

EXTRAIT DE LA METEOROLOGIE DU NAVIGANT
(Les courants Jets)

par A. VIAUT

Préface par V. MARC.

Le rédacteur de votre revue trouve la tâche facile, car il vient de découvrir une pépinière d'articles dans les deux volumes qui viennent de sortir chez BLONDEL la ROUGERY.

- l'un, la METEOROLOGIE DU NAVIGANT par A. VIAUT;
- l'autre, le MANUEL DE METEOROLOGIE du Vol à Voile par J. BESSEMOULIN et A. VIAUT.

Je ne peux que conseiller, à nos amis, ces deux volumes mis à jour en 1956 et, pour reprendre les termes de la préface du Général L.M. CHASSIN.

.....
"La place de la Météorologie dans l'Aviation est devenue, au fil des années, de plus en plus considérable.

Certains ont pu penser, naguère, qu'avec les progrès mécaniques incessants dont ils étaient l'objet, les aéronefs pourraient se jouer impunément des météores les plus dangereux. La vitesse augmentant, foin de la dérive! Avec les moyens de V.S.V., qu'importaient les systèmes nuageux! On s'est vite aperçu de cette erreur grave. Actuellement, un avion marchant à 600 à l'heure et rencontrant un courant-jet de 300 km/h, ne se trouve-t-il pas dans la situation même où se trouvait jadis un Potez 25 abordant un mistral de 80 km/h? De même, certaines situations météorologiques restent tout aussi dangereuses que jadis, et il faut les éviter à tout prix. Que sera-ce demain d'ailleurs, lorsque les aéronefs, quittant les "basses" altitudes de la Troposphère, évolueront régulièrement dans la Stratosphère au-dessus de 11.000 m. Dans ce domaine, encore mal connu, les équipages devront tenir plus que jamais compte des conseils des météorologistes, devant lesquels s'ouvre un domaine de recherches extrêmement vaste et ardu, qu'il faut défricher dès que possible. Qui sait même si, un jour, les vaisseaux de l'air ne vont pas être amenés à suivre de véritables "voies aériennes", ces voies jadis pressenties par le génial précurseur que fut Clément ADER?"

.....
Je vous propose donc, aujourd'hui, l'extrait concernant les courants JETS.

" Courants-Jets "

A. VIAUT

On peut résumer les variations de la vitesse du vent en altitude de la manière suivante :

a) Si les gradients horizontaux de pression et de température ont même direction lorsqu'on s'élève, la vitesse du vent croît avec l'altitude;

b) Si les gradients horizontaux de pression et de température ont des signes contraires lorsqu'on s'élève, la vitesse du vent décroît avec l'altitude.

Il arrive assez souvent que ces deux conditions soient réalisées successivement : la condition (a) étant réalisée entre le sol et une certaine altitude Z, la condition (b) étant réalisée au-dessus; il en résulte que la vitesse du vent passe par un maximum à l'altitude Z.

S'il se trouve qu'aux abords de cette altitude le gradient horizontal de température ait des valeurs élevées de part et d'autre de la zone où il s'annule pour changer de signe, il en résulte un maximum très accusé de la vitesse du vent : on dit que l'on est en présence d'un "jet", sorte de tube dans lequel l'air est animé de très grandes vitesses.

Ces grandes vitesses ont retenu depuis fort longtemps l'attention des météorologistes sans que les moyens de mesure dont ils disposaient leur aient permis de saisir le phénomène dans toute son ampleur : Teisserenc de Bort relevait vers 1900 des vitesses de l'ordre de 180 km/h (vers 15.000 m), Störmer mettait en évidence en 1928 des vitesses de l'ordre de 250 km/h à l'aide de mesures faites sur les "nuages irisés", estimés par triangulation à 25.000 m. Mironovitch et l'auteur laissaient pressentir, dès 1938, toute l'importance du phénomène dans un article paru dans l'Aéronautique.

1° - Mise en évidence des courants-jets. C'est le développement récent des moyens de mesure du vent en altitude et l'analyse synoptique des cartes des surfaces isobares (1) qui ont permis de constater que les vents forts tendaient à se localiser dans des bandes assez étroites mais assez longues, réparties d'une manière plus ou moins continue et régulière autour d'un hémisphère et que l'on a appelées courants-jets (Jet-stream en anglais).

(1) En admettant l'hypothèse géostrophique, la vitesse du vent est inversement proportionnelle à l'écartement des lignes de niveau de la surface isobare.

Les positions moyennes de ces courants sont données sur les figures 1 et 2; elles coïncident avec la limite méridionale moyenne de l'air polaire.

Cependant, la position et la configuration du courant-jet moyen données par ces cartes sont évidemment, dans bien des cas, assez éloignées des positions et configurations des "jets" mis en évidence dans les situations réelles.

Deux exemples de cas réels sont donnés sur la figure 3.

Sur la planche I (niveau 500 mb), on trouve un courant-jet de l'Amérique du Nord au centre de l'Atlantique, position assez voisine du courant-jet moyen, mais ce courant vire brusquement au milieu de l'Atlantique en direction du détroit de Danemark; par ailleurs, un "jet" subtropical occupe, sur le Nord de l'Afrique, une position voisine du courant-jet moyen. Enfin, une autre zone étroite de vents violents (160 km/h) existe de la mer de Norvège à la France que l'on qualifiera également de "jet" pour des raisons qui seront explicitées plus loin. La planche II montre, pour la même date, l'accroissement de la vitesse du vent observée en s'élevant à un niveau supérieur, 300 mb (cet accroissement est de l'ordre de 40 à 50% dans l'axe des "jets" par rapport au niveau 500 mb).

Cet exemple montre que si le courant-jet moyen se présente comme une ceinture, plus ou moins continue de vents forts, on rencontre dans une situation donnée, plusieurs "jets" d'orientation à peu près quelconque (les orientations Est-Ouest sont rares à nos latitudes mais existent) avec des variations importantes en latitude et des interruptions sur de vastes zones (sur l'Est de l'Atlantique dans l'exemple considéré).

