

TYPES DE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE ADVECTION DES MASSES D'AIR ET VARIATIONS CLIMATIQUES LE CAS DES HIVERS DOUX ET DES HIVERS RUDES RECENTS EN BELGIQUE

M. ERPICUM, G. MABILLE et J. ALEXANDRE

Laboratoire de Climatologie, Département de Géographie physique
et Géologie du Quaternaire,

Université de Liège 7. Place du 20-Août B-4000 LIEGE

Résumé:

Les types de circulation atmosphérique responsables des hivers rudes en Belgique ont été identifiés par comparaison avec ceux des hivers doux

L'advection des masses d'air telle qu'elle apparaît à 850 hPa joue un rôle prépondérant sur les températures relevées au sol lors des hivers doux. Dans le cas des hivers rudes par contre, les phénomènes radiatifs confinés près du sol et les mouvements des couches d'air dont la pression est supérieure à 850 hPa influencent beaucoup plus intensément les températures au sol.

Abstract:

Atmospheric circulation types responsible for the severe winters in Belgium have been identified by comparison with those of mild winters.

The advection of air masses - as it appears at the 850 hPa level - is very important in the explanation of the temperature at the ground level during the mild winters. In the case of severe winters, radiative phenomena observed in the lower levels of the troposphere and the horizontal motion of very thin air masses (below the 850 hPa level) seem to be more important for the explanation of ground level temperature.

Mots-clés: Variation des températures, types de circulation atmosphérique, hivers rudes, hivers doux.

Key-words: Temperature variation, atmospheric circulation types, severe winters, mild winters.

Introduction

Il est bien connu que ce sont les hivers anormalement froids ou chauds qui gouvernent en grande partie la température moyenne annuelle en Europe occidentale (Fig. 1). De fait, pour la station belge de Bierset, l'écart-type de la variation interannuelle des mois de janvier et de février est de 2,7° C, c'est-à-dire le double de celui des mois d'été (Fig. 2).

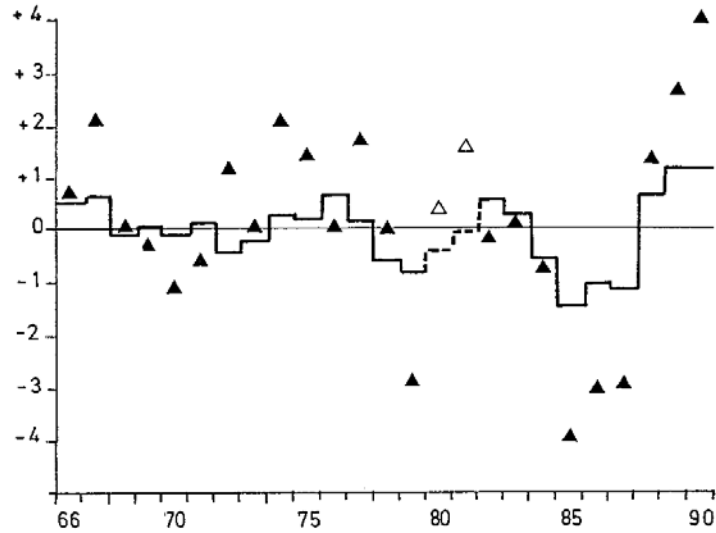


Figure 1: Evolution des écarts à la moyenne générale de la température moyenne annuelle (trait plein) et de la température des mois d'hiver (triangles noirs) à Bierset. Le trait interrompu et les triangles blancs sont des évaluations d'après les données d'Uccle. La moyenne générale a été calculée pour la période envisagée (1966-90).

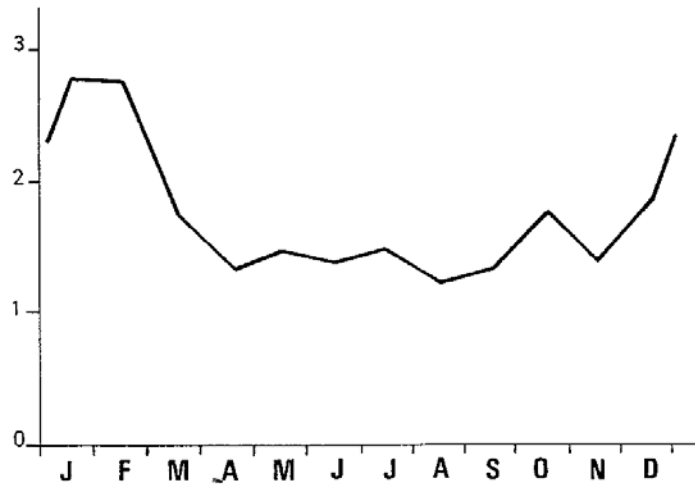


Figure 2: Ecart-type de la variation interannuelle de la température moyenne des différents mois de l'année (Bierset, 1966-1990 sauf 1980 et 81).

C'est pourquoi les recherches entreprises par le laboratoire de Climatologie de l'Université de Liège sur les mécanismes responsables des variations thermiques annuelles dans nos régions, ont tout d'abord été consacrées aux hivers. Des hivers particulièrement sévères ont été opposés à d'autres beaucoup plus doux.

