

Les phénomènes préfrontaux dans les Alpes

Autor(en): **Bouët, Max**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **60 (1937-1939)**

Heft 245

PDF erstellt am: **27.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-272755>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Les phénomènes préfrontaux dans les Alpes

PAR

Max BOUET

(Séance du 20 octobre 1937.)

Résumé. — Les enregistrements de température des stations de sommets des Alpes suisses permettent de mettre en évidence des refroidissements préfrontaux précédant le front froid de plusieurs heures. Le phénomène semble exceptionnel aux niveaux considérés. Les faits observés ne peuvent être mis d'accord avec l'existence d'une surface frontale unique; il y aurait plutôt glissement horizontal de couches d'air froid au-dessus de 1500 m. environ, sans relation nette avec le front froid au sol.

Les phénomènes préfrontaux ont fait l'objet depuis plusieurs années de nombreuses recherches qui ont déjà apporté quelques éclaircissements sur cet important problème de la météorologie dynamique. L'image du front froid telle que la concevait l'École norvégienne il y a une quinzaine d'années ne correspond plus exactement aux vues actuelles. En effet, on est à peu près d'accord aujourd'hui pour admettre qu'il existe fréquemment devant les fronts froids un domaine de « préparation » de la troposphère qui l'amènerait à un état d'instabilité dont le grain au sol avec son déploiement d'énergie ne serait qu'une des conséquences. Si donc on désire conserver le schéma commode de surface frontale, on peut dire que le problème des phénomènes préfrontaux est en somme celui de la forme dans l'espace de la surface frontale.

La notion de front froid, considéré pendant longtemps comme une surface plane ou de faible courbure séparant deux masses d'air de température différente, est basée sur les travaux théoriques de Margules qui cherchait à établir les conditions de stabilité d'un tel ensemble fluide. Cet auteur concluait que la surface frontale devait être disposée obliquement, inclinée du côté de l'air froid. Ce dernier affectait donc la forme d'un coin inséré sous la masse d'air relativement chaude. Cette théorie suppose qu'il n'existe aucune composante de la vitesse des masses normale à la surface.

Il était évident a priori que ce schéma, valable sans doute dans le cas de l'équilibre et applicable aux fronts quasi stationnaires, ne pouvait être adopté sans autre lorsque le front est en mouvement. Depuis les études expérimentales de W. Schmidt, on sait qu'au voisinage du sol, dans un espace compris entre celui-ci et 1 km. d'altitude environ, le front froid est le plus souvent vertical. On observe même parfois un certain surplomb de la masse frontale; H. Zierl (1, 2), A. Büdel (3, 4) et E. Eckhart (5) ont donné des exemples de ce dernier phénomène. Notre étude systématique des fronts en Suisse pendant l'Année polaire internationale 1932-33 (non encore publiée) nous a montré que dans les Alpes tout se passe comme si les fronts froids étaient quasi verticaux jusqu'à 3500 m. Mais on est encore mal renseigné sur le comportement de la surface frontale au delà de 1 ou 2 km., et les recherches aérologiques de ces dernières années semblent devoir démontrer que la définition physique du front froid devient de plus en plus malaisée à mesure que l'on s'élève davantage. En effet, elles ont mis en évidence ces refroidissements des couches supérieures, dits préfrontaux, parce qu'on les observe sur une verticale donnée bien avant l'arrivée de l'air froid au niveau du sol.

Sans prétendre épuiser la liste, nous citerons ici les travaux classiques de v. Ficker, puis ceux plus récents de W. Pepler (6, 7, 8), R. Reidat (9), E. Palmén (10), F.-A. Berson (11), G. Stüve et R. Mügge (12), J. van Mieghem (13), H. Sturm (14) et E. Dinies (15). Ce dernier auteur en particulier vient de donner un schéma nouveau du front froid: il renverse l'image classique du coin froid et donne à la surface frontale une inclinaison en avant, soit du côté de l'air chaud, pour tenir compte des résultats que lui fournit l'analyse aérologique statistique des noyaux de baisse et de hausse de pression. En outre, un fait fondamental préoccupe visiblement tous les auteurs cités, à savoir l'augmentation de la vitesse du vent avec l'altitude; ce fait d'expérience s'accorde en effet difficilement avec le schéma norvégien primitif du cyclone et met en discussion le problème de la conservation dans le temps des fronts froids mobiles.

