

Plan de l'intervention

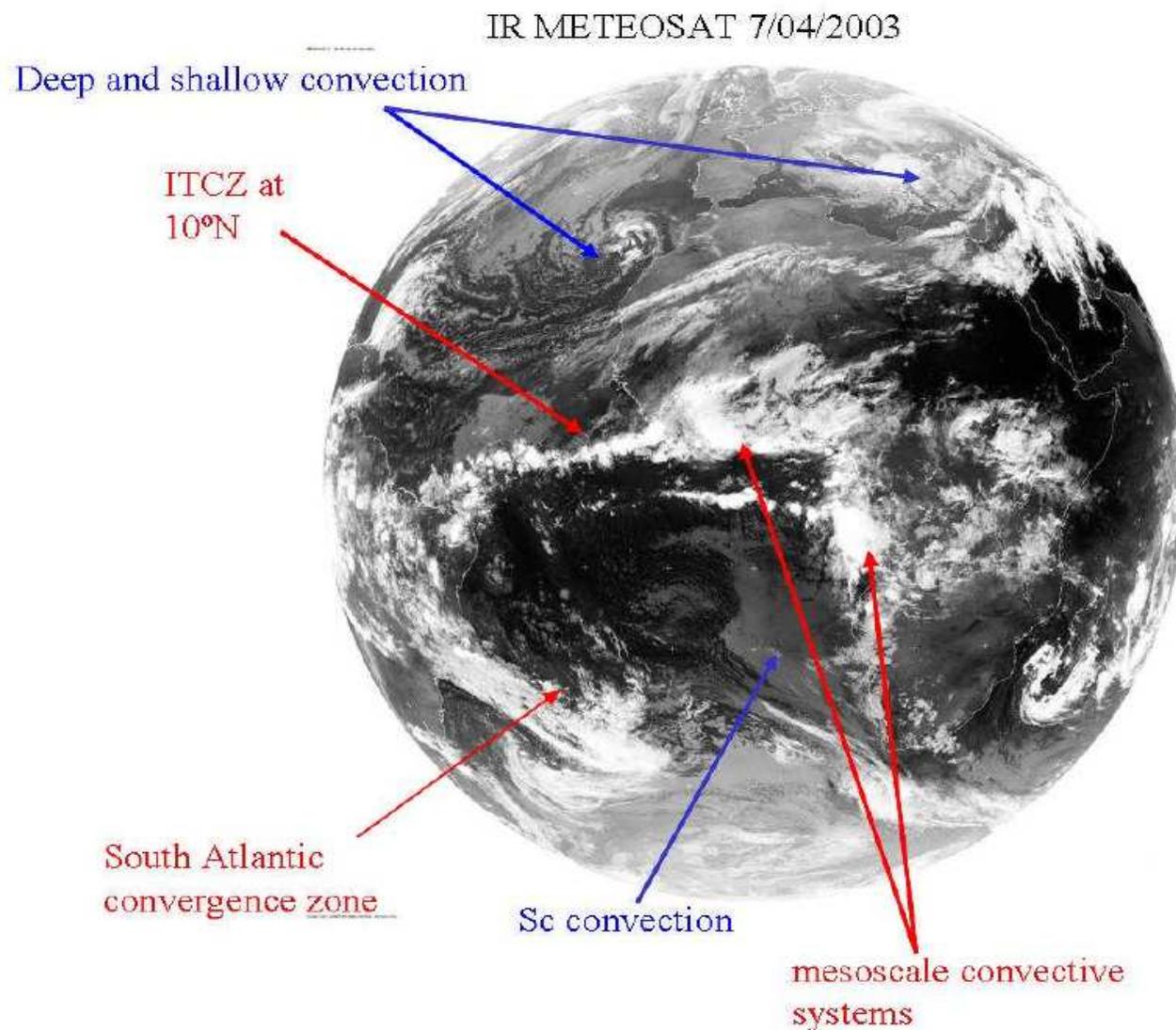
1. Portraits d'atmosphère
2. Les lois physiques qui régissent les mouvements atmosphériques
3. Les perturbations des moyennes latitudes
4. La convection

Les phénomènes convectifs

- Introduction
- Les processus associés à la convection
- Convection profonde : orage isolé, multicellulaire et supercellulaire



La convection : phénomène fréquent et à fort impact



On distingue :

-) convection profonde et peu profonde aux moyennes latitudes
-) convection tropicale dans la ZCIT
-) Système convectif de Mésos-échelle
-) Stratocumulus sur les bords Est des océans

La convection : phénomène fréquent et à fort impact

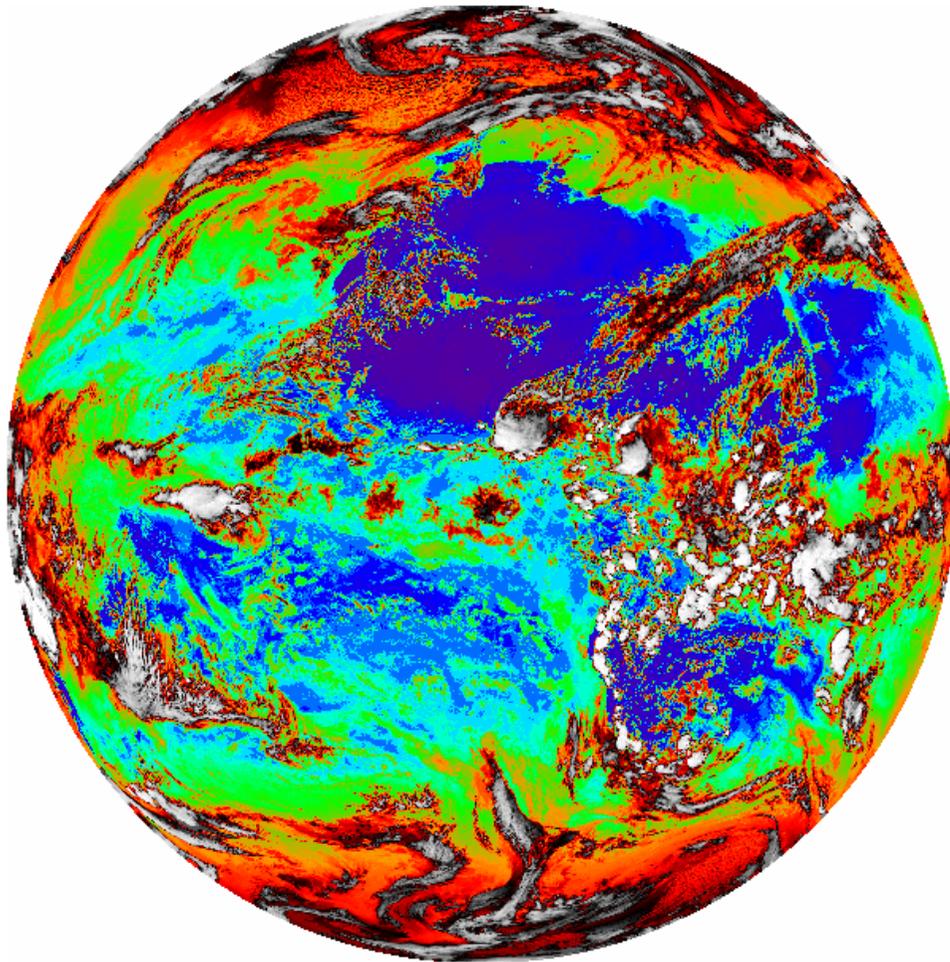


Image METEOSAT infra-rouge 11 μ m, 2002-02-27 15:00

Pourquoi étudier la convection?

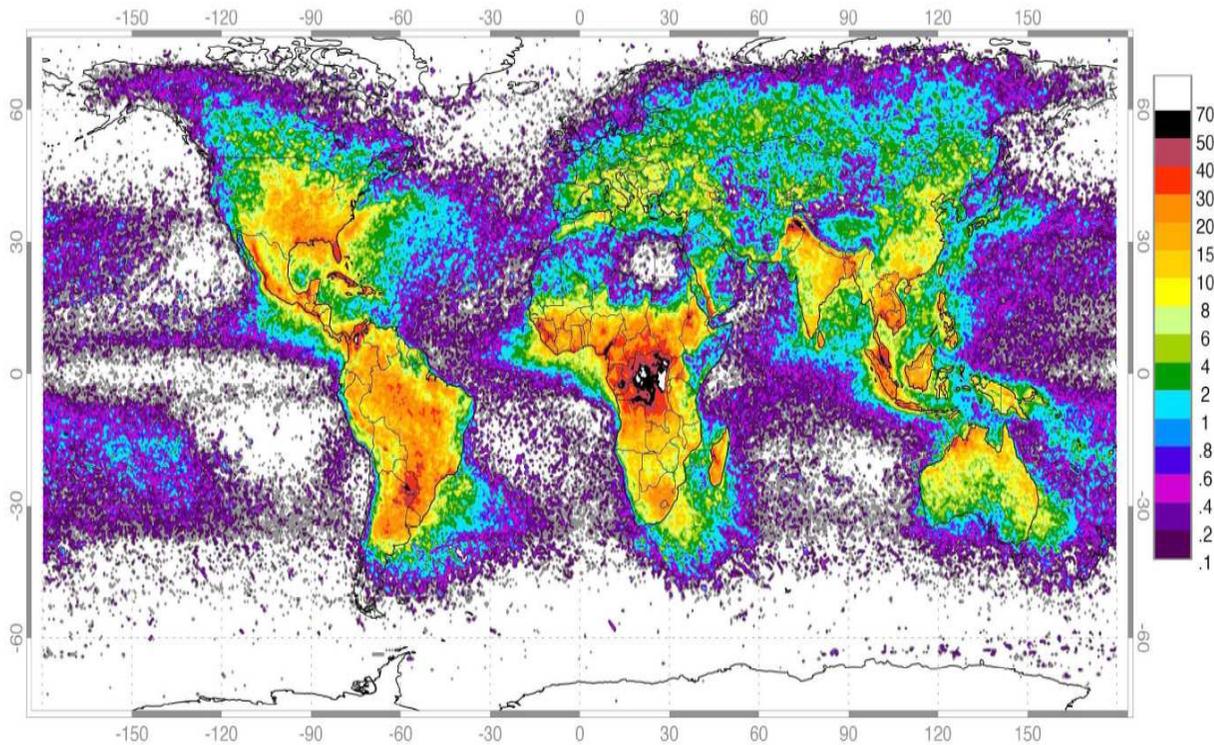
La convection en météorologie, c'est l'ensemble des processus se développant en réponse à une instabilité verticale.

