

Entre METEO et CLIMAT

Bernard Labbé

1, résidence Orée d'Hastings, 14000 Caen

Résumé En codant les cartes météo captées par radio toutes les 12 heures pendant 7 ans on a pu constituer un fichier des variations de pression atmosphérique sur une grande région couvrant l'Atlantique Nord et l'Europe. L'analyse statistique de ces données montre une très grande variabilité des saisons, qui n'est pas favorable à la prévision, mais dont l'une des causes est une oscillation bisannuelle de forte amplitude qui agite les 4 premières années. La période analysée est beaucoup trop courte pour tirer des conclusions et savoir si ces phénomènes sont susceptibles de se reproduire périodiquement, mais on espère avoir montré l'intérêt qu'il y aurait à étendre ce type d'analyse à une période plus longue.

Mots-clés : météo, climat, saisons, oscillations périodiques.

1 Introduction

Ce travail est un essai d'analyse statistique des données de pression extraites des *cartes isofronts*. Les cartes, captées par radio deux fois par jour, permettent de connaître la situation de surface toutes les 12 heures sur une région étendue, allant du Mississippi à l'Oural et des Canaries au Spitzberg. La région est découpée en 47 zones (cf. figure 1), et pour chacune d'entre elles on note la pression min., la pression max. et un code de nature (dépression, front,...).

La pression moyenne est estimée par $p = (p_{\min} + p_{\max}) / 2$. Le découpage réalise un compromis entre taille des zones et lourdeur du codage, qui semble cohérent avec la vitesse de déplacement des perturbations et la fiabilité des cartes. Actuellement le recueil d'information (cf. annexe) couvre 7 années (1998 à 2005), avec de nombreux trous, et quelques lacunes, dont la plus importante oblige, pour des analyses sur l'année, à ne pas séparer les 2 premières. Il est bien évident qu'un traitement sur 6 périodes annuelles ne peut pas permettre de tirer des conclusions. Il ne s'agit que d'illustrer les traitements possibles. L'année climatique commence le premier mai ce qui est aussi une première approximation.

La méthode p_{\min} , p_{\max} est beaucoup plus puissante que celle des valeurs aux sommets d'une grille. Mais l'indicateur p est biaisé en direction de la valeur la plus extrême, ce qui tend à contraster les résultats en sens inverse de l'effet de moyenne. On pourrait utiliser un découpage plus fin pour calculer la moyenne, mais l'imprécision des données rendrait sans doute le gain illusoire. Et de toute façon le retour à un découpage en un petit nombre de grandes zones est indispensable pour la clarté de l'analyse et l'interprétation des résultats.

L'information n'est pas très fiable. La technique du cycle d'assimilation, qui consiste à remplacer les observations manquantes par les valeurs calculées dans les modèles de prévision, conduit à des différences de 10 voir 15 hpa sur le Groenland pendant plusieurs jours entre les cartes anglaises et allemandes et même entre les deux cartes allemandes. La disparition des frégates météo n'est sans doute pas étrangère à l'imprécision sur la position des centres d'action en Atlantique, la localisation des perturbations dans des zones différentes, et le tracé approximatif des fronts.

S'ajoute à cela la proportion de cartes manquantes, ou incertaines car mal captées, qui croit pour dépasser 30% dans les dernières périodes (cf. annexe), et donner au total une qualité de fichier sans rapport avec le travail fourni.

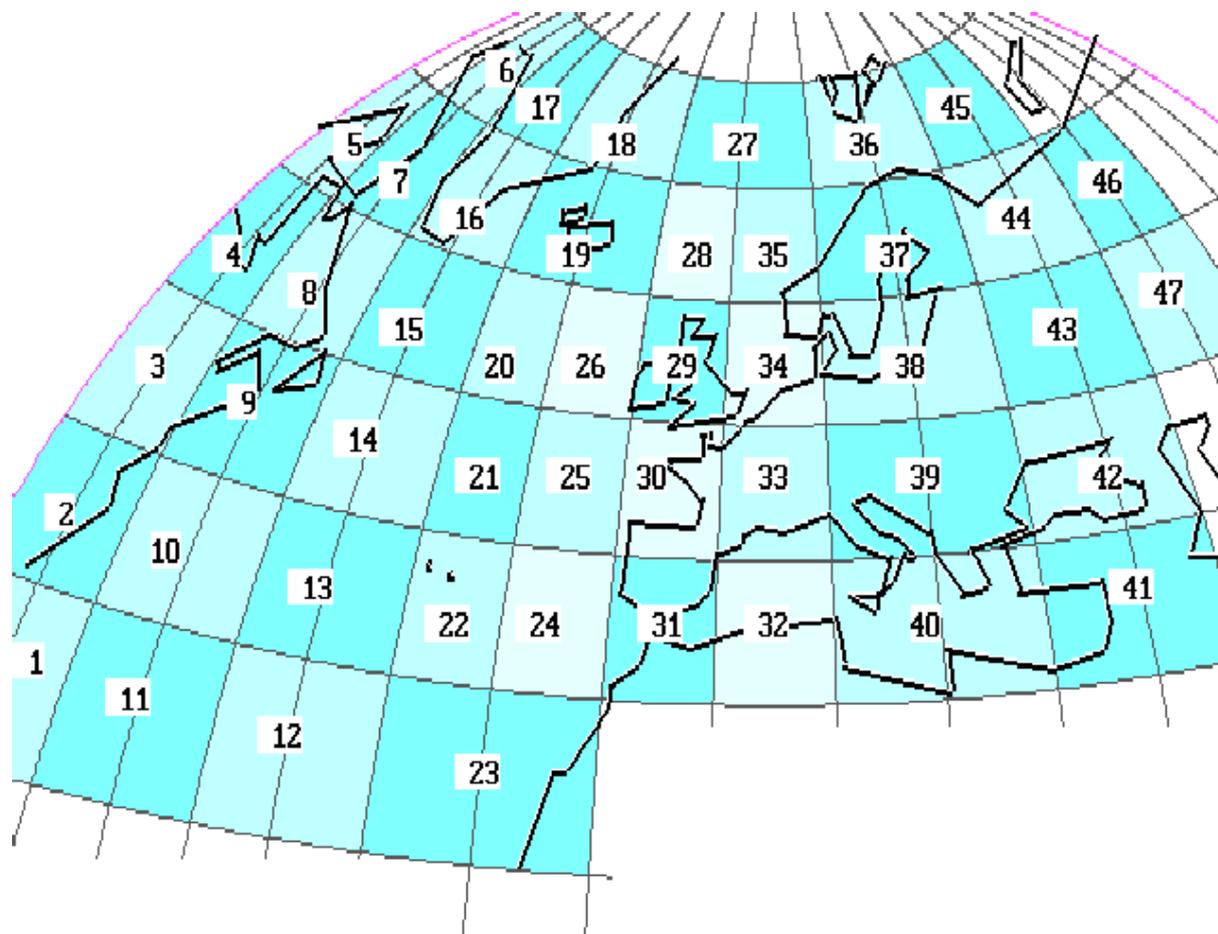


Figure 1 : Région d'étude et découpage en 47 zones

2 Analyse générale de la variabilité

2.1 Variabilité d'ensemble

Le fichier de 4702 situations contient 218 398 couples pmin, pmax dont la moyenne est de 1013,09 hpa très voisine de la valeur théorique réduite à 45° de latitude. Mais au-delà de cette moyenne, c'est la variabilité qui domine. Les cartes de moyenne et écart-type de **p** par zone pour les sept années illustrent la composante géographique de cette variabilité.

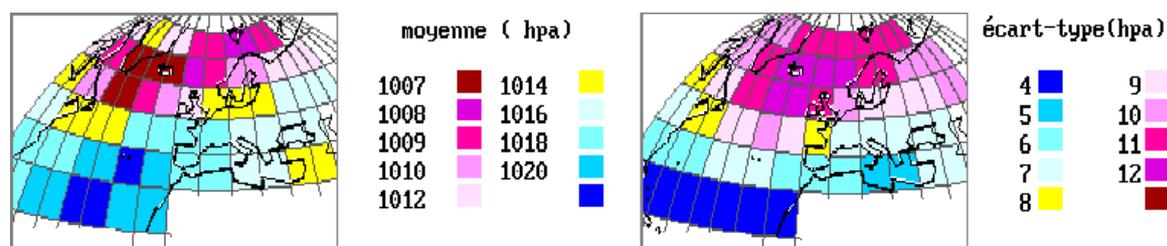


Figure 2 : variations géographiques de la moyenne et de l'écart type de **p**

La moyenne varie de 15 hpa entre un maximum de 1021 hpa aux Açores (zone 22) et 1006.hpa en Islande (zone 19). Ce schéma général correspond bien avec les données de référence climatiques. Mais dans le détail, l'effet de moyenne sur 7 ans est insuffisant pour gommer les différences dans les zones à forte variabilité.

L'écart-type s augmente avec la latitude en suivant la diminution de pression moyenne, mais avec un décalage vers le sud d'environ 10 degrés. En effet le maximum, qui correspond au passage des perturbations, se situe dans les zones 20 et 28 (SW Islande et N Ecosse), alors que le minimum est en dessous de 30°N dans la zone 23 (îles Canaries). Il varie presque du simple au quadruple entre 3,3 hpa dans le Sud et 12 hpa à l'Ouest de l'Irlande. L'ordre de grandeur limité autour de 10 hpa provient de ce que **p** a le caractère d'une moyenne géographique sur des zones étendues. Son étendue de variation est limitée à 97 hpa entre un maximum de 1047 hpa (zone 47) et un minimum de 957 hpa (zone 19), alors que l'étendue de variation observée pour les pressions élémentaires est de 141 hpa, entre le minimum de pmin, 920 hpa, et le maximum, 1061 hpa de pmax.. Comme pour les moyennes, il serait intéressant de pouvoir comparer ces résultats de variabilité à des données climatologiques.

