

LIBRES PROPOS SUR LES CYCLONES TROPICAUX

par Albert CHAUSSARD
Consultant près l'AAM

Périodiquement, l'actualité nous rappelle que l'atmosphère est capable de violentes colères; c'est notamment le cas avec les cyclones tropicaux. Mus par un louable souci didactique, les médias «expliquent» que c'est l'énergie fournie par les mers chaudes qui provoque ces phénomènes par l'intermédiaire de puissants mouvements convectifs. Ils ajoutent parfois que certaines circonstances particulières sont nécessaires en altitude. Ces explications nous laissent sur notre faim en ce qui concerne un certain nombre de questions. Par exemple:

- pourquoi n'y a-t-il finalement que si peu de cyclones en saison chaude? Pourtant, des embryons les «seedless» des Anglo-saxons), sièges d'une intense convection, parcourent quasi quotidiennement des mers très chaudes;
- par quel mécanisme des mouvements verticaux, ne dépassant quelques mètres par seconde qu'en des zones limitées, peuvent-ils se transformer en des vents horizontaux de plusieurs dizaines de mètres par seconde balayant des centaines de kilomètres-carrés?

Le but de ces quelques lignes est de montrer, en se limitant à des notions familières pour des météorologistes et en procédant pas à pas, qu'il est possible d'avancer un schéma, certes qualitatif et n'ayant pas la prétention à la rigueur scientifique, mais jetant pourtant quelque lumière sur ces questions.

Précisons d'abord la démarche intellectuelle préalable suivie. Elle consiste, comme dans toute étude de phénomène complexe, à bien identifier l'essentiel en négligeant, au moins dans un premier temps, ce que l'on considère comme accessoire. Mathématiquement, cela revient à laisser de côté les termes dont on ne sait pas tenir compte dans les calculs. Bien sûr, un scientifique avancera des justifications pertinentes pour «linéariser» ses systèmes d'équations et nous ferons de même.

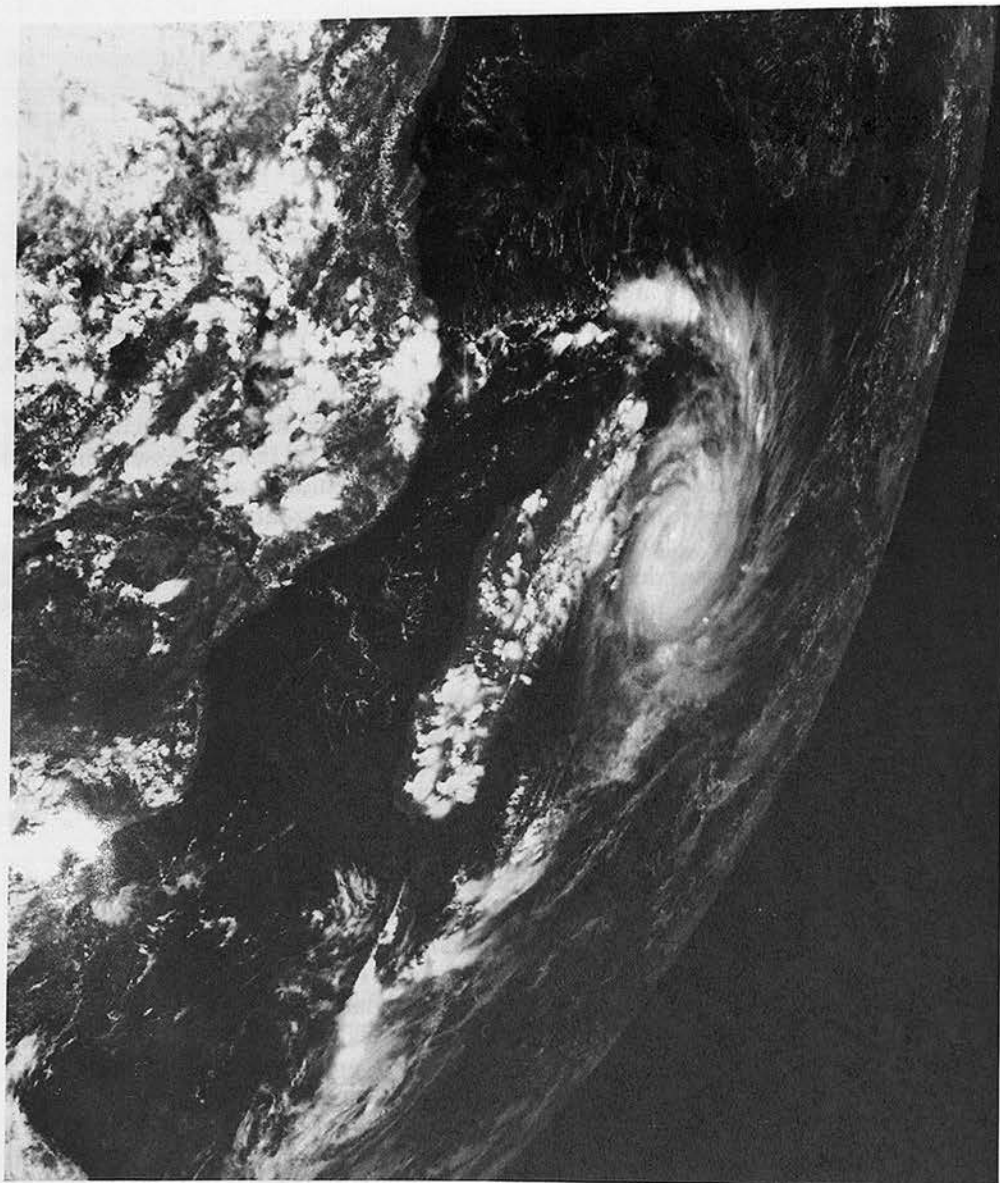
Illustrons notre propos par deux exemples familiers : quel météorologiste a effectivement rencontré une atmosphère non visqueuse en mouvement laminaire, rectiligne, uniforme et permanent? Et pourtant le vent géostrophique a fait une belle carrière et conserve tout son intérêt didactique malgré l'apparition des modèles numériques. Quant à ces derniers, reconnaissons que leurs progrès sont tributaires de ceux de la théorie et surtout de la puissance de calcul.