La convection est très fréquente, quasi omniprésente sur Terre comme le montre cette image sat :

-) enclumes de Cb sur l'Afrique
-) Sc au large de l'Angola
-) Cu dans les descentes froides baroclines des latitudes tempérées.

Impact **considérable** sur les champs thermodynamiques: température, humidité, vent

La convection : phénomène fréquent et à fort impact



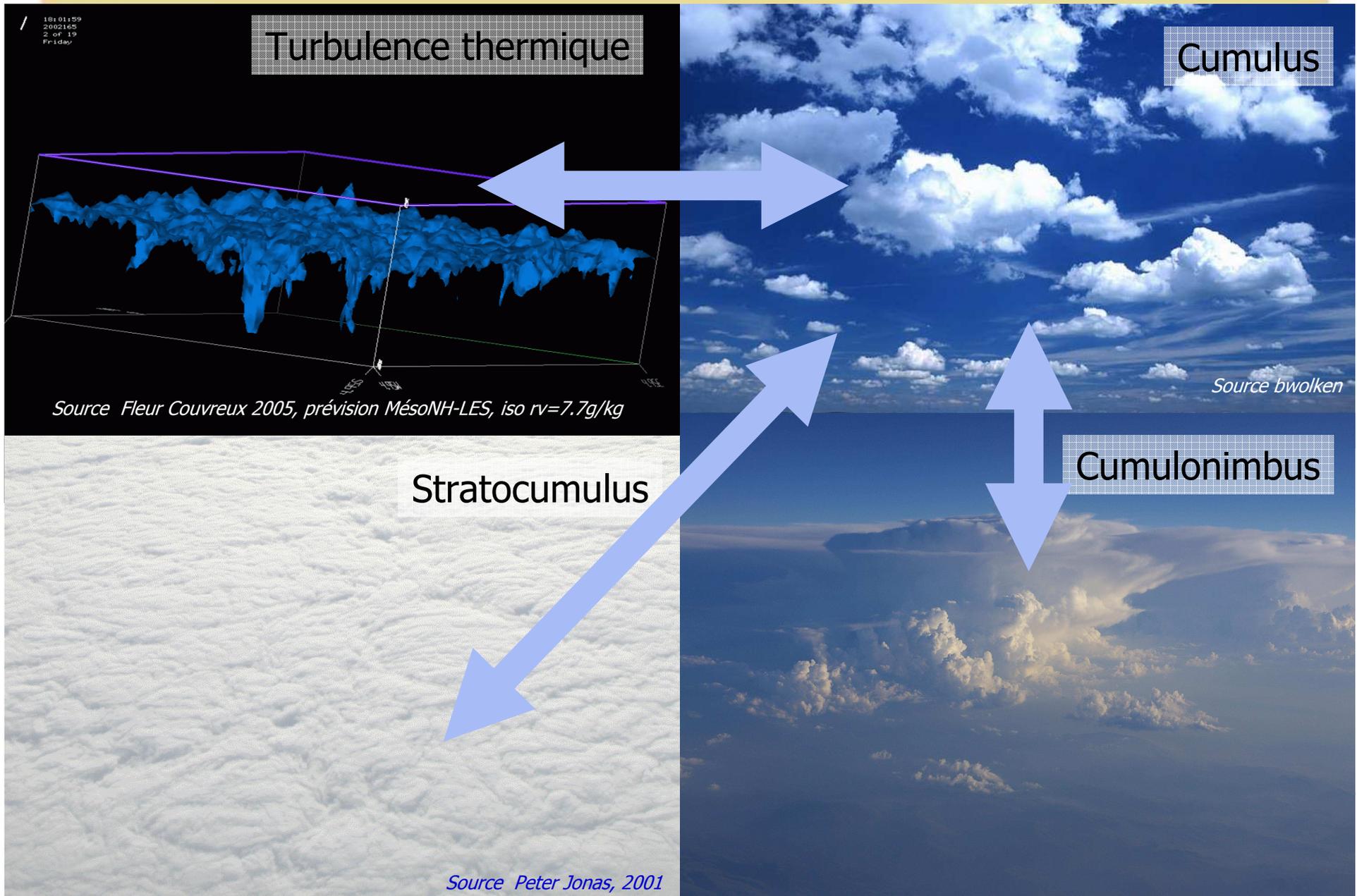
Localisation de la convection

Toutes les statistiques sont biaisées :
OLR
Précipitations
Activité électrique

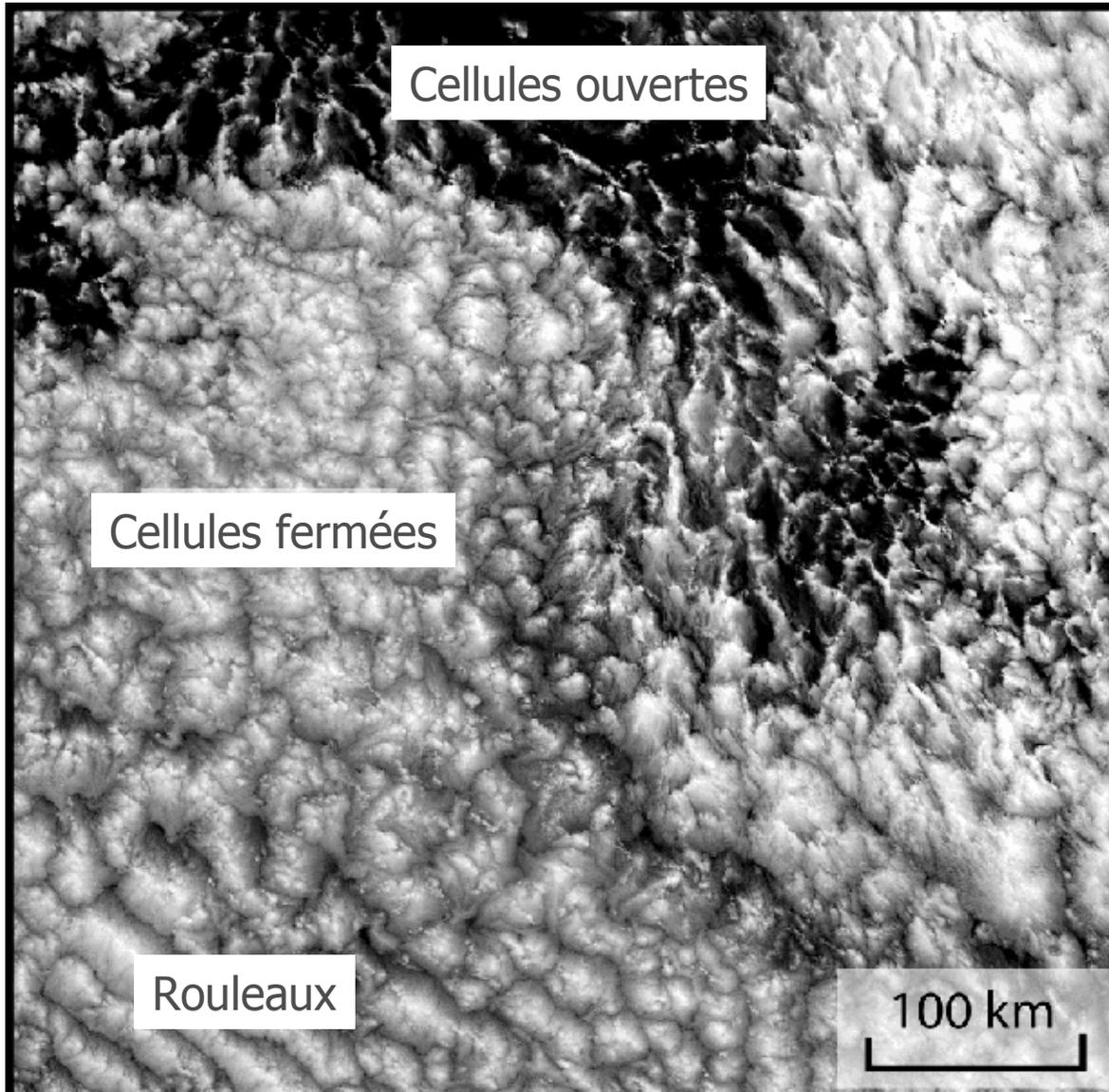
Nombre annuel moyen d'éclairs/pixel

D'après : Global Hydrology Resource Center

La convection : très grande diversité de forme



La convection : très grande diversité de forme



Sur cette image satellitaire on voit :

-) des cellules ouvertes de Cu,
-) des cellules fermées de Sc,
-) une organisation des Sc en rouleaux indiquant la présence de cisaillement de vent.