2.2 Variabilité des moyennes annuelles

L'analyse des écarts à la moyenne générale est particulièrement intéressante sur les 5 premières périodes. Les n = 730 situations d'une année ne constituent pas un ensemble d'observations indépendantes. La variabilité sm^2 de leur moyenne est donc normalement supérieure à s^2/n .

$$sm_{\ell}^2 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (x_{\ell i} - x_{\ell})^2 \quad \text{et} \quad \lambda_{\ell} = \frac{sm_{\ell}^2}{s^2/n} \quad \ell = 1, \dots, 47$$

L'estimation de cette variabilité sur 5 périodes est évidemment peu fiable. Elle montre cependant une moyenne du coefficient multiplicateur $\lambda = 3,2$ qui correspond assez bien à la

longueur moyenne des séquences (cf. typologies). En revanche pour certaines zones la valeur de λ est beaucoup trop élevée pour provenir de fluctuations aléatoires. En examinant les écarts à la moyenne qui conduisent à ce résultat on constate pour certaines zones une alternance d'une année sur l'autre. Plus précisément les 9 zones des groupes 1 et 2 (bleu) oscillent avec un écart positif dans les périodes 2 et 4, alors que les 13 zones des groupes 3, 4, 5 (marron) sont en opposition de phase.

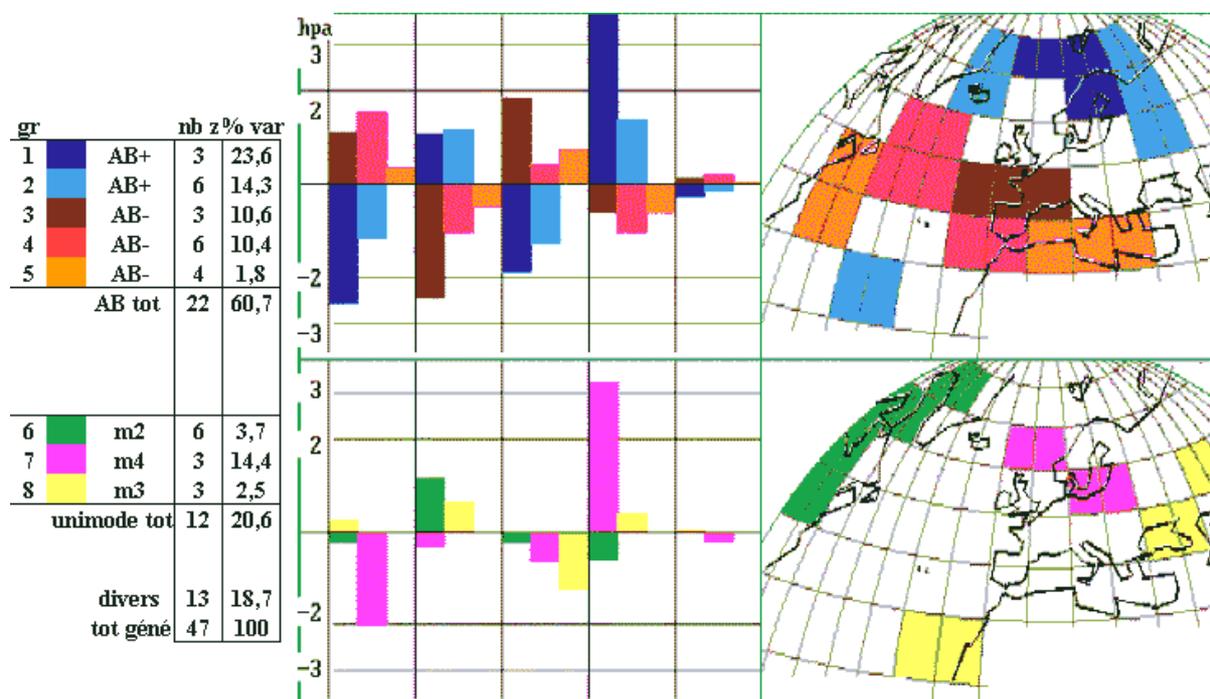


Figure 3 : Variabilité des moyennes annuelles

La zone 37 Nord Baltique est la plus extrême du groupe 1 (tableau 4) avec un écart de 4,5 hpa en quatrième période et $\lambda = 39$, alors que la zone 25 W Gascogne est la plus extrême du groupe 3 avec -2,5 hpa dans la période 2 qui comprend l'hiver 2000-2001 particulièrement pluvieux en Angleterre et dans le Nord de la France avec des inondations catastrophiques. Ce phénomène d'alternance qui concerne 22 zones et plus de 60% de la variance des moyennes est particulièrement marqué pendant les 4 premières périodes pendant lesquelles l'écart moyen **em** (dernière ligne du tableau 4) calculé sur l'ensemble des 47 zones est voisin de 1.hpa alors que pour la dernière période, très moyenne, il est dix fois moins important. Avec l'oscillation inverse (cf. deuxième partie) qui concerne moins de zones avec une amplitude plus réduite, le phénomène est moins net sur l'ensemble des six périodes.

		période annuelle					sm	s	λ
		1	2	3	4	5			
37	N Baltique	1006,6 -2,9	1010,2 0,7	1007,8 -1,8	1013,8 4,3	1009,8 -0,3	2,47	10,7	39,0
25	W Gascogne	1017,7 1,9	1013,2 -2,5	1017,4 1,6	1014,8 -1,0	1016,9 0,2			
35	W Norvège	1005,6 -2,5	1007,8 -0,4	1007,1 -1,0	1012,3 4,1	1008,5 -0,2	2,24	11,5	27,4
em		0,91	1,08	0,86	1,15	0,09			

Tableau 4 : Ecart par périodes annuelles (hpa)

L'alternance boréale est sans doute renforcée par le biais de l'indicateur **p**, mais il est probable aussi qu'elle traduit un phénomène bien réel.

2.3 Variabilité des saisons

Les saisons sont représentées, comme il est d'usage, par l'ensemble des 12 moyennes mensuelles.

2.3.1 Décomposition de la variabilité pour une zone

Considérons les valeurs élémentaires de pression :

$$P_{ijk} \quad \begin{array}{l} i=1 \dots m \text{ années} \\ j=1 \dots 12 \text{ mois} \\ k=1 \dots n_{ij} \text{ nombre d'observations du mois } j \text{ de l'année } i \end{array}$$

La variabilité totale V_t mesurée par la somme des carrés des écarts entre les valeurs élémentaires de pression et la moyenne générale, peut se décomposer en trois parties additives

$$V_t = \frac{1}{n} \sum_{ijk} (P_{ijk} - P_{...})^2$$

- La variabilité saisonnière moyenne, V_s , calculée comme précédemment mais en remplaçant la valeur de pression observée par la moyenne générale du mois. C'est la part de variabilité qui s'explique par les différences entre les 12 moyennes mensuelles et la moyenne générale.

$$V_s = \frac{1}{n} \sum_j n_j \times (P_{.j} - P_{...})^2$$

- La variabilité due aux fluctuations des moyennes mensuelles d'une année sur l'autre, V_a . Qui est la variabilité expliquée par les différences entre les moyennes mensuelles de chaque année et les moyennes mensuelles générales.

$$V_a = \frac{1}{n} \sum_{ij} n_{ij} \times (P_{ij} - P_{.j})^2$$

- La variabilité résiduelle, V_r , somme des carrés des écarts entre pressions observées et moyenne mensuelle de l'année, qui représente ce qui ne peut s'expliquer par les saisons.

$$V_r = \frac{1}{n} \sum_{ijk} (P_{ijk} - P_{ij\cdot})^2$$

$$V_t = V_s + V_a + V_r$$

La part respective de ces 3 composantes est très variable suivant les zones.

2.3.2 variabilité résiduelle

Le Proche Orient (zone 41- Suez) est à mettre à part pour la régularité des variations saisonnières: $V_s=60\%$, $V_a=4\%$. Pour toutes les autres zones la variabilité résiduelle est supérieure à 60%. Elle est même supérieure à 75% pour la moitié d'entre elles (figure 5). Ce n'est pas la simplification des moyennes mensuelles qui est en cause, et une représentation continue par des lignes brisées ou des fonctions périodiques ne modifie pas ces ordres de grandeur

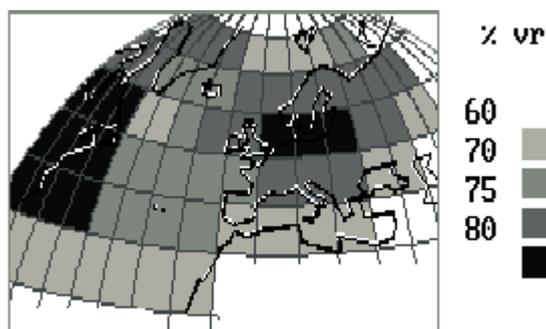


Figure 5 : Proportion de variabilité résiduelle, % Vr

Les zones intéressantes pourraient être celles ayant la plus faible proportion de variance résiduelle (en clair). Malheureusement elles sont aussi les plus mal renseignées pour deux raisons :

- La plupart d'entre elles sont situées en basse latitude où la variabilité est faible, et l'interpolation entre des isobares espacés de 5 hpa est souvent incertaine.
- Elles sont en bordure de carte (1 et 41 en coin), avec les méridiens ou parallèles de définition à l'extérieur, et une limite pratique des renseignements très fluctuante.