Dans cette optique, un cyclone tropical sera grossièrement cylindrique, siège de puissants mouvements convectifs entraînant vers les couches supérieures l'air des basses couches. En mécanique des fluides, on reconnaît l'exis-

tence dans les basses couches d'un puits se déversant dans ce cylindre, d'une source dans les couches supérieures. On considérera que c'est là le fait essentiel et on simplifiera le problème en étudiant séparément la cinématique des mouvements horizontaux liés à ce puits et à cette source. On les supposera homogènes verticalement dans chacune des couches et indépendants l'un de l'autre, sauf en ce qui concerne leurs conditions initiales respectives. La composante verticale de l'accélération de Coriolis étant faible dans les régions tropicales, on va la supposer constante, justifiant ainsi l'hypothèse de la symétrie cylindrique du phénomène. On peut alors résoudre le système d'équations qui en résulte et proposer ensuite un schéma simplifié, sinon simpliste, du mécanisme cherché.

Donc, il était une fois une masse d'air humide sur une mer chaude. Des mouvements convectifs, les tourbillons de Bénard, se sont déclenchés, matérialisés par des cumulus. Décortiquons l'un d'eux, supposé isolé. En son sein, le flux ascendant pompe des particules des basses couches pour les injecter dans les couches supérieures. La nature ayant horreur du vide... Pardon : l'équation de continuité nous montre que le flux ascendant est alimenté dans les basses couches par un flux convergent. A contrario, il ne pourra y avoir accumulation dans les couches supérieures : l'air ascendant sera évacué latéralement par un flux divergent, la divergence étant d'autant plus forte que le freinage est brutal. Les particules sont donc expulsées plus ou moins loin de la zone d'ascendance. Butant sur l'air environnant, elles provoquent la formation d'une zone annulaire de convergence dont les dimensions sont fonction de la valeur de la divergence. L'ascendance n'étant pas possible, cette convergence va provoquer un mouvement descendant qui viendra alimenter le mouvement convergent des basses couches, assurant ainsi la pérennité du tourbillon.

Nous reviendrons plus loin sur l'influence de la préexistence de convergence ou de divergence dans la couche de freinage. Remarquons que, formule de Margulès aidant, une variation de pression au sol résultera, en première approximation, de l'évolution du bilan convergence/divergence selon la verticale. Enfin, ayant jusqu'alors superbement ignoré Coriolis et son accélération, les mouvements résultants sont des mouvements rectilignes et radiaux. Suffisamment loin de l'équateur, il faut les corriger de l'effet Coriolis bien connu : amorce de circulation dépressionnaire dans les basses couches,



Cyclone tropical vu par Météosat-2 le 5 février 1986.
Le tourbillon (sens des aiguilles d'une montre; nous sommes dans l'hémisphère sud) est net avec des nuages spirales qui convergent vers un œil central bien apparent. La côte orientale de Madagascar est directement menacée. Sur «La Grande Ile» même, on observe de nombreux nuages à fort développement vertical (plus les formations apparaissent d'un blanc brillant, plus les sommets nuageux sont élevés). On distingue bien la côte du continent africain et on admirera, vers la droite, la rotondité de la Terre (doc. Météo-France).

anticyclonique dans les couches supérieures.

