

Zeitschrift: Actes de la Société jurassienne d'émulation
Herausgeber: Société jurassienne d'émulation
Band: 95 (1992)

Artikel: La spirale dans l'atmosphère
Autor: Primault, Bernard
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-555267>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 04.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

La spirale dans l'atmosphère

par Bernard Primault

1. INTRODUCTION

En 1985, le «Gewerbemuseum» de Bâle a organisé une exposition thématique axée sur la spirale. Ce phénomène a été étudié sous toutes ses formes possibles: mathématique, artistique, naturelle ou cosmographique, cette énumération n'étant pas exhaustive. Nous en reprenons ici un aspect particulier (voir aussi Primault et Piaget, 1985).

2. SITUATION DU PROBLÈME

Dans l'Antiquité déjà, les marins ont redouté les vents violents et, afin de disposer favorablement les dieux en leur faveur, ont érigé des temples sur le bord des mers. Les fouilles ont en outre révélé la présence de nombreux ex-voto, ce qui prouve l'importance et la permanence des dangers encourus alors dans les déplacements maritimes.

Avec les voyages au long cours et plus spécialement le commerce intense et régulier qui s'est établi dès le XV^e siècle entre les Caraïbes et l'Europe, une partie de la Mer des Antilles fut particulièrement redoutée des marins. Le nombre de galions qui y ont sombré et dont les épaves reposent encore sur les fonds marins de ces régions témoigne de la violence qu'y ont ces cyclones.

La conquête du Pacifique et le commerce avec les Philippines, la Chine et le Japon qui en est résulté ont montré que de tels phénomènes ne sont pas l'apanage du seul «Triangle des Bermudes», des Caraïbes en général et de tout le sud des Etats-Unis.

Enfin, avec la colonisation de l'Amérique du nord et la production massive de céréales qui a suivi, le transport par mer du Nouveau Monde vers l'Ancien s'est intensifié. Une des routes maritimes principales qui en sont résultées passait par le Cap Horn de sinistre mémoire, en raison de ses tempêtes, de ses houles et de ses déferlants.

On est frappé à la lecture des récits de ceux qui ont réchappé aux ouragans quels qu'ils soient de retrouver presque partout une caractéristique commune: des changements brusques de la direction et de la force du vent, qu'ils s'accompagnent d'une éclaircie ou non.

Avec la généralisation de l'usage du baromètre sur les bateaux, on peut lire dans les livres de loch que des vents violents correspondent le plus souvent à de fortes variations de la pression de l'air. En outre, chaque rotation brusque de la direction du vent est accompagnée d'une modification du sens ou tout au moins de l'intensité de ladite variation de pression.

Il y a donc une relation étroite entre l'évolution de la pression atmosphérique d'une part, les vents (force et/ou direction) et le caractère du temps en général d'autre part. Ceci se retrouve d'ailleurs de façon très nette de nos jours dans tous les communiqués météorologiques diffusés par les journaux, la radio ou la télévision. On y retrouve des locutions telles que «dépression», «haute pression» ou «anticyclone» accompagnant des informations sur la translation des zones nuageuses, de précipitations ou autres.

La vulgarisation par la télévision et surtout la diffusion régulière d'images de satellites ont familiarisé le public avec les tourbillons atmosphériques et l'on se rend bien compte que ceux-ci sont le reflet d'immenses spirales qui évoluent à la surface de notre planète.

Il s'agit en fait des plus grandes spirales que l'on connaisse sur la terre. Elles reflètent l'image des dépressions.

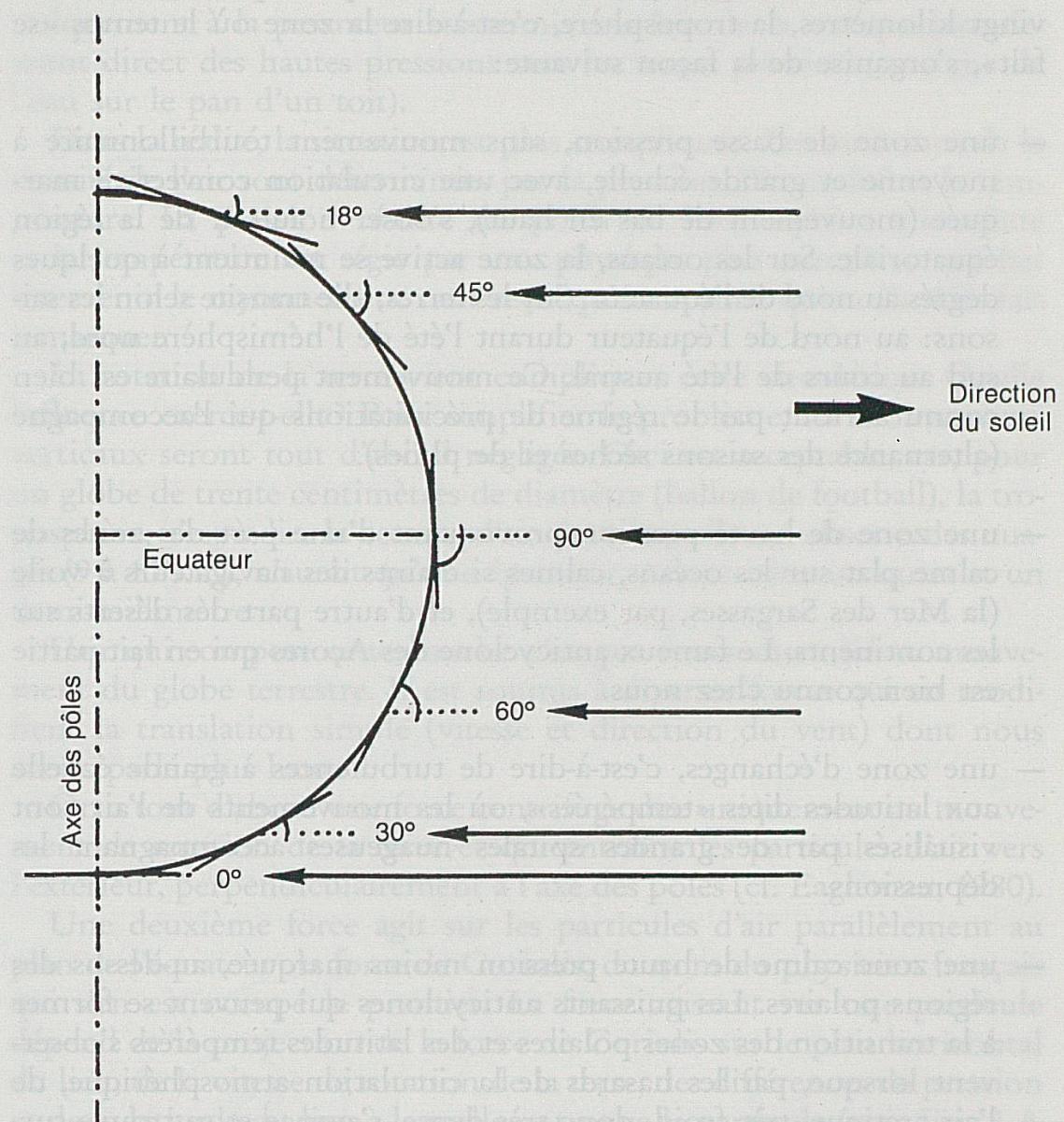
3. LES COURANTS ATMOSPHÉRIQUES À L'ÉCHELLE PLANÉTAIRE

Comme nous l'avons déjà relevé, les vents sont étroitement liés à des variations de la pression atmosphérique. Plus ces dernières sont marquées et plus les premiers sont violents. Ces modifications de la pression proviennent de différences dans la densité de l'air. Lesdites variations de la pression de l'air sont donc le plus souvent accompagnées de changements de température et/ou d'humidité.

