

Une inversion thermique exceptionnelle (17 au 24 novembre 1967)

par A. LAURANT

Dans une étude sur les inversions thermiques au Sart Tilman (Liège), nous avons signalé accidentellement le cas d'une inversion exceptionnelle en novembre 1967 (1). Les valeurs acquises à ce moment, à la fois par le gradient thermique et par la persistance méritent, on en jugera, d'être signalées. Rappelons que ces inversions sont mesurées par thermorésistances étagées de 25 en 25 m jusque 100 m sur la Tour du Bol d'Air. Celle-ci est située à proximité immédiate du domaine universitaire du Sart Tilman, c'est-à-dire à 260 m d'altitude sur un plateau dominant de 200 m la vallée de la Meuse.

L'inversion débute le 17 novembre à 20 h. (voir fig. 1). Le 18, la différence de température entre 100 m et le sol atteint 3° C à 4 heures et se maintient au-dessus de cette valeur jusque 15 heures. A partir de 19 heures, et ce pendant 14 heures, $\Delta T_{100\text{ m}-1,7\text{ m}}$ (2) dépasse 5° voire 10° à 4 heures le 19. Du 19 novembre à 10 heures jusqu'au 23 à 15 heures, l'inversion se maintient dans des valeurs plus modérées, avec toutefois un $\Delta T_{100\text{ m}-1,7\text{ m}}$ supérieur à 5° C pendant 9 heures.

A partir de 16 heures, le 23 novembre, jusqu'au 24 à 16 heures, $\Delta T_{100\text{ m}-1,7\text{ m}}$ atteint des valeurs considérables : l'inversion dépasse les possibilités de l'appareil. Pendant 11 heures, $\Delta T_{100\text{ m}-1,7\text{ m}}$ est supérieur à 10° C. Dans notre étude précédente (3), nous savons vu que dans un cas sur 1000 heures d'inversion, l'écart de température à 100 m pouvait peut-être atteindre la valeur de 16° C.

(1) Premiers résultats de l'étude des inversions thermiques au Sart Tilman (Liège) - Méthode d'analyse en vue des études de pollution atmosphérique, dans *Cahiers de Géographie de Québec*, n° 29, avril, 1970.

(2) Rappelons que « $\Delta T_{100\text{ m} - 1,7\text{ m}}$ » désigne la différence de température indiquée par les thermorésistances situées respectivement à 100 m et 1,7 m au-dessus du sol. Des sigles de ce type apparaîtront à plusieurs reprises dans la suite du texte. Ils représentent toujours la différence entre la température observée à la hauteur indiquée par le premier nombre de l'indice et la température observée à la hauteur indiquée par le second nombre. Il y a évidemment inversion thermique pour toute valeur positive de cette différence. Soulignons par ailleurs que nous n'avons pas tenu compte, ici, des conditions d'équilibre thermique dites « neutres », c'est-à-dire telles que : $-1 < \Delta T < 0$, où ΔT est exprimé en °C/100 m.

