

**LES RETOMBÉES RADIOACTIVES EN FRANCE  
APRES LA SECONDE EXPLOSION NUCLEAIRE CHINOISE  
- PROCESSUS DE TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES -**

par

André DOURY , Pierre BOURGEON

**Rapport C E A - R 3020**

**1966**

Ca

CENTRE D'ÉTUDES NUCLÉAIRES  
DE FONTENAY-AUX-ROSES

CEA-R 3020 - DOURY André, BOURGEON Pierre

LES RETOMBEES RADIOACTIVES EN FRANCE APRES LA SECONDE  
EXPLOSION NUCLEAIRE CHINOISE - PROCESSUS DE TRANSFERTS  
ATMOSPHERIQUES

Sommaire. - Les produits injectés dans l'atmosphère par la seconde explosion nucléaire chinoise ont été détectés et mesurés en France pendant les mois de mai, juin et juillet 1965.

Les principaux résultats sont présentés et commentés. Ils sont notamment confrontés avec les conditions météorologiques en fonction des plus récentes hypothèses concernant les processus de transferts.

1966

32 p.

Commissariat à l'Energie Atomique - France

CEA-R 3020 - DOURY André, BOURGEON Pierre

RADIO-ACTIVE FALL-OUT IN FRANCE AFTER THE SECOND CHINESE  
NUCLEAR EXPLOSION - ATMOSPHERIC TRANSFER PROCESSES

Summary. - The products liberated into the atmosphere by the second chinese nuclear explosion were detected and measured in France during the months of may, june and july 1965.

The main results are presented here and discussed. They are considered in particular in the light of the meteorological conditions as a function of the most recent hypotheses concerning transfer processes.

1966

Commissariat à l'Energie Atomique - France

Département de la Protection Sanitaire  
Section de Radioécologie  
Groupe d'Etudes Atmosphériques

LES RETOMBEES RADIOACTIVES EN FRANCE  
APRES LA SECONDE EXPLOSION NUCLEAIRE CHINOISE  
- PROCESSUS DE TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES -

par

André DOURY, Pierre BOURGEON

*Les rapports du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE sont, à partir du n° 2200, en vente à la Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

*The C.E.A. reports starting with n° 2200 are available at the Documentation Française, Secrétariat Général du Gouvernement, Direction de la Documentation, 16, rue Lord Byron, PARIS VIIIème.*

LES RETOMBÉES RADIOACTIVES EN FRANCE  
APRES LA SECONDE EXPLOSION NUCLEAIRE CHINOISE

- PROCESSUS DE TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES -

Le 14 mai 1965 à 2 heures T.U. soit 10 heures locales, avait lieu la seconde explosion nucléaire chinoise, d'une puissance d'environ 20 kilotonnes de TNT selon la presse, en un point situé approximativement par 40° de latitude Nord et 91° de longitude Ouest.

A la suite de cet évènement, des retombées radioactives comportant des produits frais dont l'origine est indiscutable, ont été très nettement détectées sur la France de la fin du mois de mai au début du mois de juillet 1965.

La pollution globale des basses couches atmosphériques, due à ces retombées, s'est ajoutée aux effets des injections antérieures, encore sensibles et passant même par un maximum en cette période de l'année.

Les niveaux maximaux ont été atteints au cours de la seconde quinzaine de juin, avec des valeurs comprises entre 5 et 10 fois les moyennes d'avril, mais restant toutefois très inférieures (d'un facteur 10 environ) aux pointes des années 1959 et 1961 à 1963.

Rappelons, qu'en France, les effets de la première explosion chinoise du 16 octobre 1964, s'étaient révélés du même ordre de grandeur en ce qui concerne les niveaux, mais nettement moins importants en ce qui concerne la durée.

## PRELEVEMENTS ET MESURES

Parmi les nombreuses mesures de radioactivité atmosphérique qui sont effectuées en permanence, nous avons retenu les plus significatives pour ce genre d'étude, c'est-à-dire les mesures de l'indice  $\beta$  global à longue période et de la composante  $\gamma$ , obtenues dans des conditions bien définies, à partir d'échantillons quotidiens de poussières prélevées en continu sur filtre fixe dans des volumes d'air de l'ordre de  $1\ 500\ m^3$  T.P.N..

Les stations de prélèvement considérées ont été sélectionnées, parmi celles qui constituent les réseaux de surveillance des sites nucléaires, en raison de leur respect d'un certain nombre de recommandations internationales ou au moins européennes, en matière de procédures, et compte tenu de l'absence toujours constatée de toute pollution persistante pouvant provenir des installations.

Le Centre de Mesures Atmosphériques de Guyancourt a joué le rôle de station pilote de prélèvement et de mesure, et a fourni notamment les mesures spectrométriques  $\gamma$ .

Le degré de précision ainsi que la comparabilité des mesures dans le temps et dans l'espace, indispensables à tout essai d'interprétation en fonction des modalités de transport et de diffusion, ont été spécialement étudiés et peuvent être considérés comme satisfaisants.

En ce qui concerne l'indice de radioactivité  $\beta$  globale à longue période, les méthodes de mesures sont désormais classiques. Les filtres quotidiens sont comptés systématiquement 5 jours après celui du prélèvement, sans destruction ni préparation spéciale, par des compteurs proportionnels à grande surface et à faible mouvement propre, avec une incertitude globale inférieure à 10 %, compte tenu des erreurs sur le débit et d'une probabilité de 0,95 pour les fluctuations statistiques.

Après la mesure  $\beta$  globale, les mêmes échantillons sont soumis à une analyse  $\gamma$  systématique, isolément ou par groupes de 2 à 6 selon les niveaux d'activité. Cette analyse est effectuée dans un laboratoire à bas bruit de fond par un ensemble de mesure classique, comprenant un cristal d'iodure de sodium et un photomultiplicateur couplés optiquement. Les impulsions délivrées par le photomultiplicateur sont analysées par un sélecteur d'amplitude à 200 canaux.

La mesure  $\gamma$  quantitative des principaux radioéléments présents sur le filtre consiste [1] à éliminer successivement du spectre total obtenu, le spectre de chacun des radioéléments ayant pu être identifiés. Cette élimination est rendue possible grâce à la possibilité de soustraction offerte par les sélecteurs multicanaux. La soustraction est observée sur l'oscil-

loscope du sélecteur et elle est arrêtée lorsque le pic photoélectrique du radioélément soustrait peut être considéré comme entièrement disparu. On détermine ensuite l'aire du pic soustrait, et grâce à ces coefficients calculés au moment de l'étalonnage du sélecteur, il est possible de convertir cette aire en activité, en picocuries dans le cas présent.

Cette méthode nécessite une grande précision dans l'étalonnage précédant chaque mesure et une dérive aussi faible que possible. Cette stabilité est d'autant plus difficile à obtenir que les mesures doivent durer un temps assez long (1000 minutes en général) en raison de la faible activité des filtres.

## RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES MESURES

Les résultats de mesure utilisés pour cette étude ont été obtenus à partir de prélèvements effectués quotidiennement à 9 h. T.U., à 1,50 m de la surface du sol, et provenant de 9 stations françaises dont les coordonnées sont précisées par le tableau I. Six de ces stations (LA HAGUE, GUYANCOURT, SACLAY, LE BOUCHET, MONTS D'ARREE, CHINON) sont localisées au Nord du 47ème parallèle, alors que les trois autres (GRENOBLE, MARCOULE et CADARACHE) sont nettement retirées dans le Sud-Est de la France. Ces deux groupes sont donc placés dans des conditions climatiques caractérisées très différentes, dont l'influence se fera nettement sentir sur les résultats.

### Mesures de l'indice de radioactivité $\beta$ globale à vie longue

L'indice  $\beta$  global, dont la mesure relativement simple et peu onéreuse, permet d'obtenir facilement des résultats nombreux et fréquents (quotidiens en général) est un très bon indicateur de pollution radioactive dont la nature et notamment la nuisance, sont précisées, si nécessaire, dans un deuxième temps, par des sondages et analyses complémentaires sur les échantillons les plus intéressants.

S'il ne s'agit, d'autre part que de radioactivité "à vie longue" cette restriction signifie que la radioactivité naturelle, essentiellement à très courte période (inférieure à quelques heures), a été éliminée par les procédés habituels, et que des produits de fission "frais" à période relativement courte (quelques jours) sont compris ici dans les produits à "vie longue". Il est évident que les produits artificiels à vie plus courte, sauf s'ils sont issus de précurseurs à vie longue, ne peuvent avoir un long parcours après leur libération, ce qui diminue fortement ou annule leur probabilité de parvenir aux prélèvements.

Sur la figure 1, qui représente l'évolution de l'indice  $\beta$  moyen journalier pendant les mois de mai à juillet 1965 inclus, à SACLAY et à GUYANCOURT, on remarque d'abord le degré de reproductibilité particulièrement satisfaisant qu'il est possible d'obtenir en deux stations pourtant distantes de près d'une dizaine de kilomètres. Ceci est particulièrement important pour le degré de confiance qu'il est permis d'accorder aux résultats.

Sur le plan des résultats proprement dits, on voit apparaître tant sur la figure 1 pour SACLAY et GUYANCOURT que sur les tableaux II, III et IV pour l'ensemble des stations considérées, une succession assez régulière de maximums et de minimums très significatifs et parfaitement synchronisés avec une ascension moyenne progressive jusque vers la mi-juin, suivie d'une décroissance continue après le 7 juillet. La période des oscillations, elle-même très nette, se situe entre 5 et 7 jours.

On constate aussi, que si les effets sont parfaitement nets et concordants en ce qui concerne les "stations Nord" (sur les tableaux les stations sont classées par ordre de latitude décroissante) il n'en est pas toujours de même en ce qui concerne les "stations Sud-Est" où les phénomènes sont quelquefois moins nets, décalés dans le temps (généralement retardés) ou même inexistantes.

Ces différences sont le plus sensible à CADARACHE qui est précisément la station la plus "reculée". Elles sont certainement dues aux conditions météorologiques en liaison avec le fait que les arrivées de pollution dans les basses couches se sont généralement effectuées par le Nord-Ouest.

Ces phénomènes ayant débuté avant l'explosion et étant généralement observés en cette période de l'année (maximum général de printemps, soumis à de légers décalages dans le temps en liaison avec la tendance météorologique de l'année) il est difficile d'en déduire des conséquences précises en ce qui concerne les effets de cette explosion. Toutefois, les maximums du mois de juin, d'un niveau inhabituel en l'absence d'explosion récente (entre 1 et 2 picocuries par mètre cube d'air T.P.N.) sont une indication sérieuse de manifestation d'effets récents. Pour plus de précision et de certitude un lever de doute doit être effectué par des moyens différents.

#### Mesures et analyses par spectrométrie $\gamma$ qualitative et quantitative

La spectrométrie d'énergie d'émission  $\gamma$  de la radioactivité présente dans les échantillons constitue précisément l'un des moyens les plus efficaces pour obtenir ce lever de doute.

