



HAL
open science

La notion de système et la circulation atmosphérique

François Durand-Dastès

► **To cite this version:**

François Durand-Dastès. La notion de système et la circulation atmosphérique. Bulletin de l'Association de géographes français, 1979, 56 (465), pp.391-398. 10.3406/bagf.1979.5136 . hal-02447665

HAL Id: hal-02447665

<https://hal.science/hal-02447665>

Submitted on 21 Jan 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



La notion de système et la circulation atmosphérique

La circulation atmosphérique est un facteur essentiel des climats de la terre ; il est donc difficile aux géographes de se désintéresser totalement de sa description, bien évidemment, mais aussi de son explication. La logique des systèmes offre de très grandes commodités, au moins pour la présentation des phénomènes de circulation, et même pour leur compréhension. Elle offre donc un double intérêt, du point de vue de la pédagogie et de la recherche, comme nous espérons le montrer dans cette note, où nous nous limiterons à la présentation de schémas destinés à insister sur l'importance des interactions dans le domaine qui nous préoccupe - interactions trop souvent oubliées.

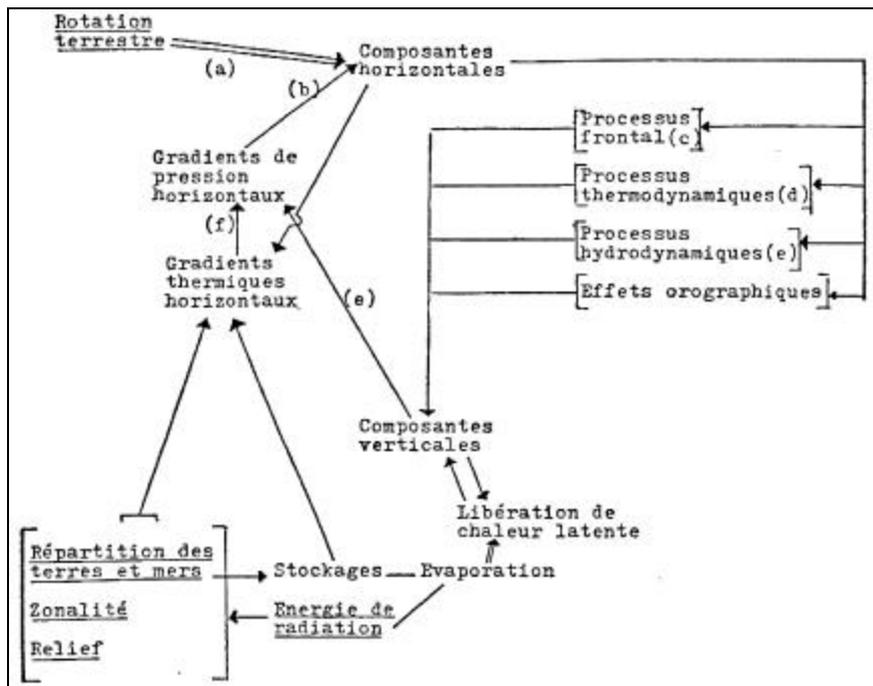
I - Un schéma d'ensemble des interactions entre les composantes de la circulation

L'analyse - toujours utile - des phénomènes de circulation impose la distinction des composantes verticales et horizontales des mouvements de l'atmosphère, chaque vecteur pouvant être considéré comme la somme d'un vecteur horizontal et d'un vecteur vertical. Il s'agit là d'une *commodité* qui permet de distinguer des étapes dans les démonstrations et de construire des équations traitables. Mais dans beaucoup de traités, de climatologie comme de météorologie, cette distinction toujours provisoire et artificielle sert de base à la rédaction de chapitres séparés, dont la lecture conduit souvent à une perte des nécessaires visions d'ensemble, à des embarras regrettables, et même, ce qui est plus dangereux, à des explications incomplètes, voire fausses.

Nous avons cherché à pallier cet inconvénient en construisant le schéma de la Figure 1, qui nous semble présenter les caractères d'un schéma de système.

