60 °N, 50-130° (130-50°O), nord du Canada), indice de fréquence des AMP américano-atlantiques, ONA et IDAN, en JFM.	236
Figure 6.17 Superficie des pressions supérieures à 1020 hPa (40-10 °N, 120-180° (60°O-0), Açores), vitesse du vent (latitudes 30-10 °N et 140-170°), l'IDAN et ONA, en JFM.	237
Figure 6.18 Vitesse du vent (latitudes 30-10 °N), latitude de comblement des dépressions, indice des dépressions, indice de l'ONA et l'IDAN, en JFM.	237
Figure 6.19 Superficie des températures inférieures à - 2,5 °C (90-60 °N, 150-200° (30°O-20°E)), vitesse du vent (latitudes 30-10 °N) l'IDAN et ONA, en JFM.	237
Figure 6.20 Schéma des liens entre l'IDAN et la dynamique aérologique selon différentes échelles de temps (valeurs respectives : Annuelles, JFM, AMJ, JAS, OND, sauf indication contraire). Les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 98%.	238
Figure 7.1 Nombre de systèmes dépressionnaires (950 hPa et inférieur) dans l'Atlantique nord déterminé à partir de quatre à huit cartes par jour pour la saison hivernale (Novembre-Mars de 1956 à 1994), Franke DWD, source OMM (1995) tirée de http://www.clivar.org/publications/other_pubs/iplan/iip/pd1.htm .	247
Figure 7.2 La circulation en 8 des basses couches et les aires géographiques remarquables (notées de 1 à 5).	248
Figure 7.3 Variations de la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.	252
Figure 7.4 Variations de la superficie des températures supérieures à 18°C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses), durant les hivers (JFM) de 1950 à 2000.	255
Figure 7.5 Évolution du gradient thermique. Calcul : superficie de température < - 25 °C de la région n°1 (nord du Canada) - superficie de température >18 °C de la région n°3 (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses).	256
Figure 7.6 Séries temporelles du vent zonal entre 70-40 °N et 130-180° (entre Groenland et Scandinavie) et les latitudes de comblement des dépressions inférieures à 990hPa en valeurs JFM.	260
Figure 7.7 Schémas de cyclogenèse des dépressions inférieures à 990 hPa en JFM. a- graphique et b-corrélations entre les éléments de la circulation. Le carré noir en haut au centre est la représentation schématique du Groenland. Les coefficients de corrélation ont une significativité à 98%.	265
Figure 7.8 Séries temporelles des superficies de température, de pression, dans les différents secteurs géographiques remarquables, du 15 au 31 décembre 1999.	270
Figure 7.9 Situation moyenne entre le 24 et 29 décembre 1999. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	271
Figure 7.10 Situations moyennes entre le 23 et 27 janvier 1990 (gauche) et le 13 et 16 octobre 1987 (droite). Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	271
Figure 7.11 Cartes synoptiques (NCEP/NCAR) du 24 au 29 décembre 1999 avec les anticyclones et les dépressions protagonistes. La lecture se fait de droite à gauche et de haut en bas. Pour les longitudes 0 correspond à 180°O et 200 à 20°E.	272
Figure 7.12 BME du 24 au 29 décembre 1999 avec les anticyclones et les dépressions protagonistes.	273
Figure 7.13 Schéma récapitulatif des dépressions profondes en JFM. Voir remarque spéciale dans la légende de la figure 7.7a	277
Figure 8.1 Schéma récapitulatif de la recherche. Les chiffres reprennent l'ordre des chapitres.	279
Figure 8.2 a-vue zénithale de la formation d'un vortex dipôle dans un fluide stratifié d'après Van Heijst G.J.F., Flor J.B. (1989). b- Modèle de circulation des hautes latitudes d'après http://depts.washington.edu (UW Geophysical Fluid Dynamics Laboratory).	284

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 2.1. Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles de certaines caractéristiques des anticyclones américains (anticyclones AME), les cycles annuels en valeurs mensuelles de certaines caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves (anticyclones GS), les cycles annuels en valeurs mensuelles de certaines caractéristiques des dépressions (DEP) et le cycle annuel en valeurs mensuelles de l'ONA.....	36
Tableau 2.2. Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques (a), anticyclones groenlando-scandinaves (b) et les dépressions (c) et l'ONA en valeurs annuelles (An) et saisonnières (JFM, AMJ, JAS, OND) sur la période 1950-2000.....	36
Tableau 3.1. Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000.....	40
Tableau 3.2. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.....	40
Tableau 3.3. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.....	40
Tableau 3.4. Anticyclones : Coefficients de variation des courbes de tendances (régression linéaire) et les coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes échelles temporelles : annuelle et saisonnières : JFM, AMJ, JAS, OND.....	43
Tableau 3.5. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones et l'ONA.....	47
Tableau 3.6. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs annuelles.....	48
Tableau 3.7 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs JFM.....	48
Tableau 3.8 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs AMJ.....	49
Tableau 3.9 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs JAS.....	49
Tableau 3.10 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones en valeurs OND.....	50
Tableau 3.11 Résultats des ACP sur les anticyclones.....	51
Tableau 3.12 Aires d'apparition en longitude en valeurs annuelles.....	51
Tableau 3.13 Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000.....	53
Tableau 3.14 Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.....	53
Tableau 3.15 Caractéristiques moyennes des anticyclones sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.....	53
Tableau 3.16 Zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.....	56
Tableau 3.17 Caractéristiques des anticyclones dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.....	56
Tableau 3.18 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 90-80 °N.....	56
Tableau 3.19 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 80-70 °N.....	57
Tableau 3.20 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 70-60 °N.....	57
Tableau 3.21 Caractéristiques des anticyclones en valeurs saisonnières dans la zone d'apparition 60-50 °N.....	57
Tableau 3.22 Caractéristiques des anticyclones dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs saisonnières.....	58
Tableau 3.23 Aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.....	58
Tableau 3.24 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans les aires d'apparition 25°/25° en valeurs annuelles.....	59
Tableau 3.25 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 0-25° (180-155 °O) en valeurs saisonnières.....	59
Tableau 3.26 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 25-50° (155-130 °O) en valeurs saisonnières.....	59
Tableau 3.27 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 50-75° (130-105°O) en valeurs saisonnières.....	60
Tableau 3.28 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 75-100° (105-80°O) en valeurs saisonnières.....	60
Tableau 3.29 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'apparition 100-125° en valeurs saisonnières.....	60
Tableau 3.30 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques dans les aires d'apparition 25°/25° en valeurs saisonnières.....	61
Tableau 3.31 Bandes zonales de d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles.....	61
Tableau 3.32 Valeurs annuelles des zones d'arrivées de 50 °N à 25 °N.....	62
Tableau 3.33 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 50 °N.....	62
Tableau 3.34 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 45 °N.....	62
Tableau 3.35 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 40 °N.....	63
Tableau 3.36 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 35 °N.....	63
Tableau 3.37 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 30 °N.....	63
Tableau 3.38 Valeurs moyennes saisonnières dans la zone d'arrivée inférieure à 25 °N.....	63
Tableau 3.39 Valeurs moyennes saisonnières selon les zones d'arrivées.....	64
Tableau 3.40 Aires d'agglutination en longitude 5°/5° en valeurs annuelles.....	65
Tableau 3.41 Valeurs moyennes annuelles des anticyclones américano-atlantiques dans les aires d'agglutination.....	65
Tableau 3.42 Valeurs moyennes saisonnières des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'arrivée supérieure à 120° (60 °O).....	65
Tableau 3.43 Valeurs moyennes saisonnières des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'arrivée supérieure 140° (40 °O).....	66
Tableau 3.44 Valeurs moyennes saisonnières des anticyclones américano-atlantiques dans l'aire d'arrivée supérieure à 160° (20 °O).....	66
Tableau 3.45 Valeurs moyennes saisonnières par des aires d'arrivées.....	66
Tableau 3.46 Analyses des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression en valeurs annuelles.....	67
Tableau 3.47 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression en valeurs annuelles.....	67
Tableau 3.48 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1020 hPa.....	68
Tableau 3.49 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1025 hPa.....	68
Tableau 3.50 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1030 hPa.....	68
Tableau 3.51 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1035 hPa.....	69
Tableau 3.52 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques de pression supérieure à 1040 hPa.....	69
Tableau 3.53 Caractéristiques saisonnières des anticyclones américano-atlantiques selon les seuils de pression.....	70
Tableau 3.54 Coefficients de variations des courbes de tendances (régression linéaire) et les coefficients de détermination (R^2) des différentes variables pour les différentes classifications pour les échelles temporelles : annuelle, JFM, AMJ, JAS, OND selon les seuils de pression (a) 1015hPa, (b) 1020hPa, (c) 1025hPa, (d) 1030hPa.....	72