Toutefois ce genre de mesure, qui nécessite des délais et des moyens importants n'a pu être effectué à une cadence quotidienne sur chaque échantillon. C'est pourquoi il a été procédé à des groupements systématiques de cinq filtres en général, quelquefois moins dans les périodes critiques, l'indice  $\beta$  global conservant son rôle d'indicateur, notamment pour le détail de l'évolution de niveaux quotidiens dans le temps.

Sur le plan qualitatif la figure 2 relative à cinq prélèvements effectués à GUYANCOURT du 11 au 16 juin 1965 représente un spectre typique de la période considérée et recouvre d'ailleurs l'un des plus importants maximums déjà constatés en  $\beta$  global.

Dans l'ordre croissant de leur énergie d'émission  $\gamma$ , les principaux radioéléments détectés sont : Cérium 144, Cérium 141, Iode 131, Antimoine 125, Béryllium 7, Ruthénium 106 + Rhodium 106, Césium 137, Zirconium 95 + Niobium 95, Manganèse 54, Baryum 140 + Lanthane 140.

Parmi ces produits de fission, d'activation ( $^{54}\text{Mn}$ ), ou naturel ( $^7\text{Be}$ ), les  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$ , ne peuvent provenir que de l'explosion du 14 mai. Ils ont été identifiés pour la première fois, bien qu'en très faible quantité, sur un filtre prélevé le 26 mai 1965 à 9 heures T.U.. Cette date constitue donc une limite supérieure de la première arrivée de pollution fraîche (soit 12 jours après l'explosion). Les autres radioéléments étaient présents dans les prélèvements avant le 24 mai (résidus des explosions précédentes).

Sur le plan quantitatif les résultats complets obtenus à GUYANCOURT et relatifs aux stations de SACLAY-CEN (mai) et de GUYANCOURT (juin et juillet) sont donnés par les tableaux Va et Vb. Ces résultats sont exprimés en  $\text{pCi}/\text{m}^3$  ramenés au jour de comptage  $\beta$  global. Celui-ci ayant été effectué à partir des mêmes échantillons, il a été possible d'indiquer pour chaque radioélément, sauf le Béryllium 7 (non émetteur  $\beta$  et produit naturel), le pourcentage d'activité par rapport à l'indice  $\beta$  global. Pour l'Iode 131, il n'a été fait provisoirement aucune correction tenant compte d'un rendement de filtration éventuellement plus faible.

De manière à mettre plus clairement en évidence les caractéristiques les plus intéressantes de la période représentée par ces trois mois de mai à juillet 1965, quelques graphiques significatifs tirés des tableaux Va et Vb ont été rassemblés sur la figure 3.

L'origine des temps est la même pour tous les graphiques. Elle correspond au 14 mai, date de l'explosion. L'échelle des temps est également commune. Elle est donnée en jours.

Le premier graphique est une répétition de la représentation de l'indice  $\beta$  où les échantillons ont été groupés dans les mêmes conditions que pour les mesures  $\gamma$ , de manière à faciliter les comparaisons. Mais il s'ensuit bien entendu une disparition de certains détails, dont la périodicité de 5 jours signalée plus haut.

Le second graphique est peut être celui qui est le plus important pour toute cette étude. Il représente le rapport des activités sur filtre du Cérium 141 par rapport à celles du Césium 137. Ce rapport est un indicateur quantitatif précis de la présence de produits "frais" et l'on voit immédiatement, en corrélation étroite avec l'indice  $\beta$ , que l'arrivée de produits frais dans les basses couches n'est vraiment décisive qu'à partir du 20ème jour, soit le 3 juin.

Les troisième et quatrième graphiques sont relatifs respectivement et dans les mêmes conditions, aux rapports Baryum 140 / Cérium 141 et Iode 131 / Cérium 141. Dans chacun de ces deux cas on a pu représenter également, compte tenu de la date de l'explosion, le rapport théorique correspondant [2] qui présente l'avantage d'être peu sensible au type de fission, souvent inconnu.

On met ainsi en évidence, d'une part une confirmation des conclusions précédentes en ce qui concerne le passage du nuage de pollution fraîche, d'autre part une vérification de la date de l'explosion, c'est-à-dire une possibilité d'estimation de cette date à 5 jours près dès le 30ème jour, dans le cas où elle serait inconnue.

En ce qui concerne l'Iode 131 le graphique correspondant implique aussi que, puisqu'aucune correction particulière n'a été effectuée et que le rapport des activités sur filtre est identique au rapport théorique des activités dans l'air, l'efficacité du filtre utilisé (Poelman-Schneider jaune) serait sensiblement la même vis-à-vis de l'Iode et vis-à-vis du Cérium, tels que ces deux éléments se présentent ici du point de vue de leur état physico-chimique, probablement adsorbés en grande partie sur d'autres particules.

#### PROCESSUS DE TRANSFERTS ATMOSPHERIQUES

Une étude spéciale confiée à la Météorologie Nationale [3] a permis de conclure, moyennant certaines hypothèses dont l'une consiste à admettre des déplacements quasi-isobares à haute altitude, que le nuage de particules fines introduit dans la haute troposphère et éventuellement dans la stratosphère par l'explosion a pu se présenter par le Nord-Ouest au-dessus de la France entre le 24 et le 28 mai au niveau 300 mb, et vers le 5 juin au niveau 100 mb, où la vitesse horizontale moyenne est environ deux fois plus faible. La carte de la figure 4 représente la trajectoire probable à 300 mb, c'est-à-dire le plus souvent au voisinage de la base de la stratosphère où l'on sait que les produits injectés se trouvent concentrés et d'où ils sont prélevés au profit des basses couches en fonction des événements météorologiques locaux rencontrés.

Ce sont précisément ces événements météorologiques locaux, plus particulièrement sur la France ou à son voisinage immédiat, que nous avons tenté de mettre en évidence pour expliquer la retombée en France dans les basses couches et en surface.

En étudiant les situations météorologiques au sol et à 500 mb (environ 5 000 m, épaisseur "moitié") telles qu'elles sont fournies par le Bulletin Quotidien d'Etudes de la Météorologie Nationale [4], on s'aperçoit que la totalité de la période qui s'étend du 26 mai au 1er Août est marquée par une situation fortement perturbée en général, avec une périodicité de 5 à 7 jours voisine de celle déjà observée dans l'évolution des niveaux de pollution. On peut donc conclure dès maintenant sur ce point, qu'une première vague de peu d'importance a du précéder de quelques jours, vers 300 mb, le "gros" de la pollution en altitude qui circulait probablement plus haut (cf. vitesse à 100 mb), et que la chute de pollution constatée avant la mi-juillet (figure 3) est probablement due pour une forte part à la fin du passage du nuage de produits frais.

Pour le reste, il est intéressant de passer systématiquement en revue les périodes de maximum et de minimum de pollution, en notant les traits les plus caractéristiques des situations météorologiques troposphériques correspondantes, toujours tirées du Bulletin Quotidien d'Etudes de la Météorologie Nationale.

#### Maximums :

- 27 mai : Cyclogénèse sur la mer du Nord. Front froid venant du Nord-Ouest, sur les côtes de la Manche à 6 h. T.U.. Instabilité.
- 31 mai : Cyclogénèse sur l'Allemagne occidentale. Front froid venant du Nord axé des Flandres à l'Ecosse à 6 h. T.U.. Instabilité.
- 5 et 6 juin : Importante expulsion polaire maritime, avec thalweg au sol et en altitude du Groenland à l'Europe occidentale.
- 15 et 16 juin : Cyclogénèse complexe sur les Iles Britanniques avec invasion froide d'origine atlantique et développement d'instabilité orageuse sur la France.
- 21 et 22 juin : Cyclogénèse très active se déplaçant du proche océan à la mer du Nord, avec instabilité orageuse et invasion froide d'origine atlantique sur la France.
- 24 au 26 juin : Cyclogénèse entre Islande, Ecosse et Scandinavie, avec invasion froide généralisée d'origine atlantique et accompagnée d'instabilité sur l'Europe occidentale.

- 30 juin au 1er juillet : Cyclogénèse de l'Islande à la Scandinavie. Invasion froide par le Nord précédée d'une forte instabilité orageuse sur la France.
- 3 juillet : Flux de Nord direct accompagné d'instabilité orageuse et comportant plusieurs fronts froids sur l'Europe occidentale. Dépression froide sur la Baltique à 500 mb.
- 7 et 8 juillet : Etablissement d'un courant froid et instable de Nord-Ouest, des Iles Britanniques aux Alpes, avec nombreuses manifestations orageuses. Thalweg froid axé à 0 h. T.U. à 500 mb de la Norvège au Nord-Ouest de l'Espagne.
- 14 juillet : Cyclogénèse sur la zone Angleterre - Mer du Nord. Passages de fronts froids accompagnés d'instabilité orageuse sur la France.
- 19 juillet : Cyclogénèse au Sud-Ouest des Iles Britanniques. Front froid axé à 18 h. T.U. de la Région Parisienne aux Pyrénées Centrales.
- 24 juillet : Cyclogénèse sur la Mer du Nord. Invasion polaire maritime par l'Ouest avec instabilité orageuse.
- 29 juillet : Cyclogénèse de l'Ecosse au Danemark. Invasion polaire maritime instable par l'Ouest.
- Remarque générale : Tous ces cas de maximums de pollution dans les basses couches sur la France, sont caractérisés par la présence vers le Nord-Ouest, le Nord ou le Nord-Est de grandes zones dépressionnaires froides non isolées, qui se conservent ou se renforcent en altitude comme on peut s'en rendre compte en consultant les cartes à 500 mb. On sait qu'il s'agit là d'un trait caractéristique des situations à cyclogénèse qui accompagnent les perturbations extratropicales. D'autre part, les maximums de pollution ne semblent se produire qu'au voisinage des fronts froids principaux.

Minimums :

- 26 mai : Advection chaude par l'Ouest sur l'Europe occidentale, avec hautes pressions et faibles gradients.
- 29 mai : Goutte froide homogène et isolée sur la France. Traîne évoluant en intervalle.
- 1er au 4 juin : Goutte froide homogène et isolée sur la France. Evolution en intervalle avec affaissement et établissement d'une dorsale sur l'Angleterre.

- 8 au 10 juin : Goutte froide isolée se déplaçant de la Bretagne à l'Italie évoluant en intervalle avec affaissement, et suivie de l'établissement d'une dorsale.
- 18 juin : Advection chaude rapide de Sud-Ouest sur la France et les Iles Britanniques.
- 22 et 23 juin : Intervalle lié à une dorsale, puis tête de perturbation liée à une advection chaude sur la France.
- 29 juin : Hautes pressions et faibles gradients avec divergence horizontale et affaissement des Iles britanniques à la Mer Noire.
- 2 juillet : Dorsale avec divergence horizontale et affaissement du Sud de l'Irlande aux Alpes.
- 5 juillet : Intervalle sur la France.
- 9 au 12 juillet : Advection chaude généralisée des Açores à l'Europe Centrale, avec hautes pressions rejetant le courant perturbé d'Ouest à la latitude des Iles Britanniques.
- 16 juillet : Goutte froide homogène sur la France. Hautes pressions des Açores à la Scandinavie.
- 21 juillet : Intervalle associé à une goutte froide isolée sur la France.
- 27 juillet : Advection chaude abordant la France par l'Ouest avec hautes pressions des Açores aux Alpes rejetant le courant perturbé à la latitude des Iles Britanniques.
- Remarque générale : Les situations qui accompagnent les minimums de pollution apparaissent immédiatement beaucoup plus variées que les situations "à maximum", mais elles sont cependant marquées par un certain nombre de traits communs dont le plus net est certainement l'absence d'approche ou de passage de front froid actif, que ce soit lors d'une advection chaude, au sein même d'une masse d'air froid (cas des gouttes froides isolées), ou en dehors des zones perturbées.

