

JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

PIERRE DUVERGÉ

Météorologie et environnement

Journal de la société statistique de Paris, tome 114 (1973), p. 187-205

http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1973__114__187_0

© Société de statistique de Paris, 1973, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

COMMUNICATION

MÉTÉOROLOGIE ET ENVIRONNEMENT

(Communication faite le 21 février 1973 devant la Société de statistique de Paris)

This paper shows the important action of meteorology in problems of surrounding and in their solutions : variations of climates, rain studies, atmospheric pollution. Its underlines the efforts of the National Meteorology linked with other organisations.

Dieser Artikel beschreibt die bedeutende Rolle, die die Meteorologie in den Problemen des Schutzes der Umgebung hat, sowie in der Lösung der diesbezüglichen Probleme : Entwicklung des Klimas, Regenhöhe, Verunreinigung der Atmosphäre. Der Verfasser unterstreicht den Anteil der staatlichen französischen Meteorologie auf diesem Gebiet in Verbindung mit den anderen daran interessierten Behörden.

Este artículo muestra la función importante de la meteorología en los problemas del medio ambiente de la naturaleza y en las soluciones que se pueden proyectar para darles; evolución del clima, pluviometría, polución atmosférica. Este artículo hace resaltar los esfuerzos de la Meteorología Nacional en este terreno, en relación con los otros servicios interesados.

L'oxygène étant à la base de toutes les formes de la vie sur terre, il est évident que la météorologie, science de l'atmosphère, est étroitement associée à l'écologie, science de la vie. Par voie de conséquence la météorologie a un rôle très important dans les problèmes liés à l'environnement, c'est-à-dire aux relations de l'homme avec son milieu, qu'il soit naturel ou le produit de l'humanisation progressive de notre globe.

On divise généralement les problèmes liés à l'environnement en deux catégories : ceux qui sont relatifs à l'eau d'une part, et à l'air d'autre part. Ils sont d'ailleurs interdépendants à de nombreux égards. Il est évident que d'une façon particulièrement essentielle la météorologie intervient dans les processus qui touchent à l'atmosphère, et qui sont intégrés dans la notion à la fois simpliste et complexe de climat.

Et bien c'est justement dans la surveillance de l'évolution des climats que se trouve l'une des tâches spécifiques des météorologistes. Il leur appartient en effet de déterminer les conséquences que peuvent avoir sur la distribution globale des paramètres climatologiques et sur les phénomènes météorologiques, les variations aussi faibles soient-elles, de la modification de la composition de l'air, du rayonnement solaire et de l'écologie de notre planète, car si la météorologie conditionne l'écologie, les modifications de celle-ci se répercutent sur la météorologie, par un effet d'ajustement permanent où s'entremêlent causes et effets.

Cependant ce n'est que depuis peu que les météorologistes ont pris conscience de ce rôle de surveillance et éventuellement d'alerte qui leur incombait. Un tel effort d'ailleurs ne pouvait se concevoir que dans un contexte international, car, il faut le rappeler, la météorologie ne connaît pas de frontières. Aussi est-ce sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale que s'organise cette action fondamentale; et divers groupes de travail, composés des spécialistes les plus éminents, étudient les problèmes sous leurs divers aspects, et s'efforcent d'interpréter les indications que l'on possède et de déterminer les conséquences, à diverses échelles de temps, des variations constatées.

Il faut cependant être bien conscient des difficultés du problème. Nous ne disposons en effet que de séries d'observations beaucoup trop courtes et très inégalement réparties sur le globe dont rappelons-le, les mers couvrent plus des deux tiers. Très rare sont les stations pour lesquelles la longueur des séries dépasse 150 ans. Encore ne portent-elles que sur quelques paramètres (pluie et température généralement). En outre il est difficile d'apprécier exactement la valeur de ces séries de mesures : bien souvent les appareils ont varié, leur emplacement, leur exposition également, et en outre leur environnement s'est modifié : les arbres ont poussé ou disparu, des immeubles ont été construits, le béton et le macadam ont proliféré. Il est donc très difficile d'apprécier la part qui revient aux modifications éventuelles du climat et aux perturbations artificielles des séries de mesures.

On ne peut donc se faire une opinion nette du sens de l'évolution que par la comparaison des séries de mesures, et en les corroborant avec l'observation de phénomènes naturels : variation des glaciers, du niveau des mers, de l'écologie, etc. Cependant même si l'on est convaincu de la réalité du réchauffement, ou du refroidissement constaté, il est hasardeux d'en attribuer les causes à l'action de l'homme. Notre globe est en effet soumis à d'incessantes variations de température dont les causes sont mal connues. Comme le montre la figure 1, la paléométéorologie, grâce à des méthodes diverses mais raisonnablement cohérentes, a mis en évidence, au cours des 300 000 dernières années, des variations sensibles et non cycliques des températures de notre globe, avec des amplitudes qui à nos latitudes sont de l'ordre de 8°. La fin de la dernière grande glaciation, celle de Würm, il y a moins de 10 000 ans,

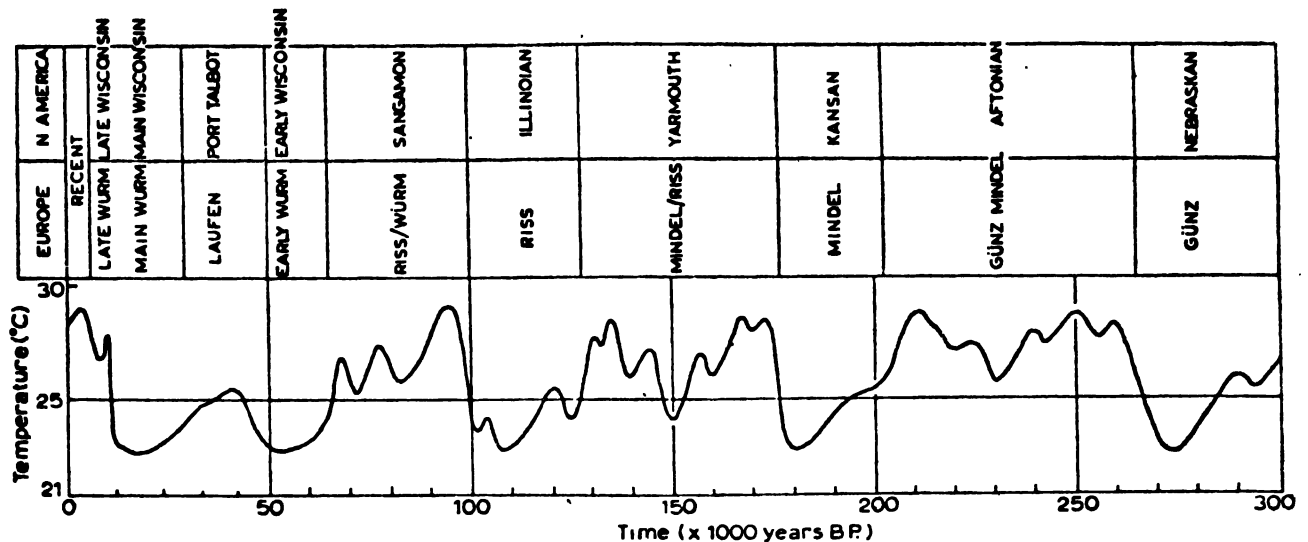


FIG. 1. — Température de la surface des eaux de l'Atlantique tropical au cours des 300 000 dernières années (d'après Emiliani)

a permis l'expansion de la race humaine dans nos régions. Depuis lors les variations demeurent incessantes, bien que d'importance plus limitée (fig. 2), et si une certaine tendance vers le réchauffement s'est manifestée dans les dernières décennies, il paraît hasardeux d'assurer qu'elle va se poursuivre voire s'amplifier. Bien plus, nous ignorons totalement les causes des variations climatiques du passé et aucune des hypothèses qui ont été avancées n'est pleinement convaincante. Il est toutefois évident que les activités humaines n'y sont pour rien.

