

Imagerie satellite - Mouvements atmosphériques et redistribution de chaleur

12/05/2003

Auteur(s) :

Vincent Daniel

ENS-Lyon.

Publié par :

Benoît Urgelli

Résumé

À l'aide de petites animations, on montre comment les mouvements atmosphériques à grande échelle redistribuent la chaleur depuis les sources (régions équatoriales) vers les puits (régions polaires, hémisphère d'hiver).

Table des matières

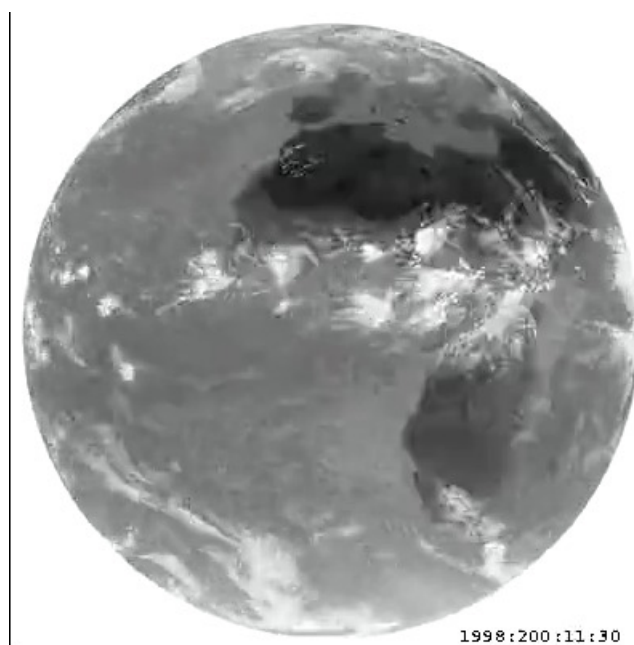
- [Animation commentée : IR thermique, été boréal, juillet 1998](#)
 - [Animations](#)
 - [Les images](#)
 - [Le contraste continents / océans](#)
 - [La zone équatoriale](#)
 - [La zone subtropicale](#)
 - [Les latitudes moyennes et élevées](#)
- [Animation commentée : IR canal vapeur, été boréal, juillet 1998](#)
 - [Animations](#)
 - [Les images](#)
 - [La zone équatoriale](#)
 - [La zone subtropicale](#)
 - [Les latitudes moyennes et élevées](#)
- [Questions sur le canal visible : été boréal, juillet 1998](#)
 - [Animations](#)
 - [Questions](#)
- [Questions sur le canal IR thermique : hiver boréal, février 1999](#)
 - [Animation](#)
 - [Questions](#)
- [Exercice de comparaison de 2 canaux pour la même date](#)

Animation commentée : IR thermique, été boréal, juillet 1998

Animations

[4 premiers jours](#) (animation gif, 700kio).

[4 premiers jours](#) (Images jpeg, 23kio chacune).



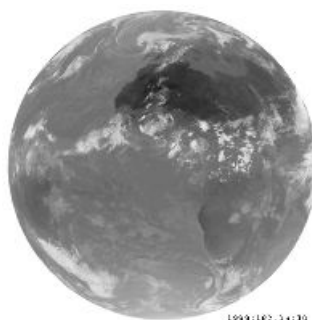
[Format webm](#)[Format mp4](#)

Source - © 2003

Totalité du mois

Les images

Les images sont issues du canal infra-rouge thermique du satellite Météosat 7. Elles sont mises à notre disposition par [Eumetsat](#).



Source - © 2003 Eumetsat

Figure 1. [Image satellite IR du 01/07/1998 14h30.](#)

Le contraste continents / océans

Sur les images en IR thermique, la distinction entre les continents et les océans se fait aisément. Si la surface n'est pas recouverte de nuages, la couleur du pixel est directement proportionnelle à la température de la surface.

Les océans possèdent une forte capacité calorifique alors que les surfaces terrestres n'emmagasinent pas la chaleur. Les premiers ne sont pas marqués par une forte variation de leur température durant une journée alors que les seconds voient parfois leur température fluctuer de 30 degrés en 24 heures.

Ainsi le lever du Soleil à l'Est est marqué par le noircissement des surfaces continentales (Arabie puis Afrique du Nord). On remarquera que les océans ne changent pas de teinte.

La différence de température entre terres et océans est particulièrement marqué sur les côtes du Maroc et de la Mauritanie car les sols sont très chauds la journée et l'océan est particulièrement froid (*upwelling* de Mauritanie qui enrichit les eaux en nutriments). Ce contraste induit une circulation atmosphérique à petite échelle dite brise thermique qui permettent parfois de faire ça...



