

Dans l'atmosphère

Des gaz : [Le 14 Novembre](#)

Des aérosols : [Le 21 Novembre](#)

Des nuages : [Aujourd'hui](#)



Epaisseur de l'atmosphère  $\approx 100$  km

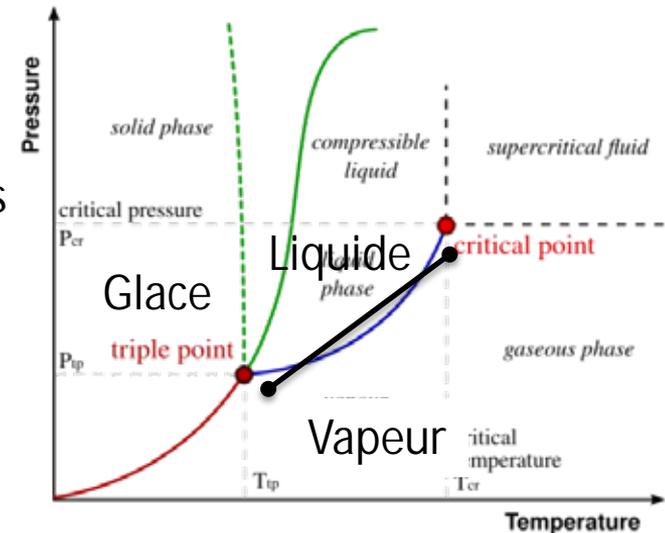
Rayon de la Terre :  $\approx 6400$  km

Multitudes de gouttelettes d'eau liquide ou de particules de glace en suspension dans l'atmosphère

Formés par la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique suite, le plus souvent, à un refroidissement de la masse d'air



Note : Le mélange de deux masses d'air « claires », proches de la saturation, peut conduire à la saturation

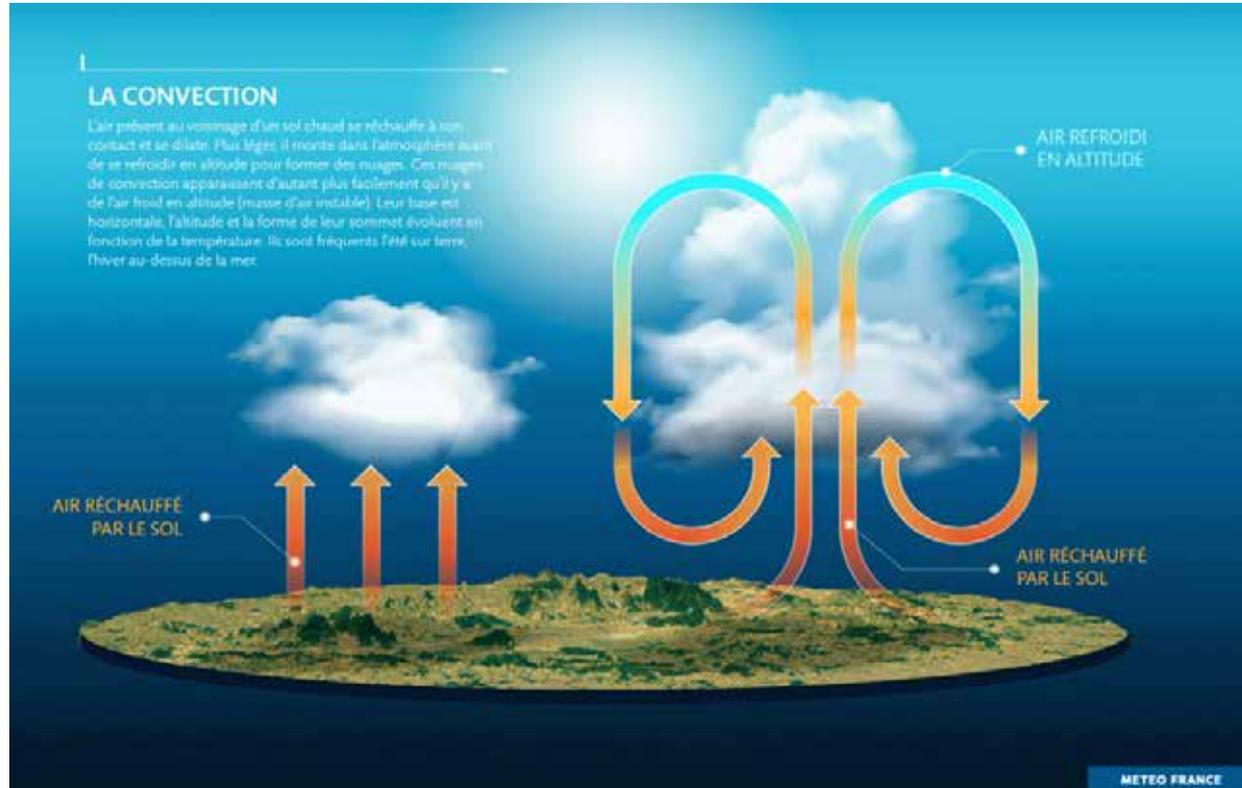


Soulèvement orographique

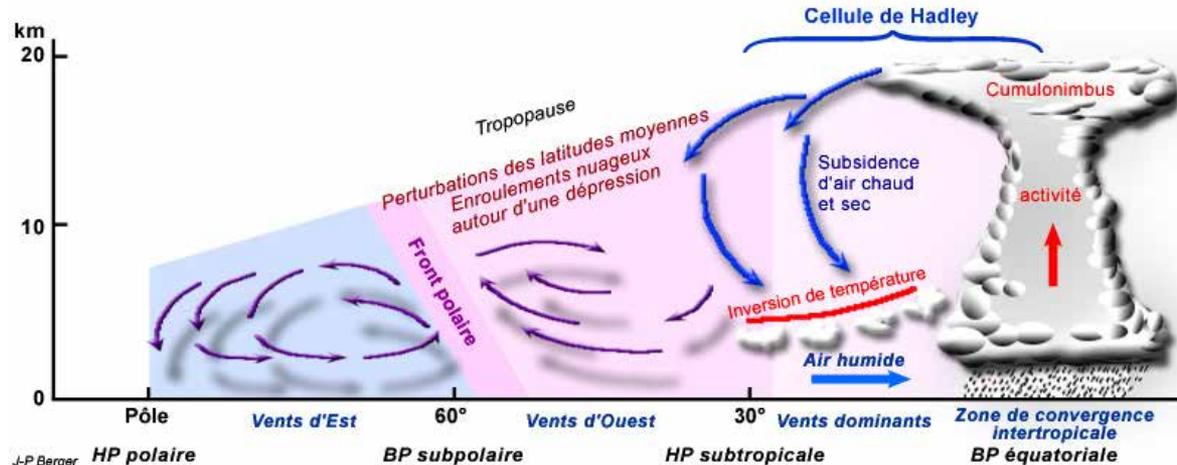
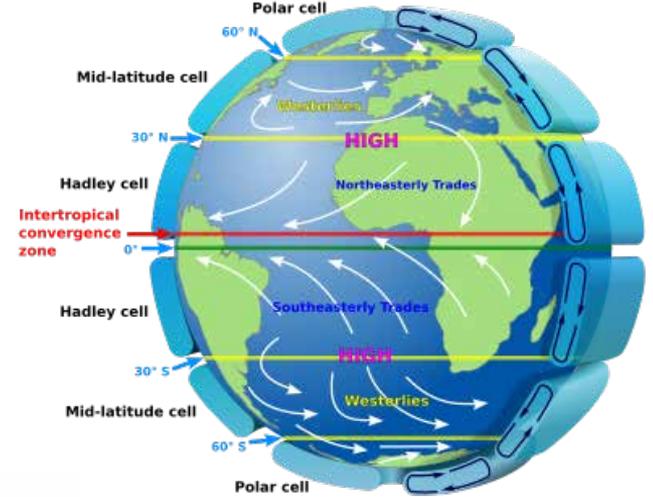
Soulèvement frontal

