La convection profonde

Les cellules orageuses
Les systèmes convectifs
Le temps violent

Approfondissement : cours sca4662 : micro-méso météorologie

Table des matières

- La convection profonde
- Les cellules orageuses
  - Orages de masse d'air
  - Orages multicellulaires
  - Orages supercellulaires
- Les systèmes convectifs
  - Les lignes de grain
  - Les vortex convectifs de mésoéchelle
- Le temps violent
  - Les décharges électriques
    - La foudre
  - La précipitation
    - La grêle
    - Les microrafales
    - Les fronts de rafales
  - Les tornades

Mauvais temps : orageux ou non?

Temps orageux :
Celui qui annonce ou accompagne l'orage

Orage :
Un **orage** est une perturbation atmosphérique d'origine convective associée à un type de nuage particulier, le cumulonimbus, qui engendre des pluies fortes et des décharges électriques.

Conditions essentielles pour le développement d'un orage :

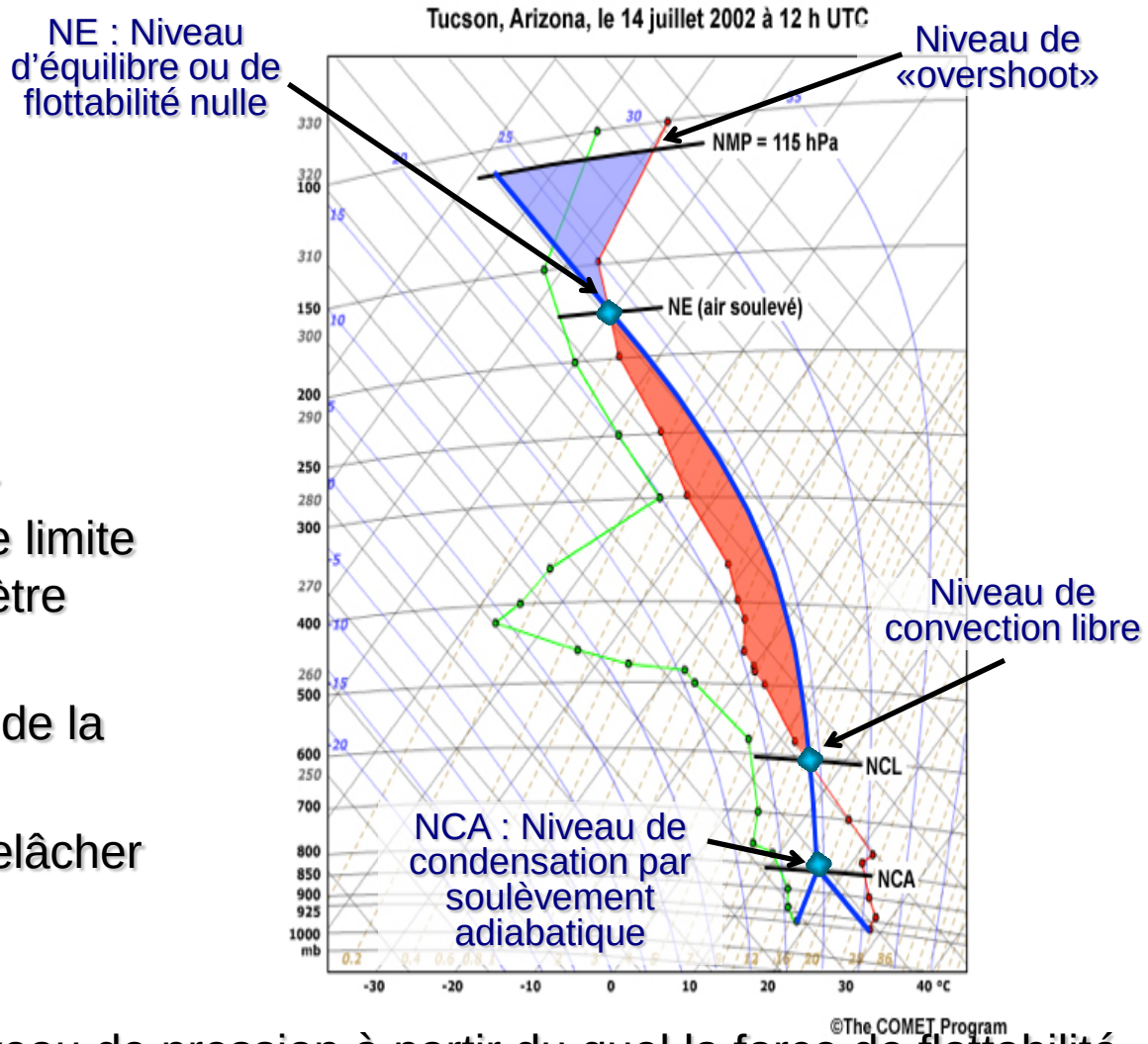
1. Air potentielement instable
2. Humidité élevée dans les bas niveaux (couche limite)
3. Air sec et froid en altitude
4. Un déclencheur (facteur de soulèvement)

1) Durant quelle saison ces conditions sont plus facilement remplies?

2) Pour quel type de masse d'air?

Conditions environnementales nécessaires pour la formation d'un orage (la recette…)

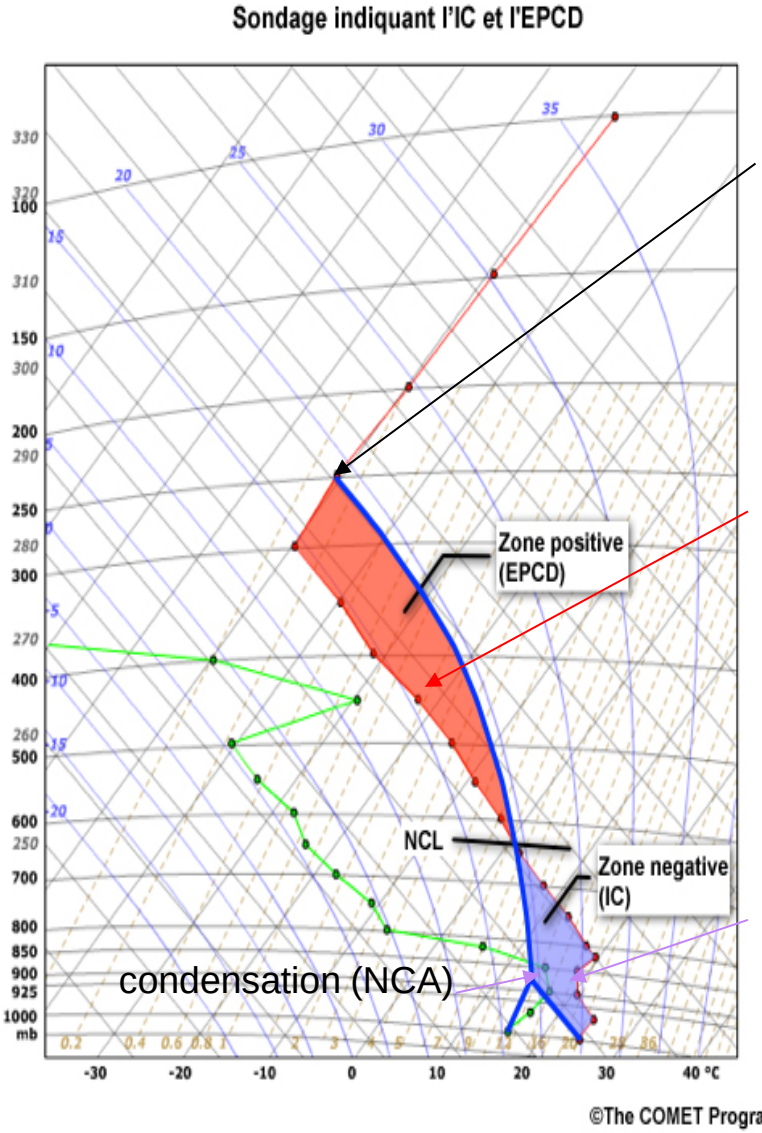
- Température et humidité
  - L'existence d'une couche d'instabilité conditionnelle.
  - Air humide dans la couche limite (environ le premier kilomètre près de la surface).
  - Air sec et froid au-dessus de la couche limite
  - Soulèvement suffisant à relâcher l'instabilité.



Niveau de convection libre : niveau de pression à partir du quel la force de flottabilité agissant sur la particule d'air en ascension (ligne bleu) devient positive.

La convection profonde… sur un skewT : La CIN (IC), la CAPE (EPCD) et le NE

Sur un diagramme aérologique toute surface est proportionnelle à une énergie qu'il faut fournir à la particule ou que la particule fournie.



Le **Niveau d'Équilibre** est l'altitude où la particule est à température de l'environnement : du coup, plus d'accélération, mais encore de la vitesse… C'est une bonne estimation du sommet moyens des nuages convectifs.

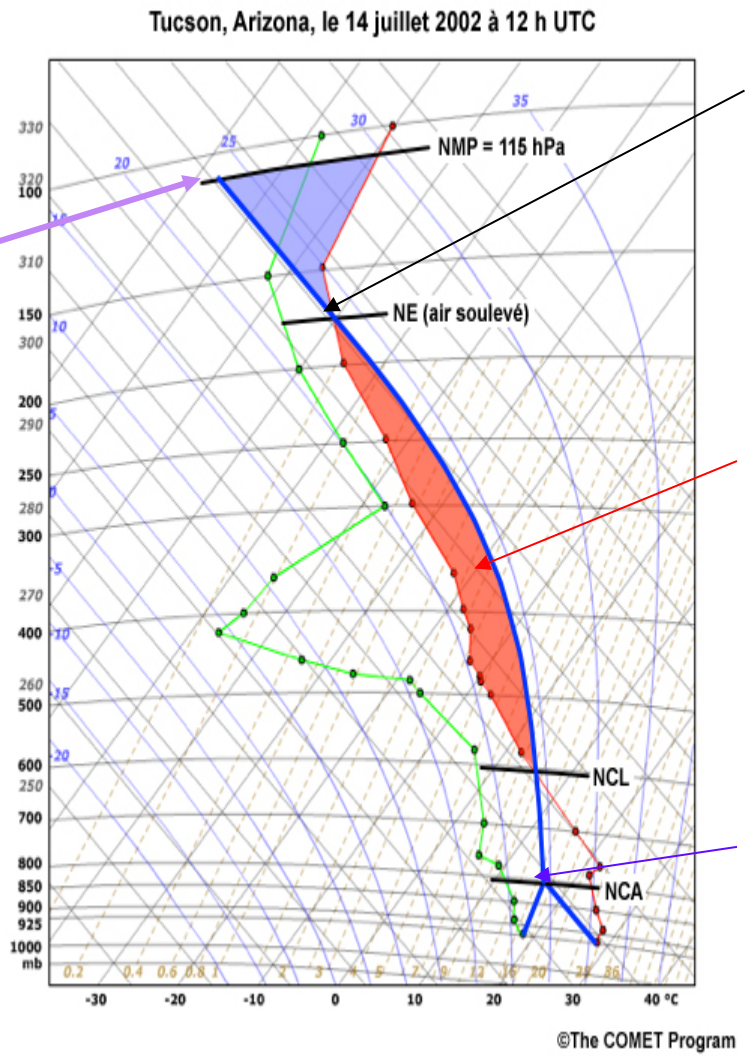
Une fois la convection déclenchée, la particule possède une Énergie Potentielle de Convection Disponible (CAPE en anglais) qu'elle peut convertir en énergie cinétique (accélération).

Pour atteindre le Niveau de Convection Libre il faut fournir une énergie équivalente à l'inhibition de convection (CIN en anglais). On peut atteindre ce niveau par humidification, chauffage, advection, ascension… La CIN agit comme un couvercle sous lequel la CAPE peut s'accumuler, pour exploser plus tard…

Source : Frédérick Chosson

La convection profonde… sur un téphigramme: La Niveau Maximal de la particule

Le **Niveau Maximal de la Particule** est l'altitude où la particule a épuisé toute sa CAPE. C'est le maximum de l'overshoot. Création d'un *nuage dôme* (sommet pénétrant) à la base de la stratosphère.



Le **Niveau d'Équilibre** est l'altitude où la particule est à température de l'environnement : du coup, plus d'accélération, mais encore de la vitesse… C'est une bonne estimation du sommet moyens des nuages convectifs.

Une fois la convection déclenchée, la particule possède une Énergie Potentielle de Convection Disponible (CAPE en anglais) qu'elle peut convertir en énergie cinétique (accélération).

Pour atteindre le Niveau de Convection Libre il faut fournir une énergie équivalente à l'inhibition de convection (CIN en anglais). On peut atteindre ce niveau par humidification, chauffage, advection, ascension… La CIN agit comme un couvercle sous lequel la CAPE peut s'accumuler, pour exploser plus tard…

Source : Frédérick Chosson

La convection profonde ou pas… sur un skewT : entre le NCA et le NCL

NCA atteinte !
mais pas le NCL.
Il n'y a pas convection libre.
Bloquée par une inversion (à gauche) ou pas assez humide pour la stabilité en atmosphère libre (à droite)

NCL atteinte!
«sky is the limit!», plus précisément, la limite est en fait souvent la tropopause…

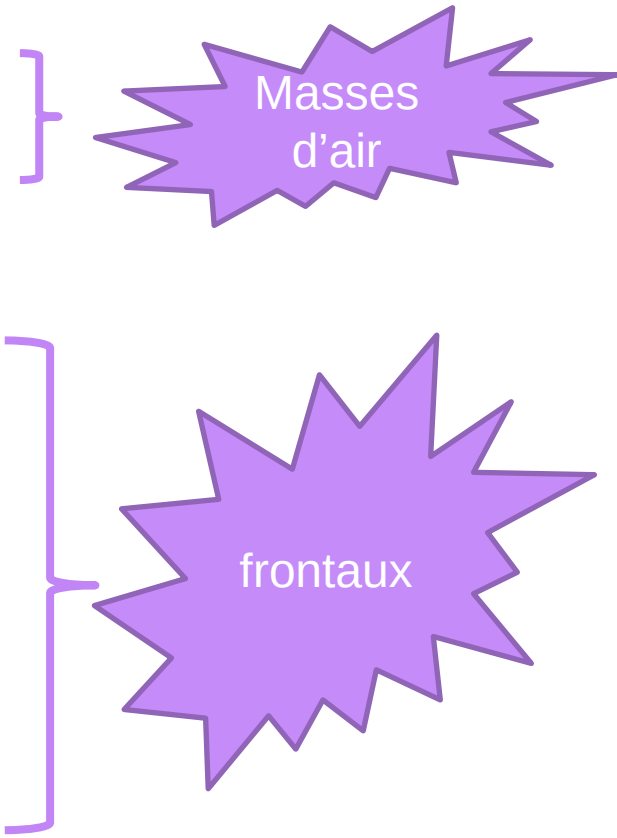
Source : Frédérick Chosson

Les différents types d'orages

- Orage ***unicellulaire*** (***ordinaire)*** (variation ***faible*** du vent avec la hauteur). Formé d'une seule cellule et de courte durée.

- Orage ***multicellulaire*** (variation ***modérée*** du vent avec la hauteur).

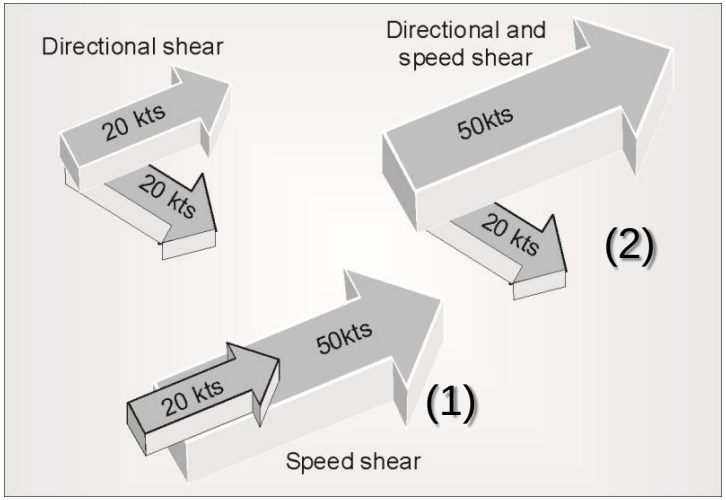
- Orage ***super-cellulaire*** (variation ***forte*** du vent en intensité et direction avec la hauteur). Formé d'une seule cellule de longue durée.