L'origine lointaine des vents est à rechercher dans une disparité thermique entre différentes parties de notre globe. Cette disparité provient de l'angle d'incidence des rayons du soleil sur la surface terrestre. Ainsi, à l'équinoxe (21 mars et 23 septembre), le soleil darde ses rayons perpendiculairement à l'équateur, alors qu'ils sont tangents aux pôles (voir Fig. 1). Le sol se réchauffe donc en fonction inverse de la lati-

Figure 1

Quelques angles d'incidence du rayonnement solaire à l'équinoxe (21 mars ou 23 septembre).



tude. Ce réchauffement est très prononcé à l'équateur, pratiquement nul aux pôles. Ceci conduit à un excédent de chaleur à l'équateur et à un déficit aux pôles. En effet, la surface de la terre émet continuellement de l'énergie calorique et se refroidit de ce fait. Ces pertes sont toutefois compensées, en tout ou partie, voire sur-compensées par le rayonnement reçu.

La circulation atmosphérique (les mouvements de l'air) est le mécanisme mis en place par la nature pour équilibrer le déficit de chaleur des pôles par l'excédent de l'équateur, l'un égalant pratiquement l'autre.

Dans ses grandes lignes, la circulation atmosphérique en dessous de vingt kilomètres, la troposphère, c'est-à-dire la zone où le temps «se fait», s'organise de la façon suivante:

- une zone de basse pression, sans mouvement tourbillonnaire à moyenne et grande échelle, avec une circulation convective marquée (mouvement de bas en haut), s'observe autour de la région équatoriale. Sur les océans, la zone active se maintient à quelques degrés au nord de l'équateur. Sur les terres, elle transite selon les saisons: au nord de l'équateur durant l'été de l'hémisphère nord, au sud au cours de l'été austral. Ce mouvement pendulaire est bien connu surtout par le régime de précipitations qui l'accompagne (alternance des saisons sèches et de pluies).
- une zone de haute pression provoquant d'une part des zones de calme plat sur les océans, calmes si craints des navigateurs à voile (la Mer des Sargasses, par exemple), et d'autre part des déserts sur les continents. Le fameux anticyclone des Açores qui en fait partie est bien connu chez nous.
- une zone d'échanges, c'est-à-dire de turbulences à grande échelle aux latitudes dites «tempérées», où les mouvements de l'air sont visualisés par de grandes spirales nuageuses accompagnant les dépressions.
- une zone calme de haute pression moins marquée, au-dessus des régions polaires. Les puissants anticyclones qui peuvent se former à la transition des zones polaires et des latitudes tempérées s'observent lorsque, par les hasards de la circulation atmosphérique, de l'air arctique, très froid, donc très dense, s'avance et se trouve surmonté par de l'air d'origine tropicale.

4. INFLUENCE DE LA ROTATION DE LA TERRE

Si la terre se trouvait en état de repos, c'est-à-dire qu'elle s'arrête de tourner, il serait possible d'assimiler l'atmosphère à un fluide obéissant uniquement à la pesanteur et soumis aux lois de la statique (écoulement direct des hautes pressions vers les basses pressions, comme de l'eau sur le pan d'un toit).

Dans la réalité, la situation est plus compliquée. Les variations de la densité de l'air sont déterminées par la pression, l'humidité et la température. La pression résulte du poids de l'atmosphère elle-même et la température est régie par une physique plus complexe qui fait intervenir le rayonnement tant reçu qu'émis ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer.

La rotation de la terre vient compliquer cette circulation. Quelle influence exerce-t-elle? Pour simplifier le problème, les mouvements verticaux seront tout d'abord négligés. Ceci est acceptable, car, pour un globe de trente centimètres de diamètre (ballon de football), la troposphère, c'est-à-dire la couche d'air dans laquelle on observe des nuages (9 à 15 km), n'aurait qu'une épaisseur variant entre un quart et un demi-millimètre.

L'air qui compose cette couche n'est pas étroitement lié au mouvement du globe terrestre. Il est soumis à diverses forces qui en modifient la translation simple (vitesse et direction du vent) dont nous avons parlé plus haut.

On a tout d'abord une force centrifuge due uniquement au mouvement de rotation de la terre et qui entraîne les particules d'air vers l'extérieur, perpendiculairement à l'axe des pôles (cf. Eagleman, 1980).

Une deuxième force agit sur les particules d'air parallèlement au plan de l'équateur: la force de Coriolis, du nom du physicien français qui s'en est occupé le premier. La force agissant sur une particule dépend de la projection de la force de Coriolis sur le plan horizontal du lieu, de la vitesse de rotation de la terre, des différences de pression et de la latitude du lieu à laquelle se trouve la particule (voir Fig. 2 A et 2 B). La projection horizontale de la force de Coriolis est nulle à l'équateur et est maximale aux pôles. En se plaçant dans la direction du vent, la force de Coriolis agit toujours sur la droite dans l'hémisphère nord, sur la gauche dans l'hémisphère sud. Cela conduira finalement à ce que la circulation dans une spirale de l'hémisphère sud sera l'image inversée ou la «réflexion dans un miroir» de celle d'une même spirale se trouvant dans l'hémisphère nord et vice et versa.

Figure 2 A. Composants de l'air est le mélange

Déplacement d'une particule d'air sous l'action combinée du gradient de pression (A_{pg}) et de la force de Coriolis (A_{cor}) jusqu'à l'état d'équilibre

V_1 à V_5 = vent résultant en force et direction.