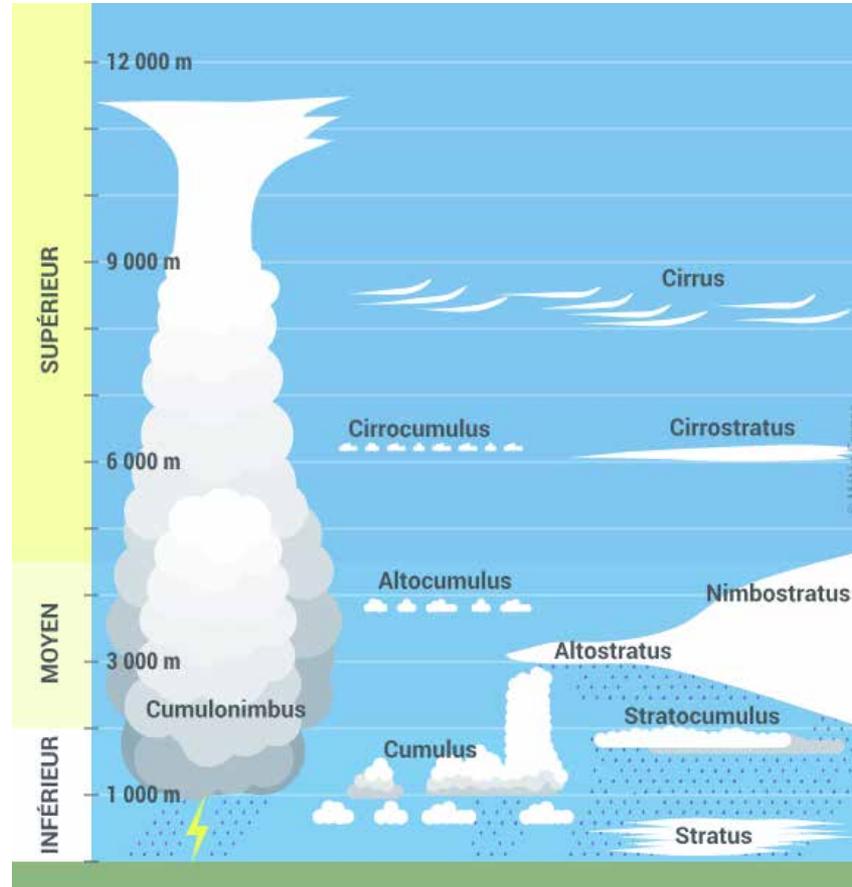
Refroidissement radiatif

Convection



Convection profonde au niveau de l'équateur  
météorologique (ITCZ) et circulation de grande  
échelle avec subsidence sur les tropiques





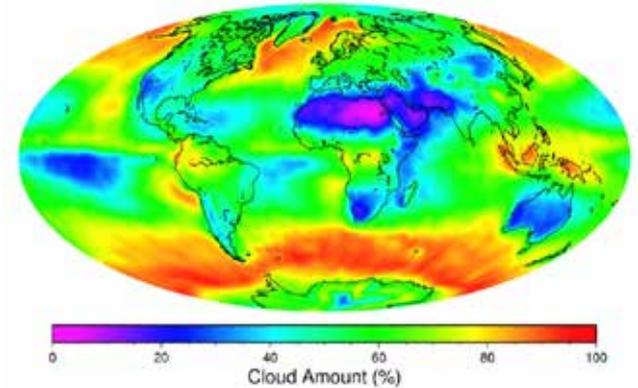
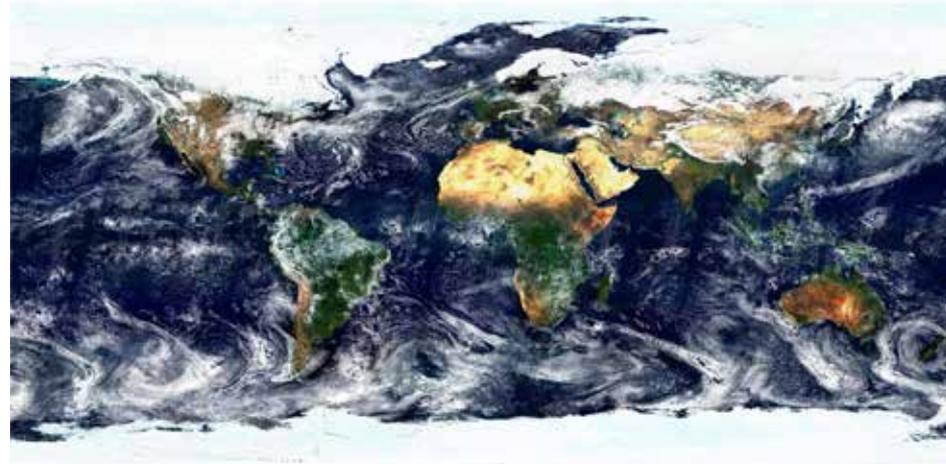
	L'air	La vapeur d'eau	L'eau liquide (nuage)
Par $m^3$	1 kg	10 g	1 g
Par $m^2$	10 Tonnes	20 kg	1 kg
Précipité	10 m	2 cm	1 mm

Ce sont des ordres de grandeur

Dans un nuage, la plus grosse partie de l'eau est sous forme vapeur

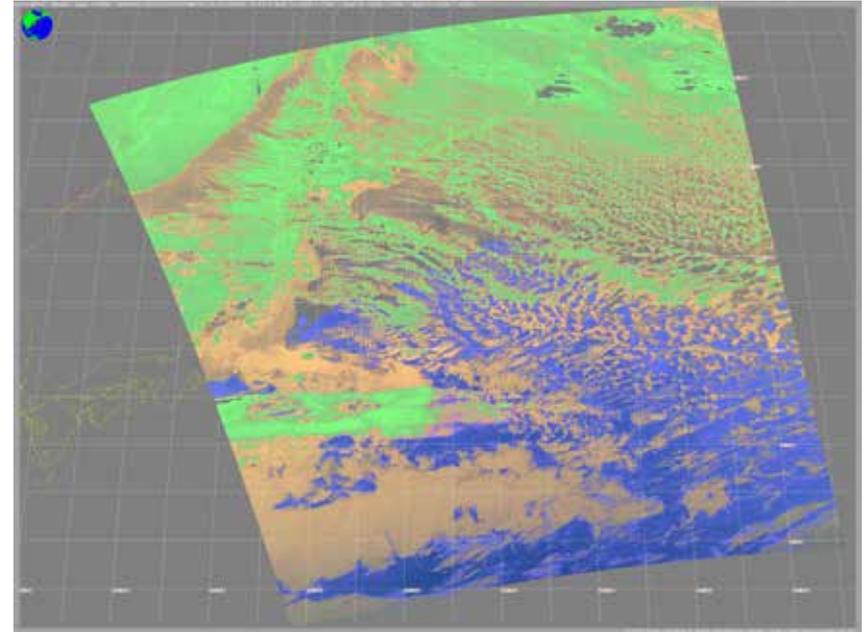
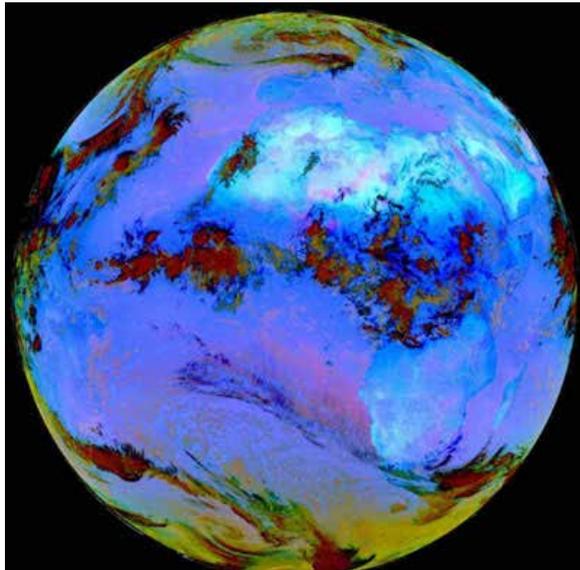
## Visible / Proche Infrarouge (Solaire réfléchi)