Depuis le début du siècle, la Belgique a connu un nombre à peu près égal d'hivers relativement froids et relativement doux (Fig 3, 13 et 10 avec des températures moyennes de janvier et février inférieures ou supérieures à la moyenne générale \pm un écart-type). Toutefois, les hivers particulièrement rigoureux (plus de deux écarts-types au-dessous de la moyenne) sont encore au nombre de six, alors qu'il n'existe aucun hiver particulièrement doux (selon les mêmes critères).

Toutefois, comme nous le verrons plus tard, les données climatiques au sol de la station de Bierset sont très précieuses à notre analyse et ne nous sont accessibles que depuis 1968. Les exemples traités seront donc choisis au cours de la période après cette date

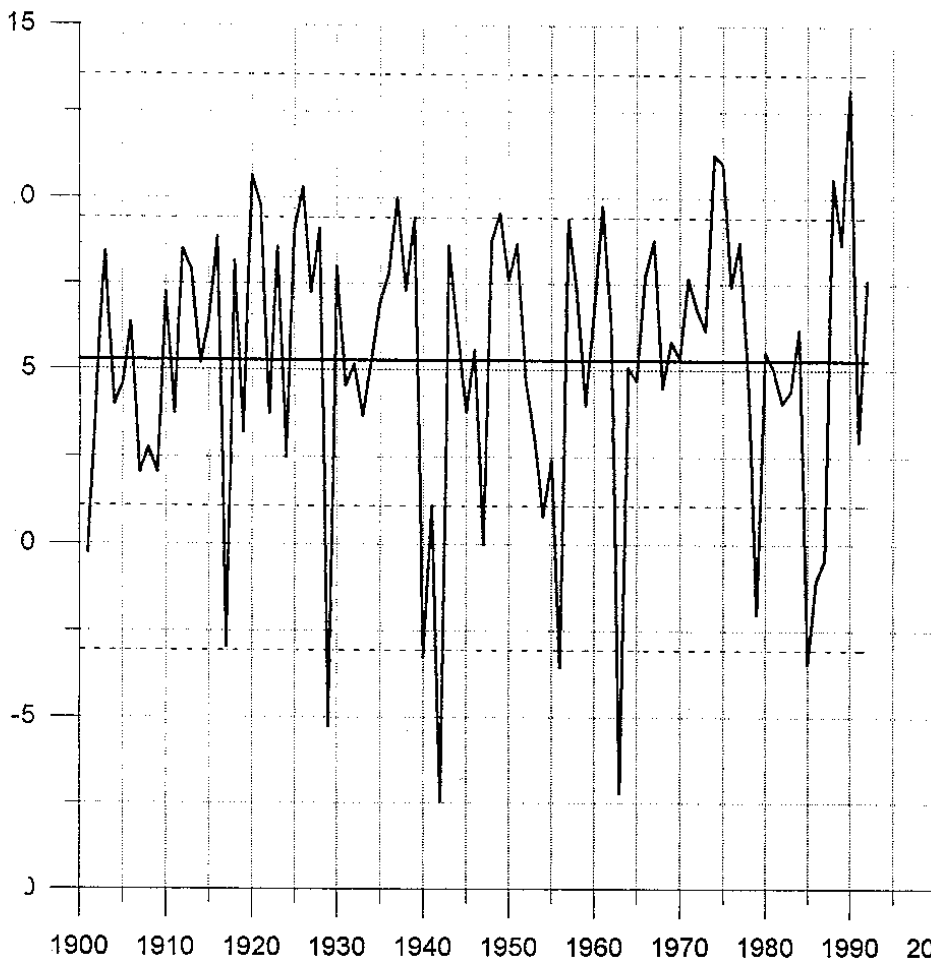


Figure 3: Température moyenne des mois de janvier et février à Uccle depuis 1901. La moyenne générale figure en trait plein; en pointillé, les valeurs $\pm 1\sigma$ et $\pm 2\sigma$.

Les mois de janvier et février 1985, 1986 et 1987 ont singulièrement contrasté par leur rigueur avec ceux de 1988, 1989 et 1990 qui ont donné l'illusion d'un réchauffement généralisé du climat. Les années précédentes ont fourni un autre hiver rude (1979) et plusieurs hivers cléments (1967, 1974, 1975, 1977) portant ainsi l'échantillonnage pris en considération dans cet article à quatre hivers rudes et sept hivers doux.

1. La méthode

L'analyse de la température des masses d'air apportées par les différents types de circulation a porté d'une part sur les valeurs de la température potentielle pseudo-adiabatique du thermomètre mouillé ($\theta'w$) à 850 hPa (sondage d'Uccle) et d'autre part sur la température du thermomètre mouillé (T_w) au sol, à Bierset. Ces deux variables sont en effet comparables (Eripcum *et al.*, 1993): $\theta'w$ présente des valeurs conservatives quels que soient l'altitude, l'état de l'eau atmosphérique et les précipitations, valeurs qui devraient être égales à T_w pour de l'air amené de 850 hPa au niveau du sol s'il n'y avait pas d'échanges énergétiques avec la surface de ce dernier, ni non plus de phénomènes de stratification ou de superposition de masses d'air différentes. Ceci peut se produire, par exemple à l'ouest de coulées d'air polaire; la masse d'air froid s'affaisse et peut ne pas y dépasser les 1500 m, soit le niveau de 850 hPa (Newton & Palmen, 1969). Dans pareil cas, la mesure de $\theta'w$ à 850 hPa se fait, non pas au sein de la masse d'air en contact avec le sol mais dans une strate de transition vers l'air chaud supérieur.