2°- Structure d'un courant-jet. Un moyen de mettre partiellement en évidence la structure d'un courant-jet est de dresser des cartes sur lesquelles sont dessinées, pour un niveau donné, les lignes d'égale vitesse du vent (cartes d'isotachs). On constate alors que le long du courant existent des zones, plus ou moins étendues et espacées, dans lesquelles les vitesses sont plus grandes qu'ailleurs dans le courant. On obtient des schémas analogues à celui représenté sur la figure 4 qui mettent en évidence une certaine hétérogénéité des courants considérés à un niveau constant.

L'axe du courant, lieu des points de plus grande vitesse, indiqué sur la figure 4 peut se présenter comme une ligne plus ou moins sinueuse, comme une ligne quasi brisée comme indiqué sur la figure 5 (a) ou devenir multiple comme dans la figure 5 (b).

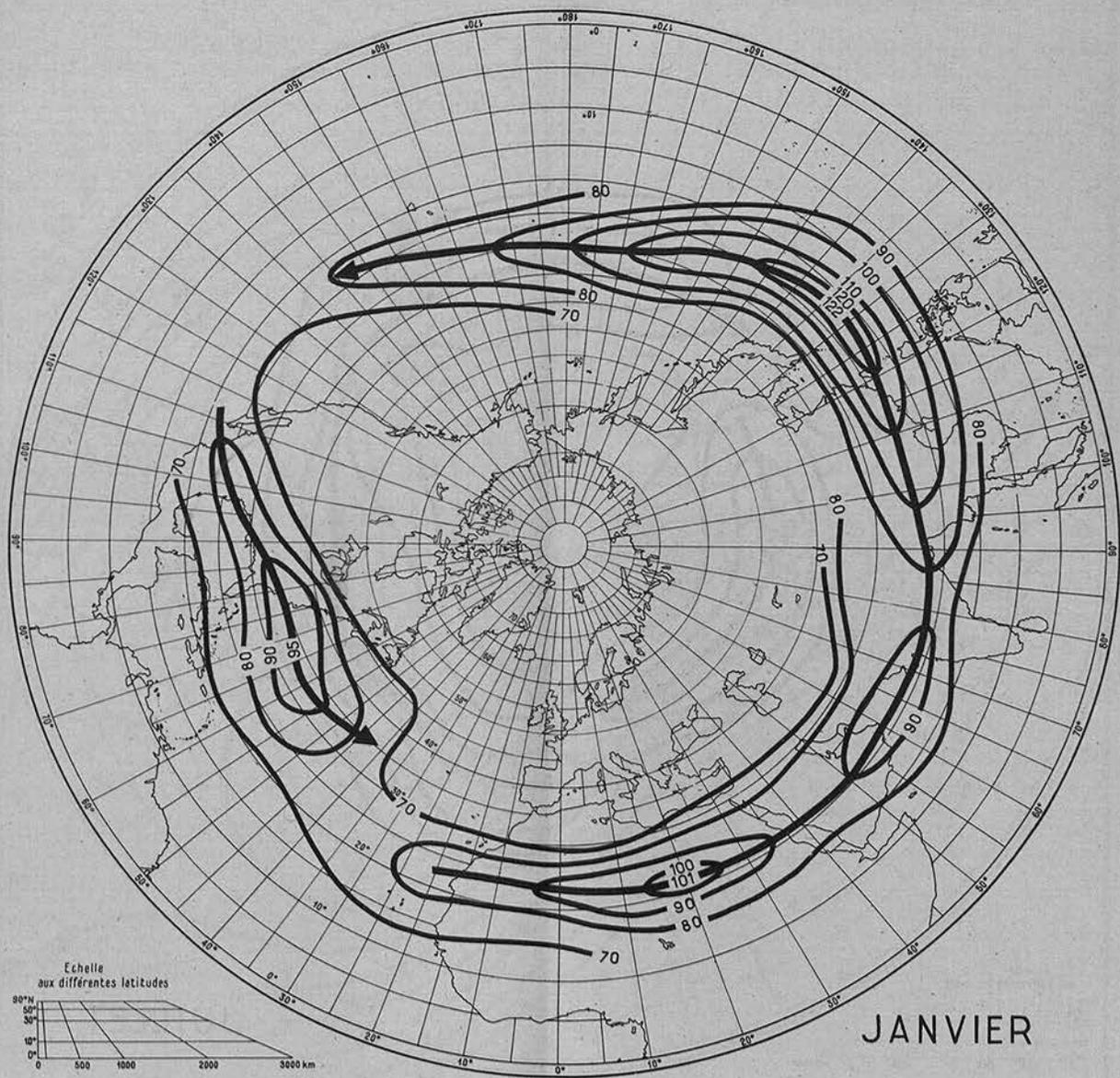


Fig. 1 — Position moyenne et force moyenne du Jet-stream (en m. p. h.), d'après Namias et Chapp.