A l'opposé on trouve 2 régions peu saisonnières :

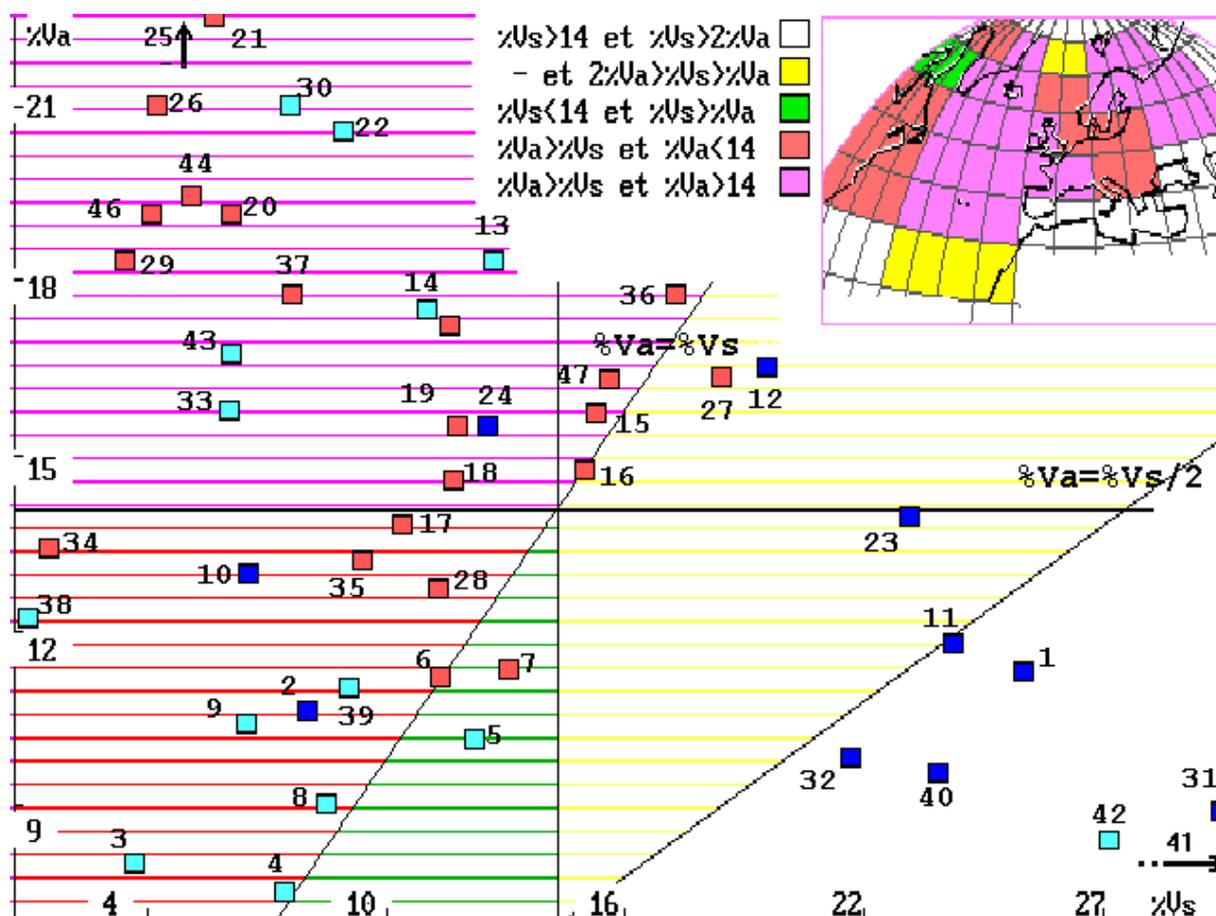
- Mer du Nord , Baltique
- Bordure Est de l'Amérique du Nord.

qui sont cependant assez différentes, avec une grande variabilité inter annuelle pour la première, vraisemblablement renforcée par l'Alternance Boréale, et une définition plus stable,

bien que peu marquée, pour la seconde. C'est finalement dans la classe intermédiaire, où se trouvent les zones à plus forte variabilité totale, que l'on constate les variations saisonnières les plus marquées en valeur absolue.

2.3.3 Saison moyenne et variabilité inter annuelle

Pour étudier la part relative de ces deux composantes les zones sont représentées par des points de coordonnées %Vs en abscisse et %Va en ordonnée (figure 6). En outre la couleur du point rappelle la valeur absolue de la variabilité totale. On peut distinguer 2 grandes régions suivant que la variabilité expliquée par la saison moyenne est plus grande que la variabilité inter annuelle (A : %Vs > %Va), ou l'inverse (B). En outre dans chacun de ces cas on sépare les zones pour lesquelles la composante dominante est supérieure à 14%. Enfin, dans le cas où %Vs est dominante et supérieure à 14%, on distingue les zones pour lesquelles la part de variabilité inter annuelle est faible, inférieure à la moitié de %Vs (blanc), et donc la saison moyenne la plus stable.



Abscisses : Saison moyenne, %Vs

Ordonnées : Variabilité inter annuelle, %Va

La couleur des points correspond à l' écart type en trois grandes classes : inférieur à 6hpa (bleu foncé), supérieur à 10 hpa (brun), intermédiaire (bleu clair)

Figure 6 : Caractérisation des zones en fonction des deux composantes saisonnières

Dans cette dernière catégorie on trouve des zones à variabilité faible ou modérée (bleu) comme les zones à climat méditerranéen (carte en cartouche) et 2 zones atlantiques au dessous de 30° .

Avec une part un peu plus importante de V_a , la région en jaune (A2), qui réalise géographiquement une extension de la région précédente, comporte une zone à grande variabilité, 27 entre Groenland et spitzberg. Malheureusement ces 2 régions intéressantes, perdent, avec l'augmentation du nombre de périodes, une part importante de leur effectif (cf. figure 7).

A l'opposé la région violette (B2), qui à l'inverse voit son effectif augmenter, comprend les zones pour lesquelles la variabilité inter annuelle domine. Elles appartiennent à deux groupes géographiques, «Atlantique central » et « Sibérie » dans lesquels les années observées ont été très différentes et qui nécessiteront une étude sur un grand nombre d'années. Les zones extrêmes dans cette classe sont 25 (Ouest Gascogne) et 30 (Ouest France). La zone 33 (Est France) s'y trouve également et on comprend ainsi qu'on entende plus souvent dans ce pays dire « Il n'y a plus de saisons » que « C'est bien un temps de saison ».

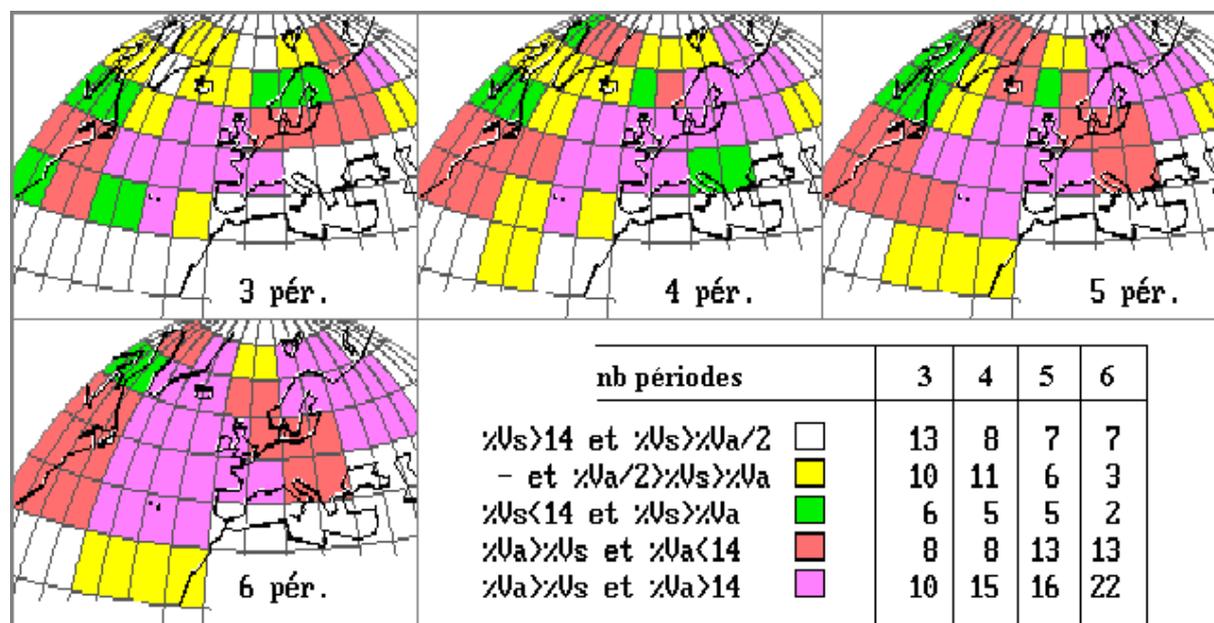


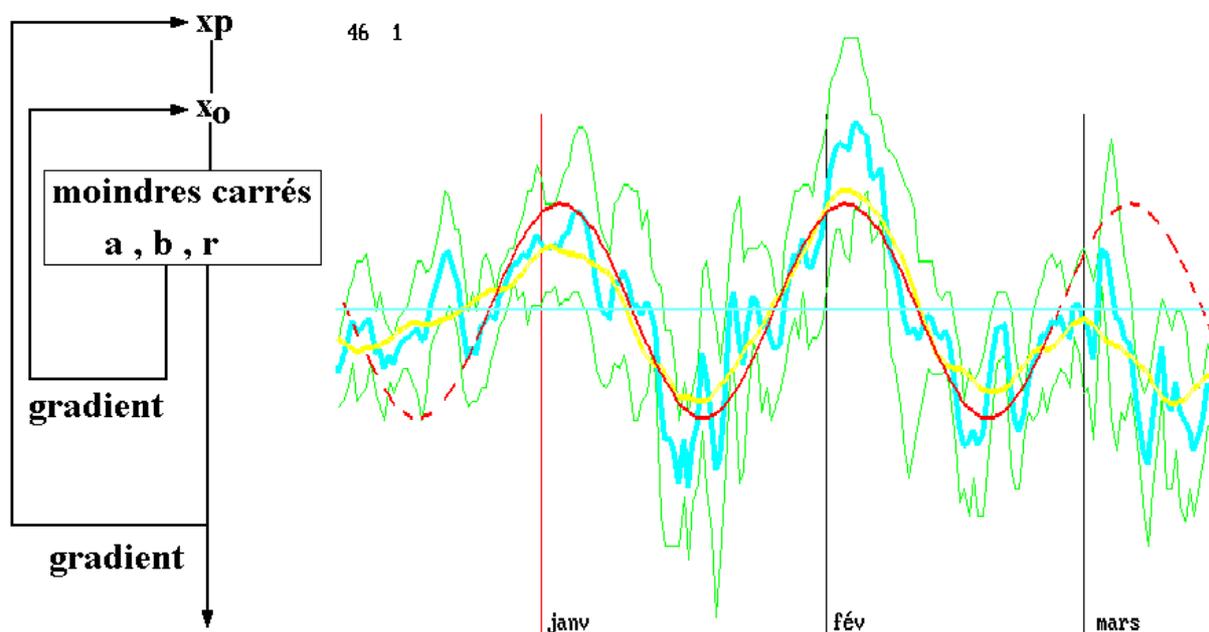
Figure 7 : Evolution du classement par catégories depuis la fin de la troisième période