Qu'est-ce qui détermine le type d'orage?

Le type d'orage est déterminé par :

- **L'humidité disponible** : plus il y a de la vapeur d'eau dans l'air, plus il y aura de l'énergie disponible.
- **La stabilité de l'air avant le déclenchement de la convection**
  - **Conditionnellement instable sans une inversion au sommet de la couche limite** : cumulus congestus ou cumulonimbus avec des courants ascendants relativement faibles. Il n'aura pas beaucoup d'accumulation d'énergie dans la couche limite avant la convection.
  - **Conditionnellement instable avec une inversion au sommet de la couche limite** : cumulonimbus avec possibilité d'un fort courant ascendant
- **La variation de la vitesse du vent avec la hauteur** (cisaillement vertical de la vitesse horizontale)
  - **Sans cisaillement** : orage ordinaire ou de masse d'air
  - **Cisaillement de la grandeur de la vitesse.** La direction du vent plus ou moins constante avec la hauteur (1) : orage multicellulaire
  - **Grand cisaillement de la vitesse en grandeur et direction** (2) : supercellule



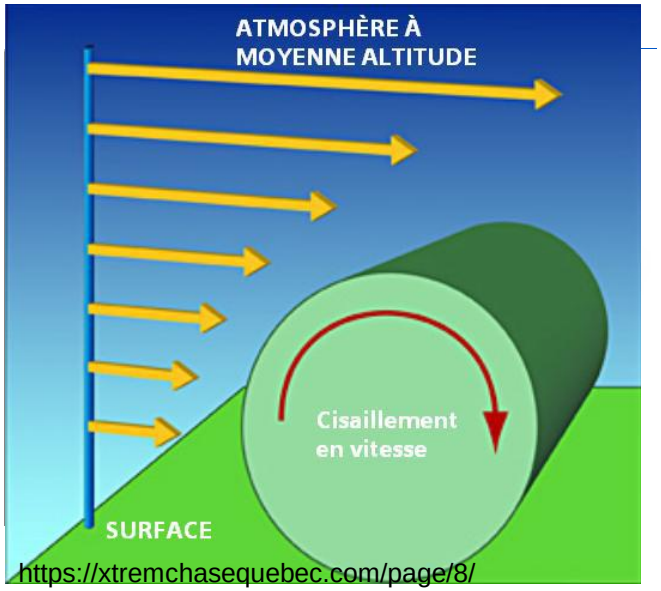
Source : https://bmtc.moodle.com.au/mod/book

Le cisaillement du vent

Le cisaillement vertical du vent est déterminant pour établir le type d'orage qui se développera.

Le cisaillement du vent comprend :

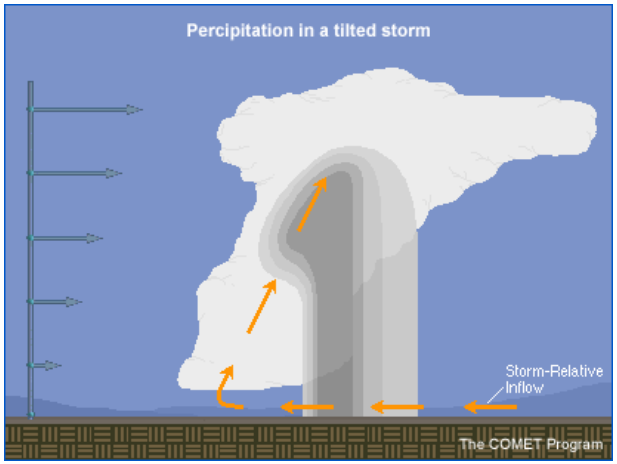
- La variation de la vitesse du vent selon l'altitude



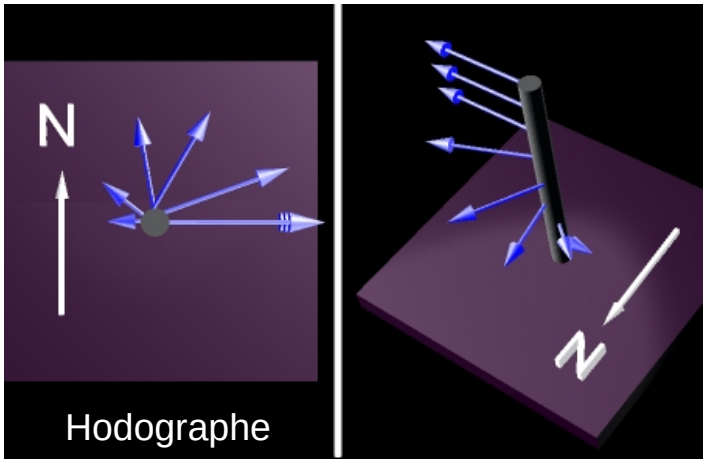
https://xtremchasequebec.com/page/8/

- Elle peut créer une **zone de turbulence**, caractérisée par des **tourbillons** (à axe horizontal).

- Il crée un courant ascendant oblique



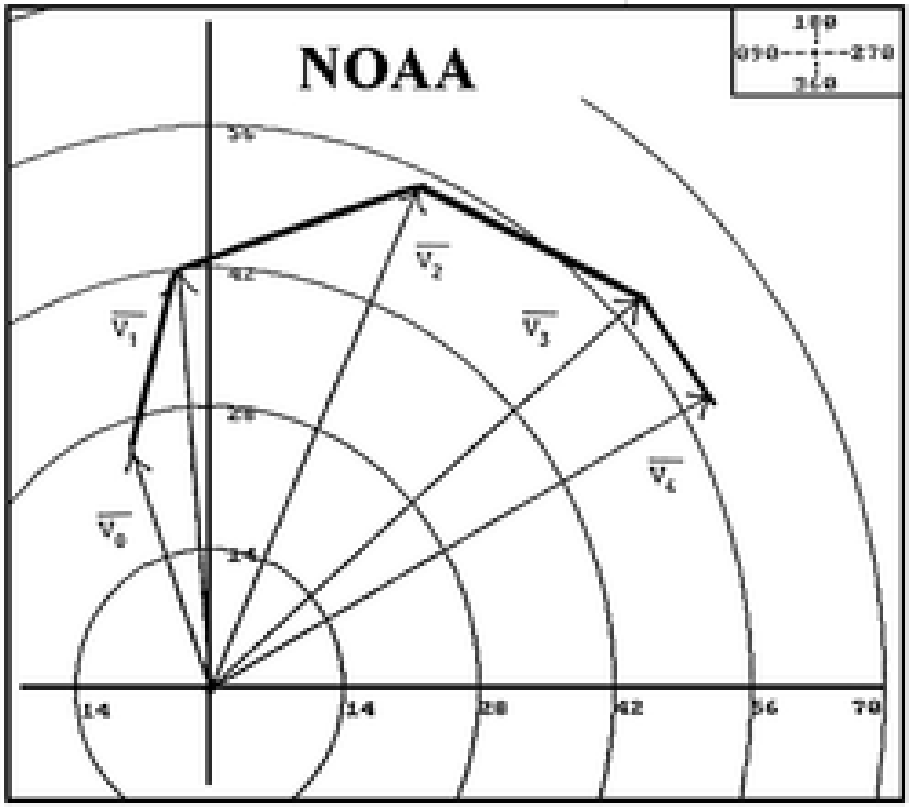
- La rotation de la direction du vent selon l'altitude



Évaluation du cisaillement du vent : l'hodographe

HODOGRAPHE - Lignes joignant les extrémités des vecteurs qui représentent, en coordonnées polaires, les vitesses du vent en altitude à des niveaux successifs » (Glossaire de météorologie et climatologie. G.-Oscar Villeneuve. 1980).

La représentation graphique du vent permet de voir facilement le cisaillement du vent en grandeur et en direction.

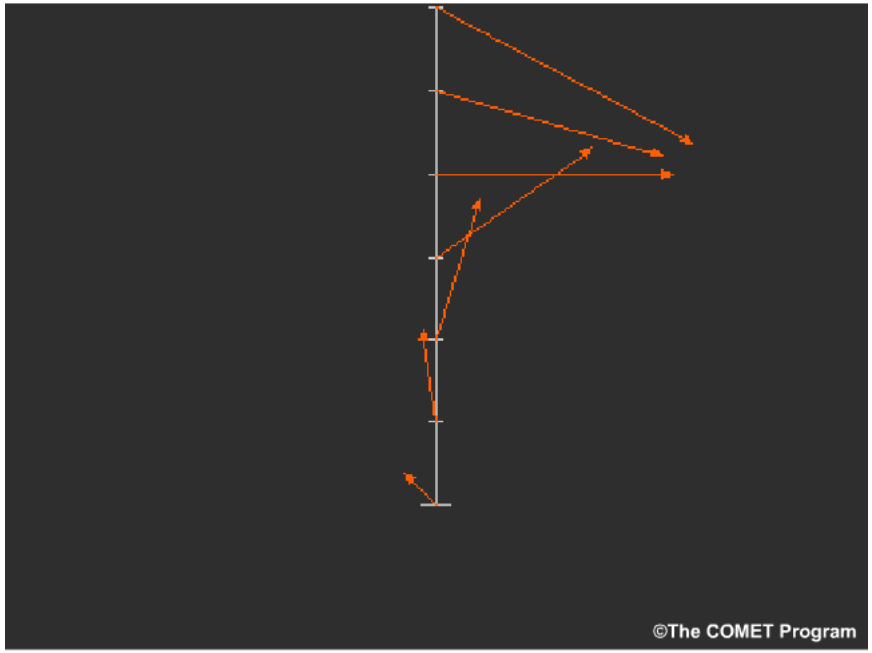


Winds / Vents

Height / Hauteur (km)	Dir	Speed / Vitesse
Sfc	161°	25
1	175°	42
2	204°	54
3	229°	59
4	241°	59

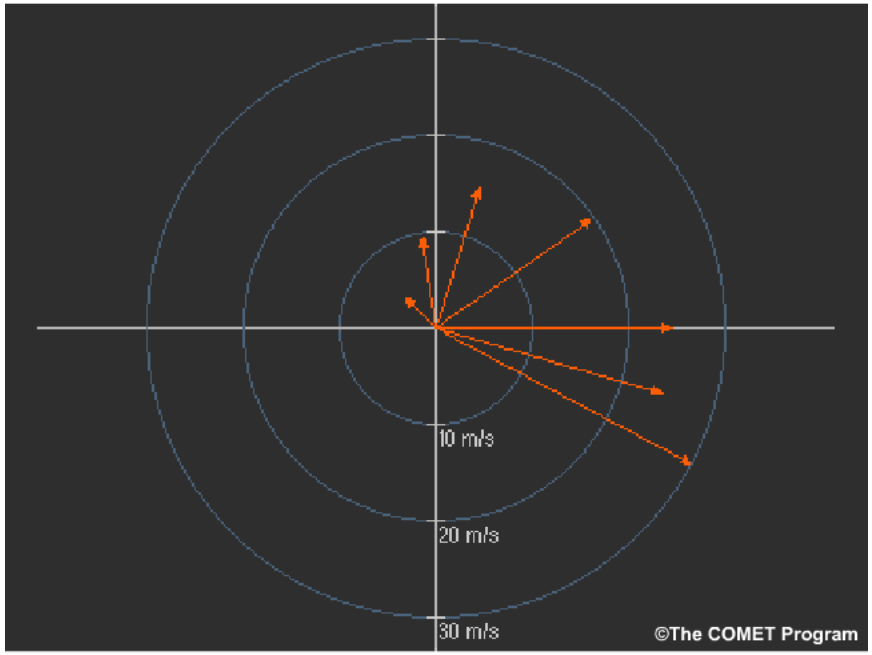
Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Hodographe

Évaluation du cisaillement du vent : l'hodographe



Sur un hodographe, les vecteurs vent sont indiqués sur un graphique à coordonnées polaires. Les axes du graphique représentent les quatre points cardinaux. Tous les vecteurs vent s'étendent à partir du point d'origine et pointent dans la direction du mouvement du vent. Étant donné que la longueur des vecteurs indique la vitesse, les cercles concentriques tracés autour du point d'origine représentent les vitesses constantes du vent. Par exemple, cet hodographe indique que les vents à 4 et à 5 km sont tous les deux de 25 m/s, alors que leurs directions respectives sont de l'ouest et de l'ouest-nord-ouest.

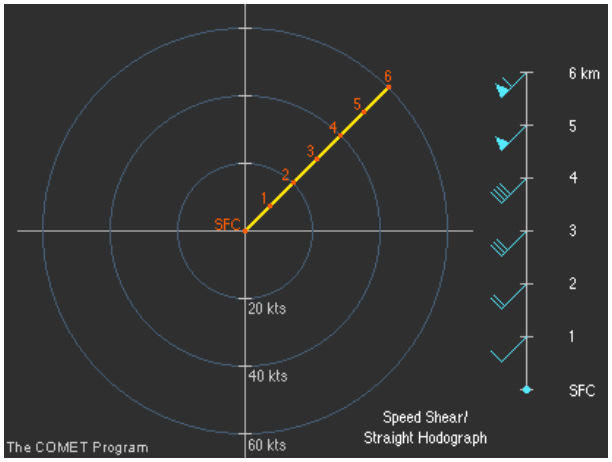
Évaluation du cisaillement du vent : l'hodographe



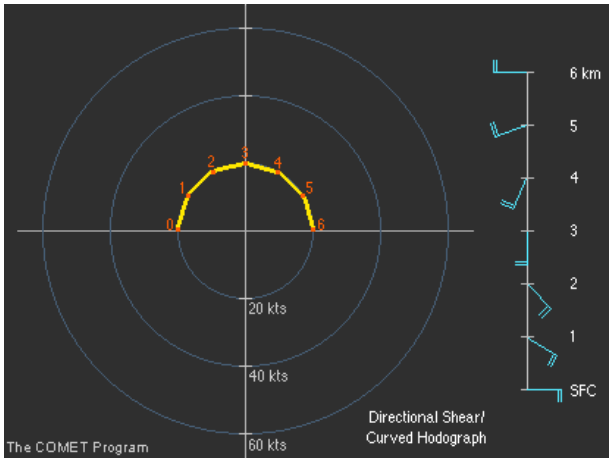
En règle générale, les vecteurs vent réels ne sont pas tracés sur l'hodographe, mais seules leurs extrémités sont indiquées sur le graphique à coordonnées polaires.
L'hodographe est tracé en connectant les extrémités de chaque vecteur vent.
Cet hodographe indique que les vents à 4 et à 5 km sont tous les deux de 25 m/s, alors que leurs directions respectives sont de l'ouest et de l'ouest-nord-ouest.

