

Renforcement des capacités des prévisionnistes du Burkina Faso sur la prévision des conditions météorologiques extrêmes

Niamey, Juin 2023

Paramètres Thermodynamiques, Convection

Léon Guy RAZAFINDRAKOTO

Contenu

1. Rappel des notions de base
2. Facteurs déclenchants de la convection
3. Les phénomènes induits par la convection
4. Les différentes organisations de la convection

1. Rappel des notions de base

Déséquilibre énergétique vertical de l'atmosphère
(plusieurs causes possibles)



Convection = Transport vertical d'énergie



Effet = Stabilisation de l'atmosphère

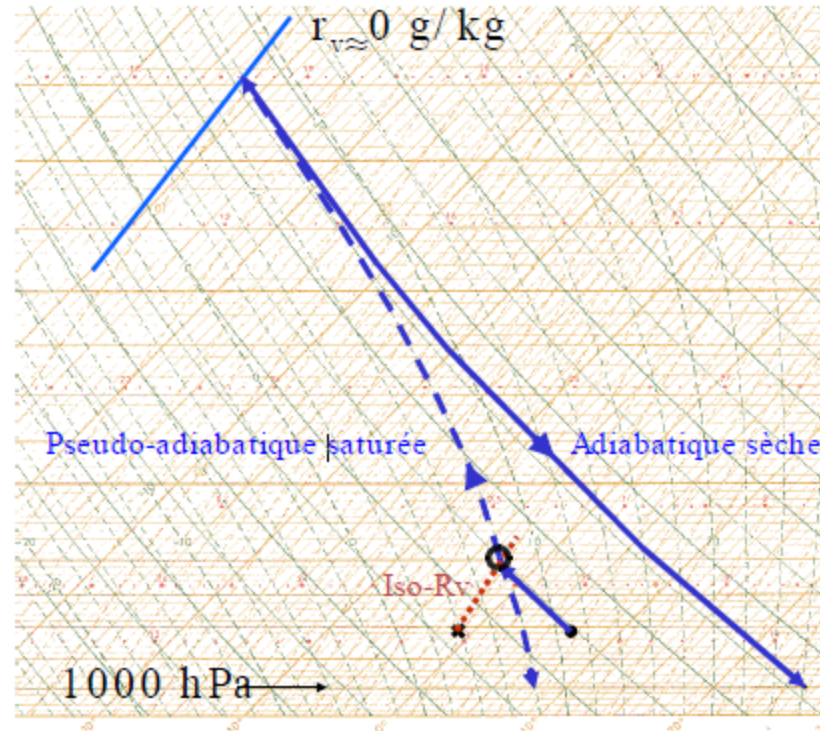
- › Local = convection peu profonde
- › Mésos-échelle = convection profonde
- › Grande-échelle = ZCIT

- › Cycle de l'eau (précipitations)
- › Impact radiatif important
- › Phénomènes violents (cyclones, trombes...)

Convection: Réponse de l'atmosphère au déséquilibre énergétique vertical pour une redistribution de l'énergie au sein du système Terre/atmosphère

- **Adiabatisme** = pas d'échange ni de chaleur ni de masse, entre la particule et l'environnement
- **Pseudo-adiabatisme irréversible** = pas d'échange de chaleur mais perte de masse irréversible via évacuation de tout condensat, entre la particule et l'environnement