Les types de circulation utilisés dans le présent article, sont largement inspirés de la classification de Baur (Hess et Brezovsky, 1969), et ont été repris d'un article précédent (Eripcum *et al.*, 1993). Des précisions et de légers ajouts ont toutefois été apportés. Les anticyclones et les cyclones centrés sur la Belgique ou une région voisine (H1 et P1) ont été subdivisés en zones réputées chaudes ou froides selon qu'elles sont soumises à des courants de sud et selon les cas, d'ouest (H) ou d'est (P) ou, au contraire de nord et respectivement, d'est ou d'ouest. Dans les crêtes anticycloniques perpendiculaires aux côtes de l'Europe, la distinction a été faite entre les mouvements du NW (H3C) et ceux de SE (H3C'). Enfin, dans les longues trajectoires rectilignes sans prédominance d'un centre d'action anticyclonique ou cyclonique, une origine méridionale (O3) fait le pendant d'un tracé du N vers le S beaucoup plus fréquenté (Fig. 4).

La comparaison entre hivers rudes et hivers doux a été faite au travers de ces types de circulation en calculant pour chacun de ceux-ci :

- a) Leur fréquence (n) en demi-journées par an. L'identification des types de circulation a en effet été effectuée dans le but de les mettre en relation avec les mesures de $\theta'w$ à 0 h et à 12 h. Cette identification s'est fondée non seulement sur la carte du temps (au sol et à 850 hPa), mais également sur des diagrammes simultanés au sol pour Bierset qui suivent l'évolution du temps heure par heure selon ses différentes composantes (insolation, température, nébulosité, précipitation, pression, etc.).

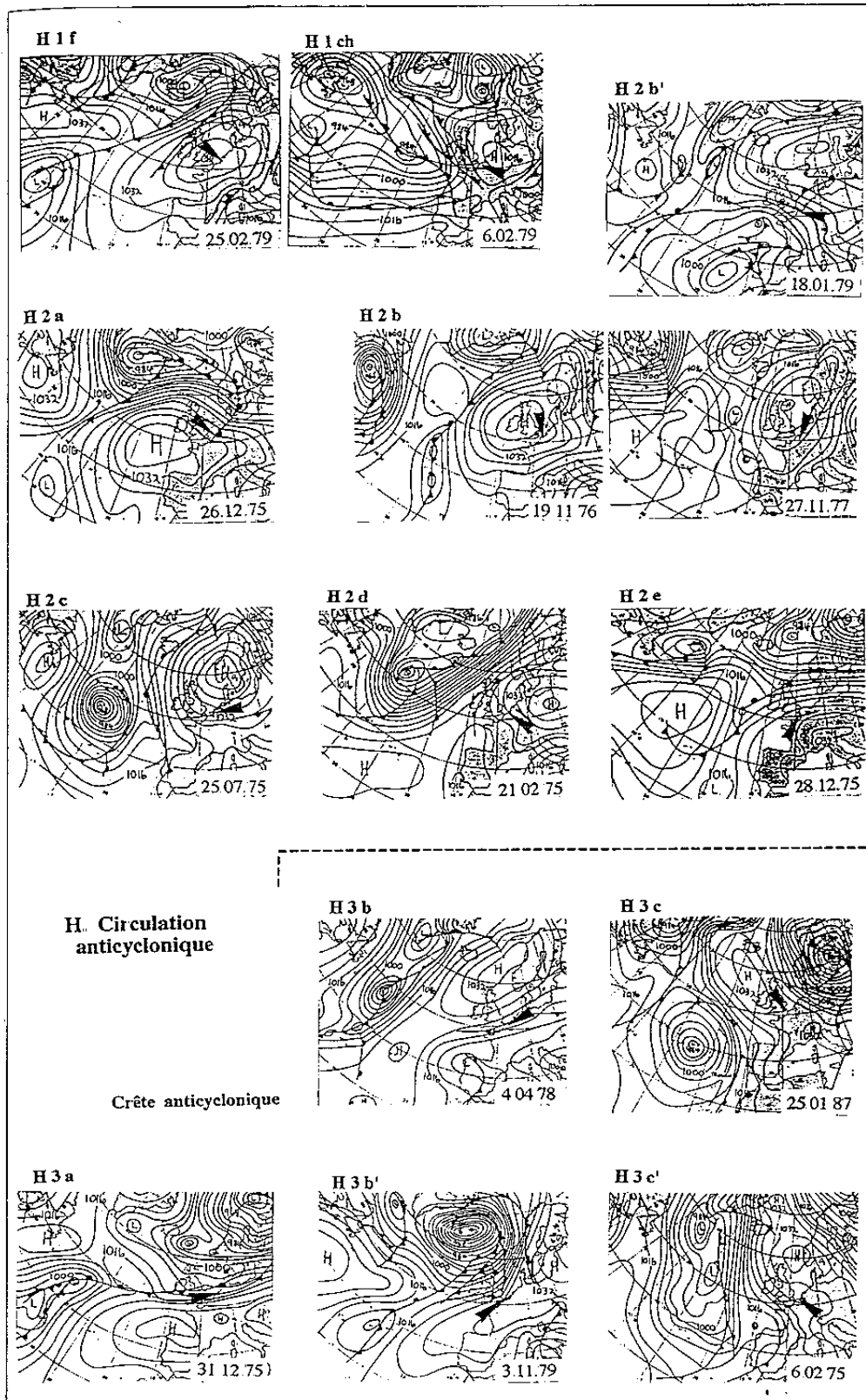


Figure 4: Types de circulation atmosphérique selon leur reponse thermique à 850 hPa et près du sol.