Mais sur une mer chaude, un cumulus n'est jamais seul : il peut donc y avoir interférence entre les différentes zones attachées à chacun d'eux. En laboratoire, les tourbillons de Bénard s'organisent en cellules hexagonales juxtaposées. Dans l'atmosphère, le cas intéressant est celui où les cumulus se sont développés dans une zone faiblement dépressionnaire. En simplifiant toujours au maximum, on peut considérer que c'est l'ensemble qui forme la zone grossièrement cylindrique dont nous venons de parler.

Faisons maintenant un détour par la mécanique rationnelle. En effet, dans un mouvement stationnaire, les lignes de courant et les trajectoires sont confondues. Il revient donc au même de considérer soit des files de particules dessinant à un instant donné les lignes de courant, soit une famille de mobiles parcourant dans le temps des trajectoires déductibles du champ de forces. Constatant que les mouvements horizontaux convergent vers ou divergent à partir d'une zone centrale assimilée

à un point, on reconnaît les mouvements dits à forces centrales, c'est-à-dire à forces recoupant un point fixe.

Ces mouvements jouissent d'une propriété essentielle : la conservation du moment angulaire. C'est le produit vectoriel du vecteur vitesse par le rayon vecteur issu du point fixe. Malgré son aspect ésotérique, cette propriété est presque aussi banale que la prose de M. JOURDAIN. C'est ainsi que, dans un saut périlleux (mais peut-être n'est-ce pas là votre activité favorite), elle accélère la rotation lorsqu'on se regroupe, la freine lorsqu'on se détend (1).

Plus sérieusement, elle a pour conséquence la loi des aires qui régit le mouvement des corps célestes. Le mobile se rapprochant du centre d'attraction, elle impose, quelle que soit la valeur non nulle de la vitesse tangentielle initiale, la croissance de la vitesse de rotation, de la vi-

(1) - Dans la plaisanterie du lavabo qui se vide, si, en l'absence de tout asymétrie ou impulsion initiale, Coriolis peut amorcer et orienter la rotation, c'est bien en vertu de cette propriété que le mouvement de l'eau s'accélère et le tourbillon se forme : une force perpendiculaire à une vitesse ne peut accélérer cette dernière.

tesse tangentielle et de la force centrifuge. Le mouvement convergent s'arrête lorsque cette dernière devient égale et opposée à la force d'attraction : le rayon vecteur ne peut plus décroître et il y a une zone centrale inaccessible au mobile. Le mouvement radial s'inverse alors, ainsi que les phénomènes décrits. Toutefois, le rayon limite n'existe pas toujours dans le mouvement d'éloignement. Les trajectoires peuvent être elliptiques (planètes), paraboliques (astéroïdes) ou spiraler entre deux limites, selon les valeurs de la vitesse initiale et du champ de forces.

Dans l'atmosphère, l'application de ce qui précède est immédiate pour les basses couches, en remarquant toutefois que la phase d'éloignement n'existe pas : elle est rejetée en altitude. Il y a donc accélération des vents en se rapprochant du centre, d'autant plus que l'origine des particules est lointaine (que le diamètre du phénomène est grand) et existence d'une zone centrale inaccessible (œil du cyclone).

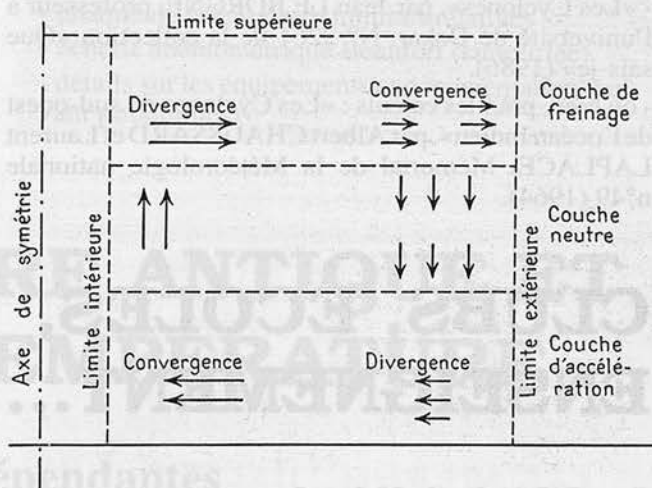
Pour les couches supérieures, la situation est plus complexe : il faut tenir compte des valeurs tant de la divergence que des vitesses résiduelles des particules en provenance des basses couches. On peut montrer qu'il existe une limite extérieure d'autant plus éloignée que la divergence est forte ou que les particules ont conservé une circulation cyclonique résiduelle en arrivant dans la couche de freinage. Il y a d'abord décroissance de cette circulation, puis inversion en circulation anticyclonique.