Mais presque toutes les recherches effectuées jusqu'ici s'appuient sur les données de l'aérologie. Or les sondages ne fournissent que des images instantanées de l'atmosphère, à des intervalles de temps relativement longs, et ne permettent qu'exceptionnellement la restitution dans le temps des figures fron-

tales de la troposphère. Des études à l'aide de sondages très rapprochés, effectués à de brefs intervalles, comme celle de J. Bjerknes (16), sont dispendieuses et encore rares.

C'est pour cette raison qu'il nous a paru intéressant d'appliquer à l'étude des phénomènes préfrontaux les observations de montagne qui, elles, permettent plus facilement de suivre dans le temps et dans l'espace la progression des masses froides. Ce mode d'exploration souffre par contre du défaut d'extension dans la verticale limitée à quelque 3 km.; combiné avec des sondages aérologiques, il serait extrêmement riche en enseignements. Nous devons vivement regretter ici que l'on ne puisse pas disposer de sondages faits dans l'ouest de notre pays; la dynamique alpine ne pourra être faite sérieusement que le jour où cette grave lacune sera comblée et où des sondages réguliers seront effectués en Suisse romande. La station aérologique de Friedrichshafen est actuellement la seule qui puisse explorer l'atmosphère préalpine.

Nous avons donc recherché pendant l'Année polaire internationale 1932-33 les cas de refroidissements préfrontaux en Suisse. Nous n'avons bien entendu pas tenu compte des cas nombreux en hiver de passages frontaux observés en altitude seulement. Ces glissements d'air froid sur les couches basses inertes (inversion) ne rentrent pas dans la catégorie des phénomènes préfrontaux. Il n'est question ici que des cas où le front froid, net au sol, a été précédé d'un refroidissement en altitude.

Sur quelque 80 fronts froids étudiés durant cette année, nous n'en avons trouvé que 4, dont un douteux et d'analyse difficile, qui présentent un refroidissement préfrontal caractérisé. Nous donnons ci-dessous la description des 3 cas conservés qui, on le verra, ont chacun leur physionomie particulière.

Nous avons utilisé les enregistrements des stations suivantes : Genève (405 m.), Lausanne (553 m.), Neuchâtel (487 m.), Berne (572 m.), Bâle (318 m.), et Zurich (493 m.) pour la plaine ; Col du Marchairuz (Jura vaudois, 6° 15' E, 46° 33' N, 1450 m.), Rochers de Naye (1975 m.), Rigi (1787 m.), Saentis (2500 m.) et Jungfraujoeh (3454 m.) pour la montagne. Ces enregistrements sont d'inégale valeur et souffrent pour la plupart de l'imprécision de l'heure; ceux du Jungfraujoeh obtenus à la station provisoire installée pendant l'Année polaire par les soins de l'Institut physico-météorologique de Davos (17) sont entachés d'erreurs systématiques provenant de l'exposition

défavorable. Aussi avons-nous délibérément omis l'indication de valeurs absolues pour nous en tenir à celle des variations de température, seules intéressantes dans le cas présent.

27 août 1932.

Situation générale. Le 27 à 8 h., un couloir de basse pression s'étend du N au S sur l'Ouest de l'Europe; sur l'Atlantique et sur l'Est du continent la pression est un peu supérieure à 765 mm. Le gradient de pression est en général très faible: c'est le « marais barométrique » classique des situations orageuses d'été. La carte du 28 montre la formation d'un petit anticyclone sur les Iles britanniques et l'envahissement de l'Europe centrale par une masse d'air froid dont la limite orientale a déjà atteint la Pologne et l'Autriche. Le 28, un seul sondage a été effectué en Allemagne, à Lindenberg; il révèle un abaissement de température de 2° environ jusqu'à 2300 m., plafond du sondage, en 24 h. La topographie absolue de la surface de 700 mb, le 27, montre que le gradient de pression vers 3000 m. est orienté SE-NW; les isopotentielles de 800 mb ont une courbure anticyclonique prononcée dans la région alpine où le vent souffle par conséquent du secteur SE.