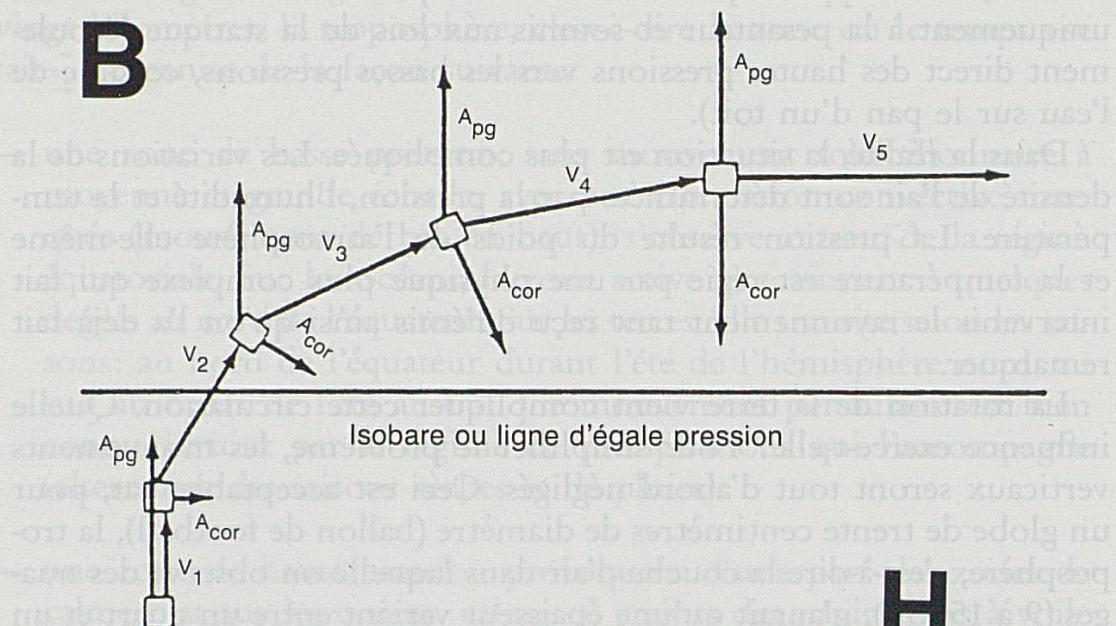
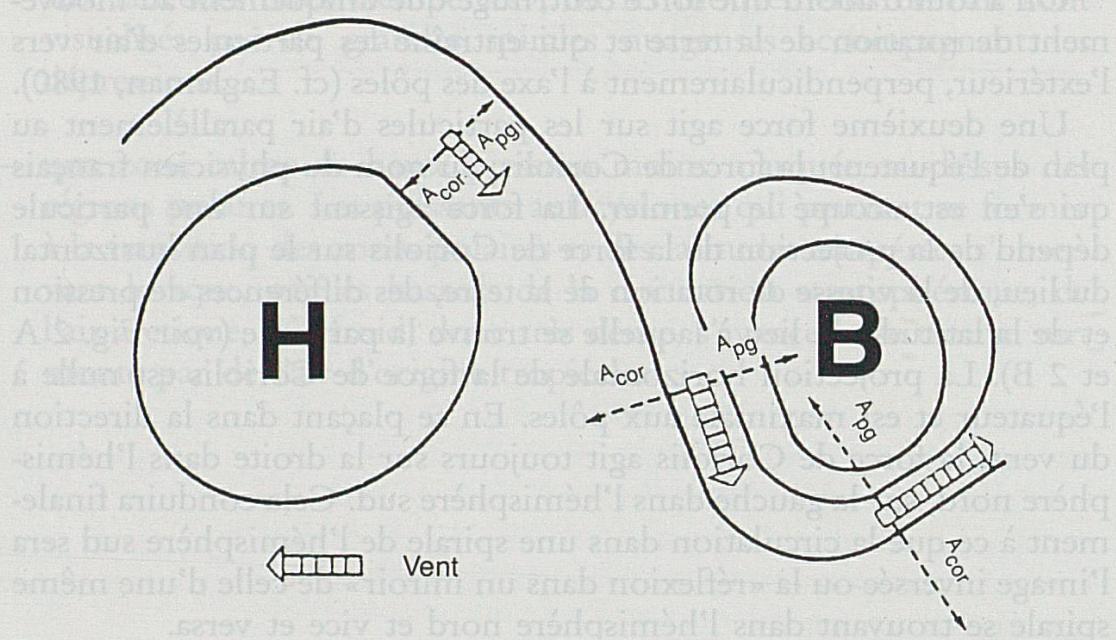


Figure 2 B

Direction et force du vent dans un système dépressionnaire (H = haute pression; B = basse pression). Etat d'équilibre.



Si la force de Coriolis ne s'observe que dans un milieu en mouvement, la force centrifuge due à la rotation de la terre ne dépend pas du mouvement de la particule, mais est une fonction du lieu. Elle ne peut être séparée de celle exercée par l'attraction terrestre. Ce jeu subtil a conduit à l'aplatissement de la terre vers les pôles.

La force de Coriolis et la force résultant du gradient de pression sont plus importantes aux latitudes moyennes et élevées que les autres forces pouvant agir sur une particule d'air. Ainsi, en première approximation, le vent soufflera parallèlement aux isobares (lignes d'égale pression).

Entre 5° de latitude nord et 5° de latitude sud, la vitesse radiale est presque nulle et la force de Coriolis reste très faible. Pour des raisons énergétiques, le vent ne peut y être fort. De ce fait, une dépression ne peut s'y former. Il s'ensuit qu'aucune grande spirale, telles que celles qu'on observe aux autres latitudes ne s'y rencontre.

Un autre phénomène intervient lorsqu'une masse d'air se déplace vers les pôles ou vers l'équateur. Chaque point de la terre possède une certaine vitesse tangentielle (en km/h et d'ouest en est) qui dépend du rayon de la latitude à laquelle se trouve le point. Cette vitesse va en décroissant de l'équateur où elle est la plus grande vers les pôles où elle devient nulle. L'atmosphère est entraînée dans ce mouvement. Cependant, et comme nous l'avons déjà signalé plus haut, elle n'est pas liée de façon rigide à la surface terrestre. Si une particule d'air se déplace vers un des pôles, elle conservera par inertie sa vitesse tangentielle. Cette vitesse sera par la suite plus élevée que celle de la surface de la terre que la particule survole. Par conséquent, il y a déviation vers l'est.

Si, au contraire, la particule se déplace vers l'équateur, c'est le contraire qui se produit. Elle sera donc alors déviée vers l'ouest.

Les grandes pénétrations d'air froid s'avancent des pôles jusque dans les régions équatoriales. On constate alors l'étalement progressif de cet air. Suite à ce que l'on vient d'énoncer, le mouvement de l'air froid acquiert en général une composante ouest et les vents tournent au NE, alimentant les alizés.

L'air qui s'échappe de la partie supérieure des conglomérats orageux de la zone équatoriale s'avance en direction des zones subtropicales et, par la suite, acquiert une composante est, avec une augmentation de vitesse. Ce mouvement qui traverse les latitudes ne peut s'étendre sur de grandes distances, car la déflexion vers la droite conduirait à des vitesses excessives. Néanmoins, des vitesses supérieures à 250 km/h au-dessus de 10 km d'altitude sont souvent observées dans les zones subtropicales.

5. LA FORMATION D'UNE GRANDE SPIRALE

Les spirales que l'on rencontre dans l'atmosphère peuvent varier énormément tant dans leur intensité que dans leur étendue. Toutes ces spirales jouent cependant un rôle dans les échanges d'énergie de l'équateur vers les pôles. Cette turbulence peut néanmoins se diviser en deux classes:

- les petits et moyens tourbillons, phénomènes plutôt locaux qui ne représentent que des incidents passagers. Leur durée de vie est limitée de quelques secondes à rarement plus de quelques heures;
- les spirales faisant entrer en jeu des masses d'air d'origines différentes. Elles comprennent toute la gamme des grandeurs et vont de quelques centaines à quelques milliers de kilomètres et leur durée va de quelques jours à plus d'une semaine.

Sans vouloir entrer dans des développements plus complets, il suffit de remarquer ici que les divers mouvements de l'air peuvent conduire à ce que deux masses de caractères différents (différence de densité due à leur température ou à leur humidité respectives, voire les deux ensemble) se côtoient. L'une sera plus froide ou plus sèche que l'autre. Elles seront séparées par une zone de transition dans laquelle cette densité variera très rapidement.

Suite à une perturbation qui peut être un mouvement résiduel ou, ce que l'on observe le plus souvent, que de l'air froid s'avance en direction de latitudes inférieures, une onde instable se forme le long de cette zone de transition. Elle ira en s'amplifiant pour former finalement une dépression. Il faut reconnaître que la genèse ou plus exactement la cause et l'endroit où une dépression prend naissance reste encore assez obscure pour les météorologues. Néanmoins, l'intégration numérique des équations du mouvement prévoit ces formations, mais «dérape» souvent. Pourquoi? Une partie de l'incertitude peut être mise sur le compte de la connaissance imparfaite des conditions initiales, une autre sur celui des simplifications indispensables pour obtenir une solution numérique (cartes météorologiques calculées par ordinateur).

En considérant la pression et ses variations, le mouvement tourbillonnaire engagé se remarquera par la formation d'une dépression sur une carte météorologique: les isobares prenant une forme plus ou moins circulaire.

La mesure de la pression et de ses variations en un point, conforme à l'esprit rationaliste du XIX^e siècle, s'est solidement établie. Le dessin de Fitzroy (1859, 1862), d'une spirale atmosphérique est plus proche de ce que les satellites observent journellement que les dessins faits par des météorologues avant le lancement du premier satellite.