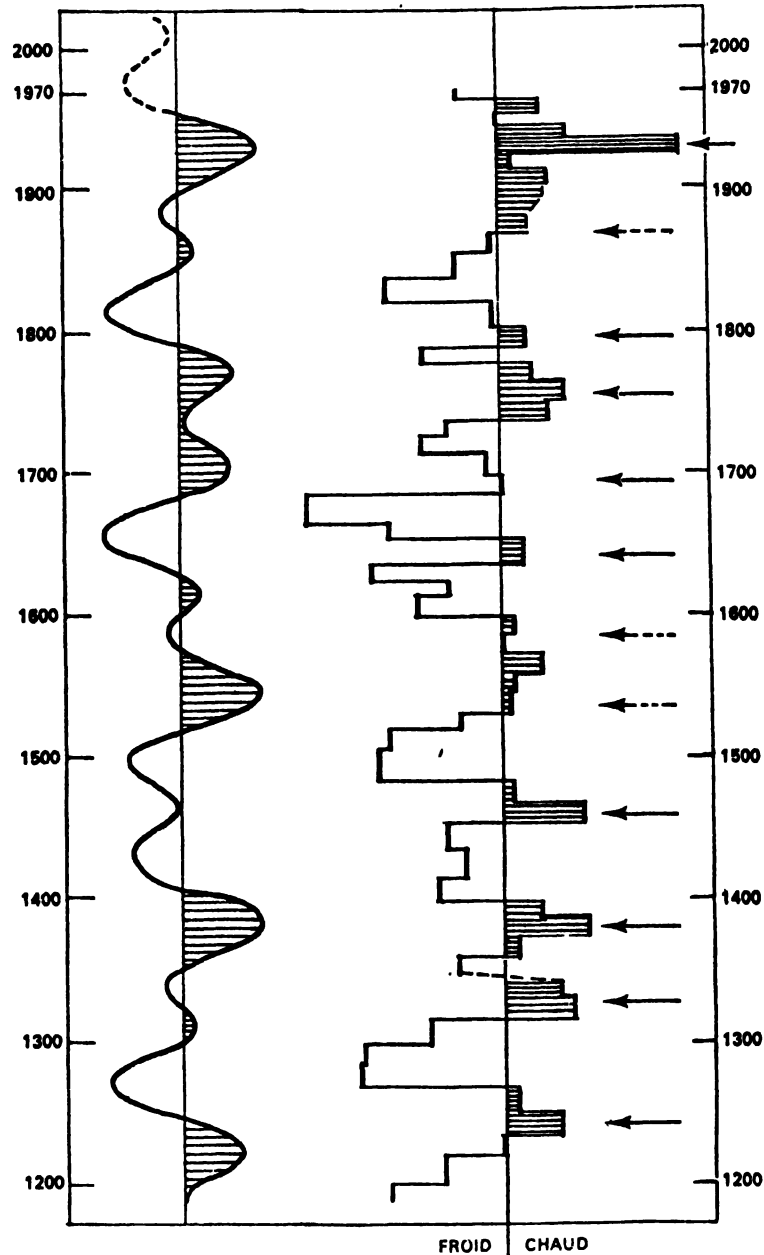


FIG. 2. — Variation de la température dans la zone polaire au cours des 1 200 dernières années (d'après *Sciences et Avenir*).

Tout ceci nous rend extrêmement prudents lorsqu'il s'agit de déterminer, et plus encore de prévoir, les incidences climatiques des très importantes et toujours croissantes perturbations que l'homme impose au milieu : déforestations, urbanisation, industrialisation, pollution des mers et des airs, etc. Certes, il est incontestable que tout ceci influe sur le climat, à l'échelle locale d'abord, puis régionale, et enfin globale, mais il est prématuré d'assurer dans quelles proportions.

La Météorologie nationale est parfaitement consciente du rôle qu'elle doit jouer dans cette conservation du climat et elle met actuellement en place un fichier d'une importance considérable, basé sur un réseau de stations de différents types, mais sans cesse plus dense et mieux équipé. Elle dispose aussi d'un centre automatique de traitement des données qui est l'un des plus puissants de France et qui, bien que destiné essentiellement aux tâches de prévision numérique, permet de mener à bien toutes études climatologiques. En outre nous resserrons actuellement notre collaboration avec les divers services chargés de la protection de la nature. Nous prenons place dans les comités scientifiques des parcs nationaux, nous collaborons étroitement avec l'INRA dans les recherches écologiques, nous participons activement à la protection de la forêt méditerranéenne et à la lutte contre les avalanches. Bref nous plaçons la météorologie au sein de toutes les équipes multidisciplinaires qui traitent de ce type de problèmes.

Nous n'insisterons que peu sur les problèmes liés à l'eau, bien que la météorologie intervienne de façon évidente dans la majeure partie de ce que l'on appelle le cycle de l'eau (évaporation, transports, condensation et précipitation tout au moins). Chacun sait d'ailleurs que les rapports entre météorologie et hydrologie deviennent chaque jour plus étroits, au point que dans de nombreux pays, les deux disciplines sont regroupées dans un même service. Nous signalerons cependant que, dans le fichier climatologique dont j'ai parlé tout à l'heure, la pluviométrie occupe une place de choix et qu'un organisme spécialisé, appelé le Bureau de l'eau, a été mis en place au sein de notre administration, sous l'égide du ministère de l'Environnement et plus précisément du secrétariat permanent pour l'Étude des problèmes de l'eau, et avec la collaboration de divers ministères et des agences financières de bassin. Nous collaborons également à divers titres avec le CNEXO, et plus particulièrement dans l'étude des échanges énergétiques air-mer sous leurs diverses formes. Par contre notre participation à la solution des problèmes de la pollution de la mer, qui sont si préoccupants, est encore fort peu développée. Si l'action des vents sur l'état de la mer est assez bien connue pour permettre l'élaboration de modèles opérationnels, les relations entre vents et courants demeurent bien imprécises, et leurs conséquences sur les transports des nappes polluantes superficielles davantage encore. Mais il est un fait primordial et généralement très méconnu : c'est que, selon les estimations récentes, 80 % environ de la pollution de la mer est d'origine atmosphérique. Ainsi donc la lutte contre la pollution de la mer, dépend pour une part prépondérante de la lutte contre la pollution de l'air. Nous rejoignons donc ici le domaine de l'atmosphère qui est, je le répète, le domaine de prédilection des météorologistes.

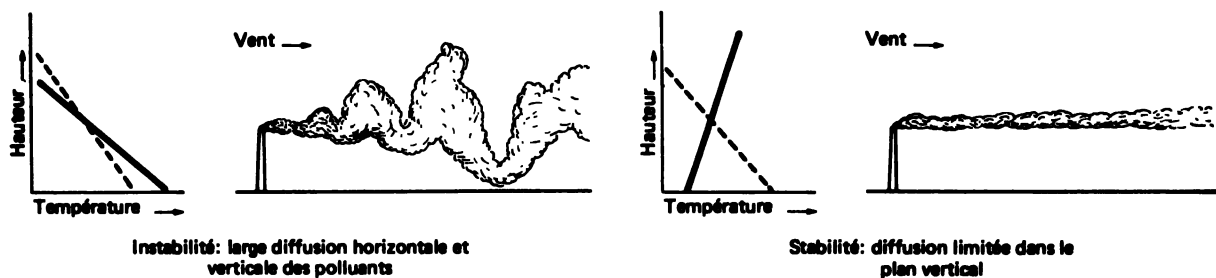
Ce n'est qu'au cours des dernières années que sont apparus dans toute leur ampleur les problèmes de l'environnement, et notamment ceux liés à la pollution atmosphérique. Une heureuse concordance a voulu que ce soit dans le même temps que la Météorologie, trop longtemps confinée dans des tâches d'assistance aéronautique et d'information du public, a pris conscience de ses possibilités dans de nombreux domaines et a pu disposer des moyens permettant de commencer à envisager de satisfaire sa nombreuses clientèle potentielle. La mise en œuvre de calculateurs puissants, de moyens de transmission ultrarapides,

le développement des techniques satellitaires, le progrès de l'instrumentation permettent désormais de tirer tout le fruit des recherches théoriques qui se sont développées depuis le début du siècle et donnent progressivement place à la météorologie parmi les sciences majeures. Aussi est-ce tout naturellement que les météorologistes se trouvent associés, chaque jour plus étroitement, à l'étude des problèmes de l'environnement.

Leur action peut, et doit, se faire sur deux plans différents. Sur un plan préventif tout d'abord en donnant toutes indications utiles, aux services de l'Aménagement du territoire, aux urbanistes, aux industriels pour tirer le meilleur parti des particularités climatiques du lieu lors de l'élaboration de leurs projets et limiter dans toute la mesure du possible les nuisances pour les populations concernées. Sur le plan curatif d'autre part, pour aider à pallier les conséquences des installations industrielles existantes, ou simplement de l'urbanisation inévitable. On sait en effet que, tout au moins en hiver, les foyers domestiques constituent l'élément essentiel de la pollution due aux oxydes de carbone et aux suies, et que la circulation automobile urbaine est également lourdement responsable des polluants carboniques et nitreux. Les deux tâches dont nous venons de parler s'imbriquent d'ailleurs puisque les études préalables ne peuvent en aucun cas supprimer la cause même des nuisances et notamment de la pollution.

Il convient maintenant de préciser un peu les choses et de voir comment s'opère cette action de la météorologie dans les deux domaines conjoints de l'aménagement du territoire et de la lutte contre la pollution.

On peut diviser la vie d'une particule polluante en 3 stades : l'émission, le transport, la retombée. La météorologie est concernée essentiellement par les transports et accessoire-



Représentation schématique de la diffusion des effluents en fonction de la stabilité verticale

trait renforcé : température de l'air
 trait tiré : adiabatique sèche (décroissance de 0,9°C pour 100 mètres)

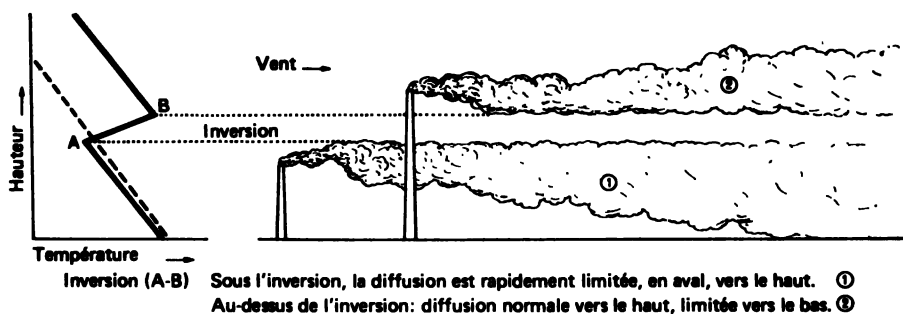


FIG. 3

ment par la retombée. Celle-ci est en effet grandement facilitée par les précipitations qui déterminent un véritable lessivage de l'atmosphère. La présence d'une humidité forte dans l'air, peut également agir sur des particules hygroscopiques pour déterminer la formation de gouttelettes qui retombent plus rapidement que dans le cas d'un air plus sec. Mais le problème des transports est entièrement lié aux paramètres météorologiques et notamment à deux d'entre eux :

- le vent dont la direction et la vitesse dirigent les transports dans les plans horizontaux;
- la structure thermique de l'air qui gouverne les transports dans le sens vertical.