- Couverture
- Epaisseur optique (contenu en eau)
- Neige/Glace



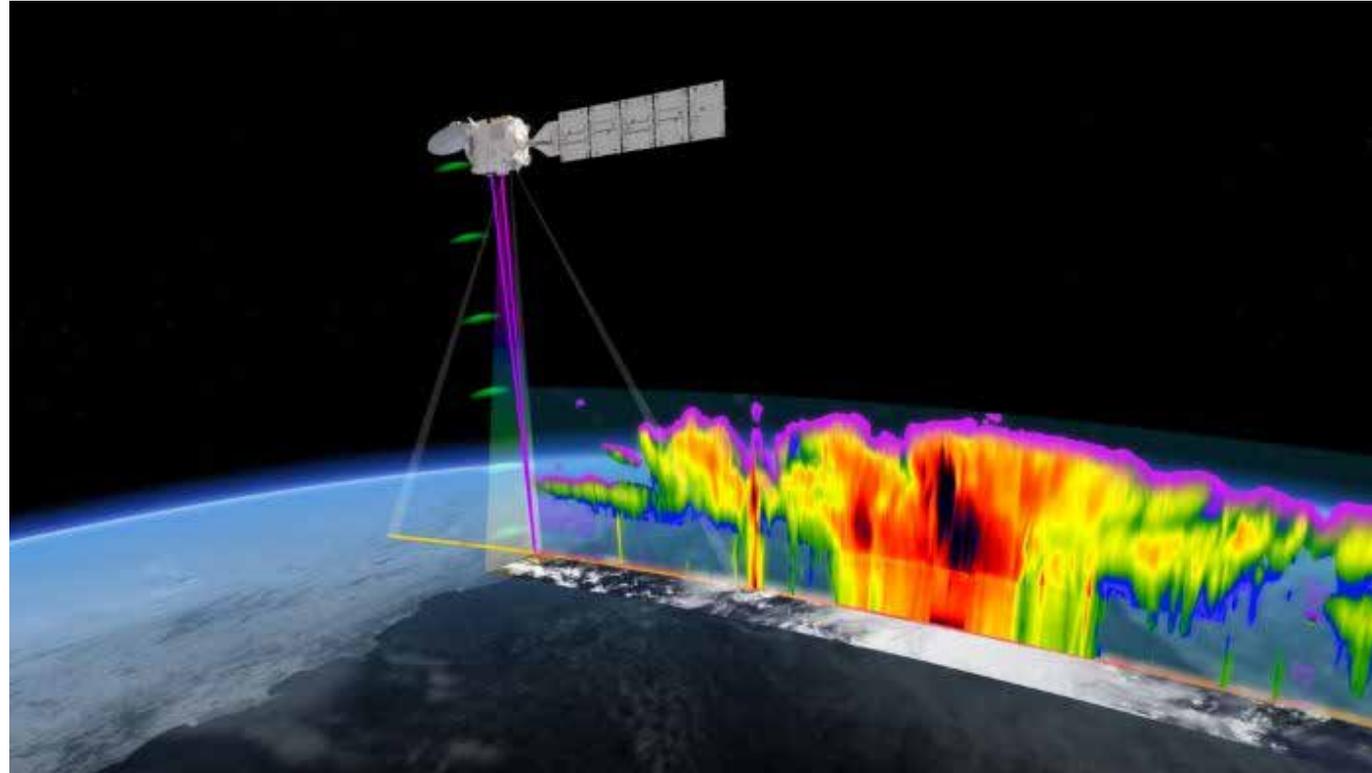
## Infrarouge thermique (Emission de surface/atmosphère)

- Jour et nuit
- Couverture
- Température (altitude)



## Mesure « active » (radar)

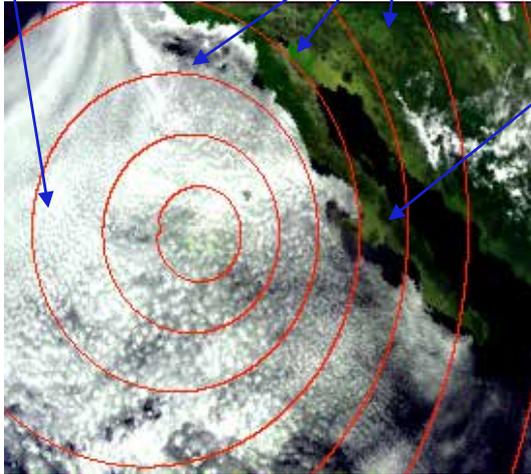
- Jour et nuit
- Profil vertical



Champ de nuages  
« Stratocumulus »

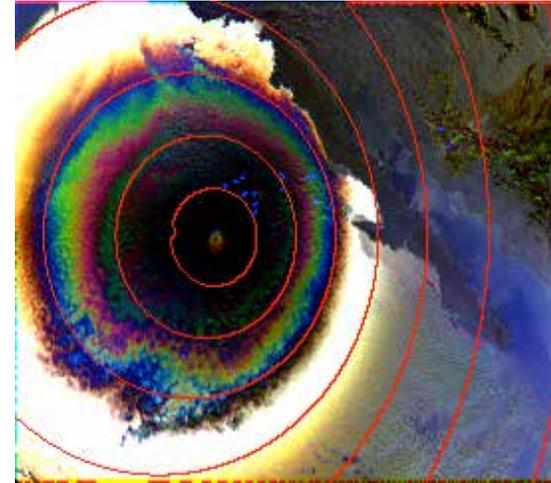
Angle de diffusion  
(géométrie d'observation)

Basse  
Californie

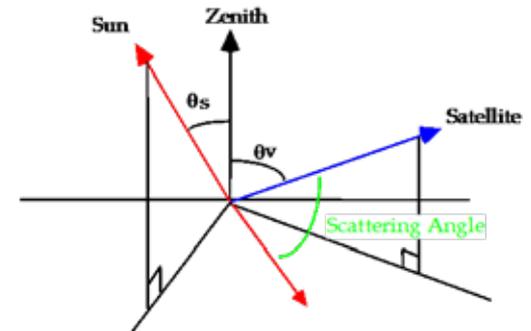


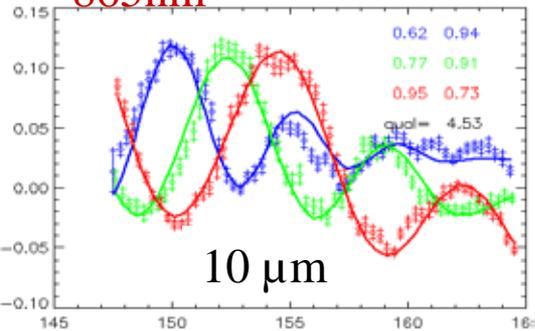
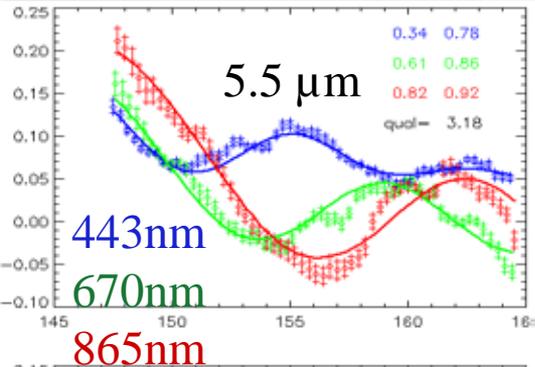
Composition colorée 443-670-865 nm

Les mesures en lumière polarisée montre des caractéristiques de type "arc en ciel" sur les stratocumulus  
Totalement inattendu

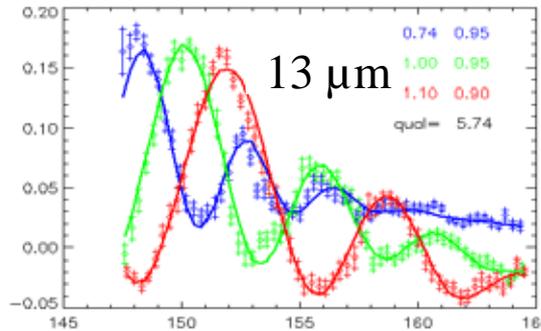
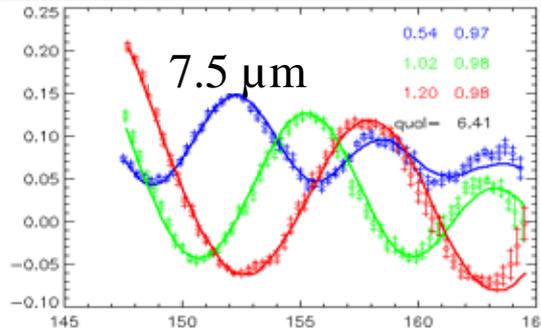


Même scene vue en lumière polarisée





Réflectance polarisée



Angle de diffusion [°]

La lumière diffusée par les nuages est polarisée.