Une particularité reste encore obscure: une spirale nuageuse n'a jamais plus de deux spires!

6. LA SPIRALE DEVIENT VISIBLE

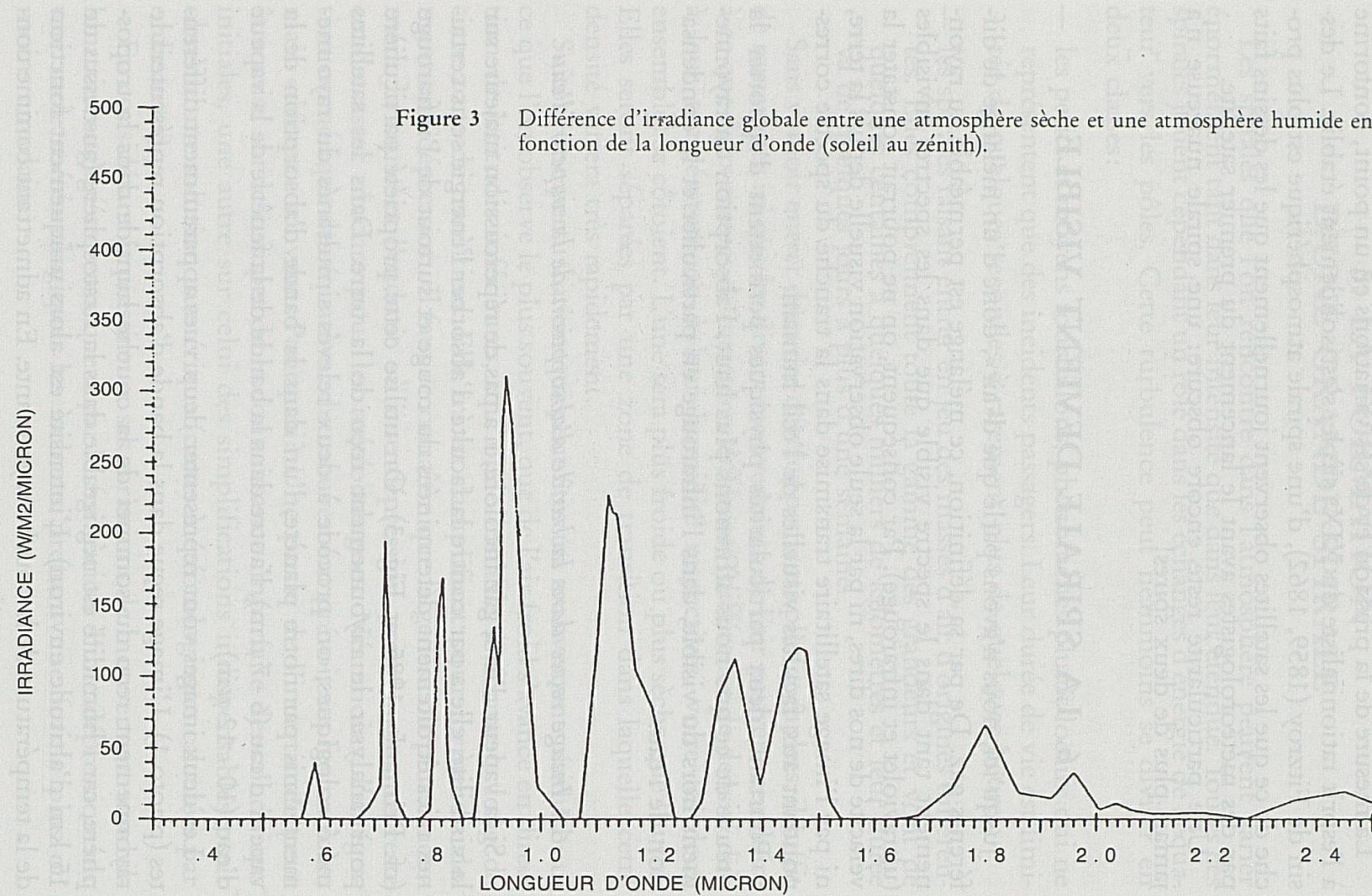
Jusqu'ici, nous n'avons parlé que d'«air», donc d'un mélange de différents gaz. De par sa définition, ce mélange est perméable au rayonnement tant dans le spectre visible que dans les spectres invisibles (ultraviolet et infrarouge). Par conséquent, on ne pourrait constater la véracité de nos dires, ni par la seule observation visuelle depuis la terre, ni par l'image satellitaire transmise dans la tranche du spectre correspondant aux facultés visuelles de l'œil humain.

Pourtant, deux particularités physiques permettent d'apporter la preuve de ce que nous affirmons plus haut: l'absorption du rayonnement hors du visible, dans l'infrarouge en particulier et la condensation de l'eau.

6.1 *Image reçue dans la bande d'absorption de la vapeur d'eau*

Si la vapeur d'eau, gaz incolore, n'a pas de répercussion majeure sur la visibilité, elle a par contre la faculté d'absorber l'énergie sous certaines raies étroitement déterminées du rouge et surtout de l'infrarouge (cf. Primault, 1985 et Fig. 3). On utilise cette propriété particulière pour analyser le rayonnement reçu de la terre. Dans les satellites météorologiques, on procède à deux relevés simultanés du rayonnement émis par notre planète, l'un dans la bande d'absorption de la vapeur d'eau ($6 - 7 \mu\text{m}$), l'autre dans la bande de la fenêtre de la vapeur d'eau ($10 - 12 \mu\text{m}$).

Les deux images vont représenter deux vues apparemment différentes (photo 1). L'image reçue dans la bande d'absorption représentera le rayonnement reçu du sommet de la couche humide dans la troposphère, car l'humidité est négligeable dans la stratosphère (au-dessus de 15 km d'altitude environ). L'intensité est alors uniquement fonction de la température de la couche rayonnante. En admettant comme con-