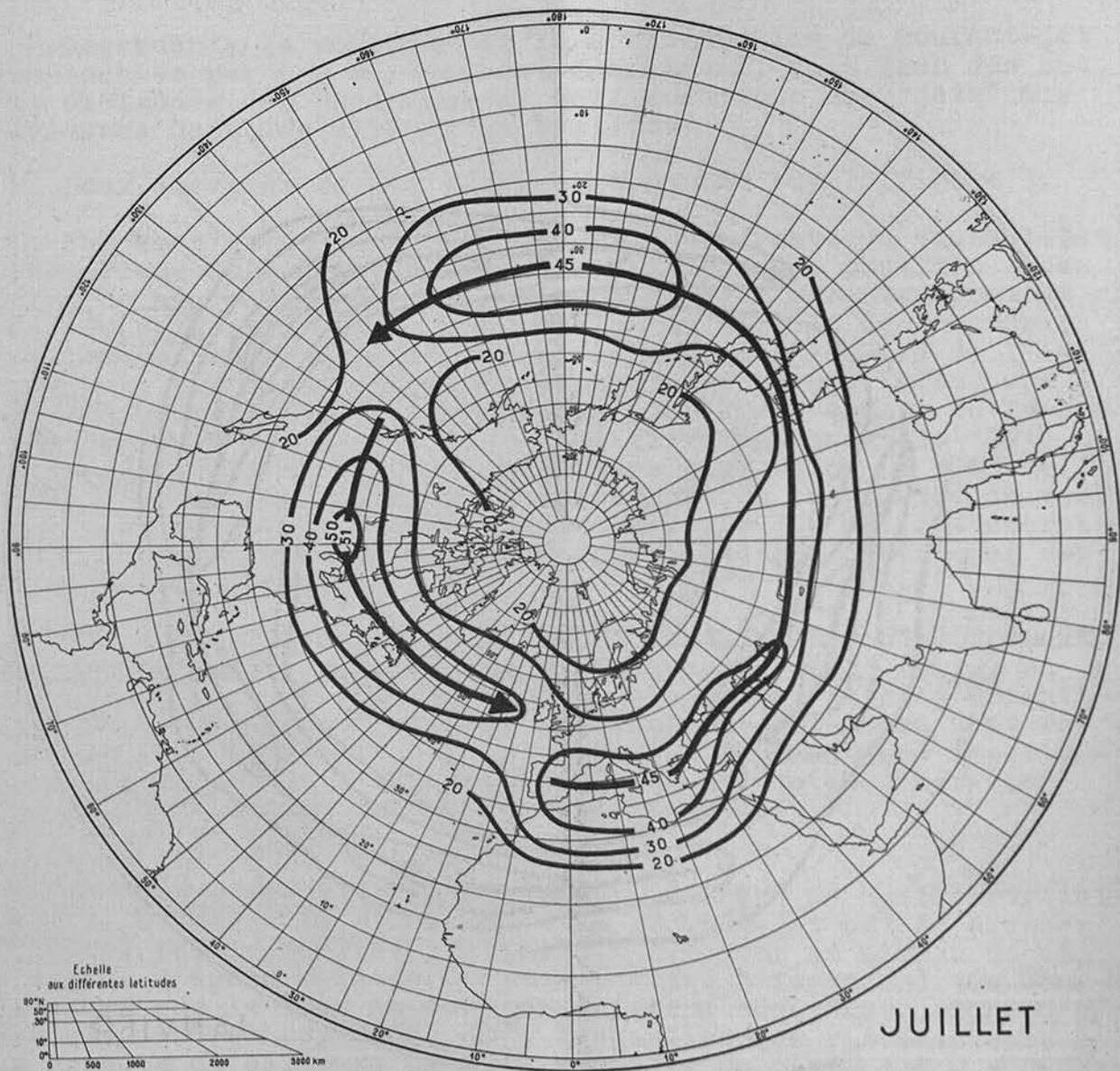


Fig. 2 — Position moyenne et force moyenne du Jet-stream (en m. p. h.), d'après Namias et Chapp.