*Evolution du temps à Lausanne*¹. — Ci au début de la matinée, puis ciel clair. Dès le début de l'après-midi apparaissent de gros Cb qui vers 15 h. s'élèvent très haut et dont quelques-uns s'étalent en vastes panaches; vers 15 h. également, quelques Sc tirent de N à NNE vers 2000 m. Un premier orage venant du SW passe au SE de Lausanne à environ 10 km. (sur le Haut-Lac vers 15 h. 45), puis se dirige vers le NE. Pluie de 15 h. 55 à 16 h. 30. Vent de NE entre 16 h. 05 et 16 h. 15. Le ciel est alors couvert par de l'As. Deuxième orage: à 20 h. des Frcu très bas tirent de WSW; quelques éclairs; l'horizon W et SW est tout à fait bouché; pluie par courtes averses de 20 h. 15 à 21 h. A 22 h.: couvert, calme, quelques Frcu bas, quasi immobiles.

Passage en altitude. — Au JJ (les abréviations se comprennent d'elles-mêmes), la température baisse de 3° en 2 h. dès 14 h.; au Sa, chute brusque de température de 4,5° à 16 h. environ; le vent passe en même temps de SSW à E. Aux RN la température baisse lentement dès 13 h. environ. Au Ma, chute de température de 3° en 1 h. dès 15 h. 10. Le refroidissement en altitude coïncide donc avec l'établissement du courant d'E observé au Saentis et de NNE à Lausanne (à 2000 m.).

Passage au sol. — Il s'agit d'un front froid orageux se déplaçant du SSW au NNE à travers le Plateau entre 15 et 22 h. Les passages sont très nets (Δt : 4° à 6°) aux thermogrammes de Ge (15 h. 15), de La (16 h.), de Be (18 h. 30) et de Ba (20 h. 20) où les barogrammes marquent en même temps le début de la hausse de pression. A Zu ce passage est moins net; cependant aux environs de 21 h. se

¹ Notes de l'auteur.

marque le début de la hausse de pression, et le vent passe de NE, à W. Aux stations de montagne ce front est indiqué au JJ par un petit crochet du thermogramme à 17 h., au Sa par la saute de vent seule (SE à SSW vers 20 h. 30), au RN et au Ma par une chute de température à resp. 16 h. et 16 h. 20. Ce front n'est accompagné de précipitations importantes que dans la région du Léman, de Berne et dans les Alpes; ailleurs elles sont insignifiantes. En Savoie, dans le Canton de Genève et le long de la côte du Lac, entre Lausanne et Villeneuve, la pluie mêlée de grêle cause de gros dégâts aux cultures (Montreux 38 mm. d'eau).

Le phénomène préfrontal est donc représenté dans ce cas par un déferlement d'air froid par-dessus les Alpes, air vraisemblablement issu de l'anticyclone balkanique et venant donc de l'E ou du SE. Le lien avec le front principal apparaît très lâche; les deux courants froids ont une origine géographique toute différente.

17 mars 1933.

Situation générale. — Un centre d'action dépressionnaire se trouve à l'Ouest de l'Irlande, un centre secondaire sur le Nord de la Mer Baltique. La pression est élevée (plus de 765 mm.) sur le bassin méditerranéen et les Balkans. En Europe centrale le gradient de pression au sol, dirigé SE-NW, est de 2 à 3 mm.; les isobares en cette région ont une légère courbure anticyclonique, de sorte que le vent dominant est de S en France et de SW en Allemagne. Les pilotes allemands indiquent à 1000 et 2000 m. un vent de SW sur le bassin rhénan et au Sud du pays, de WSW à W au centre et au Nord; au début de l'après-midi, le vent à 2000 m. est partout de SW. La topographie absolue de la surface de 500 mb montre une légère rotation à gauche du gradient de pression par rapport au sol. En fin de journée, un front froid, orageux par endroits, traverse l'Allemagne et la Suisse de l'Ouest à l'Est; on le retrouve sur la carte du 18 à la frontière polonaise.