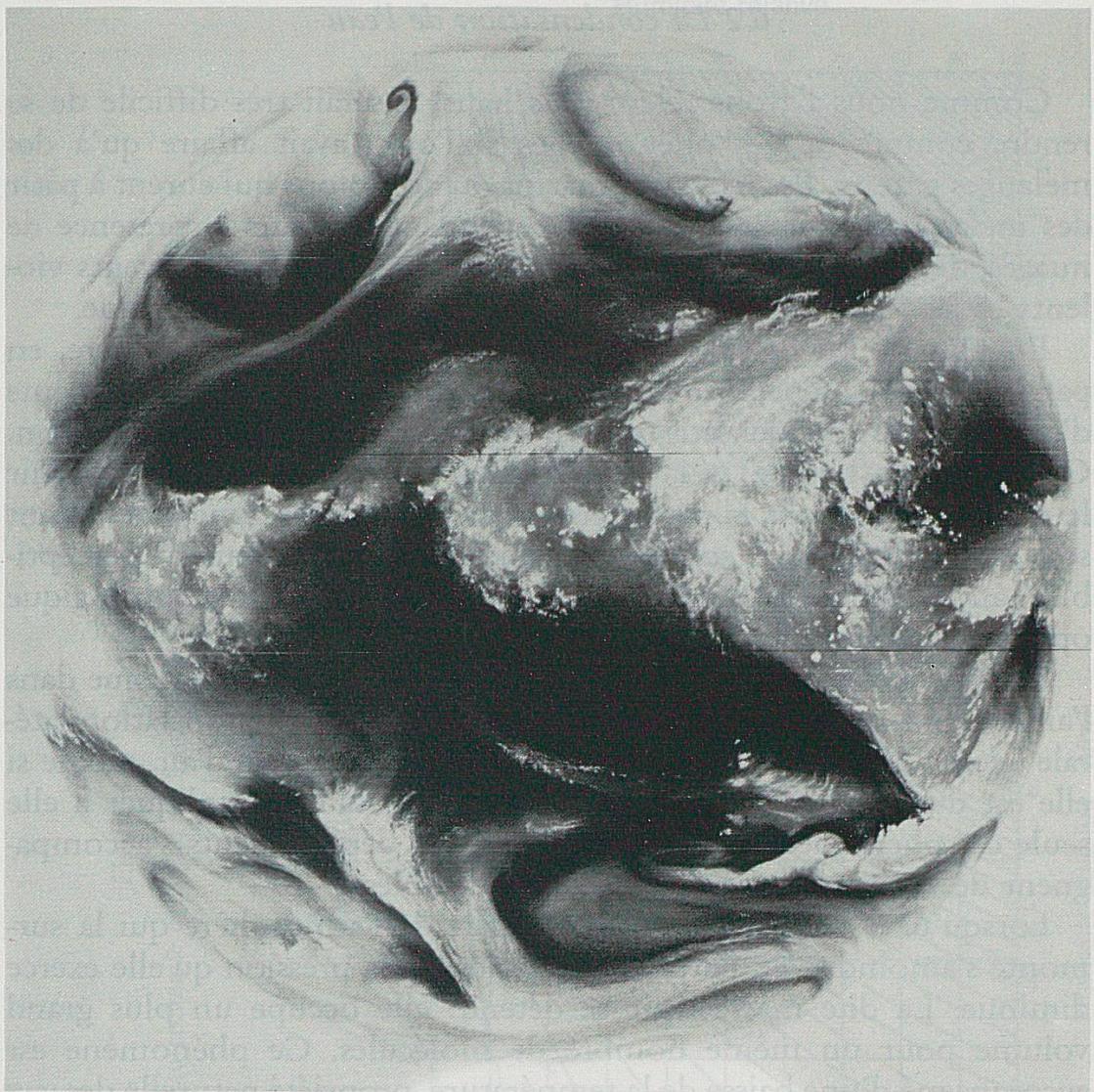


Photo 1

Image MÉTÉOSAT du 22 avril 1978 dans la bande d'absorption de la vapeur d'eau. On y distingue particulièrement bien un tourbillon dans la partie supérieure (au nord-ouest de l'Ecosse).

vention que les faibles énergies reçues seront visualisées blanches et les hautes intensités noires, la température décroissant avec l'altitude dans la troposphère, les tons blancs correspondent à une couche humide haute, donc froide, les tons sombres à des régions plus basses, donc plus chaudes. On obtient ainsi des images semblables à celles diffusées par la télévision.

6.2 *La condensation de l'eau*

Comme nous l'avons relevé plus haut, il serait très difficile de se rendre compte de ces phénomènes si l'on n'avait affaire qu'à des mélanges gazeux. Les récits des marins ou des colons qui eurent à pâtir des méfaits des ouragans relèvent cependant toujours la présence de nuages, de pluie et souvent de brouillard accompagnant les vents violents et les variations importantes de la pression atmosphérique.

En plus de fluctuations dans la composition de l'atmosphère, en particulier de sa teneur en vapeur d'eau, on assiste à des changements d'état de l'eau: condensation, évaporation, congélation, liquéfaction. Comme l'eau (liquide) et la glace (solide) ont la propriété de réfléchir le rayonnement dans la partie visible du spectre, les zones présentant soit des gouttes d'eau, soit des cristaux de glace deviennent perceptibles tant à l'œil de l'observateur au sol qu'au satellite météorologique opérant dans le visible.

Sous quelles conditions particulières la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense-t-elle ou s'évapore-t-elle? Une simple translation latérale (c'est-à-dire sans changement d'altitude) des masses d'air, même si elle est due à des différences de pression, ne saurait expliquer à elle seule ces phénomènes. Il faut donc que ces déplacements s'accompagnent de mouvements verticaux considérables.

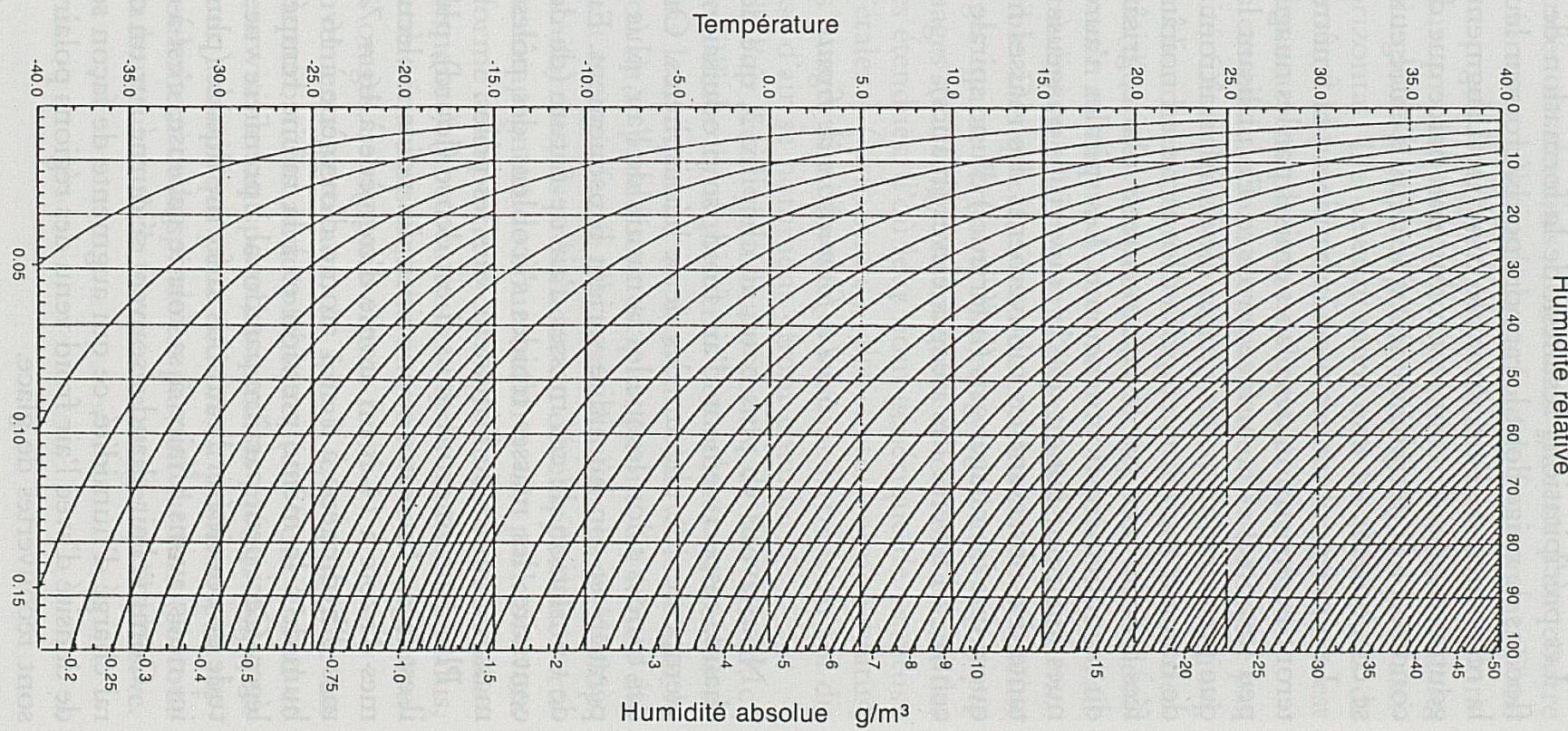
Lorsqu'une masse d'air s'élève, la part de l'atmosphère qui la surmonte s'amoindrit et, partant, son poids ou la pression qu'elle exerce diminue. La dite masse d'air se détend: elle occupe un plus grand volume pour un même nombre de molécules. Ce phénomène est accompagné d'une baisse de la température, propriété naturelle des gaz utilisés dans les réfrigérateurs.