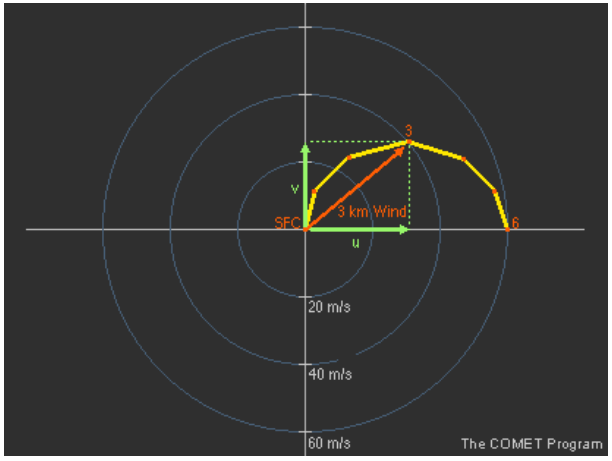
Hodographes

Linéaire : seulement cisaillement de l'intensité du vent; aucun cisaillement directionnel

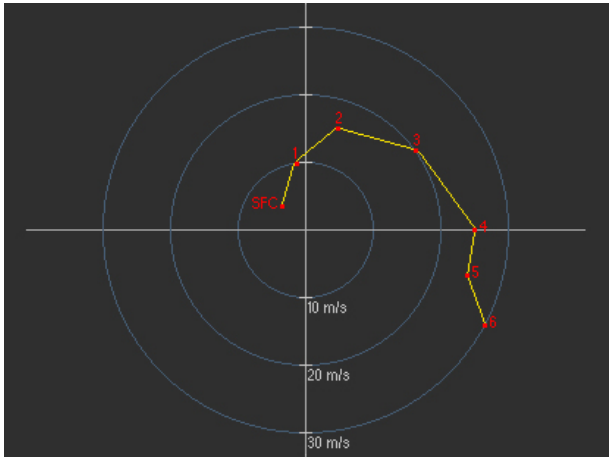


Courbé : seulement cisaillement directionnel; aucun cisaillement de l'intensité du vent





Cisaillement en intensité et direction



https://www.forums.meteobelgium.be/index.php?/topic/15854-orages-principes-et-dynamique-des-syst%C3%A8mes-convectifs/

Le temps est orageux à Montréal

Courant-jet

Position de Montréal par rapport au courant jet :

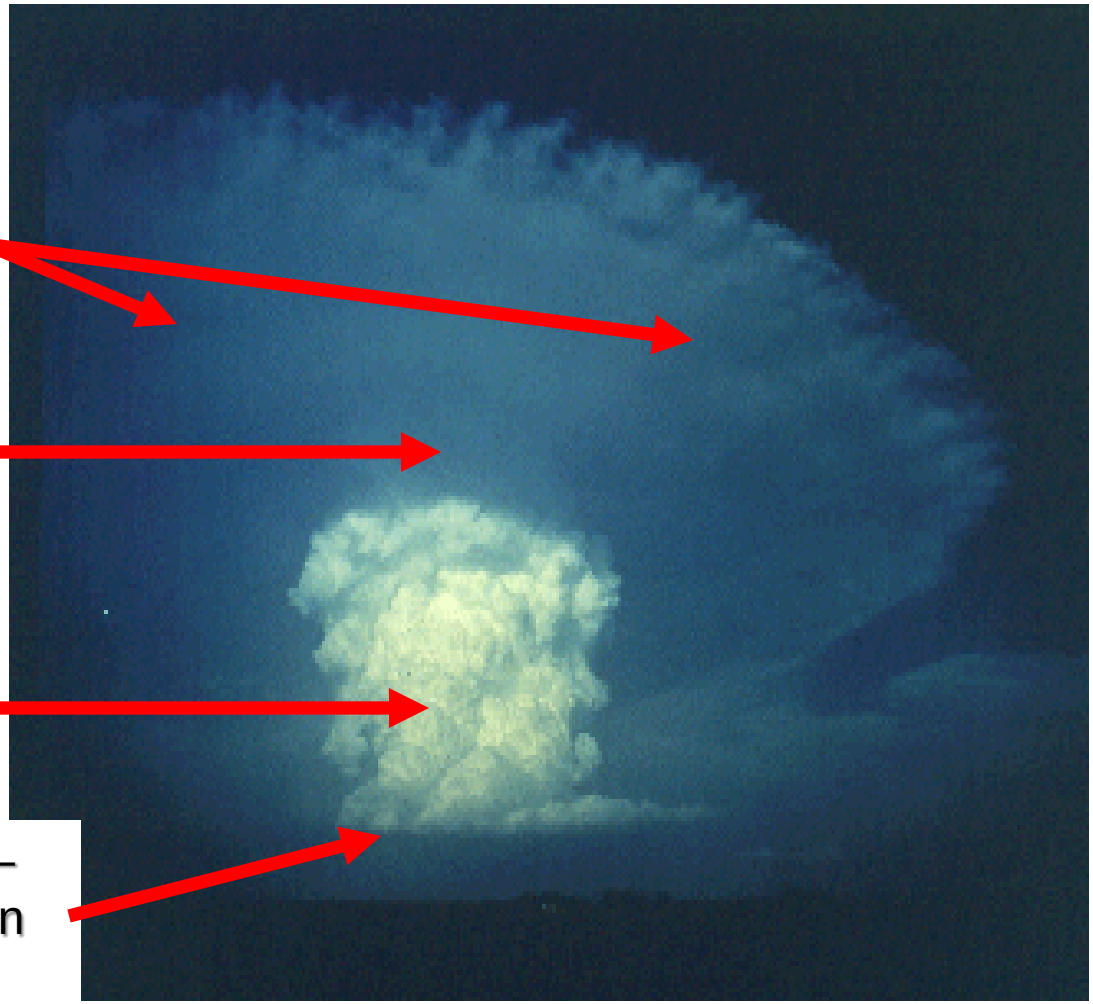
Au sud loin des fronts

- Air chaud et humide
- Le vent ne varie pas beaucoup en fonction de la hauteur (pas de cisaillement de vent

L'orage va être formé d'une seule cellule dont l'air ascendant n'est pas en rotation. Pourquoi?

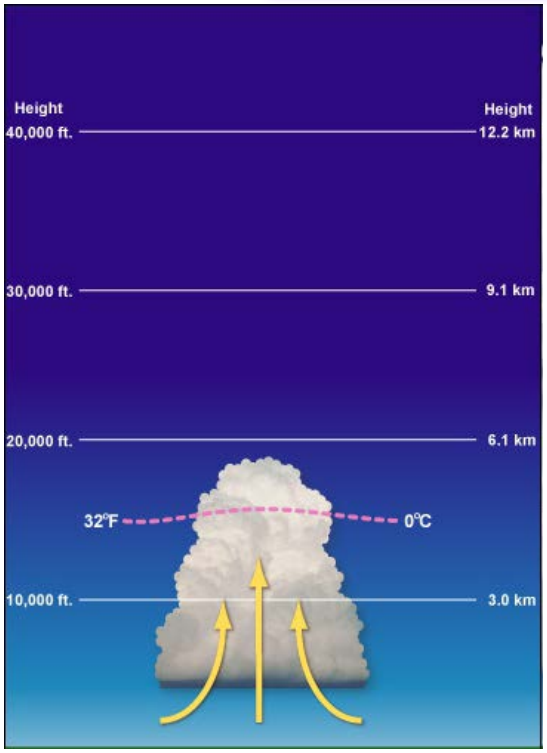
Anatomie d’un orage de masse d’air

Constitué d’une seule cellule convective

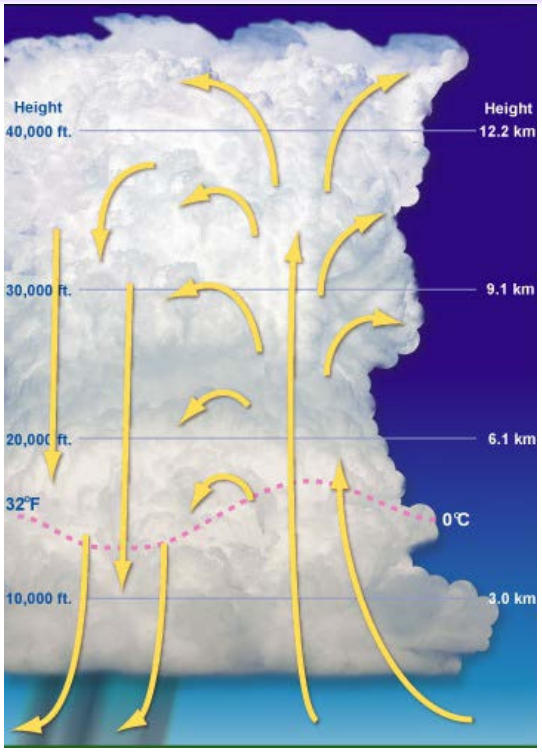


Orage unicellulaire : Une vie en trois actes

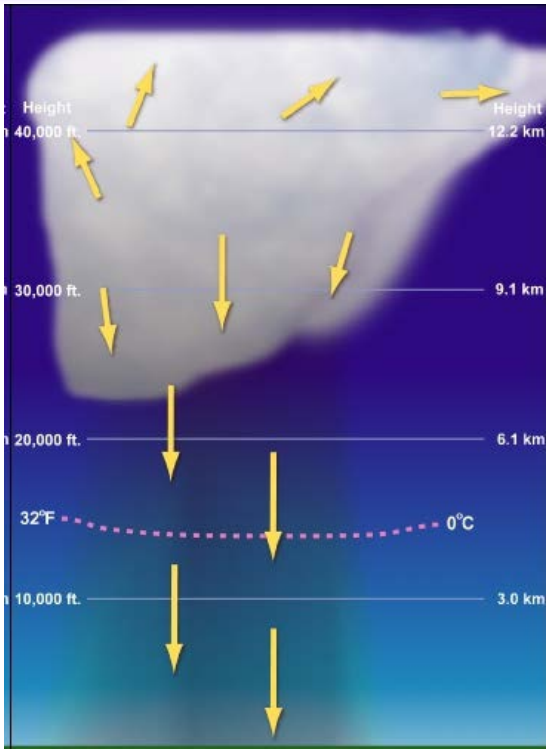
Les phases d'un orage de masse d'air



Phase de croissance



Phase de maturité



Phase de dissipation

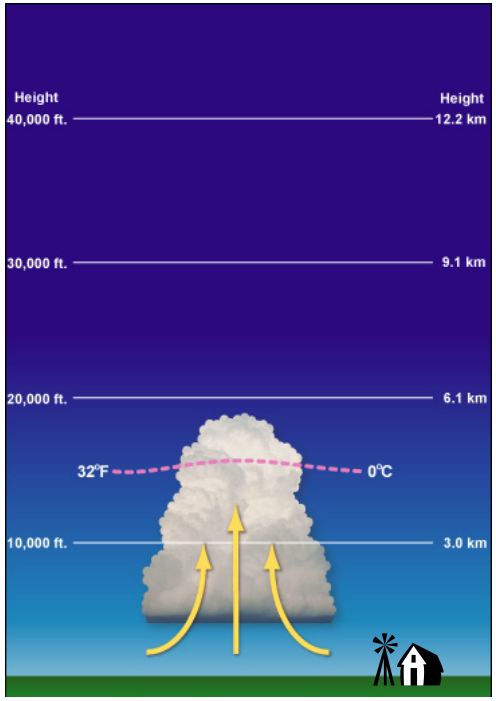
- Les vents et le cisaillement du vent sont faibles.
- Ce type d'orages est le plus fréquent. Il est associé à des bonnes pluies et à des fortes rafales de vent mais rarement à du temps violent.

Durée : de 30 à 60 minutes

Les divers stades d'évolution d'un orage

Stade initial ou de cumulus

- À son début, chaque orage est un cumulus.
- À ce stade, un courant ascendant prédomine dans toute la cellule, courant vertical qui atteint habituellement sa vitesse maximale dans sa partie supérieure.
- Il n'est pas rare que ce courant atteigne une vitesse de 16 m/s.
- À chaque niveau de ce courant, la température est supérieure à l'air environnant.
- Le diamètre de la cellule peut avoir de 2 à 10 km.

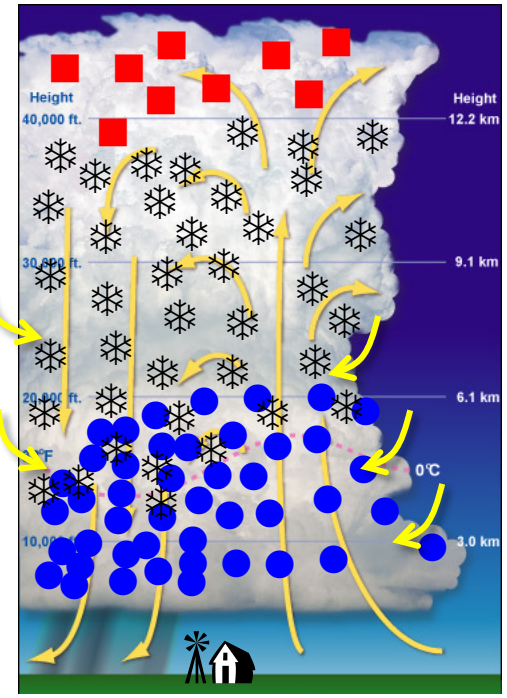


Stade de cumulus

Les divers stades d'évolution d'un orage

Stade de maturité :

- Lorsque le courant ascendant gagne de hautes altitudes, la coexistence de cristaux de glace et de gouttelettes surfondues déclenche la précipitation. L'apparition des précipitations à la surface indique que l'orage a atteint sa phase de maturité.
- La traînée des précipitations est un des agents initiateurs du courant descendant.
- L'air sec de l'environnement est entraîné dans le nuage contribuant à refroidir l'air que constitue le courant descendant. L'augmentation de la densité de l'air accélère le courant descendant. L'évaporation de la pluie au-dessous de nuage refroidi encore l'air du courant descendant.
- L'écoulement de l'air descendant qui s'étale au sol amène des changements marqués dans les conditions en surface. Au cours de cette phase, la cellule peut atteindre une altitude de 9 à 12 km et, dans certaines zones, jusqu'à 20 km.
- Leur phase de maturité dure habituellement de 15 à 30 minutes



Stade mature

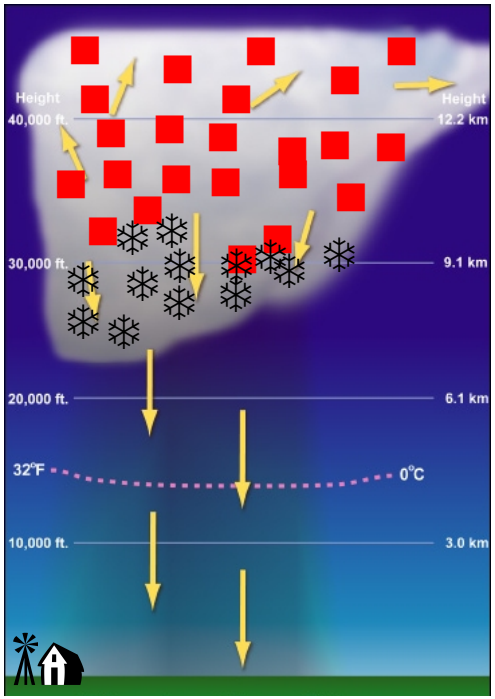
- : Pluie
- ❄ : Neige
- ■ : Cristaux de glace

Point clé à l'étape «mature»: Comme il n'y a pas de cisaillement vertical du vent, les précipitations tombent au même endroit que le courant ascendant principal.

Les divers stades d'évolution d'un orage

Stade de dissipation :

- Le courant descendant submerge le courant ascendant principal.
- De fortes pluies tombent de la base de l'orage
- La dissipation se produit à ce stade, l'orage est parvenu au stade de dissipation.
- La pluie cesse graduellement et le sommet de la cellule s'effiloche en forme d'enclume.



Stade de dissipation

- : Pluie
- ❄ : Neige
- ■ : Cristaux de glace

Pourquoi fait-il plus frais lors d’un orage?