Evolution du temps à Lausanne. — Nuageux à très nuageux le matin par Ci, Cs et Ac de SW; le plafond nuageux s'épaissit lentement. Couvert dès le début de l'après-midi par As; venteux, pluie de 18 à 21 h. La journée du 18 est caractérisée par un ciel typique d'instabilité: éclaircies et averses, Ni et Cb, bourrasques de vent. En Suisse orientale, le 17, le fœhn règne jusqu'au soir.

Passage en altitude. — Au JJ la température tombe de 6° à 11 h. 15, puis reste à peu près constante par vent du S (fig. 1). Au Sa elle baisse lentement et d'une manière continue de 5° entre 13 h. 30 et 22 h. par vent du S. Aux RN le refroidissement est déjà beaucoup plus faible: la température baisse lentement de 2° entre 10 h. 30 et 19 h. Enfin au Ma le phénomène est plus douteux; on observe toutefois une baisse de 2° entre 16 h. 20 et 18 h. 20. En fait, seul le thermogramme du JJ présente une discontinuité incontestable. Il

s'est donc produit un refroidissement notable des couches d'air comprises entre 1500 et 3500 m., et sans doute au delà encore.

Passage au sol. — Il est extrêmement net à toutes les stations, tant par la chute instantanée de température atteignant 9° à Genève, que par la hausse de pression qui est par exemple de 5,5 mm. 3 h. à Genève et de 4,0 mm. en 2 h. 30 à Zurich. En montagne, seul le thermogramme du JJ ne présente pas de traces de ce front. Les heures de passage sont les suivantes: Ma 18.20, Ne 18.30, Ge 18.45 (orage), Ba et La 19.00, Be 19.30, RN 20.00, Zu 20.15 (SE/WNW), Sa 22.00 (SSW/WSW). Le front se déplace donc du NW au SE à

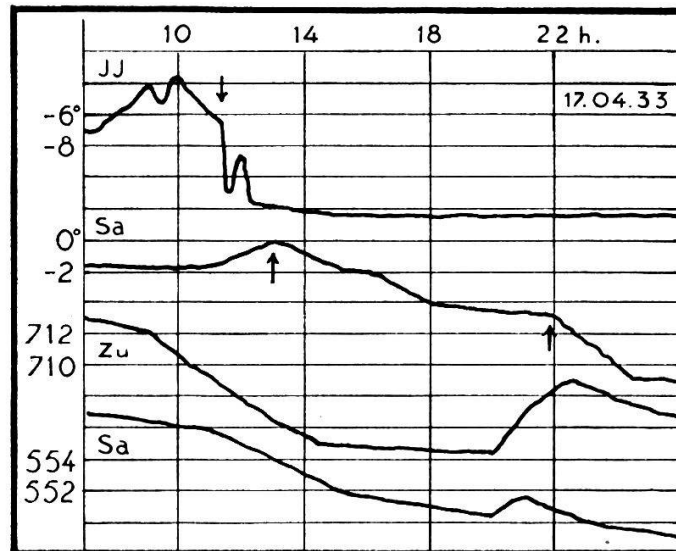


FIG. 1.

une vitesse d'environ 25 km./h. en Suisse romande, et de 50 km./h. entre Bâle et Zurich. De bas en haut, ce front marque son passage par l'allure suivante du thermogramme: stations de plaine, chute instantanée de 5° à 9°; Ma, chute instantanée de 4° suivie d'une baisse lente de 2°; RN, baisse de 5° en 11/2 h.; Sa, baisse lente de 4° de 22 à 24 h. 30; JJ, néant.

Il est intéressant de faire remarquer le palier du barogramme des stations de plaine; il est particulièrement net à Zurich (fig. 1) où la pression baisse fortement depuis 23 h. 30 le 16 (718,5 mm.) jusqu'à 14 h. 30 le 17 (705 mm.); de 14 h. 30 à 20 h., elle ne baisse que de 0,5 mm. et reste donc quasi constante; de 20 h. à 22 h. 30, elle s'élève de 4 mm. comme nous l'avons dit plus haut. On voit que ce palier de pression commence une heure après le début du refroidissement préfrontal au Saentis. Comme la pression au Saentis baisse de 5,8 mm. de 13 h. 30 à 21 h., le palier de Zurich atteste bien la réalité du refroidissement des couches moyennes de l'atmosphère au delà

de 1500 m. A Genève, le même palier se retrouve, mais plus court : de 16 à 18 h. 45, la pression est restée pratiquement constante. Le barogramme de Neuchâtel est semblable au précédent; celui de Bâle, par contre, ne présente qu'une atténuation de la baisse à partir de 15 h. environ.