Il met en valeur des *interactions* entre les différents processus et les composantes du mouvement, en présentant une série de boucles fermées, qui peuvent d'ailleurs être considérées comme autant de sous-systèmes. Par exemple, on peut identifier sur le schéma le sous-système « norvégien » : une dépression provoque des advections d'air plus froid et plus chaud, ce qui renforce la différenciation du champ de pression, et provoque l'apparition de fronts ; à ceux-ci sont liées des ascendances qui tendent à se concentrer près du point de rencontre des fronts de surface, et renforcent ainsi la dépression ; celle-ci est donc cause d'elle-même par l'intermédiaire de tous les autres éléments du système, et l'on pourrait en dire autant de tous ces éléments pris un par un. Ces différentes boucles ou sous-systèmes interfèrent pour donner naissance à une série de combinaisons différentes selon les lieux. Par exemple, dans les régions tropicales, surtout sur les océans, les gradients thermiques horizontaux tendent à être faibles, les fronts sont absents, et ce sont surtout des processus hydrodynamiques qui relient les composantes verticales et les composantes horizontales.

Figure 1 : Schéma général des interactions de la circulation atmosphérique générale¹



Entre crochets : « par l'intermédiaire de... ».

Flèche : « est cause de... ».

Flèche double : « maintient ou influence ».

Souligné : entrées du système (les sorties ne sont pas indiquées).

Les lettres minuscules de a à f indiquent les mécanismes qui entrent en jeu dans la relation. Voir texte pour leur explication.

D'autre part, le schéma permet de faire figurer nettement les *entrées* du système : l'énergie de radiation fournie par le soleil, transmise à l'atmosphère par une modulation selon la latitude et la nature de la surface (essentiellement opposition des continents et des océans), sous forme de chaleur latente ou sensible, constitue la première de ces entrées ; mais la rotation terrestre a aussi un rôle décisif, dans la mesure notamment où l'écoulement du vent parallèlement aux lignes isobares empêche la destruction rapide des gradients de pression. Ainsi, le schéma relie bien des phénomènes mouvants et complexes à des phénomènes généraux, d'ordre cosmique (radiation solaire, rotation de la terre, inclinaison de l'axe des pôles par rapport au plan de l'écliptique, ici prise en compte par le terme de « zonalité »), ou d'ordre « géographique », comme la répartition des terres et des mers et celle des grandes lignes du relief. Ce système ouvert, qui reçoit un flux d'énergie et de mouvement, a également des *sorties*, qui n'ont pas été figurées sur le schéma, pour en faciliter la lecture. Ces sorties sont au nombre de deux :

- d'une part, le système de circulation s'entretient lui-même ;
- d'autre part, son fonctionnement maintient des équilibres fondamentaux à la surface du globe : équilibre dans le champ thermique, avec le maintien de températures relativement constantes aux différentes latitudes (bien que les bilans thermiques soient positifs aux basses latitudes et négatifs aux hautes et moyennes), équilibre dans le champ de mouvement, bien que l'atmosphère reçoive du globe en rotation, par l'intermédiaire de la force de gravité, un excès de moment angulaire d'ouest aux basses latitudes et de tourbillon relatif cycloniques aux latitudes élevées.

¹ Cette figure existe dans la *Géographie Universelle RECLUS*, Tome I (p. 326).

Le schéma présenté ici reste qualitatif, les différentes relations n'étant indiquées que par des signes peu nombreux et peu différenciés. Mais il existe pour chacune de ces relations ou pour chacun des processus intermédiaires, *des équations ou des modèles quantifiables*, qui sont extrêmement classiques et bien établis. Nous avons indiqué par des lettres minuscules la référence de ces modèles et équations, que nous décrirons rapidement, en reprenant les lettres de la Figure 1.

(a) et (b) L'influence de la rotation terrestre sur le mouvement horizontal est décrit par les équations du tourbillon et du moment angulaire, où la pièce maîtresse est le paramètre de Coriolis, qui rend compte de la célèbre déviation du même nom. Plus précisément, le champ de pression et le champ de vent sont reliés par l'équation du vent géostrophique *(b)*.