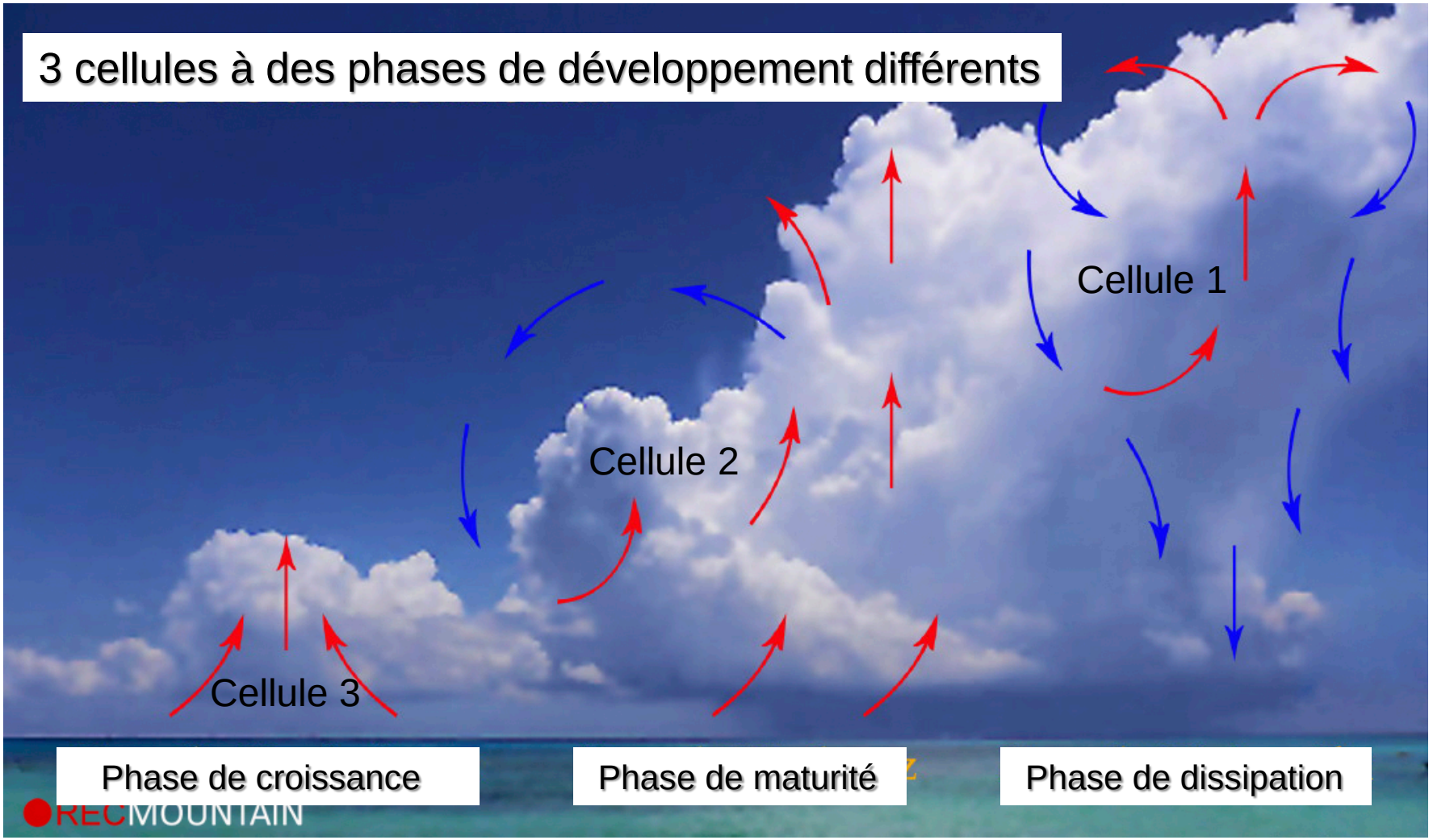
- La pluie entraîne l’air avec elle par frottement. L'air sec ou sous-saturé entraîné dans le courant descendant est refroidi puisque c'est lui qui fournit la chaleur absorbée par la précipitation lors de la fusion ou l'évaporation de cette dernière ! Cet air frais accompagne la précipitation jusqu'au sol.

De plus :

- Le refroidissement accélère le mouvement descendant de l'air provoquant des rafales de vent.

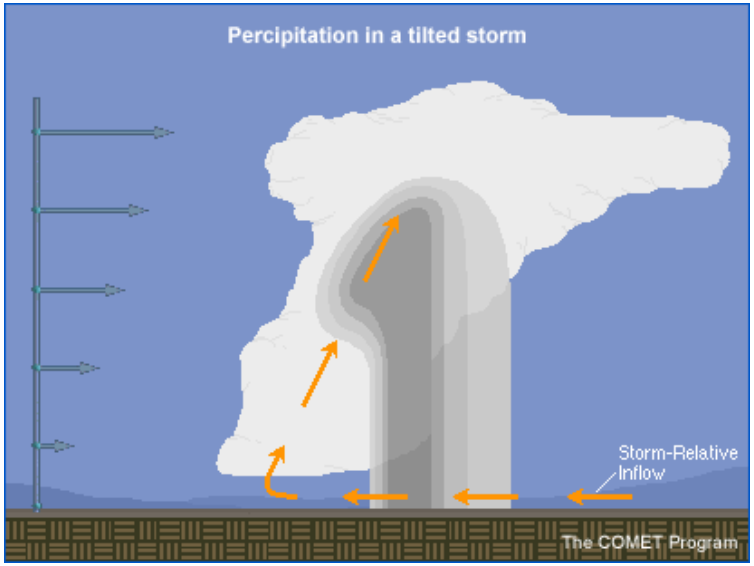
- Seulement 20 % de la vapeur d'eau condensée arrivent au sol (précipitation). Les 80 % qui restent s'évaporent dans le courant descendant, ou ils sont laissés comme débris de nuage qui s'évaporent par la suite.

Orage multicellulaire



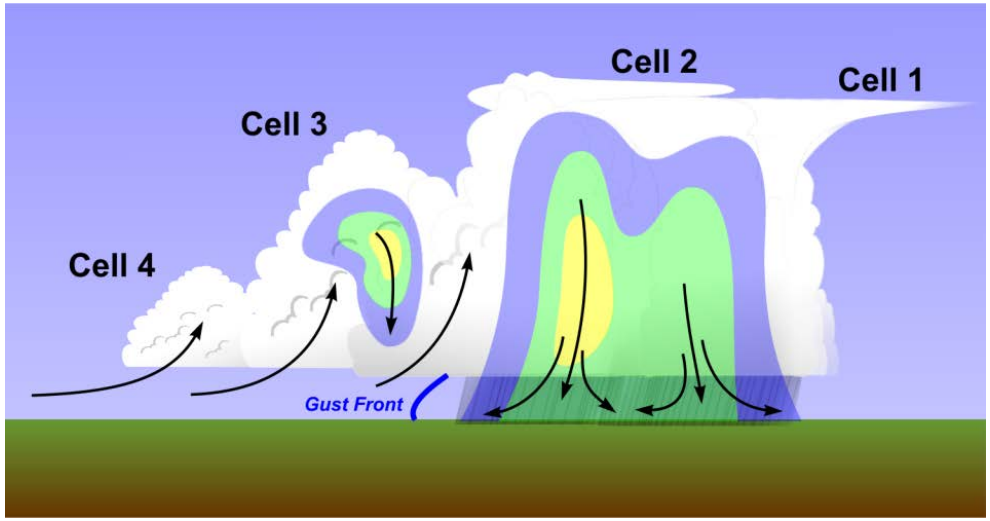
http://tiempoinestable.com/wp-content/uploads/2013/09/FASES-DE-UNA-TORMENTA-SEGUN-WESHEIT-METEOROS.NET_.jpg

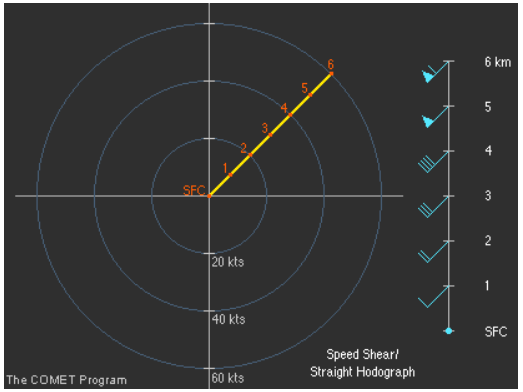
Un pour tous, tous pour un!



Conditions essentielles pour le développement d'un orage multicellulaire :

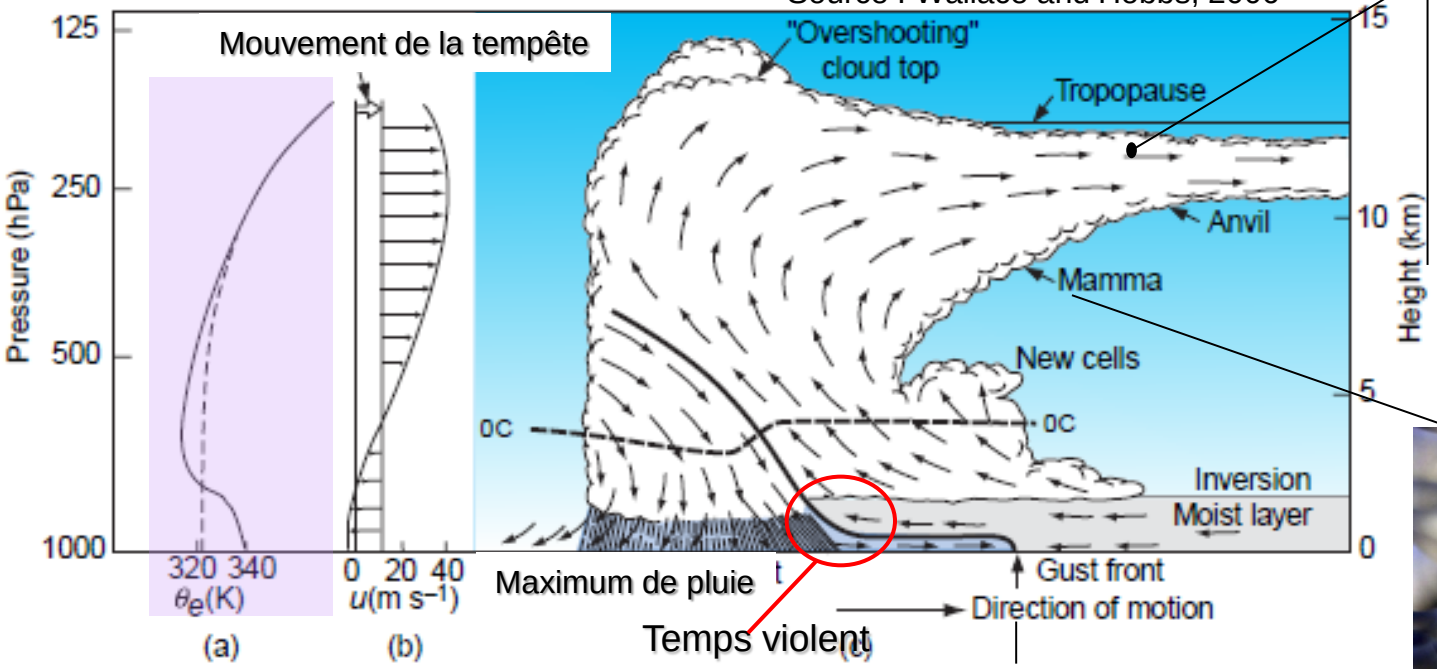
1. Air instable
2. Humidité élevée dans les bas niveaux
3. Air sec en altitude
4. Un déclencheur (facteur de soulèvement) : front, montagne, brise de mer, ….
5. **Variation verticale du vent modéré. Pas de cisaillement directionnel.**



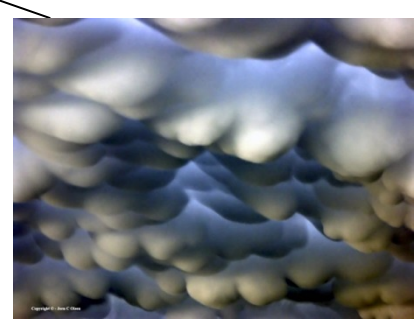


Les orages multicellulaires

Source : Wallace and Hobbs, 2006



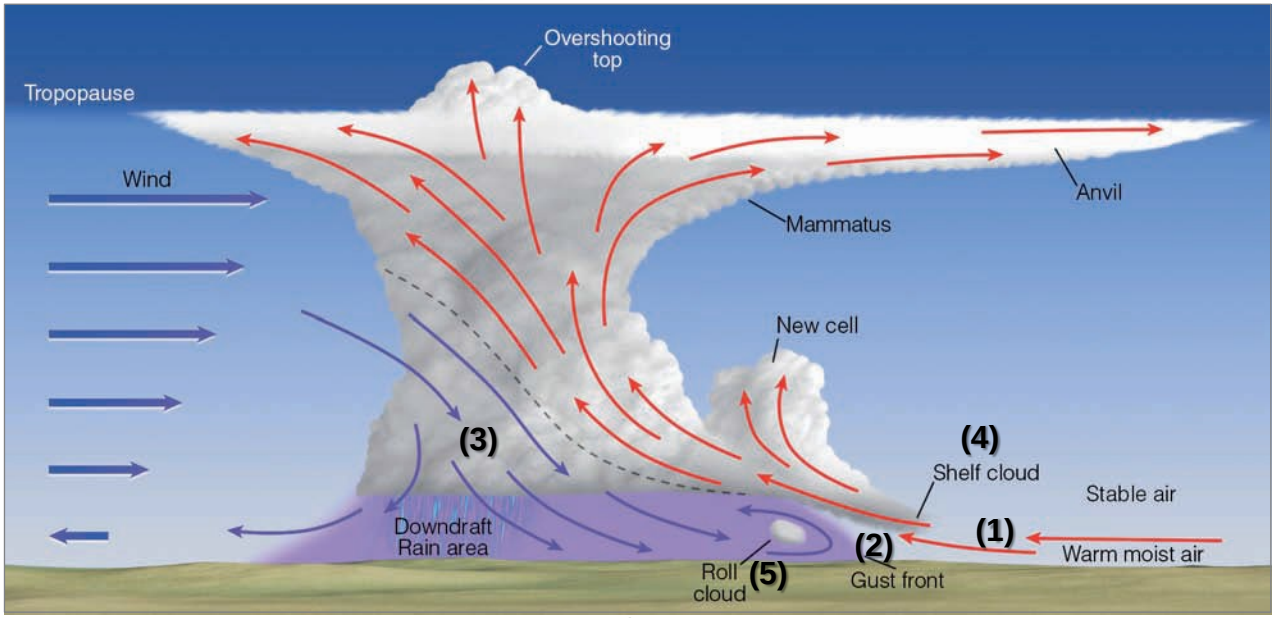
La direction de l'enclume dépend de la direction des vents en altitude relative au mouvement de l'orage.



a) θ_e – température équivalente de l'environnement;
b) vitesse du vent, les flèches montrent la vitesse relative de l'air mesurée dans un référentiel attaché à la tempête.

- Les vents et le cisaillement du vent peuvent varier de faibles à forts.
- Selon le cisaillement du vent, sans oublier l'énergie et l'humidité disponibles, ce type d'orage peut donner des vents violents, des micro-rafales, de la grêle de taille modérée (petits pois, raisins et noix), des pluies diluviennes (crues subites) et des faibles tornades.
- Cependant, le potentiel de temps violent est quelque peu limité par le fait que les cellules individuelles ont une durée de vie relativement courte et présentent une structure similaire à celle des cellules ordinaires de masse d'air.

Caractéristiques et temps associé



Possibilité de grêle et de vents violents

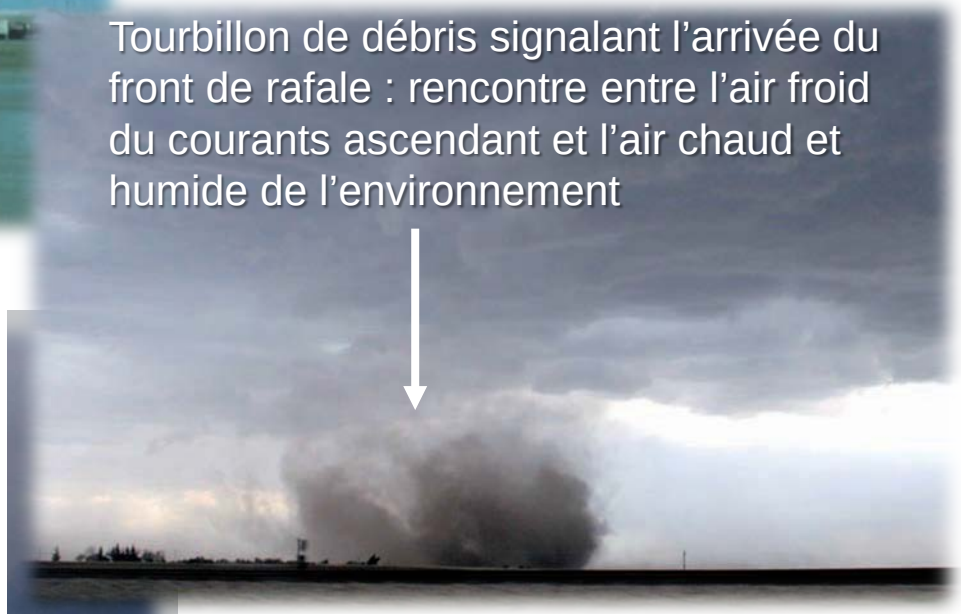
- La source des principaux courants entrants du système multicellulaires correspond à l'air non perturbé situé en avant de la tempête (1).
- L'air est soulevé par le mini-front froid (front de rafale) crée par le bassin d'air froid qui s'étale en avant et vers l'arrière (2).