Pourtant, pour une pression et une température données, l'air ne peut tenir en suspension qu'une quantité maximale de vapeur d'eau (g/m^3 , Fig. 4). On nomme cet état, lorsqu'il est atteint, la saturation. Si la masse d'air contient dès l'origine de grandes quantités de vapeur d'eau, le fait de s'élèver, donc de se dilater, donc de se refroidir, l'amènera rapidement à saturation (100% d'humidité relative). Si le mouvement ascensionnel se poursuit, la vapeur d'eau en surplus passera de l'état gazeux à l'état liquide (condensation) ou solide (congélation) selon la température ambiante. De tels changements d'état s'accompagnent d'un dégagement de chaleur non négligeable.

Si une masse d'air, même tenant en suspension des gouttes d'eau ou des cristaux de glace, s'abaisse, les mêmes phénomènes se produisent, mais en sens inverse.

Figure 4

Diagramme du poids de vapeur d'eau contenue dans l'air en fonction de la température et de l'humidité relative.



Les précipitations résultent de la formation de gouttes d'eau ou de flocons de neige dont le rapport poids/grosseur leur permet de vaincre la résistance de l'air, donc de tomber. L'augmentation du poids des gouttes ou des flocons se produit soit parce que de la vapeur d'eau se condense à la périphérie, soit que deux d'entre eux s'unissent et, ainsi, se confondent en une seule masse.

Les images obtenues dans la bande ou la fenêtre «visible» représenteront la répartition des plages émises par les nuages (de glace ou d'eau, peu importe) et la surface terrestre. En utilisant la même convention que précédemment, les nuages élevés apparaîtront en blanc, les nuages de hauteur moyenne en gris et les terres en noirâtre la journée, chauffées qu'elles sont par le rayonnement solaire, grisâtres la nuit par suite du rayonnement nocturne émis. Les spirales n'auront des spires continues que pour autant que la couverture nuageuse soit partout importante. En observant les mouvements des masses nuageuses, on remarquera que les nuages gris (inférieurs) d'une spirale se dirigent vers son centre, à l'inverse des nuages élevés (blancs).

6.3 *La formation de fronts*

Nous avons vu plus haut, au chapitre 3, que des pénétrations d'air chaud, respectivement d'air froid, se produisaient dans la zone dite «tempérée» de chacun des deux hémisphères. On y rencontre donc des bandes selon lesquelles la nature de l'air, plus précisément sa température et son humidité varient brusquement. En outre, la direction de translation de ces masses d'air de nature (de densité) différente est contraire: les masses froides s'écoulent des pôles vers l'équateur, les masses chaudes de l'équateur vers les pôles.

Plus l'air est froid, plus il est dense (lourd), plus il est chaud, plus il est léger. En outre et en raison des poids moléculaires de l'air (4 atomes d'azote à 14 et un atome d'oxygène à 16 = 72) et de l'eau (2 atomes d'hydrogène à 1 et 1 atome d'oxygène à 16 = 18), plus l'air est humide à la même pression et à la même température et plus il est léger. Ceci peut paraître paradoxal à première vue. Nous avons l'habitude de considérer l'eau sous sa forme liquide (plus lourde que l'air) et ici nous avons affaire à sa forme gazeuse, c'est-à-dire à de la vapeur.

Comme l'air chaud a souvent séjourné sur un océan, il est en général chargé d'humidité, ce qui augmente de façon sensible la différence de densité d'avec l'air froid venu des régions polaires, même si celles-ci sont recouvertes de glace.

Lorsque deux fluides de densités différentes glissent l'un contre l'autre, des vagues se forment le long de la surface de frottement. Dans notre cas, des ondes se produisent, non pas verticalement comme lorsque le vent souffle sur un plan d'eau (lac ou mer), mais horizontalement sur la surface du globe que, pour la démonstration, on peut assimiler à un plan horizontal. De ce fait, et vu que les différences de densité sont relativement faibles, l'amplitude de ces ondulations est considérable et atteint souvent plusieurs milliers de kilomètres.

La trace au sol de ces ondulations n'est pas seule à être affectée par la différence de densité. Cette différence se prolonge en altitude. Ainsi, à l'endroit où de l'air chaud rencontre de l'air froid, il glisse sur ce dernier comme sur le pan d'un toit. Les processus décrits sous 6.2 se développent *progressivement* au fur et à mesure que l'épaisseur de l'air froid augmente, c'est-à-dire que l'air chaud s'élève. Au début, le phénomène n'est guère visible. Dès que le niveau de condensation est atteint (saturation), les nuages qui se forment rendent visuellement compte du processus. Ces nuages sont longuement étirés et forment au ciel des plages uniformes très étendues, d'où leur nom générique de «stratus» (du latin «action d'étaler») (cirro-stratus, alto-stratus, nimbo-stratus, etc.). L'ensemble des nuages ainsi formés et surtout la trace au sol du changement de masse d'air se nomment «front chaud».

Si, au contraire, de l'air froid vient buter contre de l'air chaud, ce dernier ne peut que s'élèver brusquement. Les mêmes processus se produisent alors, mais leur intensité est d'autant plus violente que la largeur de la bande où ils se produisent est plus étroite. La forme des nuages qui en résultent en est affectée elle aussi. Au lieu de se développer en larges plages uniformes, ils présentent un développement vertical très marqué et s'accompagnent de boursouflures. On parle souvent alors de «nuages en forme de chou-fleur». Il s'agit du genre «cumulus» (du latin «amoncellement») (cirro-cumulus, alto-cumulus, cumulus, cumulo-nimbus). Cette zone dans laquelle on rencontre de nombreuses averses, voire des orages, se nomme «front froid».

Grâce à ces mouvements verticaux, la spirale que constitue un ensemble de deux perturbations atmosphériques (un front chaud et un front froid) devient visible tant pour les satellites météorologiques que pour l'observateur attentif qui peut déduire sa position par rapport au centre d'enroulement de la spirale en partant du vent (surtout de sa direction), de la hauteur et de la forme des nuages qu'il observe.



Photo 2

Image du même jour dans le spectre visible. On retrouve ici très nettement la spirale de la photo 1 au nord-ouest de l'Ecosse. On remarque l'absence de mouvements tourbillonnaires dans la zone équatoriale. Enfin, la nébulosité caractéristique de l'air froid se distingue aussi bien sur l'Atlantique nord qu'au sud de l'Afrique. (Dans l'angle gauche en bas, on distingue la lune).

6.4 La forme des nuages sur l'image du satellite

En considérant une image de satellite prise dans le spectre visible, on retrouve aisément les descriptions qui précèdent. A la photo 2, nous donnons une vision globale d'une spirale atmosphérique.