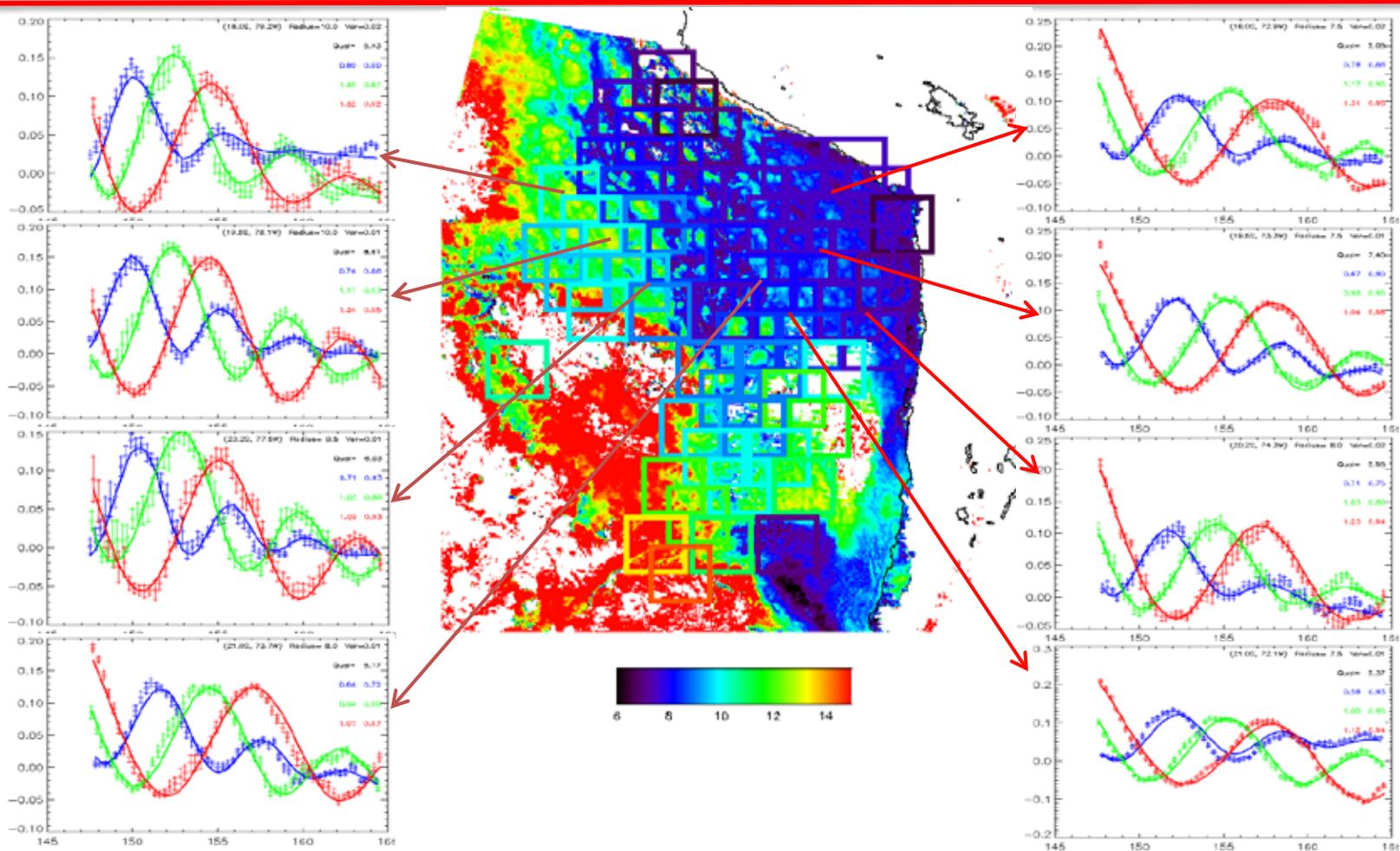
Cette polarisation dépend de la "couleur" => Effet arc en ciel

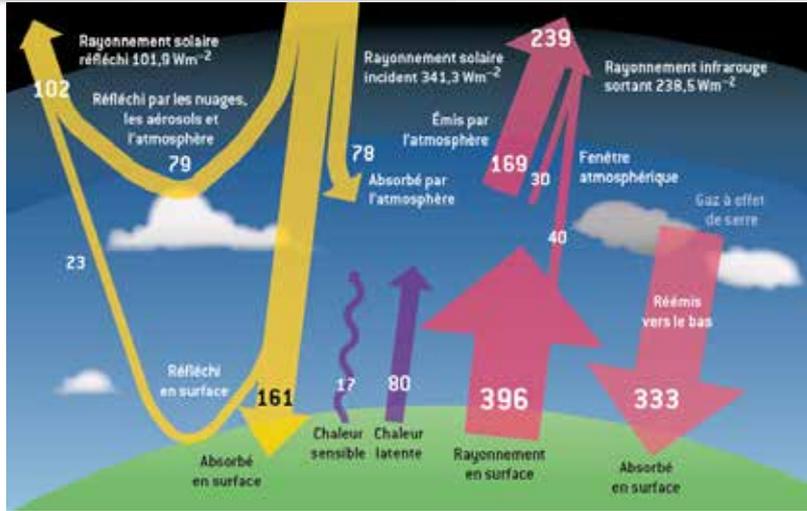
Elle dépend aussi de la taille des gouttes => donne la possibilité de sa mesure

L'effet disparaît si le nuage contient des gouttes de tailles variables => explication de l'absence d'anticipation

On a pu développer une méthode pour mesurer la taille des gouttes dans les nuages.  
Utile pour quantifier l'impact des aérosols sur la microphysique nuages