Je ne voudrais pas entrer ici dans des considérations théoriques et me bornerai à dire que plus la décroissance de température avec l'altitude est rapide, plus l'atmosphère est favorable au développement des mouvements verticaux, donc à la diffusion en altitude des polluants émis au voisinage du sol. La figure 3 illustre les effets de la structure thermique des basses couches de l'air sur le panache d'une fumée polluante.

Les météorologistes distinguent ainsi 4 types de structures selon la valeur du gradient vertical de la température (fig. 4) :

- si ce gradient est supérieur à 1° par 100 m rien ne s'oppose aux transports vers le haut, il y a *instabilité*;

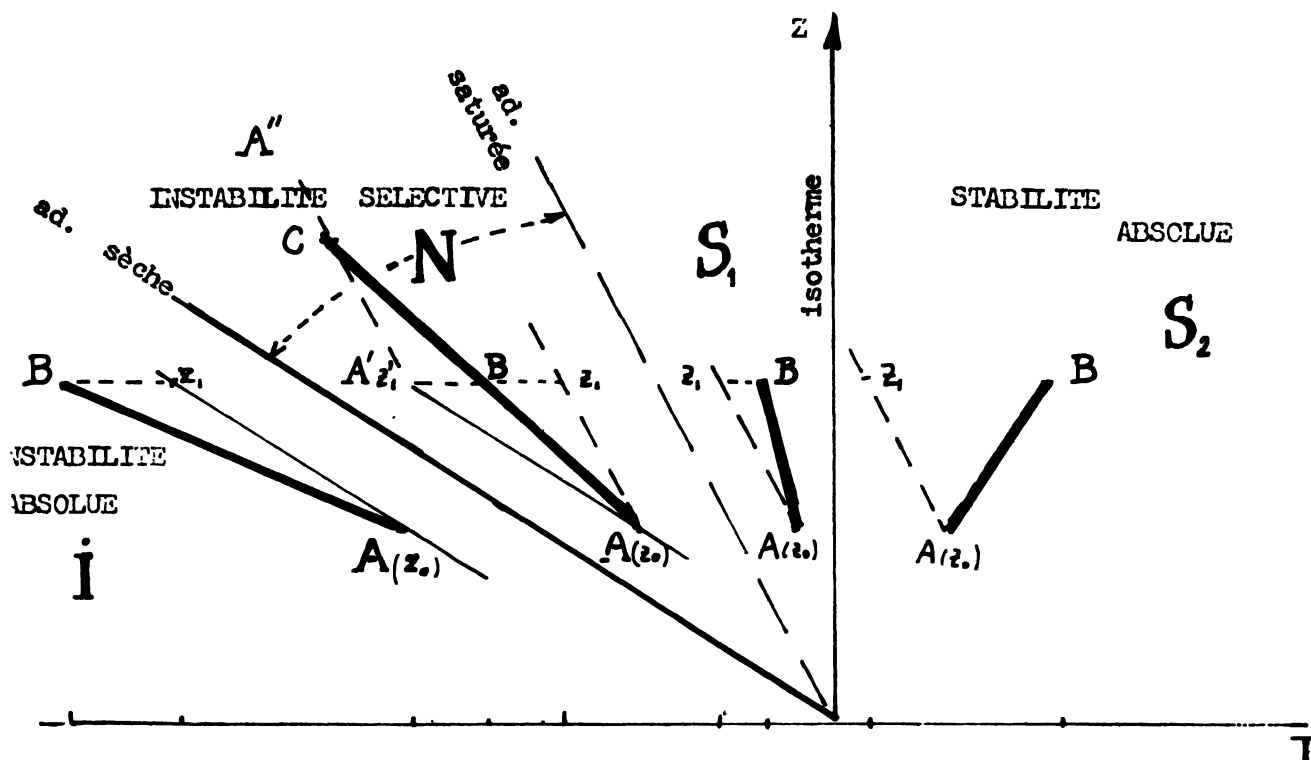
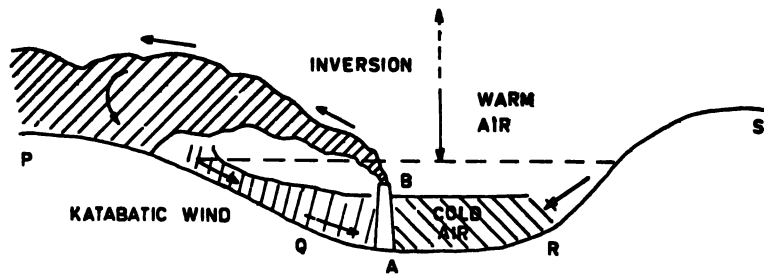
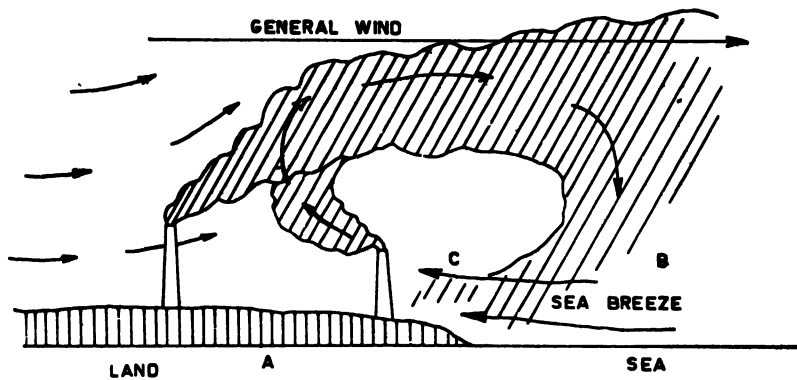


FIG. 4. — Variation de la stabilité de l'air en fonction du gradient thermique vertical. La droite AB schématise l'état réel de la température dans 4 hypothèses. A partir de A (niveau Z_0) la particule d'air ascendante s'élève jusqu'au niveau Z_1 . Elle poursuit son mouvement si elle est plus chaude, donc plus légère que l'air ambiant. Il y a stabilité si AB est à droite de Z_0Z_1 et instabilité si elle est à gauche. Dans le cas de l'instabilité sélective la particule s'élève selon l'adiabatique sèche jusqu'au point de condensation (Z'_1) puis selon l'adiabatique saturée. Il y a donc instabilité si la particule atteint le niveau C .



ACCUMULATION OF POLLUTANT IN A VALLEY



EFFECT OF SEA BREEZE.

FIG. 5. — Schématisation des effets des phénomènes de brise sur la pollution, en haut : brise de vallée, en bas : brise de mer

— s'il est compris entre 1° et $0,65^\circ$ par 100 m, il y a « neutralité » ou encore « instabilité sélective » c'est-à-dire qu'elle varie avec l'humidité de l'air. Disons pour simplifier que les mouvements verticaux ne se développeront que s'ils sont assez forts pour atteindre le niveau de condensation;

— si le décroissement de la température est inférieur à $0,65^\circ$ pour 100 m, les mouvements verticaux ne peuvent se développer et il y a stabilité. Mais cette stabilité sera particulièrement forte si le gradient devient négatif c'est-à-dire si la température augmente avec l'altitude. Il y a alors ce que l'on appelle une inversion de température.

On voit ainsi que les conditions de diffusion sont particulièrement défavorables, donc que la pollution sera forte, lorsque les vents sont faibles et qu'il existe une inversion de température, les deux phénomènes étant d'ailleurs fréquemment concomitants.