14 août 1933.

Situation générale. — Les jours précédents une masse d'air froid avait envahi lentement l'Europe centrale du Nord au Sud; le front quasi stationnaire qui la limitait au Sud apparaît dès le 10 (peut-être le 9 déjà) sur le Nord de la France et de l'Allemagne. Le 12, il suit à peu près le 50° parallèle N en Allemagne, passe au S de Paris et de Lorient. Le 13 à 8 h., l'air froid a atteint le bord des Alpes; le front doit se trouver en ce moment en Suisse romande où le ciel est clair, mais où quelques fragments de St assez bas indiquent la présence d'air froid en couche mince. Ce jour-là, un anticyclone centré sur le Nord-Ouest de l'Allemagne marque la vaste région du continent que l'air froid a recouvert. La comparaison des sondages de Darmstadt et de Munich des 12 et 13 met en évidence un refroidissement général du sol à 3500 m., atteignant jusqu'à 16° vers 1200 m. ! Le 14 à 8 h., l'anticyclone a disparu; le gradient en Europe centrale est très faible; le front collé aux Alpes se retrouve en France qu'il traverse de Genève à Cherbourg; une petite perturbation se dessine sur la Normandie. Le 15 enfin, la pression a baissé au Nord-Ouest de l'Europe; de l'air froid, d'origine maritime cette fois, a pénétré sur le continent, et son front traverse à 8 h. l'Allemagne de Hambourg à la Basse-Bavière. C'est du passage de ce dernier front en Suisse qu'il s'agit ici.

Evolution du temps à Lausanne. — Vers 7 h. 30 environ, le 14, le ciel se couvre de St bas de NE tout d'abord, puis de SW (balancement de la couche mince d'air froid arrivé la veille). Puis le plafond s'élève, se transforme insensiblement et passe à l'As de SW. A 9 h. 30 le ciel est à moitié couvert par As à faciès mammato; pluie faible de 9.45 à 10 h. 15. Dès 11 h. le ciel s'éclaircit au Sud-Ouest: Ci, Ac de SW, quelques Cb sur le Jura. Assez beau l'après-midi: puissants Cb avec panaches sur le Jura et les Alpes. A 18 h. l'horizon Sud-Ouest présente un ciel annonciateur de grain: énormes Cb devant un vaste velum d'As fibreux (Cist?). A 19 h., couvert, plafond bas, Frcu de SW. Un orage préfrontal (sans rapport avec le phénomène préfrontal étudié ici) suit le Jura: tonnerre lointain de 19 h. 03 à 19 h. 30, petite pluie de 19 h. 25 à 19 h. 35. Puis au Sud-Ouest le bourrelet de grain s'approche, typique, orienté SE-NW, entre les Alpes et le Jura. Première bourrasque (SW) à 19 h. 47, au moment où le bord antérieur du bourrelet passe au zénith; pluie (forte, puis décroissante) de 19 h. 53 à 22 h. avec orage (au zénith vers 20 h.). Pluie dans la nuit.

Passage en altitude. — Un glissement d'air froid au-dessus du niveau de 1000 m. se manifeste en Suisse entre 9 et 19 h. Cette

advection procède en gros de l'Ouest à l'Est comme l'indiquent les heures de passage suivantes (fig. 2). Au Ma la température baisse dès 8 h. 45 de 3°, puis remonte peu à peu dès 10 h. par suite de l'éclaircie qui se produit (v. plus haut). Aux RN la baisse, dès 9 h. environ, est plus forte et atteint 6°; là aussi la variation diurne se fait sentir au cours de la journée par une hausse de même valeur. L'air froid atteint le JJ à 15 h. environ et provoque une baisse de 5°. Au Sa enfin, la chute de température débute à 18 h. et atteint 6° par vent de WSW; la baisse est ici définitive vu l'heure tardive; un orage accompagne ce passage. A ces quatre stations de montagne,