- Les flèches courbées vers le bas (3) montrent les courants descendants dont l'origine est l'entraînement d'air environnant des niveaux moyens, dans le nuage.
- L'une des caractéristiques de certains systèmes multicellulaires organisés est l'apparition d'un **nuage étagère,** (4), (shelf cloud ou arcus cloud). Ce type de nuage présente une base plate et bien définie qui indique un courant ascendant actif.
- Il arrive parfois que le **front de rafales** (gust front) (2), associé au bassin d'air froid (**goutte froide**) créé par le courant descendant, apparaisse en avant des cellules qui se développent, et qu'un nuage en arc (5) se forme le long de son bord (roll cloud).

Temps associé aux orages multicellulaire

Nuage en étagère (shelf cloud) : nuage présente une base plate et bien définie qui indique un courant ascendant actif.

Tourbillon de débris signalant l'arrivée du front de rafale : rencontre entre l'air froid du courants ascendant et l'air chaud et humide de l'environnement



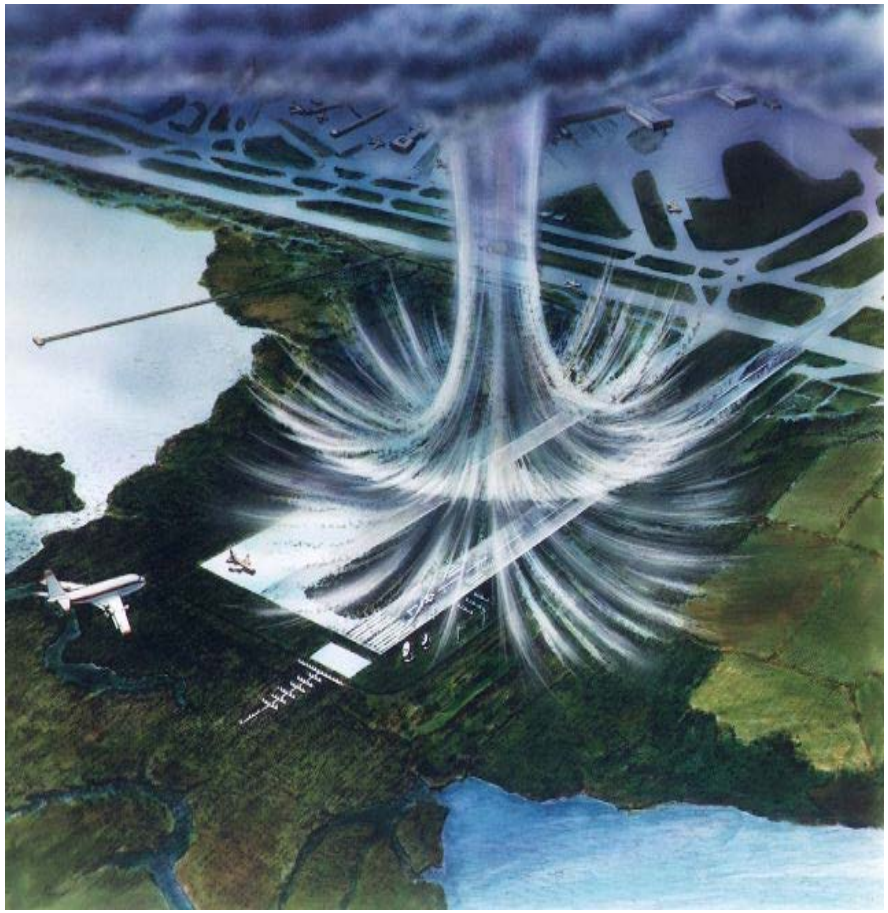
Le *nuage en rouleau* se produit à la frontière avant du front de rafales où l'air humide et chaud est soulevé par la goutte froide. Il peut même précéder complètement l'orage si le bassin d'air froid s'étend plus vite que le cumulonimbus ne se déplace.

Les dangers des orages : les microrafales

L’arrivée du courant descendant à la surface provoque des rafales de vents de la force d'un ouragan, et qui durent de quelques secondes à plusieurs dizaines de minutes. Elles sont dangereuses parce que difficilement prévisibles.

Ces microrafales ne sont pas facilement détectées parce que :

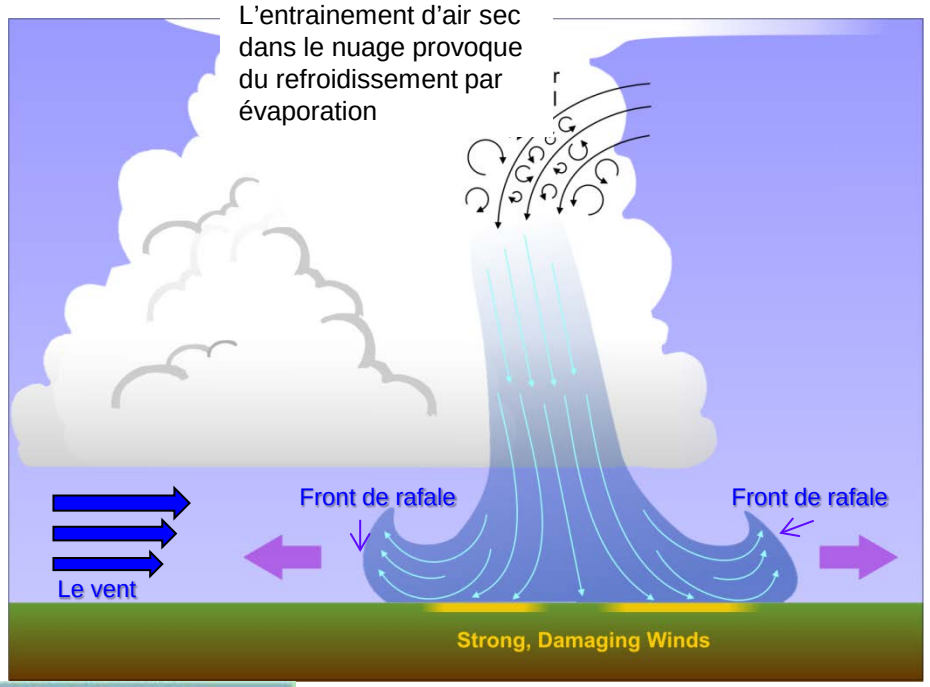
1. On considère que l’orage est bénin;
2. L’échelle de grandeur du phénomène est très petite, de 1 à 2 km.

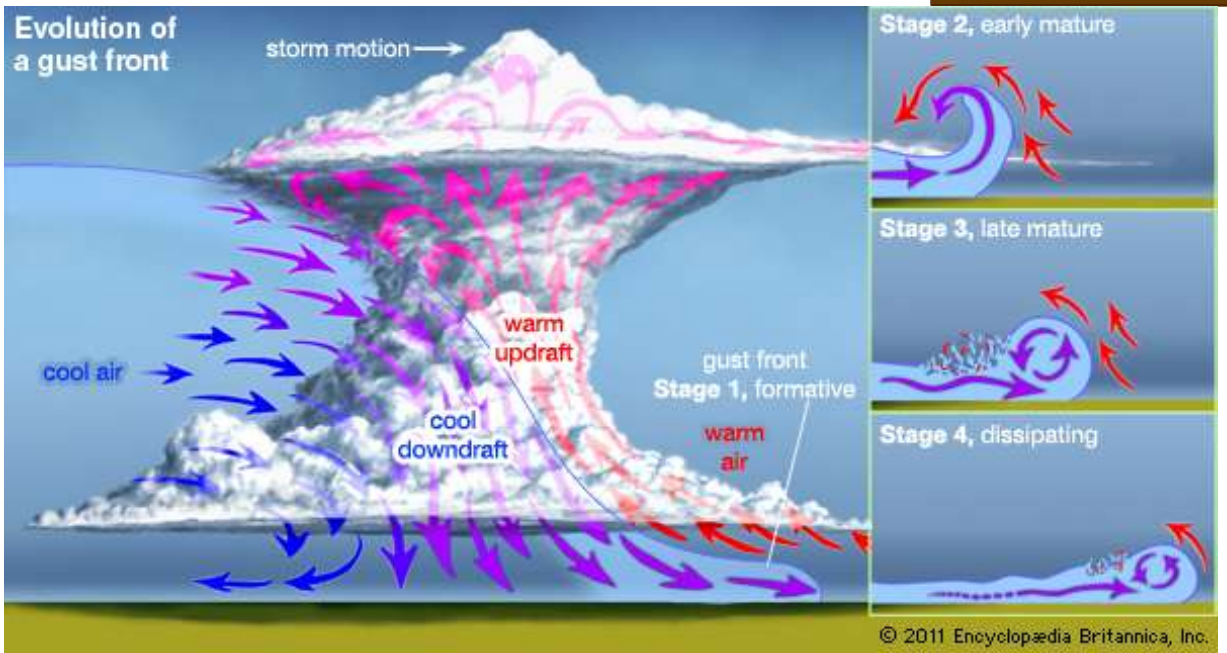


Source : NASA / Vision d’artiste

Cycle de vie des microrafale

L'intensité des micro-rafales dépend de la sécheresse de l'air entraîné dans le nuage.
Les micro-rafales atteignent parfois des vitesses supérieures à 75 m/s (270 km /h) et des vitesses verticales très intenses jusqu'à 6 m/s (21 km/h) à 300 m.



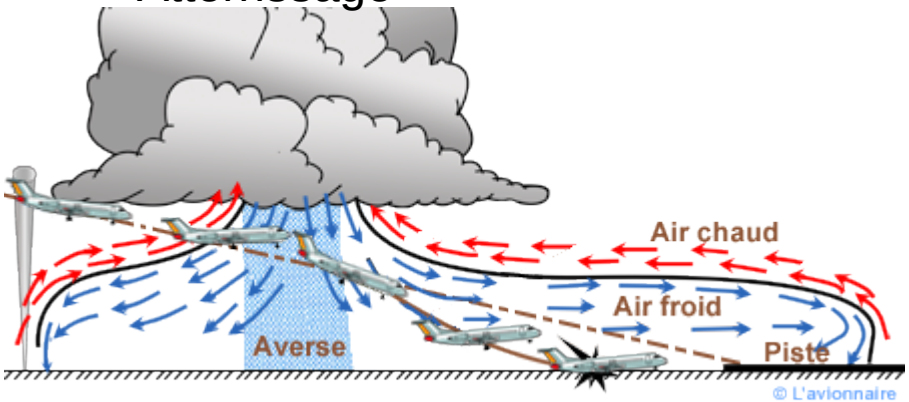


Les micro-rafales sont de courte durée, elles durent habituellement de 5 à 15 minutes environ, et sont relativement compactes, affectant généralement une zone d'environ 1 à 4 km de diamètre.

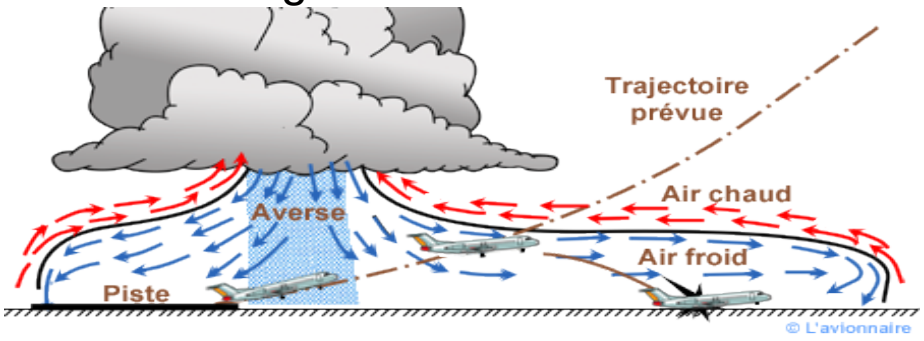
Dangers associés aux microrafales

Les microrafales peuvent être plus dangereuses que les tornades.

Atterrissage

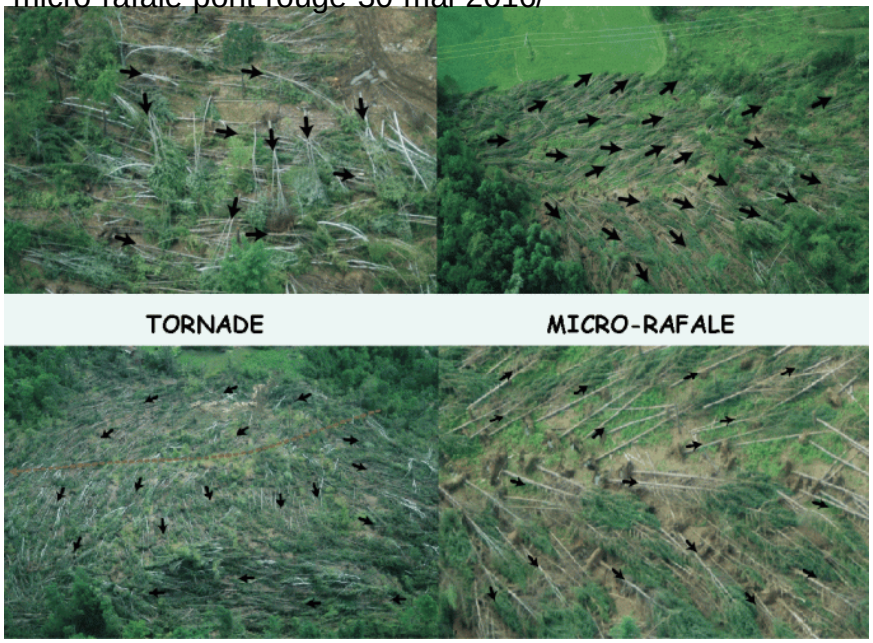


Décollage



https://www.lavionnaire.fr/PhenomCisaille.php

https://xtremchasequebec.com/2016/05/31/formation-dune-micro-rafale-pont-rouge-30-mai-2016/



Le 3 août 2016

http://www.travelweekly-asia.com/Travel-News/Airline-News/Emirates-crash-report-points-to-strong-wind-gusts-as-plane-landed

Le grand spectacle : l'orage supercellulaire

3 avril 2004. Cette supercellule a provoqué de la grêle de 5 cm de diamètre sur Chaparral (état du Nouveau-Mexique, USA), causant des dommages étendus. (Photo de Greg Lundeen)

Le grand spectacle : l’orage supercellulaire

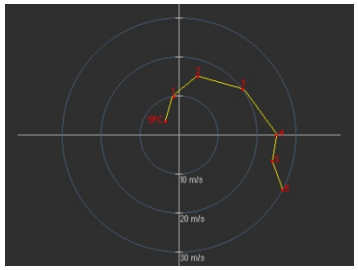
A Supercell Thunderstorm Cloud Over Montana
Image Credit & Copyright: Sean R. Heavey

Cette supercellule a été photographié en juillet 2010 à l'ouest de Glasgow, dans le Montana (États-Unis). Elle a causé des dommages mineurs et a duré plusieurs heures avant de continuer son chemin.

Les ingrédients!

Supercellule : Une cellule unique dotée d'un *seul* courant ascendant ***en rotation;*** La vitesse verticale du courant ascendant peut atteindre les 150 km/h;

- Préalable non-négociable : **une forte variation verticale de du vent en vitesse ***et*** en direction;**



- Aussi **: beaucoup d'humidité près de la surface;**
- Et bien sûr : **une épaisse couche atmosphérique d'instabilité;**
- Déclencheur **: front, centre de dépression, un cœur de jet, … (divergence en altitude)**
- Les courants descendants n'interfèrent jamais avec le courant ascendant;
- La tempête s'entretient d'elle-même pendant des heures et peut atteindre une violence inouïe;
- Dimensions d'environ 40-50 km et peut durer jusqu'à 4 heures.