Nous sommes maintenant en mesure de proposer un scénario, peut-être naïf, mais plausible de la formation d'un cyclone tropical. Soit donc sur une mer très chaude, une atmosphère très humide développant de gros cumulus au sein d'une petite dépression, suffisamment loin de l'équateur. Un équilibre s'est établi entre le flux convergent des basses couches et celui des couches supérieures. Arrive, du fait de la circulation générale, de la divergence dans la couche de freinage. L'équilibre est rompu : une partie de l'air ascendant est rejeté en dehors de la zone d'équilibre, ce qui va amorcer une baisse de pression au niveau de la mer et accroître les dimensions de la zone des basses couches où est puisé l'air convergent. Du fait de la conservation du moment angulaire, la faible circulation cyclonique initiale va s'accroître. L'air ascendant va arriver dans la couche de freinage avec un résidu de cette circulation, qui aura le même effet qu'un accroissement de la divergence : croissance plus forte de la baisse de pression et du rayon limite extérieur. Le mécanisme est donc « explosif » : il se renforce de lui-même. On peut dire que l'atmosphère présentait en quelque sorte une instabilité structurelle.

Dans la zone centrale, va se développer une zone inaccessible au mouvement tourbillonnaire, formant ainsi une colonne d'air calme, mais limitée par de puissants cumulonimbus. L'air proche de ces parois va être entraîné vers le haut et ce mouvement devra être compensé par un mouvement descendant dans la partie centrale. Il va se former un tourbillon secondaire dont l'axe est descendant donc subsident. D'où un ciel clair ou peu nuageux par nuages stables en lambeaux dans l'œil du cyclone.



Barogramme du passage du cyclone «Jenny» à Saint-Denis-de-la-Réunion (28 février 1962)



Répartition des zones de divergence et de convergence dans un cyclone type

Nous avons donc maintenant des réponses possibles aux questions posées ci-dessus : c'est l'arrivée dans la couche de freinage, toutes autres conditions étant réunies par ailleurs, qui est le détonateur lors de la formation et c'est la conservation du moment angulaire de la vitesse qui est le facteur d'accélération dans le mouvement convergent. On peut encore remarquer que les propriétés d'un cyclone résultent des valeurs relatives de trois flux : le convergent des basses couches, le divergent des couches supérieures, reliés par le flux convectif. On peut penser que toute action sur l'un d'eux modifiera l'intensité du phénomène. C'est ainsi qu'un renforcement synoptique de la divergence d'altitude provoquera un nouveau creusement de la dépression. L'arrivée sur une mer moins chaude diminuera la convection, donc le flux divergent d'altitude. Le cyclone va diminuer lentement d'intensité. Lors de l'arrivée sur terre, il y aura non seulement diminution de la convection, mais aussi augmentation de la convergence dans les basses couches du fait de l'augmentation du frottement sur le sol (dans une dépression, le frottement

dévie le vecteur vitesse vers le centre); le comblement sera donc plus rapide que sur mer.

Il est temps de conclure en soulignant que, bien que débouchant sur nombre de propriétés synoptiques des cyclones tropicaux, ces réflexions ne constituent pas une théorie du cyclone tropical. Mais basées sur une solution rigoureuse des équations du mouvement dans un cas très simplifié, elles mettent en évidence les contraintes cinématiques à respecter lors d'approches plus rigoureuses, thermodynamiques, numériques ou autres. Toutes élémentaires qu'elles soient, elles ont eu pour l'auteur un mérite, essentiel à ses yeux : celui de contribuer à son confort intellectuel lors des huit saisons cycloniques vécues à Madagascar en tant que responsable de la prévision, à une époque où il n'y avait ni satellites, ni modèles numériques, pas même, dans cette région, d'observations ou mesures en altitude.

Si le sujet traité ici vous intéresse, vous pouvez notamment consulter :

- «Les Cyclones», par Jean LE BORGNE, professeur à l'université de Dakar. N° 2261 de la collection «Que sais-je» (1986).
- ou bien, pour les calculs : «Les Cyclones du sud-ouest de l'océan Indien», par Albert CHAUSSARD et Laurent LAPLACE. Mémorial de la Météorologie nationale n°49(1964).