Pour être complet il faut ajouter à ce tableau d'ensemble qu'en parfait accord entre le comportement de la pollution et les situations météorologiques, les phénomènes sont souvent plus faibles ou retardés vers le Sud-Est. C'est ainsi que le maximum du 5 juin dans les "stations Nord" n'atteint CADARACHE que le 7, et que le maximum du 24 au 26 juin n'est pas senti dans le Sud-Est (cf. tableau III et figure 5, atténuation des activités atmosphériques).

Notons encore que les 24, 25 et 26 juin correspondent au maximum absolu des stations Nord, si l'on se réfère au rapport des activités Cérium 141 / Césium 137 (figure 2).



De cette analyse des situations météorologiques il semble que l'on puisse dégager les caractères généraux suivants de l'évolution de la pollution dans les basses couches aux latitudes moyennes :

- les maximums correspondent essentiellement aux grandes expulsions froides associées aux situations à cyclogénèse active. Un exemple de telles situations est donné par les figures 5 et 6 (26 juin).
- les minimums au contraire ont lieu systématiquement en l'absence de ces situations, dans des conditions par ailleurs plus variées mais qui comprennent les advections chaudes, les périodes d'intervalle, et les périodes non perturbées. Un exemple typique de situation à minimum de pollution dans les basses couches est représenté par celle du 29 juin (figures 7 et 8) qui suit immédiatement le maximum du 26 juin.

Tous ces résultats et toutes ces corrélations sont d'autre part en parfait accord avec les théories les plus modernes concernant la circulation générale de l'atmosphère, selon lesquelles [5], [6], [7] des descentes laminaires importantes d'air stratosphérique vers la moyenne ou basse troposphère s'effectueraient, avec un véritable "pliage" de la tropopause, le long des fronts froids qui accompagnent les courants-jet, c'est-à-dire pendant les périodes de cyclogénèse active particulièrement fréquentes au printemps, l'arrivée finale en surface s'achevant ensuite à partir de cette source déformée plus proche grâce aux processus de diffusion turbulente et de précipitations (transferts nuages-sol) qui accompagnent les perturbations de basses couches.

De telles descentes seraient donc exclues au sein des masses d'air homogènes, en dehors des zones de discontinuité (cas des gouttes froides accompagnées de minimums de pollution). Elles seraient limitées au secteur frontal froid de la cyclogénèse, le secteur chaud étant au contraire le siège de courants ascendants. Quant aux courants descendants que l'on rencontre dans les zones subsidentes des anticyclones, ils ne peuvent avoir d'effet que dans l'épaisseur où ils existent, c'est-à-dire qu'ils peuvent intervenir comme phénomène final de basses couches, mais qu'en général, au moins aux latitudes moyennes, ils ne peuvent expliquer à eux seuls une descente stratosphérique, ou d'altitude voisine de la tropopause. La figure 9 extraite d'une étude américaine récente [7] illustre parfaitement ces différents mécanismes, qui ont déjà fait l'objet de vérifications expérimentales par traceurs radioactifs, et théoriques par le calcul (utilisation du rotationnel potentiel de la vitesse du vent comme pseudo-invariant).

## CONCLUSIONS

Comme le cas s'était déjà produit en 1960 à l'occasion des essais français au Sahara, c'est l'existence d'une période par ailleurs calme qui a permis aux effets d'une explosion isolée de demeurer visible sur de pareilles distances, et avec des ordres de grandeurs comparables bien que par des trajectoires différentes.

D'autre part, étant donné que tous les produits présents suivent les mêmes lois de transfert (transport, diffusion, précipitations) seules les méthodes différentielles (par exemple la spectrométrie gamma) permettent de distinguer sans ambiguïté la pollution fraîche des pollutions plus anciennes, mais des mesures quotidiennes systématiques, organisées en parallèle avec les mesures météorologiques et dans le même esprit, restent indispensables si l'on veut pouvoir suivre le détail de certains phénomènes.

En ce qui concerne ces phénomènes eux-mêmes, il semble qu'aux latitudes moyennes on puisse les distinguer en deux catégories essentielles :

- d'une part les transferts d'ensemble quasi-horizontaux dans la basse stratosphère et la haute troposphère,
- d'autre part les descentes occasionnelles vers la basse troposphère dans certains secteurs des régions à forte cyclogénèse, avec achèvement des transferts vers la surface par les processus de diffusion turbulente et de précipitations.

Des études plus poussées concernant ces différents phénomènes et processus, comportant notamment des coupes verticales et éventuellement des injections de traceurs, ne manqueraient certainement pas d'intérêt. Elles contribueraient à l'amélioration des méthodes de prévisions des retombées, y compris les méthodes numériques grâce à des modèles mathématiques plus près de la réalité.

## B I B L I O G R A P H I E

- [1] P. BOURGEON : Thèse C.N.A.M. en préparation.
- [2] HALLDEN, FISENNE, ONG, HARLEY : Radioactive Decay of Weapons Debris - Health and Safety Laboratory Fallout Program Quarterly Summary Report - HASL 117 - USAEC, New-York Operations Office - 30 décembre 1961.
- [3] J. DETTWILLER : Communication personnelle - Météorologie Nationale - SMM/ES - 1965.
- [4] METEOROLOGIE NATIONALE : Bulletin Quotidien d'Etudes - 1965.
- [5] P. QUENEY : Rôle des "jet-Streams" dans les échanges entre la troposphère et la stratosphère - Communication au colloque "Electronique et Radioactivité de l'air" - Centre de Physique Nucléaire de la Faculté des Sciences de Toulouse - 24 février 1965.
- [6] Elmar R. REITER : Transport Processes in the Atmosphere leading to Radioactive Fallout - Technical Paper n°58 - Progress Report n°1 - Depart. of Atm. Sci., Colorado State University, Fort Collins U.S.A. - septembre 1964.
- [7] E.F. DANIELSEN : Project Springfield Report - DASA 1517 - juillet 1964.

Manuscrit reçu le 22 avril 1966

STATIONS	DEPARTEMENT	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
LA HAGUE	Manche	49°41' N	01°52' W	162 m
GUYANCOURT	Seine-et-Oise <sup>1)</sup>	48°46' N	02°04' E	160 m
SACLAY	Seine-et-Oise <sup>2)</sup>	48°43' N	02°09' E	160 m
LE BOUCHET	Seine-et-Oise <sup>2)</sup>	48°32' N	02°25' E	82 m
MONTS D'ARREE	Finistère	48°22' N	03°51' W	265 m
CHINON	Indre-et-Loire	47°14' N	00°11' E	36 m
GRENOBLE	Isère	45°12' N	05°42' E	210 m
MARCOULE	Gard	44°10' N	04°37' E	45 m
CADARACHE	Var/Bouches-du-Rhône	43°42' N	05°45' E	255 m

1) Yvelines

2) Essonne

TABLEAU I

COORDONNEES DES STATIONS DE PRELEVEMENT

DATE Mai	LA HAGUE	GUYANCOURT	SACLAY	LE BOUCHET	MONTS D'ARREE	CHINON	GRENOBLE	MARCOULE	CADARACHE
1-2	0,23	0,11	0,15	0,21	0,27	0,26	0,23	0,29	0,20
2-3	0,28	0,17	0,18	0,21	0,22	0,25	-	0,29	0,25
3-4	0,28	-	0,19	0,29	0,23	0,17	0,29	0,34	0,30
4-5	0,13	-	0,12	0,26	0,17	0,23	0,18	0,41	0,25
5-6	0,14	-	0,15	0,17	0,19	0,17	0,05	0,21	0,15
6-7	0,20	-	0,20	0,23	0,14	0,42	0,24	0,23	0,25
7-8	0,34	-	0,32	0,30	0,40	0,45	0,22	0,34	0,25
8-9	-	-	0,35	0,28	0,11	0,33	0,20	0,34	0,25
9-10	-	-	0,14	0,28	0,14	0,13	0,27	0,34	0,25
10-11	0,17	-	0,13	0,36	0,20	0,16	0,43	0,38	0,50
11-12	-	-	0,23	0,27	0,27	0,18	0,29	0,46	0,45
12-13	-	-	0,39	0,40	0,56	0,46	0,34	0,70	0,50
13-14	-	-	0,68	0,52	0,78	0,54	0,22	0,53	0,45
14-15	0,55	-	0,74	0,77	0,52	0,63	0,25	0,58	0,40
15-16	0,14	-	0,50	0,37	0,17	0,47	0,29	0,58	0,35
16-17	0,26	-	0,29	0,37	0,25	0,24	0,31	0,58	0,35
17-18	0,20	-	0,44	0,20	0,16	0,24	0,42	0,83	0,45
18-19	0,20	-	0,24	0,12	0,33	0,18	0,28	0,39	0,20
19-20	0,19	-	0,29	0,19	0,54	0,61	0,16	0,33	0,15
20-21	0,33	-	0,35	0,27	0,65	0,47	0,36	0,54	0,30
21-22	0,43	-	0,71	0,38	0,37	0,41	0,30	0,54	0,35
22-23	-	-	0,52	0,42	0,38	0,32	0,47	0,54	0,30
23-24	0,19	-	0,31	0,42	0,15	0,25	0,41	0,54	0,45
24-25	-	0,28	0,29	0,26	0,09	0,34	0,31	0,74	0,25
25-26	-	0,52	0,25	0,50	0,81	0,26	0,47	0,70	0,65
26-27	-	0,33	0,68	0,59	0,36	0,84	0,76	0,35	0,60
27-28	-	0,22	0,24	0,59	0,30	0,22	0,62	0,35	0,50
28-29	-	0,27	0,20	0,15	0,29	0,18	0,09	0,35	0,10
29-30	-	0,48	0,49	0,45	0,48	0,47	0,10	0,35	0,10
30-31	-	0,82	0,71	0,45	0,97	0,38	0,20	0,35	0,30
31- 1	-	0,17	0,19	0,46	-	0,57	0,18	0,37	0,25
Moy.	0,23	0,33	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,45	0,23

TABLEAU II

INDICE DE RADIOACTIVITE  $\beta$  A VIE LONGUE DES POUSSIÈRES ATMOSPHERIQUES  
Après 5 jours de décroissance du filtre en picocurie par mètre cube d'air T.P.N.  
MAI 1965