3 Variations périodiques

Les variations de la pression atmosphérique présentent souvent un caractère d'alternance. Entre les passages successifs de perturbations d'un jour à l'autre qu'on connaît en France, et la reproduction d'*El Nino* à intervalle de plusieurs années, il y a parfois des pulsations anticycloniques de près d'un mois et surtout les variations saisonnières avec des périodicités de 365 jours ou sous multiples.

Dans les cas les plus simples on peut ajuster sur les valeurs observées une fonction périodique élémentaire du type de la formule (1) ci-dessous en figure 8. La fonction sinusoidale $x(t)$ de période x_p est calée dans le temps par le couple de paramètres x_0, t_0 (t_0 est l'origine de temps de la période considérée, et x_0 l'origine de la sinusoïde : $x(t) = 0$ pour $t = x_0 + t_0$, le coefficient 2 venant de l'expression de x_0, x_p en jours alors que t varie en demi-journées) et l'estimation de la pression varie dans l'intervalle $[a - b, a + b]$ autour de la valeur centrale a . L'ajustement se fait par double application de la méthode du gradient: pour x_0 et x_p donnés, les valeurs de a et b sont déterminées par moindres carrés et la qualité d'ajustement mesurée par le coefficient de corrélation linéaire r^2 . Le double gradient vise à déterminer le couple de valeurs (x_0, x_p) maximisant r^2 .

Equation simple:
$$y(t) = a + b.x(t)$$
 avec $x(t) = \sin(\pi(t - t_0 - 2x_0)/2x_p)$ (1)



Légende du graphique : les lignes brisées joignent les observations successives (à intervalle de 12 heures)

Vert : pmin et pmax

Bleu ciel : p

Jaune : moyenne mobile sur p , 10 jours pour figure 8, 30 jours pour figure 9.

Les courbes continues rouges représentent les valeurs de y . Elles sont en pointillés en dehors de l'intervalle d'ajustement.

Figure 8: Modélisation avec une équation périodique simple

L'exemple de la zone 46 (Nord Oural) est assez remarquable (figure 8). Sur la période bien choisie du 25 décembre 2000 matin au 25 février 2001 soir, l'ajustement donne $x_p = 31$ jours avec $r^2 = 0,78$, et une amplitude de variation de plus de 30 hpa (tableau ci-dessous).

	min	max	amplitude
pmin,pmax	978	1060	82
p	989,5	1046,5	57
y	1000,5	1034,1	33,6

Cette oscillation dont l'amplitude est considérable, est une des plus nettes. Mais une recherche automatique par périodes glissantes de 3 mois et une périodicité de l'ordre du mois en met en évidence, pour les 47 zones et les 7 années, plus d'une centaine avec $r^2 > 0,5$.

Pour représenter les variations saisonnières, une sinusoïde simple est rarement adaptée, mais on peut ajuster une équation composée d'une combinaison linéaire de plusieurs équations simples de période sous multiple de 365. Dans l'exemple ci-dessous de la zone 41 (Méditerranée Orientale), qui présente les saisons les plus répétitives d'une année sur l'autre, l'ajustement sur 7 ans d'une équation à 4 composantes, de périodicités imposées (simple gradient) 365 – 182,5 – 121,7 – 91,2 donne un coefficient de corrélation multiple $r^2 = 0,60$.

Equation composée :

$$y(t) = a + \sum_{i=1}^p b_i x_i(t) \quad (2)$$

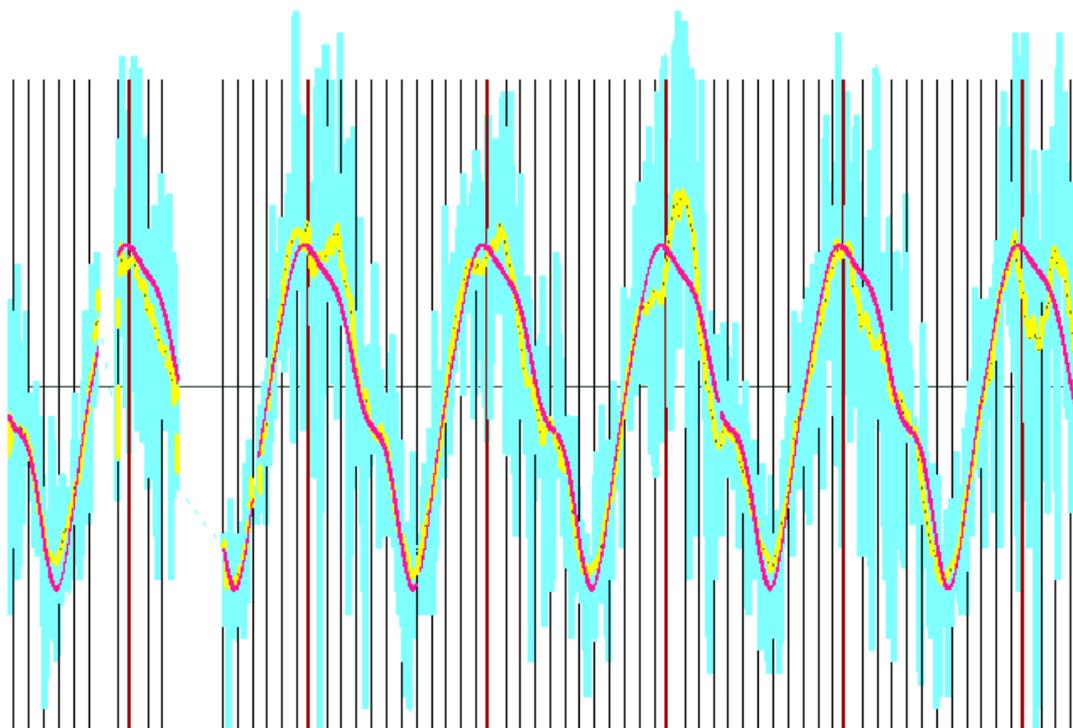


Figure 9 : Répétition des saisons pour la zone 41

La régularité du climat pour cette zone a pour conséquence particulière la persistance plus de 9 mois sur 12 de vents de secteur nord modérés sur la basse vallée du Nil. Cette circonstance a depuis toujours favorisé la navigation de commerce fluviale. Les Ayassas, qui sont les Felouques locales, remontent le fleuve vent arrière et le redescendent contre le vent avec l'aide du courant. Le spectacle de ces voiliers lourdement chargés refoulant le courant et passant le pont du Caire sur l'erre est admirable. Celui qui amène en vrac mat, antenne et voile le plus tard et rehisse le tout après le pont en treuillant l'étai plus rapidement, prend une bonne avance sur les autres !

Ce climat, de type méditerranéen, est en réalité, du point de vue des variations de pression barométrique, de nature continentale avec un maximum hivernal et un minimum en été. Et on peut se demander si une équation plus simple, comportant moins de 4 composantes, pourrait aussi bien le représenter. Les observations n'étant pas indépendantes, il n'est pas possible d'utiliser en principe le test de Fisher Snedecor pour détecter les composantes non significatives mais à titre indicatif, ce test est calculé en utilisant le coefficient λ trouvé dans l'étude des moyennes annuelles pour évaluer le nombre de degrés de liberté ν_2 (figure 10). Pour simplifier une équation à p composantes, on recherche la composante dont l'élimination, pour passer à une équation à $p-1$ composantes, donne la plus faible augmentation de variance résiduelle. Si la valeur de F qui en résulte a une probabilité faible d'être dépassée on conserve les p composantes. Pour la zone 41 sur la période de 7 ans, la composante la moins explicative est celle de plus courte période mais elle serait significative au seuil de 0,7% et on conserve les 4 composantes.