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Tableau 3.55 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et l'ONA selon les seuils de pression (a) >1015 hPa, (b) >1020 hPa, (c) >1025 hPa, (d) >1030 hPa.	77
Tableau 3.56 Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques, en valeurs annuelles (a), en valeurs hivernales (b), en valeurs printanières (c), en valeurs estivales (d), valeurs automnales (e).	80
Tableau 3.57 Résultats des ACP sur les anticyclones américano-atlantiques.	81
Tableau 3.58 Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000.	82
Tableau 3.59 Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.	82
Tableau 3.60 Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.	82
Tableau 3.61 Zones d'apparition en latitude 10°/10° en valeurs annuelles.	84
Tableau 3.62 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs annuelles.	85
Tableau 3.63 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 90-80 °N en valeurs saisonnières.	85
Tableau 3.64 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 80-70 °N en valeurs saisonnières.	85
Tableau 3.65 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 70-60 °N en valeurs saisonnières.	86
Tableau 3.66 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'apparition 60-50 °N en valeurs saisonnières.	86
Tableau 3.67 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les zones d'apparition 10°/10° en valeurs saisonnières.	86
Tableau 3.68 Aires d'apparition en fonction des longitudes 25°/25° en valeurs annuelles.	87
Tableau 3.69 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les aires d'apparition en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.	87
Tableau 3.70 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans l'aire d'apparition 125-150° (55-30°O) en valeurs saisonnières.	87
Tableau 3.71 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans l'aire d'apparition 150-175° (30-5°O) en valeurs saisonnières.	88
Tableau 3.72 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans l'aire d'apparition 175-200° (5°O-20°E) en valeurs saisonnières.	88
Tableau 3.73 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en JFM selon les aires d'apparition.	88
Tableau 3.74 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en AMJ selon les aires d'apparition.	88
Tableau 3.75 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en JAS selon les aires d'apparition.	89
Tableau 3.76 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves en OND selon les aires d'apparition.	89
Tableau 3.77 Zones d'agglutination en latitude 5°/5° en valeurs annuelles entre les latitudes 50 °N et 20 °N.	89
Tableau 3.78 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans les zones d'agglutinations 5°/5° en valeurs annuelles.	90
Tableau 3.79 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 50 °N en valeurs saisonnières.	90
Tableau 3.80 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 45 °N en valeurs saisonnières.	90
Tableau 3.81 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 40 °N en valeurs saisonnières.	90
Tableau 3.82 Caractéristiques des anticyclones Groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 35 °N en valeurs saisonnières.	90
Tableau 3.83 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves dans la zone d'agglutination inférieure à 30 °N en valeurs saisonnières.	91
Tableau 3.84 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves selon les zones d'agglutinations en valeurs saisonnières.	91
Tableau 3.85 Analyses des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs annuelles.	92
Tableau 3.86 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs annuelles.	92
Tableau 3.87 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1020 hPa en valeurs saisonnières.	93
Tableau 3.88 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1025 hPa en valeurs saisonnières.	93
Tableau 3.89 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves supérieurs à 1030 hPa en valeurs saisonnières.	93
Tableau 3.90 Caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves selon les seuils de pression en valeurs saisonnières.	94
Tableau 3.91 Coefficients de variation des courbes de tendances (régression linéaire) et les coefficients de détermination (R ²) des différentes variables pour les différentes classifications aux échelles temporelles : annuelle et saisonnière, JFM, AMJ, JAS, OND selon les seuils de pression (a) 1015 hPa, (b) 1020 hPa, (c) 1025 hPa.	96
Tableau 3.92 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves et l'ONA selon les seuils de pression : (a) >1015 hPa, (b) >1020 hPa, (c) >1025 hPa, (d) >1030 hPa.	99
Tableau 3.93 Coefficients de corrélations entre les caractéristiques des anticyclones groenlando-scandinaves, en valeurs annuelles (a), en valeurs hivernales (b), en valeurs printanières (c), en valeurs estivales (d), en valeurs automnales (e).	102
Tableau 3.94 Résultats des ACP concernant les anticyclones groenlando-scandinaves.	103
Tableau 3.95 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves à l'échelle moyenne sur la période 1950-2000.	104
Tableau 3.96 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves sur la période 1950-2000. en valeurs saisonnières.	104
Tableau 3.97 Caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves sur la période 1950-2000. en valeurs mensuelles.	105
Tableau 3.98 Analyses des fréquences des anticyclones américano-atlantiques et groenlando-scandinaves.	105
Tableau 3.99 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles.	107
Tableau 3.100 Similitudes/différences selon les pourcentages d'anticyclones ayant atteint différentes latitudes en valeurs annuelles.	107
Tableau 3.101 Similitudes/différences selon les pourcentages d'anticyclones ayant atteint différentes latitudes en valeurs saisonnières.	108
Tableau 3.102 Similitudes/Différences entre les anticyclones selon différents seuils de pression en valeurs annuelles.	108
Tableau 3.103 Similitudes/différences entre les anticyclones selon différents seuils de pression en valeurs saisonnières.	109
Tableau 3.104 Coefficients de corrélation entre les évolutions des caractéristiques sur la période 1950-2000.	109
Tableau 3.105 Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des anticyclones américano-atlantiques (a), groenlando-scandinaves (b) et l'ONA.	115
Tableau 4.1. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000.	123
Tableau 4.2. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs saisonnières.	124