DATE Juin	LA HAGUE	GUYANCOURT	SACLAY	LE BOUCHET	MONTS D'ARREE	CHINON	GRENOBLE	MARCOULE	CADARACHE
1-2	-	0,34	0,49	0,30	-	0,24	0,67	1,35	0,50
2-3	-	0,46	0,47	0,54	-	0,72	0,52	0,71	0,40
3-4	-	0,51	0,38	0,26	-	0,66	0,34	0,63	0,30
4-5	-	0,65	0,83	0,68	-	0,86	0,15	0,52	0,20
5-6	-	0,94	0,86	0,52	-	0,75	0,38	0,52	0,15
6-7	-	0,44	0,44	0,52	-	0,46	0,51	0,52	0,60
7-8	-	0,46	0,41	0,34	-	0,43	0,25	0,52	0,25
8-9	-	0,28	0,27	0,31	-	0,24	0,18	0,38	0,15
9-10	-	0,34	0,33	0,27	-	0,31	0,20	0,40	0,20
10-11	-	0,78	0,71	0,68	0,44	0,31	0,08	0,38	0,15
11-12	-	0,77	0,63	0,61	0,31	0,62	0,56	0,76	0,35
12-13	-	0,93	0,61	0,82	0,35	0,84	0,56	0,76	0,40
13-14	-	0,80	0,83	0,82	0,42	0,98	0,68	0,76	0,45
14-15	-	1,38	1,34	1,33	0,95	1,44	1,10	1,39	0,65
15-16	0,47	1,05	1,16	1,33	0,99	0,90	1,20	1,25	0,65
16-17	0,38	-	0,75	0,53	0,73	0,52	0,89	1,08	0,65
17-18	0,26	0,59	0,57	0,57	0,36	0,61	0,70	0,85	0,80
18-19	0,30	0,94	0,85	0,80	0,48	0,73	0,76	0,74	0,85
19-20	0,46	0,92	1,05	1,36	0,72	0,86	0,58	0,74	0,50
20-21	0,69	1,66	1,65	1,36	0,75	1,02	0,64	0,74	1,25
21-22	0,46	0,89	0,29	0,92	0,94	0,83	1,20	2,10	1,05
22-23	0,38	0,42	0,47	0,45	0,48	0,18	0,62	1,30	0,90
23-24	0,33	0,84	0,74	0,61	0,45	0,58	0,73	0,91	0,65
24-25	0,60	1,10	1,18	1,14	0,38	1,28	0,53	0,95	0,60
25-26	-	1,12	1,07	1,20	0,64	1,05	0,54	0,84	0,55
26-27	-	0,68	0,72	0,56	0,54	0,76	0,62	0,84	0,40
27-28	0,24	0,54	0,52	0,56	0,46	0,76	0,60	0,84	0,40
28-29	0,26	0,33	0,35	0,55	0,22	0,74	0,53	1,00	0,40
29-30	-	1,13	-	1,10	0,26	1,15	0,40	0,75	0,30
30-1	0,67	0,88	0,91	0,92	0,43	0,83	0,25	0,75	0,35
Moy.	0,43	0,76	0,72	0,73	0,54	0,72	0,57	0,84	0,50

TABEAU III

INDICE DE RADIOACTIVITE  $\beta$  A VIE LONGUE DES POUSSIÈRES ATMOSPHERIQUES  
Après 5 jours de décroissance du filtre en picocurie par mètre cube d'air T.P.N.

JUIN 1965

DATE Juil.	LA HAGUE	GUYANCOURT	SACLAY	LE BOUCHET	MONTS D'ARREE	CHINON	GRENOBLE	MARCOULE	CADARACHE
1-2	0,52	0,51	0,49	0,44	-	0,57	0,23	0,80	0,35
2-3	0,64	0,81	0,75	0,71	-	0,88	0,35	0,70	0,25
3-4	0,42	0,48	0,48	0,48	-	0,80	0,38	0,70	0,30
4-5	0,45	0,37	0,35	0,48	-	0,55	0,52	0,70	0,40
5-6	0,62	0,76	0,80	0,68	-	0,63	0,66	1,10	0,45
6-7	0,63	1,09	1,10	1,11	-	1,07	0,41	1,30	0,70
7-8	0,64	0,85	0,87	0,73	-	0,86	0,29	1,10	0,65
8-9	0,17	0,28	0,30	0,26	-	0,52	0,42	0,60	0,40
9-10	0,64	0,34	0,33	0,27	-	0,50	0,50	0,80	0,50
10-11	0,30	0,39	0,32	0,37	-	0,29	0,45	0,80	0,55
11-12	0,21	0,30	0,27	0,37	-	0,39	0,42	0,80	0,45
12-13	0,59	0,46	0,44	0,35	-	0,47	0,43	0,77	0,45
13-14	0,49	0,66	0,65	0,48	-	0,65	0,43	0,90	0,45
14-15	0,13	0,43	0,45	0,48	-	0,33	0,52	0,90	0,55
15-16	0,14	0,15	0,16	0,19	-	0,22	0,36	0,67	0,40
16-17	0,33	0,27	0,26	0,22	-	0,21	0,16	0,16	0,25
17-18	0,40	0,37	0,37	0,30	-	0,46	0,21	0,16	0,15
18-19	0,39	0,36	0,31	0,30	-	0,29	0,07	0,16	0,15
19-20	0,38	0,29	0,29	0,28	-	0,37	0,16	0,25	0,20
20-21	0,43	0,14	0,14	0,16	-	0,09	0,09	0,19	0,10
21-22	0,40	0,25	0,22	0,22	-	0,25	0,09	0,27	0,10
22-23	0,22	0,25	0,25	0,24	-	0,27	0,14	0,30	0,05
23-24	0,15	0,31	0,32	0,26	-	0,29	0,17	0,31	0,15
24-25	0,23	0,29	0,29	0,26	-	0,34	0,16	0,31	0,20
25-26	0,25	0,26	0,28	0,26	-	0,31	0,19	0,31	0,15
26-27	0,20	0,15	0,16	0,13	-	0,24	0,18	0,32	0,20
27-28	0,65	0,32	0,35	0,36	-	0,33	0,17	0,33	0,15
28-29	0,45	0,40	0,46	0,34	-	0,38	0,24	0,48	0,20
29-30	0,22	0,23	0,21	0,20	-	0,22	0,24	0,37	0,20
30-31	0,21	0,07	0,13	0,13	-	0,13	0,19	0,23	0,15
31-1	0,24	0,12	0,15	-	-	0,17	0,42	0,23	0,15
Moy.	0,38	0,44	0,38	0,41	-	0,42	0,30	0,55	0,30

TABEAU IV

INDICE DE RADIOACTIVITE  $\beta$  A VIE LONGUE DES POUSSIÈRES ATMOSPHERIQUES  
Après 5 jours de décroissance du filtre en picocurie par mètre cube d'air T.P.N.

JUILLET 1965

DATES Mai-Juin-Juillet 1965		INDICE β TOTAL pCi/m <sup>3</sup>	RADIOELEMENTS									
PRELEVEMENTS	COMPTAGE		<sup>144</sup> Ce+ <sup>144</sup> Pr		<sup>141</sup> Ce		<sup>131</sup> I		<sup>125</sup> Sb		<sup>7</sup> Be	
			Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 au 7/5	10/5	0,164	0,079	48	0	0	0	0	0,008	4,6	-	-
7 au 13/5	16/5	0,256	0,119	46	0	0	0	0	0,011	4,3	-	-
13 au 19/5	22/5	0,480	0,126	26	0	0	0	0	0,011	2,2	-	-
19 au 25/5	28/5	0,408	0,128	31	0	0	0	0	0,010	2,5	-	-
25 au 1/6	3/6	0,435	0,155	36	0,009	2,1	0,028	6,5	0,006	1,3	-	-
31 au 3/6	7/6	0,344	0,133	39	0,005	1,6	0,003	0,8	0,007	2,1	0,127	-
3 au 4/6	9/6	0,483	0,126	26	0,013	2,6	0,008	1,7	0,008	1,5	0,105	-
4 au 5/6	10/6	0,830	0,210	25	0,028	3,3	0,010	1,3	0,012	1,4	0,161	-
5 au 6/6	11/6	0,945	0,227	24	0,037	3,9	0,010	1,0	0,012	1,2	0,155	-
6 au 8/6	13/6	0,450	0,126	28	0,010	2,3	0,003	0,8	0,006	1,4	0,131	-
8 au 11/6	15/6	0,470	0,141	30	0,008	1,7	0,004	0,8	0,006	1,4	0,093	-
11 au 16/6	19/6	1,000	0,250	25	0,054	5,4	0,010	1,0	0,014	1,4	0,330	-
16 au 21/6	24/6	0,940	0,155	16,5	0,056	6,0	0,010	1,1	0,013	1,4	0,217	-
21 au 26/6	29/6	0,860	0,164	19	0,057	6,6	0	0	0,009	1,1	0,250	-
26 au 1/7	4/7	0,675	0,169	25	0,034	5,1	0	0	0,014	2,1	0,210	-
1 au 6/7	9/7	0,595	0,174	29	0,036	6,0	0	0	0,010	1,7	0,223	-
6 au 11/7	14/7	0,593	0,140	24	0,041	7,0	0	0	0,009	1,5	0,158	-
11 au 16/7	19/7	0,400	0,112	28	0,003	2,3	0	0	0,005	1,2	0,135	-
16 au 21/7	24/7	0,290	0,087	30	0,009	3,1	0	0	0,004	1,5	0,139	-
21 au 26/7	29/7	0,276	0,074	27	0	0	0	0	0,004	1,5	0,088	-
26 au 1/8	4/8	0,221	0,076	34	0	0	0	0	0,004	1,7	0,112	-

Colonnes 5, 7, 9, 11, 13: pourcentages par rapport à l'activité β totale.  
Les activités des radioéléments sont ramenées à leur valeur au jour du comptage β total (Col.2).