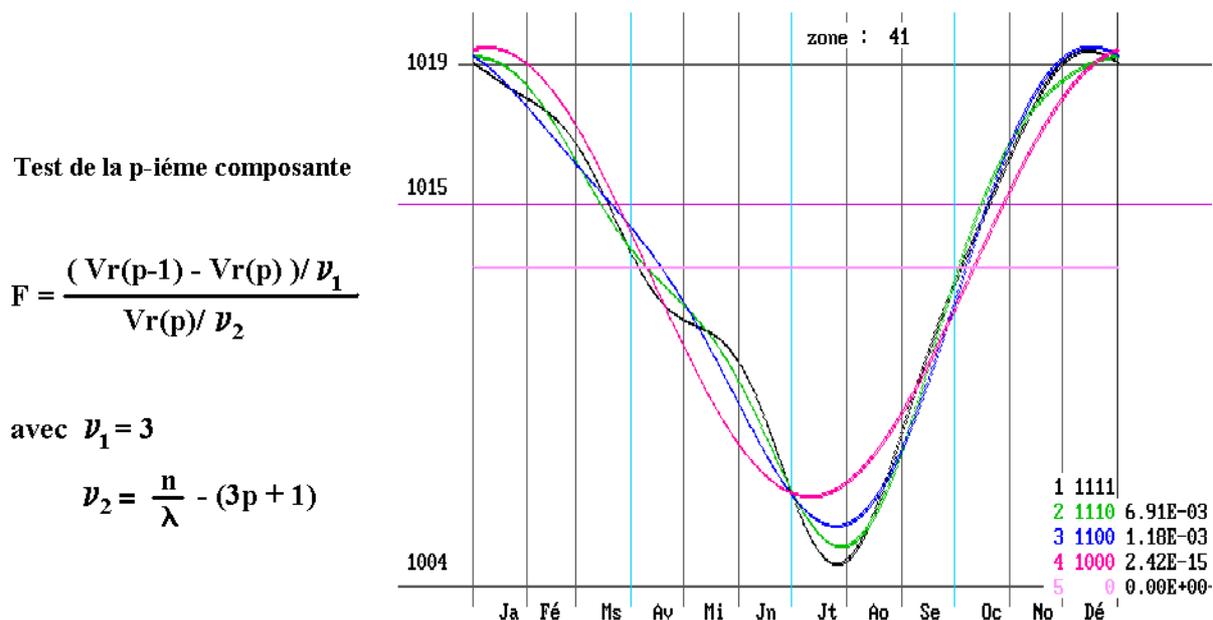


Figure 10 : Test de significativité des composantes périodiques

Les seules autres zones dans ce cas sont 24 (Madère) et 1 (Floride)(cf. figure 11). A l'opposé trois zones (34, 38, 46) n'ont aucune composante significative et ne sont bien représentées que par leur moyenne annuelle. Entre les deux, il y a 5 zones à 3 composantes, 22 zones à 2, et 14 à une composante. Il est clair que pour une grande proportion de zones en centre Atlantique et en Europe nord-ouest la variabilité est telle que 7 années ne sont pas suffisantes pour avoir des résultats significatifs.

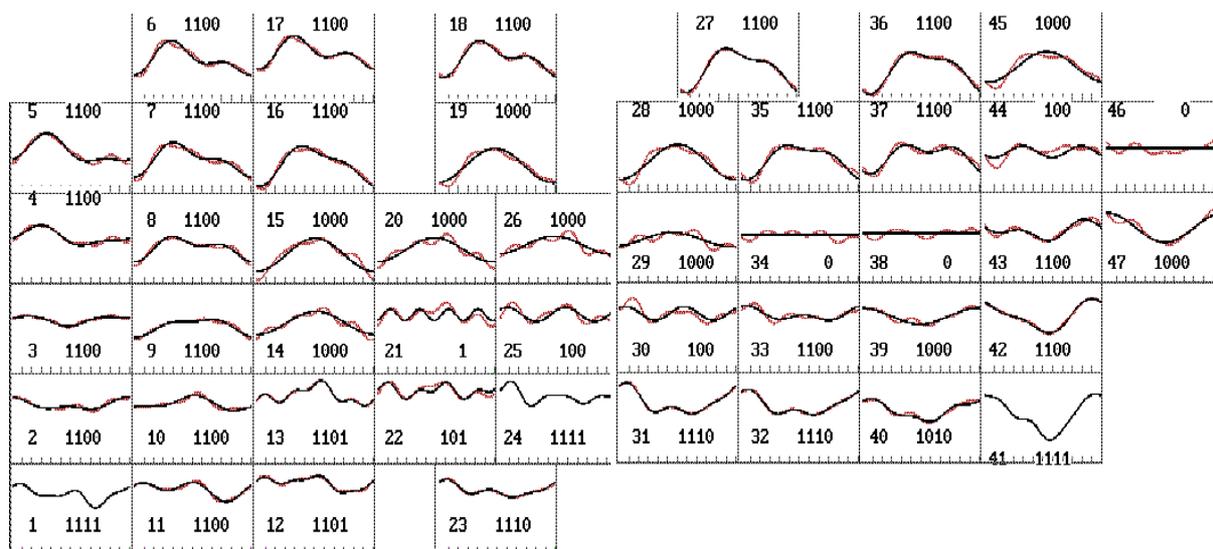


Figure 11 : Profils saisonniers significatifs pour les 47 zones

La zone 25 (large Gascogne), dont on a déjà vu avec les moyennes mensuelles qu'elle était la plus variable en saisons, est très caractéristique de ce point de vue. En ajustant séparément des équations à 4 composantes sur chacune des 6 périodes, on obtient un jeu de courbes très différentes et l'équation globale sur l'ensemble des 7 années n'a pas plus de sens qu'une moyenne calculée sur des ensembles hétérogènes.

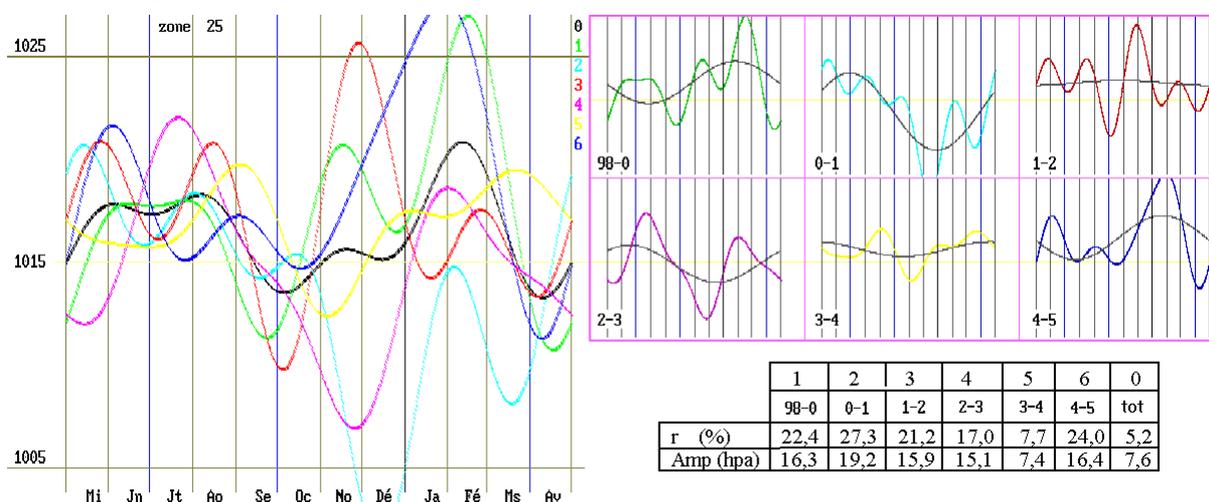


Figure 12 : Profils saisonniers par périodes pour la zone 25 (W Gascogne)

Il serait préférable de distinguer des types d'années de nature différente. C'est le même problème que pour le Pacifique sud et l'océan Indien où on pouvait constater en 1982-83, avec *El Nino*, que les pilot charts américaines étaient inutilisables.

Il y a tout de même un phénomène intéressant sur ces courbes annuelles, qui est l'alternance d'une année sur l'autre déjà constatée sur les moyennes mensuelles. L'alternance boréale est ici particulièrement nette et suggère une analyse plus systématique en recherchant une oscillation de période bisannuelle.

Alternance boréale :

Durant 3,5 années (juillet 1999 à janvier 2003) l'alternance boréale concerne 13 zones appartenant à 3 groupes distincts (voir la figure 13).

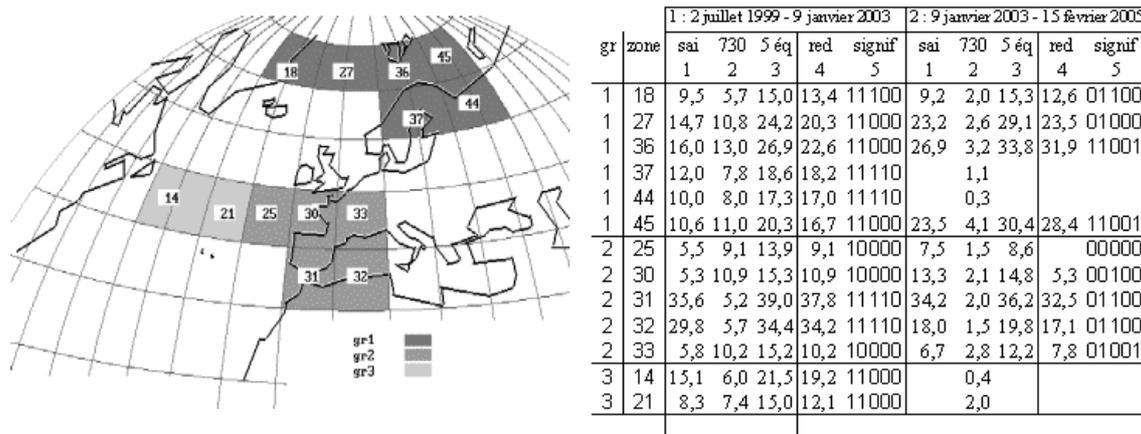


Figure 13 : Les 3 groupes de zones concernées par l'alternance boréale

Groupe 1 « Arctique »

Il comprend, de Groenland Est à la Nouvelle Zemble, les zones au nord de 60°N (18,27,36,44) auxquelles s'ajoutent les zones continentales Nord Baltique (37) et Pologne (44), en dessous en latitude.