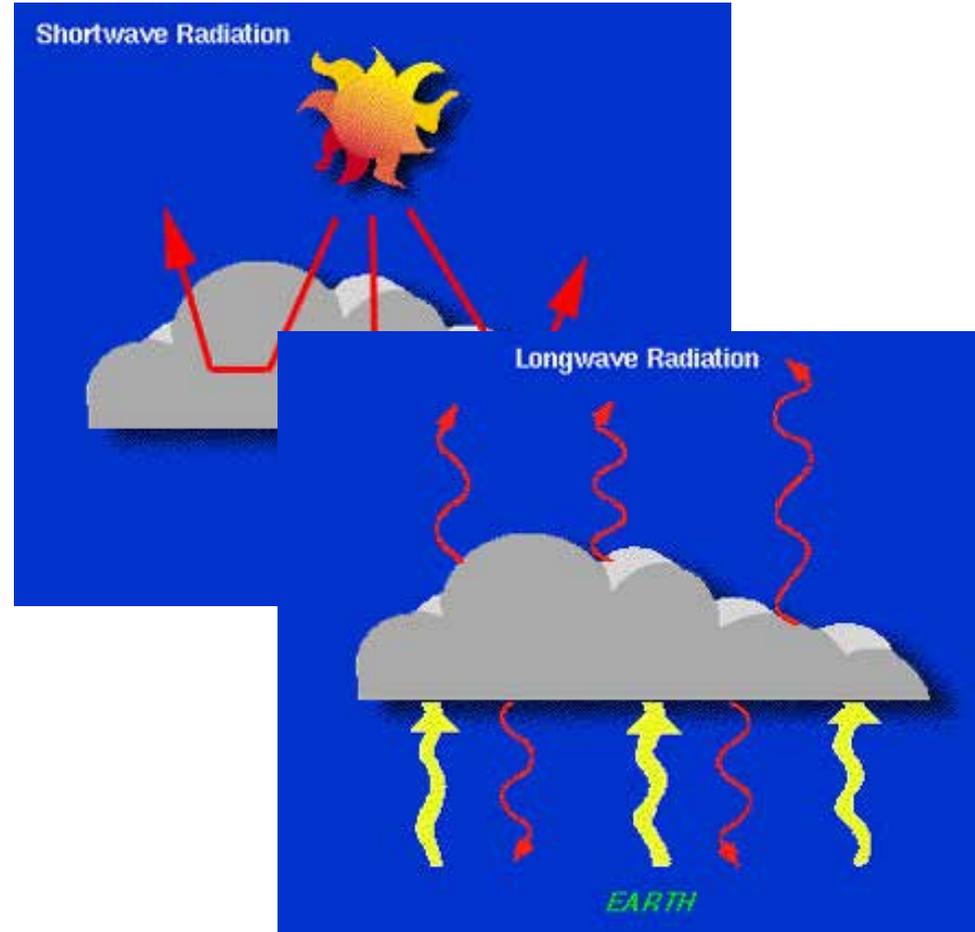
# Un exemple sur le Pacifique sud

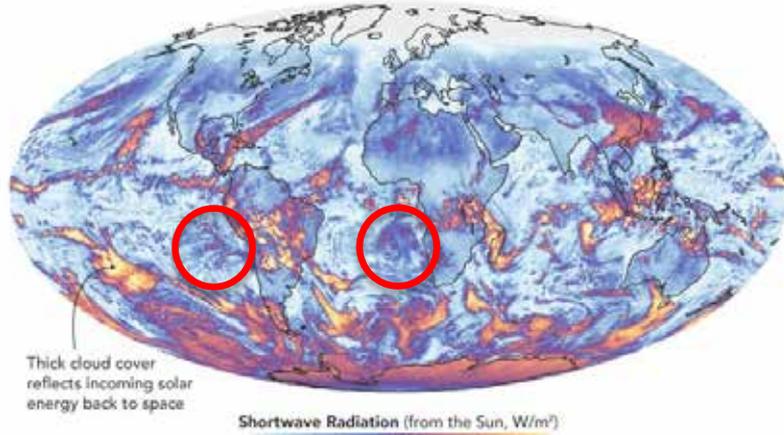




Les nuages renvoient une partie du rayonnement solaire vers l'espace =>  
Effet refroidissant

Les nuages contribuent à l'effet de serre =>  
Effet réchauffant





Puissance solaire réfléchi [ $W m^{-2}$ ]

Effet de latitude (angle solaire) sur le flux solaire réfléchi

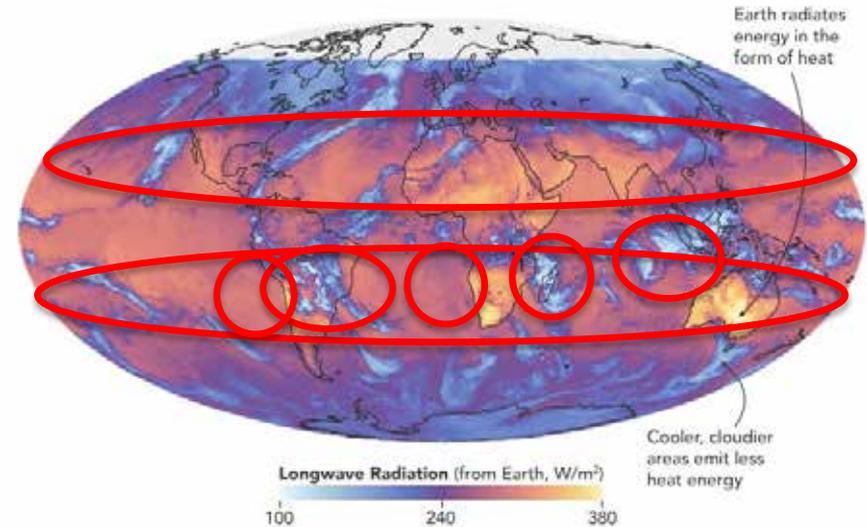
Les zones chaudes et sèches sont les plus efficaces pour rayonner le flux infra-rouge

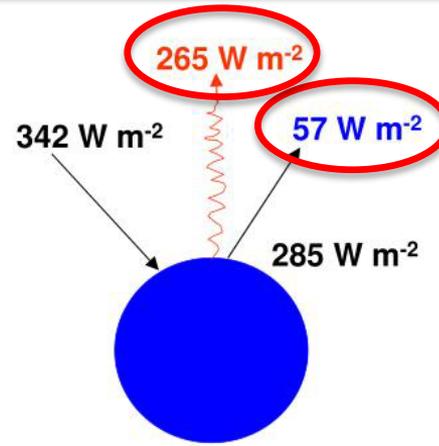
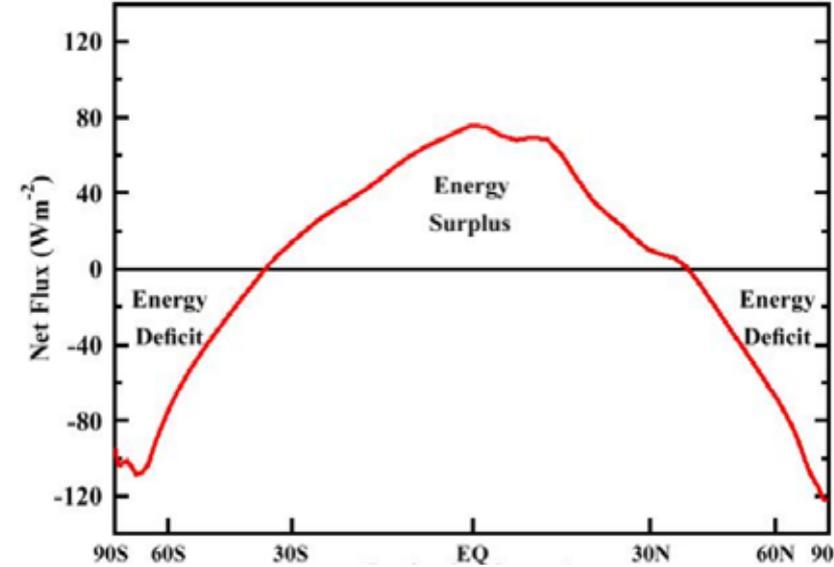
Les nuages élevés bloquent ce rayonnement infrarouge très efficacement (effet de « serre »)

Les nuages bas réfléchissent le rayonnement solaire, mais très peu d'impact sur l'effet de serre

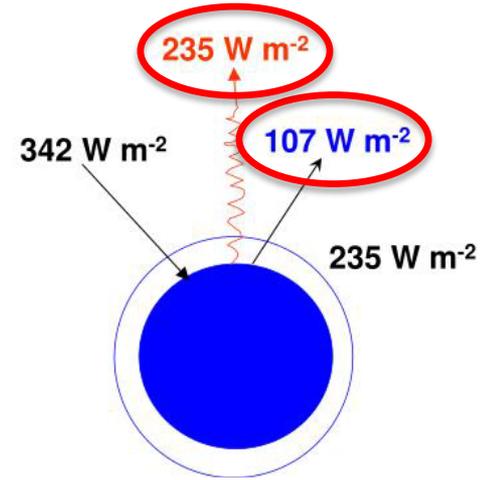
Observation, une journée en Janvier

Puissance infrarouge rayonnée [ $W m^{-2}$ ]