- Emagramme

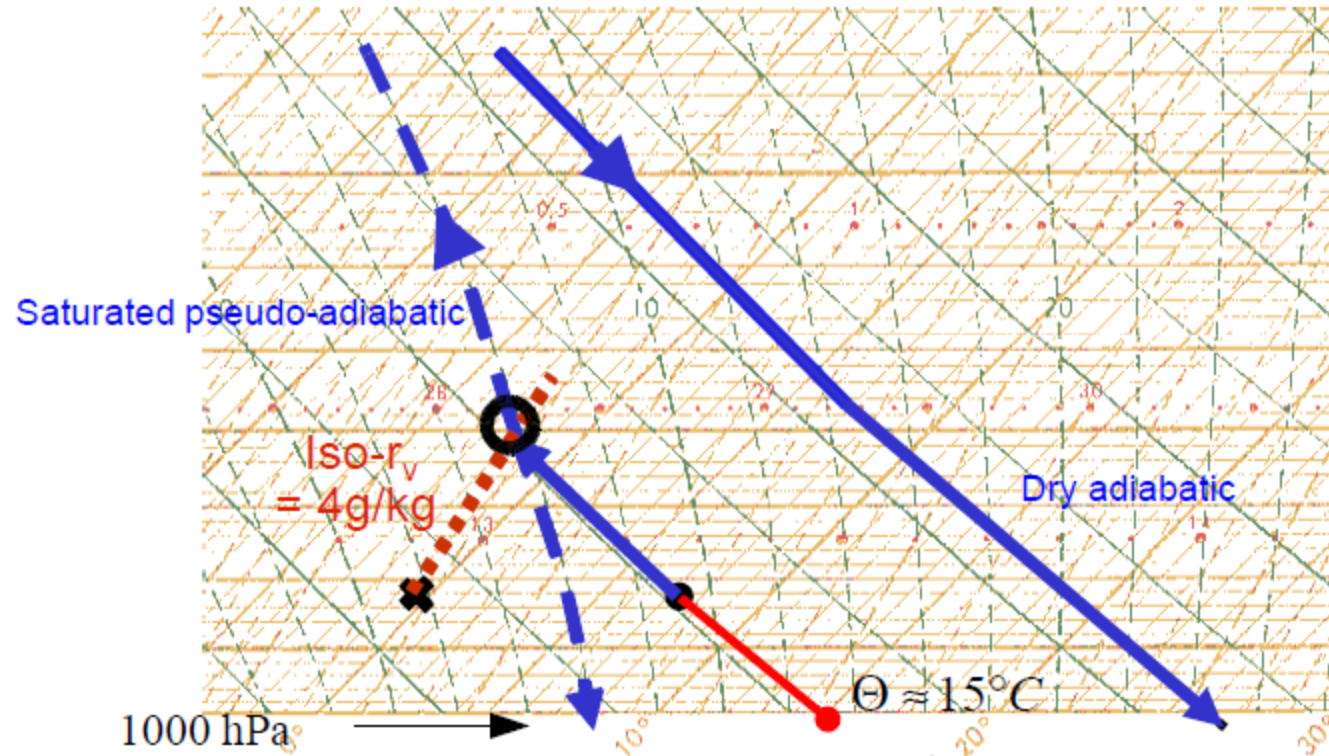


→ Importance de la proportion d'eau

- **Température virtuelle d'air humide** $T_v \sim (1 + 0.608 r_v) T$
 → température pour un air sec de même masse à même pression

- **Température potentielle** $\Theta = T_0 \left(\frac{1000}{P_0} \right)^{\frac{R_a}{C_{pa}}}$

→ température d'une particule d'air sec amenée adiabatiquement à 1000 hPa



- **Température potentielle virtuelle** $\Theta_v = T_v \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{R_a}{C_{pa}}} = \Theta \left[1 + \left(\frac{R_v}{R_a} - 1 \right) q_v \right] = \Theta (1 + 0,608q_v)$

→ température virtuelle d'une particule d'air humide amenée adiabatiquement à 1000 hPa

→ prise en compte de l'humidité mais aucun processus de condensation

Flottabilité - théorie de la particule

- **Equation du mouvement vertical**

Accélération = Flottabilité + Fluctuation de pression + Poids de l'eau

- **Flottabilité** = Poussée d'Archimède + Poids de la particule = $g \left(\frac{\Theta_v - \Theta_v^{env}}{\Theta_v^{env}} \right)$
Flottabilité ↗ si $(T - T^{env})$ et/ou $(r_v - r_v^{env})$ ↗

THÉORIE DE LA PARTICULE : Accélération = Flottabilité

$$\frac{d^2 w}{dt^2} = -N^2 w = \frac{g}{\Theta_v^{env}} \frac{\partial \Theta_v^{env}}{\partial z} w$$