Or les vents faibles sont assez fréquents dans nos régions, et les inversions de température sont loin d'être rares. Elles peuvent être dues à la situation météorologique générale et c'est le cas des périodes anticycloniques généralisées qui peuvent s'étendre à l'échelle d'un continent et persister durant des périodes fort longues. C'est alors que se produisent



les accumulations de pollution qui peuvent devenir très sérieuses et provoquer des troubles pathologiques graves, conduisant dans les cas extrêmes à une mortalité importante. Mais il existe aussi des inversions moins généralisées. Ce sont notamment celles qui sont dues au fait que la nuit le sol se refroidit plus vite que l'air qui le surmonte. Ces inversions de rayonnement sont de règle par les nuits claires et, en saison froide, elles peuvent persister durant la majeure partie de la journée. Cependant de très nombreux facteurs locaux peuvent influencer sur les conditions dans lesquelles se produisent ces inversions, sur leur amplitude ainsi que sur leur durée; l'orographie, la nature des sols, celle du couvert végétal sont parmi les plus importants de ces facteurs et vont conditionner toute la structure thermique des basses couches et par conséquent les conditions de diffusion. Le régime des vents lui-même est sujet à des perturbations locales, qui s'ajoutent aux effets thermiques et en découlent partiellement. Les plus importants de ces phénomènes sont ce que l'on appelle (fig. 5) les brises. Chacun connaît l'alternance classique des brises de terre et de mer, due à l'échauffement différentiel des sols et de l'eau; elles sont particulièrement marquées en saison chaude et dans les régions méditerranéennes. Le diagramme de la figure 6 met en évidence l'extrême importance de ce phénomène sur la pollution. Au passage du « front de brise », c'est-à-dire au moment de l'alternance des 2 régimes, une accalmie des vents se produit, avec une certaine convergence des courants de basses couches. Elle détermine ainsi un très fort accroissement temporaire du taux de pollution.

On est généralement moins informé sur les brises de vallée qui s'ajoutent à l'effet directif du relief et tendent à descendre les pentes aux heures froides et à les remonter aux

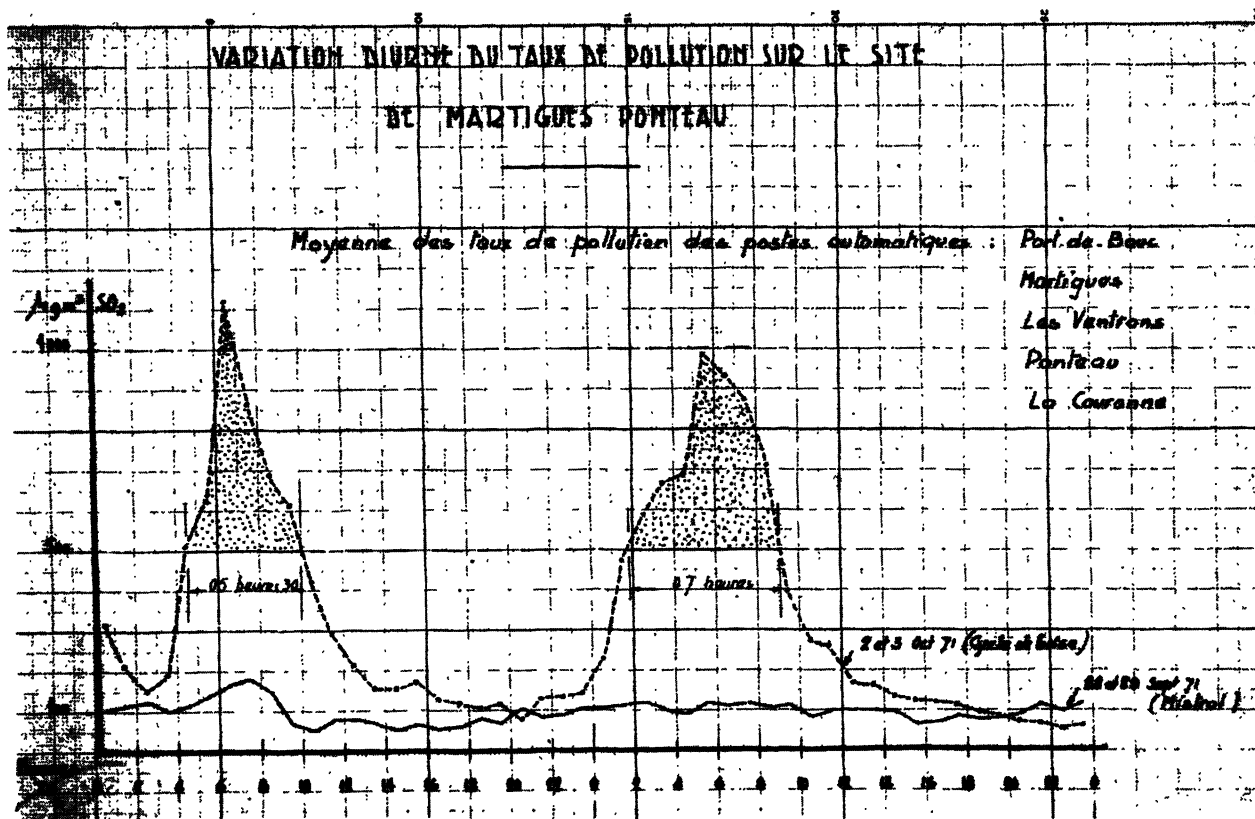


FIG. 6. — Effet de la brise sur la variation diurne de la pollution (d'après Achard et Orioux)

heures chaudes. Un autre phénomène qui est d'une importance considérable est ce que l'on appelle l'îlot thermique urbain, lié à la consommation d'énergie dans les villes. La figure 7 le met en évidence. On a montré que la perturbation ainsi créée était fonction de la densité de la population et de l'activité industrielle. Incidemment on peut d'ailleurs se demander si le réchauffement de la terre dont on a tant parlé n'est pas simplement dû à l'urbanisation croissante des sites pour lesquels nous possédons de longues séries d'observations.

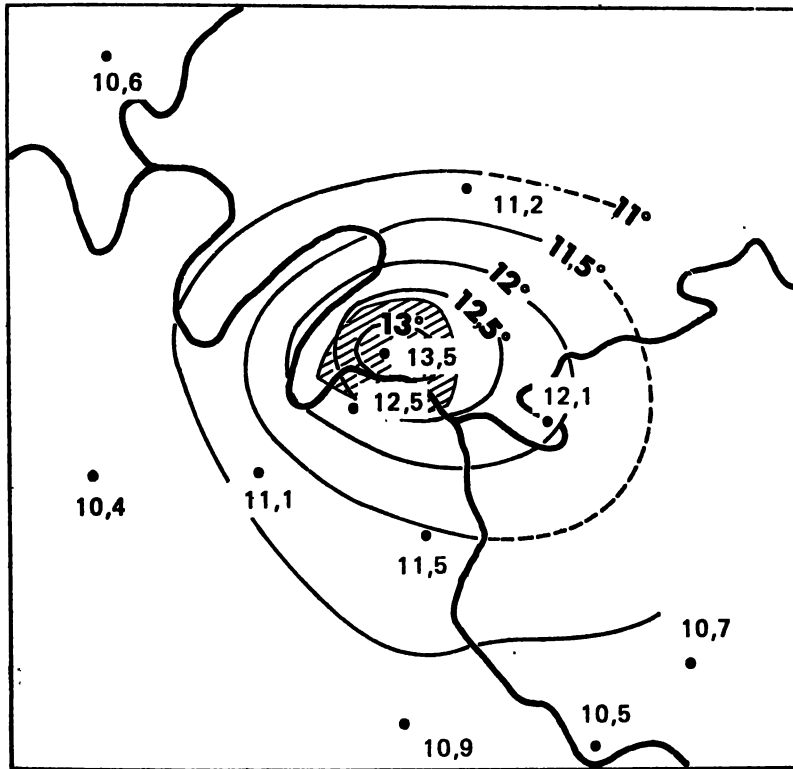


FIG. 7. — Mise en évidence de l'îlot de chaleur urbain (d'après Dettwiller)
Région parisienne
Températures minimales moyennes, durant juin (1951 1960)

On voit ainsi que, dans un site donné, et sauf peut-être dans les zones sans relief et très uniformes, les flux de vent et les structures thermiques sont étroitement conditionnés par des facteurs locaux qu'il convient d'étudier soigneusement. Il faut donc commencer à exploiter tous les renseignements climatologiques dont on peut disposer dans la région et à en faire une étude exhaustive. Mais à vrai dire on s'aperçoit vite que l'on ne dispose que de peu de renseignements sur les deux paramètres qui nous intéressent essentiellement. En dehors des quelques 150 stations qui constituent le réseau de la Météorologie nationale, il n'y a pas 50 anémomètres correctement installés en France. Soit au total moins de 200 points de mesure, encore sont-ils très irrégulièrement répartis; c'est beaucoup trop peu pour un paramètre à la variabilité aussi importante. La situation est pire en ce qui concerne les structures de basses couches. Nous ne disposons en effet que de 7 stations de radiosondages : Trappes, Brest, Bordeaux, Nîmes, Ajaccio, Lyon et Nancy. Elles sont en outre davantage destinées à

recueillir des renseignements sur les hautes couches de l'atmosphère que des données précises et détaillées sur les basses couches. Les informations ainsi disponibles sont donc, pour l'instant très insuffisantes. Ceci traduit le fait que l'intérêt pratique porté à de telles mesures est en réalité très récent. On peut partiellement pallier ces lacunes par des méthodes dites « d'aérogologie indirecte », dont l'initiateur a été Pasquill en Angleterre. On utilise à cet effet la corrélation assez étroite qui existe entre le degré de stabilité de l'atmosphère et certains paramètres météorologiques tels que visibilité, hauteur du plafond, etc. Les résultats demeurent cependant assez grossiers et pour une étude locale précise de telles méthodes ne sauraient être satisfaisantes. Il est donc indispensable de procéder à une étude particularisée de site. La première chose à faire est de mettre en place des appareils de mesure météorologique, et tout d'abord un ensemble anémométrique. Il faudra bien entendu que ces appareils soient installés correctement, avec des dégagements adéquats, et qu'une surveillance et une maintenance satisfaisantes soient assurées. Mais il faut un certain laps de temps avant que l'on puisse utiliser les données ainsi recueillies à des fins climatologiques, c'est-à-dire en vue de déterminer, par la comparaison avec les stations voisines, la répartition moyenne du paramètre considéré. Aussi la mise en place d'appareils doit-elle se faire dans les tout premiers stades de l'étude. Plus la série d'observations sera longue, plus les résultats que l'on en tirera seront valables. En règle générale, nous considérons qu'une durée d'exploitation de 1 an est un strict minimum. Il faudra de même se faire une idée des incidences des facteurs locaux sur la répartition verticale des températures, ou, si vous préférez, sur les conditions de stabilité. Malheureusement, là les moyens à mettre en œuvre sont plus importants et plus onéreux. A défaut de pylone suffisamment élevé sur place (200 m au moins), il est indispensable de faire appel aux techniques de radiosondage. On peut utiliser le dispositif classique des ballons libres emportant un système de télémessure avec réception au sol, ou faire appel à des ballons captifs, des « saucisses », munies de capteurs appropriés. Dans le premier cas ce sont les sondes qui coûtent cher car elles sont perdues, dans le second, c'est le ballon, avec l'hélium