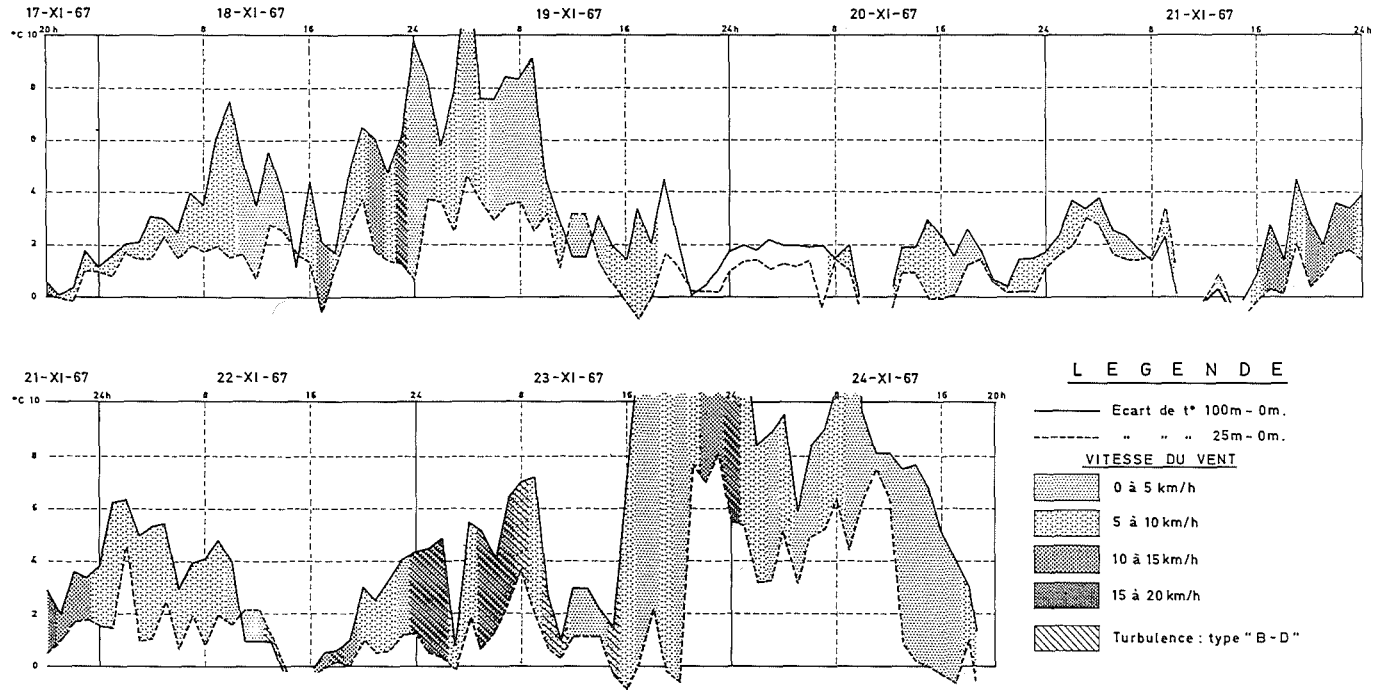


FIG. 1. — Gradient de température, vitesse et turbulence du vent au Sart Tilman (17 au 24 novembre 1967).

Simultanément, c'est encore pendant la nuit du 23 au 24 et la journée du 24 que les écarts de température entre 25 m et le sol atteignent des valeurs exceptionnelles : à 21 heures, $\Delta T_{25\text{ m}-1,7\text{ m}}$ atteint $7,7^\circ\text{C}$ et même $8,0^\circ\text{C}$ à 23 heures. Il retombe à $3,2^\circ\text{C}$ à 3 heures pour regagner jusqu'à $7,4^\circ\text{C}$ à 11 heures. L'écart entre 100 m et 25 m dépasse $10,6^\circ\text{C}$ le 23 à 20 heures.

Nous savons d'autre part (3) que plus les ΔT positifs sont élevés, plus longues sont les persistances. Nous devons donc nous attendre à trouver des persistances élevées pour cette période critique. Effectivement, celle-ci contient une persistance de 65 heures (un gradient adiabatique s'est

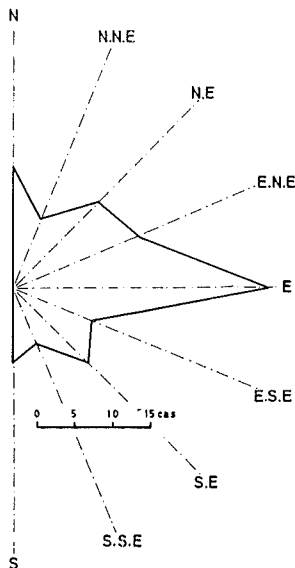


FIG. 2. — Rose des vents du 17.11.67 à 20 h. au 24.11.67 à 19 h.

rétabli à trois reprises au cours des 7 jours envisagés ici). Une telle persistance aurait, sur le plateau du Sart Tilman, la probabilité de se présenter une fois en vingt ans.