L'oscillation bi-annuelle est minimale fin décembre 1999 et 2001 et maximale au même moment en 2000 et 2002. Son amplitude est comprise entre 7 hpa pour la zone 18 et 11 hpa pour la zone 36

Groupe 2 « Europe Océanique »

Il comprend, entre 30° N et 50° N, les zones France Ouest et Est (30,33), Méditerranée Occidentale et Espagne (32,31) et Large Gascogne (25).

L'oscillation bi-annuelle est en opposition de phase avec celle du groupe 1, maximale mi janvier 2000 et 2002, avec une amplitude comprise entre 4 hpa pour les zones Sud et 8 hpa pour la zone Atlantique.

Groupe 3 « Atlantique »

Il comprend, entre 40° N et 50° N, les zones Nord Açores (21) et Est Terre- Neuve (14)

L'oscillation est de même nature, mais un peu en retard sur celle du groupe 2, avec le maximum fin janvier pour 21 et fin février pour 14. Les Amplitudes sont de 6 et 8 hpa.

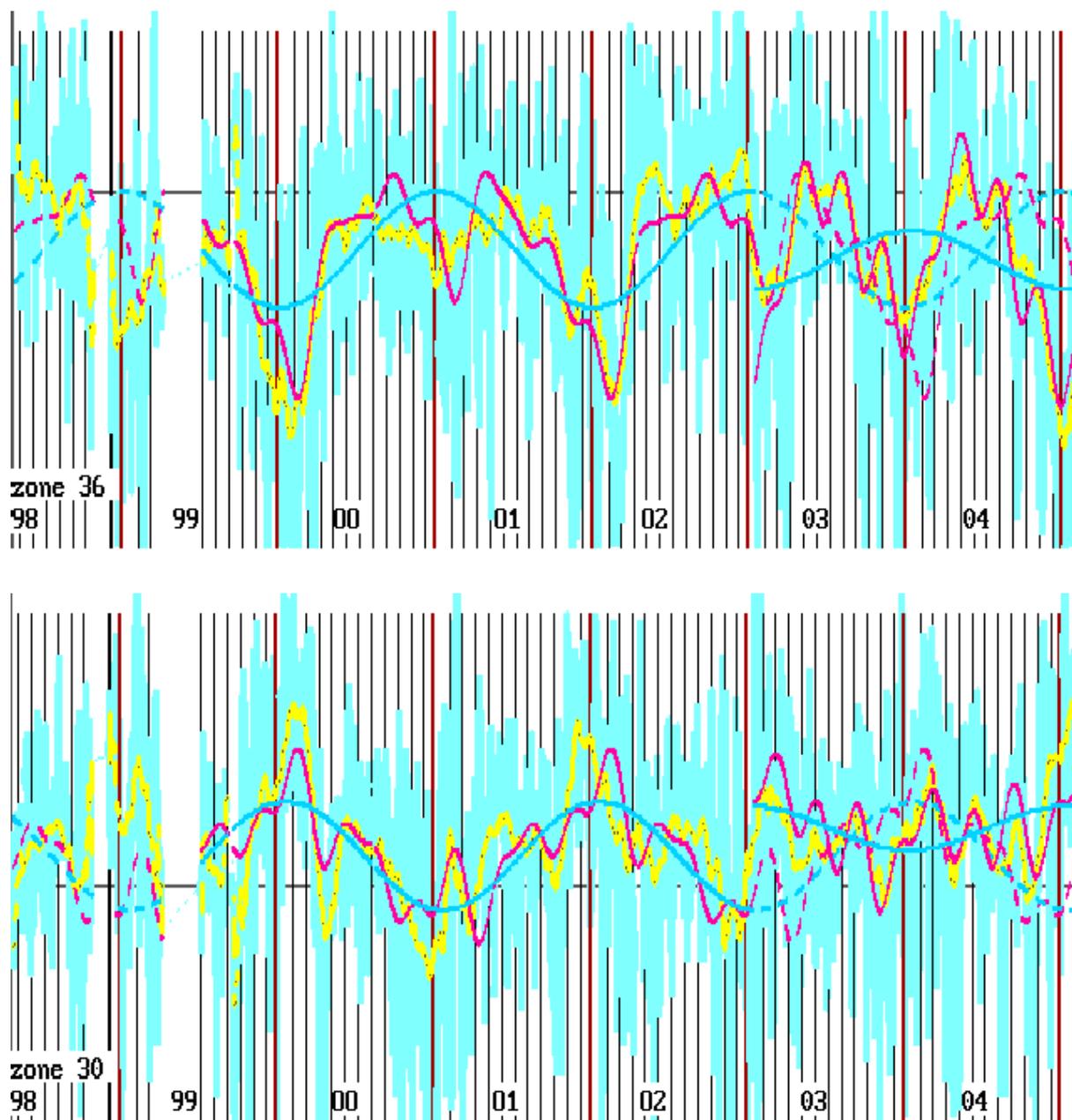


Figure 14 : Exemple des zones 36 (Spitzberg –groupe 1) et 30 (France ouest – groupe 2)

A l'épreuve du test F, la première composante ($x_p = 730$) est toujours significative. Pour trois zones (25, 30, 33), c'est même la seule. On constate ici, à nouveau, que la variabilité des saisons est telle qu'une saison moyenne mesurée sur 5 ans n'a pas de signification, alors que l'alternance semble bien réelle. En revanche pour les zones 37 et 44 d'une part (continental) et 31, 32 d'autre part (méditerranéen) les saisons sont modulées par l'alternance.

Les limites de la plage de temps concernée par l'alternance sont difficiles à déterminer précisément. Au début, les lacunes dans les données en 1998 et 1999, en sont la raison principale. Mais il semble cependant que le phénomène ne commence qu'en 1999. Pour la fin cependant il est clair que l'oscillation s'amortit plus ou moins rapidement suivant les zones.

Pour les zones arctiques, en particulier 27 et 36, elle reste perceptible jusqu'à début 2003, alors que pour les zones françaises, 30 et 33, elle devient faible au printemps 2002, pour disparaître en décembre.

Ensuite, comme pour *el niño* et la *niña*, il semble se produire une réplique inverse, mais d'amplitude plus faible. En effet, de janvier 2003 à février 2005, on trouve une oscillation très précisément en opposition de phase pour la plupart des zones. La composante $x_{p=730}$ n'apparaît significative que pour les zones 36 (Spitzberg) et 45 (Barents) et pour cette dernière avec un décalage de quelques mois. Mais il faut se méfier d'un ajustement de courbe bisannuelle sur une période de 2 ans incluant 3 hivers qui pourrait ne traduire que la particularité de l'hiver central.

Au delà des 2 ans de l'alternance boréale, les seules autres traces d'oscillation de longue période concernent 5 zones avec une période de 7 ans. Avec 7 années d'observations, ces résultats sont à considérer comme provisoires, à confirmer ultérieurement. En particulier pour la zone 12, la période pourrait être plus longue, jusqu'à 11 ans.

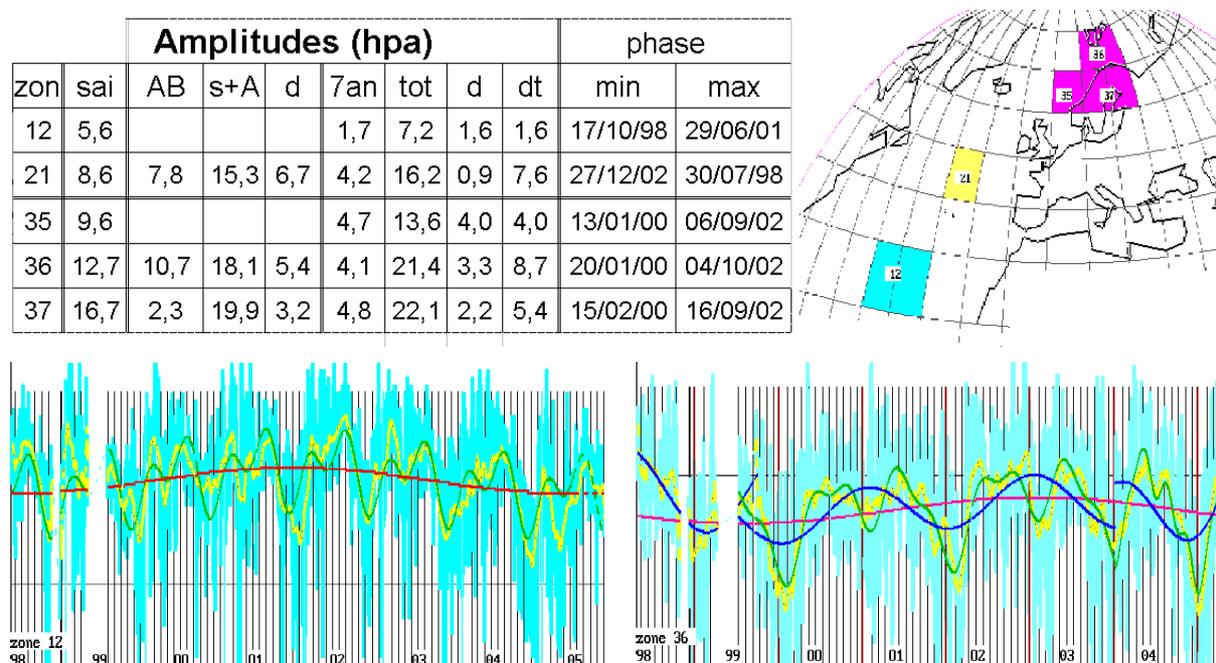


Figure 15 : Oscillation septennale

4 Conclusion

En dépit de la mauvaise qualité des données et de la période trop courte, on espère avoir montré l'intérêt de ce type d'analyse statistique. Compte tenu de la variabilité des saisons, et de la possibilité que l'alternance boréale soit un phénomène isolé, il serait nécessaire de reprendre l'étude sur un plus grand nombre d'années. Pour compléter le fichier plus vite qu'au fil du temps et plus commodément que par radio, il faudrait pouvoir faire appel à des archives.