(c) Le modèle frontal est plus complexe mais il est quantifiable. Il est régulièrement discuté et enrichi, et a rendu des services considérables. Son abandon ne paraît pas probable dans un avenir prévisible.

(d) Les processus thermodynamiques reposent avant tout sur l'existence de la « poussée d'Archimède », origine des ascendances continues d'air chaud - moins dense - dans un environnement plus froid ; elle se manifeste lorsque, par suite notamment de mouvements horizontaux, de l'air potentiellement plus chaud est surmonté d'air potentiellement plus froid. Ces ascendances ne se comprennent que par suite des transformations adiabatiques en fonction des variations de pression ; elles sont bien décrites par des équations connues. Il convient ici de remarquer que la libération de la chaleur latente de vaporisation intervient dans les processus thermodynamiques. Son importance est telle dans certaines régions du monde, et elle a été si couramment sous-estimée dans bien des publications de géographes, que nous avons jugé utile de lui faire une place à part dans le schéma.

(e) Dans l'écoulement horizontal, il apparaît, soit par effet de vitesse, soit par effet de direction, soit par effet de courbure, soit par une combinaison des trois, des aires de divergence ou de convergence. La superposition d'une divergence supérieure sur une convergence inférieure tend à entraîner une composante verticale ascendante, et inversement pour la superposition d'une convergence supérieure sur une divergence inférieure. De tels processus sont appelés « hydrodynamiques » puisqu'ils sont liés au mode d'écoulement du fluide air, et que l'hydrodynamique est la branche de la physique qui traite de ces phénomènes. Les mouvements de l'air dans les trois dimensions influencent le champ de pression, les ascendances et les divergences tendant à susciter des baisses de pression, et inversement pour les convergences et les subsidences. C'est « l'équation de continuité », traduction classique de la loi de conservation des masses, qui permet de quantifier ces relations.

(f) Enfin, la pression est liée à la densité, donc à la température de l'air, par l'équation hydrostatique ; on sait que la présence d'une colonne d'air chaud tend à faire apparaître des pressions faibles dans les basses couches de l'atmosphère et des pressions relativement fortes dans les couches supérieures - et inversement dans une colonne d'air plus froid.

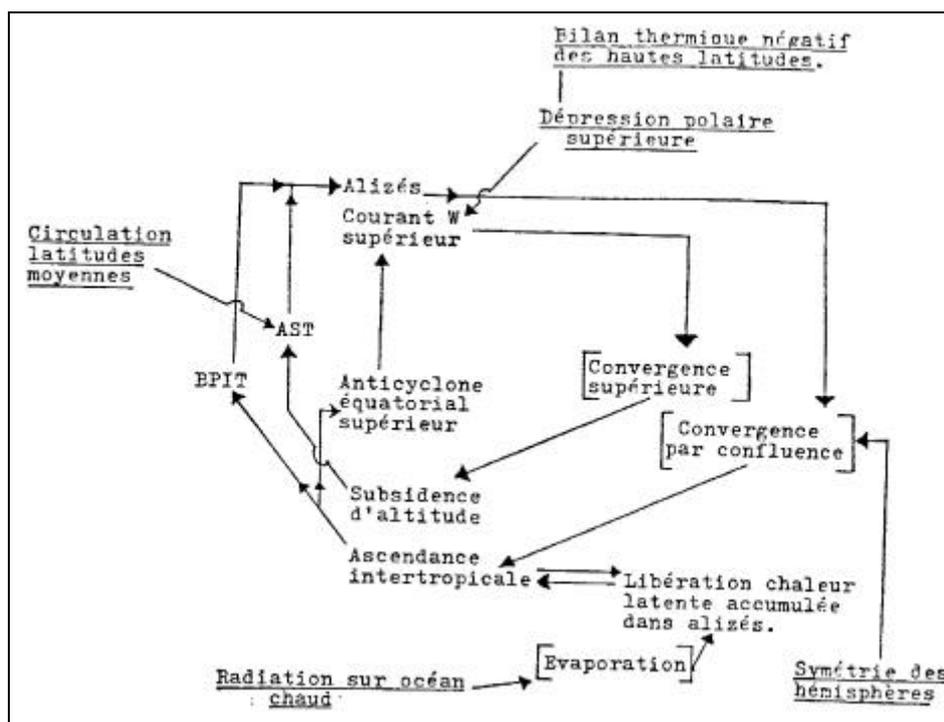
La pression atmosphérique résulte donc d'une combinaison entre les effets décrits en (e) et (f), comme le montre le schéma. Il arrive que l'un des effets prédomine, ce qui permet de distinguer des figures isobariques d'origine thermique (prédominance de l'effet (f) ou dynamiques (prédominance de l'effet (e)) mais il convient d'être fort prudent en la matière, car les origines complexes sont fréquentes.