Figure 2. Belle vague à chevaucher.

La zone équatoriale

Au voisinage de l'équateur, on observe d'importantes formations nuageuses. Elles sont très visibles en infra-rouge thermique inverse, ce qui signifie que ces nuages sont très froids et donc très hauts. Ce sont des cumulonimbus résultant de la **forte convection** qui a lieu au dessus du continent sud-africain à cette saison. Ils peuvent culminer à 15 km d'altitude.



Figure 3. Cumulonimbus.

On remarque que la convection est la plus intense environ 5 à 15° au Nord de l'équateur géographique. Du fait de l'inclinaison de la Terre durant l'été dans l'hémisphère Nord, la zone qui reçoit le plus de chaleur de la part du Soleil se trouve en effet au voisinage de 10° de latitude Nord.

Ces cellules nuageuses ne s'enroulent pas comme celles des latitudes plus élevées. En effet, au voisinage de l'équateur, l'écoulement atmosphérique est soumis à une force de Coriolis quasiment nulle car celle-ci est proportionnelle à la latitude. Cette force dévie les particules fluides vers la droite dans l'hémisphère Nord et impose des structures en spirale à haute latitude.

Enfin ces masses nuageuses se déplacent vers l'Ouest, ce qui s'explique par la présence des vents alizés dans la zone tropicale. À partir de la fin du mois d'août et jusqu'à la moitié du mois d'octobre, les paquets nuageux que l'on voit au-dessus du Golfe de Guinée peuvent atteindre les côtes américaines en s'amplifiant. On parle alors de dépression tropicale ou de cyclone. Pour qu'un cyclone se crée, il faut un fort contraste entre la température de l'océan et celle de l'atmosphère. Ainsi, la formation d'un cyclone nécessite une température de l'océan supérieure à 26°C.

La zone subtropicale

Les zones de transition entre régions tropicales et régions tempérées se situent aux alentours de 30° de latitude. Dans l'hémisphère Nord, il s'agit notamment du Sahara. C'est une zone sèche sans nuages à fort albédo.

Les seuls nuages présents au-dessus de l'Afrique du Nord sont des cirrus (très visibles en IR thermique car très froids). Ils s'échappent du sommet des cumulonimbus au-dessus de la Mauritanie et sont advectés vers le Nord-Est. Ils atteignent la Tunisie. Ce flux vers le Nord est dû à la présence de la Cellule de Hadley.

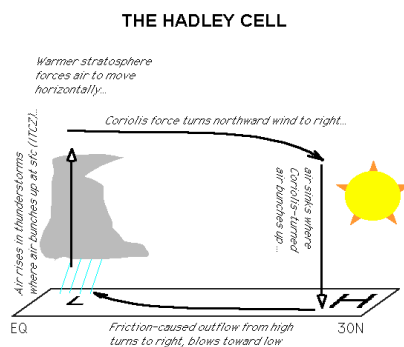


Figure 4. Cellule de Hadley.

Cette cellule est un rouleau qui transporte de l'énergie depuis les régions excédentaires (zone convective du centre de l'Afrique) vers les régions déficitaires des deux hémisphères. En juillet, c'est l'hémisphère Sud qui est le plus déficitaire en énergie, si bien que la cellule de Hadley y est la plus intense.

En janvier, c'est dans l'hémisphère Nord que la cellule de Hadley est importante. Le voile de cirrus sur l'Afrique du Nord atteint parfois l'Égypte comme on le voit sur la figure suivante.

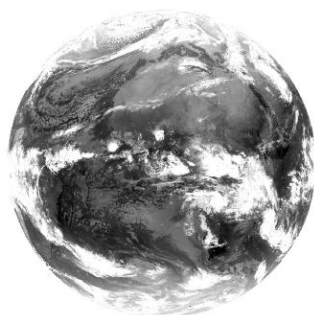


Figure 5. L'Afrique avec un voile de cirrus.

Ces cirrus ne dépassent pas le Nord de l'Afrique car la subsidence induite par la branche descendante de la cellule de Hadley provoque un réchauffement de la masse d'air dont la pression de vapeur saturante augmente. En altitude, on observe un courant allant vers le Nord qui est dévié vers l'Est par la force de Coriolis comme le montre la figure suivante.

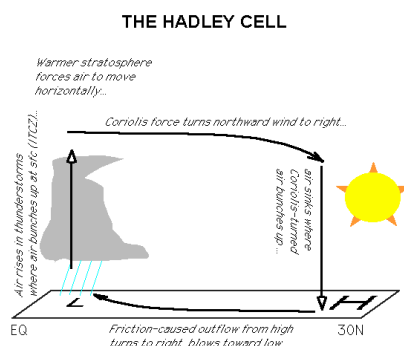


Figure 6. Cellule de Hadley.