Types de temps. — Il est extrêmement intéressant d'examiner par quel type de temps s'est produite cette inversion exceptionnelle. Avant la période d'inversion, le 15 et le 16, la Belgique se trouve dans une vallée barométrique liée à une aire dépressionnaire située entre l'Ecosse et la

(3) *Op. cit.*

Norvège. Cette dépression se déplace vers l'est, nous laissant dans un col barométrique unissant des HP situées sur les Balkans et les Açores.

Le 17, premier jour de l'inversion, l'anticyclone des Açores se prolonge largement sur le sud des Iles britanniques jusqu'aux Carpathes. A partir de ce jour jusqu'au 24, la Belgique se trouvera au centre ou sur le flanc sud d'une puissante aire anticyclonique à faible relief barométrique, orientée sensiblement dans le secteur SE-ENE et atteignant jusque 1040 mbs. Le centre des HP se situe successivement sur les Balkans, l'Europe occidentale, la Pologne, l'Europe centrale, les Pays-Bas.

Le 24, pour la première fois depuis le début de cette période anticyclonique, la zone de HP s'oriente franchement vers le NE et s'étire jusqu'au nord de la Russie, déterminant sur nos régions des courants du SE. Le 25, enfin, nous entrons dans une vallée barométrique dont le centre de dépression est situé au NW de la Norvège. La période d'inversion cesse.

Les vents. — Ainsi, pendant sept jours entiers, nous n'avons cessé de recevoir des courants continentaux frais. Les vents, bien que de vitesse faible et de direction variable, ont constamment été orientés de N à S par E, dont près de 50 % dans le seul secteur ENE à ESE (fig. 2). A. Hufty (4) avait signalé que 86 % des fortes pollutions ($> 0,3$ mgr SO_2/m^3) étaient associées à des vents de N à S par E (anémographe du Sart Tilman). Une inversion aussi marquée que celle que nous avons vécue était évidem-

TABLEAU I. — Concentration en SO_2 en 10^{-6} gr/ m^3

Sites	Novembre 1967										
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
(A)				238	466	434	506	557	315	188	215
(B)	196	213	278	449	455	384	549	488	514	253	212

ment associée à une forte pollution : dans le tableau suivant, on lira la concentration en SO_2 en 10^{-6} gr/ m^3 aux dates déterminées et pour les sites respectifs de (A) Institut de Toxicologie et Hygiène, Bd. de la Constitution et (B) Caserne des Pompiers, quai de la Boverie, Liège.

Sur le plateau, les chiffres ne sont pas plus avantageux : à Montegnée, maison communale, maximum du mois le 20 avec $550 \cdot 10^{-6}$ gr SO_2/m^3 ;

(4) A. HUFTY, *Les climats locaux dans la région liégeoise. Régie des Voies Aériennes*, Bruxelles, 1966, 385 p., 80 figures, 80 tableaux, 1 carte h.t., p.341.

à Cointe : maximum le 21 avec 584.10^{-6} gr/m³ ; à Robermont : maximum les 21 et 22 novembre, avec respectivement 416 et 430.10^{-6} gr/m³ (5).

Pour références, signalons que la moyenne de concentration en SO₂ à l'hôpital de Bavière est de $139,9.10^{-6}$ gr/m³ et qu'on estime que le seuil de toxicité est atteint pour 300.10^{-6} gr/m³ ; une journée de prélèvement s'étend de 9 heures de la date déterminée jusqu'à 9 heures le lendemain.

Ainsi, sans partir des mêmes critères que A. Hufty, nous sommes cependant dans le même cas. Le même auteur observe que 56 % des fortes pollutions se produisent par temps anticyclonique et qu'au total 8 à 9/10^e des cas sont « en relation » avec une zone de forte pression (6). La relation HP-inversion-forte pollution est connue qualitativement depuis longtemps. A. Hufty la confirme en y ajoutant l'aspect quantitatif.