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Tableau 4.3. Caractéristiques moyennes sur la période 1950-2000 en valeurs mensuelles.....	125
Tableau 4.4. Régions de génération en latitude 10°/10° en valeurs annuelles.....	127
Tableau 4.5. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs annuelles.....	127
Tableau 4.6. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 80-70 °N en valeurs saisonnières.....	127
Tableau 4.7. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 70-60 °N en valeurs saisonnières.....	128
Tableau 4.8. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 60-50 °N en valeurs saisonnières.....	128
Tableau 4.9. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 50-40 °N en valeurs saisonnières.....	128
Tableau 4.10. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs hivernales.....	128
Tableau 4.11. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs printanières.....	129
Tableau 4.12. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs estivales.....	129
Tableau 4.13. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs automnales.....	129
Tableau 4.14. Régions de génération en longitude 10°/10° en valeurs annuelles.....	130
Tableau 4.15. Régions de génération en longitude 25°/25° en valeurs annuelles.....	130
Tableau 4.16. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 25°/25° en valeurs annuelles.....	130
Tableau 4.17. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 75-100° (105-80 °O) en valeurs saisonnières.....	131
Tableau 4.18. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 100-125° (80-55 °O) en valeurs saisonnières.....	131
Tableau 4.19. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 125-150° (55-30 °O) en valeurs saisonnières.....	131
Tableau 4.20. Caractéristiques des dépressions dans la région de génération 150-175° (30-5 °O) en valeurs saisonnières.....	132
Tableau 4.21. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs hivernales.....	132
Tableau 4.22. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs printanières.....	132
Tableau 4.23. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs estivales.....	132
Tableau 4.24. Caractéristiques des dépressions dans les aires de génération 10°/10° en valeurs automnales.....	133
Tableau 4.25. Régions de comblement en latitude en valeurs annuelles.....	133
Tableau 4.26. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement en valeurs annuelles.....	133
Tableau 4.27. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 50 °N en valeurs saisonnières.....	134
Tableau 4.28. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 60 °N en valeurs saisonnières.....	134
Tableau 4.29. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 70 °N en valeurs saisonnières.....	134
Tableau 4.30. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs hivernales.....	135
Tableau 4.31. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs printanières.....	135
Tableau 4.32. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs estivales.....	135
Tableau 4.33. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs automnales.....	135
Tableau 4.34. Régions de comblement en longitude en valeurs annuelles.....	136
Tableau 4.35. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement en valeurs annuelles.....	136
Tableau 4.36. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 120° (60 °O) en valeurs saisonnières.....	137
Tableau 4.37. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 140° (40 °O) en valeurs saisonnières.....	137
Tableau 4.38. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 160° (20 °O) en valeurs saisonnières.....	137
Tableau 4.39. Caractéristiques des dépressions dans la région de comblement > 180° (°O) en valeurs saisonnières.....	137
Tableau 4.40. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs hivernales.....	138
Tableau 4.41. Caractéristiques des dépressions dans les régions de génération 10°/10° en valeurs printanières.....	138
Tableau 4.42. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement 10°/10° en valeurs estivales.....	138
Tableau 4.43. Caractéristiques des dépressions dans les régions de comblement 10°/10° en valeurs automnales.....	139
Tableau 4.44. Analyses des dépressions selon les seuils de pression en valeurs annuelles.....	139
Tableau 4.45. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs annuelles.....	140
Tableaux 4.46. Caractéristiques des dépressions en fonction des seuils de pression : (a) 990 hPa, (b) 980 hPa, (c) 970 hPa, en valeurs saisonnières.....	140
Tableau 4.47. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs hivernales.....	141
Tableau 4.48. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs printanières.....	141
Tableau 4.49. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs estivales.....	141
Tableau 4.50. Caractéristiques des dépressions selon les seuils de pression en valeurs automnales.....	142
Tableaux 4.51. Coefficients de variation des courbes de tendance (régression linéaire) et coefficients de détermination (R ²) des différentes variables pour les différentes classifications pour les échelles temporelles annuelle et saisonnières : JFM, AMJ, JAS, OND, selon les seuils de pression (a) 1000 hPa, (b) 990 hPa, (c) 980 hPa, (d) 970 hPa.....	144
Tableaux 4.52. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions et l'ONA selon les seuils de pression (a) en valeurs annuelles, (b) en valeurs hivernales, (c) en valeurs printanières, (d) en valeurs estivales, (e) en valeurs automnales.....	154
Tableau 4.53. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa en valeurs annuelles.....	155
Tableau 4.54. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs hivernales.....	156
Tableau 4.55. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs printanières.....	157
Tableau 4.56. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs estivales.....	158
Tableau 4.57. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des dépressions inférieures à 1000 hPa, en valeurs automnales.....	158
Tableau 4.58. Résultats des ACP sur les dépressions < 1000 hPa.....	159
Tableau 4.59. Coefficients de corrélation entre certains paramètres des dépressions et l'ONA sur la période JFM 1950-JFM 2000.....	160
Tableau 4.60. Latitude de cyclogenèse et de cyclolyse en JFM et JAS.....	162
Tableau 5.1 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions inférieures à 1000 hPa et des anticyclones.....	168
Tableau 5.2 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions inférieures à 990 hPa et des anticyclones.....	168
Tableau 5.3 Coefficients de corrélation entre les cycles annuels en valeurs mensuelles des dépressions et des anticyclones.....	169
Tableau 5.4 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs annuelles.....	170
Tableau 5.5 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs hivernales.....	170
Tableau 5.6 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs printanières.....	171
Tableau 5.7 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs estivales.....	171
Tableau 5.8 Coefficients de corrélation entre certaines caractéristiques des dépressions et des anticyclones en valeurs automnales.....	172

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Tableau 5.9 Latitudes moyennes d'apparition et différences des latitudes d'apparition.....	172
Tableau 5.10 Coefficients de corrélation entre les latitudes d'apparition et l'ONA.....	174
Tableau 5.11 Latitudes d'agglutination et de comblement et différences des latitudes.....	176
Tableau 5.12 Coefficients de corrélation entre latitudes de comblement des dépressions - latitudes d'agglutination des anticyclones et l'ONA.....	177
Tableau 5.13 Coefficients de corrélation entre l'ONA et la fréquence des anticyclones.....	178
Tableau 5.14 Coefficients de corrélation entre l'ONA et la fréquence des anticyclones «islandais».....	179
Tableau 5.15 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones et de surface de l'AAA et Figure 5.14 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones et de surface de l'AAA.....	183
Tableau 5.16 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones américano-atlantiques et de surface de l'AAA et Figure 5.15 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones américano-atlantiques et de surface de l'AAA.....	184
Tableau 5.17 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones groenlando-scandinaves et de surface de l'AAA et Figure 5.16 Variations des valeurs d'agglutinations anticyclones groenlando-scandinaves et de surface de l'AAA.....	185
Tableau 5.18 Évolutions de la superficie couverte par des pressions supérieures à 1020 hPa dans la zone comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada).....	191
Tableau 5.19 Coefficients de corrélation entre la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la zone comprise entre 90-60 °N et 50-130° et certains éléments de la dynamique aérologique en hiver (JFM) de 1950 à 2000.....	191
Tableau 5.20 Superficie couverte par des pressions inférieures à 1000 hPa dans la zone comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).....	192
Tableau 5.21 Coefficients de corrélation entre la superficie des pressions inférieures à 1000 hPa dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) et certains éléments de la dynamique aérologique en hiver (JFM) de 1950 à 2000.....	192
Tableau 5.22 Superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores).....	193
Tableau 5.23 Coefficients de corrélation entre la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa dans la zone comprise entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores) et certains éléments de la dynamique aérologique en hiver (JFM) de 1950 à 2000.....	193
Tableau 5.24 Coefficients de corrélation entre les superficies des pressions au-dessus des différentes régions durant les hivers (JFM) de 1950-2000.....	194
Tableau 5.25 Coefficients de corrélation entre la superficie des températures inférieures à - 25 °C dans la région comprise entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada) et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.....	196
Tableau 5.26 Coefficients de corrélation entre la superficie des températures supérieures à 20 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 120-200° et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.....	197
Tableau 5.27 Coefficients de corrélation entre la superficie des températures supérieures à 18 °C dans la région comprise entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.....	198
Tableau 5.28 Coefficients de corrélation entre la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C, dans la région comprise entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie) et certains éléments de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000.....	200
Tableau 5.29 Coefficients de corrélation entre les superficies des températures des différentes régions-clés durant les hivers (JFM) de 1950-2000.....	200
Tableau 5.30 Liens entre superficies et fréquences des anticyclones et des dépressions inférieures à 990 hPa.....	201
Tableau 5.31 Coefficients de corrélation entre durée et fréquence des anticyclones et des dépressions (Bravais Pearson méthode) en JFM. Les chiffres en gras sont significatifs au seuil de 98% ou plus.....	213
Tableau 6.1 Corrélation entre l'ONA et les AMP (a), les AMP américano-atlantiques (b), les AMP groenlando-scandinaves (c) et les dépressions (d).....	220
Tableau 6.2 Coefficients de corrélation de l'IDAN avec l'ONA.....	222
Tableau 6.3 Coefficients de corrélation entre les écarts (ONA/IDAN) et les indices des AMP américano-atlantiques, des AMP groenlando-scandinaves et des dépressions.....	225
Tableau 6.4 Coefficients de corrélation entre les écarts (ONA/IDAN) et les sous-indices des AMP américano-atlantiques (a), des AMP groenlando-scandinaves (b) et des dépressions (c).....	225
Tableau 6.5 Corrélation entre IDAN et les pressions réduites au niveau de la mer moyennes de différentes stations en valeurs annuelles (a) et en valeurs JFM (b).....	230
Tableau 6.6 Corrélation entre IDAN et les températures moyennes de différentes stations en valeurs annuelles (a) et en valeurs JFM (b).....	232
Tableau 6.7 Corrélation entre IDAN et les précipitations moyennes de différentes stations en valeurs annuelles (a) et en valeurs JFM (b).....	233
Tableau 6.8 Corrélation entre les sous-indices de l'IDAN et l'ONA.....	239
Tableau 6.9 Corrélation entre l'IDAN et les caractéristiques des anticyclones (a), des AMP américano-atlantiques (b), des AMP groenlando-scandinaves (c) et les caractéristiques des dépressions < 1000 hPa (d). Les coefficients de corrélation cités en gras sont significatifs à 98%.....	240
Tableau 7.1 Coefficients de corrélation entre les AMP américano-atlantiques et les dépressions (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980 hPa et (c) inférieures à 970 hPa pour les caractéristiques concernant l'apparition des phénomènes.....	250
Tableau 7.2 Corrélation entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa entre 90-60 °N et 50-130° (130-50°O) (nord du Canada).....	251
Tableau 7.3 Corrélation entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures inférieures à - 25 °C entre 90-60 °N et 50-130°(130-50°O) (nord du Canada).....	251
Tableau 7.4 Corrélation entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des pressions supérieures à 1020 hPa entre 40-10 °N et 120-180° (60°O-0) (Açores).....	252
Tableau 7.5 Corrélation entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures supérieures à 20°C entre 40-10 °N et 120-180°(60°O-0) (Açores).....	253
Tableau 7.6 Corrélation entre les caractéristiques des dépressions profondes et la vitesse des alizés entre 30-10 °N et 140-170° (40-10°O).....	253
Tableau 7.7 Corrélation entre les superficies de température, de pression et la vitesse des alizés.....	254
Tableau 7.8 Corrélation entre la superficie des températures supérieures à 18 °C entre 40-20 °N et 80-120° (100-60°O) et les superficies de températures, de pression et la vitesse des vents dans la région 2.....	254