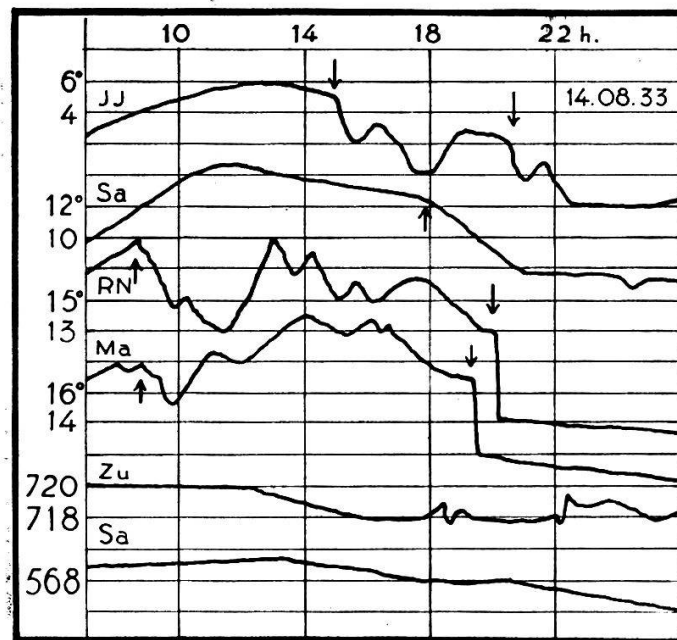


FIG. 2.

la baisse de température est lente, d'une durée de 1 à 3 h. En plaine aucun accident du thermogramme ne révèle un front quelconque en rapport avec ce glissement d'air froid en altitude qui vraisemblablement n'a pas pénétré au-dessous de 1000 m. environ. Par contre, le barogramme de Zurich (fig. 2) présente un palier dès 17 h. et un crochet vers 18 h. 30; on a observé en ce lieu deux averses à 17 h. 45 et 18 h. 30. La pluie tombée à Lausanne le matin (voir plus haut) est en relation avec le phénomène préfrontal selon toute apparence. D'autre part, les orages observés en Suisse centrale vers 16-17 h. et ceux du Haut-Valais et du Tessin entre 15 et 19 h. (voir *Annalen der Schweiz. meteorol. Zentralanstalt*, 1933, Anhang 3) coïncident avec l'invasion froide d'une manière frappante (pseudolabilité des couches supérieures).

Passage au sol. — Il s'agit d'un front ayant affecté, en Suisse romande au moins, la forme d'un grain orageux typique. Ce front a traversé la Suisse du Sud-Ouest au Nord-Est à une vitesse

de 80 km./h. entre Lausanne et Berne, plus faible en Suisse orientale (au plus 50 km./h.), ainsi qu'il ressort de la carte d'isochrones frontales. Il semble avoir assez rapidement franchi le faite alpin (orage à Lugano à 23 h.). Les heures de passage sont les suivantes: Ge 19.00, Ma 19.20, La 19.50, RN 20.00, JJ 20.30 env., Be 20.40, Ri 21.30, Ba 21.30 env., Zu 22.10. Les stations de Suisse romande présentent toutes des discontinuités très nettes de température (chutes de 4° à 6°) et une forte hausse de pression postfrontale (plus de 3 mm. en 1 h. à Ge et à Ne); à Zurich le barogramme marque le passage par un crochet de 1,8 mm., et le thermogramme accuse une hausse momentanée de 2° environ, fait qui s'explique par la présence en ce lieu d'une couche mince d'air froid au sol, résidu de celui qui était arrivé le 13. A Bâle il n'y a pas de discontinuité de température, mais une hausse de pression de 3 mm. en 2 h. Au Saentis, ce front n'a pas laissé de traces sur les enregistrements, si ce n'est peut-être un léger affaissement de la courbe de température vers 24 h. Enfin la plupart des stations mentionnées signalent des orages correspondant à ce passage.