La transition de ces différents régimes est très difficilement prévisible

La convection : réponse à un déséquilibre de grande échelle

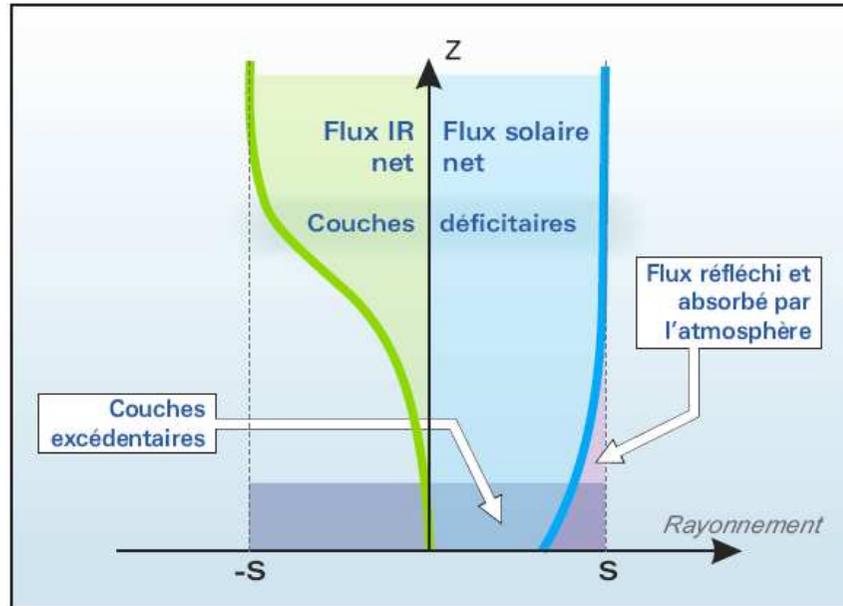


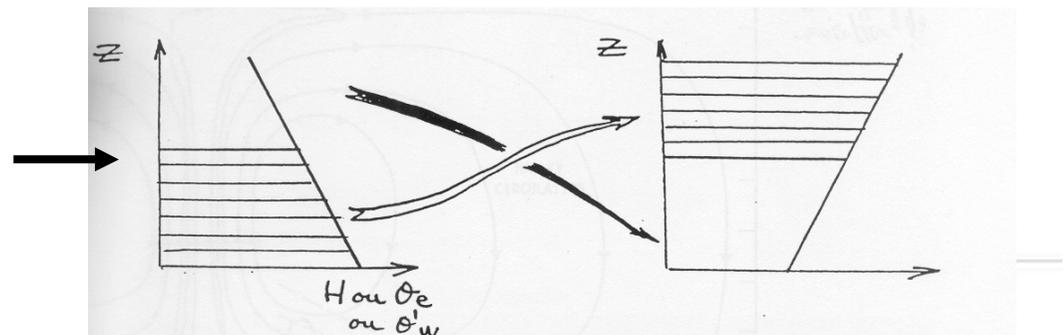
Schéma du bilan radiatif moyen sur la verticale. D'après James, 1994

La convection stabilise l'atmosphère :

**Réponse à « petite » échelle
à un déséquilibre de grande échelle**

transport vertical d'énergie

Le déséquilibre vertical de l'atmosphère implique une stabilisation de l'atmosphère avec transport de fortes valeurs d'énergies en haute troposphère



D'après Houze, 1994

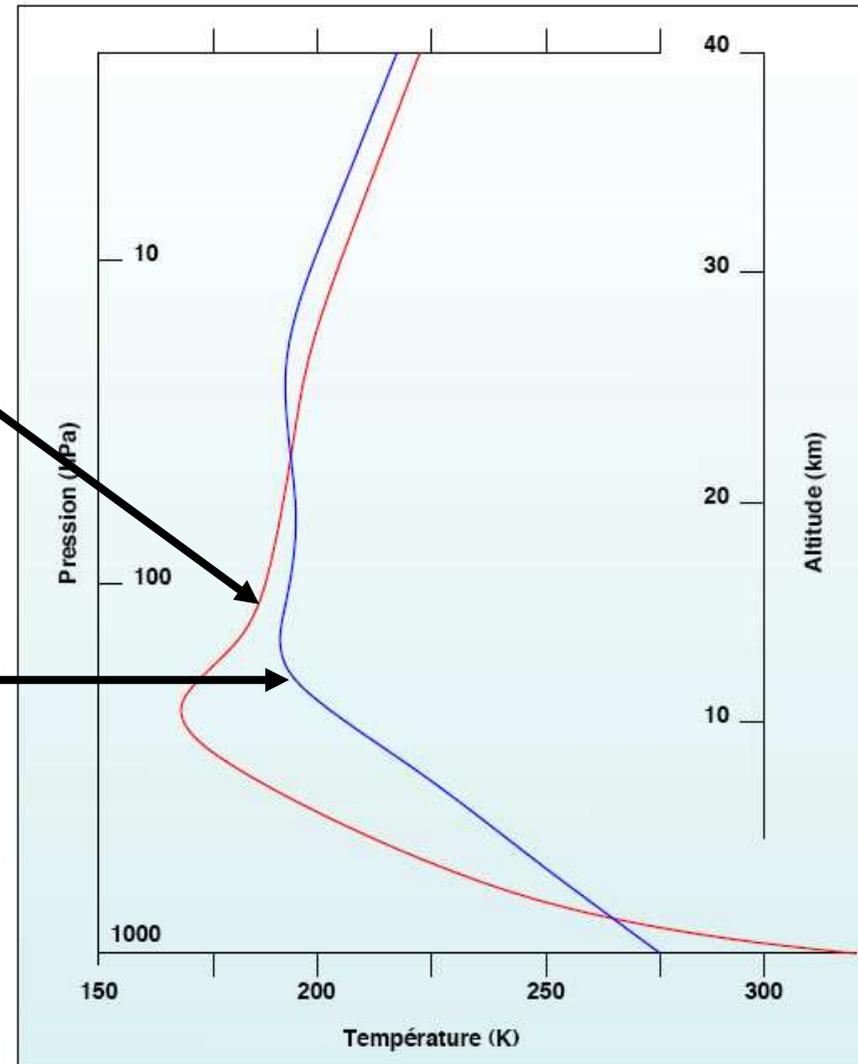
Effet de la convection

Impact des mouvements verticaux
Sur le profil vertical de température

Solution du bilan radiatif associé au
rayonnement moyen sur le globe
(35°N) (atmosphère au repos et sans
nuage)

Profil vertical observé (-6,5 °C/km)

Une part **importante** de cette correction
vient de l'**activité convective**



Gill, 1982

Les phénomènes convectifs

- Introduction
- Les processus associés à la convection
- Convection profonde : orage isolé, multicellulaire et supercellulaire

Les processus associés à la convection

La flottabilité

Equation pour le mouvement vertical dans le modèle de la particule

Hypothèses :

-) L'environnement est au repos, seule la particule peut se déplacer
-) Pression de la particule = Pression environnement
-) Pas d'échange de chaleur (évolution adiabatique)

Avec ces hypothèses, la loi de Newton sur la verticale devient

$$\frac{Dw_p}{Dt} = -g \frac{\rho_p - \rho_{env}}{\rho_p} = \mathcal{B}$$

$$\frac{Dw_p}{Dt} = -g \frac{T_{env} - T_p}{T_{env}}$$

--> Une particule va être accélérée vers le haut si elle est plus légère ou plus chaude que son environnement

La flottabilité :

$$\frac{Dw_p}{Dt} = -g \frac{\rho_p - \rho_{env}}{\rho_p} = \mathcal{B}$$

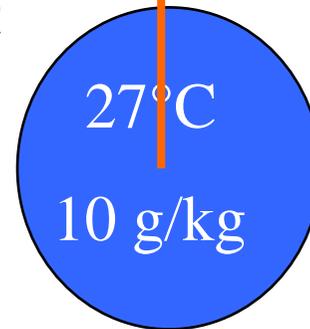
■ La flottabilité est la résultante entre le poids de la particule et la force d'Archimède à laquelle elle est soumise.

■ Si la flottabilité est dirigée vers le bas, on parle de flottabilité négative.

Théorie de la particule : effet de la température

EX : calcul de l'accélération verticale
Quelle est la vitesse obtenues en 15mn?

$$T - T_0 = 1^\circ\text{C}$$



Flottabilité

26°C

10 g/kg

Même contenu en vapeur
pour la particule et l'environnement

Les processus associés à la convection

La flottabilité

Influence du contenu en eau sur la flottabilité

Une mole d'air sec est plus lourde qu'une mole d'air humide ;
masse molaire de l'air sec (29g) contre 18g pour la vapeur d'eau,

Nécessité de tenir compte du contenu en eau des particules et de leur environnement.

Pour cela, on introduit la température virtuelle qui est la température qu'aurait une particule d'air sec de même masse volumique et à la même pression

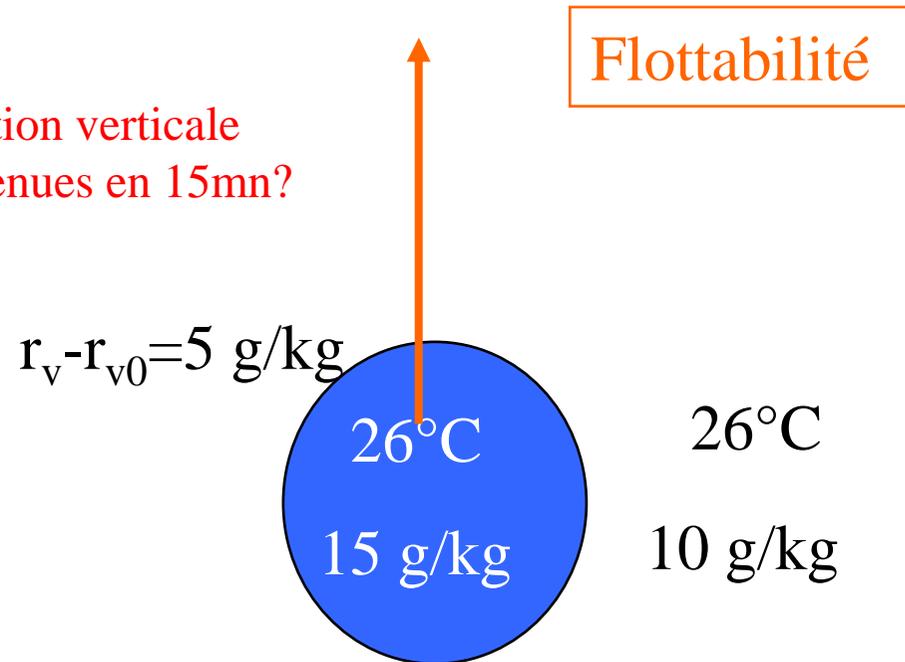
$$p = \rho_h R_h T = \rho_h R_a T_v$$

En utilisant T_v , même résultat que pour l'air sec dans le cas humide

$$\frac{Dw_p}{Dt} = -g \frac{T_{v_{env}} - T_{v_p}}{T_{v_{env}}}$$

Théorie de la particule : effet de la vapeur d'eau

EX : calcul de l'accélération verticale
Quelle est la vitesse obtenues en 15mn?