Les latitudes moyennes et élevées

Aux latitudes moyennes, on observe des enroulements qui tournent dans le sens trigonométrique direct au nord et indirect au sud. Ces enroulements sont les dépressions qui affectent nos régions tempérées. Ils se déplacent vers l'est dans les deux hémisphères montrant le régime de vents d'ouest de ces latitudes.

L'enroulement circulaire est l'effet de la rotation de la Terre qui dévie vers la droite dans l'hémisphère Nord les écoulements qui vont des hautes pressions (anticyclones) vers les basses pressions (dépressions). À très grande échelle, les trajectoires des particules deviennent des cercles autour des basses pressions.

Au-dessus de l'Atlantique Sud, on distingue le flux de perturbations qui traverse d'Ouest en Est le continent. Cette activité est forte durant l'hiver. En effet, ces perturbations dites baroclines ont pour fonction de transférer de la chaleur aux hautes latitudes déficitaires en énergie. Ce mécanisme doit être d'autant plus fort que l'on est dans l'hémisphère d'hiver.

Les dépressions ont des tailles considérables (10 000 km) et on remarque la vitesse élevée à laquelle elles se déplacent. L'absence de terres autour de l'Antarctique favorise la formation d'un fort courant d'Ouest autour de ce continent (quarantièmes rugissants...). La figure suivante montre les trajectoires de particules durant 10 jours. On voit que la grande majorité des particules ont un mouvement quasi zonal et qu'elles effectuent un tour rapidement.

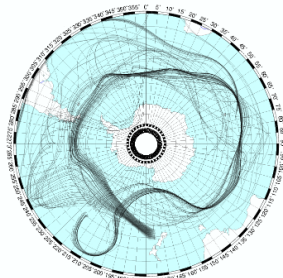


Figure 7. **Trajectoires de particules autour de l'Antarctique durant 10 jours.**

Enfin, on notera que la pointe Sud de l'Afrique est totalement dénuée de nuages. Ceci met en lumière la présence de la branche descendante de la cellule de Hadley, mais celle-ci est encore renforcée par le courant de retour de la mousson indienne.

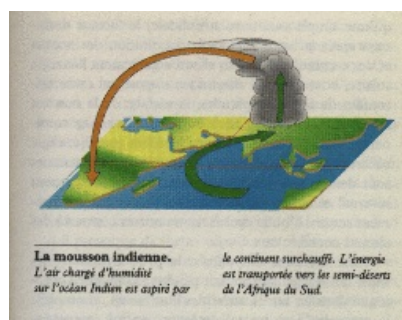


Figure 8. **Mécanisme de la mousson indienne.**

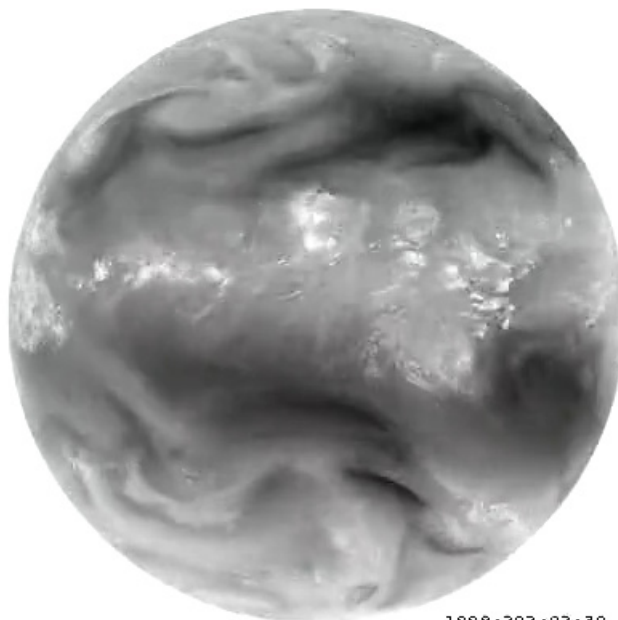
Au-dessus de l'Europe, l'activité de ces ondes baroclines est plus faible car il s'agit de l'hémisphère d'été. Ainsi l'extension des dépressions est beaucoup plus faible. On pourra par exemple comparer la dépression qui se forme dans le Golfe de Gascogne avec celles circulant à l'Ouest de l'Afrique.

Animation commentée : IR canal vapeur, été boréal, juillet 1998

Animations

[4 premiers jours](#) (animation gif, 570kio).