En résumé, il y a eu le 14 août un grain orageux bien caractérisé, précédé d'un refroidissement des couches troposphériques supérieures. Le délai séparant les deux phénomènes est de 10 h. environ en Suisse romande, et de 7 h. environ en Suisse orientale. Le premier refroidissement a eu pour effet de labiliser les couches supérieures, ceci tout particulièrement sur le versant Sud des Alpes où des orages ont été déclanchés. Entre le 14 et le 15, les sondages allemands de Friedrichshafen et de Darmstadt révèlent un refroidissement de 5° à 8° au-dessus de 1000 m., et un réchauffement de 4° au-dessous qui s'explique par la disparition de la forte inversion de température observée le 14 au matin. Les autres sondages (Berlin, Hamburg, Königsberg) n'ont traversé que de l'air préfrontal relativement chaud, sauf peut-être celui de Berlin du 15 qui à partir de 4000 m. environ indique une température très voisine de celle de Darmstadt au même niveau; il se peut que l'on retrouve ici le courant préfrontal froid signalé en Suisse le 14.

Conclusion. — Les phénomènes préfrontaux décrits dans les trois cas ci-dessus ne peuvent être réunis dans un schéma unique. Il est même difficile de conclure avec certitude à partir de ce matériel encore insuffisant. Un fait cependant s'impose: les refroidissements préfrontaux entre 1000 et 3500 m. dans les Alpes ont été observés.

Le 27 août 1932, où le refroidissement est particulièrement frappant au Saentis, l'air froid préfrontal vient du secteur SE alors que le front principal au sol progresse du SSW au NNE.

Il semble que l'on ait affaire au déplacement de deux masses d'air distinctes, déplacement expliqué par l'allure différente des champs de pression au sol et à 3000 m. Ce cas est à rapprocher probablement de celui auquel Peppler fait allusion dans son étude sur les vents du Sud dans les Alpes (18).

Le cas du 17 mars 1933 ressemble au précédent par l'origine de l'air préfrontal; le refroidissement semble augmenter avec l'altitude; il se produit par vent du Sud, alors que le grain principal arrive du Nord-Ouest. Là aussi le lien entre le front proprement dit et l'air froid préfrontal est assez lâche en apparence. Le domaine alpin en Suisse est un peu trop exigü pour l'étude détaillée du phénomène. Il est à noter que le refroidissement préfrontal n'amène pas de précipitations.

Le 14 août 1933 enfin est sans doute le cas le plus typique. En effet, le courant froid préfrontal progresse de l'Ouest à l'Est, direction voisine de celle de l'air froid du front principal; ce dernier traverse la Suisse, nous l'avons dit, du Sud-Ouest au Nord-Est. Le pilote de Zurich de 7 h. indique une augmentation de la vitesse du vent avec l'altitude; celle-ci passe de 10 km./h. à 1000 m. à 35 km./h. à 2000 m., puis décroît quelque peu jusqu'à 6000 m. Le pilote de 16 h. 30 accuse la même tendance. La labilisation des couches supérieures est bien décelée par les orages que déclanche l'invasion préfrontale dans les Alpes et sur leur versant Sud.

Le phénomène observé le 14 août 1933 paraît difficilement explicable par les théories des météorologistes allemands cités plus haut. Il est bien préfrontal, mais ne semble pas relever de la même surface frontale dont le passage a été observé plus tard au sol. L'allure ordonnée de l'invasion préfrontale, le délai relativement grand séparant les deux passages, font qu'il ne saurait s'agir d'une digitation de l'air froid au sens de Peppler (7). Le renversement du front froid selon le schéma de Dinies (15) ne convient pas davantage, puisqu'on ne devrait observer dans ce cas qu'un seul passage sur les sommets. Or en réalité le grain principal est bien marqué à 2000 m. (RN) et même au Jungfraujoeh; il est vrai qu'au Saentis on a quelque peine à le retrouver. Mais surtout le délai de 7 à 10 h. séparant les deux phénomènes est trop grand pour qu'on puisse les rattacher l'un et l'autre à une seule et même surface frontale, quelle que soit son inclinaison vers l'avant. L'évolution du temps — passage nuageux accompagnant le refroidissement préfrontal, éclaircie avec Cb, puis deuxième système nuageux de grain — est également difficilement conciliable avec ce mode de représentation.