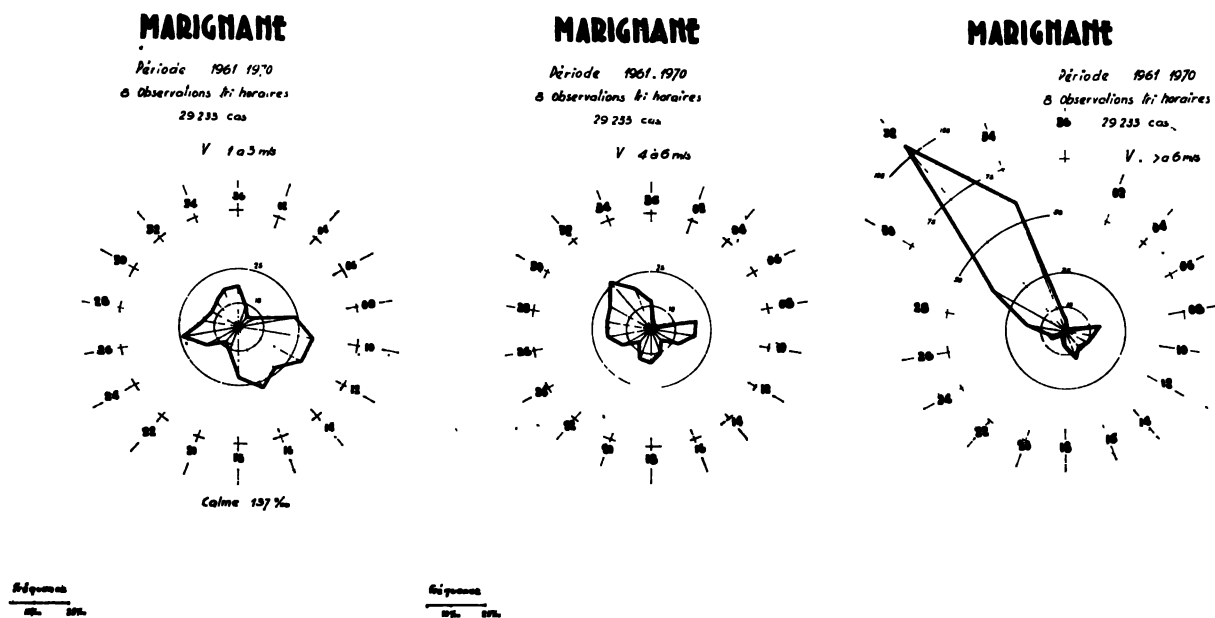


FIG. 8. — Variations de la rose des vents à Marignane selon les vitesses de vents considérés

qui le gonfle, le treuil de commande et le personnel relativement important qui sont onéreux. Aussi se borne-t-on généralement à faire de courtes séries de mesures sur 3 semaines, durant les périodes les plus favorables à l'existence d'inversions; on y associe souvent des mesures multiples par « ballons pilotes », c'est-à-dire à l'aide de ballons dont la vitesse ascensionnelle est supposée constante et que l'on suit au théodolite. On peut aussi apprécier les déformations des flux de vent dues au relief, ou aux effets d'échauffement différentiel. Pour être complet il faut indiquer que des dispositifs de mesure indirecte, basés généralement sur les techniques de la radiométrie, sont actuellement étudiés dans de nombreux laboratoires mais elles n'ont pas encore débouché sur un appareillage réellement opérationnel et de prix abordable.

Je vais vous montrer quelques-uns des résultats les plus typiques des études de site que nous avons entreprises au cours des dernières années. La figure 8 met en évidence la variation des roses de Marignane pour diverses classes de vitesses de vent. Les vents faibles étant les seuls réellement importants pour la pollution locale, on voit les erreurs que l'on ferait en la traitant avec une rose moyenne, ce qui est encore trop fréquemment le cas. La figure 9 indique la variation du vent au cours de la journée dans une station influencée par les effets de brises. Les figures 10 et 11 montrent, pour une moyenne basée sur 53 cas typiques, l'étendue de ce phénomène de brises où, dans le sillon rhodanien, il se conjugue avec un effet de brises de vallée. La figure 12 est un exemple de la variation de la répartition verticale du vent et de la température au cours des premières heures de la matinée. Enfin la figure 13 constitue une coupe verticale représentant l'évolution diurne du champ de vent au cours de la journée.

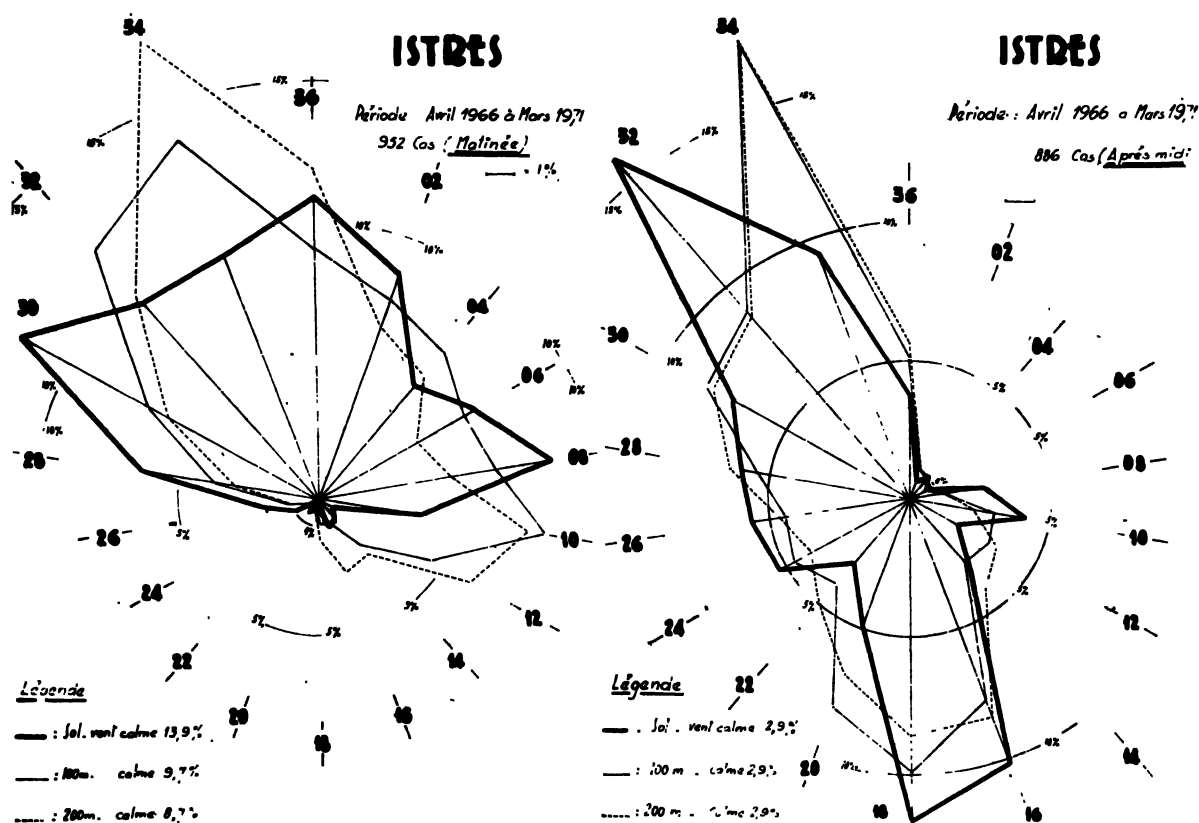
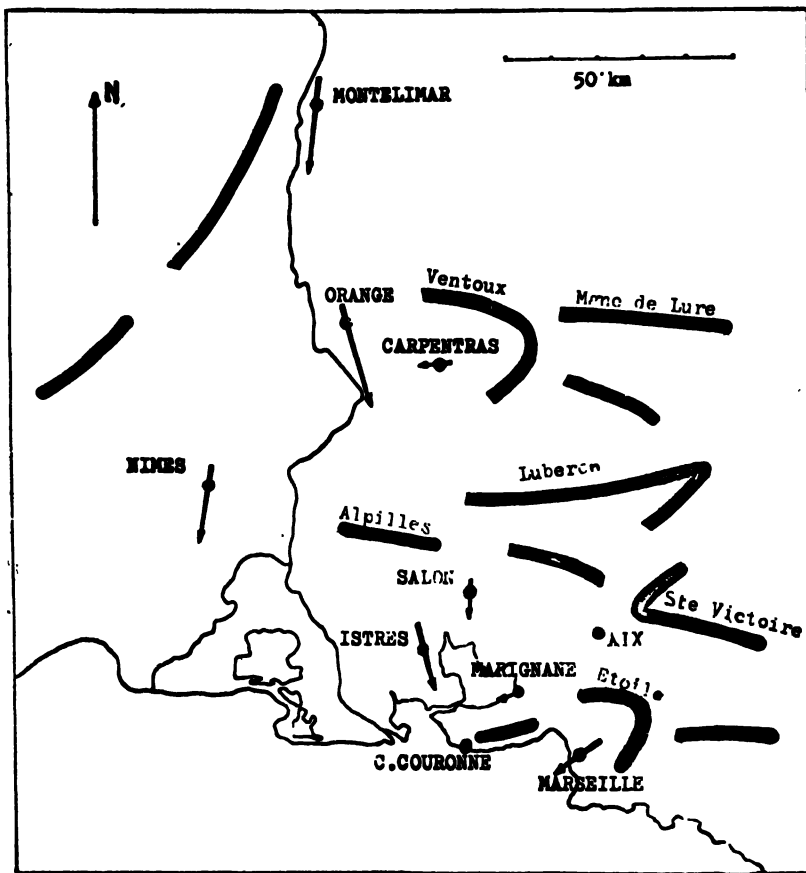