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Tableau 7.9 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures supérieures à 18 °C entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Golfe du Mexique, Mer des Caraïbes et des Sargasses).....	254
Tableau 7.10 Coefficients de corrélation entre les AMP américano-atlantiques et les dépressions (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980 hPa et (c) inférieures à 970 hPa pour les caractéristiques concernant les trajectoires.....	257
Tableau 7.11 Coefficients de corrélation entre la fréquence des anticyclones «islandais» et les caractéristiques des dépressions profondes.	258
Tableau 7.12 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures supérieures à 18 °C entre 40-10 °N et 80-120° (100-60°O) (Açores).	258
Tableau 7.13 Coefficients de corrélation entre les AMP américano-atlantiques et les dépressions (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980 hPa et (c) inférieures à 970 hPa pour les caractéristiques concernant le comblement des dépressions.	259
Tableau 7.14 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et le vent zonal entre 70-40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).	259
Tableau 7.15 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et le vent méridien entre 70-40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).	260
Tableau 7.16 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et le vent résultant entre 70-40 °N et 130-180° (50°O-0) (entre Groenland et Scandinavie).	261
Tableau 7.17 Corrélations entre les caractéristiques des dépressions profondes et la superficie des températures inférieures à - 2,5 °C entre 90-60 °N et 150-200° (30°O-20°E) (entre Groenland et Scandinavie).	261
Tableau 7.18 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions inférieures à 990 hPa.	262
Tableau 7.19 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions inférieures à 980hPa.	263
Tableau 7.20 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions inférieures à 970hPa.	264
Tableau 7.21 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions en OND. (a) inférieures à 990 hPa, (b) inférieures à 980hPa, (c) inférieures à 970 hPa.	267
Tableau 7.22 Corrélations entre les éléments de la dynamique aérologique et les caractéristiques des dépressions <960 hPa en ONDJFM 1950 à 2000.	268
Tableau 7.23 Coefficients de corrélation entre les superficies de pression dans les différentes régions géographiques remarquables durant la seconde quinzaine de décembre 1999.	269
Tableau 7.24 Coefficients de corrélation entre les superficies de température dans les différentes régions géographiques remarquables durant la seconde quinzaine en décembre 1999.	269

BIBLIOGRAPHIE

- ACIA** (2004), *Impacts of Warming Arctic*, **ACIA: International Symposium on Climate Change in the Arctic**, Reykjavik, Iceland, 9-12 Novembre 2004
- Appenzeller C., Schwander J., Sommer S., Stocker T.F.**, (1998), The North Atlantic oscillation and its imprint on precipitation and ice accumulation in Greenland, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1939-1942
- Arbogast P., Joly A.**, (1998), Identification des précurseurs d'une cyclogenèse, *Académie des sciences*, Paris, science de la terre et des planètes.
- Bacon S., carter J.T.**, (1991), Wave climate changes in the north Atlantic, *International Journal of Climatology*, **104**, 30937-30946
- Baldwin M.P.**, (2000), http://www.aero.jussieu.fr/~sparc/news14/14_baldwin.html
- Baldwin M.P., Dunkerton T.J.**, (1999), Propagation of the Arctic Oscillation from stratosphere to troposphere, *J. Geophys. Res.*, **104**, 937-946
- Barsugli J.J., Battisti D.S.**, (1998), The basics effects of atmosphere-ocean thermal coupling on midlatitude variability, *J. At. Sci.*, **55**, 477-493.
- Barnston A.G. Livezey R.E.**, (1987), Classification, seasonality and persistence of low frequency circulations patterns, *Mon. Weather Rev.*, **115**, 1083-1126
- Benestad R.**, (2002), *Solar activity and earth's climate*, Springer, New York
- Bergeron T.**, (1928). Über die dreidimensional verknüpfende wetteranalyse, *Geofysiske Publikasjoner.*, Vol. V, No 6, 1-11
- Bjerknes J., Holmboe J.**, (1944), On the theory of cyclones, *J. Meteo.*, **1**, 1-22
- Bjerknes J., Palmen E.**, (1937), Investigations of selected European cyclones by means of serial ascents. Case 4: feb 15-17, 1935, *Geofys. Publikasjoner*, **12**, 1-62
- Bjerknes J., Solberg H.**, (1922), Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation, *Geofys. Publikasjoner*, **3**, 1-62
- Blackmon M.L.**, (1976), A climatological spectral study of the 500 mb geopotential height of the Northern Hemisphere. *J. Atmos.Sci.*, **33**, 1607-1623
- Blackmon M.L., Wallace J.M., Lau N.C., Mullen S.L.**, (1977), An observational study of the Northern Hemisphere wintertime circulation. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1040-1053
- Blender R., Fraedrich K., Lunkeit F.**, (1997), Identification of cyclone track regimes in the north Atlantic, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **123**, 727-741
- Brunet R., Ferras R., Théry H.**, (2001), *Les Mots de la Géographie : dictionnaire critique*, Montpellier-Paris : Reclus-la documentation française, 520p. (3^e édition)
- Carrega P.**, (1997), Point de vue (et images d'Europe): AMP, coulées froides et anticyclones subtropicaux, 139-140 dans Vigneau J.P., Autour de l'anticyclone, Journées de la commission «Climat et Société» du Comité National de Géographie, Le Mans , 5-7 avril 1995.
- Cassou C., Terray L.**, (2001), Oceanic forcing of wintertime low frequency atmospheric variability in the North Atlantic European sector: a study with the ARPEGE model, *J. Climate*, **14**, 4266-4291.
- Comby J.**, (1998), Les paroxysmes pluviométriques dans le couloir rhodanien, Thèse Université Lyon 3, 668p
- Corti S., Molteni F., Palmer T.N.**, (1999), Signature of recent climate change in frequencies of natural atmospheric circulation regimes, *Nature*, **398**, 799-802
- Crantz D.**, (1765), *Historie von Gronland*