Isothermie entre la particule
et son environnement

Les limites du modèle de la particule

L'équation du mouvement vertical de Boussinesq, complète le modèle de la particule

$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial z} - \frac{g}{\rho_o} \tilde{\rho}$$

Le 2ème terme correspond à la force de flottabilité et le 1er terme est le gradient vertical de perturbation de pression

Théorie de la particule : limites

Correspond aux principes mis en œuvre dans un **diagramme thermodynamique** :

- A tout moment la particule est en équilibre avec son environnement pour la pression. On néglige donc le **frein de pression**.

$$-\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial z}$$

- On néglige la **charge en eau** en considérant que l'eau précipite.

$$-gq_l$$

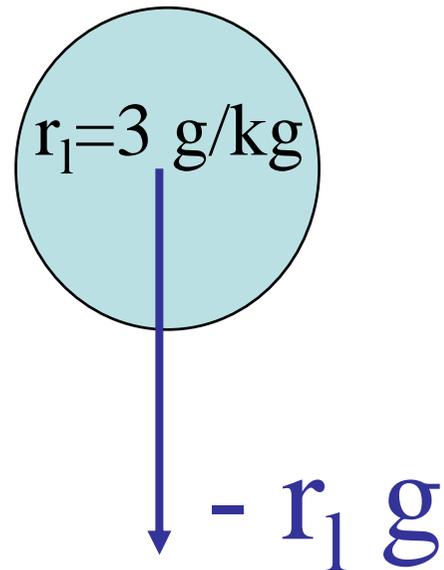
Ces facteurs limitant les vitesses verticales, le modèle de la particule correspond à des valeurs **fortement surestimées**.

$$\frac{Dw_p}{Dt} = -g \frac{\theta_{v_{env}} - \theta_{v_p}}{\theta_{v_{env}}}$$

$$\frac{Dw}{Dt} = \beta = -g \frac{\tilde{\rho}}{\rho_o} = g \frac{\tilde{\theta}_v}{\theta_{v0}}$$

Les limites du modèle de la particule
Effet de la présence d'eau condensée – la charge en eau

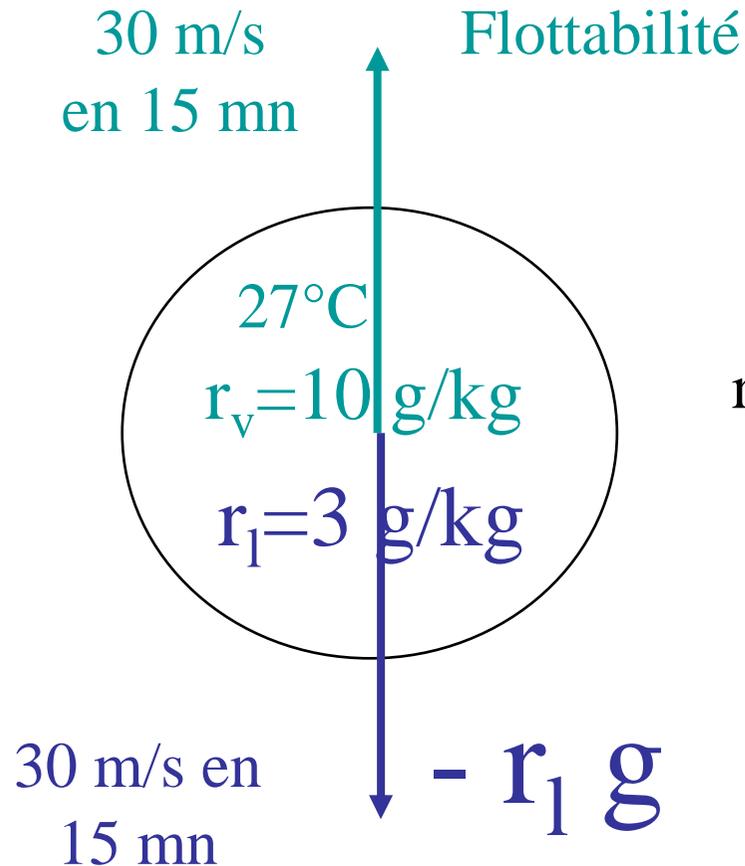
EX : calcul de l'accélération verticale
Quelle est la vitesse obtenue en 15mn?



la présence de 3 g/kg d'eau liquide entraîne une accélération pondérale de 0.03 m/s^2 , soit un gain de vitesse vers le bas de 30 m/s en 1/4 d'heure

Les limites du modèle de la particule
Effet de la présence d'eau condensée – la charge en eau : exemple 1

EX : calcul de l'accélération verticale
Quelle est la vitesse obtenue en 15mn?

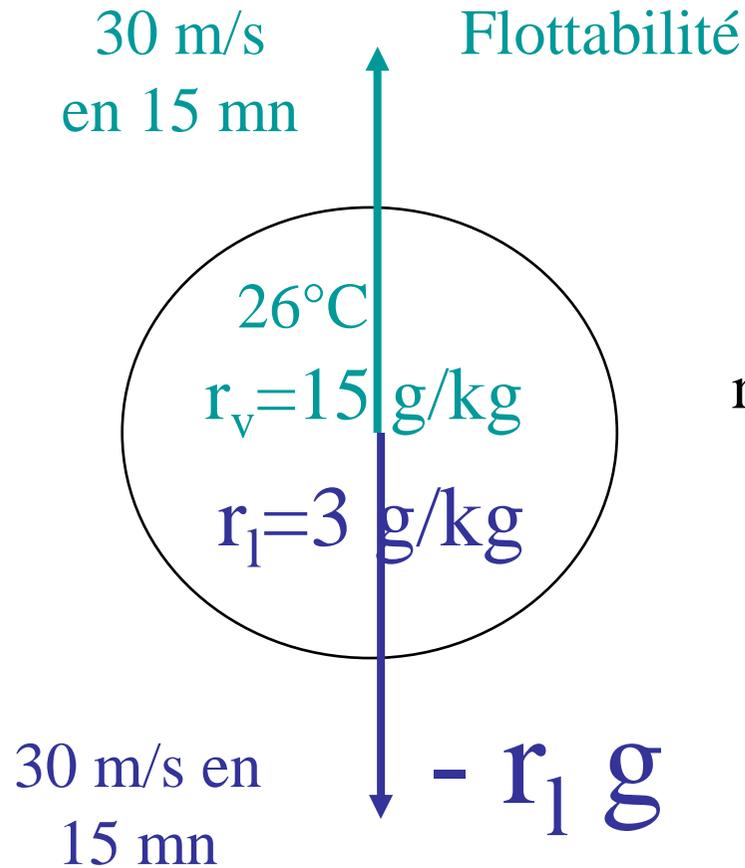


26°C
 $r_{v0} = 10 \text{ g/kg}$

Même contenu en vapeur
pour la particule et
l'environnement

Les limites du modèle de la particule
Effet de la présence d'eau condensée – la charge en eau : exemple 2

EX : calcul de l'accélération verticale
Quelle est la vitesse obtenue en 15mn?



Isothermie entre la particule
et l'environnement

Je comprends :

- le terme de flottabilité
- le poids de l'eau liquide ou solide

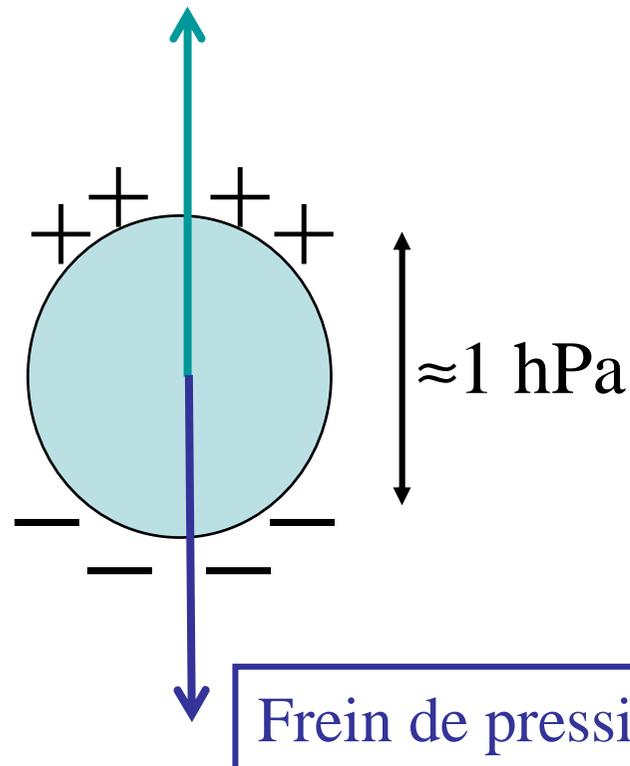
$$\frac{d\vec{V}_{\text{vert}}}{dt}$$

$$= g \left(\frac{T_v - T_{v0}}{T_{v0}} \right) - (\mathbf{r}_l + \mathbf{r}_s) \mathbf{g}$$

Les limites du modèle de la particule
Le terme de fluctuation de pression souvent un frein

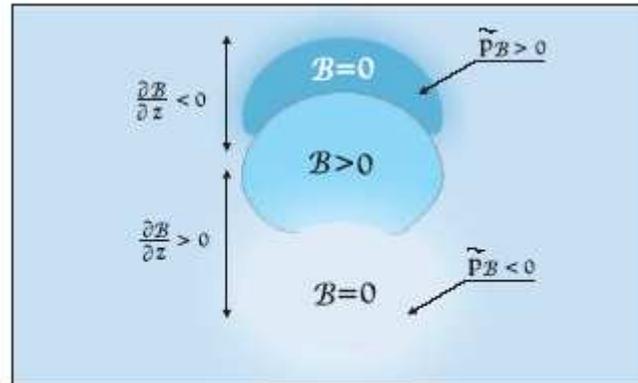
$$\frac{Dw}{Dt} = - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial z} - \frac{g}{\rho_o} \tilde{\rho}$$