FIG. 9. — Variations de la rose des vents à Istres au cours de la journée

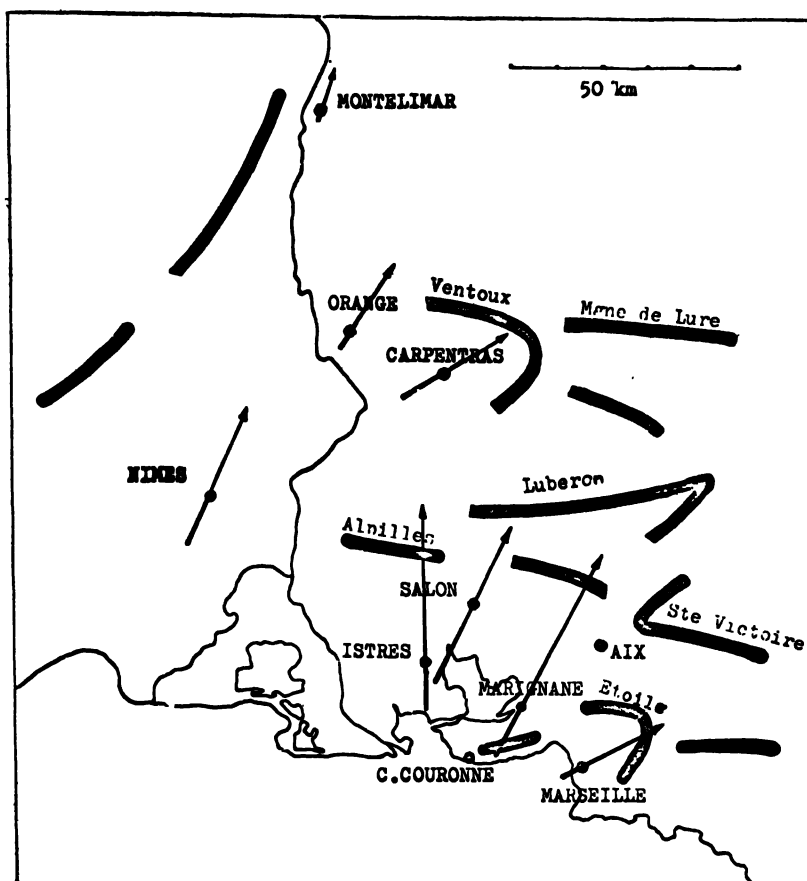


Champ de vent moyen à 00.00 TU

La longueur des flèches est proportionnelle à la vitesse du vent. (1 cm pour 1 m/s).

FIG. 10

Lorsque l'on dispose des données sur le climat local on peut passer aux études concernant la diffusion des polluants. A vrai dire, les météorologistes ont été les premiers à étudier ces problèmes, il y a de cela près de 50 ans. Ils ont mis au point des méthodes, et établi des modèles, sans cesse perfectionnés qui permettent d'obtenir des résultats satisfaisants, du moins dans les cas d'un système d'émissions relativement simple et en l'absence de perturbations orographiques ou topographiques importantes. Malheureusement de tels cas sont relativement rares et l'on est alors obligé de faire appel à des méthodes de simulation sur maquettes. Contrairement à ce que l'on aurait pu penser la simulation en veine aérolitique a donné jusqu'à maintenant des résultats très inférieurs à ceux des veines hydrauliques. Celles-ci se prêtent bien tant à des études de flux, qu'à la mise en évidence des zones de pollution. Une technique de visualisation par chromatographie, due à M. Facy, a été mise au point dans les laboratoires de la Météorologie nationale à Magny-les-Hameaux. L'exploitation du brevet a été cédée par l'ANVAR à une Société privée. Celle-ci a réalisé récemment une veine de vaste dimension qui devrait lui permettre des réalisations importantes.



Champ de vent moyen à 15.00 TU

La longueur des flèches est proportionnelle à la vitesse du vent. (1 cm pour 1 m/s).

FIG. 11

Toutefois, malgré toutes les études que l'on peut faire au stade de l'implantation des divers industries, on ne peut empêcher la pollution et il faut la surveiller et la contrôler pour protéger les populations (et éventuellement la végétation) environnantes. C'est ce que l'on appelle le « monitoring » urbain, d'un vocable anglais qui implique une idée de contrôle actif. Ceci consiste à mettre en place, dans la localité concernée, un réseau de mesure de la pollution, associé à un réseau de mesures météorologiques; à collecter ces données automatiquement et à procéder ainsi à une analyse permanente de la situation. On peut ensuite extrapoler les résultats ainsi obtenus, à court et à moyen terme, en tenant compte de l'évolution météorologique prévue, et déterminer si la situation risque de devenir dangereuse, selon les normes établies. On peut alors décider de mesures opérationnelles allant de l'obligation pour les industriels d'utiliser des combustibles à basse teneur en soufre, au ralentissement, voire à l'arrêt total des exploitations.

De nombreux systèmes de ce type fonctionnent à l'étranger, selon des modalités d'ailleurs fort variées. Citons les principales villes des USA, plusieurs complexes industriels

au Japon, Rotterdam, la Ruhr, Francfort, etc. En France le premier dispositif d'alerte est en cours de mise au point à Rouen. Au total une douzaine d'installations sont prévues dans notre pays, mais les dates de mise en service paraissent encore lointaines et peut-être vaut-il mieux en effet tirer les conclusions de l'expérience pilote de Rouen.

Il n'est pas douteux que l'on ne parvienne, par de telles méthodes à des résultats tangibles. Déjà d'ailleurs les mesures préventives, généralement d'ordre réglementaire, ont fait apparaître des progrès qui sont parfois spectaculaires. L'épuration relative des gaz à l'émission, l'accroissement de la hauteur des cheminées, la raréfaction des chauffages individuels au charbon, la lutte qui commence contre la pollution automobile, sont très certainement efficaces et chacun sait que la pollution sulfureuse a diminué très nettement à Paris dans la dernière décennie, que les smogs de Londres sont moins fréquents et moins denses et que les habitants de Pittsburg aux USA ont recommencé à voir le soleil (fig. 14).

Mais cela ne suffit pas. Lorsque, par exemple, on élève la cheminée d'une usine, on diminue très certainement les taux de pollution à proximité de cette usine, mais la quantité

Evolution de la structure thermique et des profils de la vitesse du vent dans les basses couches, à PONTEAU (golfe de FOS) le 17 Septembre 1971.