Annexe Recueil des données

Le matériel de base est constitué de cartes donnant les isobares et fronts en surface. Ces cartes sont captées par un récepteur ondes courtes BLU, connecté à l'ordinateur et imprimées par copie d'écran. La station allemande de Hambourg diffuse 2 fois par jour (situations à 0 h et 12 h TU) deux cartes qui se complètent pour couvrir une portion du globe de 12 000 km, du Mississippi à l'Oural. Pour numériser ces cartes on utilise un découpage en 47 zones décrit en figure a1.

Toutes les zones ont la même hauteur (10° -600 milles), mais quand on s'éloigne du centre, elles couvrent 20° de longitude au lieu de 10°. Comme 1° de longitude représente une distance 5,5 fois plus grande à 20° qu'à 80°, les zones sont très disparates en taille et en forme : La diagonale varie du simple au double (la surface du simple au quadruple), et les zones des hautes latitudes sont 2 fois plus hautes que larges, alors que les plus basses sont à l'inverse presque 2 fois plus larges que hautes.

longeurs en milles, surfaces en milliers de milles carrés
forme = 0,5 (bas + haut) / 600

Latitude

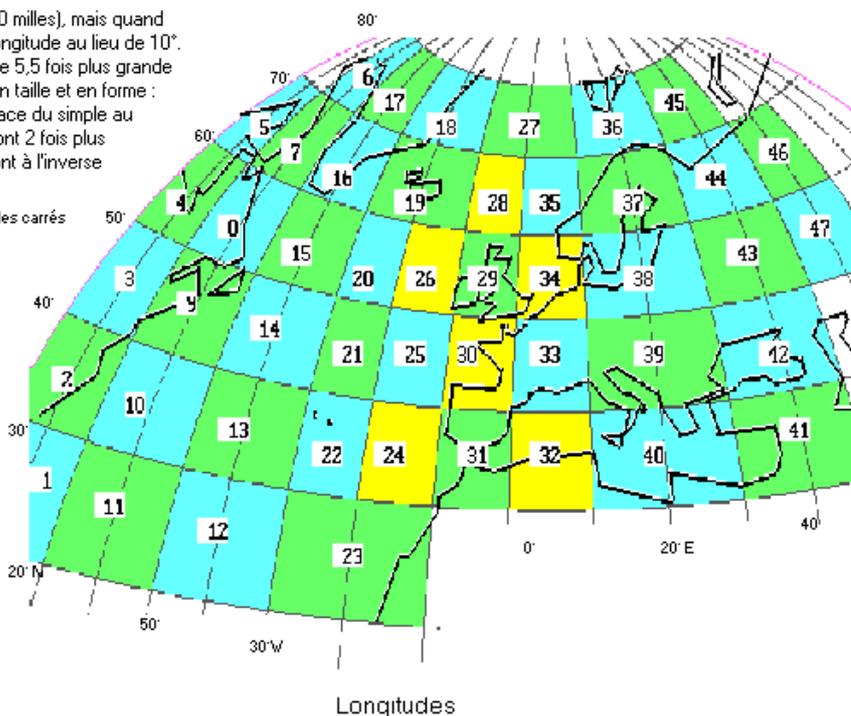
	haut	bas	diag	surf	forme
grandes (20° longitude)					
70-80	207	409	667	184,8	0,51
60-70	409	598	778	302,1	0,84
50-60	598	769	907	410,1	1,14
40-50	769	917	1034	505,8	1,41
30-40	917	1038	1148	586,5	1,63
20-30	1038	1127	1239	649,5	1,80
petites (10° longitude)					
60-70	205	300	649	151,5	0,42
50-60	300	385	690	205,5	0,57
40-50	385	459	733	253,2	0,70
30-40	459	519	774	293,4	0,82

grandes (20° longitude)

Latitude	haut	bas	diag	surf	forme
70-80	207	409	667	184,8	0,51
60-70	409	598	778	302,1	0,84
50-60	598	769	907	410,1	1,14
40-50	769	917	1034	505,8	1,41
30-40	917	1038	1148	586,5	1,63
20-30	1038	1127	1239	649,5	1,80

petites (10° longitude)

Latitude	haut	bas	diag	surf	forme
60-70	205	300	649	151,5	0,42
50-60	300	385	690	205,5	0,57
40-50	385	459	733	253,2	0,70
30-40	459	519	774	293,4	0,82



Longitudes

	90 - 70 W	70 - 50 W	50 - 30 W	30 - 20 W	20 - 10 W	10 W - 0	0 - 10 E	10 - 30 E	30 - 50 E	50 - 70 E	
Latitude	70-80 N		6 Baffin	17 Groenland	18 Groenland	27 W Spitzberg	36 Spitzberg	45 Barentz			
	60-70 N	5 Melville	7 Davis	16 Groenland	19 Islande	28 Féroé	35 Norvèg	37 Baltique N	44 Arkangel	46 Oural N	
	50-60 N	4 Hudson	8 Labrador	15 Sud Groe	20 SW Is	26 W Irla	29 Irlande	34 m Nord	38 Baltique S	43 Moscou	47 Oural S
	40-50 N	3 Grds Lacs	9 Terre Neuv	14 Est T Neu	21 N Açø	25 W Gas	30 France	33 France	39 Adriatique	42 m Noire	
	30-40 N	2 Virginie	10 Bermudes	13 W Açores	22 Açores	24 Madèr	31 Maroc	32 Tunisie	40 Crète	41 Suez	
20-30 N	1 Bahamas	11 N Antilles	12 centre N Afz	23 Canaries							

Figure a1 : Définition du découpage en 47 zones

Pour chacune des zones, on relève trois informations:

- 1: la pression la plus basse
- 2: la pression la plus haute
- 3: le caractère du temps (dépression, front, ..)

Les deux premières informations sont obtenues par interpolation à vue entre les isobares, le découpage en zones étant matérialisé par des transparents posés sur les cartes.

Le caractère du temps sur la zone est une variable qualitative à 5 états hiérarchisés. L'état 1 prime sur l'état 2, qui prime sur l'état 3,... Par exemple la zone 30 se trouve entre 2 dépressions et un anticyclone, traversée par plusieurs fronts, avec $p_{min}=1005$ hpa et $p_{max}=1035$ hpa, c'est le code 2 qui s'applique car les isobares sont serrés et il y a du vent. Le code 5, qui s'applique en l'absence des 4 précédents, correspond en général à une situation de marais barométrique.

caractère du temps

1 - Dépression centrée sur zone
2 - Fort gradient
3 - Front intéressant la zone
4 - Conditions anticycloniques
5 - Autres