- Czaja A., Frankignoul C.**, (1999), Influence of North Atlantic SST on the atmospheric circulation, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 2969-2972.
- D'andréa F.**, (2003), Entre le temps et le climat, la variabilité intrasaisonnière de l'atmosphère, *La Météorologie 8^e série*, **41**, 30-37
- De Moor G., Veyre P.**, (1991), *Les bases de la météorologie dynamique*, Cours et Manuels n°6, Direction de la Météorologie Nationale, Toulouse, 312p
- Defant A.**, (1921), Die zirkulation der atmosphäre in den gemässigten breiten der Erde, *Geografiska Annaler*, **3**, 209-66
- Deser C., Blackmon M.L.**, (1993), Surface climate variations over the North Atlantic Ocean during winter: 1900-1989, *J. Climate*, **6**, 1743-1753.
- Deser C., Walsh J.E., Timlin M.S.**, (2000), Arctic sea ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends, *J. Climate*, **13**, 617-633.
- Dickson R.R., Namias J.**, (1976), North American influences on the circulation and climate of the North Atlantic sector, *Mon. Weather Rev.*, **104**, 1255-1265.
- Dickson R. R. et al.**, (2000), The Arctic Ocean Response to the North Atlantic Oscillation, *J. Climate*, **13**, 2671-2696.
- Drévilion M.**, (2002), *Interaction ocean-atmosphère à l'échelle saisonnière sur la région Atlantique Nord-Europe : rôle des routes dépressionnaires et mécanismes associés sur la variabilité climatique*, thèse Université Toulouse III, 185p.
- Duplessy J.C., Morel P.**, (1990), *Gros temps sur la planète*, O. Jacob, Paris, 297p
- Eady E.**, (1949), Long waves and cyclones waves, *Tellus*, **1**, 33-52
- Estienne P., Godard A.**, (1970), *Climatologie*, Armand Colin, 368p
- Exner F.M.**, (1913), übermonatliche witterungsonamilien auf der nordichen erdhälfte im winter, *Sitzunberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen klasse der akad. Wissenschaften*, **133**, 307-408
- Farrell B.F.**, (1984), Modal and non-modal baroclinic waves, *J. Atmos. Sci.*, **41**, p668-673.
- Farrell B.F.**, (1989), Optimal excitation of baroclinic waves, *J. Atmos. Sci.*, **46**, p1193-1206.
- Favre A., Gershunov A.**, (2005), Extra-tropical cyclonic/anticyclonic activity in North-Eastern Pacific and air temperature extremes in Western North America, *Climate Dynamics*, In review
- Ferrel W.**, (1859), The motions of fluids and solids relative to the earth's surface. *Math. Mon.*, **1**, 140-406.
- Fraedrich K., Bantzer C., Burkhardt U.**, (1993), Winter climate anomalies in Europe and their associated circulation at 500 hPa, *Climate Dynamics*, **8**, 161-175
- Frankignoul C.**, (1985), Sea surface anomalies, planetary waves, and air sea feedback in the middle latitudes, *Rev. Geophysics*, **23**, 357-390
- Gachon P.**, (1994), évolution des pressions et des températures au Canada de 1960 à 1990, *Publ. AIC*, **7**, 256-267
- Gillett N.P., Graf H.F., Osborn F.J.**, (2003), climate change and North Atlantic Oscillation in Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., Eds, *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph Series, **134**, 193-211
- Godard A., Tabeaud M.**, (1993), *Les climats: Mécanismes et répartition*, Armand Colin, 185p
- Godske C.C., Bergeron T., Bjerknes J., Bundgaard R.C.**, (1957), *Dynamic meteorology and weather forecasting*, Am. Meteo. Soc., Carnegie Institution of Washington, 800p

- Goyette S., Beniston M., Jungo P., Caya D., Laprise R.,** (2001), Numerical investigation of an extreme storm with the Canadian regional climate model. The case study of windstorm Vivian, Switzerland, February 27, 1990, *Climate Dynamics*, **18**, 145-178
- Goyette S., Beniston M., Jungo P.,** (2002), Daily wind gust probabilities over Switzerland according to three types of synoptic circulation, *International Journal of Climatology*, **22**, 485-499
- Grigoriev S., Gulev S.K., Zolina O.,** (2000), Innovative software facilitates cyclone tracking and analysis, *EOS, Trans. Amer. Geophys. Union*, **81**, 170
- Groupe chadule,** (1987), *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*, Masson, 189p
- Gulev S. K., Jung T. Ruprecht E.,** (2002), Climatology and Interannual Variability in the intensity of Synoptic-Scale Processes in the North Atlantic from the NCEP-NCAR Reanalysis Data, *J. Climate*, **15**, 809-828
- Gulev S.K.,** (1997), Climate variability of the intensity of synoptic processes in the North Atlantic midlatitudes, *J. Climate*, **10**, 574-592
- Gulev S.K., Hasse L.,** (1999), Changes of wind waves in the North Atlantic over the last 30 years, *International Journal of Climatology*, **19**, 720-744
- Halley E.,** (1686), An historical account of the trade-winds and monsoons observable in the seas between and near the tropics with an attempt to assign the physical cause of said winds. *Philo. Trans*, London, **26**, 153-168.
- Hadley G.,** (1735). Concerning the cause of the general trade-winds, *Philo. Trans.*, London, **39**, 58-62.
- Hann J.,** (1890), Zur witterungsgeschichte von der Grönland, *Wetksiste Meteor. Zeitschrift*, **7**, 109-115
- Hatzianastassiou N.,** (2005), A global cloud cover climatology from 17 year, **5th EMS Meeting**, Utrecht, 13-16 September 2005
- Hilmer M., Jung T.,** (2000), Evidence for a recent change in the link between the North Atlantic Oscillation and Arctic sea ice export, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 989-992
- Hobbs W.H.,** (1926): *The glacial anticyclones, the poles of the atmospheric circulation*, New York Mac Millan 198p
- Hodges K.,** (1994), A general method for tracking analysis and its application to meteorological data, *Mon. Weather Rev.*, **122**, 2573-2586
- Hoskins B., West N.V.,** (1979), Baroclinic waves and frontogenesis. Part II: uniform potential vorticity jet flows- cold and warm fronts, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 1663-1680,
- Hufty A.,** (2001), *Introduction à la climatologie*, De Boeck Université, 539p
- Hurrell J.W.,** (1995), Decadal trends in the North Atlantic Oscillation regional temperatures and precipitation, *Science*, **269**, 676-679
- Hurrell J.W., Van Loon H.,** (1997), Decadal variations in climate associated with the north Atlantic oscillation, *Climatic Change*, **36**, 301-326
- Hurrell J.W., Kushnir Y., Visbek M.,** (2001), The North Atlantic Oscillation, *Science*, **296**, 603-605.
- Hurrell J.W., Hoerling M.P., Folland C.K.,** (2002), Climatic variability over the north atlantic, *Meteorology at the millennium*, 143-151
- Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M.,** Eds (2003), *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph Series, AGU, **134**, 279p
- Ihaka R., Gentleman R.,** (1996), R: a language for data analysis and graphics, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, **5**, 299-314.

- Joly A.**, (1995), «Le front polaire, un concept dépassé qui a la vie dure?» *La recherche*, **26**
- Joly A.**, (1992), *Les dépressions profondes, les dépressions comment elles se forment, comment elles se développent*. Cours et manuels n°7 de l'Ecole Nationale de la Météorologie, p.54
- Jung T., Hilmer M.**, (2001), The link between the North Atlantic Oscillation and Arctic sea ice export through Fram Strait, *J. Climate*, **14**, 3932–3943
- Kahl J.D., Charlevoix D.J., Zaitseva N.A., Schnell R.C., Serreze M.C.**, (1993), Absence of evidence for greenhouse warming over the arctic ocean in the past 40 years, *Nature*, **361**, 335–337
- Kalnay E.**, (2001), The NCEP–NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and documentation, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **82**
- Kandel R.**, (1990), *Le Devenir des Climats*, questions de science Hachette, 125p
- Klein W.H.**, (1957), Principal tracks and mean frequencies of cyclones and anticyclones in the northern hemisphere, *Research paper n°40, weather Bureau*, Washington D.C 1957
- Kodera K., Koide H., Yoshimura H.**, (1999), Northern Hemisphere winter circulation associated with the North Atlantic Oscillation and stratospheric polar-night jet, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 443–446
- Kushnir Y., Cardone V.J., Greenwood J.G., Cane M.A.**, (1997), The recent increase in North Atlantic wave heights, *J. Climate*, **10**, 2107–2113
- Kwok R., Rothrock D.A.**, (1999), Variability of Fram Strait ice flux and North Atlantic Oscillation *J. Geophys. Res.*, **104**, 5177–5189
- Lamb P.J., Pepler R.A.**, (1987), North-Atlantic Oscillation: concept and application; *Bulletin of the American Meteorological Society*, **68**, 1218–1225
- Landscheisdt T.**, (2001), Solar eruptions linked to North Atlantic Oscillation, <http://www.john-daly.com>
- Leroux M.**, (1993), Sécheresse et dynamique de la circulation dans l'hémisphère nord, *Publ. AIC*, **6**, 69–82
- Leroux M.**, (1993), The Mobile Polar High: a new concept explaining present mechanisms of meridional airmass and energy exchanges, and global propagation of paleoclimatic changes, *Global Planetary Change*, **7**, 69–93
- Leroux M.**, (1994), Dynamique du temps et du climat dans l'espace atlantique nord, *Publ. AIC*, **7**, 354–364
- Leroux M.**, (1996 et 2000), *Dynamique du temps et du climat*, 1° et 2° éditions, Masson,
- Leroux M.**, (2000), *Dynamic analysis of weather and climate, atmospheric circulation, perturbation, climatic evolution*, J. Wiley ed, Praxis-Wiley, Series in Atmospheric, London, New-York, Sydney, 365p
- Leroux M.**, (2005), *Global Warming, Myth or Reality? The erring ways of climatology*, Springer-Praxis, 466 p
- Le Treut H., Kalnay E.**, (1990), Comparison of observed and simulated cyclone frequency distribution as determined by an objective method, *Atmosfera*, **3**, 57–71
- Litynski J.**, (1994), Changements climatiques au Canada et l'évolution générale du climat, *Publ. AIC*, **7**, 287–293
- Lorenz E.N.**, (1951), Seasonal and irregular variations of the northern hemisphere sea-level pressure profile, *J. Meteo.*, **8**, 52–59
- Lunkait F., Fraedrich K., Bauer S.E.**, (1998), Storm tracks in a warmer climate: sensitivity studies with a simplified global circulation model, *Climate Dynamics*, **14**, 813–826
- Marsh R.**, (2000), Recent variability of the North Atlantic thermohaline circulation inferred from surface heat and freshwater fluxes, *J. Climate*, **13**, 3239–3260