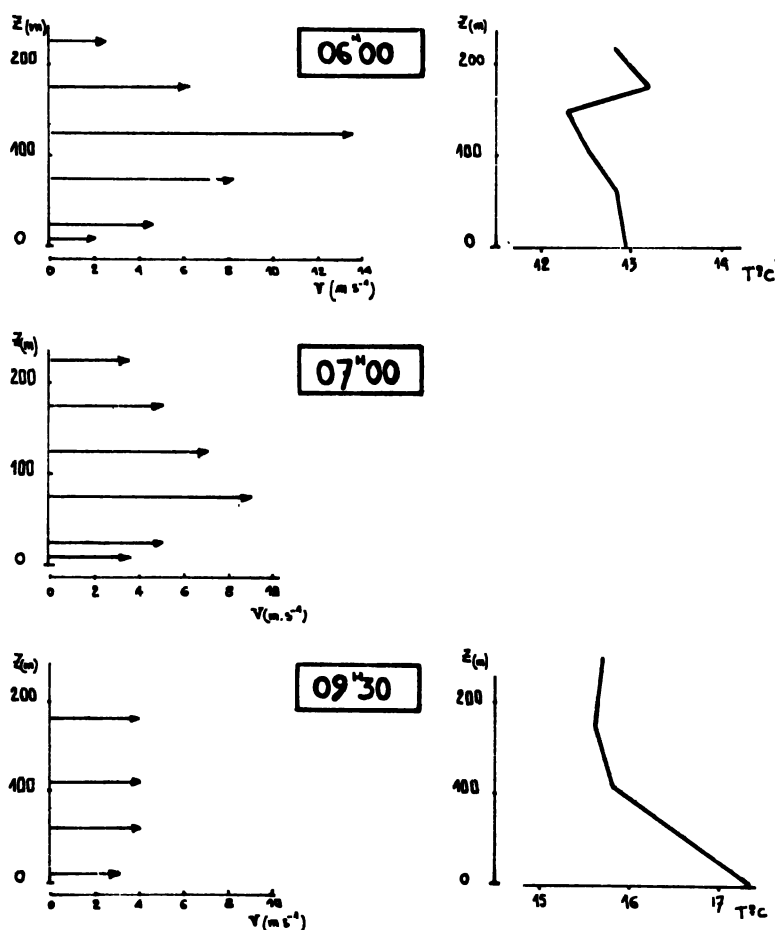


FIG. 12. — On voit à 06.00 la présence d'une inversion de température vers 150 m associée à un maximum de la vitesse du vent. A 09.30 l'inversion a disparu et le vent s'est uniformisé

de polluant émise restant la même, on a simplement modifié la distribution des retombées. Et c'est ainsi que, si, comme je l'ai dit, des progrès locaux ont été enregistrés, il n'en reste pas moins que l'on constate une augmentation de la pollution de fond c'est-à-dire de la pollution observée à l'écart des sources polluantes. Et ce phénomène s'étend au globe entier, puisque les glaces polaires elles-mêmes sont atteintes. C'est là un problème très grave qui rejoint celui de la surveillance des climats dont j'ai parlé au début de cet exposé. Il y a d'ailleurs des implications internationales. C'est ainsi que les pays scandinaves et notamment la Suède, accusent les pays industriels de l'Europe occidentale de rendre plus acides les précipitations; le sol granitique dans ce pays étant déjà à tendance acide, c'est toute l'écologie qui en serait affectée. L'OCDE se préoccupe du problème et subventionne des recherches sur les transferts de polluants à longue distance. L'Organisation météorologique mondiale elle-même, qui en a reçu mandat à la Conférence intergouvernementale de Stockholm, met en place un réseau global de mesure continue des taux de pollution, qui sera doublé d'un réseau régional à mailles plus fines. La Météorologie nationale doit ainsi mettre en œuvre trois stations, puis huit autres au titre de ces deux actions. Elle élabore un appareil basé sur la spectrographie de masses qui permettra, en continu, les mesures extrêmement précises qui s'imposent.

Messieurs j'arrive au terme de cette conférence, j'espère vous avoir donné une idée de l'importance de la météorologie dans les problèmes de l'environnement et dans les solutions que l'on peut envisager de leur donner. J'espère également vous avoir montré les efforts de la Météorologie nationale dans ce domaine, en liaison avec les autres services intéressés.

Je voudrais terminer en soulignant que nous disposons d'un large potentiel scientifique

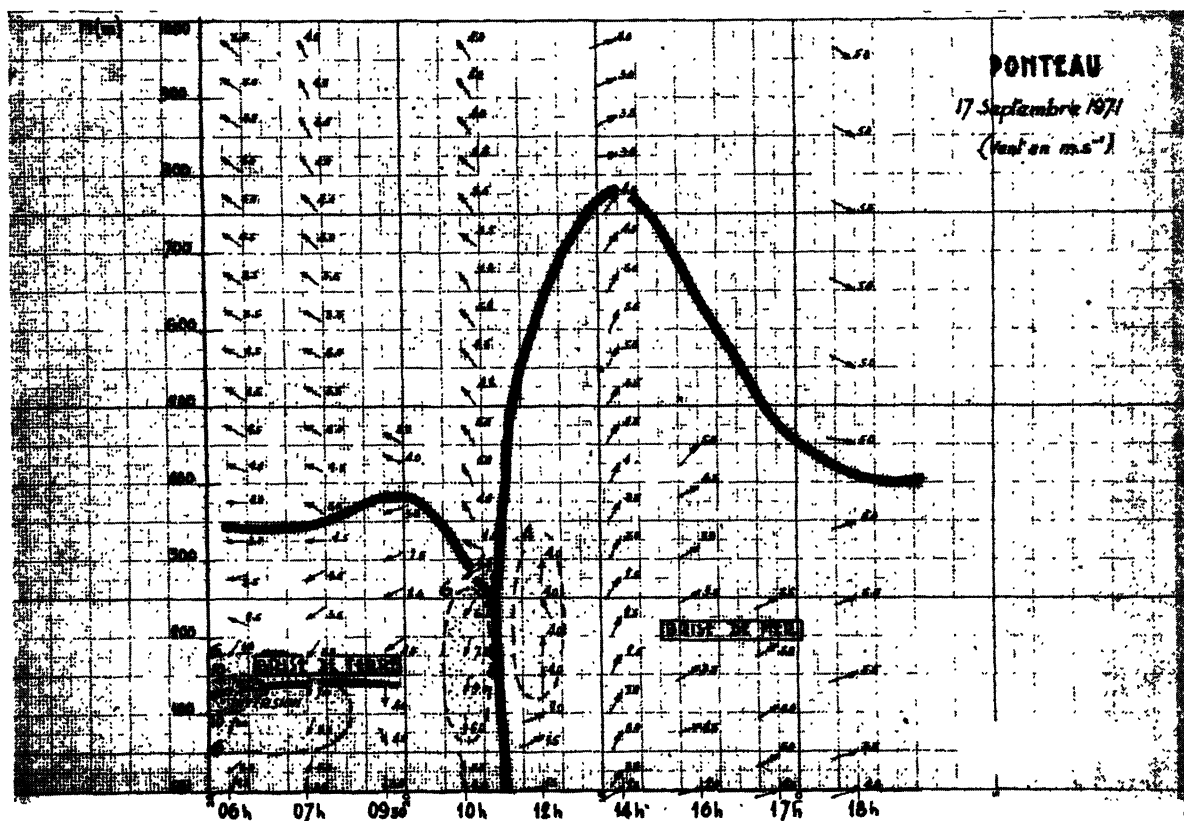


FIG. 13. — Coupe chronologique verticale mettant en évidence la structure du « front de brise »

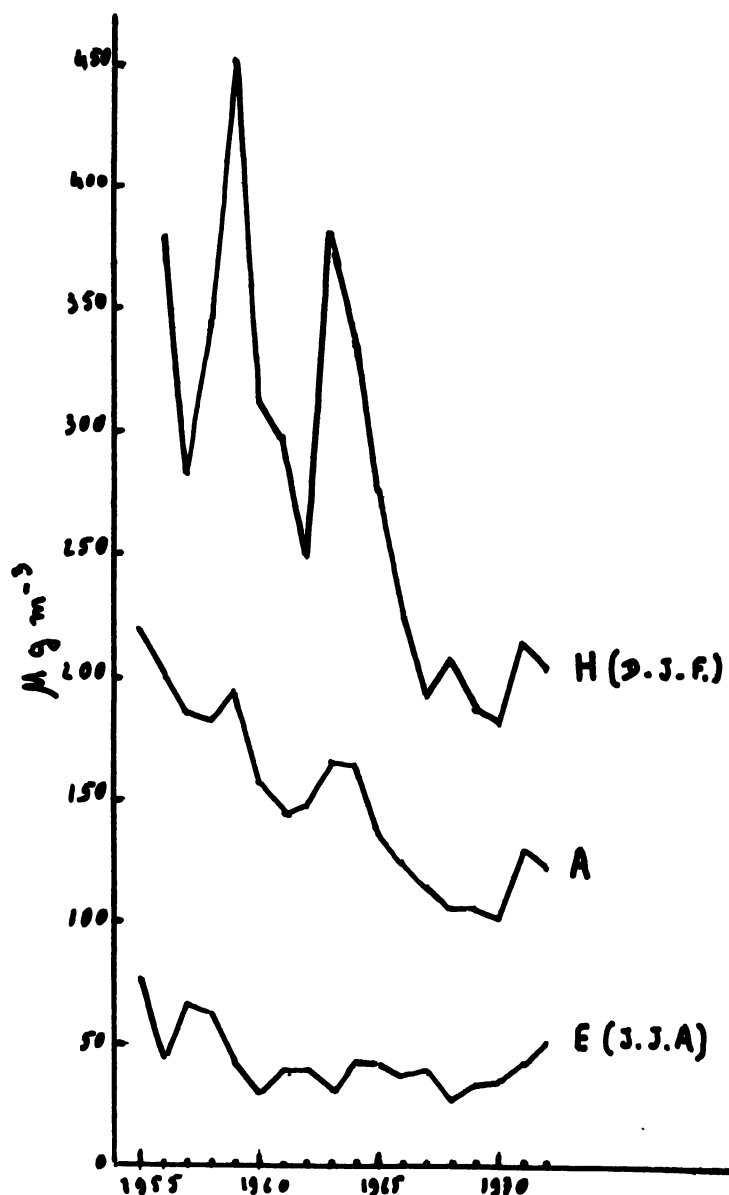
VARIATION DE LA CONCENTRATION DU SO₂ A PARIS

FIG. 14

et technique que nous souhaitons pouvoir utiliser au mieux. Mais il nous manque des crédits et plus encore des personnels d'exécution, car les desiderata de nos très nombreux usagers se développent beaucoup plus vite que nos moyens. Je me permets de souhaiter ici que la Météorologie nationale, service public, puisse travailler avec toute l'efficacité désirable, à la satisfaction des besoins de notre pays.