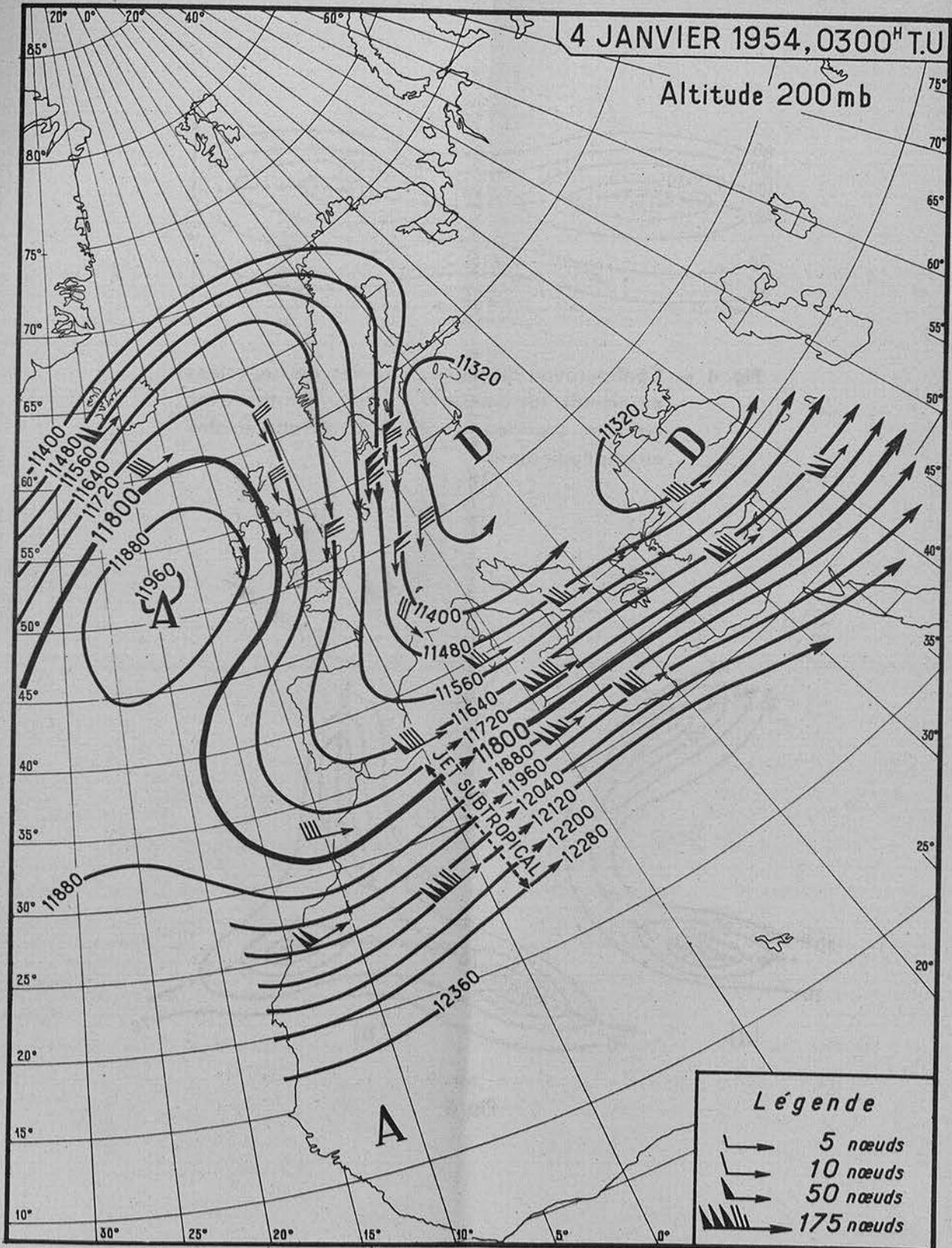


Fig. 3

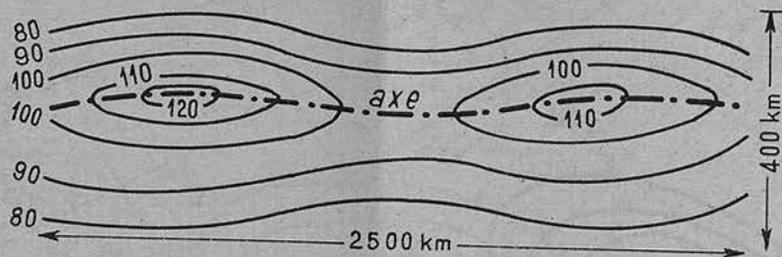


Fig. 4 — Configuration des lignes d'égales vitesse, cotées en nœuds, sur une carte à niveau constant avec ordre de grandeur de dimensions transversales et longitudinales.