[4 premiers jours](#) (Images jpeg, 23kio chacune).



1998:202:02:30

[Format webm](#)[Format mp4](#)

Source - © 2003

Totalité du mois

Les images

Les images sont issues du canal infra-rouge thermique du satellite Météosat 7. Elles sont mises à notre disposition par [Eumetsat](#). On rappelle que les zones sombres sont des zones où les couches atmosphériques comprises entre 5 et 10 km d'altitude sont sèches. On peut le formuler autrement en disant qu'il s'agit de zones de subsidences. Les zones claires sont des zones humides ou d'ascendances.

La zone équatoriale

Les cellules convectives situées au dessus de l'équateur climatique (10°N) sont très visibles en imagerie vapeur d'eau. On arrive même à distinguer le cycle diurne au-dessus de l'Afrique.

La propagation de ces orages tropicaux se fait vers l'Ouest (régime de vents alizés) et donne naissance au mois de septembre aux cyclones de la mer des Caraïbes comme le cyclone Georges en 1998 vu par le satellite GOES-8 en orbite polaire.

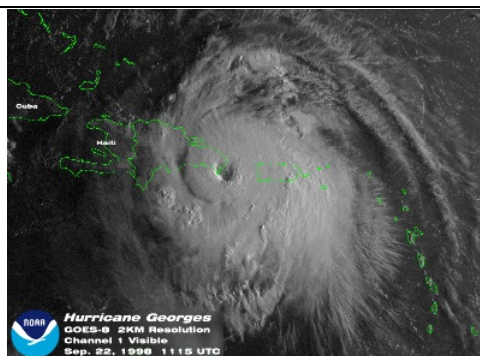


Figure 9. [Le cyclone Georges en 1998.](#)

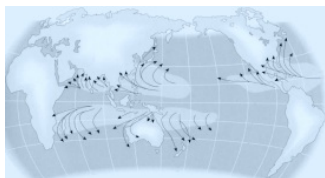


Figure 10. Trajectoires des cyclones.

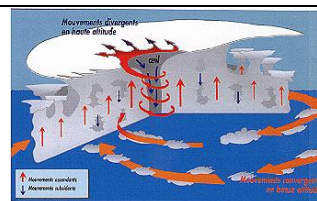


Figure 11. Coupe schématique de la structure d'un cyclone.

La zone subtropicale

Les deux branches descendantes de la cellule de Hadley sont bien marquées aux alentours de +30 et -30 degrés de latitude. Cependant, la branche de l'hémisphère d'hiver est plus développée. Son extension longitudinale est plus forte.

On rappelle que la cellule de Hadley de l'hémisphère d'hiver est plus forte et que la présence du courant de retour de la mousson indienne la renforce au-dessus de l'Afrique du Sud. Ainsi, l'Afrique du Sud semble être le seul endroit où la subsidence est stationnaire. Il faut bien noter que l'image des 2 rouleaux de la cellule de Hadley est une image moyennée dans le temps et dans l'espace et qu'en réalité les fluctuations sont importantes.

Les latitudes moyennes et élevées

Aux latitudes tempérées, on voit une succession de zones d'ascendances et de subsidences dans le flot des perturbations baroclines. Ceci est dû à la complexité des mouvements verticaux au sein des structures frontales (fronts chauds : ascendances - fronts froids : subsidences) associées à ces perturbations.

En regardant attentivement la dépression qui se creuse dans le Golfe de Gascogne durant les 2 premiers jours de juillet, on remarque que le filament sombre a une origine polaire (air froid et sec) alors que le filament blanc vient des régions subtropicales (air humide et chaud). Le mouvement méridien des 2 masses d'air transporte de l'air froid vers le Sud et de l'air chaud vers le Nord, affaiblissant ainsi le gradient thermique méridien.

En hiver, la détection de filaments dits polaires qui apportent aux latitudes tempérées de l'air d'origine polaire (notamment riche en ozone) fait l'objet d'un projet de recherche à l'échelle européenne nommé METRO.

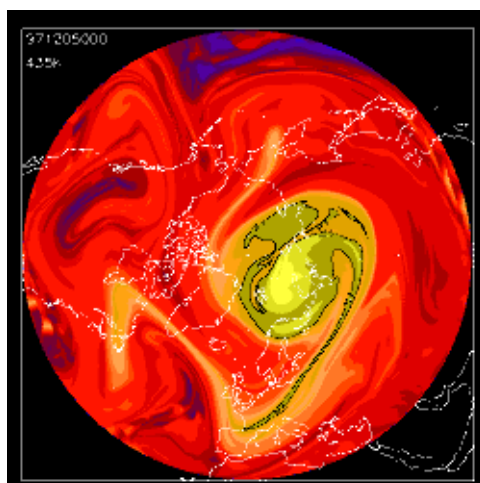


Figure 12. Un beau filament polaire au-dessus de l'Europe.