L’orage supercellulaire

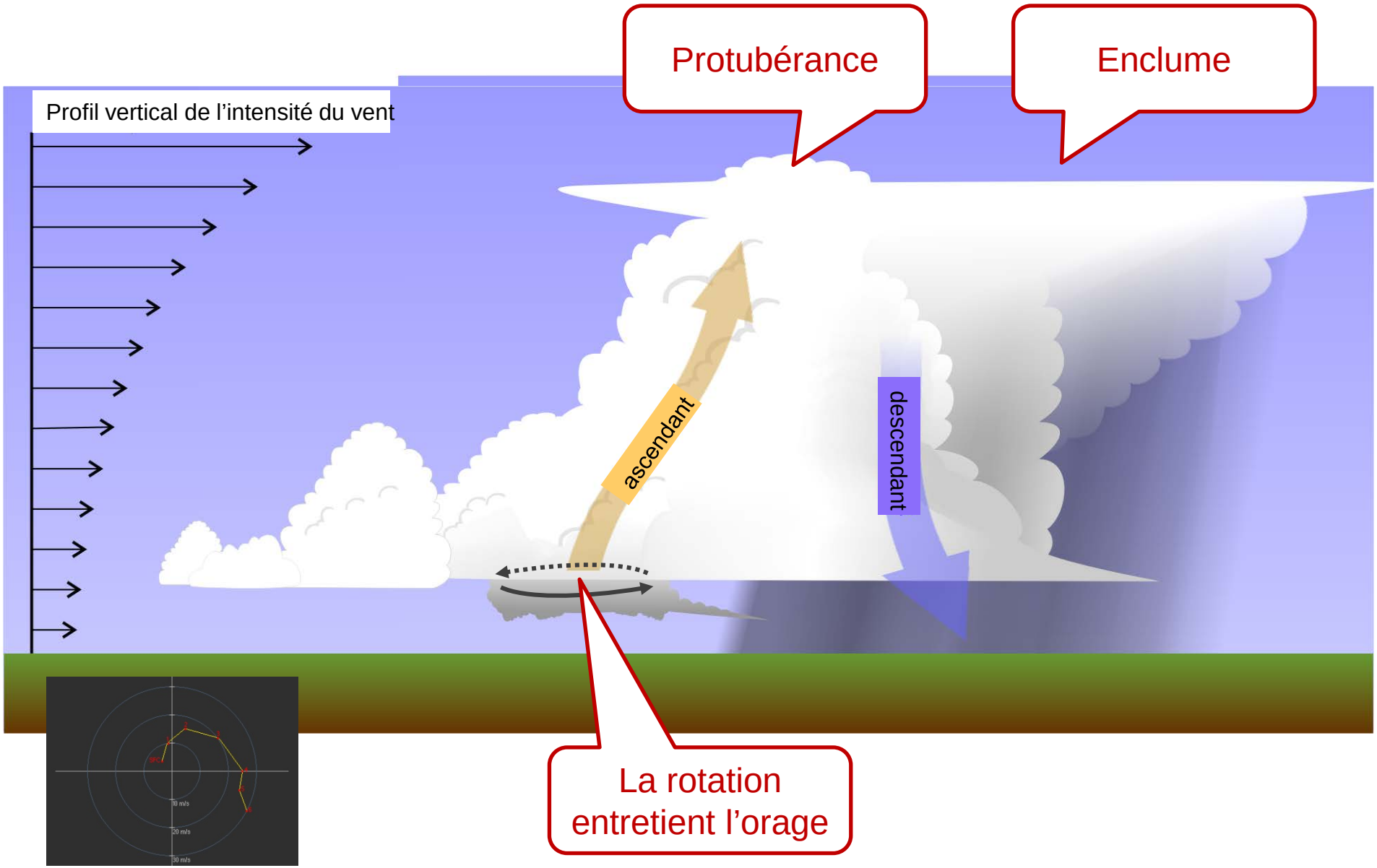
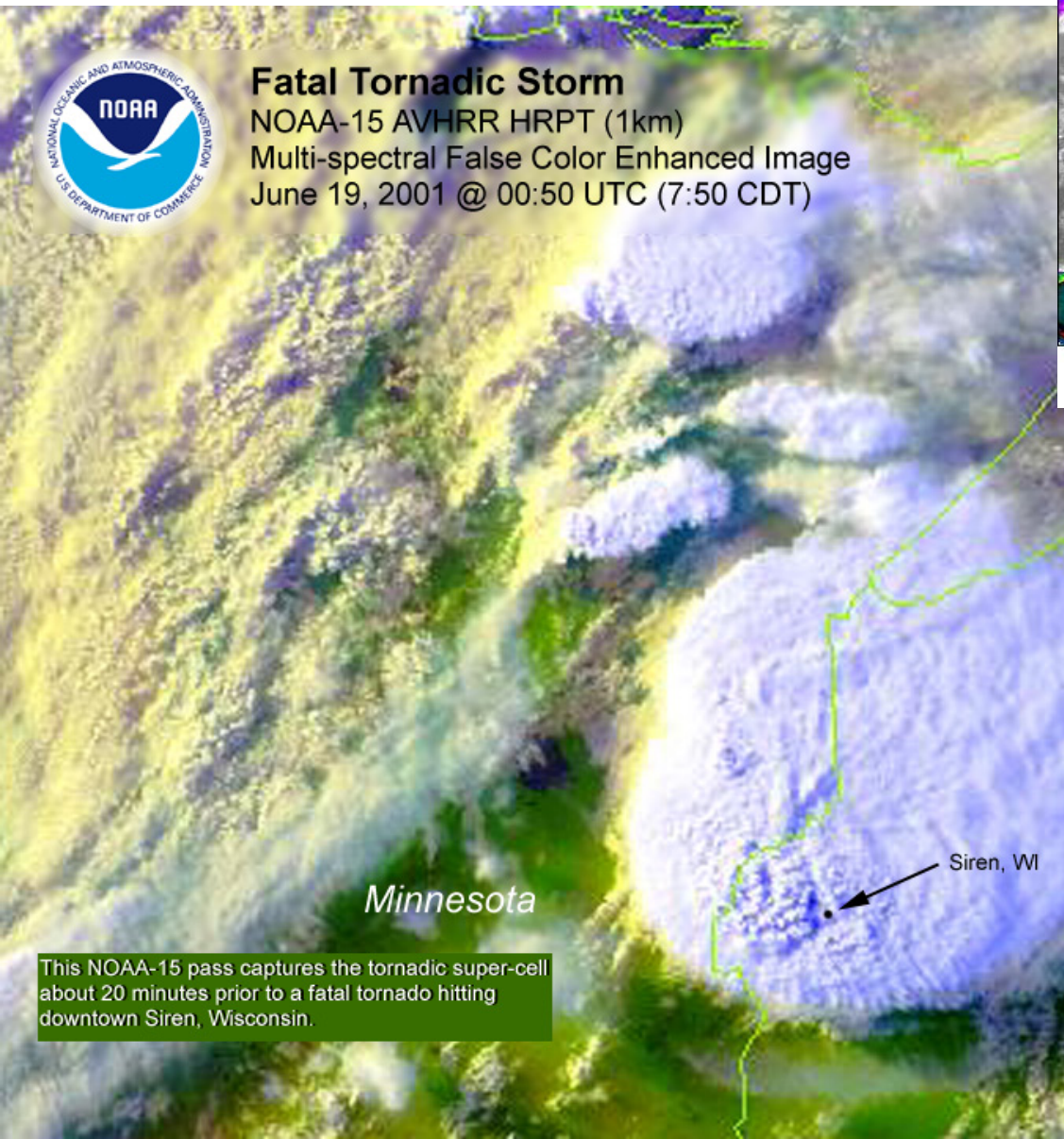
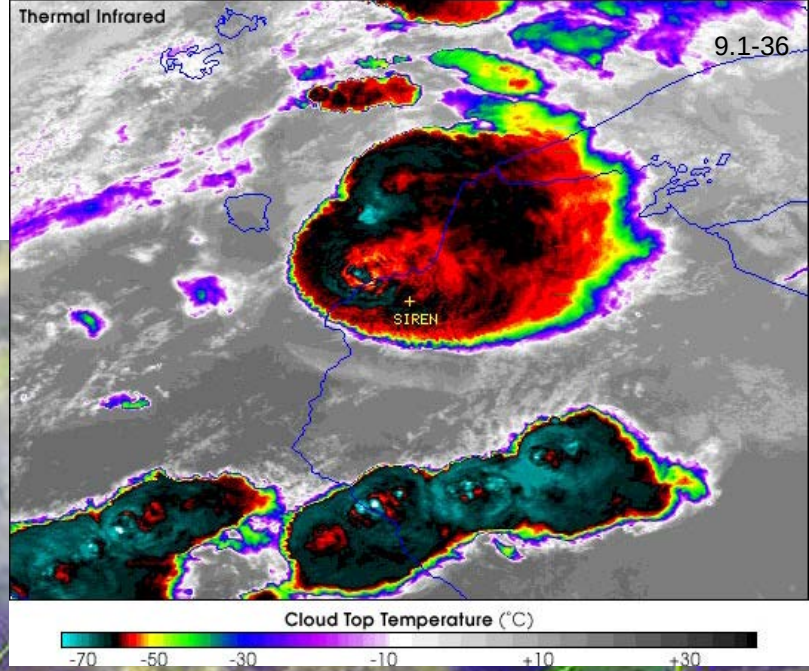
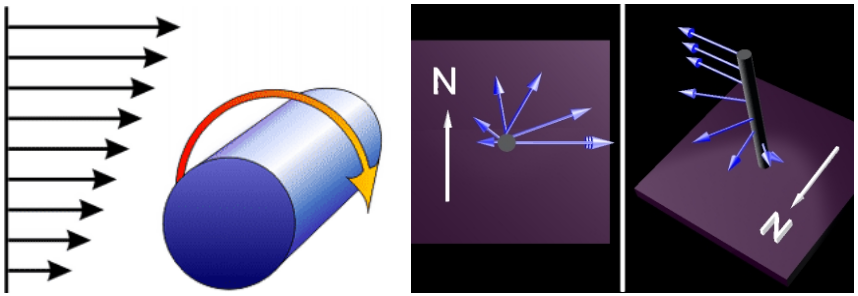


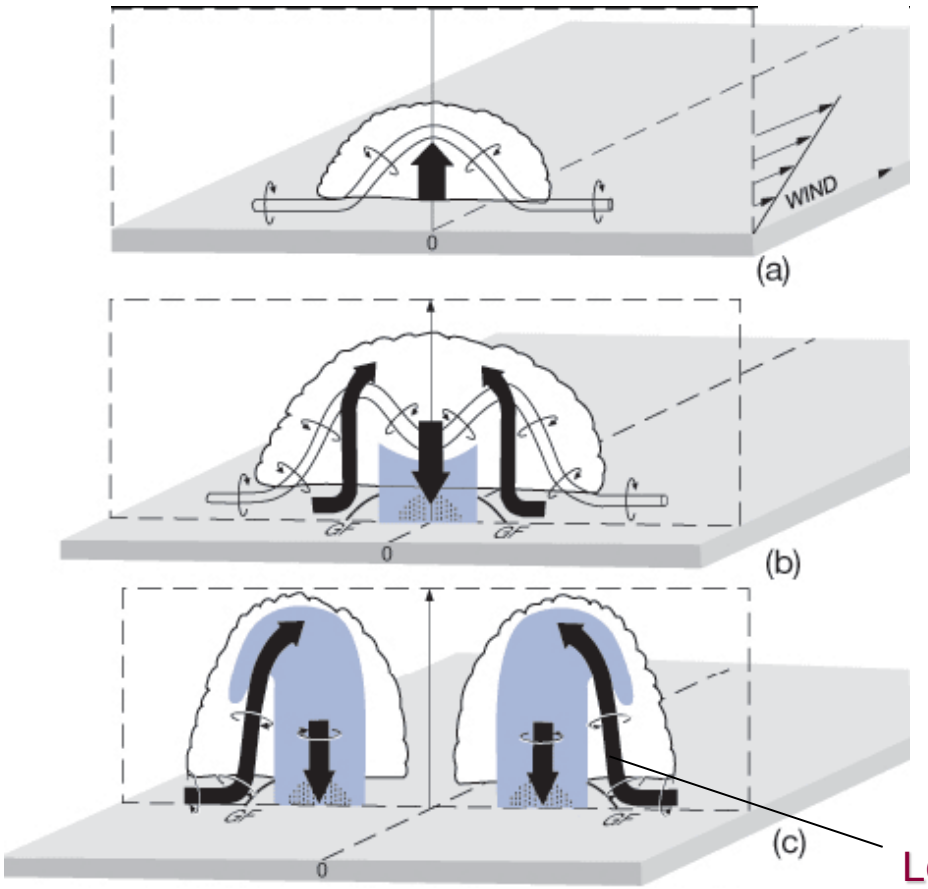
Image satellitaire





Origine de la rotation



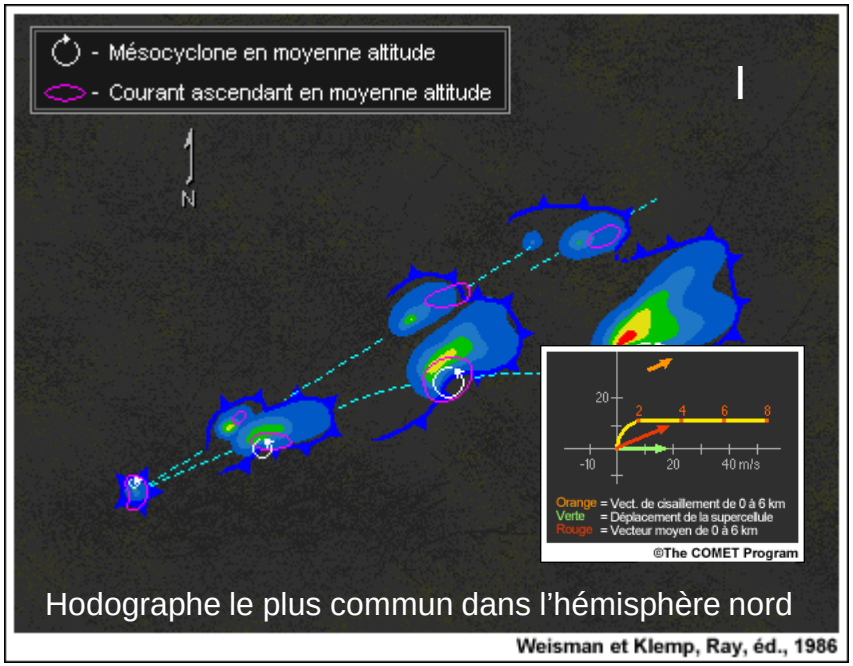


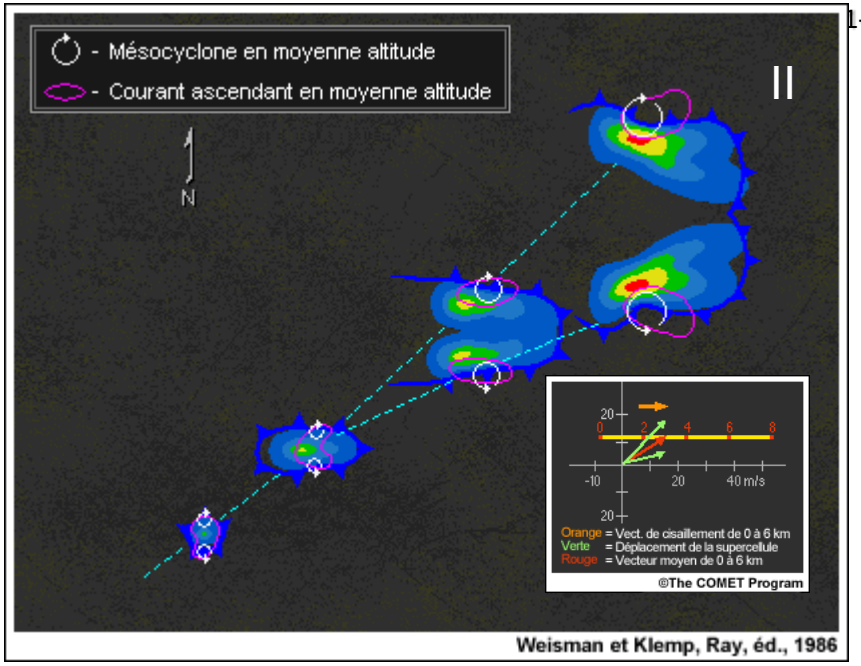
Source : Wallace and Hobbs, 2007

L'interaction entre un courant ascendant fort et le cisaillement vertical du vent peut générer un dipôle de rotation à mi niveau dans un orage. Dans certaines circonstances, cette rotation peut conduire à un courant ascendant en forte rotation. Le courant ascendant rotatif est une caractéristique principale des supercellules, qui sont souvent associées à des conditions météorologiques extrêmes.

- La vitesse du vent augmente avec l'altitude et un vortex horizontal se développe dans la couche limite.
- Le vortex est déformé par le courant ascendant convectif.
- L'interaction entre les deux parties ascendantes du vortex cause à la fois l'augmentation du courant ascendant et sa séparation en deux cellules.
- Dans l'hémisphère Nord, le profil vertical type du vent favorise le développement de la cellule de droite (cyclonique).