H. Circulation anticyclonique : la region est située:

1. dans une zone de haute pression locale; f, secteur chaud.
2. en marge d'un anticyclone situé:
 - a. sur le nord de l'Atlantique, b. sur les Iles Britanniques ou la Mer du Nord, b' sur une des deux regions précédentes mais avec un retour de sud, c. sur la Finno-Scandinavie, d. sur l'est de l'Europe, e. sur la Méditerranée.
3. sur une des branches d'une crête anticyclonique:
 - a. au nord d'une crête W-E, b. et b'. sur la branche venant du NE ou du SW d'une crête parallèle aux côtes de l'Europe, c et c'. sur la branche venant de NW ou de SE d'une crête perpendiculaire aux côtes de l'Europe,

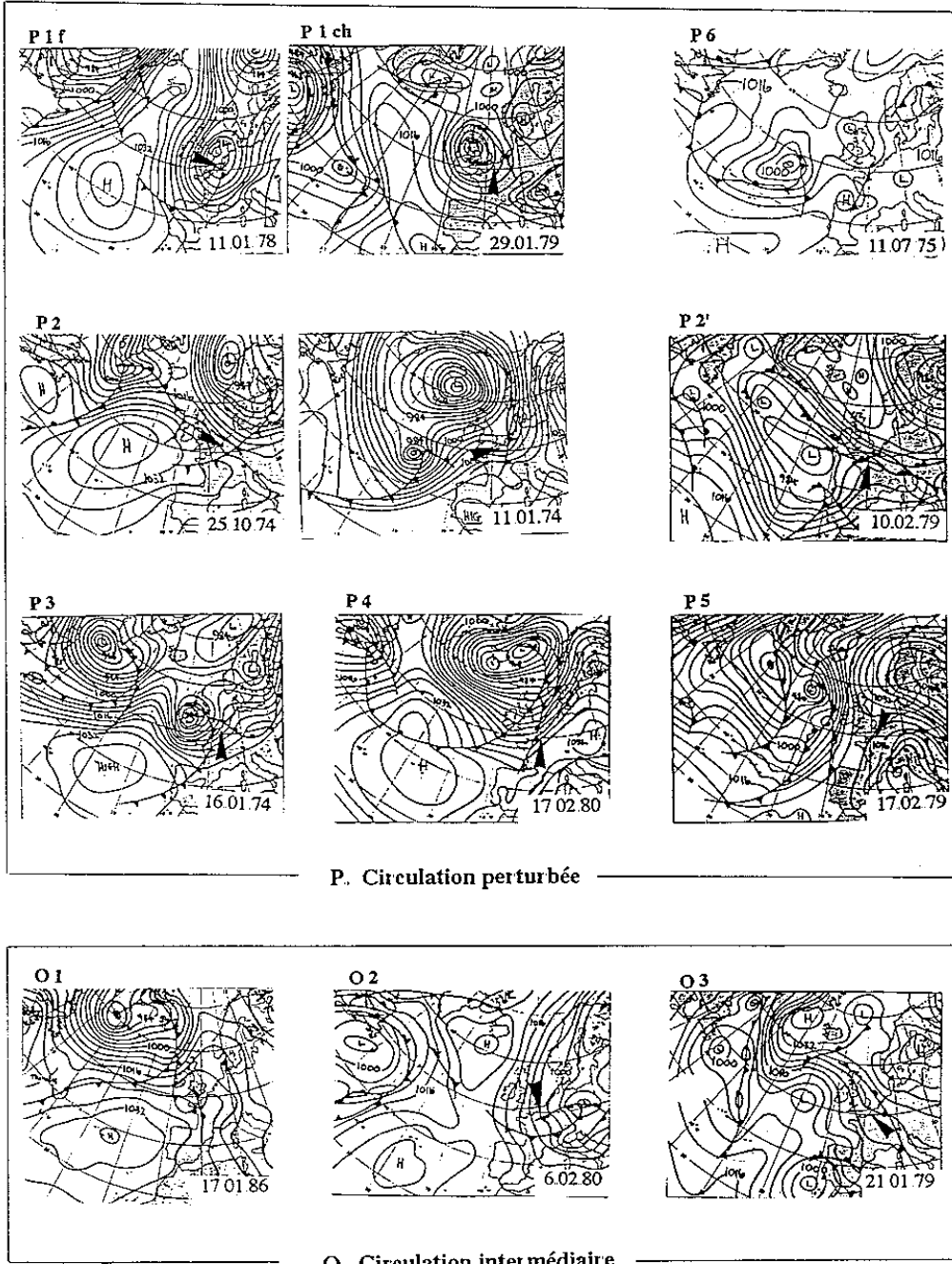


Figure 4: Types de circulation atmosphérique selon leur réponse thermique à 850 hPa et près du sol.