TABLEAU Va

INDICE β GLOBAL A VIE LONGUE ET ACTIVITES RESPECTIVES DES PRINCIPAUX RADIOELEMENTS présents sur les filtres atmosphériques de SACLAY en mai 1965 et de GUYANCOURT en juin et juillet 1965

DATES Mai-Juin-Juillet 1965		INDICE β TOTAL pCi/m <sup>3</sup>	RADIOELEMENTS									
PRELEVEMENTS	COMPTAGE		<sup>106</sup> Ru + <sup>106</sup> Rh		<sup>137</sup> Cs		<sup>95</sup> Zr + <sup>95</sup> Nb		<sup>54</sup> Mn		<sup>140</sup> Ba + <sup>140</sup> La	
			Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%	Activité pCi/m <sup>3</sup>	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 au 7/5	10/5	0,164	0,030	18	0,014	8,6	0	0	0,004	2,6	0	0
7 au 13/5	16/5	0,256	0,054	21	0,023	8,9	0	0	0,006	2,2	0	0
13 au 19/5	22/5	0,480	0,068	14	0,028	5,9	0	0	0,008	1,7	0	0
20 au 25/5	28/5	0,408	0,076	18,5	0,028	6,9	0	0	0,010	2,4	0	0
25 au 1/6	3/6	0,435	0,074	17	0,020	4,6	0,025	5,7	0,007	1,7	0,022	5
31 au 3/6	7/6	0,344	0,067	19,5	0,020	6,0	0,018	5,1	0,007	2,1	0,028	8,0
3 au 4/6	9/6	0,483	0,083	17,0	0,014	2,8	0,030	6,2	0,005	1,1	0,032	6,7
4 au 5/6	10/6	0,830	0,115	14,0	0,028	3,4	0,059	7,1	0,006	0,7	0,080	9,7
5 au 6/6	11/6	0,945	0,165	17,5	0,030	3,2	0,081	8,6	0,008	0,9	0,071	7,5
6 au 8/6	13/6	0,450	0,088	19,5	0,021	4,6	0,009	1,9	0,006	1,3	0,036	8,0
8 au 11/6	15/6	0,470	0,071	15,0	0,023	5,0	0,018	3,8	0,007	1,4	0,030	6,3
11 au 16/6	19/6	1,000	0,164	16,5	0,034	3,4	0,072	7,2	0,011	1,1	0,081	8,1
16 au 21/6	24/6	0,940	0,094	10,0	0,026	2,7	0,065	6,9	0,005	0,5	0,120	12,8
21 au 26/6	29/6	0,860	0,097	11,0	0,023	2,7	0,055	6,5	0,004	0,5	0,097	11,4
26 au 1/7	4/7	0,675	0,089	13,0	0,023	3,4	0,044	6,6	0,005	0,7	0,054	8,0
1 au 6/7	9/7	0,595	0,070	11,8	0,024	4,0	0,057	9,6	0,003	0,5	0,048	8,1
6 au 11/7	14/7	0,593	0,080	13,4	0,021	3,5	0,035	5,9	0,003	0,5	0,045	7,5
11 au 16/7	19/7	0,400	0,037	9,2	0,020	5,0	0,015	3,8	0,004	0,9	0	0
16 au 21/7	24/7	0,290	0,046	16,0	0,017	5,7	0,010	3,5	0,002	0,8	0	0
21 au 26/7	29/7	0,276	0,045	16,4	0,018	6,4	0,005	1,8	0,003	1,0	0	0
26 au 1/8	4/8	0,221	0,033	14,8	0,015	6,8	0,005	2,2	0,004	1,6	0	0

Colonnes 5, 7, 9, 11, 13: pourcentages par rapport à l'activité β totale.  
Les activités des radioéléments sont ramenées à leur valeur au jour du comptage β total (col. 2).

TABLEAU Vb

INDICE β GLOBAL A VIE LONGUE ET ACTIVITES RESPECTIVES DES PRINCIPAUX RADIOELEMENTS présents sur les filtres atmosphériques de SACLAY en mai 1965 et de GUYANCOURT en juin et juillet 1965

# INDICE DE RADIOACTIVITÉ $\beta$ A VIE LONGUE DES POUSSIÈRES ATMOSPHÉRIQUES

à 1,50 mètre du sol

Saclay - C.E.N \_\_\_\_\_

Guyancourt -----

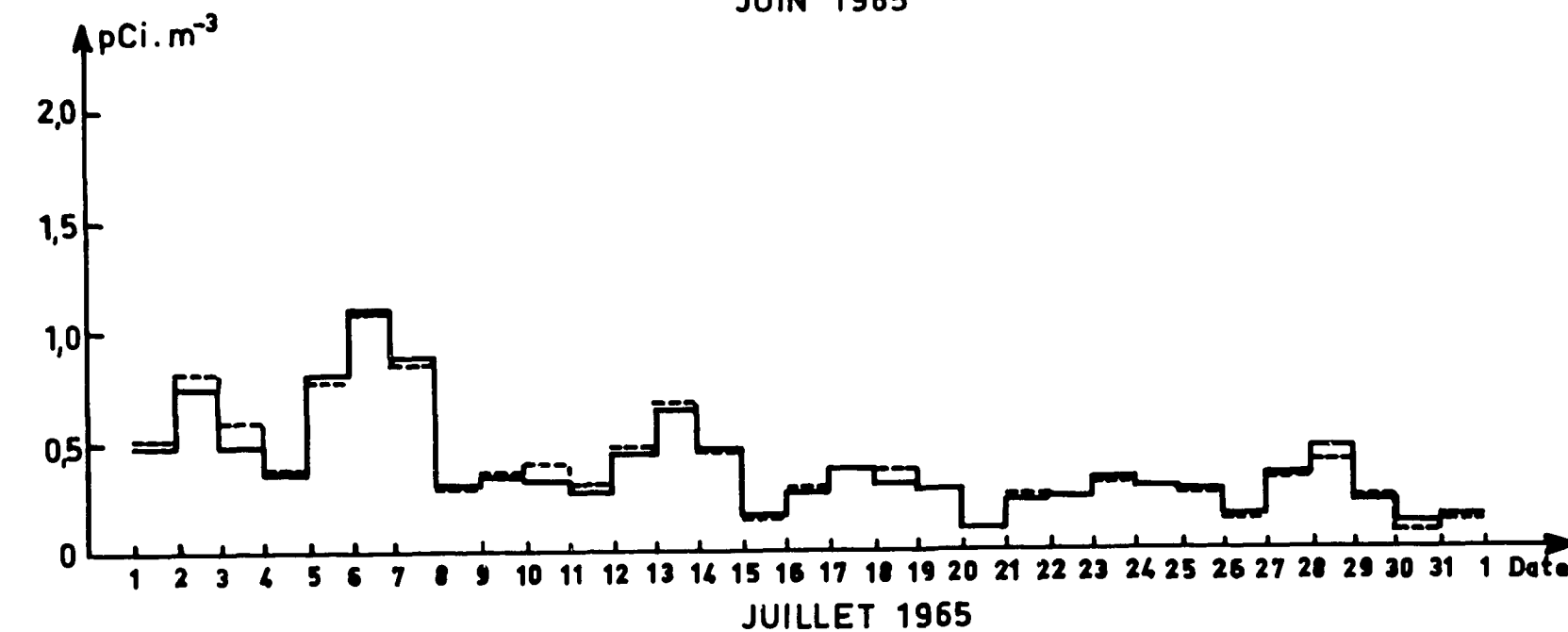
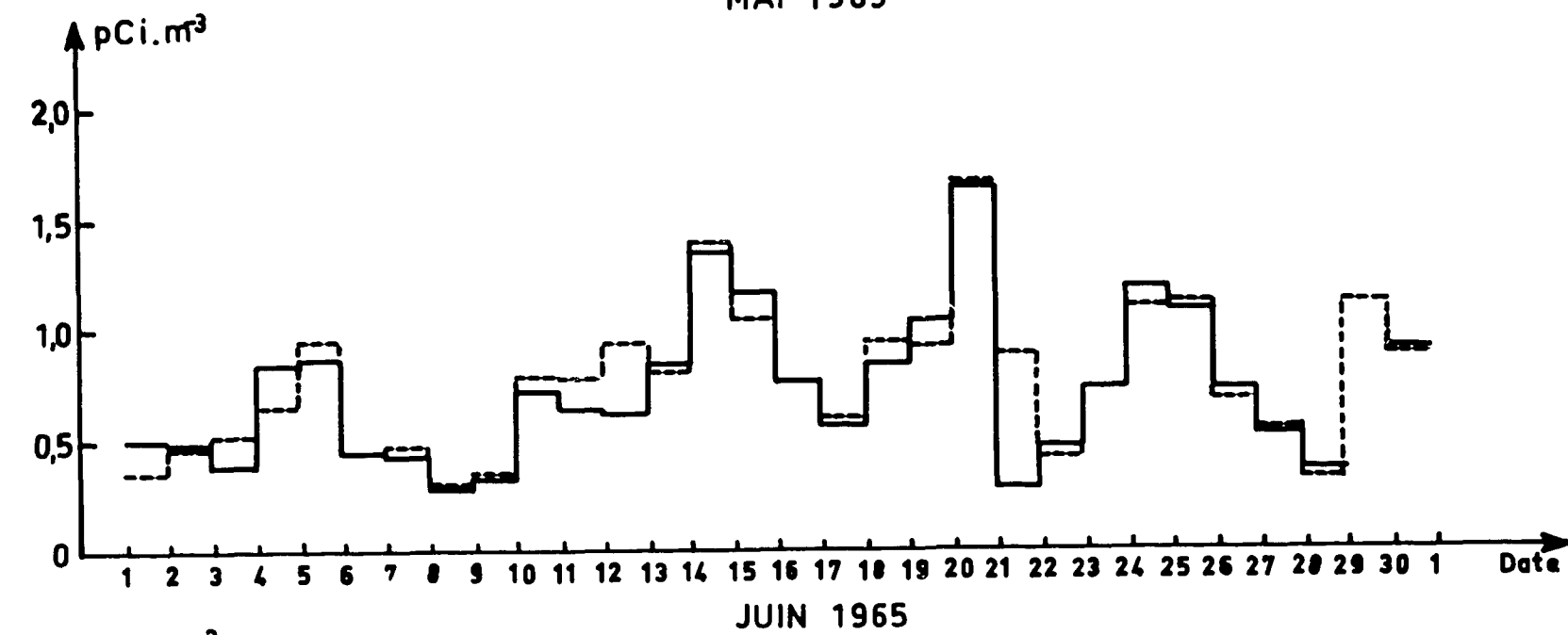
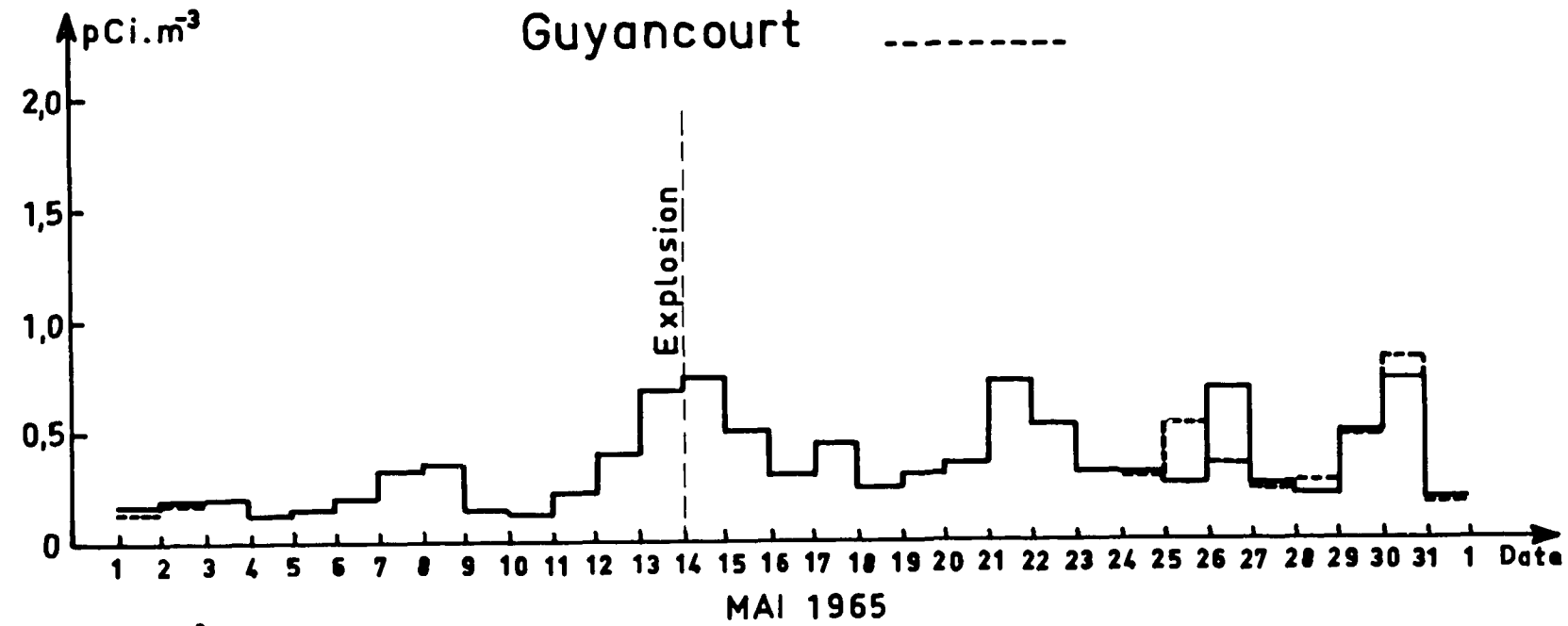


FIGURE 1 : Indice de radioactivité  $\beta$  globale à vie longue à SACLAY et à GUYANCOURT en mai, juin et juillet 1965.