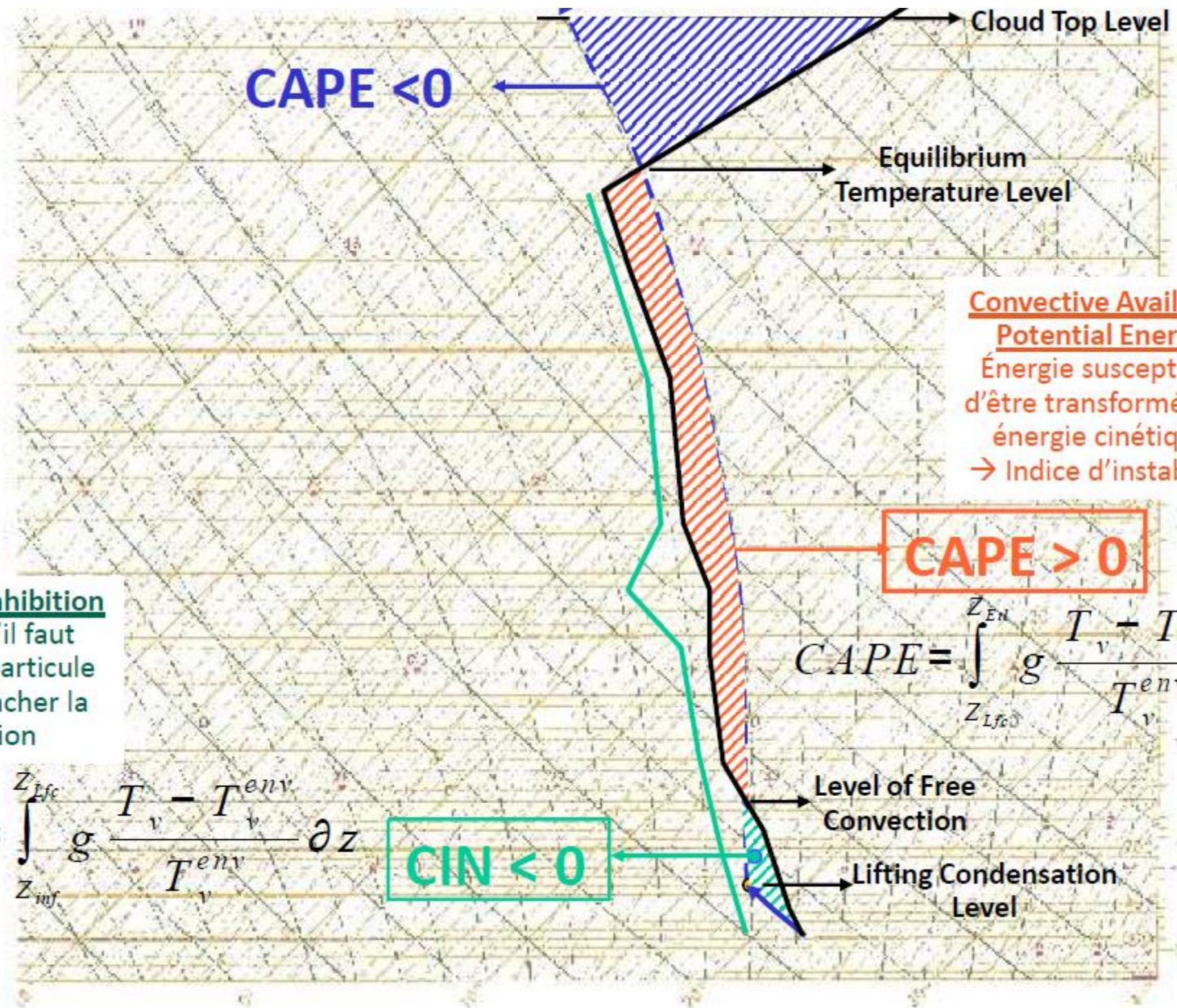
→ 2 régimes : Cas stable si $N^2 > 0$ → oscillation de gravité

Cas instable si $N^2 < 0$ → convection sèche ou humide

Convective Available Potential Energy $CAPE = \int_{z_{LFC}}^{z_{CTL}} g \frac{T_v - T_v^{env}}{T_v^{env}} dz$

Convective Inhibition $CIN = \int_{z_{inf}}^{z_{LFC}} g \frac{T_v - T_v^{env}}{T_v^{env}} dz$

Limitation de cette théorie : $CAPE = 1250 \text{ J/kg}$ → w_{max} (théorique) = 50 m/s



CAPE < 0

CAPE > 0

CIN < 0

Convective Available Potential Energy
 Énergie susceptible d'être transformée en énergie cinétique
 → Indice d'instabilité

Convective Inhibition

Énergie qu'il faut fournir à la particule pour déclencher la convection

$$CIN = \int_{z_{mf}}^{z_{lfc}} g \frac{T_v - T_v^{env}}{T_v} \partial z$$

$$CAPE = \int_{z_{lfc}}^{z_{en}} g \frac{T_v - T_v^{env}}{T_v} \partial z$$

Level of Free Convection

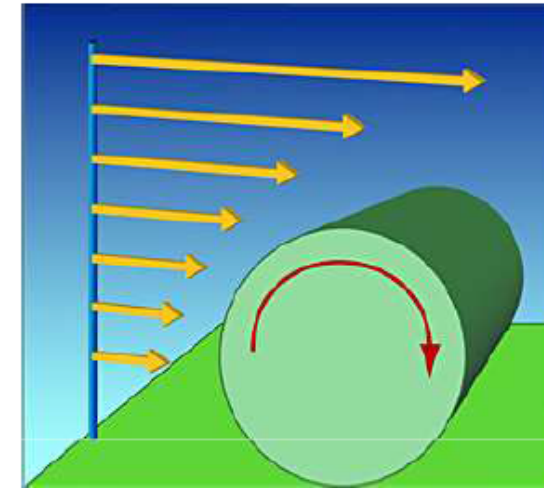
Lifting Condensation Level

Cloud Top Level

Equilibrium Temperature Level

cisaillement vertical de vent

Cisaillement vertical de vent =
variation du vent (en direction ou en
module) avec l'altitude