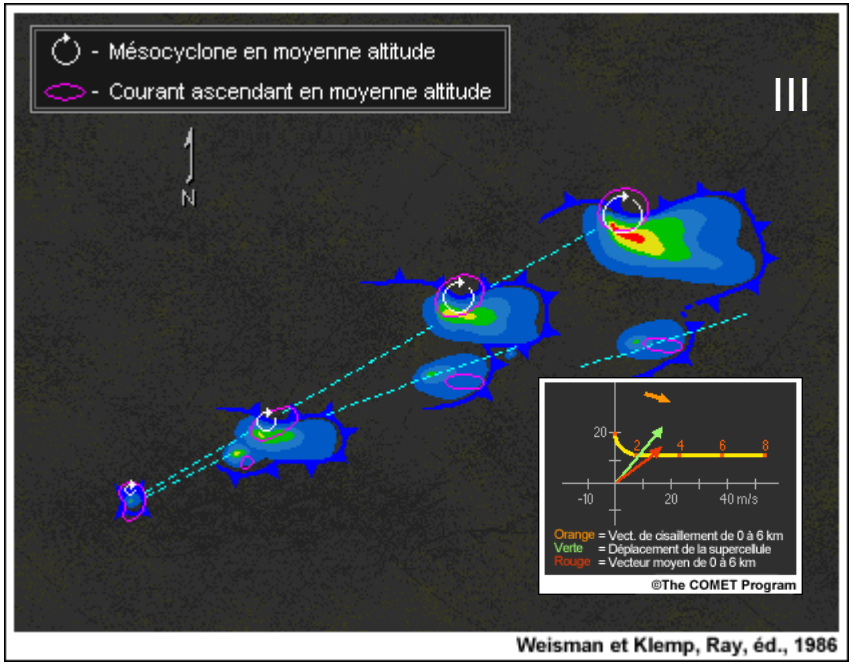
Le Mésocyclone





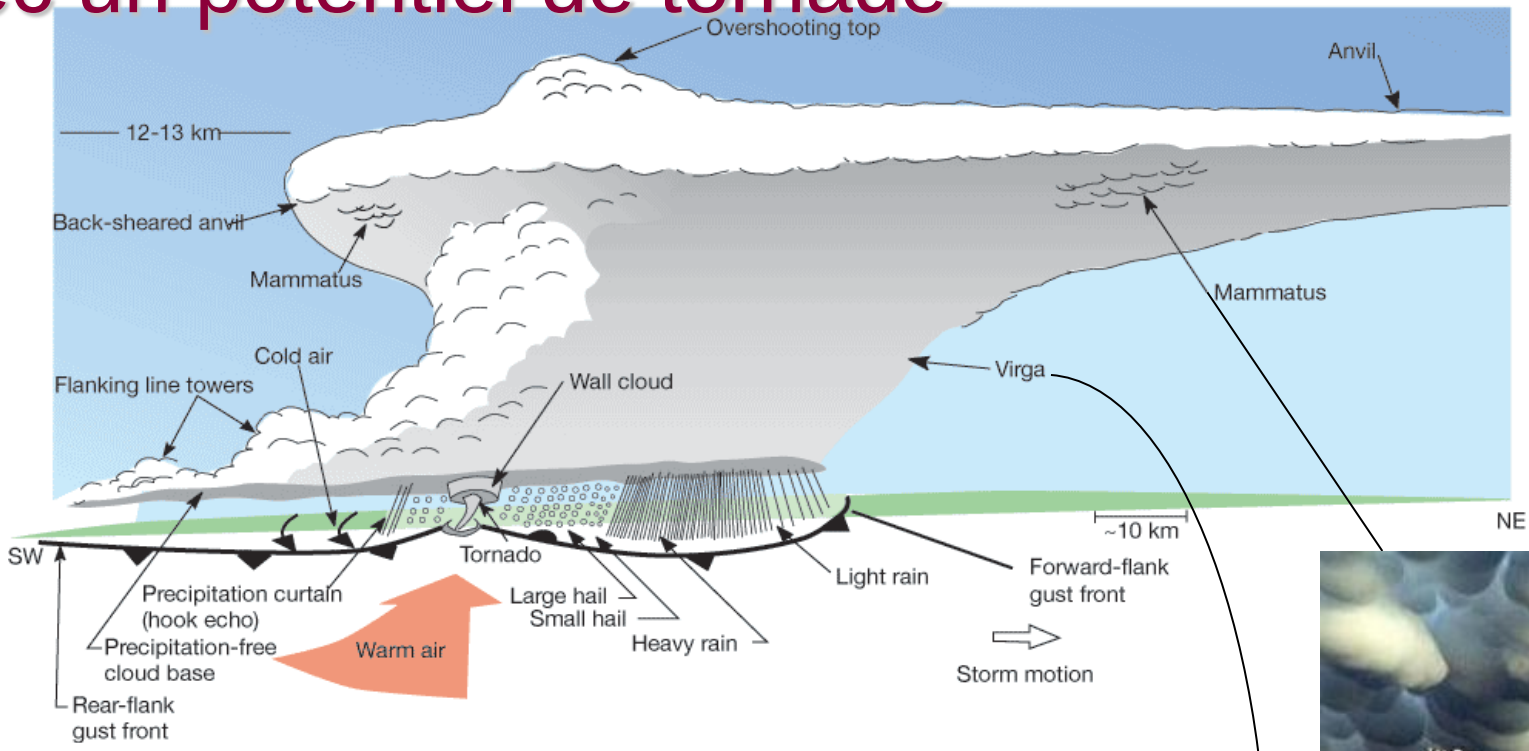
Lorsque le cisaillement vertical du vent environnemental est suffisamment fort, les structures supercellulaires peuvent commencer à évoluer de manière individuelle ou dans le cadre d'un système convectif plus important, comme une ligne de grains. Plusieurs types d'évolutions des supercellules sont possibles en fonction de la forme de l'hodographe et des autres caractéristiques de l'environnement.

À cause de la force de Coriolis le cisaillement directionnel du vent est le plus souvent de type I dans l'hémisphère Nord

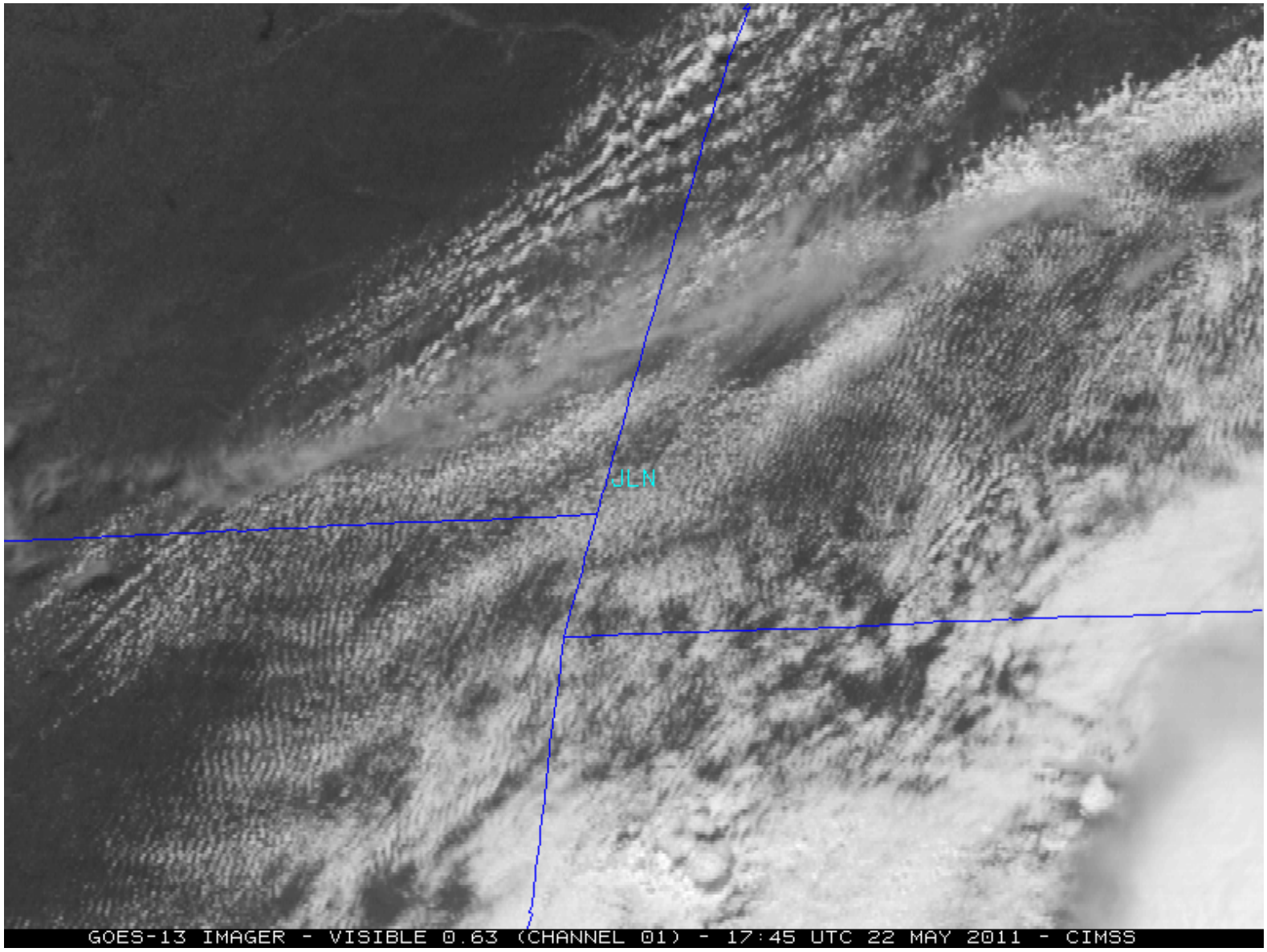


Mésocyclones, courants descendants et fronts de rafales

Structure typique d'un orage supercellulaire avec un potentiel de tornade



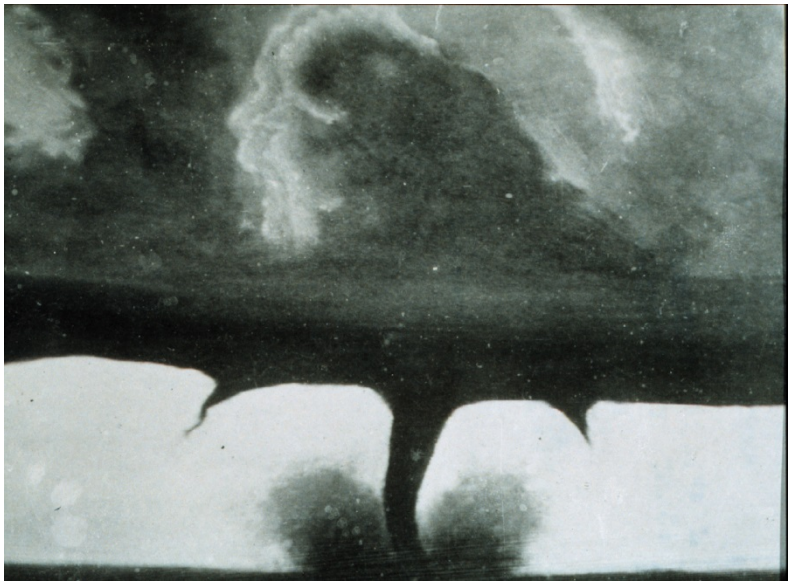
- Les supercellules peuvent produire
  - des pluies torrentielles (crues subites),
  - de la grosse grêle (plus grosse que des balles de golf),
  - des vents destructeurs,
  - des microrafales et
  - des tornades faibles à violentes.



Supercellule à l'origine d'une tornade de force F5 :
Joplin, Missouri *(station identifier JLN)* on **22 May 2011**.

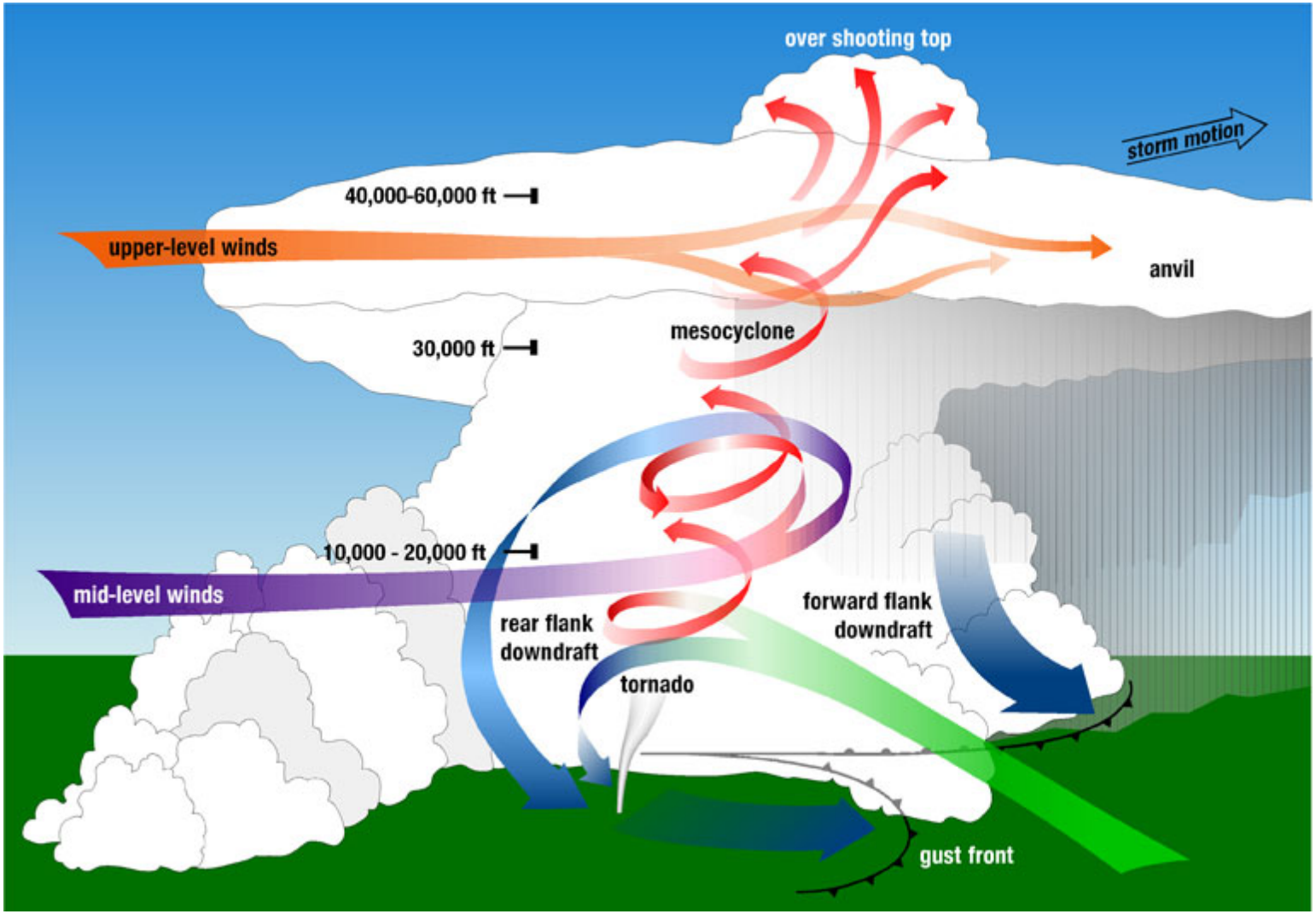
Les tornades

- Colonne d’air en rotation rapide de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres de diamètre.
- Fréquemment associées aux orages supercellulaires (mésocyclones).
- Vents pouvant atteindre les 500 km/h!
- Vitesse de déplacement entre 30 et 50 km/h.