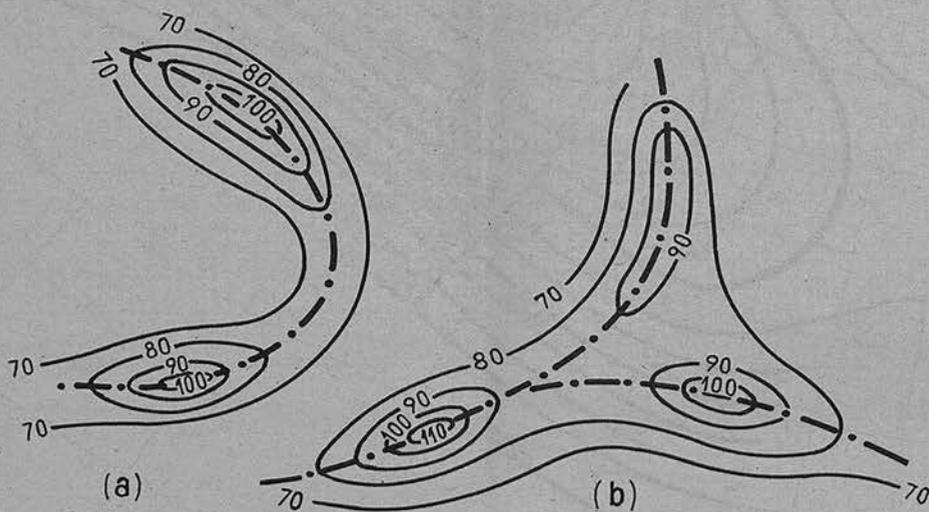
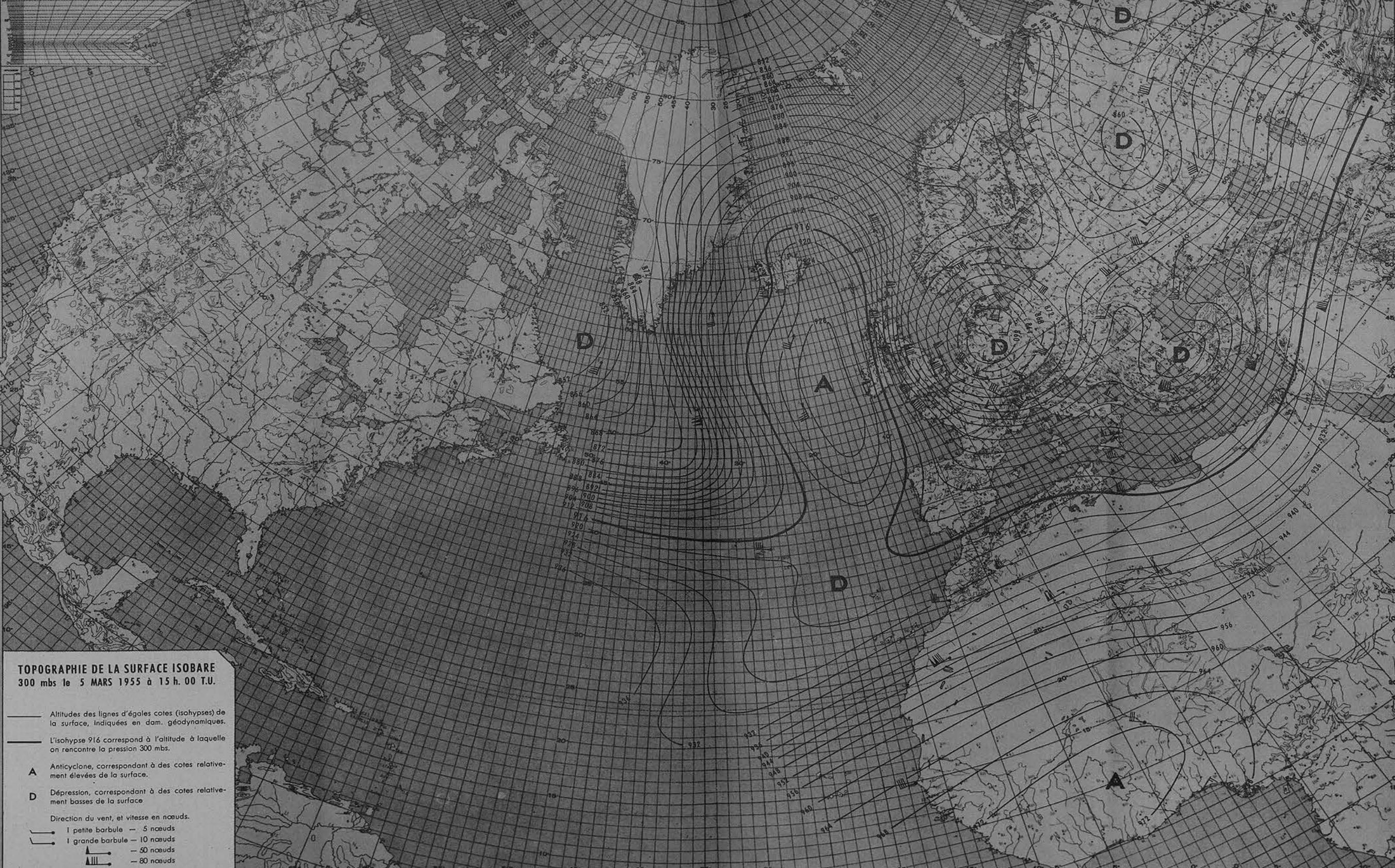
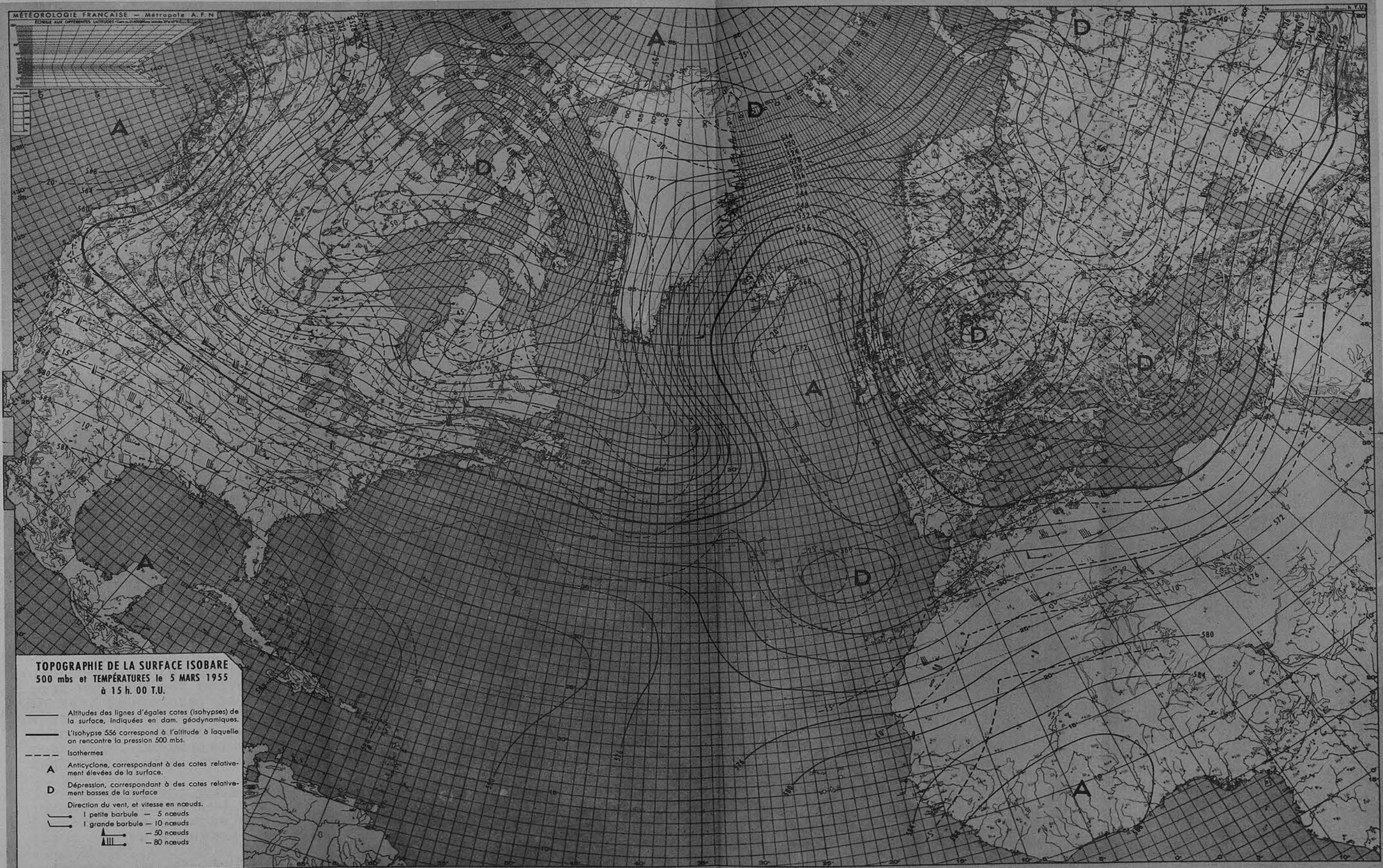


Fig. 5



TOPOGRAPHIE DE LA SURFACE ISOBARE
300 mbs le 5 MARS 1955 à 15 h. 00 T.U.