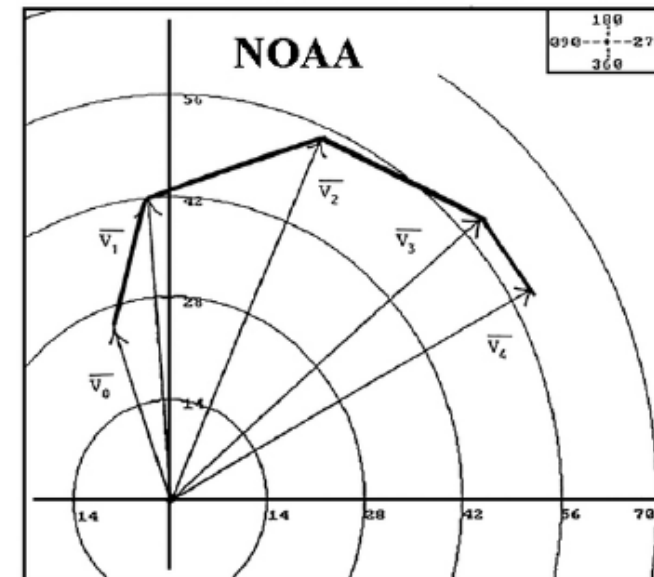
Représentation sur un hodographe

→ Vecteur vent

- Origine : centre du repère
- Orientation : direction du vent
- Longueur : proportionnelle au module du vent

→ Hodographe = courbe reliant la pointe des vecteurs
vent par altitude croissante

→ Cisaillement vertical de vent = différence entre les
vecteurs vent à 2 altitudes



2. Facteurs déclenchants de la convection

→ *Déstabilisation de l'atmosphère*

- **Soulèvement compensant la CIN**

- ✓ Forçage orographique
- ✓ Courant de densité
- ✓ Ligne de convergence

- **Modification du profil thermique**

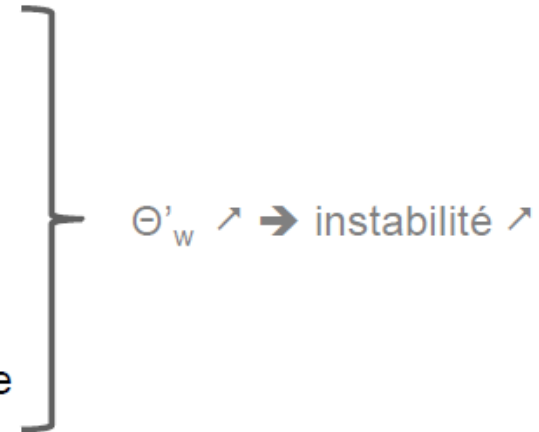
- ✓ Chauffage radiatif en basses couches
- ✓ Advection chaude en basses couches
- ✓ Advection froide en altitude

- **Humidification**

- ✓ Advection en basse et moyenne troposphère

- **Phénomènes ondulatoires**

- ✓ Ondes de gravité
- ✓ Ondes d'Est
- ✓ Oscillation de Madden-Julian

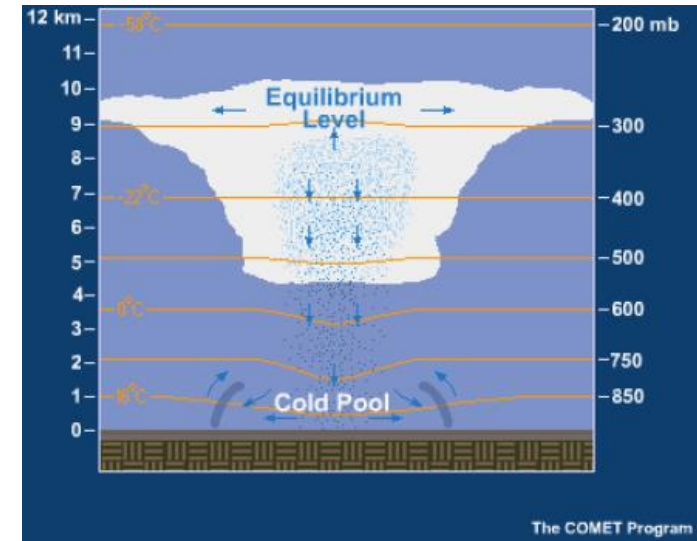


Phénomènes induits:

- Ascendance = réponse à l'instabilité
- Déplacement vertical de la particule qui a atteint son niveau de convection libre
- Dépend de la flottabilité et donc de la CAPE
- Vitesse maximale théorique / théorie de la particule : $w_{\max}^{\text{théorique}} = \sqrt{2 \times \text{CAPE}}$
- **Subsidences convectives = réponse aux ascendances**
 - ✓ Nécessaires pour l'organisation de la convection
 - ✓ Génèrent les courants de densité
 - ✓ Subsidences à grande échelle : quelques cm s^{-1}
 - ✓ Localement, à l'échelle de la convection : $w \sim$ quelques m s^{-1}