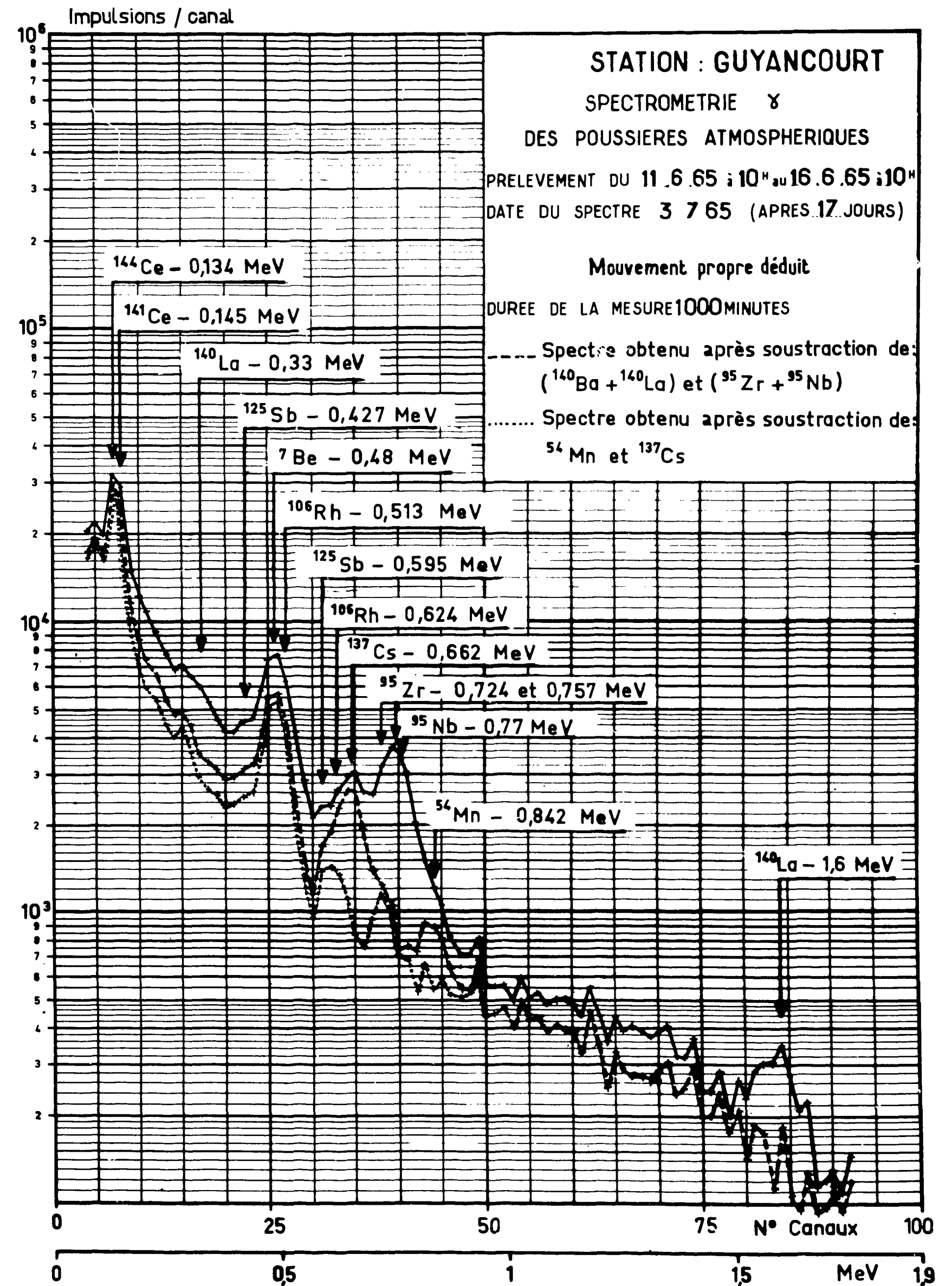


FIGURE 2 : Spectres  $\gamma$  des poussières atmosphériques prélevées à GUYANCOURT en juin 1965.

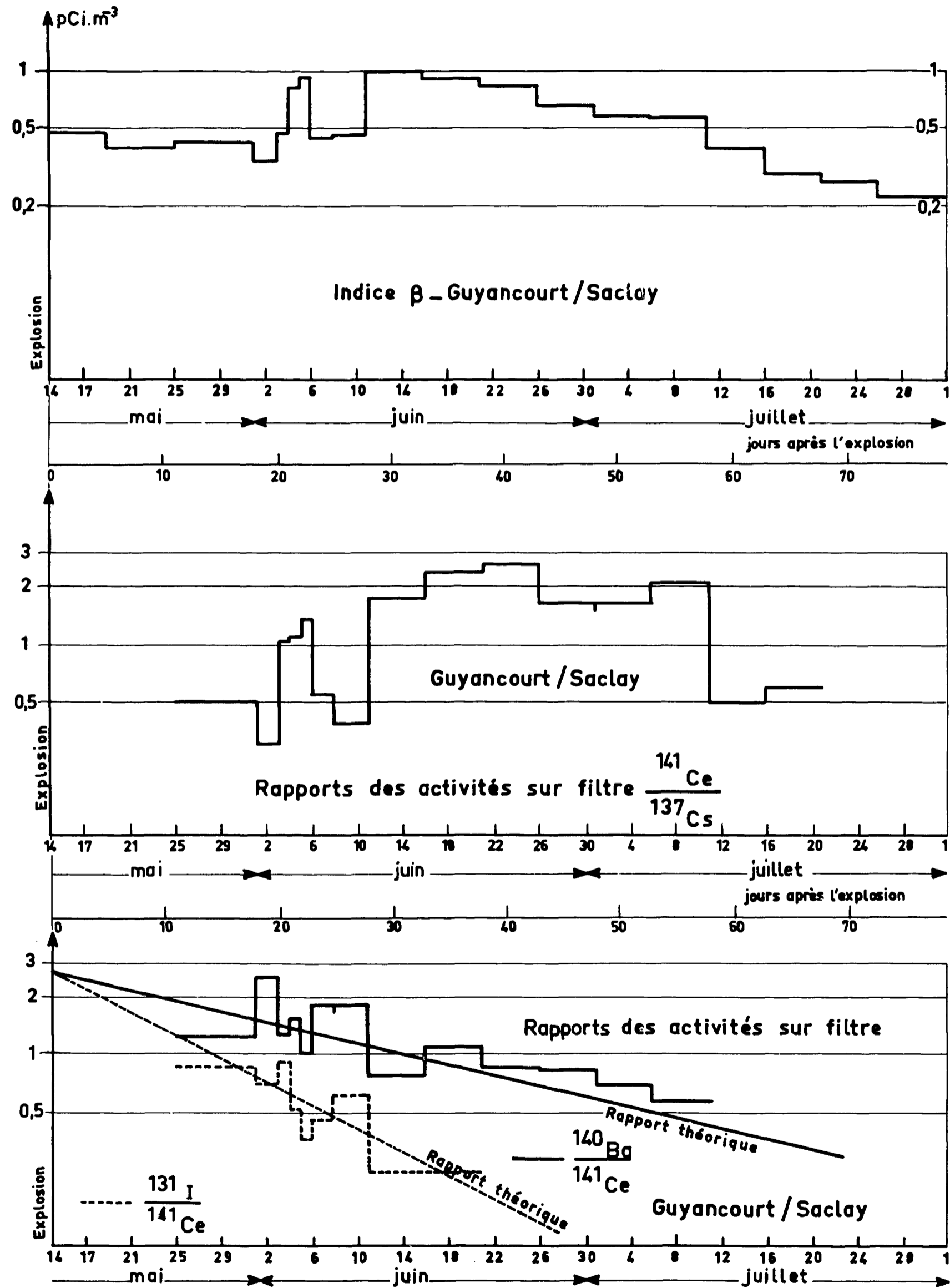


FIGURE 3 : Rapports des activités sur filtre de quelques radioéléments caractéristiques, à SACLAY et à GUYANCOURT entre le 14 mai et le 1er août 1965.