- Altitudes des lignes d'égaies cotes (isohypses) de la surface, indiquées en dam. géodynamiques.
- L'isohypse 916 correspond à l'altitude à laquelle on rencontre la pression 300 mbs.
- A** Anticyclone, correspondant à des cotes relativement élevées de la surface.
- D** Dépression, correspondant à des cotes relativement basses de la surface.
- Direction du vent, et vitesse en nœuds.
 - 1 petite barbule — 5 nœuds
 - 1 grande barbule — 10 nœuds
 - 50 nœuds
 - 80 nœuds



**TOPOGRAPHIE DE LA SURFACE ISOBARE
500 mbs et TEMPÉRATURES le 5 MARS 1955
à 15 h. 00 T.U.**

- Altitudes des lignes d'égalité de cotes (isohypses) de la surface, indiquées en dam. géodynamiques.
- L'isohypse 556 correspond à l'altitude à laquelle on rencontre la pression 500 mbs.
- - - Isothermes
- A Anticyclone, correspondant à des cotes relativement élevées de la surface.
- D Dépression, correspondant à des cotes relativement basses de la surface.
- Direction du vent, et vitesse en nœuds.
 - 1 petite barbule — 5 nœuds
 - 1 grande barbule — 10 nœuds
 - 50 nœuds
 - 80 nœuds

Chaque zone de plus grande vitesse ou "noyau" correspond à un "jet", partie en quelque sorte élémentaire d'un courant-jet. D'une carte à l'autre, les configurations rencontrées peuvent être suivies; elles se déplacent à des vitesses souvent relativement faibles avec un mouvement préférentiel suivant la direction du courant, elles accusent également des translations transversales relativement régulières. Par ailleurs, on assiste également à des déformations et même à des modifications de configurations telles que le passage progressif du schéma représenté à la figure 5 (a) à celui de la figure 5 (b).

La longueur d'un courant-jet peut atteindre 4.000 km; sa largeur quelques centaines seulement; la largeur de la bande, où sont localisées les vitesses de 100 noeuds (190 km/h) ou plus, est de l'ordre de 200 km.

Pour l'usage aéronautique, on dit généralement que l'on est en présence d'un "jet" lorsque les vitesses atteignent ou dépassent 80 à 100 noeuds (150 à 190 km/h) et lorsque l'on observe une croissance rapide de la vitesse du vent des bords vers l'axe de la bande de vents forts.

Un "jet" étant un phénomène à trois dimensions sa structure ne peut pas être complètement mise en évidence par la seule représentation plane précitée; il faut lui adjoindre, faute de pouvoir adopter une représentation tridimensionnelle, des "coupes verticales" faites perpendiculairement au courant. On atteint ainsi la structure d'un "jet"; plusieurs coupes faites à divers endroits donnent la structure du courant.

3°- Structure d'un "jet". La figure 6 représente une telle coupe. Elle permet de mettre en évidence les points suivants :

- répartition des vitesses : les lignes d'égale vitesse, cotées en noeuds, sont des courbes fermées, ce qui, compte tenu de la représentation plane déjà vue, conduit à admettre que les surfaces d'égale vitesse dans un "jet" sont des sortes d'ellipsoïdes aplatis et très allongés.

Les cotes des lignes d'égale vitesse montrent que celles-ci croissent de la périphérie vers le centre du "jet". La ligne de cote maximum est souvent considérée comme délimitant le "coeur" du jet. Toutefois, la densité relativement faible des moyens de mesure (stations de radiosondage) par rapport aux dimensions du phénomène ne permet pas de connaître la vitesse maximum avec certitude. On remarque sur la figure 6 que ces vitesses ne croissent pas de manière uniforme de la périphérie vers le centre;

- gradient horizontal de vitesse : si l'on se place à altitude constante (ou pression constante), on remarque que l'espacement des courbes est plus faible du côté froid que du côté chaud ou, en d'autres termes, que le gradient horizontal de vi-

Chaque zone de plus grande vitesse ou "noyau" correspond à un "jet", partie en quelque sorte élémentaire d'un courant-jet. D'une carte à l'autre, les configurations rencontrées peuvent être suivies; elles se déplacent à des vitesses souvent relativement faibles avec un mouvement préférentiel suivant la direction du courant, elles accusent également des translations transversales relativement régulières. Par ailleurs, on assiste également à des déformations et même à des modifications de configurations telles que le passage progressif du schéma représenté à la figure 5 (a) à celui de la figure 5 (b).

La longueur d'un courant-jet peut atteindre 4.000 km; sa largeur quelques centaines seulement; la largeur de la bande, où sont localisées les vitesses de 100 noeuds (190 km/h) ou plus, est de l'ordre de 200 km.

Pour l'usage aéronautique, on dit généralement que l'on est en présence d'un "jet" lorsque les vitesses atteignent ou dépassent 80 à 100 noeuds (150 à 190 km/h) et lorsque l'on observe une croissance rapide de la vitesse du vent des bords vers l'axe de la bande de vents forts.