→ Origine : flottabilité négative des particules

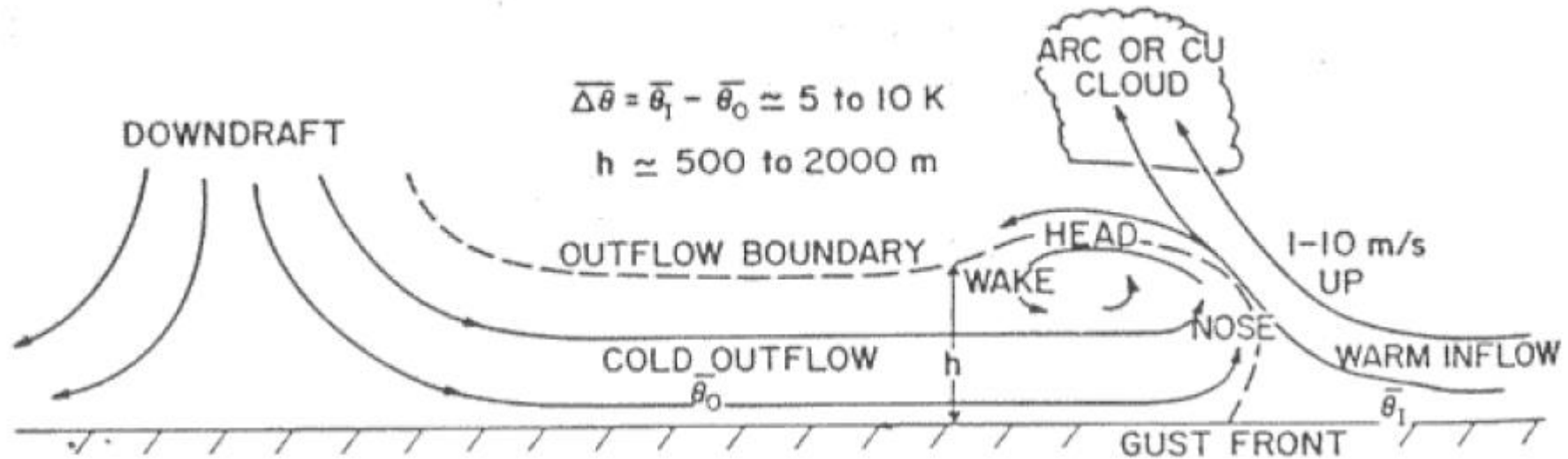
- poids des précipitations (liquides ou solides)
- refroidissement résultant de l'évaporation/fusion/sublimation des particules



- Courants de densité, fronts de rafale

Courant de densité = conséquence de la subsidence au sol
 = poche d'air dense s'étalant au sol

- ✓ Brusques changements en surface (rotation et intensification du vent, précipitations, température \searrow , pression \nearrow ...)
- ✓ Favorise le déclenchement de la convection

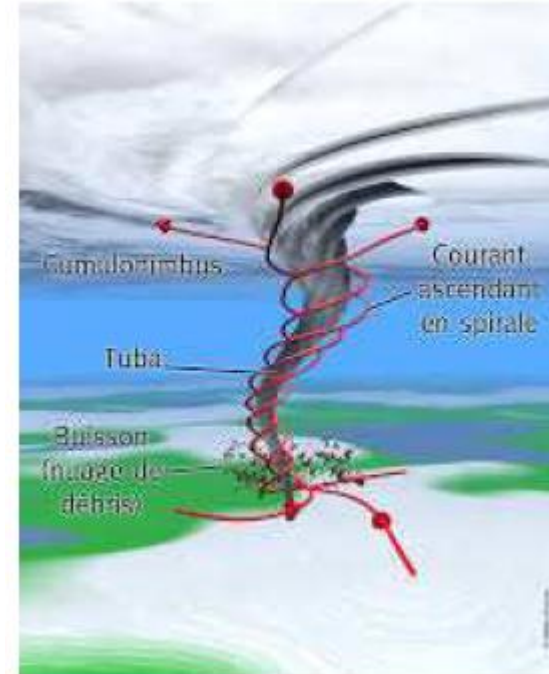


- **Les précipitations**

- ✓ partie convective : forte intensité
- ✓ partie stratiforme : extension et durée

- **Les tornades** = colonne d'air ascendant à forte composante tourbillonnaire

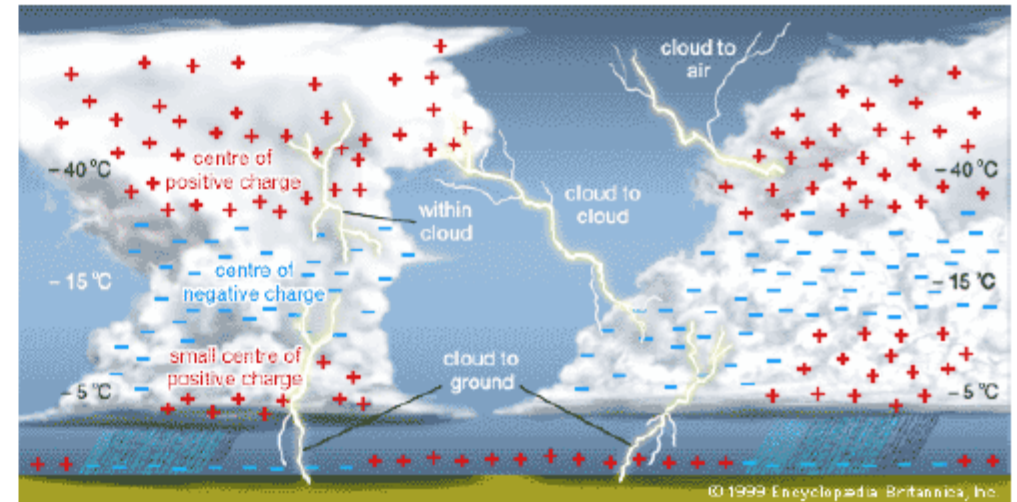
- ✓ sous orage : fort cisaillement par proximité d'ascendances et subsidences
- ✓ déplacement du front de rafale vers le centre de l'orage
- ✓ atterrissage d'un cyclone