O. Circulation intermédiaire. La région se trouve :

1. dans une expulsion d'air froid à l'arrière d'une perturbation,
2. sur une trajectoire rectiligne de provenance septentrionale,
3. sur une trajectoire rectiligne de provenance méridionale.

P. Circulation perturbée. La région étudiée est affectée par le passage :

1. de la zone centrale d'un cyclone, f: secteur froid, ch: secteur chaud,
2. d'un front froid ou d'un front occlus,
- 2'. de l'air polaire de retour associé à ces fronts,
3. du secteur chaud,
4. du flux de S à l'avant des fronts précipités,
5. d'un flux de N se dirigeant vers un cyclone sur la Méditerranée,
6. d'un marais barométrique.

- b) La moyenne de la température potentielle pseudoadiabatique du thermomètre mouillé ($\theta'w$) à 850 hPa (sondages d'Uccle), cette moyenne étant elle-même relativisée par rapport à la moyenne saisonnière calculée sur une période de 25 ans (1966-1990) de telle façon que le signe + ou - désigne des valeurs supérieures ou inférieures à la "normale".
- c) La différence entre T_w (moyenne des mesures de 7,8 et 9 h TU) au sol, à Bierset et $\theta'w$ (moyenne des mesures de 0 et 12 h TU), à 850 hPa à Uccle. L'heure optimale à laquelle il conviendrait de mesurer T_w est, en principe, celle à laquelle les échanges convectifs atteignent le niveau de 1.500 m. En fait, après 9 h TU, T et T_w évoluent tellement vite que pour des raisons de reproductibilité de jour en jour, il est préférable de ne pas dépasser cette heure. T_w ainsi calculée est très bien corrélée à la moyenne des observations journalières de $\theta'w$ pour les mois d'été ($r = 0,90$) et peu différente de celle-ci (-1°C la plupart du temps). En hiver, cette corrélation est moins bonne pour les années chaudes ($r=0,60$) et presque inexistante pour les années froides. Dans ce cas, l'heure de la mesure de T_w n'a plus grande importance (Fig 4).
- d) L'impact, ou mieux la part prise dans le degré de rigueur (-) ou de douceur (+) de la saison. La valeur de cet impact résulte de la multiplication du nombre de demi-journées ($n/2$) par $\theta'w$, l'unité étant ainsi le degré-jour.
- e) Enfin, le produit de $n/2$ par la différence entre T_w et $\theta'w$, afin de dégager, compte tenu des possibilités de structures stratifiées et de calmes, anticycloniques pour la plupart, un ordre d'importance dans les effets thermiques sur l'advection, des interactions avec le sol au sein de la couche-limite.

2. Les résultats (Tab. 1)

Les hivers rudes sont caractérisés quant à la circulation atmosphérique ayant une influence sur les climats de la Belgique et des régions voisines, par une recrudescence en fréquence des anticyclones nordiques centrés sur les Îles Britanniques, mer du Nord, Finno-Scandinavie (H3b, H2c), des flux de NE dans les crêtes anticycloniques (H3b), des trajectoires rectilignes d'origine septentrionale (O2) et des cyclones centrés sur la Méditerranée (P5), principalement sur ou à proximité de l'Italie du Nord. Les hivers doux, par contre, voient augmenter la fréquence des anticyclones océaniques, centrés sur le nord de l'océan Atlantique (H2a), ou crête zonale (H3a), des courants de S à l'avant des fronts (P4), du développement des secteurs chauds (P3), des anticyclones méditerranéens (H2e), des flux de SW dans les crêtes anticycloniques parallèles aux côtes de l'Europe (H3b) et enfin des mouvements de retour au sein d'une circulation perturbée (P2').

En ce qui concerne les advections en altitude, il existe un écart de $2,5^\circ\text{C}$ entre la $\theta'w$ moyenne des quatre hivers rudes et des sept hivers doux étudiés. A l'exception des anticyclones centrés sur la Méditerranée et, très curieusement sur les Îles Britanniques (H2e, H2b) et certaines circulations perturbées (P2', P3), tous les types de circulation amènent sur la Belgique de l'air plus froid, de plus de 6°C en ce qui concerne les branches de NE des crêtes anticycloniques sur les côtes de l'Europe (H3b).

Tableau 1: Fréquence et certaines caractéristiques de température des types de circulation atmosphérique. Les types de circulation atmosphérique sont identifiés sur la fig. 4.