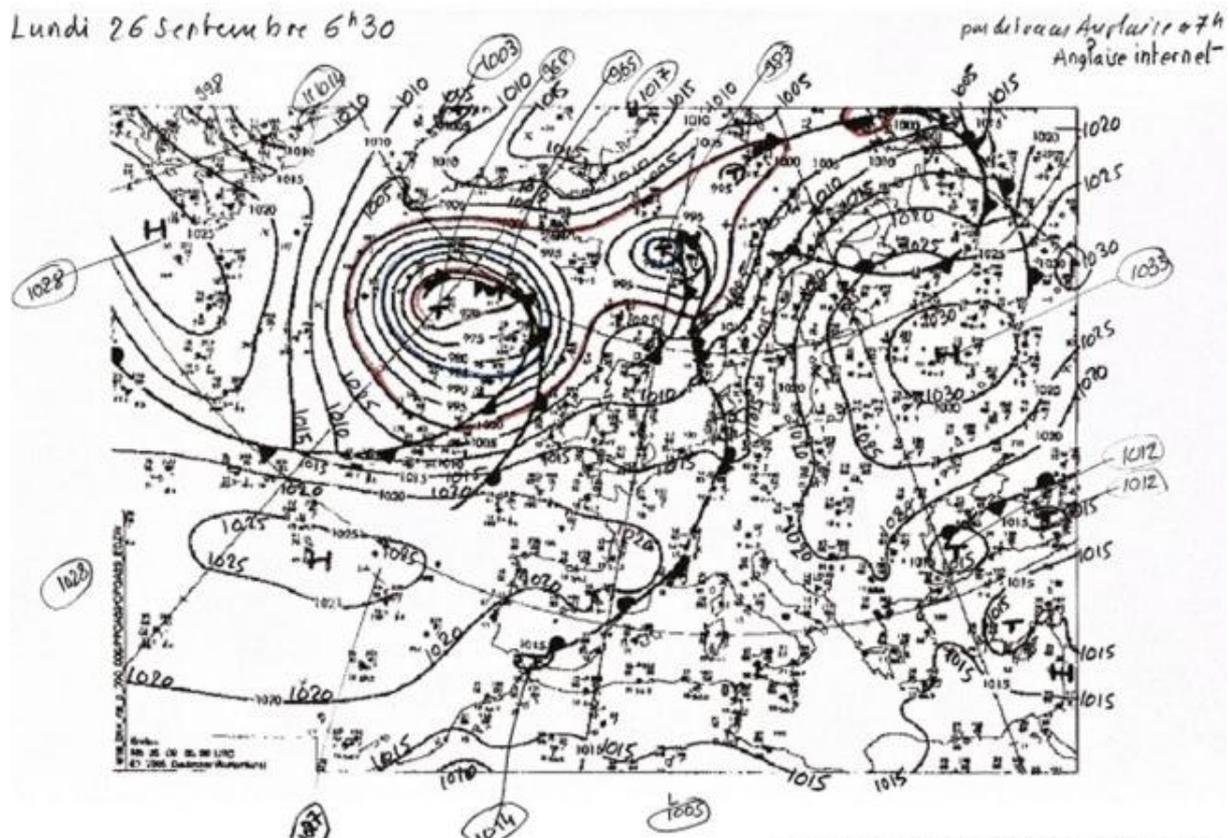


Figure a2 : Carte 1 Europe

Lundi 26 Septembre 7^h25

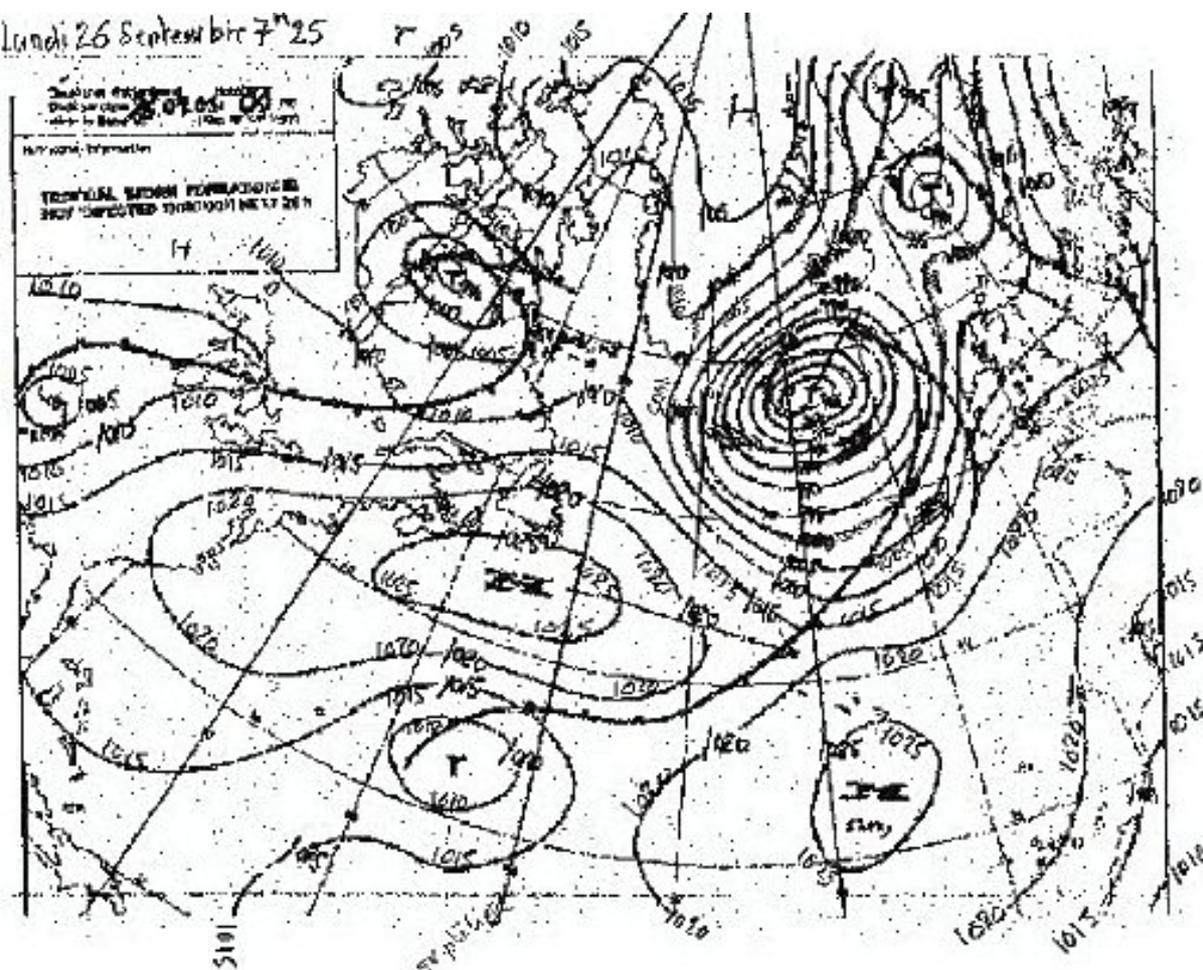


Figure a3 : carte 2 Atlantique

fréquences (kHz)

13 882,5
7 880,0
3 855,0

horaires (TU)

sit	4 h 30	carte 1
0 h	5 h 25	carte 1 (répétition)
	7 h 45	carte 2

sit	16 h 00	carte 1
12 h	18 h 10	carte 2

Capture des cartes

Cette façon de recueillir l'information demande beaucoup de patience et de ténacité. Cartes manquantes (un écran blanc sans avertissement), ou remplacées par autre chose, chiffres illisibles, et coupure des bonnes fréquences pendant la diffusion, imposant de se battre sur la fréquence basse, par réglages en continu de BFO et filtres, pendant les 20 minutes que dure la réception d'une carte, et ensuite de déchiffrer la grisaille pour distinguer les isobares des fronts et traits de côte, et retrouver les valeurs à l'aide des cartes encadrantes.

Fiabilité des données

La partie commune aux deux cartes permettrait de faire une étude quantitative des marges d'erreur. Les différences d'un, voir de deux isobares au fond d'une dépression ou au sommet d'un anticyclone, sautent aux yeux, l'importance de faibles différences de position ou d'étalement des dépressions apparaît quand on contrôle de près les données par zones. La faible densité des observations sur l'océan, illustrée par carte 1, montre la difficulté de passer du discret au continu et rappelle que la carte des isobares n'est qu'une interprétation de la réalité observée. Les anglais disent "Surface analysis". Progressivement les informations ont été complétées par une carte de la station anglaise Northwood (aussi difficile à capter), qui donne explicitement les valeurs extrêmes des centres d'action et aussi par la situation générale de la météo marine de la radio France Inter. Il ne reste plus, ensuite, qu'à choisir une valeur intermédiaire.

Une première campagne de capture de cartes pendant 6 mois, du 19 avril au 19 octobre 1998 a été interrompue 40 jours pour avoir le temps de traiter l'information. 6 mois de recueil ont donné 305 observations. Il en manque 63 (17%) et il y a 69 observations *courtes* (23%). La deuxième campagne, en hiver, du 29 novembre 98 au 31 mars 1999 est un peu moins mauvaise : Il manque seulement 5 observations et il y a 22 *courtes* (9%). Après une nouvelle interruption de 3 mois, le recueil d'information reprend le 2 juillet 1999 de façon quasi ininterrompue, les quelques lacunes étant inférieures à 15 cartes.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
période	fin	num	théo	lacun	trou	tot	nb obs	%	ok	%obs	%th	cod 1	court
1-a	30/04/99	545	754	141	68	209	545	72	454	83	60		91
1-b	30/04/00	1125	732	147	5	152	580	79	530	91	72	17	32
1	30/04/00		1486	288	73	361	1125	76	984	87	66		
2	30/04/01	1831	730	15	9	24	706	97	554	78	76	29	22
3	30/04/02	2538	730	22	11	23	707	97	565	80	77	13	36
4	30/04/03	3268	730				730	100	544	75	75	36	20
5	30/04/04	3992	732		8	8	724	99	495	68	68	83	15
6	30/04/05	4702	730	11	9	20	710	97	455	64	62	83	20
tot		4702	5138	336	110	436	4702	92	3597	76	70		

figure a4 : Contenu du fichier

En regroupant les deux premières périodes annuelles tous les mois sont présents. En mars 2000 il y a moins de moins de problèmes avec carte 2, mais il manque des carte 1. En l'absence d'une procédure de récupération des trous, qui dans le calcul de moyennes mensuelles sont assimilés à la moyenne, il est indispensable d'en réduire le nombre, et quand il ne manque qu'une carte1, on récupère l'observation en interpolant à vue les valeurs des zones manquantes à partir des cartes encadrantes. Un code de fiabilité d'observation est introduit (0: sans problème, 1: carte1 absente, 2: cartes très douteuses, 3: cartes douteuses). Le nombre d'observations manquantes est ainsi considérablement réduit (colonne 4 de la figure a4). Il est même nul en période 4. Mais la proportion d'observations correctes (code 0) ne cesse de décroître (colonnes 7,8,9), et tombe en dessous de 70% dans les deux dernières périodes.

Bibliographie

(Sélection parmi 60 titres)

Concernant la Météo :

Bjerknes V. ,(1914). " Meteorologie as an exact science ", *Monthly Weather Review*, 12, p11-14.

Malardel Sylvie. (2005) " Fondamentaux de météorologie ", Cepadues, 708 p.

Mayençon René. (1992) " Météorologie marine ", EMOM ,335 p.

Rochas Michel et Javelle Jean-Pierre. (1993). " La météorologie. La prévision numérique du temps et du climat ", SYROS, 261 p.

Roth Gunther D. et Gillot Pétré Alain. (1979), " Guide de la météorologie ", Delachaux et Niestlé

Concernant le Climat :

Ascot Pascal (2003). " Histoire du climat ", Perrin, 309 p.

Demangeot Jean. (1998). " Les milieux naturels du globe ", Armand Collin (7^{ième} édition), 337 p.

Fellous Jean-Louis. (2005). " Le climat ", Le cavalier bleu, 127 p.

Godard Alain et Tabeaud Martine. (2004). "Les climats - Mécanismes et répartition", Masson, 217p.

Kandel Robert. (1998). " Les eaux du ciel ", Hachette, 332 p.

Le Treut Hervé et Jancovici Jean-Marc. (2001). " L'effet de serre. Allons nous changer le climat ? ", Flammarion, 128 p.

Ploye François. (2000). " L'effet de serre – Science ou religion du XXI siècle ", Naturellement, 181 p., préface de Hervé Le Treut

Whipple A.B.C. (1982). " Les courants marins ", collection " la planète terre ", Time-life, 176 p.