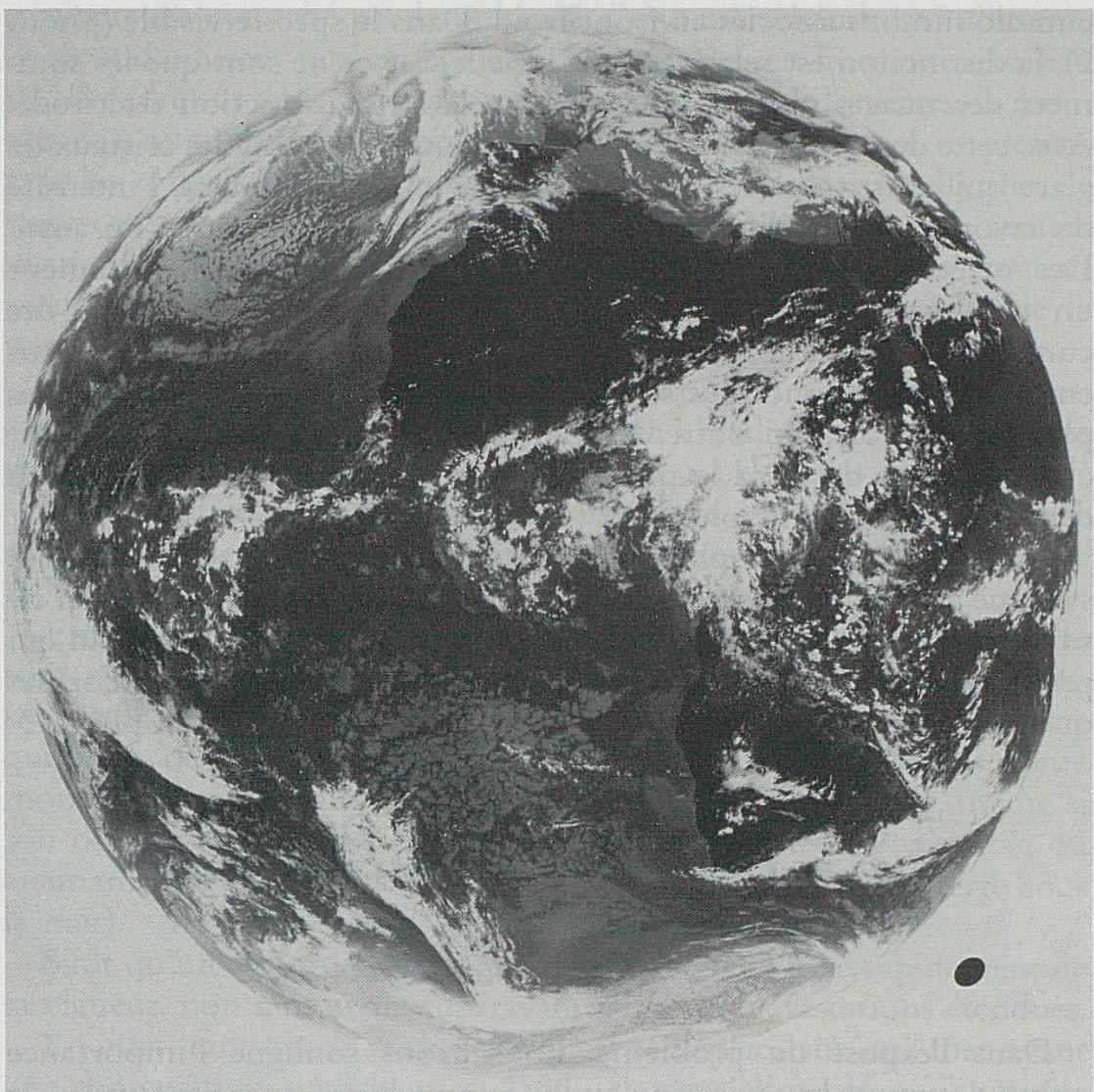


Photo 3

Image du même jour dans le spectre infrarouge. On remarquera l'enroulement contraire des spirales dans les hémisphères nord et sud. L'altitude du sommet des nuages est très différenciée ici, en particulier sur l'Atlantique sud et nord. (La lune se trouve ici dans l'angle droit en bas, 1 heure d'intervalle entre les photos 1 et 2).

A l'avant, de vastes espaces sont recouverts de plages nuageuses sans structure bien marquée. Ce sont les domaines influencés par le glissement d'air chaud sur de l'air relativement froid: le front chaud.

Dans le centre et le long d'une ligne secondaire, on aperçoit une succession de taches blanches sur un fond grisâtre. Ce sont les têtes des

cumulo-nimbus associés au front froid. Dans le spectre visible (photo 2), la distinction est relativement difficile, car ce ne sont que les sommets des nuages qui apparaissent et cela sans distinction d'altitude. Avec cette dernière, la température des gouttes d'eau ou des cristaux de glace qui constituent les nuages diminue et, parallèlement, l'intensité du rayonnement qu'ils émettent dans l'infrarouge diminue lui aussi. Des images prises dans certaines raies de ce spectre particulier donnent un relief spécifique à ce genre de front. La tête ou enclume des cumulo-nimbus située à grande altitude, donc plus froide, y apparaît en blanc sur un fond plus sombre résultant de bancs de nuages situés plus près du sol. En outre, le sommet des nuages associés au front chaud décline du bord le plus avancé vers le front lui-même par un dégradé des tons gris (photo 3).

Mais la spirale atmosphérique n'est pas seulement caractérisée par le système frontal décrit ci-dessus. Après le passage de celui-ci, le ciel ne se dégage pas tout de suite complètement. Au contraire, l'air froid qui progresse à l'arrière est habité par nombre de cellules cumuliformes que l'on distingue très bien tant sur la photo 2 que sur la photo 3.

7. SPIRALES MÉTÉOROLOGIQUES DE PLUS PETITES DIMENSIONS

7.1 *Les typhons ou cyclones tropicaux*

Dans l'exposé du problème, nous avons souligné l'importance qu'avait eu pour la navigation au long cours la présence renouvelée de vents extrêmement violents dans certaines parties du globe. Il s'agissait généralement des régions subtropicales. Cette importance n'a nullement diminué bien que les naufrages dus à ce phénomène atmosphérique soient aujourd'hui beaucoup moins nombreux. Les nouvelles qui nous en parviennent concernent surtout les côtes où ils dévastent de vastes régions (Floride, Texas, par exemple) ou produisent des inondations catastrophiques (Bangladesh, Thaïlande, Japon, etc.).

Vue par le satellite météorologique, une telle formation semble moins importante qu'une dépression telle que nous la décrivons plus haut. En réalité, l'énergie qu'elle renferme est la même, mais elle est concentrée sur un plus petit espace. Elle n'en est donc que plus dévastatrice.

A l'origine, il y a, comme ci-dessus, antagonisme entre de l'air froid et relativement sec, et de l'air chaud et très humide. Pourtant, cet anta-

gonisme est exacerbé par la présence d'une mer chaude qui alimente le second courant tant en chaleur que, surtout, en humidité. Au lieu de s'étendre sur des centaines, voire des milliers de kilomètres, le mouvement rotatoire reste limité dans l'espace. Les cyclones tropicaux, appelés «Hurricane» lorsqu'ils évoluent dans l'Atlantique, «Typhons» pour ceux se trouvant sur le Pacifique, ne se forment que si la température de la mer dépasse 25°C (forte évaporation). Leur mouvement giratoire intense provoque au sol une baisse très importante de la pression.

La dynamique des cyclones tropicaux conduit à la formation, au centre, d'une zone calme, libre de nuages: «l'œil du cyclone», décrite par de nombreux navigateurs ayant survécu à de telles tempêtes.

Cette configuration est quelques fois visible également dans l'image de certaines petites, mais violentes, dépressions évoluant au-dessus de la Méditerranée.