Terre sans nuages



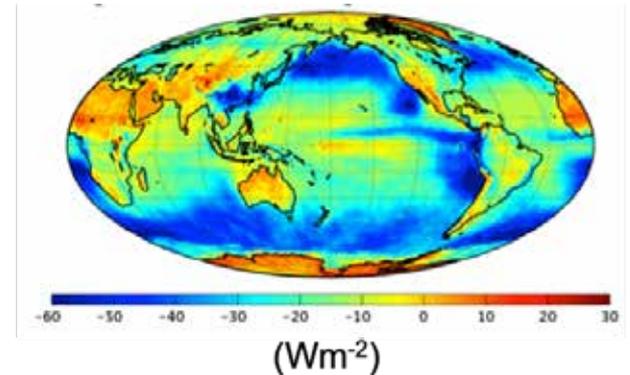
Terre avec nuages

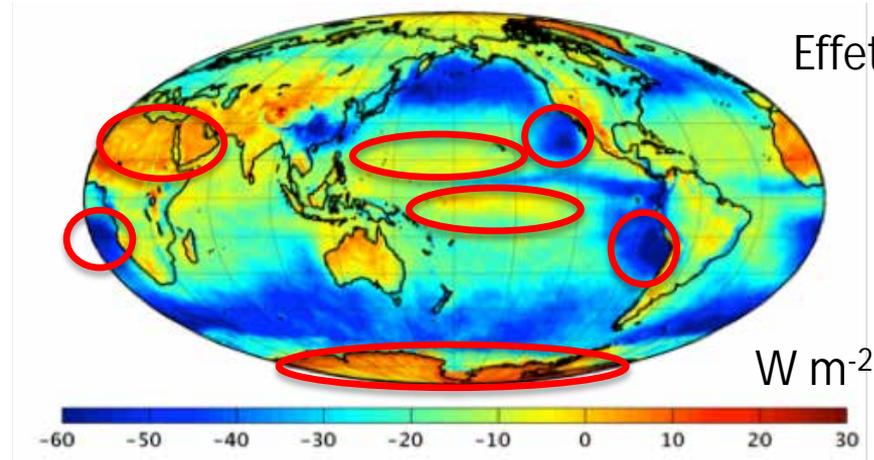
L'effet refroidissant des nuages (albédo) est évalué à  $\approx 50 \text{ W m}^{-2}$

L'effet réchauffant des nuages (effet de serre) est évalué à  $\approx 30 \text{ W m}^{-2}$

L'effet net des nuages est donc refroidissant  $\approx 20 \text{ W m}^{-2}$

Mais ça dépend des nuages, et des régions...

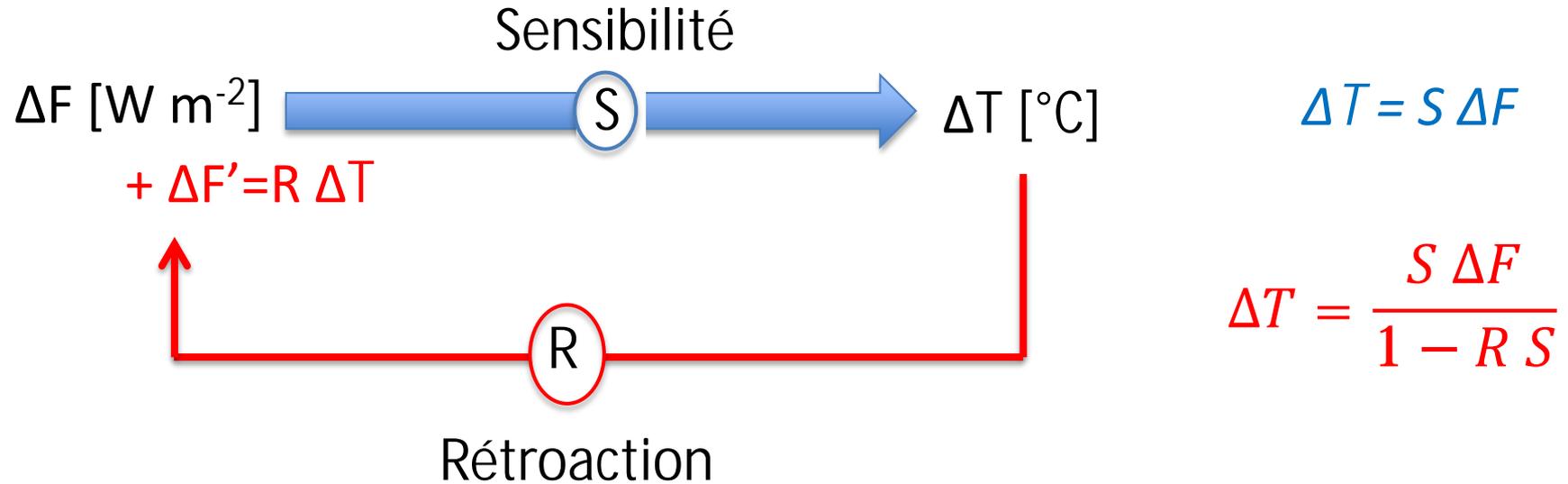




Surface brillante. Les nuages changent peu l'albédo. Effet de serre => Réchauffant

Nuages bas et épais. Fort effet d'albédo, peu d'effet de serre => Refroidissant

Nuages élevés et fins. Effet de serre et effet d'albédo se compensent



La rétroaction peut être positive ou négative. Elle va amplifier, ou limiter l'effet initial

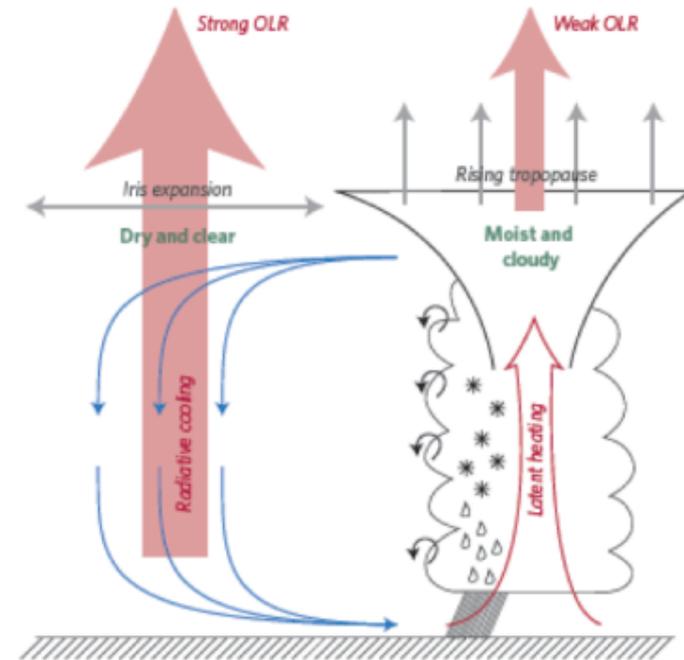
Exemple : Rétroaction Climat-neige, vapeur d'eau

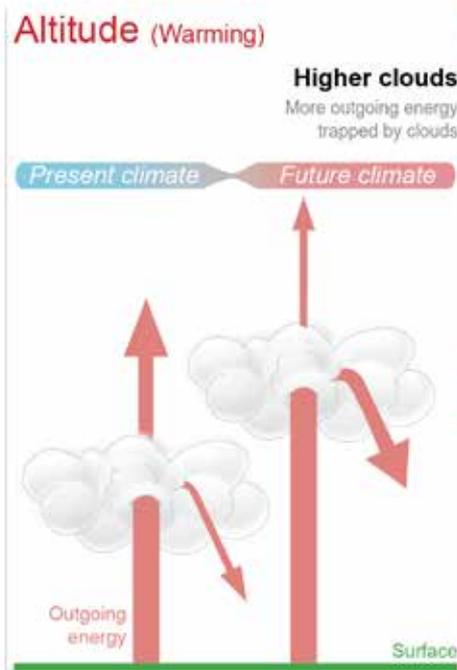
Processus mis en avant par Richard Lindzen au début des années 90