Particule en mouvement



Les limites du modèle de la particule

On examine le cas d'une particule qui est soumise à une force de flottabilité vers le haut (environnement instable avec petit déplacement vers le haut)



Anomalie de pression au voisinage d'une particule de flottabilité positive

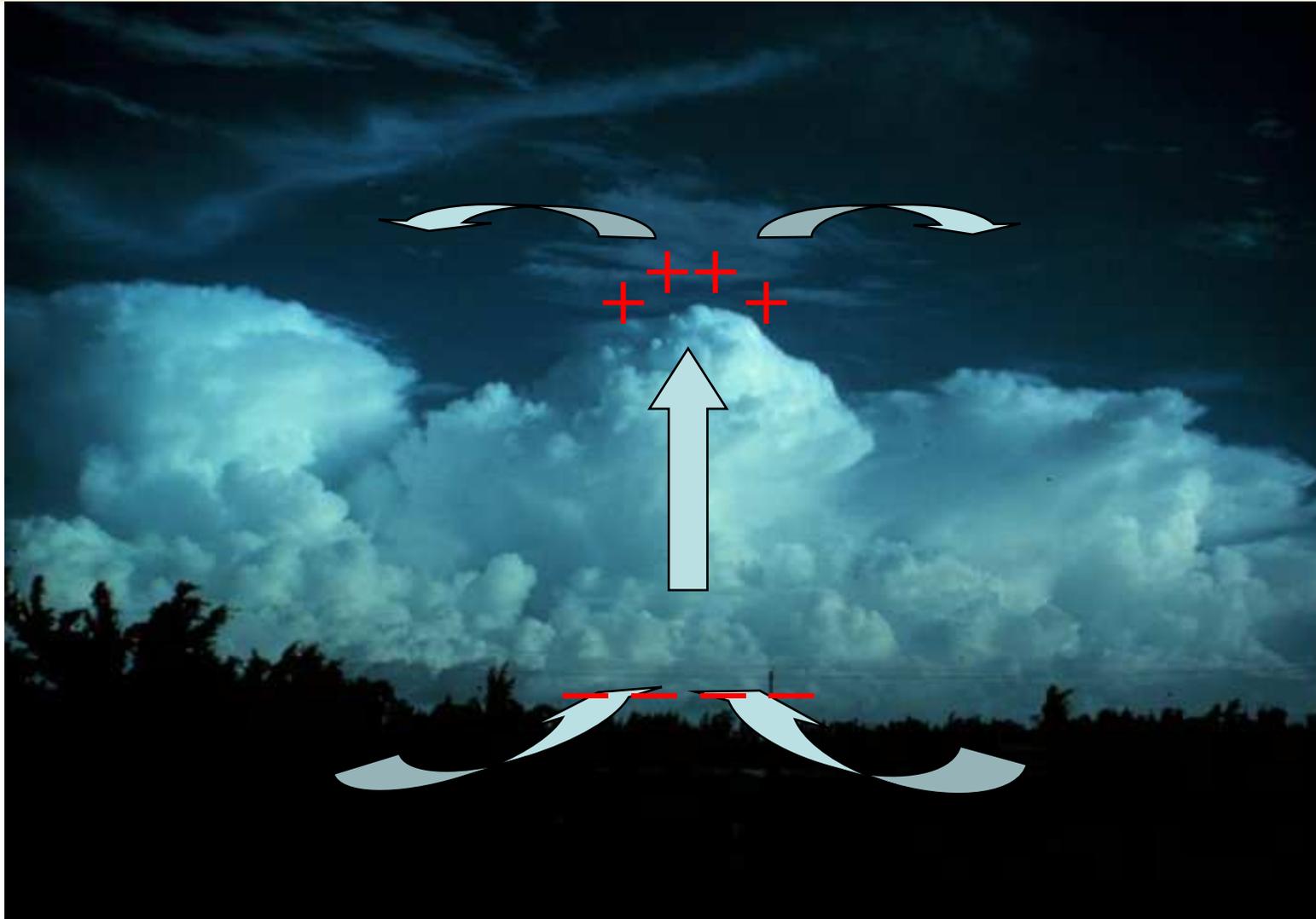
Dans l'environnement non perturbé, la flottabilité est nulle.

Donc, au dessus de la particule, le Laplacien est < 0 , donc on a un max de perturbation de pression d'où la force verticale de perturbation de pression < 0 qui agit comme un frein sur l'accélération verticale de la particule.

Inversement en dessous de la particule.

$$\Delta(\tilde{p}_B) = \frac{\partial(\rho_o B)}{\partial z}$$

Le terme de fluctuation de pression à l'échelle du nuage convectif



Les phénomènes convectifs

- Introduction
- Les processus associés à la convection
- Convection profonde : orage isolé, multicellulaire et supercellulaire

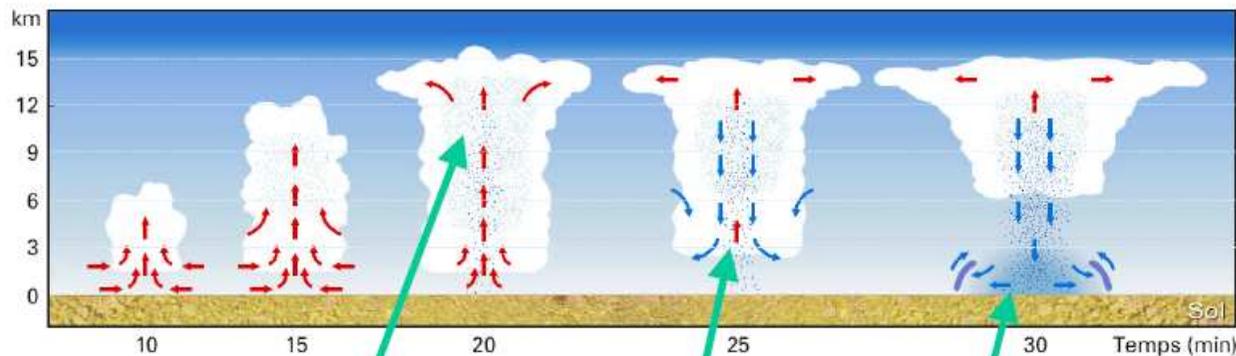


Orage isolé

Modèle conceptuel d'orage isolé

Le modèle conceptuel est fondé sur la notion de **cellule convective** (une ascendance et des courants subsidents associés)

Une **cellule ordinaire** = une cellule convective ?



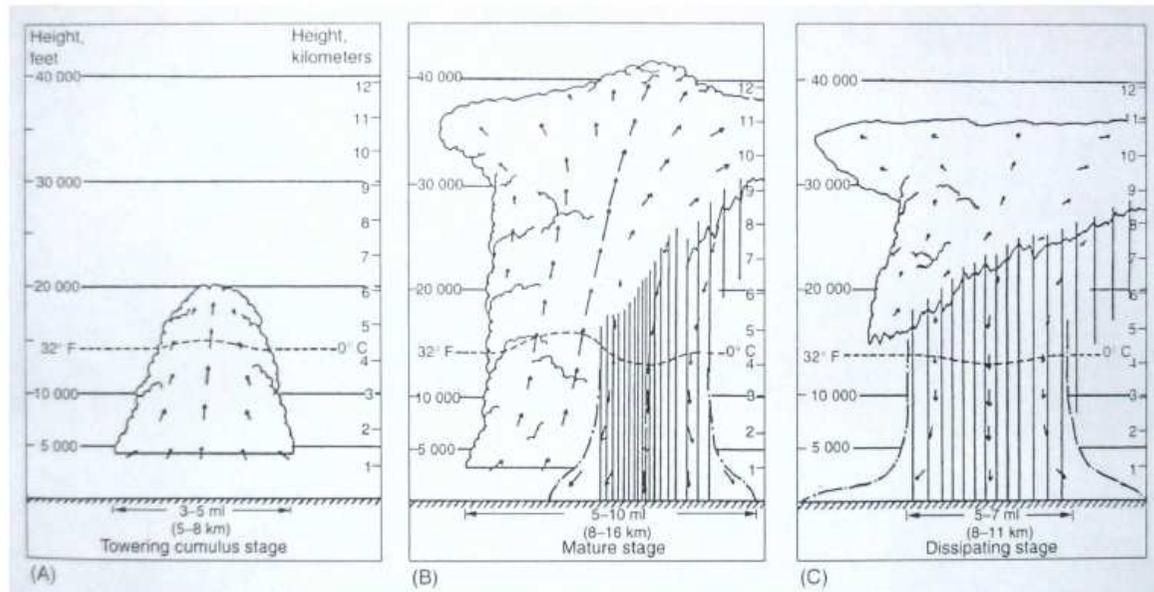
Création de gouttes de pluie
La charge en eau augmente

Pluie avec courant
de densité, puis éventuellement
nuage stratiforme

Destruction de l'ascendance :
pas de décalage entre ascendance
et subsidence

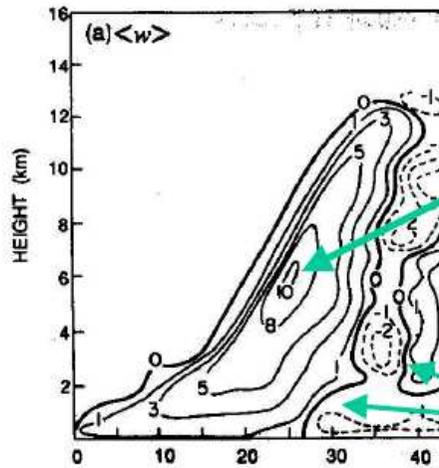
Caractéristiques d'un orage isolé

- durée de vie 30/50 mn
- nuage vertical dans un environnement homogène
- courant descendant généré par le **poids des précipitations**, amplifié par le **mélange avec l'air sec**.
- phénomènes : vents forts/grêle /microburst/ petites tornades à courtes durées de vie
- advecté par le vent moyen