Enfin, et comme nous l'avons déjà mentionné, ces phénomènes sont accompagnés de pluies et de vents violents. L'eau de la mer, chassée par le vent, crée une lame dévastatrice à l'avant du cyclone, lame qui balaie de grandes parties des côtes plates ou des petits atolls. Cette montée subite des eaux a l'effet d'un véritable raz de marée, même si son origine est totalement différente (le «raz de marée» véritable ou «tsunami» au Japon est déclenché par un tremblement de terre sous la mer).

Sitôt qu'un cyclone tropical passe sur la terre, il perd rapidement de sa vigueur, non sans avoir auparavant laissé des dévastations étendues.

En effet, tant que le cyclone tropical se déplace sur une mer ayant une température supérieure à 25°C, il reste alimenté en humidité (donc en énergie), il maintient donc pleinement sa vitalité. Il n'est pas rare qu'un cyclone tropical né au voisinage du Sénégal traverse tout l'Atlantique pour venir mourir sur les plaines des Etats-Unis.

7.2 *Les tornades et les trombes*

Si les cyclones tropicaux, tel que leur nom l'indique, n'affectent que les régions tropicales et subtropicales, les tornades restent l'apanage des latitudes moyennes. Elles sont relativement fréquentes au-dessus des grandes plaines des Etats-Unis, causant chaque année des pertes en vies humaines et laissant derrière elles de graves dégâts. Elles s'observent également en Europe durant l'été, plus rarement aux autres saisons. Le Jura occidental a été plusieurs fois touché par de tels phénomènes. Le



Photo 4

Une partie des dégâts causés dans les forêts du Jura vaudois par la tornade du 26 août 1971.

dernier cas important, en août 1971 (voir Piaget, 1976), a laissé sa trace de dévastations du Brassus jusqu'au voisinage de Romainmôtier (photo 4).

Leur formation est une conséquence directe de l'instabilité de l'air qui se manifeste par le déclenchement de forts courants verticaux conduisant à la formation de nuages d'orage. La succion à l'avant de la rafale, succion qui provient des descendances causées par les précipitations, prend la forme d'un violent mouvement tourbillonnaire. La baisse de pression au centre de la tornade peut en outre causer des effets surprenants. De lourds blocs sont soulevés puis déposés à plusieurs mètres de distance. Au Brassus (Jura vaudois), en dévastant l'ate-

lier d'une carrosserie, les couvercles des boîtes de peinture ont été explosivement arrachés. Le facteur, présent à ce moment-là, et les parois de l'atelier furent alors couverts d'une multitude de petits points de peinture.

Lorsque les tornades évoluent au-dessus d'une surface d'eau, mer ou lac, on observe souvent des phénomènes semblables: les trombes. De telles trombes ont souvent été observées au-dessus des grands lacs suisses (Léman, Neuchâtel, Constance en particulier).

7.3 *Tourbillons plus petits*

Les tourbillons conduisant à la formation de spirales ne s'épuisent pas par cette énumération, mais se retrouvent, à plus petite échelle il est vrai, partout où l'on observe des mouvements turbulents dans l'air. Ils vont des petits tourbillons de poussière au coin des rues jusqu'au turbulences que l'on observe dans le sillage d'un avion volant à haute altitude dans un ciel serein.

8. CONCLUSION

En conclusion, si la spirale est l'élément le plus banal et le plus commun de l'atmosphère, elle place le météorologue devant bien des problèmes non encore résolus, malgré l'utilisation journalière de modèles physiques par des ordinateurs à grande puissance.

De plus, la spirale se rencontre dans toutes les atmosphères planétaires et les images que les diverses sondes envoyées vers d'autres planètes que la nôtre (Mars, Vénus, Saturne, etc.) le prouvent à satisfaction.

On la retrouve même au-dessus de l'écoulement d'une baignoire par exemple où le courant d'eau reproduit en petit un typhon tropical.

9 BIBLIOGRAPHIE

- Eagleman J.R., Meteorology. The Atmosphere in Action. D. van Nostrand Company, New York, Toronto, Melbourne, 1980: 384.
Fitzroy, Notes on Meteorology. Board of Trade 1859. London, 1859: 35.
Fitzroy, Barometer Manual. Board of Trade 1862 (6th Ed.). London, 1862: 49.

- Piaget A., L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971. Publications de l'Institut Suisse de Météorologie; 1976: 35: 102.

Primault B., Des conséquences agricoles possibles de l'absorption de raies du spectre par la vapeur d'eau. Rapports de Travail de l'ISM, 1985; 131: 10 + 10 fig.

Primault B. et Piaget A., Die grösste Spirale der Erde: das meteorologische Tiefdruckgebiet. In Hartmann H. und Mislin U., Die Spirale. Gewerbemuseum Basel, 1985: 29 - 34.

RÉSUMÉ

L'histoire nous enseigne que, depuis la plus haute Antiquité, les vents violents ont été redoutés des navigateurs. En outre, diverses contrées sont souvent dévastées par le passage de tornades. Par le dépouillement des livres de bord des navires, mais surtout à la suite de la lecture systématique du baromètre, on a pu établir une liaison étroite entre les fluctuations de la pression atmosphérique et la force et/ou la direction du vent. Ceci a donné naissance aux cartes météorologiques dès la seconde moitié du siècle dernier. On a ainsi démontré la présence d'un flux de chaleur de l'équateur vers les pôles. Mais ce flux n'est pas rectiligne. Par suite du mouvement de rotation de la terre, ce flux est dévié et les vents s'enroulent en spirales de très grande dimension. Ces déplacements de masses d'air s'accompagnent de mouvements verticaux qui engendrent des phénomènes de condensation de la vapeur d'eau. Des nuages se forment alors et les spirales deviennent visibles tant pour les observateurs au sol que pour les satellites météorologiques. L'article se termine par la description de spirales atmosphériques plus petites, mais dont l'énergie est plus concentrée, donc plus destructrice (hurricanes, typhons, trombes, etc.).

ARCHITECTURE

Plaet A., Révoltes orageuses au nord des Alpes et la tornade du Jura
du 22 juillet 1976. In: Publications de l'Institut Suisse de
Météorologie, 1976, 2, p. 101.

Hermann B., Des conséquences négatives possibles de l'absorption de
nuages du Specie sur la vapeur d'eau. Rapports de Travail de
l'ISM, 1985, 13, p. 10 fig.

Hermann B. et Baug A., Die grosse Spindeldrehung des meteorolo-
gische Tiefdruckzentrums. In: Hartmann H. und Mühle U., Die
Spirale. Gewerbeumwelt Basel, 1987, p. 34.

LA SPIRALE

L'histoire nous enseigne que, depuis la plus haute Antiquité, les
mers et l'Océan ont été redoutés des navigateurs. En outre, diverses épi-
sodes ont souvent dévasté par le passage de tornades. Par le dépouil-
lement des documents historiques, on peut toutefois faire partie à la suite de la les-
sons de l'antiquité. Ces dernières sont en effet une liaison étroite
entre la rotation de la Terre et la circulation atmosphérique et la force et/ou la
direction du vent. Cela donne lieu à des phénomènes météorologiques
où la spirale joue un rôle de premier. On a ainsi dénommé la pré-
sence d'un flux de masse de l'équateur vers les pôles. Mais ce flux
n'est pas rectiligne. Par suite du mouvement de rotation de la Terre, ce
flux est dévié et les vents s'enrichissent en spirales de très grande dimen-
sion. Ces déplacements de masses d'air s'accompagnent de mouve-
ments verticaux qui engendrent des phénomènes de condensation de
la vapeur d'eau. Des nuages se forment alors et les spirales deviennent
visibles tant pour les observateurs au sol que pour les satellites météo-
logiques. L'article se termine par la description de spirales atmos-
phériques plus petites, mais dont l'énergie est plus concentrée, donc
plus destructive (ouragans, typhons, tornades, etc.).