		n (en demi-jours)		θ'_w (850 hPa) °C		$T_w - \theta'_w$ sol 850 hPa °C		Impact (en degrés-jours)			
								n x θ'_w		n x ($T_w - \theta'_w$)	
		F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
H 1	f	5.5	4.7	-5.8	-1.8	-6.5	-1.9	-16.0	-1.2	-35.8	-8.9
H 1	ch	6.0	4.8	-0.7	+1.6	-6.2	-4.3	-2.1	+3.8	-37.2	-20.6
H 2	a	4.0	7.9	-1.9	-0.6	-1.3	-2.2	-3.8	-2.3	-5.2	-17.4
	b	10.2	1.6	-1.2	-3.0	-11.3	-1.0	-6.1	-2.4	-15.3	-1.6
	c	7.2	2.6	-3.0	-1.6	-9.7	-4.5	-10.8	-2.1	-69.8	-11.7
	b'	1.0	0.9	-2.5	+2.8	-3.5	-7.5	-1.2	+1.2	-3.5	-6.8
	d	7.5	6.9	-1.1	+0.9	-5.4	-5.6	-4.1	+3.1	-40.5	-38.6
	e	1.5	4.9	+4.8	+3.2	-8.1	-2.9	+3.6	+7.8	-12.1	-14.2
H 3	a	7.7	18.7	+0.8	+2.1	-3.2	-2.5	+3.0	+19.6	-24.6	-46.8
	b	4.7	2.4	-7.3	-0.9	-6.4	-3.1	-17.1	-1.1	-30.1	-7.4
	b'	1.2	4.3	-1.1	+3.1	-8.6	-6.6	-0.6	+6.7	-10.3	-28.4
	c	1.7	0.7	-3.5	-3.2	-6.2	-1.5	-3.0	-1.1	-10.5	-1.0
	c'	0.5	0.6	-4.0	+1.9	-9.2	-9.1	-1.0	+0.5	-4.6	-5.5
O	1	0.7	4.1	-3.6	-1.8	-5.0	-2.9	-1.3	-3.7	-3.5	-11.9
	2	6.0	3.7	-4.2	-3.8	-2.3	-1.5	-12.6	-7.0	-13.8	-5.6
	3	1.0	0.7	-0.1	+2.1	-5.8	-9.3	0.0	+0.7	-5.8	-6.5
P 1	f	3.5	2.1	-4.4	-1.6	-4.7	-1.7	-7.6	-1.7	-16.5	-3.6
	ch	8.0	6.1	0.0	+1.5	-4.5	+0.4	0.0	+4.5	-36.0	+2.4
P	2	2.2	4.7	-3.2	-1.7	-4.4	-1.7	-3.5	-4.0	-9.7	-8.0
	2'	2.0	5.6	+0.4	+0.1	-5.2	-2.0	+0.4	+0.3	-10.4	-11.2
	3	2.2	4.7	+4.2	+4.5	-4.2	-3.6	+4.6	+10.6	-9.2	-16.9
	4	10.7	16.6	+0.6	+2.7	-4.4	-3.3	+3.2	+22.4	-47.1	-54.2
	5	7.0	1.0	-2.4	-0.6	-7.5	-2.2	-8.4	-0.3	-52.5	-2.2
	6	0.7	1.3	-0.7	+0.7	-9.0	-2.4	-0.2	+0.6	-6.3	-3.1
T		102.7	111.6					-84.6	+51.6	-610.3	-290.8
x				-1.6	+0.9	-5.9	-2.6				

Au cours des hivers froids, la position moyenne du "front polaire" est plus méridionale. L'air arctique peut atteindre nos contrées: -14,6°C en janvier 86, -13,3°C en janvier 87 dans un flux de nord associé à un anticyclone sur les Îles Britanniques. Les incursions d'air tropical en périphérie d'un anticyclone nord-atlantique (H2a), d'une crête d'ouest (H3a) ou d'une haute pression sur la Méditerranée (H2e) se font très rares alors que pendant certains hivers plus cléments, des θ'_w supérieures à + 10°C ont été

mesurées dans des flux de nord-ouest autour de ce type d'anticyclone (H2a). Par ailleurs, les cyclones régénérés qui traversent l'Atlantique ont une trajectoire plus nordique et ne proviennent plus du Cap Hatteras mais de Terre-Neuve. Comme en témoigne ce tracé, la circulation est plus zonale et plus dynamique: plus de cyclones (P1) à nos latitudes (11 demi-journées contre 8) et beaucoup moins de longs développements frontaux (P2, P3, P4): (17 contre 31.5). Les trajectoires rectilignes de nord (O2) sont plus courtes et s'inscrivent rarement dans une circulation méridienne.

Les types de circulation qui amènent l'air le plus froid pendant les hivers rudes, sont les crêtes anticycloniques de nord-est (H3b) et de nord-ouest (H3c), la zone froide des centres locaux de haute (H1f) et de basse (P1f) pression, les trajectoires rectilignes de nord (O2), les anticyclones centrés sur la Finno-Scandinavie (H2c) et les dépressions méditerranéennes (P5).

En tenant compte de leur fréquence, ces sept types de circulation sont responsables de plus de 75 % des degrés-jours au-dessous de la moyenne (75.5 sur 99.4). En effectuant le même exercice pour les hivers doux, les secteurs chauds (P3), les circulations de sud au-devant des fronts (P4), les anticyclones nord-atlantique (H2a) et méditerranéens (H2e) ainsi que les flux du SW dans certaines crêtes anticycloniques (H3b') totalisent quelque 75% des degrés-jours au-dessus de la moyenne (60.4 sur 81.5) qui, comparés aux influences négatives, ont fait la douceur des sept hivers sélectionnés.