- **Les éclairs** = phénomène de décharge électrostatique

→ séparation de charge +/- consécutive aux collisions entre particules de glace

→ importance de la phase glace et de l'intensité des ascendances

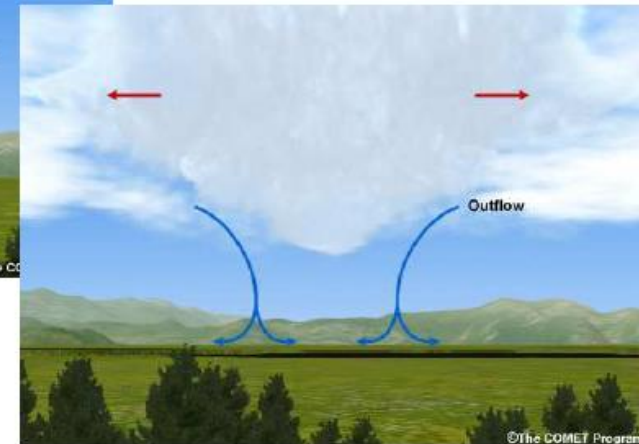
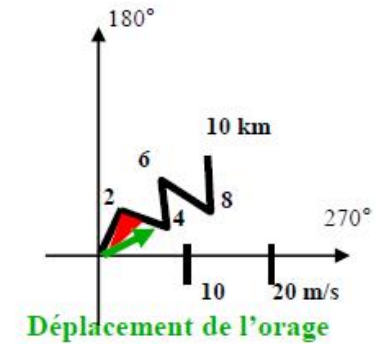
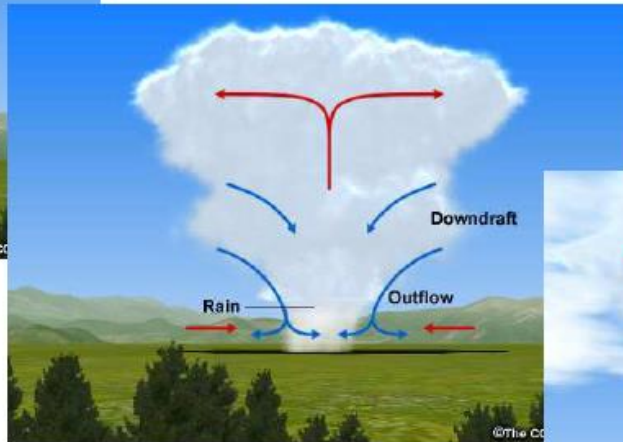
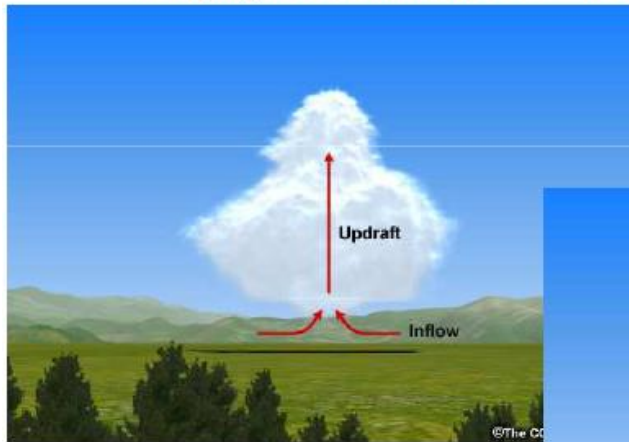