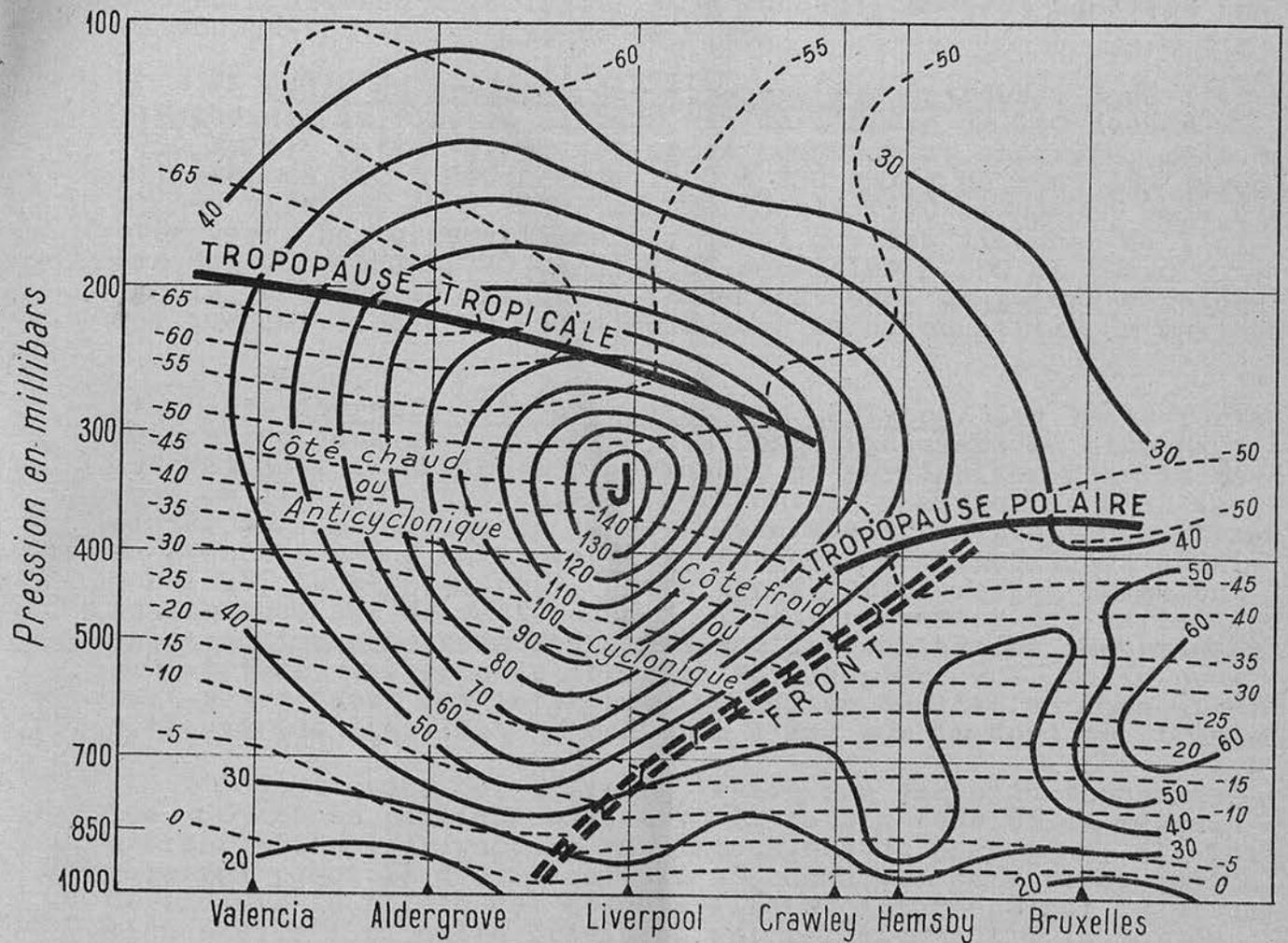
Un "jet" étant un phénomène à trois dimensions sa structure ne peut pas être complètement mise en évidence par la seule représentation plane précitée; il faut lui adjoindre, faute de pouvoir adopter une représentation tridimensionnelle, des "coupes verticales" faites perpendiculairement au courant. On atteint ainsi la structure d'un "jet"; plusieurs coupes faites à divers endroits donnent la structure du courant.

3°- Structure d'un "jet". La figure 6 représente une telle coupe. Elle permet de mettre en évidence les points suivants :

- répartition des vitesses : les lignes d'égale vitesse, cotées en noeuds, sont des courbes fermées, ce qui, compte tenu de la représentation plane déjà vue, conduit à admettre que les surfaces d'égale vitesse dans un "jet" sont des sortes d'ellipsoïdes aplatis et très allongés.

Les cotes des lignes d'égale vitesse montrent que celles-ci croissent de la périphérie vers le centre du "jet". La ligne de cote maximum est souvent considérée comme délimitant le "coeur" du jet. Toutefois, la densité relativement faible des moyens de mesure (stations de radiosondage) par rapport aux dimensions du phénomène ne permet pas de connaître la vitesse maximum avec certitude. On remarque sur la figure 6 que ces vitesses ne croissent pas de manière uniforme de la périphérie vers le centre;

- gradient horizontal de vitesse : si l'on se place à altitude constante (ou pression constante), on remarque que l'espacement des courbes est plus faible du côté froid que du côté chaud ou, en d'autres termes, que le gradient horizontal de vi-



J. Tube du JET

- Isoplèthes de vitesse du vent cotées en nœuds
- - - Isothermes cotées en degrés centigrades

Fig. 6 — Coupe Verticale d'un Jet-stream le 5 Mars 1955 à 1500 TU.

Le "coeur" du "jet" est approximativement à la verticale de la zone de vents maximum à 500 mb, qui coïncide à très peu près avec la trace de la zone de plus fort gradient de température sur cette surface (front d'altitude).

- extension verticale : sur la figure 6, l'extension verticale du jet est de l'ordre de 8 km (si l'on considère les vitesses égales ou supérieures à 80 noeuds); on peut admettre une extension verticale moyenne de 6 km.

- ordre de grandeur des vitesses rencontrées : dans l'exemple choisi, la vitesse maximum est de l'ordre de 140 noeuds (250 km/h); cette valeur est assez communément observée, mais des vitesses de 180 à 200 noeuds (320 à 360 km/h) ne sont pas rares et des vitesses de l'ordre de 300 noeuds (540 km/h) ont déjà été observées. Les observations indiquent que des vitesses de l'ordre de 400 noeuds (720 km/h) sont possibles à 200 mb (12.000 m) tandis qu'à 500 mb (5.500 m) il semble que l'on puisse considérer que la vitesse de 250 noeuds (450 km/h) constitue un maximum.

4°- Courants-jets et navigation aérienne. Les vents forts rencontrés dans les courants-jets sont évidemment du plus haut intérêt pour la navigation aérienne, en particulier dans la mesure où ils sont favorables. Cependant il y a lieu de bien insister sur le fait qu'on ne se trouve que très exceptionnellement en présence d'une ceinture de vents forts hémisphériques quasi-continue. Le plus souvent, cette pseudo ceinture est largement interrompue sur de vastes zones et peut présenter des variations en direction considérables ainsi que des variations importantes en latitude, telle celle observée sur la planche I, où le courant-jet d'Ouest est interrompu au milieu de l'Atlantique et n'est retrouvé que très loin au Sud et à l'Est sur le Nord de l'Afrique.