Chaque hiver exceptionnel possède sa propre individualité quant à la répartition de l'impact des différents types de circulation. Pendant l'hiver froid de 1987, par exemple, on a enregistré 7 demi-journées avec une $\theta'w$ relative de $+0.8^{\circ}\text{C}$ dans un flux de nord en association avec une haute pression sur les Îles Britanniques (H2b), clémence qui a été compensée par la recrudescence de certains apports d'air froid (d'autres H2b, H2d, O2 et P5) et par la plus grande sévérité d'autres apports (-6.7°C pour H1f). La plus grande variabilité s'observe dans les crêtes anticycloniques d'ouest (H3a) où dans un intervalle de quelques jours (janvier 1990), $\theta'w$ est passé de 1.7°C (sous l'effet d'une décharge d'air froid, O1) à 13.7°C (sous l'influence d'un large secteur chaud, P3) en passant par 4.1°C (terminaison de front froid, P2). La variabilité dans l'occurrence de ces différentes influences a donné une valeur relative de la moyenne de $\theta'w$ qui, pour les seules années froides, est passée de -1.3°C (1979) à $+2.8^{\circ}$ (1987).

Au cours des hivers froids ($T_w - \theta'w$) est en moyenne de 5.9°C , c'est-à-dire plus du double de celle des années plus clémentes. La comparaison selon les types de circulation livre des éléments d'interprétation d'un contraste aussi marqué.

Pendant les hivers doux ($T_w - \theta'w$) est de l'ordre de 2°C pour les circulations perturbées (P1f, P2', P5 et P6), valeur qui peut être imputée à la méthode (notamment, l'heure de mesure de T_w). Les valeurs un peu supérieures associées à certaines trajectoires de sud (P3 et P4) sont à attribuer à un refroidissement à la base. Pendant les hivers froids, l'homogénéité des écarts nettement plus grands entre T_w et $\theta'w$ résulte d'effets peut-être semblables. La couverture nuageuse élimine les forts refroidissements au sol, c'est donc l'advection d'air froid à la base qui a augmenté les gradients verticaux dans P1 et P2 et la vitesse des apports méridionaux dans le secteur chaud

P3 ou dans le jet de basses couches (P4). Les valeurs élevées de $T_w - \theta_w$ des marais barométriques (P6) et l'air contournant une dépression méditerranéenne serait dues pour le premier cas, à une exagération de l'effet observé dans les perturbations actives (P1, P2) et dans le second, à une exagération du refroidissement à la base par un long trajet vers le nord (effet qui était dissimulé pendant les hivers doux).

Quelle que soit la sévérité de l'hiver, les masses d'air océanique (H2a, H3a, O2 et dans une certaine mesure H2b) gardent un écart $T_w - \theta_w$ assez faible, lié à la progression vers le sud sur une surface relativement chaude. Les centres de haute pression augmentent au contraire cet état, dont la valeur est identique, pendant les hivers froids, quel que soit le secteur, chaud (H1ch) ou froid (H1f); la différence de $6,5^\circ\text{C}$ peut être tenue comme le produit d'un refroidissement à la base dans de l'air froid et donc assez sec. On observe des valeurs semblables dans les flux de nord des crêtes anticycloniques (H3b: $-6,4^\circ\text{C}$; H3c: $-6,2^\circ\text{C}$), valeur maintenue dans un voyage vers le sud mais sur une surface froide. Il en serait de même pour les anticyclones de la mer du Nord (H2b) et de la Finno-Scandinavie (H2c) si l'arrivée sporadique d'air assez chaud en altitude n'élevait pas la température à 850 hPa (θ_w de $-1,2^\circ\text{C}$ et de -3°C respectivement), augmentant ainsi le gradient habituel.

Enfin, certaines trajectoires de sud (H2e, H3b' et H3c') aboutissent à des gradients supérieurs à 6°C pour des raisons exposées plus haut.

Le bilan montre que, sur les 456 degrés-jours annuels qui différencient les hivers doux des hivers rudes de l'échantillon, 136 soit 30% proviennent de l'advection au sol et en altitude (à 850 hPa) et les 70% restants du refroidissement de la couche limite et de certaines incursions lamellaires d'air froid.

La plupart des types de circulation apportent leur contribution au renforcement des hivers rudes vis-à-vis des hivers doux (695 degrés-jours vis-à-vis de 240). Toutefois, parmi ceux-ci, il faut signaler les anticyclones septentrionaux H2b et H2c qui interviennent pour 182 degrés-jours (200 dans les hivers rudes, 20 dans les hivers doux), soit 40%, les anticyclones locaux (H1) (13%), les flux de nord dans les crêtes anticycloniques parallèles aux côtes de l'Europe et les perturbations centrées sur la Méditerranée (de l'ordre de 10% chacun).

Conclusion

La méthode présentée est une méthode rapide et par conséquent relativement grossière. Si pendant les hivers doux, la température au sol est nettement sous la dépendance des advections des masses d'air (mesurées à 850 hPa), il n'en est pas du tout de même pour les hivers rudes (Fig. 5). Cette première analyse met l'accent sur la nécessité, en ce qui concerne ces derniers, d'une analyse plus détaillée des mécanismes qui ont leur siège dans la couche-limite et ont un effet sur la température. Elle débouche sur une analyse plus fine qui exploitera les résultats des sondages atmosphériques, prochaine étape de nos recherches. Elle a montré par ailleurs que, en ce qui concerne les hivers rudes, la méthode d'approche de l'évaluation des θ_w à 850 hPa en se fondant sur les T_w au sol (Erpicum *et al.*, 1993) était totalement inadaptée.