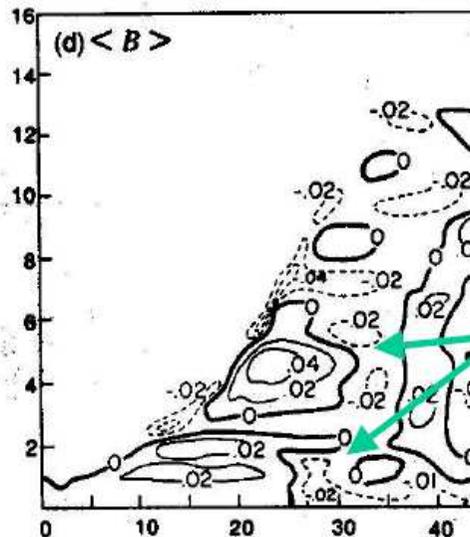
Évolution d'un cumulus sur un océan tropical

Ferrier & Houze (1989)

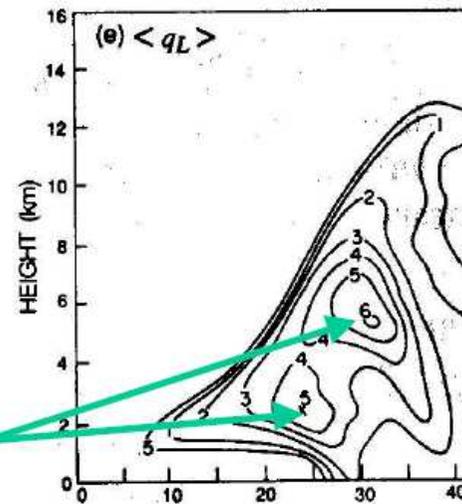


Maximum de w en milieu de troposphère

Courants subsidents

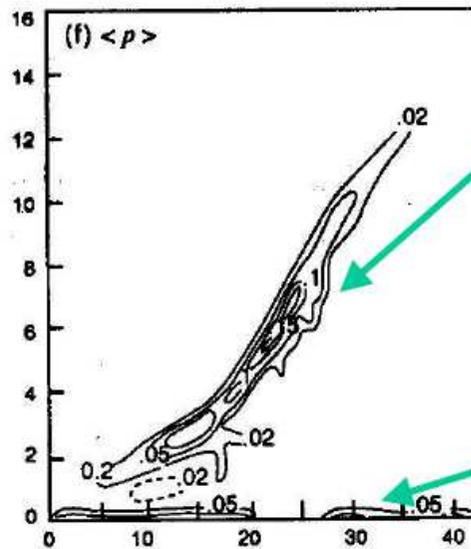


Flottabilité négative due à la charge en eau



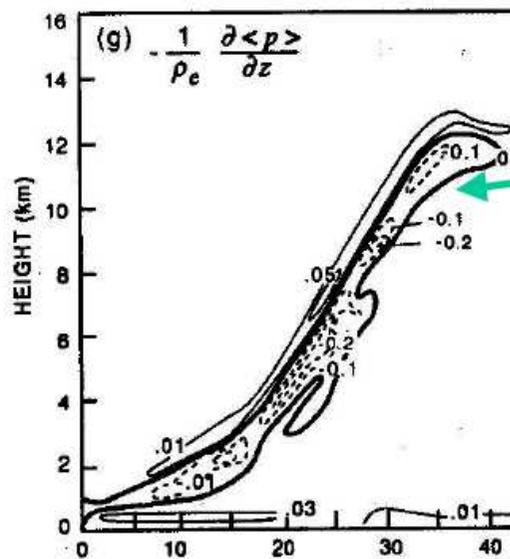


Frein de pression



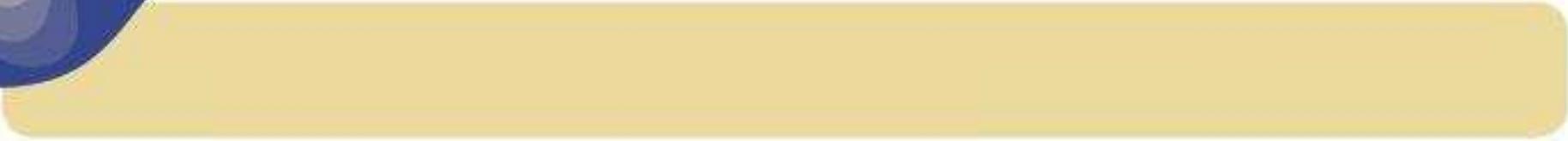
Perturbation de pression maximum lors de la pénétration de la bulle convective au sommet du nuage

Surpression due au courant de densité



Frein sur la vitesse verticale

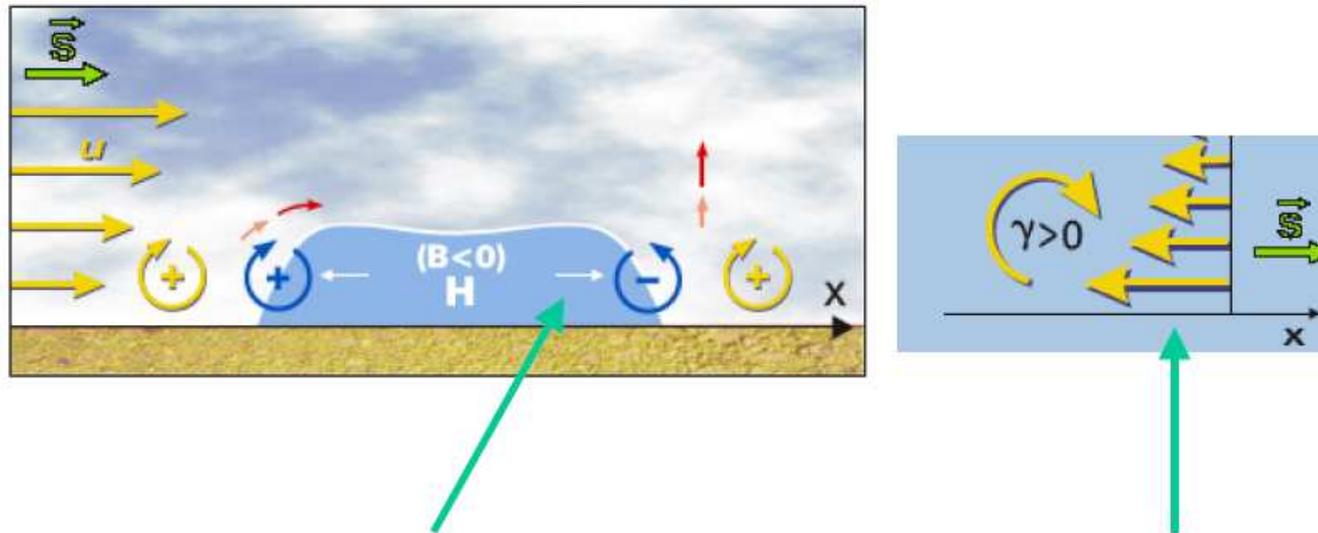
$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \tilde{p}}{\partial z} + \beta$$



Orage multicellulaire

Interaction courant de densité/ cisaillement basses couches (0-3 km)

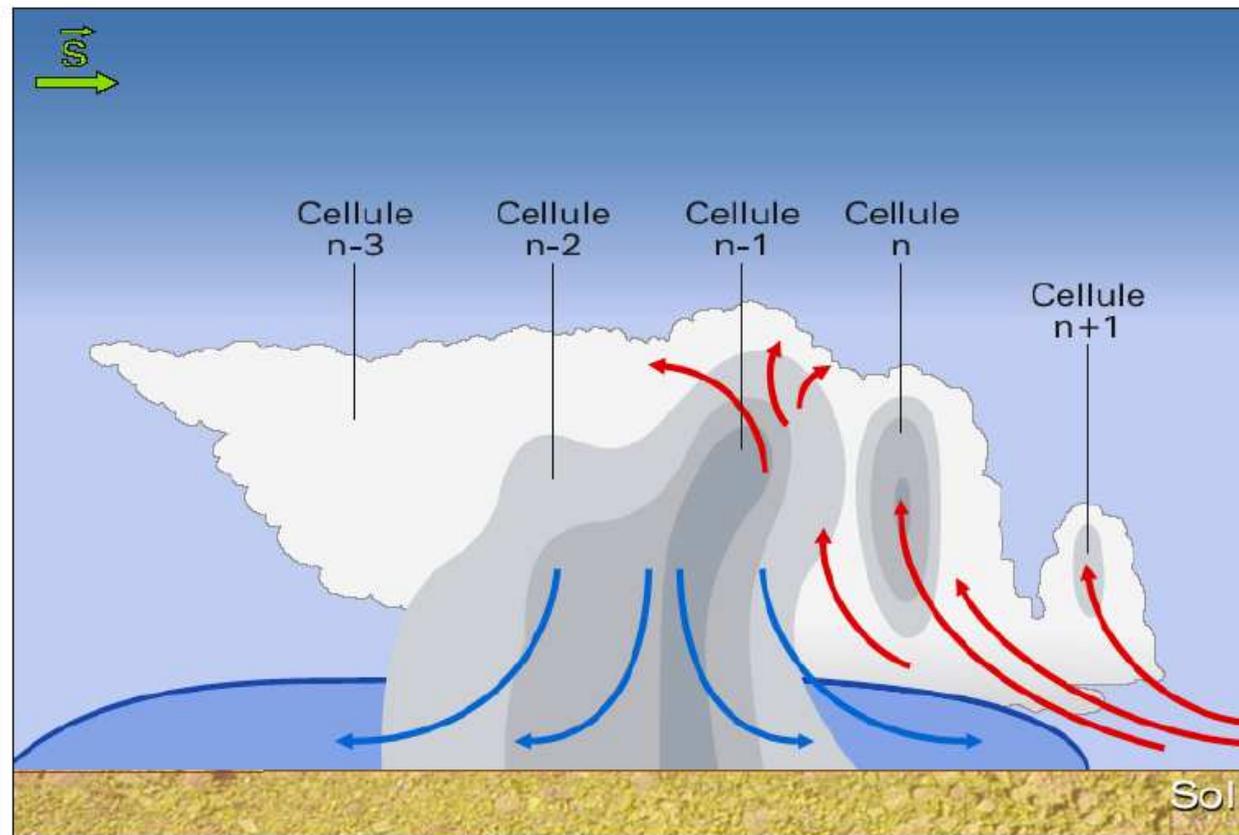
Les ascendances sont renforcées en aval du cisaillement