Pierre DUVERGÉ,
Ingénieur général de la météorologie

DISCUSSION

M. F. ROBIN. — Dans les éléments qui influent sur le climat, il faut ne pas minimiser le rôle du sol. Les traitements du sol (l'irrigation par exemple) peuvent corriger et parfois améliorer les écarts climatiques. On a dit que le sol était la « mémoire du climat ». Il peut aussi intervenir dans l'avenir.

M. DUVERGÉ. — Tout à fait d'accord. L'INRA travaille activement sur ce genre de problèmes. La Météorologie nationale collabore étroitement avec l'INRA.

M. GOUNOT. — On dispose de peu de données remontant à plus de 150 ans et celles qui existent sont surtout des données classiques du type température moyenne ou précipitations. Or celles qui seraient intéressantes pour examiner l'incidence de l'environnement sur le climat seraient plutôt des données du type : durée d'insolation, nébulosité, nombre de jours de brouillard. Dispose-t-on de données assez longues pour étudier ces phénomènes?

M. DUVERGÉ. — A mon sens la réponse est négative car la variabilité interannuelle des phénomènes considérés est très grande. Cependant la concordance d'un certain nombre de constatations, même portant sur des séries trop courtes peut conduire à des présomptions.

M. J. GARNIER. — Il me semble qu'il existe une loi ancienne concernant les rapports de la météorologie et de l'urbanisme. Dans les villes, les vents dominants viennent de l'ouest, les banlieues résidentielles sont à l'ouest, les banlieues ouvrières à l'est.

M. DUVERGÉ. — C'est le genre de « loi » dont il convient de se méfier. J'ai montré les différences entre les roses de vents forts et les roses de vents faibles. Ce sont ces derniers qui sont significatifs en matière de pollution. A Paris les vents d'ouest sont alors loin d'être dominants. En fait l'expérience montre que le 16^e est un des arrondissements les plus pollués.

M. G. BERNARD. — A-t-on fait une étude météorologique de la Défense et de ses tours?

M. DUVERGÉ. — A ma connaissance aucune. On peut le déplorer.

M. G. GILLOT. — Dans cette période de discussions politiques passionnées sur la pollution par la bombe atomique, pouvez-vous nous donner une opinion sur le point de savoir qui a raison dans les discussions sur les expériences atomiques françaises à Muruora? Et le rôle du vent à ce sujet?

M. DUVERGÉ. — Je ne saurais prendre parti en ce qui concerne la nocivité éventuelle des retombées et le taux maximal admissible. Je ne puis qu'assurer que la Météorologie nationale a été associée de très près à toutes les expériences atomiques, d'abord au Sahara, ensuite dans le Pacifique. Des moyens importants ont été mis en œuvre, et le déclenchement des tirs n'a été décidé que si les conditions météorologiques paraissaient favorables. A ma connaissance rien ne prouve que les expériences françaises ont été plus dangereuses que celles menées par d'autres pays, bien au contraire. On peut toutefois comprendre les réactions des pays concernés même si elles sont mal fondées et irrationnelles. Comment réagiraient les populations des pays européens si des expériences étaient faites par exemple aux Açores?

M. GIBRAT. — 1^o Un problème nouveau très important est celui des zones industrielles

en construction, Fos-Berre d'un côté, la Basse-Seine de l'autre. Les échanges thermiques vont être profondément modifiés, le sol va rester plus chaud que la mer même la nuit. Cela aura deux conséquences à mon avis : suppression des brises de terre, suppression des inversions.

2^o Est-il exact que les îlots thermiques des villes ont augmenté le taux des pluies de l'ordre de 10 %?

M. DUVERGÉ. — 1^o Incontestablement le développement d'un contexte industriel, ou même une urbanisation importante modifient la structure thermique des basses couches, et les différenciations thermiques existant au sol. On arrive rapidement à des « îlots thermiques » locaux. Leur étendue et leurs conséquences sont difficiles à apprécier. Ils ne sauraient, à mon sens, éliminer dans tous les cas les effets de brise, ou les inversions.

2^o Cette affirmation de Landsberg ne me paraît pas prouvée partout et notamment en France. Il est possible qu'elle soit surtout vraie là où les précipitations dominantes sont d'origine convective (développement des ascendances).

M. DETRIE. — Demande à la météorologie d'équipement de la tour Eiffel pour la connaissance des basses couches pour les études sur Paris et corrélation avec les mesures de SO₂ et particules.

Demande du rapport sur Fos.

Peut-on simuler en veine hydraulique les causes de pointes de pollution, gradient thermique, brises de vallée ou de mer?

M. DUVERGÉ. — 1^o Le rééquipement de la tour Eiffel sera réalisé à brève échéance. Malheureusement les installations sont coûteuses (de l'ordre de 300 000 F alors que jusqu'à maintenant 50 000 F de subvention ont été accordés).

2^o Les rapports sur Fos ont été établis à la demande de l'OREAM de Marseille et du SPPPI de Marseille. Il appartient à ces organismes de les diffuser s'ils l'estiment nécessaire.

3^o Les procédés de simulation en veine hydraulique, encore assez frustrés et sommaires sont en voie de perfectionnement. Mais la sophistication de la méthode conduit à des installations très onéreuses.

M. H. GUITTON. — J'aurais aimé savoir comment on pouvait préciser que 80 % de la pollution de la mer était d'origine atmosphérique. Que dire des 20 % restant? En tout cas la pollution en question n'est-elle pas toujours d'origine humaine?

M. Guitton pose en fin de séance quelques questions sur la structure du Corps de la Météorologie et sur les modes de recrutement mal connus du public étudiant. Quels sont les rapports entre le Corps et l'Université (Laboratoires de recherche)

M. DUVERGÉ. — 1^o L'estimation de 80 % provient d'un groupe de travail de l'Organisation météorologique mondiale. Elle est peut-être très grossière. Le restant provient de la pollution de la mer elle-même (pétroliers, etc.) et des déversements par les rivières polluées. Bien sûr, la quasi-totalité de la pollution est due à la présence et à l'activité des hommes.

2^o La question mériterait une longue réponse. En principe 3 corps auxquels on accède :

a) pour les techniciens par concours au niveau du bac;

b) pour les ingénieurs des travaux, par concours au niveau des mathématiques spéciales;

c) pour les ingénieurs à la sortie de l'X.

3° Les services de recherche de la Météorologie nationale sont en cours d'expansion. Ils collaborent avec divers organismes (CNET, CNES, CEA, etc.) et avec certains laboratoires d'université. Ils bénéficient de contrats divers : CNRS, DRME, FIANE, etc.

M. B. MOUSSON. — 1° Participation de la météorologie au fonctionnement des systèmes de prévision et d'alerte à la pollution atmosphérique, fréquence des interventions.

2° Participation de la météorologie à l'élaboration du « routing ship ».

M. DUVERGÉ. — 1° Les systèmes de surveillance et d'alerte de la pollution mis au point à l'étranger sont basés sur des principes fort différents et la place qu'ils font à la météorologie est assez variable.

A notre sens il est indispensable de tenir compte des paramètres météorologiques pour assurer une surveillance intelligente, et de leur évolution pour déclencher des alertes. Nous n'avons pas suffisamment d'expérience pour dire avec certitude ce qu'il faut faire. Mais nous participons au système qui se met en place à Rouen, et qui est le premier en France. En accord avec les responsables nous pensons pouvoir perfectionner progressivement l'apport de la météorologie, et en tirer des conclusions pour les systèmes futurs.

2. Il est certain que l'utilisation optimale des prévisions météorologiques se traduit par une économie de temps, de combustible, des gains sur les avaries aux structures et aux cargaisons, et sur le confort des passagers. Des expériences ont été faites sous le contrôle du ministère de la Marine. On constate que les techniques du « ship routing » appelées aussi « navigation météorologique » souffrent du peu de fiabilité des prévisions à l'échéance nécessaire. Or elles ne sont rentables que pour des parcours longs. En fait les commandants de bord aiment être « maîtres après Dieu » chez eux. Ils estiment donc que grâce à la réception des documents nécessaires ils sont à même d'élaborer la route de leur choix en tenant compte des nombreux paramètres en cause. Le problème est peut-être plus important pour les ports des Pays-Bas ou d'Allemagne où il faut déterminer s'il vaut mieux contourner les îles Britanniques par le nord ou par le sud.