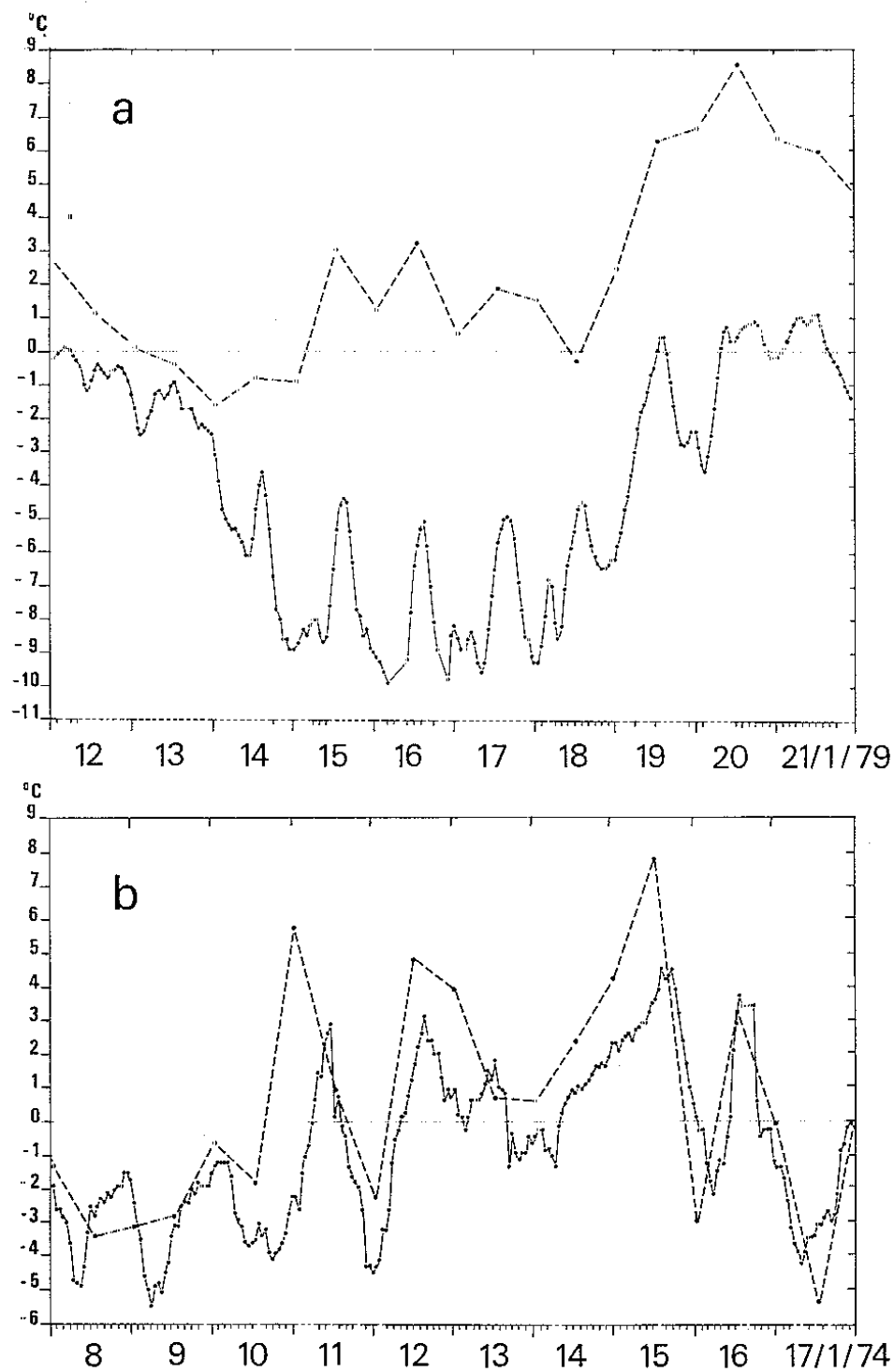


Figure 5: Evolution pour une période de 10 jours de θ_w à 850 hPa (Uccle, 0 h et 12 heures TU) et de T_w au sol (Bierset, valeurs horaires): a. 12-21 janvier 1979 (hiver rude); b. 8-17 janvier 1974 (hiver doux).

Bibliographie

- ALEXANDRE, J., ERPICUM, M. & VERNEMMEN, C., 1992: Le climat. In: J DENIS (Ed) *Géographie de la Belgique*. Bruxelles, pp. 88-128.
- ERPICUM, M., MABILLE, G. & ALEXANDRE, J., 1993: Advection des masses d'air et température de l'air près du sol. Recherche d'une méthode d'analyse. *Association internationale de Climatologie*, 6, 415-423
- HESS, P. & BREZOVSKY, V., 1969: *Katalog der Grossen Wetterlagen Europas*. Berichte der Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, 113, 52 p.
- PALMEN, E. & NEWTON, C.W., 1969: *Atmospheric circulation systems Their structure and physical interpretation*, Academic Press, New-York, 663 p