Interprétation physique : convergence due au déplacement
du courant de densité + mouvement relatif à l'orage

Orage multicellulaire

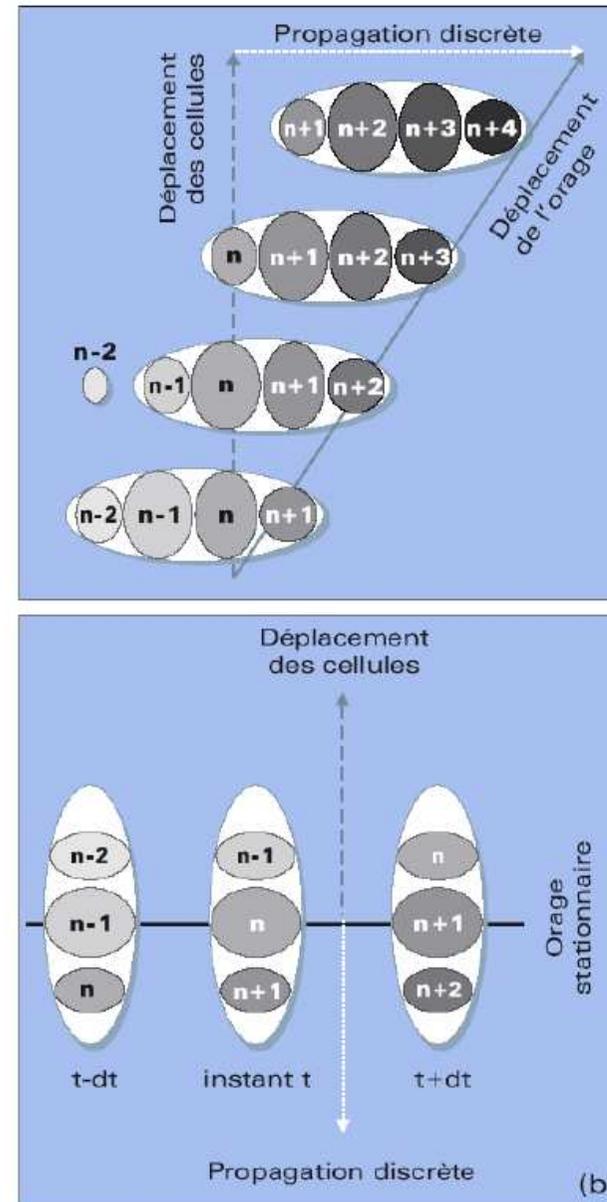
- associé à un cisaillement unidirectionnel
- Intensification du front de rafale avec génération de nouvelles cellules en aval du cisaillement de basses couches (0-3 km). Convergence et soulèvement au bord du front principal.



Déplacement d'un orage multicellulaire

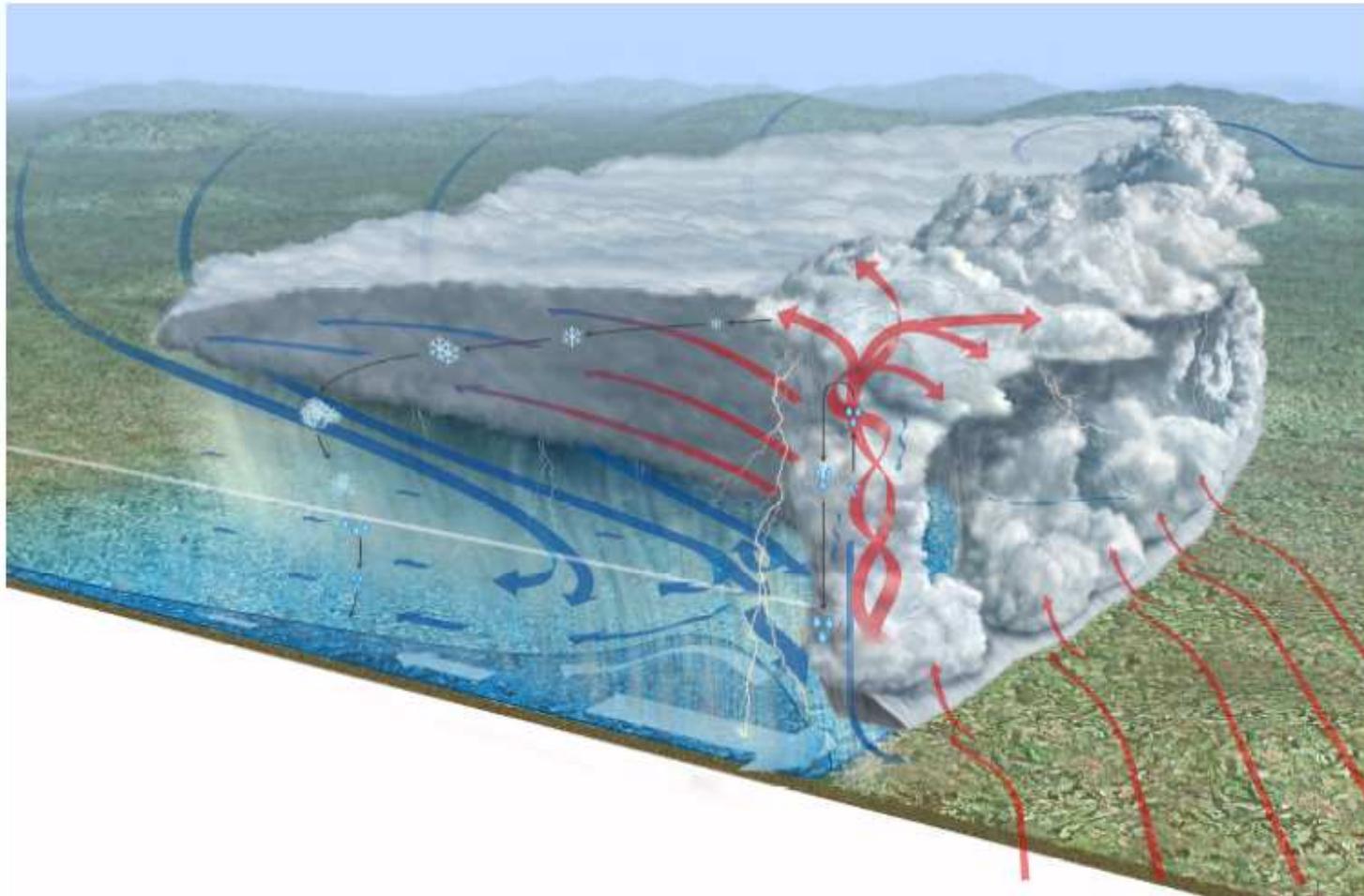
Propagation en crabe

Durée de vie peut atteindre plusieurs heures
d'où inondations possibles en cas
de **faible déplacement**



Les Systèmes convectifs de Méso-échelle

Les lignes de grain : le modèle conceptuel



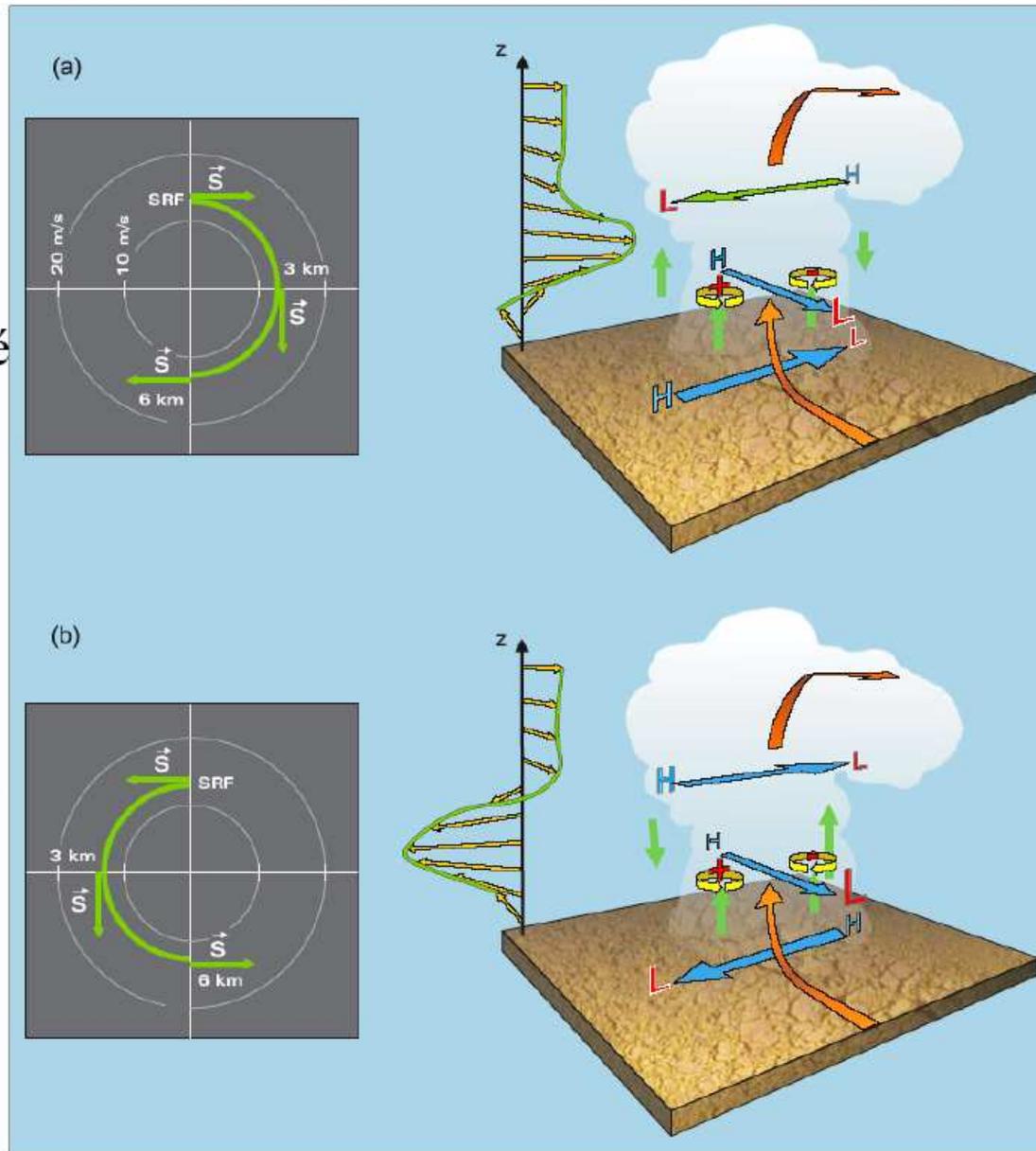
Dans une ligne de grains, le forçage d'ascendances convectives intenses et de courants de densité puissants à l'échelle aérologique est entretenu par **une circulation de mésoéchelle** qui s'organise entre la partie stratiforme du système et la partie convective.