L'étude des vitesses du vent apporte toutefois un élément neuf. Il est reçu en effet que les inversions sont associées à des vents faibles. Dans le cas étudié, les faits ne sont pas aussi péremptores qu'on pouvait l'espérer. En effet, s'il est vrai que les vents inférieurs à 5 km/h et ceux compris entre 5,1 et 10 km/h de vitesse moyenne représentent respectivement 33,3 % et 50 % (7), il reste néanmoins 16,0 % de vents dont la vitesse moyenne est comprise entre 10,1 et 15 km/h voire 0,7 % de vents supérieurs à 15,5 km/h. Notons que les vitesses sont mesurées pendant les seules heures d'inversion. Les 16,7 % de vents dont la vitesse moyenne est supérieure à 10 km/h s'observent à des moments quelconques mais notamment pendant les heures où $\Delta T_{100\text{ m}-1,7\text{ m}}$ est supérieur à + 10° C. Le fait que des vitesses de vent non négligeables puissent faire bon ménage avec des inversions même élevées n'est pas neuf, bien que certains auteurs le perdent de vue. Dans un article sur les études de pollution atmosphérique du Broockhaven National Laboratory, Maynard E. Smith (8) signale que des vitesses de 3 à 8 m/s (10,8 à 28,8 km/h) s'observent pour des gradients de 10 à 15° C/400'.

S'il est vrai que les vitesses moyennes de vent peuvent paraître élevées, il est par contre évident que la turbulence est réduite au minimum.

(5) Chiffres aimablement communiqués par M. D. RONDIA, docteur en Pharmacie, Institut de Toxicologie et Hygiène, Liège.

(6) A. HUFTY, *ouvr. cité.*, p. 340.

(7) Les moyennes générales sont respectivement 5,- et 18,3 %. Cfr A. LAURANT, *Les vents au Sart Tilman et leur incidence sur la pollution atmosphérique*, dans *Cah. Géogr. Québec*, n° 25, 1968.

Les mouvements verticaux sont pratiquement nuls en raison de la grande stabilité thermique d'une inversion dont la base est au sol. Les échanges thermiques verticaux sont très faibles ou très lents : des inversions dont la base est située entre 25 et 50 m peuvent, pendant plusieurs heures (par exemple 8 heures), surplomber une couche d'air à gradient neutre ou même nettement adiabatique bien que la vitesse du vent dépasse 10 ou 15 km/h.

Pour mettre en évidence la faible turbulence horizontale nous avons tenu compte de l'étude de M.E. Smith (8) au Brookhaven National Laboratory (Etats-Unis). Cet auteur distingue quatre classes A, B, C et D de turbulence horizontale. La turbulence décroît de A vers D. Elle est successivement d'origine thermique (ou convective - type A), thermomécanique (B), mécanique (C), tandis que, pour le type D, elle est réduite à un minimum, la trace sur l'anémogramme figurant une variation angulaire horizontale, qui ne dépasse pas 15° en une heure et pouvant être considérée comme une ligne continue. En adoptant cette classification et en utilisant les enregistrements de l'anémographe du Sart Tilman situé à 20 m au-dessus du sol, nous constatons que, pendant la période d'inversion considérée, le type D occupe 90,3 % du temps. Pendant les 9,7 % restants, le dessin des anémogrammes représente un type intermédiaire entre B et D. Ce comportement intermédiaire B-D ne s'observe que pendant les heures où le vent est le plus rapide.

Ainsi, pendant au moins 90,3 % du temps de l'inversion, il n'est pas excessif de parler d'écoulement laminaire puisque turbulence verticale et turbulence horizontale sont réduites à un minimum sinon pratiquement nulles.

Extension areale de l'inversion. — Tout comme la Tour du Bol d'Air, le mât météorologique de Tihange (9) a enregistré l'inversion. Celle-ci a été maximale à 9 heures le 23 novembre, l'écart de température atteignant 11,3° C entre 48 et 100 m (10). Mais dans ce site de vallée, la couche en inversion surplombait une couche à gradient isothermique jusque 48 m.

Les radiosondages d'Uccle ne se prêtent guère à l'étude des inversions à basse altitude en raison de la faible précision sur les températures et

(8) M.E. SMITH, *The forecasting of micrometeorological variables*, dans *Meteorological monographs*, vol. 1, 1951, n° 4, pp. 50-55.