Il est plus simple, pensons-nous, d'admettre le glissement par couches horizontales de l'air froid entraîné à une vitesse croissant avec l'altitude. Stüve et Mügge (12) ont insisté sur les conséquences de cette variation de la vitesse avec la hauteur; ils ont montré comment le redressement des surfaces isentropes tend à créer une troposphère instable par augmentation du gradient vertical de température. Mais dans quelle mesure le grain principal au sol est-il l'expression d'une chute de masses froides issues de cette atmosphère devenue instable, c'est ce que notre matériel ne permet pas de dire.

Il se dégage en somme de cette étude que les phénomènes préfrontaux observables jusqu'à 3500 m. dans les Alpes sont d'allure complexe et de plus exceptionnels. Aussi bien les recherches aérologiques les ont-elles placés en général plus haut. Nous croyons cependant que les observations de montagnes sont susceptibles d'apporter quelques précisions sur ce problème dont l'importance dans la synoptique est considérable.

Lausanne, le 29 novembre 1937.

BIBLIOGRAPHIE

1. H. ZIERL. — Grosse Temperaturschwankungen i. bayerischen Alpenvorland. *Deutsch. Met. Jahrb. Bayern* f. 1929.
2. — Die Ausbreitung der Warmluft a. 19 nov. 1930 usw. *Ibid.* für 1930.
3. A. BÜDEL. — Die Zugspitzbahn-Versuche. *Ibid.* für 1929.
4. — Aerologische Zugspitzbahnaufstiege. *Beitr. z. Phys. d. fr. Atm.*, 16, 1930.
5. E. ECKHART. — Zur Struktur des grossen Kälteeinbruches Ende November 1930. *Gerlands Beitr. z. Geoph.*, 38, 1933. Voir aussi *ibid.*, 40, 1933.
6. W. PEPLER. — Der Zusammenhang starker Temperatur- u. Druckänderungen usw. *Beitr. z. Phys. d. fr. Atm.*, 16, 1930.
7. — Ueber starke Vertikalböen i. der fr. Atmosphäre. *Ibid.*, 16, 1930.
8. — Kaltluftvorstösse i. der fr. Atmosphäre. *Das Wetter*, 48, 1931.
9. R. REIDAT. — Gewitterbildung durch Kaltlufteinbruch in der Höhe. *Beitr. z. Phys. d. fr. Atm.*, 16, 1930.
10. E. PALMÉN. — Synoptisch-aerologische Untersuchungen eines Kälteeinbruches. *Gerlands Beitr. z. Geoph.*, Köppen Bd. I, 1931.

11. F.-A. BERSON. — Kaltfronten u. präfrontale Vorgänge über Lindenberg i. der unteren Troposphäre. *Met. Zeit.*, 51, 1934.
 12. G. STÜVE u. R. MÜGGE. — Energetik des Wetters. *Beitr. z. Phys. d. Atm.*, 22, 1935.
 13. J. VAN MIEGHEM. — Analyse aérologique d'un front froid remarquable. *Mém. de l'Inst. Roy. météor. de Belgique*, 7, 1937.
 14. H. STURM. — Kaltluftzirkulation auf der Rückseite einer Zyklone. *Ann. der Hydr. u. marit. Meteorol.*, 65, 1937.
 15. E. DINIES. — Der Aufbau von Steig- und Fallgebieten. *Wiss. Abhandl., Reichsamt f. Wetterdienst*, 3, 1937.
 16. J. BJERKNES. — Exploration de quelques perturbations à l'aide de sondages rapprochés dans le temps. *Geof. Publikasjoner*, 9, 1912.
 17. W. MÖRIKOFER. — Meteorologische u. Strahlungsuntersuchungen während d. Polarjahres auf d. Jungfraujoeh. *Verhandl. d. Schweiz. Naturforsch. Gesell., Zürich*, 1934.
 18. W. PEPLER. — Über die südlichen Luftströmungen auf d. Säntis u. i. der fr. Atmosphäre. *Beitr. z. Phys. d. fr. Atm.*, 22, 1935.
-