Tout passage de front n'est bien sûr pas accompagné d'un filament de cette ampleur.

Malheureusement, l'image vapeur d'eau n'est pas disponible à cette date, il faudra donc se contenter de l'image IR thermique qui fait apparaître une zone dépourvue de nuages (air sec) là où est localisé le filament.

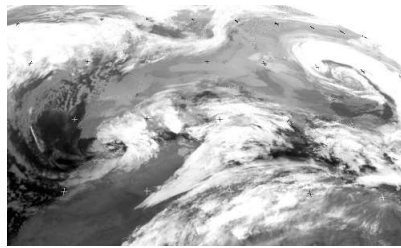


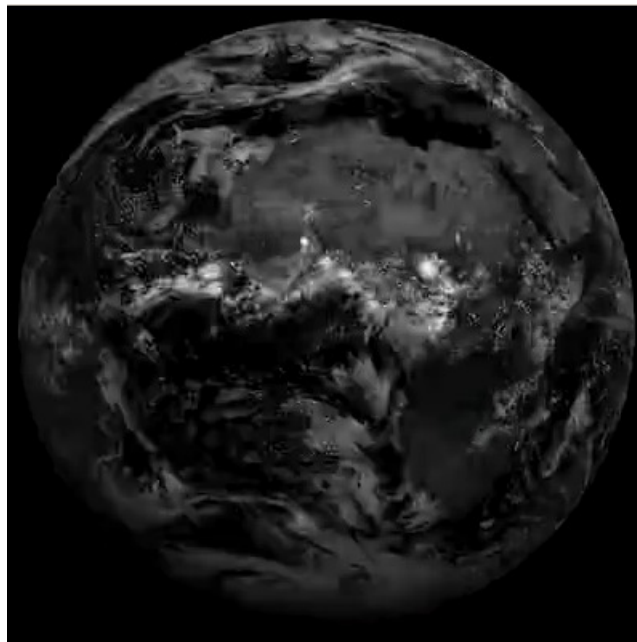
Figure 13. [Image IR thermique correspondante.](#)

Questions sur le canal visible : été boréal, juillet 1998

Animations

[4 premiers jours](#) (animation gif, 570kio).

[4 premiers jours](#) (Images jpeg, 23kio chacune).



[Format webm](#)[Format mp4](#)

Source - © 2003

Totalité du mois

Questions

- Pourquoi le cycle diurne est-il plus marqué dans le canal visible que dans le canal IR vapeur d'eau ?
- Voit-on aussi bien les nuages au-dessus de l'Afrique du Nord que dans l'animation en infrarouge ? Pourquoi ?
- Voyait-on les nuages présents à l'Ouest de l'Afrique du Sud dans l'animation infrarouge ? Quelle est l'altitude de ces nuages ? Déduisez en le climat que devait supporter Napoléon lors de son exil à Saint Helen.

Questions sur le canal IR thermique : hiver boréal, février 1999

Animation

[4 premiers jours](#) (Images jpeg, 23 kio chacune).

Questions

- Comment s'appellent les nuages qui circulent au-dessus de l'Afrique du Nord ? Pourquoi sont ils déviés vers la droite au-dessus de la Mauritanie ? Pourquoi ne dépassent ils pas l'Égypte ?
- Sur quelle partie de l'Afrique se situe la convection la plus forte ? Pourquoi cela diffère-t-il de la situation du mois de juillet ?
- Pourquoi la pointe Sud de l'Afrique n'est-elle plus dénuée de nuages (contrairement à la situation du mois de juillet) ?
- Donnez un ordre de grandeur de la taille de la dépression au-dessus de l'Atlantique Nord le 15 Février à 18h00.
- Le 17 Février à 06h00, pouvez vous localiser une descente d'air froid sur l'Europe ?,
- Au-dessus du Brésil, on distingue une forte activité nuageuse. Quelle est ce phénomène ? Quel est son pendant durant le mois de juillet ?

Exercice de comparaison de 2 canaux pour la même date

Prendre les images "IR thermique" et "visible" pour une même journée et répondre aux questions suivantes.

- Suivant la saison, trouvez le positionnement de l'équateur météorologique et les branches descendantes des cellules de Hadley.
- En regardant les différences entre les deux images, trouvez les nuages de faible altitude.
- Trouvez les surfaces terrestres surchauffées durant la journée.