- Mansfield D.A.**, (1993), The storm of 10 january 1993. *Met. Magazine*, **122**, 140-146
- Marshall J. et al**, ((2001), North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms, *International Journal of Climatology*, **21**, 1863-1898
- Matthes F.E, Belmont A.D.**, (1946), The glacial anticyclone theory examined in light of recent meteorological data from Greenland, part II, *EOS, Trans. Amer. Geophys. Union*, **31**, 174-182
- Meehl G.A., Van Loon H.**, (1979), The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe, Part II: teleconnections with lower latitudes, *Mon. Weather Rev.*, **107**, 10895-1106
- Murray R. J., Simmonds I.**, (1991), A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: Development and operation of the scheme. *Aust. Meteor. Mag.*, **39**, 155-166
- Mysak L.A.**, (2001), Patterns of arctic circulation, *Science*, **293**, 1269-1270
- Namias J.**, (1950), The index cycle and its role in the general circulation, *J. Meteo*, **7**, 130-139
- Newton C.W., Holopainen E.O.**, (1990), *Extratropical cyclones: the Eric Palmen memorial volume*, AMS, Boston, 164p
- Paeth H., Hense A.**, (1999), Climate change signal in the North Atlantic Oscillation, *CLIVAR exchanges*, **4**, 25-29
- Pagney P.**, (1976), *Les climats de la Terre*, Masson, 151p
- Palmen E.**, (1951), The aerology of extratropical disturbances, *Compendium of Meteorology*, Boston, 599-620
- Palmen E., Newton W.**, (1969), Atmospheric circulation systems, their structure and physical interpretation, *Geophys. Res.*, **13**, 603
- Peixoto J., Oort A.**, (1992), *Physics of climate*, American Institute of physics, 520p.
- Perlwitz J., Graf H.F.**, (1995), The statistical connection between tropospheric and stratospheric circulation of the northern hemisphere winter, *J. Climate*, **8**, 2281-2295
- Pettersen S.**, (1955), A general survey of factors influencing development at sea level, *J. Meteo.*, **12**, 36-42
- Pettersen S.**, (1956), *Weather analysis and forecasting*, volume I, McGraw-Hill. 428p
- Pettersen S., Smebye S.J.**, (1971), On the development of extra tropical cyclones, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **97**, 457-482
- Pezza A.B., Ambrizzi T.**, (2002), Variability of southern hemisphere cyclone and anticyclone behavior : further analysis, *J. Climate*, **16**, 1075-1083
- Polyakov I., Johnson M.A.**, (2000), Arctic decadal and interdecadal variability, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 4097-4100
- Polyakov I. et al**, (2002), Observationally based assessment of polar amplification of global warming, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1878
- Portis D.H. et al**, (2000), Seasonality of the North Atlantic Oscillation, *J. Climate*, **14**, 2069-2078
- Przbylak R.**, (2000), Temporal and spatial variation of surface temperature over the period of instrumental observations the Arctic, *International Journal of Climatology*, **20**, 587-614
- Przbylak R.**, (2003), *Variability of Air Temperature and Atmospheric Precipitation in the Arctic*, Springer, 352p.
- Reynaud J.**, (1994), Evolution récente de la pression en surface et des températures dans l'espace atlantique nord, du Groenland à la Scandinavie, *Publ. AIC*, **7**, 268-278

- Reynaud J., Mollica V., Passerat de la chapelle P., Guimard D., Moreau E.,** (1989-1994), La dynamique du transport méridien par les AMP dans l'hémisphère nord, *Mém. Lab. Géo. Phys.*, Université Jean Moulin, Lyon 3
- Reitan C.H.,** (1974), Frequencies of cyclones and cyclogenesis for North America, *Mon. Weather Rev.*, **102**, 861-868
- Rigor I. et al,** (2000), Variations in surface temperature observations in the arctic, 1979-1997, *J. Climate*, **13**, 896-914
- Rodwell M.J., Rowell D.P., Folland C.K.,** (1999), Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate, *Nature*, **398**, 320-323
- Rodo, X., Baert E., Comin F. A.,** (1997), Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Nino-Southern Oscillation, *Climate Dynamics*, **13**, 275-284
- Rogers J.C.,** (1997), North Atlantic storm track variability and its association to the north Atlantic oscillation and climate variability of northern Europe, *J. Climate*, **10**, 1635-1647
- Rogers J.C.,** (1990), Patterns of low-frequency monthly sea level pressure (1899-1986) and associated wave cyclone frequencies, *J. Climate*, **3**, 1364-1379
- Rogers J.C., Van Loon H.,** (1979), The Seesaw in Winter Temperatures between Greenland and Northern Europe. Part II: Some Oceanic and Atmospheric Effects in Middle and High Latitudes, *Mon. Weather Rev.*, **107**, 509-519
- Rossby C.G., Weightman R.H.** (1939), Relations between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacement of the semi-permanent centers of action, *Jour. Mar. Res.*, **2**(1), 38-55.
- Rossby C.G.** (1941), The scientific basis of modern meteorology. Climate and Man, *Yearbook of Agric.*, New York, 599-655.
- Rossby C.G.** (1945), On the propagation of frequencies and energy in certain types of oceanic and atmospheric waves, *J. Meteor.*, **2**, 187-204
- Rossby C.G., Willet H.C.** (1948), The circulation of the upper troposphere and lower stratosphere, *Science*, **108**, 643-652
- Sadourny R.,** (1994), *Le climat de la Terre*, Dominos n°28, Flammarion, 126p
- Sarachik E.S., Alverson K.,** (2000), Opportunities for CLIVAR/PAGES, NAO studies, *CLIVAR exchanges/PAGES News*, **8**, 14-16
- Schinke H.,** (1993), On the occurrence of deep cyclones over Europe and the North Atlantic in the period 1930-1991, *Contrib. Atmos. Phys.*, **66**, 223-237
- Schmith T., Kaas E., Li T.S.,** (1998), Northeast Atlantic winter storminess 1875-1995 re-analysed, *Climate Dynamics*, **14**, 529-536
- Selten F.M., Haarsma R.J., Opsteegh J.D.,** (1999), On the mechanism of North Atlantic decadal variability, *J. Climate*, **12**, 1956-1973
- Serreze M.C., Barry R.G.,** (1989), Synoptic activity in the arctic basin 1979-1985, *J. Climate*, **1**, 1276-1295
- Serreze M.C., Box J.E., Barry R.G., Walsh J.E.,** (1993), Characteristics of Arctic synoptic activity, 1952-1989, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **51**, 147-164
- Serreze, M.C., Carse F., Barry R.G., Rogers J.C.,** (1997), Icelandic low cyclone activity: climatological features, linkages with the NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation, *J. Climate*, **10**, 453-464
- Sinclair M.R.,** (1994), An objective cyclone climatology for the southern hemisphere, *Mon. Weather Rev.*, **122**, 2239-2256