(9) Près de Huy, site de vallée; altitude 75 m, hauteur du mât : 200 m.

(10) Aimablement communiqué par Monsieur M. DUSONG.

sur les altitudes et du trop grand espacement vertical entre les points de mesure successifs. Il est cependant intéressant de constater que les gradients positifs les plus élevés observés sous 500 m se situent le 19 à 1 heure et du 23 à 1 heure au 24 à 13 heures, c'est-à-dire précisément aux dates où les gradients au Bol d'Air étaient les plus élevés.

A Mol, dès le 17, on observe une inversion relativement importante : 5,9° C entre 120 et 2 m à 5 heures TU. Le 18, elle atteint 7,5 et 6,8° C à 0 et 23 heures TU. Le 19 novembre, on enregistre le record des observations effectuées jusqu'à présent à Mol avec $\Delta T_{120-2\text{ m}} = 11,5^\circ\text{ C}$ à 0 heure TU. Le 21, on observe encore 6,4 et 4,8° C à 3 heures et 22 heures TU. Le 22 et le 23 novembre, ce ne sont que de petites inversions banales de 1 à 2° C (11).

Il est certain que l'extension territoriale de la zone où l'on pouvait observer un équilibre thermique stable ou très stable à basse altitude dépassait largement nos frontières. Le type de temps anticyclonique décrit plus haut, et qui pendant une semaine, s'est étendu de l'Atlantique à l'Europe centrale, le suggère. Il n'est cependant pas interdit de penser que certains reliefs et notamment l'Ardenne belge ont peu connu, ou du moins ont connu avec moins de vigueur, cette inversion thermique exceptionnelle. En effet, malgré les courants du secteur est observés pendant cette période, l'Ardenne a accusé des maximums diurnes parfois nettement plus élevés que dans le reste du pays : par exemple, 13,5° C à Libramont contre 4,3° C à Uccle, 2,0° C à Gand ou 0,2° C à Ypres le 23 novembre. Le même jour, à 7 heures TU, seuls les reliefs dévonien sont sous un ciel serein, alors que le reste du pays, y compris la Lorraine belge, est plongé dans le brouillard,

Conclusion. — L'inversion du 17 au 24 novembre 1967, dont nous sommes loin d'avoir épuisé tous les aspects, peut être considérée au Bol d'Air comme exceptionnelle au double point de vue de sa puissance et de sa persistance. Elle est née lors d'un type de temps favorable : une puissante zone anticyclonique qui, pendant une semaine, a régi le temps sur nos régions. Les courants frais continentaux, principalement du secteur Est, ont soufflé sur l'ensemble du pays avec des vitesses faibles et moyennes. Il était naturel que cette inversion soit observée aux différentes stations qui possèdent l'équipement nécessaire. Tihange et Mol notamment ont, tout comme le Bol d'Air, enregistré des valeurs d'inversion assez

(11) Chiffres aimablement communiqués par Monsieur BULTYNCK, Centre d'étude de l'énergie nucléaire, à Mol (Belgique).

exceptionnelles, bien que les périodes d'inversions n'aient pas été partout concomitantes et que les types de gradients thermiques, notamment dans les couches proches du sol, n'aient pas été entièrement comparables. Il est par ailleurs légitime de penser que les conditions favorables à des inversions puissantes étaient réunies dans une bonne partie de l'Europe occidentale et centrale, mais que certaines régions, tels les reliefs dévoniens belges, ont au moins échappé à la prolongation pendant les heures diurnes de l'équilibre thermique très stable que nous avons connu au Sart Tilman. Parallèlement à cette inversion exceptionnelle, les chiffres de pollution ont, conséquence logique, atteint des valeurs très nettement au-dessus de la moyenne.

Nous pensons qu'une étude synoptique des gradients verticaux de température à basse altitude par certains types de temps aboutirait à des résultats fructueux. Les pays voisins possèdent certainement tout comme la Belgique avec le Bol d'Air, Tihange, Mol, Doel au NW d'Anvers,... des mâts météorologiques permettant de conduire un tel travail à bonne fin.