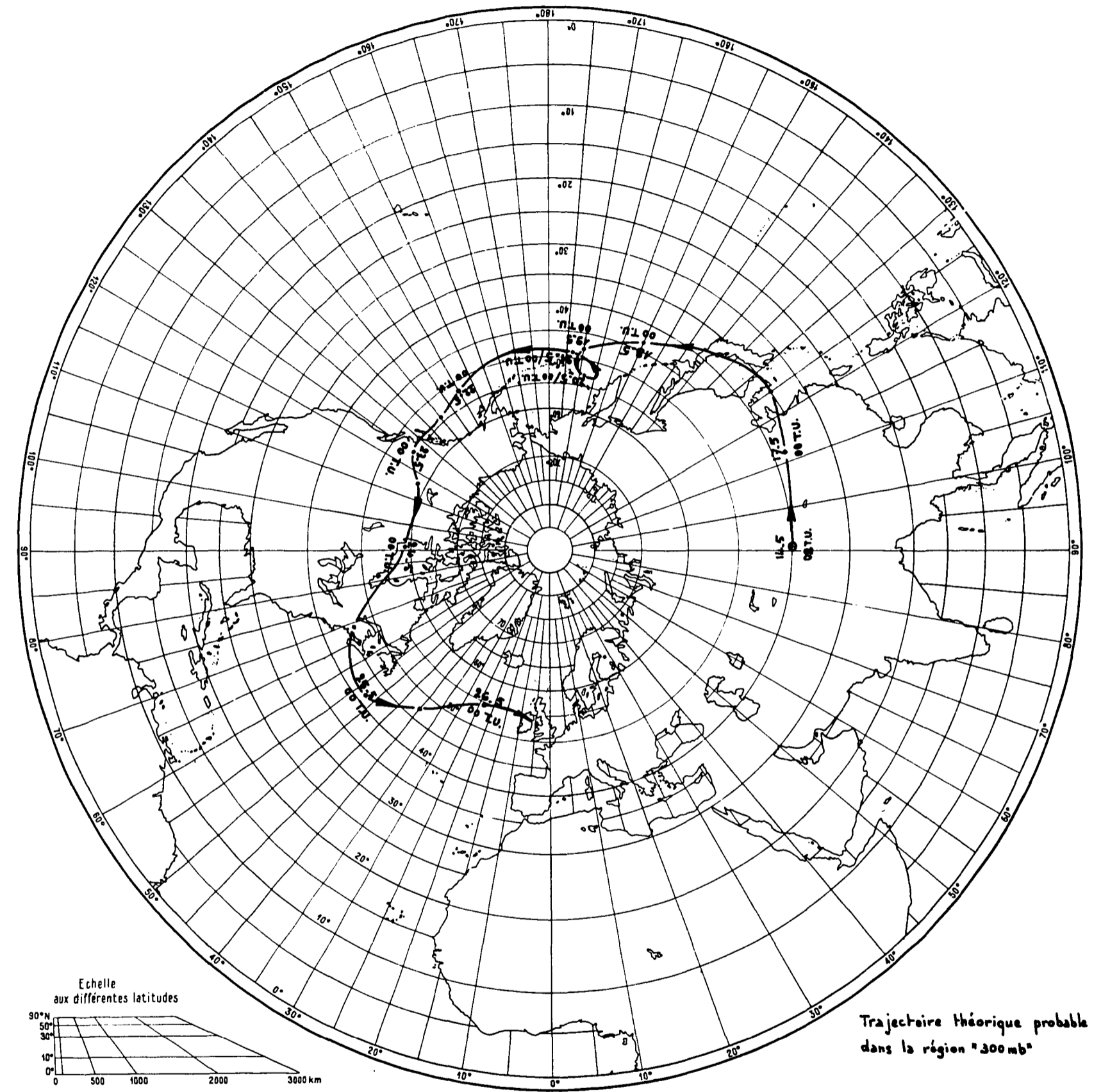


FIGURE 4 : Trajectoire probable à 300 mb (environ 9 km) des produits injectés dans l'atmosphère par l'explosion chinoise du 14 Mai 1965.

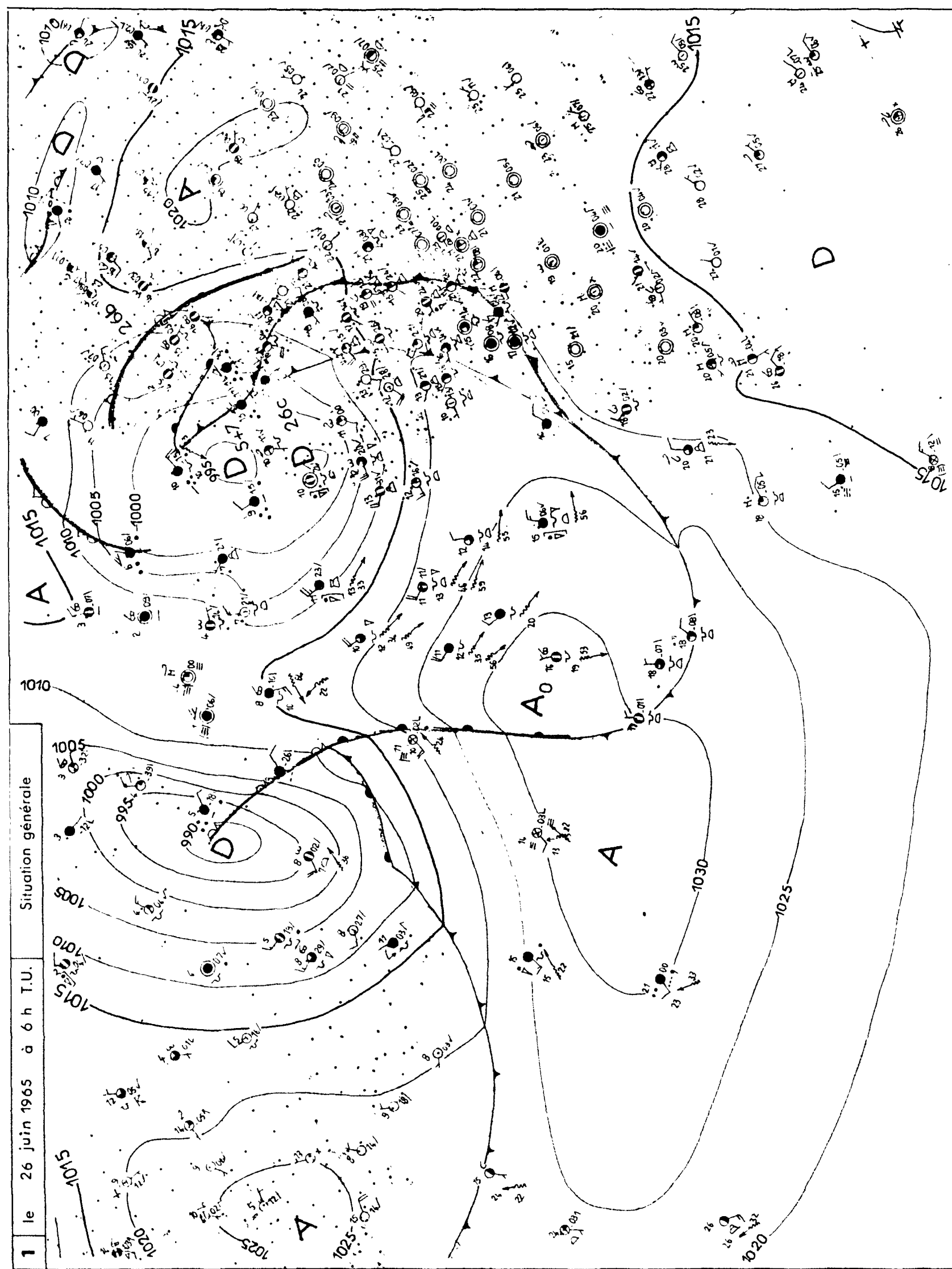


FIGURE 5 : Situation générale en surface le 26 juin 1965 à 6 h. T.U., extrait du Bulletin Quotidien d'Etudes de la Météorologie Nationale.

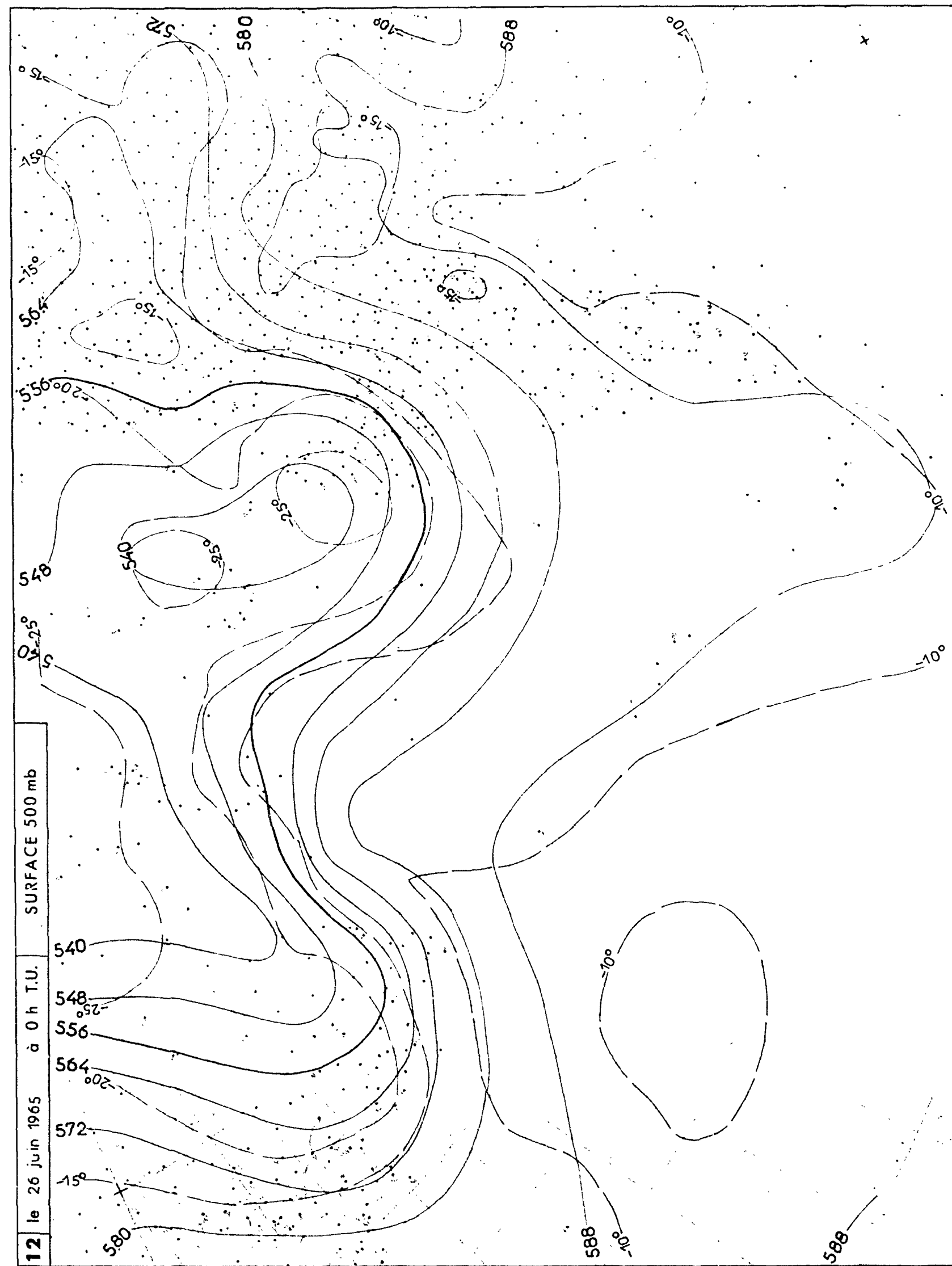


FIGURE 6 : Situation générale à 500 mb (entre 5400 et 5900 m) le 26 juin 1965 à 0 h. T.U., extrait du Bulletin Quotidien d'Etudes de la Météorologie Nationale (cas d'un maximum de pollution radioactive dans les basses couches).