II – Une application à l'atmosphère tropicale

Dans les schémas 2 et 3, nous présentons des applications « spécifiques » du schéma général à deux systèmes de circulation qui couvrent chacun plusieurs dizaines de millions de km² et fonctionnent toute l'année pour l'un, quelques mois pour l'autre - pour cette raison nous avons proposé ailleurs de les classer au deuxième ordre de grandeur dans une échelle spatio-temporelle qui place à l'ordre de grandeur 1 les phénomènes hémisphériques. On pourrait schématiser suivant les mêmes principes des systèmes d'ordre de grandeurs 3 ou 4, qui feraient d'ailleurs figure de sous systèmes des précédents.

On retrouvera ici la structure du schéma général, que nous avons rendu « spécifique » en introduisant des entrées et des processus particuliers².

Figure 2 : Le système de circulation de la cellule de Hadley



Même légende que la Figure 1.

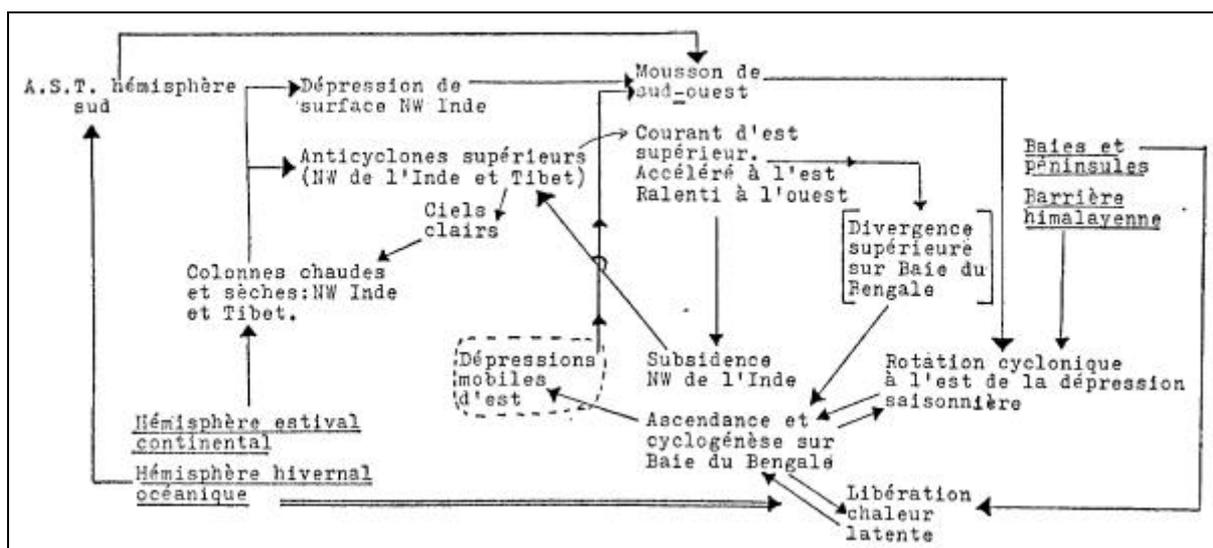
En plus : A.S.T., Anticyclones sub-tropicaux ; B.P.I.T., Basses pressions intertropicales.