- Six D., Reynaud L., Letréguilly A.**, (2001), Influence de l'Oscillation Nord Atlantique sur les glaciers Alpins et Scandinaves, *Extrait de la lettre n°15 du Programme Géosphère Biosphère-Programme Mondial de Recherches sur le climat (PIGB-PMRC)*
- Sinclair M.R.**, (1994), An objective cyclone climatology for the Southern Hemisphere, *Mon. Weather Rev.*, **122**, 2239-2256
- Stephenson D.B., Pavan V., Bojariu R.**, (2000), Is the North Atlantic Oscillation a random walk? *International journal of climatology*, **20**, 1-18
- Stephenson D.B. et al.**, (2003), The history of scientific research on the NAO, in Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., Eds, *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph Series, **134**,
- Sutcliffe R.C.**, (1947), A contribution to the problem of development, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **73**, 370-383
- Sutcliffe R.C.**, (1952), Principles of synoptic weather forecasting, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **78**, 291-320
- Sickmoller M., Blender R., Fraedrich K.**, (2000), Observed winter cyclone tracks in the northern hemisphere in re-analyzed ECMWF-data, *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **126**, 591-620
- Svensmark H., Friis-Christensen E.**, (1997), Variation of cosmic ray flux and cloud coverage: A missing link in solar-terrestrial relationships, *J. Atmosph. Sol. Terr. Phys.*, **59**, 1225-1232
- Taljaard J.J.**, (1967), Development, distribution and movement of cyclones and anticyclones in the southern hemisphere (IGY), *J. Appl. Met.*, **6**, 973-997
- Thompson D., Lee S., Baldwin M.P.**, (2003), Atmospheric processes governing the North Atlantic Oscillation / Northern hemisphere annular mode, in Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., Eds, *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph Series, **134**, 81-112.
- Thorpe A.J.**, (2002), Extra tropical cyclones, an historical perspective, *Meteorology at the millennium*, 14-22.
- Ulbrich U., Christoph M.**, (1999), A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcing, *Climate Dynamics*, **15**, 551-559.
- Van Bebber W.J.**, (1891), Die Zugbahnen der barometrischen minima, *Meteor. Z.*, **8**, 361-366
- Van Heijst G.J.F., Flor J.B.**, (1989), Dipole formation and collisions in a stratified fluid, *Nature*, **340**, 212-214.
- Van Loon H., Rogers J.C.**, (1978), The Seesaw in Winter Temperature between Greenland and Northern Europe. Part I: General Description, *Mon. Weather Rev.*, **106**, 296-310
- Vautard R.**, (1990), multiple weather regimes over the North Atlantic analysis of precursors and successors, *Mon. Weather Rev.*, **118**, 2056-2081
- Viaut A.**, (1969), *la météorologie*, Que sais je? Vol89, PUF, 127p
- Viers G.**, (1968), *Eléments de climatologie*, Fernand Nathan, 224p
- Vigneau J.P.**, (2000), *Géoclimatologie*, coll. Universités, Ellipses, Paris, 344p
- Vigneau J.P.**, (1997), Autour de l'anticyclone, Journées de la commission «Climat et Société» du Comité National de Géographie, Le Mans , 5-7 avril 1995. (voir références internes)
- Visbeck M., Cullen H., Krahmann G., Naik N.**, (1998), An ocean model's response to North Atlantic Oscillation like wind forcing, *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 4521-4524
- Visbeck M. et al.**, (2003) The ocean's response to NAO, in Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M., Eds, *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*, Geophysical Monograph Series, **134**, 113-147

- Walker G.T.**, (1923), Correlation of seasonal variations in weather VIII: a preliminary study of world weather, *Mem. Indian Meteorol. Dept.*, **24**, 75-131
- Walker G.T.**, (1924), Correlation of seasonal variations in weather IX: a further study of world weather, *Mem. Indian Meteorol. Dept.*, **25**, 275-332
- Walker G.T., Bliss E.W.**, (1932), World Weather, *Mem. R. Meteorol. Soc.*, **4**, 53-83
- Wallace J.M., Zhang Y., Renwick J.A.**, (1995), Dynamical contribution to hemispheric mean temperature trends, *Science*, **270**, 780-783
- Wallace J. M.**, (2000), North Atlantic Oscillation/Northern Hemisphere annular mode, one phenomenon, two paradigms. *Q. J. Roy. Met. Soc.*, **126**, 791-805
- Walsh J.E., Chapman W.L., Shy T.L.**, (1996), Recent decrease of sea level pressure in central arctic, *J. Climate*, **9**, 480-486
- Wanner H.**, (1999), Le Balancier de l'Atlantique Nord, *La recherche*, **321**, 72-73
- Wardle R.**, (2003), Using anticyclonicity to determine the position of southern hemisphere westerlies: implications for LGM, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 2200
- WASA Group**, (1998), Changing waves and storms in the northeast Atlantic? , *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 741-760
- Watanabe M., Nitta T.**, (1999) Decadal changes in the atmospheric circulation and associated surface climate variation in the northern hemisphere winter, *J. Climate*, **12**, 494-510
- World Glacier Monitoring Service**, (2003), <http://www.geo.unizh.ch/wgms/>
- Zishka K.M., Smith P.J.**, (1980), The climatology of cyclone and anticyclones over north American and surrounding ocean environs for January and July, 1950-1977, *Mon. Weather Rev.*, **108**, 387-401

GLOSSAIRE

Définitions d'après le dictionnaire du Vocabulaire Météorologique International de l'Organisation Météorologique Mondiale. WMO/OMM/BMO - n°182 (1992).

Alizés : vents persistants, surtout dans la basse atmosphère qui soufflent sur de vastes régions à partir d'un anticyclone subtropical vers les régions équatoriales.

Anticyclogenèse : processus de formation ou d'intensification d'une circulation anticyclonique

Anticyclolyse : processus de dissipation ou d'arrêt d'une circulation anticyclonique

Anticyclone : aire de haute pression. Région de l'atmosphère où la pression est élevée par rapport à celle du voisinage au même niveau.

Analyse objective : procédé d'analyse synoptique tel qu'à un ensemble déterminé de données correspond une solution d'analyse unique indépendante du jugement personnel de l'analyste.

Analyse synoptique : étude des données d'observations synoptiques à partir des cartes en vue de représenter l'état de l'atmosphère au moyen de fronts, d'isohypses etc.

Cyclogenèse : processus de déclenchement ou d'intensification d'une circulation cyclonique

Cyclolyse : processus d'affaiblissement ou d'arrêt d'une circulation cyclonique.

Centre d'action : dépression ou anticyclone de grande étendue et quasi stationnaire qui détermine le mouvements des perturbations atmosphériques sur une grande région.

Circulation atmosphérique : mouvements atmosphériques au dessus de la surface de la Terre.

Circulation générale : Ensemble des configurations de circulation atmosphérique s'étendant sur tout le globe terrestre. Souvent le terme se rapporte aux configurations de la circulation moyenne relative à un intervalle de temps déterminé.

Changement climatique :

- terme tout à fait général qui englobe toutes formes d'inconstance climatique, quelle que soit leur nature statistique ou leur cause physique. Le changement climatique peut résulter de facteurs tels que des modifications de l'émission solaire, des changements à long terme d'éléments de l'orbite terrestre, des processus naturels intervenant à l'intérieur du système climatique, ou un forçage anthropique.

- le terme « changement climatique » est souvent employé aussi dans un sens plus restreint pour désigner un changement significatif au cours d'une période donnée, les moyennes étant prises sur des durées de l'ordre de la décennie ou davantage.

Dépression : région de l'atmosphère où la pression est plus basse que dans le voisinage au même niveau. Sur une carte synoptique, elle apparaît à un niveau d'altitude donné comme un système d'isobares (et à un niveau de pression donné comme un système d'isohypses) qui enferme des valeurs de pression (ou d'altitude) relativement basses.

Indice de circulation : paramètre indiquant l'intensité de la circulation atmosphérique dans une région déterminée.

Météorologie synoptique: étude des conditions atmosphériques dans une région géographique étendue à l'aide de cartes sur lesquelles on porte des observations synoptiques en vue de l'analyse et de la prévision du temps.

Modèle atmosphérique : description de l'atmosphère donnant un aperçu simplifié ou schématique des structures et processus principaux sous forme de diagrammes représentatifs (conceptuels) de systèmes d'équations mathématiques ou d'approximations numériques.

Modèle statistique : - modèle mathématique déduit de l'analyse statistique des variables météorologiques appropriées.

- modèle numérique, habituellement celui de la circulation générale, qui prévoit certaines propriétés statistiques de l'atmosphère plutôt que la distribution complète de chaque variable dans le temps et dans l'espace.

Mouvement d'un anticyclone (cyclone): déplacement spatial d'une aire de haute (basse) pression causé par la redistribution locale de la masse de l'atmosphère. Cette redistribution est accomplie par le mouvement tridimensionnel associé à la circulation atmosphérique.

Oscillation climatique : fluctuation dans laquelle la variabilité tend à changer progressivement et régulièrement entre les maximums et des minimums successifs.

Perturbation atmosphérique : - toute interruption d'un état d'équilibre de l'atmosphère.