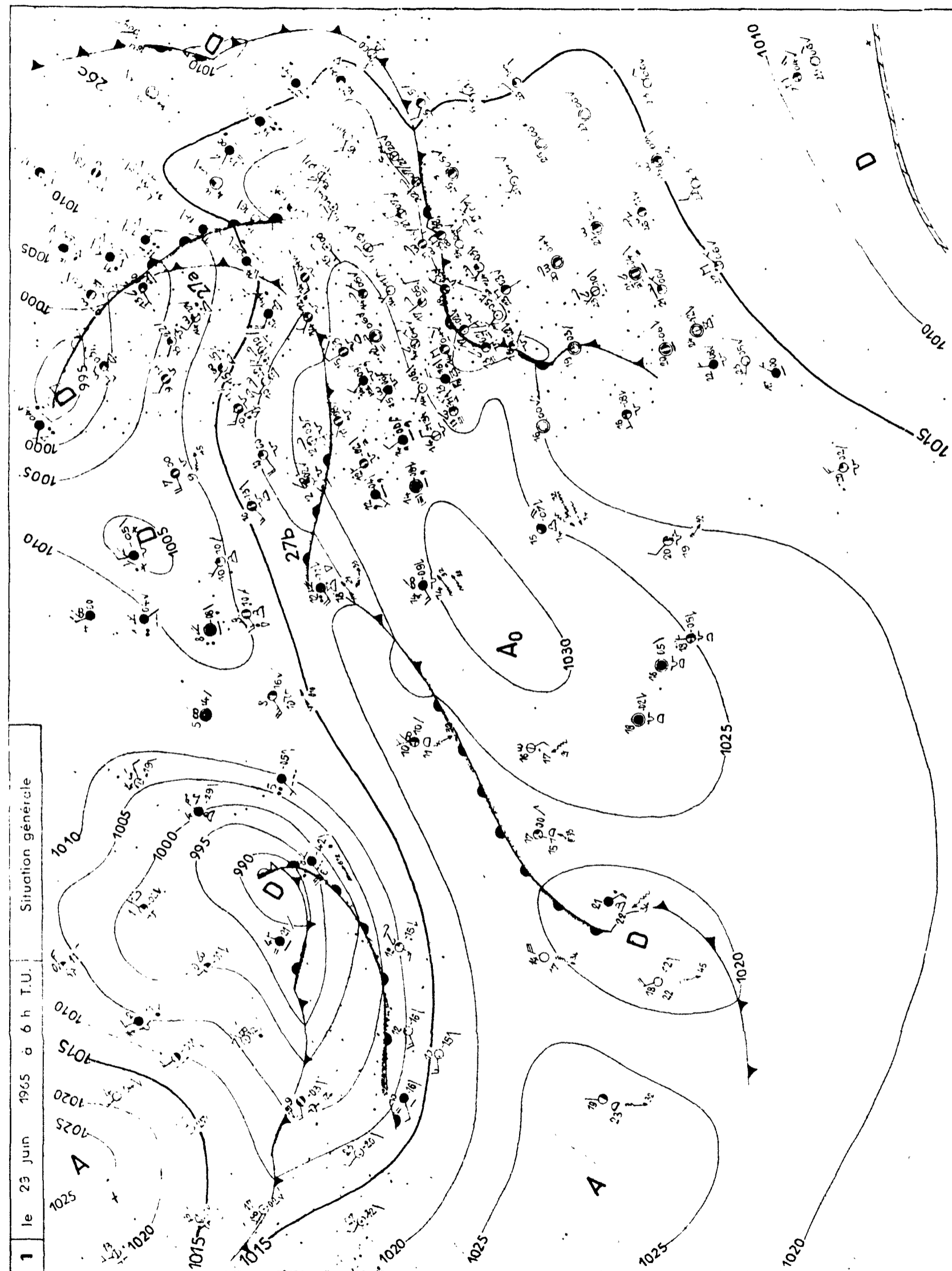


FIGURE 7 : Situation générale en surface le 26 juin 1965 à 6 h. T.U., extrait du Bulletin Quotidien d'Etudes de la Météorologie Nationale.

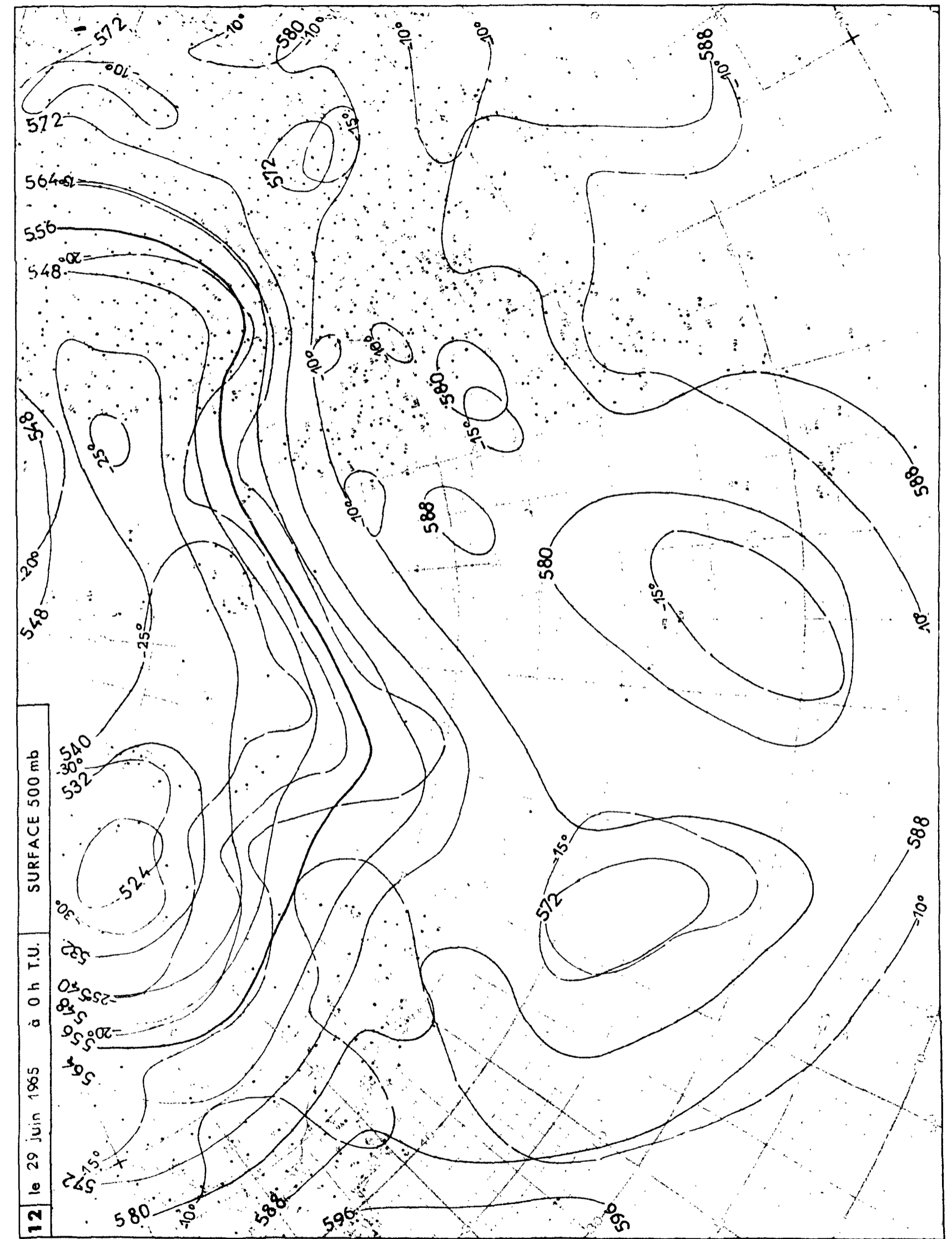


FIGURE 8 : Situation générale à 500 mb (entre 5200 et 6000 m) le 29 juin 1965 à 0 h. T.U., extrait du Bulletin Quotidien d'Etudes de la Météorologie Nationale (cas d'un minimum de pollution radioactive dans les basses couches).

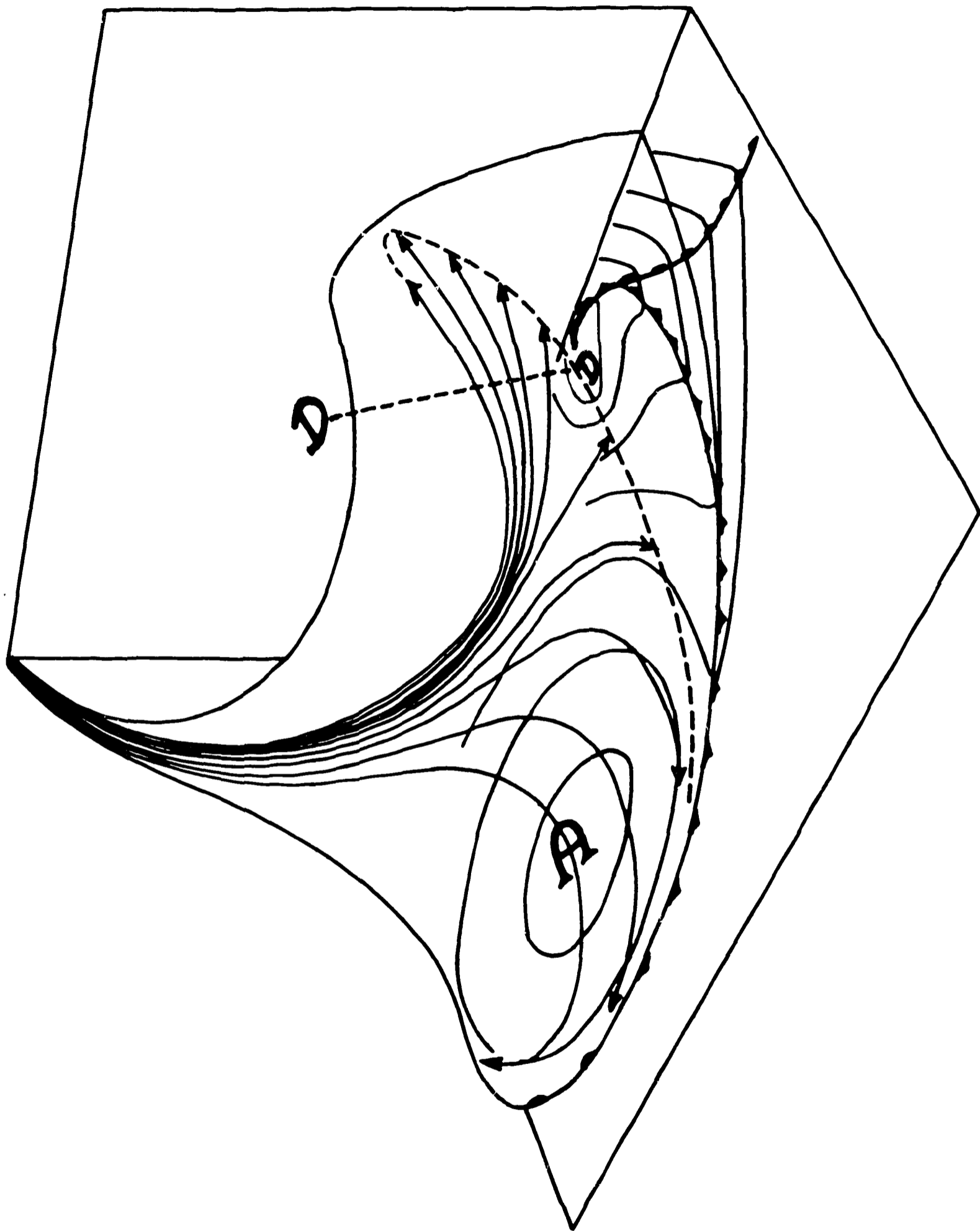


FIGURE 9 : Modèle de transfert direct de la stratosphère à la troposphère, le long d'un front froid d'une perturbation extratropicale avec cyclogénèse, d'après E.F. DANIELSEN (Project Springfield Report, DASA 1517).