² Aussi, dans la schématisation que nous proposons ici, on n'a pas cherché à séparer les courants aériens et les figures isobariques qui le sont dans l'espace. L'insistance est mise sur la structure logique des systèmes plus que sur leur structure spatiale. On trouvera des schématisations différentes (DURAND-DASTES, 1977 et 1979).

Le schéma de la cellule de Hadley (cf. Figure 2) a pour entrées spécifiques la présence d'un océan dans le deux hémisphères, si bien qu'il ne se forme que des gradients thermiques horizontaux faibles et que les températures ont peu d'influence sur le champ de pression, au moins dans les basses couches. Par contre, une quantité considérable de chaleur latente est fournie à l'atmosphère ; c'est elle qui joue un rôle essentiel dans l'entretien de l'ascendance de la « zone de convergence intertropicale », élément important du système. D'autre part, comme notre système de deuxième ordre est un sous-système d'un ensemble d'ordre de grandeur supérieur, il a fallu indiquer parmi les entrées des traits de la circulation des latitudes moyennes : la dépression thermique polaire joue un rôle important pour l'explication du courant d'ouest supérieur, et il semble bien que l'ensemble de la circulation des moyennes latitudes soit un des facteurs de genèse des anticyclones subtropicaux, par le jeu de processus hydrodynamiques.

La cellule de Hadley paraît dans notre perspective entretenue par une double boucle d'interactions, dans laquelle il est assez vain de rechercher un phénomène explicatif « en dernière instance », comme on le fait encore assez souvent. Chacun des éléments apparaît bien comme cause de lui-même par l'intermédiaire de tous les autres, selon un processus qu'on peut qualifier de dialectique ; une fois évidemment que les entrées sont été spécifiées.

Figure 3 : Le système de la mousson indienne



Même légende que Figure 2.

Avec des entrées différentes, on obtient un système différent, celui de la *mousson indienne* présenté dans la Figure 3. Ici, le fait nouveau essentiel est l'existence d'un continent dans l'hémisphère estival ; aux basses latitudes qu'il atteint, il s'échauffe considérablement, et il apparaît des gradients thermiques, donc des gradients de pression importants. Une cellule de basses pressions dans les couches inférieures et de hautes pressions dans les couches supérieures se forme alors, dont le rôle est très important. Mais elle est aussi maintenue par l'ensemble de la circulation, comme le montre le schéma. Nous avons aussi fait figurer parmi les entrées la fragmentation de l'Asie orientale en baies et péninsules et la présence de la barrière himalayo-tibétaine. Il nous semble en effet que ces traits géographiques doivent jouer un rôle non négligeable dans le fonctionnement du système. Le dessin du relief est en partie responsable de la rotation cyclonique qui se produit à l'est du monde indien - bien qu'elle ait d'autres facteurs,

comme sa position sur le bord oriental de la grande dépression continentale. D'autre part, la baie du Bengale fournit la vapeur d'eau nécessaire à l'entretien des ascendances dans la région, et à leur accentuation en dépressions mobiles qui sont un élément essentiel de la circulation en renforçant la mousson elle-même, comme l'indique le schéma. On notera que si les « entrées » portées à gauche du diagramme se retrouvent dans tous les systèmes de moussons, celles de la partie droite ne sont spécifiques que de la mousson asiatique : elles en expliquent la remarquable puissance, mais non l'existence.

Des schématisations du même type sont possibles pour les systèmes de circulation du même ordre de grandeur, étrangers au monde tropical ; l'explication de leurs rapports et de leur succession au cours de l'année constitue un mode de présentation de la circulation atmosphérique générale, qui évite à notre sens les faux dilemmes et n'est pas dénué d'efficacité.

Bulletin de l'Association des Géographes Français, 1979, n° 465, p. 391-398.

Références :

DURAND-DASTES F., 1979, « Ordre de grandeur des systèmes de circulation atmosphérique et explication des climats l'exemple de l'Inde », *L'Espace Géographique*, n° 1, p. 15-23.
DURAND-DASTES F., 1977, « Les systèmes de circulation atmosphérique », *Cahier n° 7 du Centre de climatologie de Dijon*, p. 33-72.