- faible dépression ou conditions météorologiques dans une région où apparaissent les signes de développement d'une circulation cyclonique.

Pression réduite au niveau de la mer : pression atmosphérique au niveau moyen de la mer calculée d'après la pression à la station.

Tempête : - perturbation atmosphérique comportant des variations des champs de pression et de vents dominants dont l'échelle va de celle des tornades (1 km) à celles des cyclones extratropicaux (2000 à 3000 km).

- vent dont la vitesse est comprise entre 48 et 55 nœuds (force 10 de l'échelle Beaufort).

Trajectoire : - ligne dans l'espace représentant les positions successives d'une particule d'air en mouvement.

- ligne dans l'espace représentant les positions successives du centre d'un système synoptique.

Trajectoire d'un(e) anticyclone (dépression) : trajectoire suivie par un(e) anticyclone (dépression) pendant sa durée de vie.

Type de circulation : configuration de circulation atmosphérique présentant des caractéristiques déterminées sur une région donnée.

Subsidence : lent affaissement d'une masse d'air sur une vaste région, généralement accompagné d'une divergence horizontale dans les couches inférieures. L'air en subsidence se comprime et se réchauffe et sa stabilité initiale est ordinairement augmentée.

Variabilité climatique : - dans son acception la plus générale, le terme «variabilité du climat» désigne la caractéristique intrinsèque du climat qui se manifeste par des changements climatiques avec le temps. Le degré de variabilité du climat peut être décrit par les différences dans les statistiques à long terme d'éléments météorologiques calculées pour des époques différentes.

- le terme «variabilité du climat» traduit souvent les écarts que présentent les statistiques du climat relatives à une période particulière par rapport aux statistiques à long terme du climat relatives à la même période du calendrier.

R. Brunet, R. Ferras, H. Théry (2001): *Les Mots de la Géographie : dictionnaire critique*, Montpellier-Paris : Reclus-la documentation française, 520p. (3^e édition)

Concept : représentation générale, de nature abstraite, clairement définie et même consensuelle, susceptible de guider la recherche et de fonder ses hypothèses. De *con-capere* : saisir l'ensemble. S'oppose par ces caractères à l'idée et à la notion, qui reste plus floue. L'avancement des sciences tend vers la précision et l'enrichissement de la définition des concepts.

Modèle : représentation formalisée et épurée du réel ou d'un système de relations ; *modellus* en latin comporte l'idée de mesure, harmonie (rac. *me, med*, mesure). Image de la réalité, le modèle est un « construit » qui passe par la simplification, l'abstraction ; il peut avoir pour buts l'action, la prédiction ou l'explication. La science emploie des modèles en plusieurs acceptions plus fortes et plus précises. L'une est le patron (pattern en anglais) ou la forme, sur lesquels se calque strictement la fabrication d'objets, la reproduction de systèmes et qui commande donc celles-ci. L'autre sert à la simulation, c'est-à-dire à reproduire ou mieux à reconstruire, la réalité ou à prévoir un comportement, une évolution.

Dans cette thèse nous utiliserons la définition des modèles de système, encore dits schémas logiques, qui s'efforcent de représenter la structure d'un système, d'en identifier les éléments et les flux, les rétroactions.

La modélisation est l'art ou la science de produire des modèles au sens fort et de hisser au rang de modèle des observations rassemblées, c'est-à-dire d'identifier les éléments majeurs et les relations les plus assurées qui expriment ou bien la structure commune à des objets d'un

même classe. Elle exige un fondement théorique solide et ne doit en aucun cas être confondue avec un résumé, une simplification, une esquisse, un croquis. Elle a pour vertu de permettre le raisonnement scientifique, notamment des ses formes hypothético-déductives, ainsi que la confrontation des analyses de chercheurs différents, la vérification ou la réfutation des assertions, et certaines formes de quasi-expérimentation. Elle permet la comparaison avec la théorie et l'ensemble des lois plus ou moins provisoirement établies.

Système : ensemble organisé d'éléments et d'interactions entre les éléments ; du grec *systema* : qui tient ensemble, mais avec l'idée d'union en un tout organisé, voire stable, comportant la racine *sta*. Un système a une structure que s'efforce de représenter le schéma de système ou modèle logique, généralement sagittal, figurant les éléments, les liaisons orientées entre ceux-ci, les points de distribution ou d'amplification.

Théorie : ensemble de concepts organisés en un tout cohérent, en vue d'en dériver des hypothèses indispensables à la recherche scientifique.

Auteur : Alexis Pommier

Affiliation : LCRE, CRGA-Confluences, CNRS UMR 5600,
Université Jean Moulin Lyon 3

Discipline : Climatologie, Géographie-Aménagement

Titre : Analyse objective de la dynamique aérologique de basses couches dans l'espace
Atlantique Nord : mécanismes et évolution de 1950 à 2000.

Directeur de thèse : Professeur Marcel Leroux

Mots clés :

Atlantique Nord, anticyclones et dépressions, variabilité climatique, niveau de surface, dépressions profondes.

Résumé :

L'étude de l'activité synoptique (après reconstruction par algorithme) durant la période 1950-2000 sur l'espace Atlantique Nord permet de valider l'hypothèse selon laquelle la variabilité climatique peut être expliquée par les variations des comportements des caractéristiques des trajectoires des anticyclones et des dépressions.

Les examens menés à partir des deux bases de données (anticyclones et dépressions) ont rendu possible :

- la connaissance très détaillée de l'évolution des différents caractères (fréquence, pression, latitudes, longitudes, durée, distance, vitesse) des anticyclones et des dépressions à toutes les échelles temporelles,
- l'établissement d'un schéma de circulation générale de basses couches hivernale (JFM) montrant l'oscillation durant la période d'étude entre deux modes. Le mode «homogène» de principalement 1950 à 1970, caractérisé par un réchauffement du bassin arctique occidental, une fréquence accrue des anticyclones et une baisse du nombre des dépressions et le mode contrasté, majoritaire de 1970 à 2000, caractérisé par une intensification du déficit thermique sur le bassin arctique occidental, une baisse du nombre des anticyclones et un accroissement de l'activité dépressionnaire (fréquence et creusement),
- la création d'un Indice de Dynamique Aérologique de l'Atlantique Nord (IDAN), résumant la dynamique atmosphérique à toutes échelles de temps. Par sa structure de construction, cet indice s'affranchit de la limite de fixité des stations de références de l'ONA et autorise une meilleure appréhension des éléments impliqués dans la variabilité climatique,
- la mise en place d'un schéma explicitant les paramètres engendrant l'occurrence des dépressions profondes.

Ce travail offre donc une meilleure compréhension des mécanismes et de l'évolution de la dynamique aérologique sur la période 1950-2000, dans l'espace nord Atlantique.

Lieu et date de soutenance : Université Jean Moulin Lyon 3, le 9 décembre 2005

Author: Alexis Pommier

Affiliation: LCRE, CRGA-Confluences, CNRS UMR 5600,
University Jean Moulin Lyon 3

Subject: Climatology, Geography

Title: Objective analyse of the atmospheric dynamic at surface layer
over the North Atlantic region: mechanisms and evolution from 1950 to 2000

Advisor: Professor Marcel Leroux

Keys Words:

North Atlantic region, Highs and Lows, climate variability, surface layer, Deep Lows.

Abstract:

The synoptic activity analysis at surface layer (after reconstruction by algorithm), during the period 1950-2000, on the North Atlantic region permits to justify the hypothesis according to which the climatic variability can be to explain by Highs and Lows behavior evolutions.

The exams of the two data bases (Highs and Lows) allow:

- to have a better knowledge of the evolution of the different features (frequency, pressure, latitudes, longitudes, length, distance, speed) of the Highs and Lows for every time scales,
- to set up a winter (JFM) general circulation scheme at surface layer showing the oscillation during the period between two patterns. Weak pattern from 1950 to 1970 and Strong pattern from 1970 to 2000.
- to create an index: North Atlantic Aerological Dynamic Index (NADI) summarizing the atmospheric intensity for every time scales. This index is able to avoid some limits of the reference index (e.g. NAO) and so permits to improve the understanding of the internal mechanisms of the atmospheric dynamic,
- to clarify the parameters involved in the occurrence of the deep Lows.

Therefore, this work improves the knowledge of the atmospheric dynamic at surface layer (mechanisms and evolution) over the North Atlantic region from 1950 to 2000.

Place and Date of thesis defence: University Jean Moulin Lyon 3, 9 December 2005