Eclairs nuage-sol (foudre) ou intra-nuage

4. Les différentes organisations de la convection

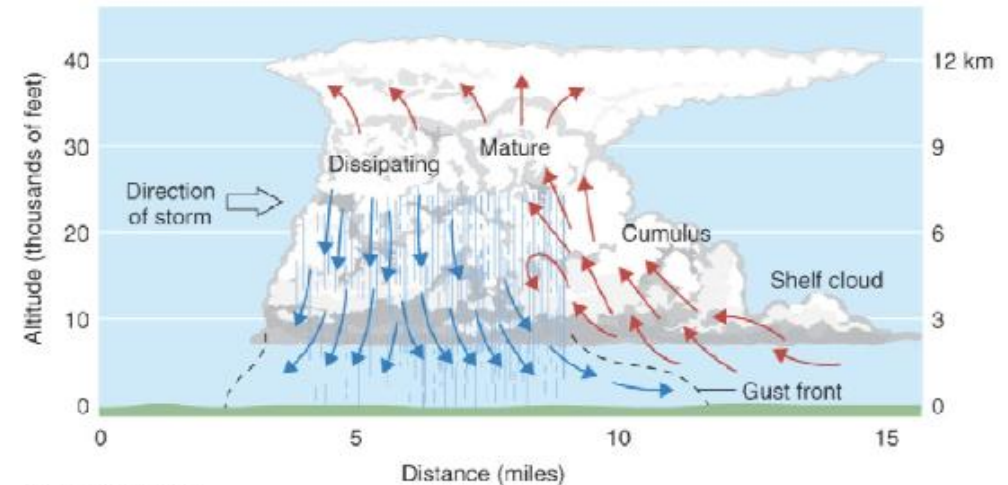
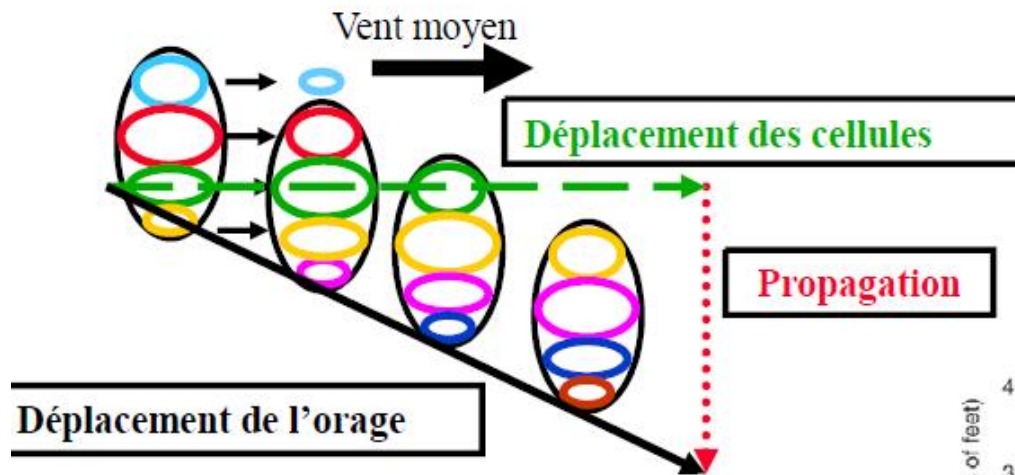
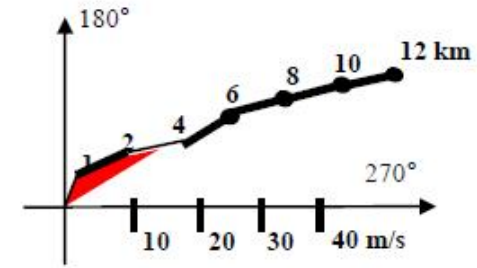
convection isolée – cellule ordinaire

- ✓ SYSTÈME CONVectif ÉLÉMENTAIRE : 1 ascendance + subsidences compensatoires
- ✓ Faible cisaillement de vent
- ✓ Cb isolé à cycle de vie court (30 – 50 min)
- ✓ Pas de phénomènes très violents (averse puis pluies faibles sous enclume)
- ✓ Propagation à la vitesse moyenne de l'environnement