Orage supercellulaire

Influence du cisaillement directionnel sur le **renforcement de la cellule** située dans la concavité de l'hodographe

Dans l'hémisphère Nord très souvent renforcement de la cellule de droite

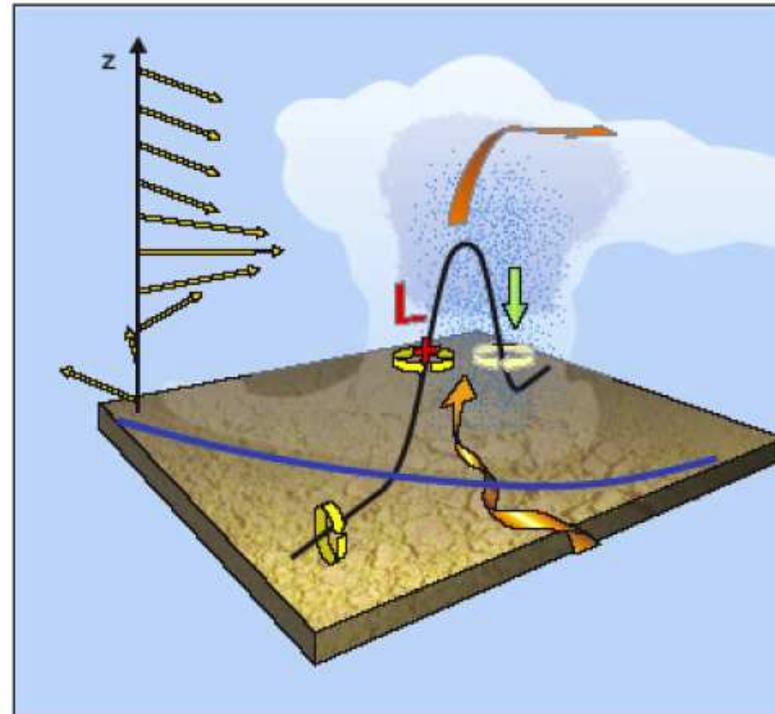


Supercellule

Conditions favorables : forte CAPE et fort cisaillement rotationnel

Dynamique particulière :
création d'une **ascendance**
unique et persistante
séparée des zones subsidentes.

60 à 70% de l'ascendance
vient du terme dynamique

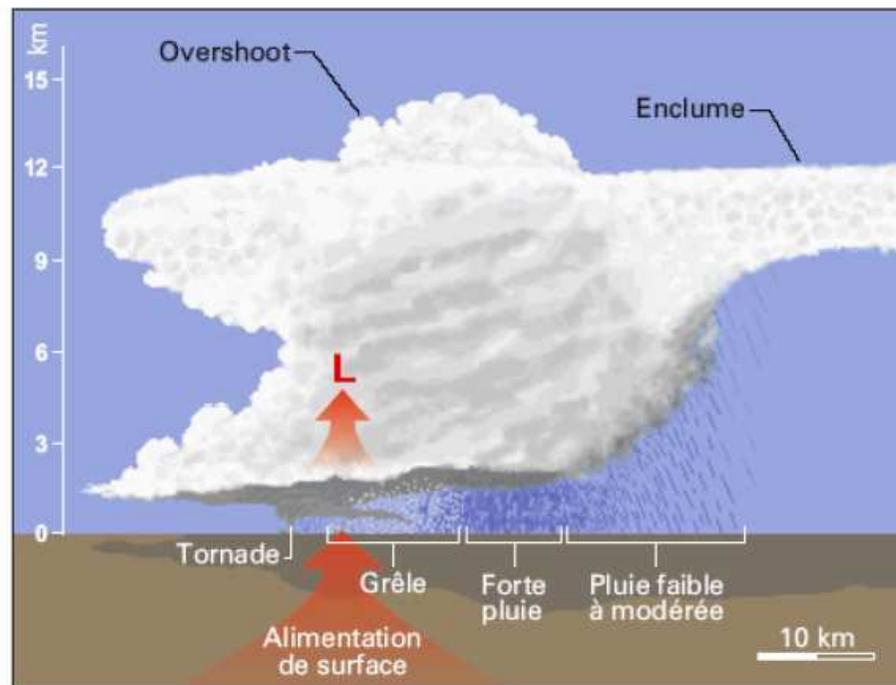


Aspect extérieur d'une super cellule

Associé à des tornades et de fortes chutes de grêle

Les supercellules sont présentes surtout dans les grandes plaines américaines où l'on trouve :

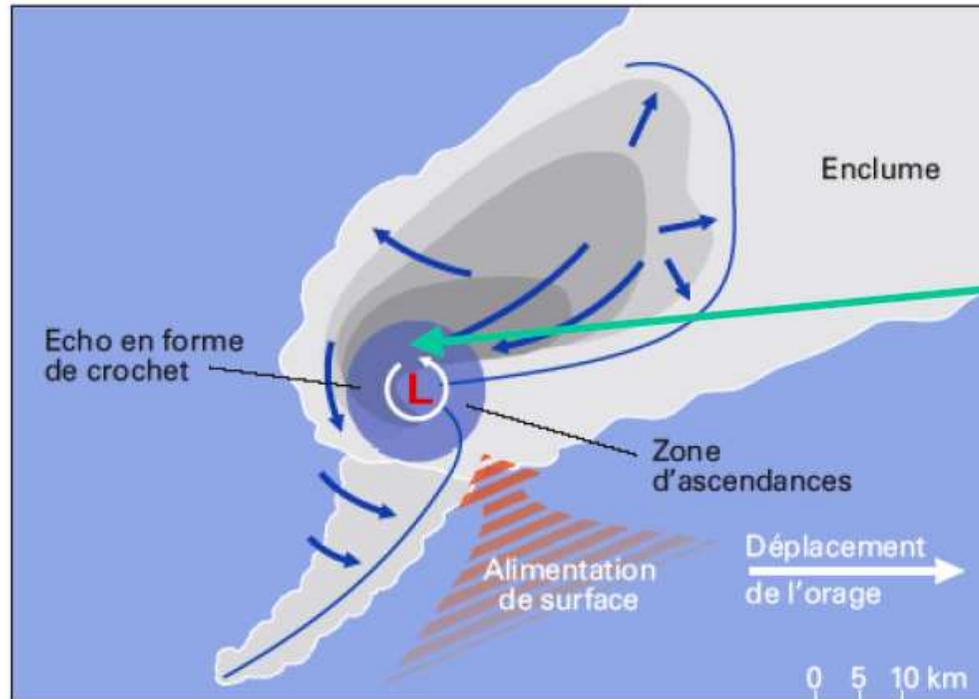
- alimentation en humidité de basse-couche en provenance du golfe du mexique
- des sources de cisaillement (perturbations synoptiques)



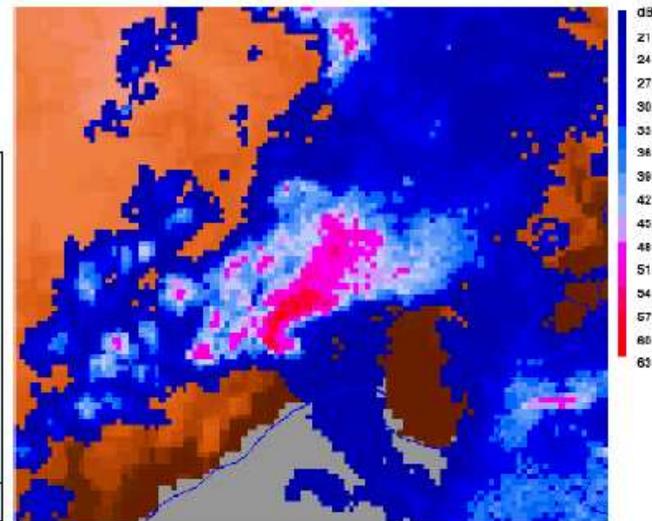
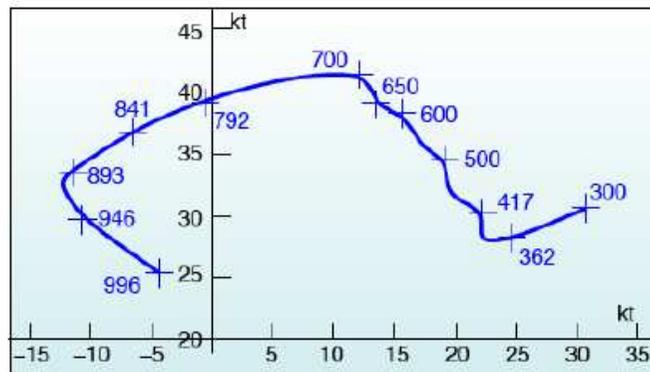
Également présence de supercellules peu épaisses dans les cyclones qui arrivent sur le continent.

Rares en Europe.

Schéma d'une supercellule



Échos les plus forts associés à la grêle.



Supercellule du
19/09/2000
sur Montpellier