Le réchauffement climatique conduit à une extension des zones très sèches

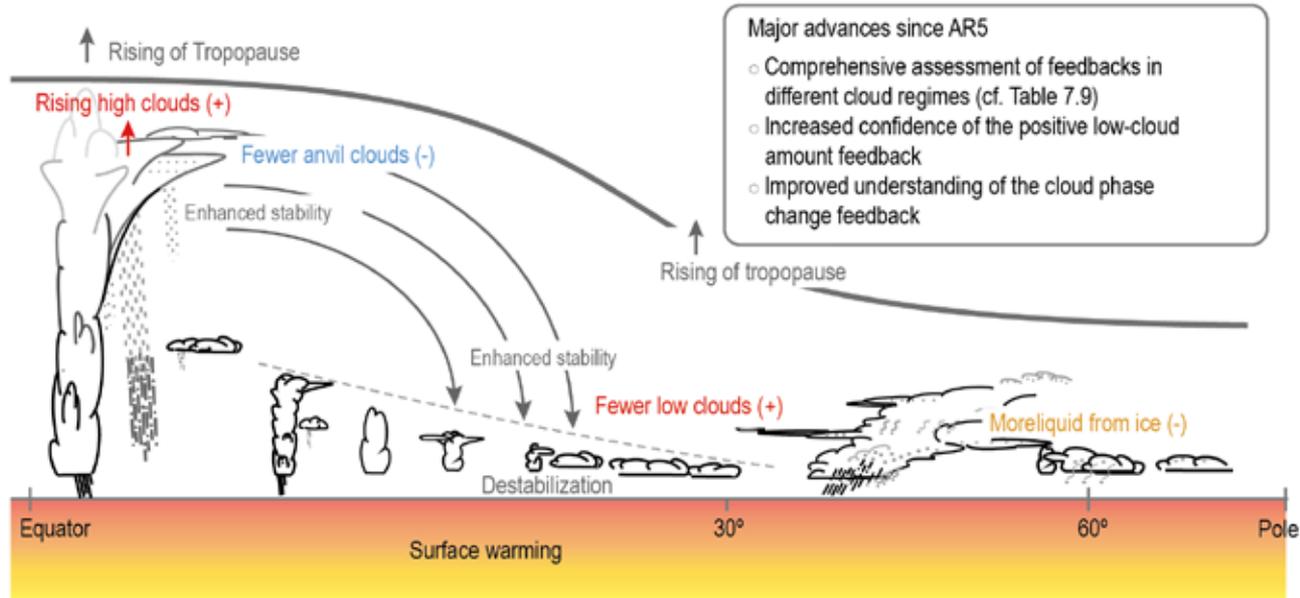
- ▷ permet un refroidissement de la Terre par émission infrarouge
- ▷ Les nuages joueraient ainsi un rôle de thermostat
- ▷ Faible sensibilité du climat à la hausse du CO<sub>2</sub>.

Idée intéressante, mais démentie par analyses théoriques et observationnelles





- Avec le réchauffement climatique,
- les nuages sont plus élevés, ce qui augmente leur effet de serre
  - Il y a moins de nuages bas, ce qui augmente le rayonnement solaire absorbé
  - Il y plus d'eau et moins de glace ce qui augmente le pouvoir réfléchissant des nuages



Les modèles de climat sont utilisés pour quantifier l'impact du changement climatique sur la couverture nuageuse, et la rétroaction associée

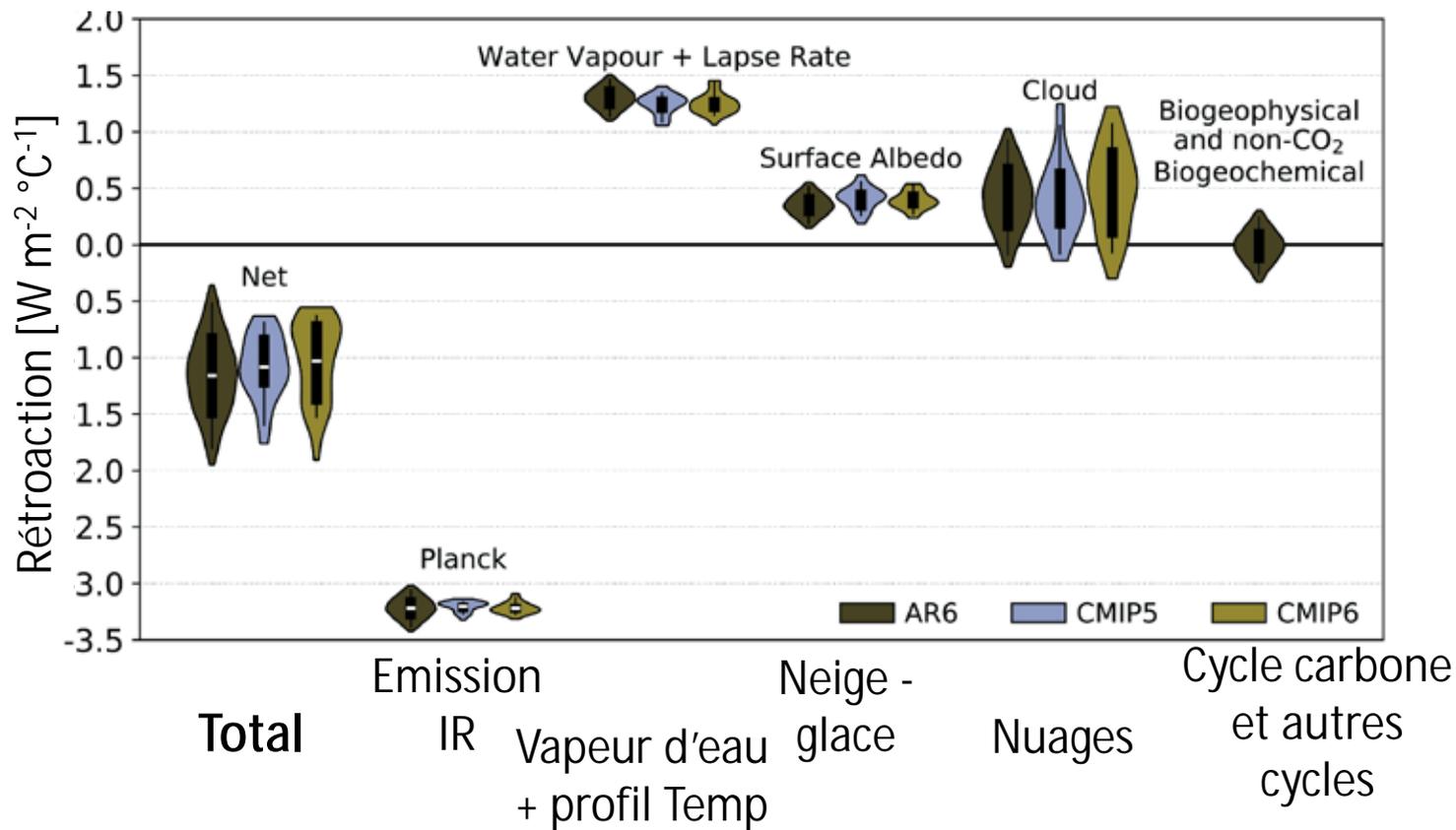
Grande dispersion entre les résultats des différents modèles, mais cette dispersion s'est réduite entre le cinquième et le sixième rapport du GIEC