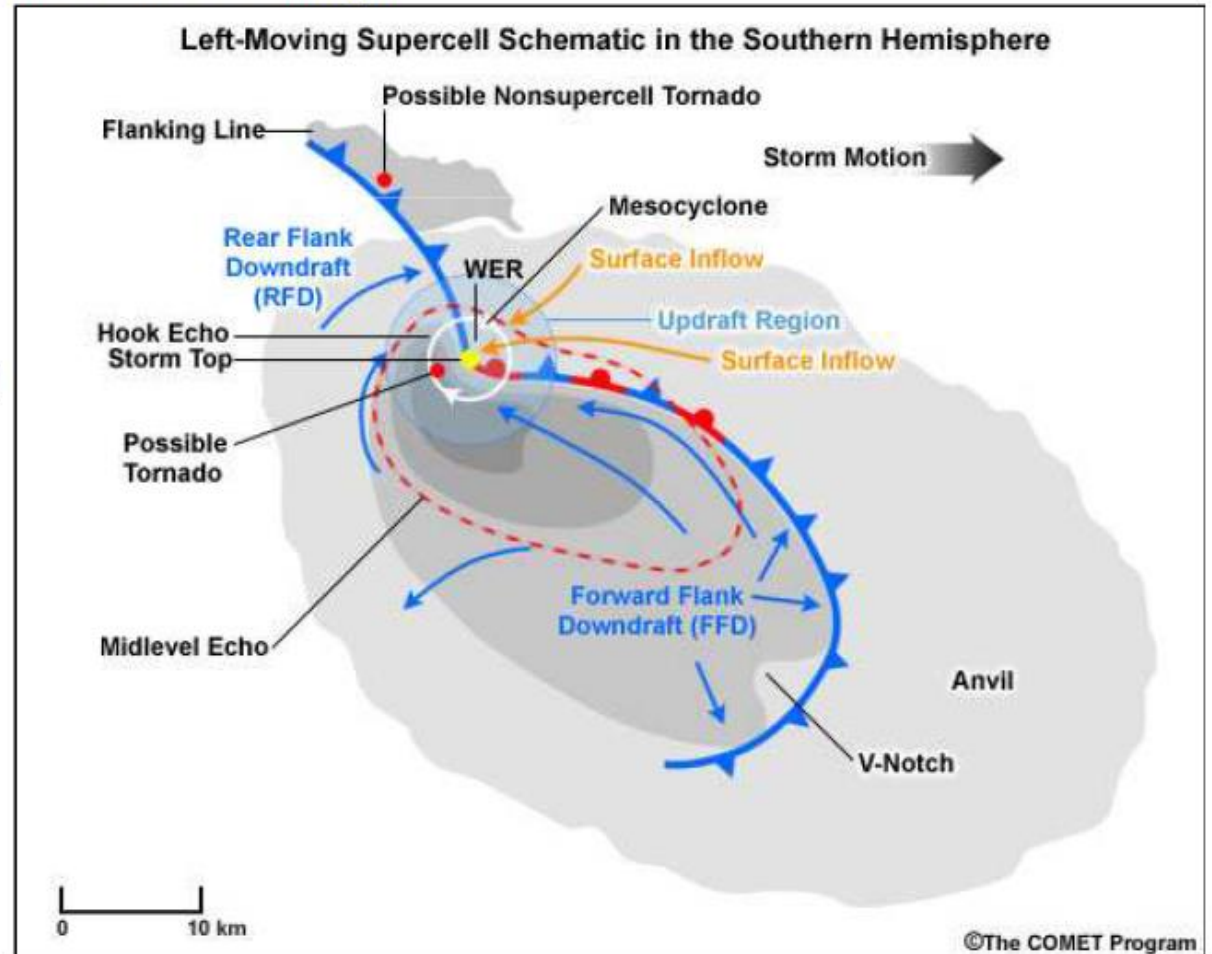
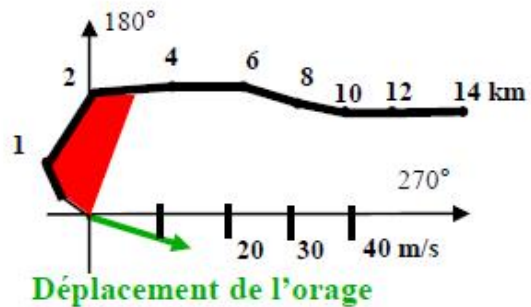
convection isolée – multicellule

- ✓ Fort cisaillement de vent unidirectionnel
- ✓ Groupe de cellules à différents stades de développement
- ✓ **Propagation** = déplacement de cellules + genèse de nouvelles cellules
- ✓ Echelle horizontale : 20 à 30 km
- ✓ Grêle, rafales de vent et fortes pluies si stationnaire
- ✓ Durée de vie : 3 à 4 heures



convection isolée – supercellule

- ✓ Fort cisaillement directionnel et forte CAPE
- ✓ Organisation 3D du flux
- ✓ Structure tourbillonnaire → inclinaison de l'orage → ascendance surplombe subsidence
➔ empêche l'orage de supprimer sa source d'énergie
- ✓ Echo radar en crochet
- ✓ Propagation rapide
- ✓ Rare mais très violent
(tornades, grêle)
- ✓ Echelle horizontale : 50 à 100 km
- ✓ Durée de vie : plusieurs heures



systemes convectifs de meso-echelle

Définition

- ✓ Cellules orageuses organisées en vaste système convectif

Caractéristiques

- ✓ Organisation interne (200 à 400 km) : partie convective, partie stratiforme, courant de densité et courant entrant
- ✓ Cycle de vie propre (6 à 12 heures)
- ✓ Influence sur la grande-échelle
- ✓ Importance dans le cycle de l'eau et la redistribution de l'énergie
- ✓ Environnement instable et cisailé

Différents types

- ✓ Ligne de grains
- ✓ Complexe convectif de méso-échelle
- ✓ Système en V

cyclones tropicaux

Définition

- Perturbation dépressionnaire d'échelle synoptique non accompagnée d'un système frontal présentant une **convection organisée** et une circulation cyclonique plus intense en surface qu'en altitude

Caractéristiques

- ✓ Genèse = MCS + vorticité en basses couches
 - ✓ Durée de vie = plusieurs jours
 - ✓ CAPE n'est pas un paramètre essentiel
- moteur = flux océan-atmosphère