Nous n'avons par ailleurs traité que des situations réelles, notant en particulier que vu la faible densité du réseau d'observations par rapport aux dimensions du phénomène, il était rarement possible d'être certain de connaître sa vitesse maxima. Cependant, le pilote est essentiellement intéressé par la situation prévue : si cette prévision est relativement à la portée des possibilités du météorologiste, elle demande néanmoins la mise en oeuvre de moyens qui, quelquefois font encore défaut et l'on a indiqué qu'une bonne localisation en représentation plane, était obtenue par la considération du front d'altitude à 500 mb et de la zone de vent maximum sur cette surface qui se trouvent, à peu près, au-dessous du "coeur" du "jet". A défaut de carte 500 mb, une position géographique approximative peut être estimée à l'aide de la carte au sol par rapport à la position du front polaire : le courant-jet se situe dans l'air chaud décalé vers le Nord ou en arrière du front polaire et parallèlement à lui, c'est-à-dire entre le bord septentrional chaud d'un anticyclone et le bord méridional ou occidental froid d'une dépression. Ces palliatifs ne donnent évidemment pas l'altitude du

vent maximum ni sa valeur. Cependant, la position géographique probable de l'axe du courant peut permettre, en exploitant les indications données plus haut, de trouver la vitesse maxima des vents à l'altitude de vol (1).

Cette altitude de vol, compte tenu de ce qui vient d'être exposé, doit être choisie aussi élevée que possible pour les avions longs courriers actuels, bien entendu pour ceux qui volent dans le sens du courant; cette condition étant remplie, nous allons voir ce qui peut caractériser l'entrée dans un courant-jet, aider à le repérer et à en bénéficier.

- entrée (dans le courant) du côté froid : en entrant du côté froid (la position sur la carte prévue où les températures prévues en altitude peuvent être un guide), on doit traverser le front d'altitude, ce qui implique que l'on doit surveiller la température de l'air extérieur attentivement, car une montée brusque en température constitue une première indication d'entrée dans le courant. Cette indication doit être suivie, de près, par une rapide augmentation du taux de variation du facteur D, indiquant une augmentation de la composante perpendiculaire à l'axe (ou en d'autres termes que l'on se trouve dans une région de forte pente des surfaces isobares). L'augmentation du vent peut être de 10 noeuds (18 km/h) par 15 km parcourus dans le courant sur la face froide; pour cette raison on ne doit pas se placer immédiatement parallèlement au flux au moment où l'on constate la hausse rapide de température, mais au contraire pénétrer un peu dans le courant pour trouver les plus grandes vitesses. Le vent maximum coïncidera avec le taux de variation maximum du facteur D (pente maximum de la surface isobare); c'est pourquoi lorsque cette condition est remplie, il est temps de changer de cap et de se laisser emporter par le courant. Le facteur D doit alors rester constant, s'il ne le reste pas, ce fait indique que l'on coupe encore le courant; la température extérieure doit également rester à peu près constante et toute chute brusque de température doit être surveillée car elle indiquerait que l'on repasse dans l'air froid et quitte la zone de vent maximum.

- entrée du côté chaud : on n'a pas dans ce cas l'indication spectaculaire d'arrivée dans le courant-jet que donne la montée brusque de la température extérieure lorsque l'on entre du côté froid; on peut s'attendre à une chute relativement lente de température accompagnée par une augmentation lente de la vitesse du vent. Cette augmentation peut n'être que de l'ordre de 10 noeuds (18 km/h) par 150 km parcourus en entrant dans le courant (la pente des surfaces isobares n'augmente que lentement, le taux de variation du facteur D est par conséquent faible). On

(1) Certains types de nuages peuvent également donner une indication précieuse de la position du courant sur lequel ils sont alignés : Cirrus et/ou Cirrocumulus animés de grandes vitesses; Altocumulus lenticulaires dont le grand axe est perpendiculaire au flux; Altocumulus en bandes perpendiculaires au flux.

doit surveiller la température de l'air extérieur qui, si elle baissait brusquement, indiquerait l'entrée dans l'air froid après la traversée du courant, une correction sur la droite pour retourner dans l'air chaud s'impose donc immédiatement dans ce cas pour éviter de quitter le courant du côté froid.

- vol dans le courant-jet : comme il a été déjà dit, le facteur D doit rester constant et la température extérieure ne doit pas marquer de variations importantes, ce qui impliquerait que l'on est sorti du courant-jet.

Un trajet peut cependant n'être intéressé par un courant-jet que partiellement comme dans le cas de la situation représentée sur les planches I et II pour un trajet Amérique-Europe. Il est donc bon, pour éviter toute méprise, de s'informer au départ sur ce genre d'éventualité, ce qui est d'autant plus facile qu'un phénomène d'une telle ampleur ne peut passer inaperçu à un météorologiste.

- courants-jets contraires : la solution, pour éviter de tels courants, est évidemment de choisir une route qui passe franchement dans l'air froid ou dans l'air chaud. Il faut remarquer à ce propos que les gradients horizontaux de vent étant plus faibles du côté chaud du courant-jet que du côté froid, un détour plus grand sera nécessaire lorsqu'il aura lieu dans l'air chaud, ce à vents contraires égaux.

Enfin, sortir d'un jet du côté froid sera plus rapide, d'après ce qui précède, qu'en sortir du côté chaud; le traverser perpendiculairement paraît préférable à le traverser obliquement.

Tout ce qui vient d'être indiqué dans l'exposé qui précède montre à quel point la météorologie de l'étage 6 à 18 km est importante pour l'exploitation, l'économie et le rendement du trafic aérien à grande distance et par suite la valeur inestimable du travail des météorologistes.