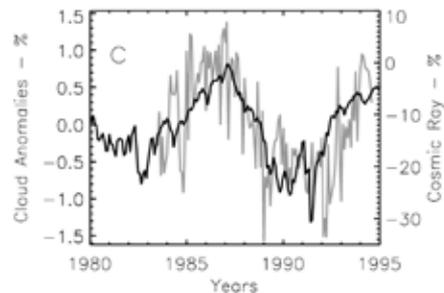
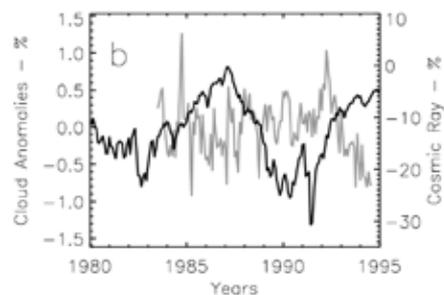
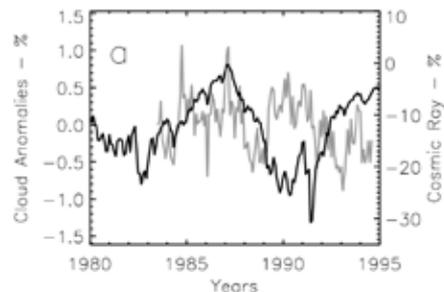
Rétroaction	GIEC – AR5 (degrés de confiance)	GIEC-AR6 (degrés de confiance)
Altitude nuages élevés	Positive ( <i>forte</i> )	Positive ( <i>forte</i> )
Couverture nuages élevés tropicaux	Non évaluée	Négative ( <i>faible</i> )
Couverture nuages bas subtropicaux océans	Peu évaluée ( <i>faible</i> )	Positive ( <i>forte</i> )
Couverture nuages sur terre	Non évaluée	Positive ( <i>faible</i> )
Couverture nuageuse moyenne latitude	Positive ( <i>moyenne</i> )	Positive ( <i>moyenne</i> )
Albédo des nuages extra-tropicaux	Non évaluée	Faiblement négative ( <i>moyenne</i> )
Nuages arctiques	Faiblement positive ( <i>très faible</i> )	Faiblement positive ( <i>faible</i> )
Ensemble	Positive ( <i>moyenne</i> )	Positive ( <i>forte</i> )

L'ensemble des effets conduit à une rétroaction évaluée à **0,42 W m<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup>**.

Les résultats de modélisation indiquent que cette rétroaction est probablement dans [0,12-0,72] W m<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup>

La rétroaction est très probablement dans [-0,10 – +0,94] W m<sup>-2</sup> °C<sup>-1</sup>





Des auteurs ont mis en avant une corrélation entre la couverture nuageuse et le flux de rayons cosmiques

Hypothèses sous la forme

L'intensité du soleil module le champ magnétique protecteur.

Soleil ↗;

rayons cosmiques ↘;

aérosols ↘,

nuages ↘,

température ↗

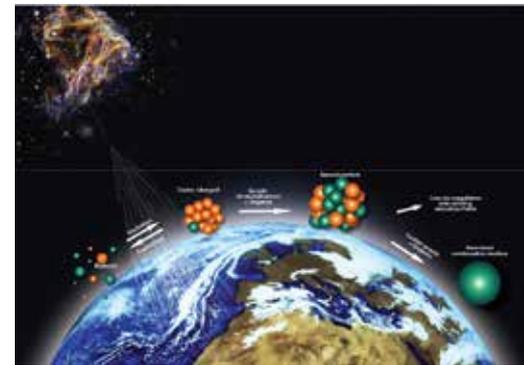
## Atmospheric ionization and cloud radiative forcing

Henrik Svensmark , Jacob Svensmark, Martin Bedker Enghoff & Nir J. Sheviv

Scientific Reports 11, Article number: 19668 (2021) | [Cite this article](#)

26k Accesses | 565 Altmetric | [Metrics](#)

Mécanisme potentiel pour lier soleil et climat au-delà du mécanisme direct (intensité du soleil qui apporte énergie à la terre)



## Nombreuses objections

- Dans l'atmosphère, les noyaux de condensation ne manquent pas pour générer les nuages
- Pas de tendance significative sur la puissance du soleil ou les rayons cosmiques
- Les corrélations mises en avant ne sont pas reproduites, et n'apparaissent pas sur données récentes

Malgré cela, une expérience (CLOUD) a été montée au CERN pour étudier l'impact des rayons cosmiques sur la génération de particules dans l'atmosphère



Nature, Décembre 2024

### Article

## New particle formation from isoprene under upper-tropospheric conditions

<https://doi.org/10.1038/s41586-024-08196-0>

Received: 5 April 2024

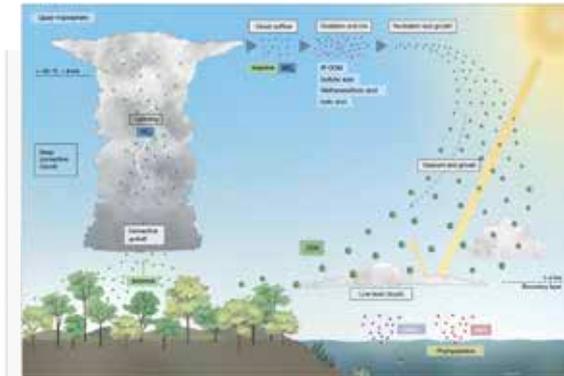
Accepted: 10 October 2024

Published online: 4 December 2024

Open access

 Check for updates

Jiali Shen<sup>1,2,3,4</sup>, Douglas M. Russell<sup>1,2,3</sup>, Jenna DeVivo<sup>1</sup>, Felix Kunkler<sup>1</sup>, Rima Baalbaki<sup>1</sup>, Bernhard Mentler<sup>1</sup>, Wiebke Scholz<sup>1</sup>, Wenguan Yu<sup>1</sup>, Lucia Caudillo-Plath<sup>1</sup>, Eva Sommer<sup>1,5</sup>, Emetda Ahongshangbem<sup>1,6</sup>, Dina Aillaoui<sup>1</sup>, João Almeida<sup>1,6</sup>, Antonio Amorim<sup>1,6</sup>, Lisa J. Beck<sup>1</sup>, Hannah Beckmann<sup>1,6</sup>, Moritz Bernthausel<sup>1</sup>, Nirvan Ghattacharyya<sup>1</sup>, Manjula R. Canagaratna<sup>1,6</sup>, Anouck Chassaing<sup>1,6</sup>, Romulo Cruz-Simbroni<sup>1,6</sup>, Lubna Dada<sup>1</sup>, Jonathan Duplissy<sup>1,6</sup>, Hamish Gordon<sup>1</sup>, Manuel Granzin<sup>1</sup>, Lena Große Schulte<sup>1</sup>, Martin Heieritzki<sup>1</sup>, Siddharth Iyer<sup>1</sup>, Hannah Klebach<sup>1</sup>, Timm Krüger<sup>1</sup>, Andreas Kürten<sup>1</sup>, Markus Lampimäki<sup>1</sup>, Lu Liu<sup>1,6</sup>, Brandon Lopez<sup>1,6</sup>, Monica Martinez<sup>1</sup>, Aleksandra Morawiec<sup>1</sup>, Antti Onnela<sup>1</sup>, Maija Pahtola<sup>1</sup>, Pedro Rato<sup>1,6</sup>, Mago Reza<sup>1,6</sup>, Sarah Richter<sup>1</sup>, Birte Römpf<sup>1</sup>, Milin Kaniyodical Sebastian<sup>1,6</sup>, Mario Simon<sup>1,6</sup>, Mihnea Surdu<sup>1</sup>, Kalju Tamme<sup>1</sup>, Roselaine C. Thakur<sup>1</sup>, António Tomé<sup>1,6</sup>, Yandong Tong<sup>1,6</sup>, Jens Topf<sup>1</sup>, Neelamabasi Sivas Ueno<sup>1</sup>, Gabriela Unter<sup>1</sup>, Lejsh Vattikatt<sup>1</sup>



Les nuages se forment dans l'atmosphère par **condensation de la vapeur d'eau**. Processus de formation et types de nuages très variables

Les nuages ont un impact important sur le bilan radiatif de la Terre. Effet d'albédo (**refroidissant**) et effet de serre (**réchauffant**)

**Globalement**, les nuages ont un effet net **refroidissant**

**L'impact du changement climatique** sur les nuages est variable et incertain

L'effet net de la rétroaction climat-nuage est **très probablement positif**. Mais incertitude sur son amplitude

La compréhension des interactions climat-nuages a **progressé** pendant la dernière décennie, mais la **rétroaction** associée reste la **plus grande incertitude** sur l'ampleur du réchauffement climatique en lien avec l'augmentation des gaz à effet de serre.

Les nuages sont parfois vus comme un vecteur d'amplification des variations solaires. Extrêmement peu probable que ce soit le cas