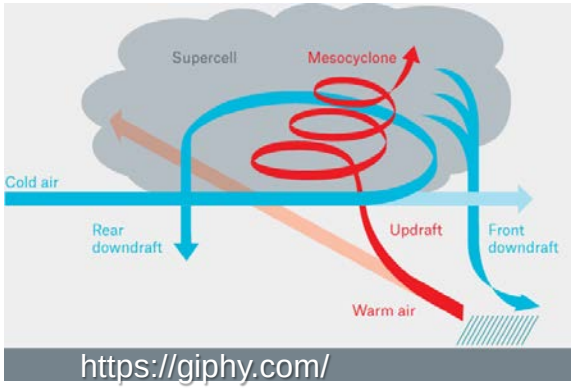


La plus vieille photographie d'une tornade.
Image ID : wea00206, collection historique du NWS
Prise à 22 mile à sud-ouest de Howard, Dakota du Sud, le 28 août 1884.

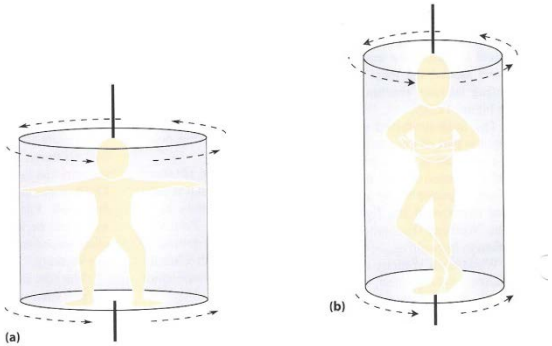
Circulation de l'air dans une supercellule

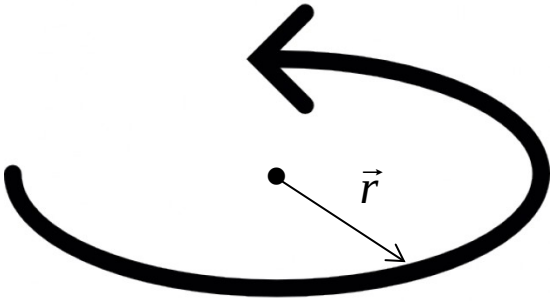


… du mésocyclone à tornade



i. Si le rayon diminue, la vitesse de rotation augmente et la colonne d'air s'allonge,





ii. Si la vitesse de rotation augmente, la pression à l'intérieur de la colonne, p_0 d'air diminue :

$$\vec{a}_c = \vec{F}_c / m$$

$$-\omega^2 r = -\frac{1}{\rho}\frac{p_r - p_0}{r} \Rightarrow p_r - p_0 = \rho\omega^2 r^2 = \rho V^2$$

Accélération centripète = $\vec{a}_c = -\omega^2 \cdot \vec{r}$

Force centripète = $\vec{F}_c$ = force du gradient de pression

Tornades supercellulaires

Entonnoir de condensation ou tuba

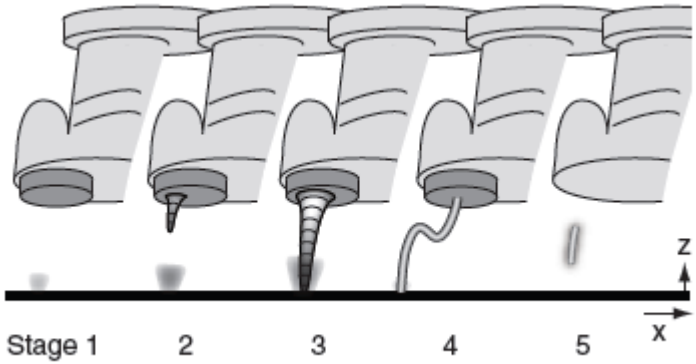
Débris soulevés

Seulement les débris sont visibles

- Seulement 20 % de tous les orages supercellulaires (mésocyclones) produisent des tornades.

Source : Pratical meteorology. R. Stull

Cycle de vie des tornades d'origine supercellulaire



1. **Étape de tourbillon de poussière**
2. **Étape d'organisation**
3. **Étape mature**
4. **Étape de contraction**
5. **Étape de dissipation**

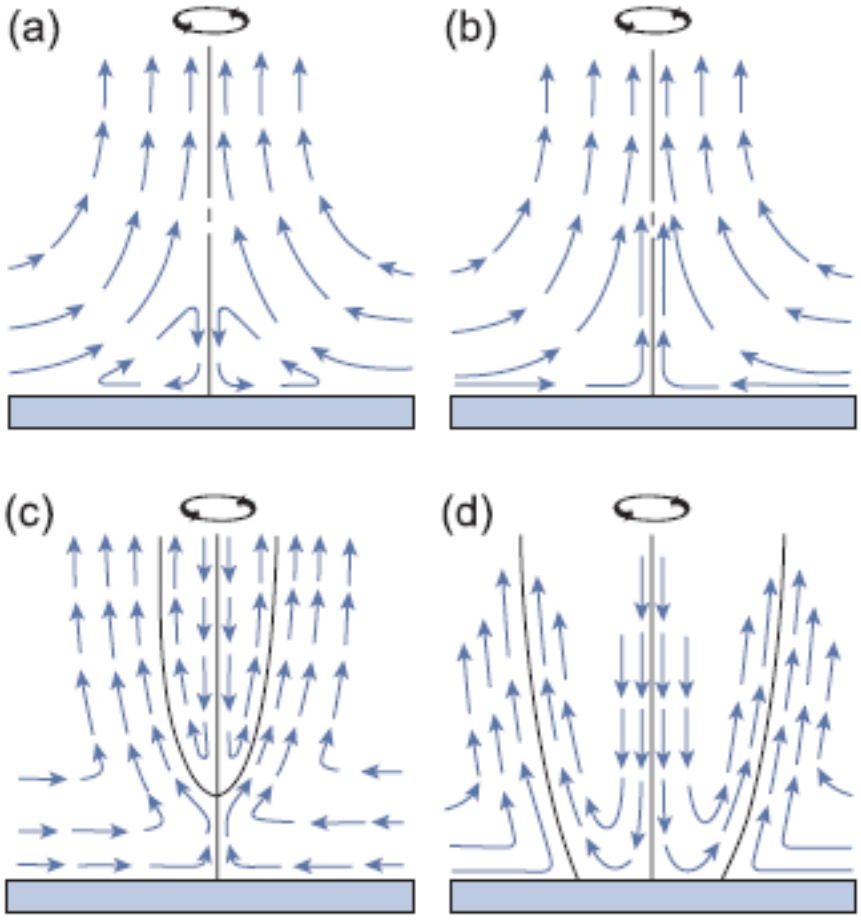
(Charles Graves - Saint Louis University) - **Understanding the Weather. EAS-107**

Tornade sur l'ouest du Nebraska, le 10 juin 2004, en trois étapes de développement.

- Dans le panneau de gauche, l’entonnoir de condensation commence tout juste à émerger du nuage mur, mais la circulation au sol soulève déjà la poussière.
- L‘entonnoir de condensation est complètement développé dans les panneaux suivants.
- Le nuage mural est clairement visible dans les images du centre et de droite.
- On voit aussi un nuage en forme de queue entrant par la droite et s’enroulant autour du nuage de mur.

Source : Wallace and Hobbs, 2006. [Courtoisie de Kathryn Piotrowski.]

Écoulement à l'intérieur d'une tornade



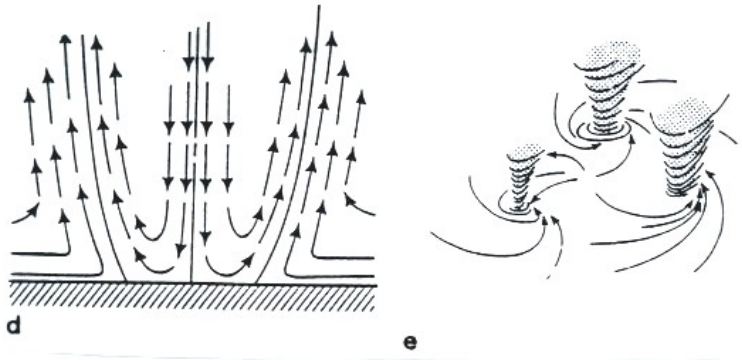
Source : Wallace and Hobbs, 2006

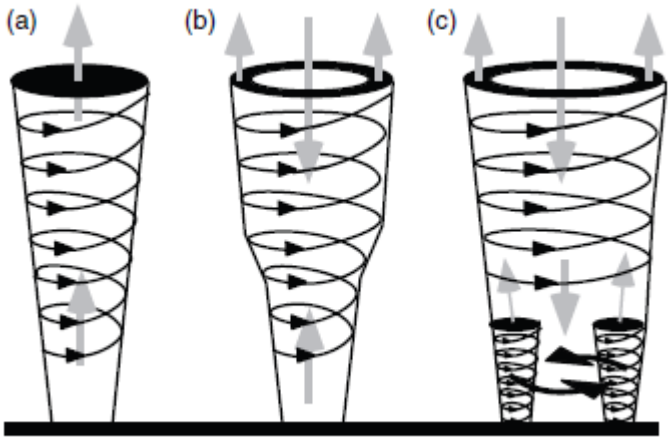
Les mouvements d'air à l'intérieur des tornades sont complexes et difficiles à étudier directement. Les chercheurs ont recours à des simulations de laboratoire et à des modèles informatiques. Les caractéristiques des tornades dépendent de rapport de tourbillon (swirl ratio), S :
S = V(tangentielle)/V(radiale)

a) Mouvements de vent dans une tornade faible. Les vents tourneraient en se déplaçant vers le haut.
b) Une tornade mature, plus forte.
c) Cette tornade est encore plus forte. L'air au centre a commencé à descendre (ventilation par vortex), mais l'air qui descend n'atteint pas le sol. Le diamètre de la tornade a également augmenté.
d) Étape de fragmentation : lorsque l'air qui descend au milieu de la tornade atteint le de multiples vortex peuvent se former.

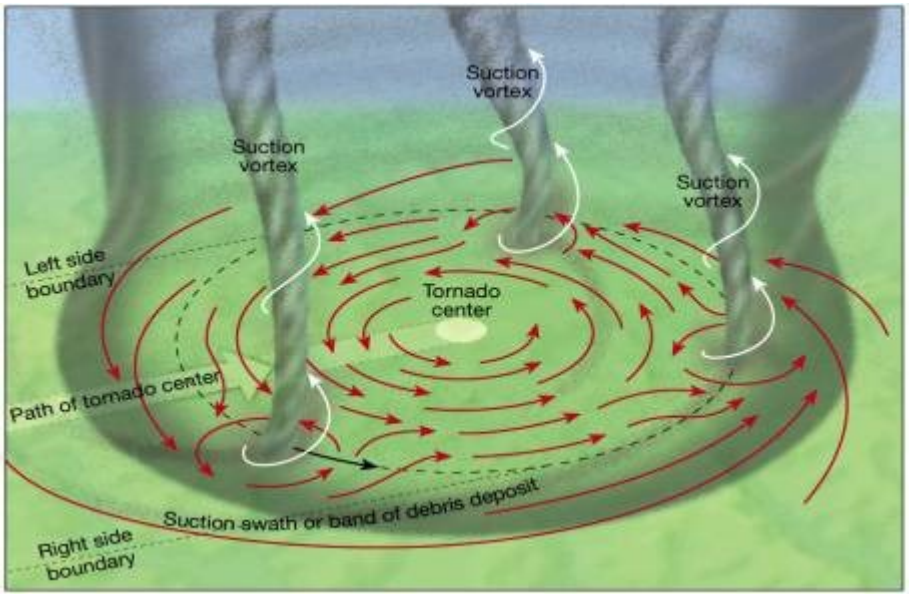
Tornades à vortex multiples

Dans le cas des tornades très forts (S > 1) l'étape de fragmentation résulte dans la formation d'une gigantesque tornade avec plusieurs vortex de succion.





Tornades avec de rapports de tourbillon (S) :
(a) S = 0,2; (b) S=0,4; (c) S = 2,0.
Source : Practical Meteorology. R. Sull



Tornades à vortex multiples

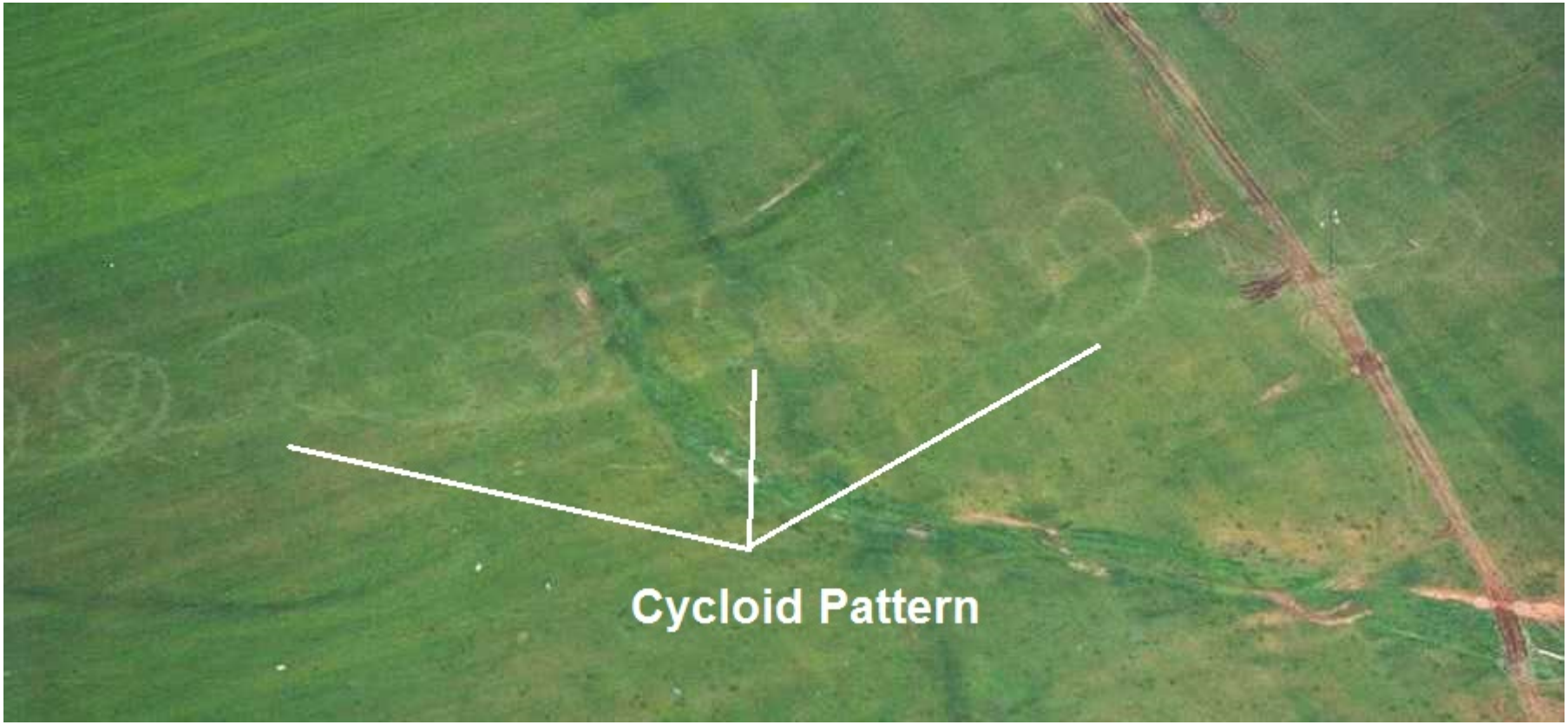
Les débris soulevés par les différents vortex de succion rendent difficile la vision directe des divers tourbillons.

A multi-vortex tornado in Oklahoma, 2013

Source : http://mattsweatherrapport.blogspot.ca/2015/05/attack-of-multi-vortex-tornadoes.html

- Les tornades multi-vortex sont associées aux tornades les plus fortes qui, en se fragmentant, forment une tornade multi-vortex.
- Souvent, quatre, cinq, six ou parfois plus de tourbillons d'aspiration tourbillonnent autour de la circulation principale de la tornade originale.
- Les vortex d'aspiration expliquent certains dommages étranges après une tornade. Une maison est totalement détruite, alors que la maison juste à côté a juste des dégâts mineurs. La maison détruite a probablement été touchée par un vortex d'aspiration, la maison d'à côté ne l'était pas.

À mesure qu'une tornade multivortex se déplace, un vortex d'aspiration peut laisser une trajectoire de dommage cycloïde, ce qui est évident dans cette photographie aérienne prise à Oklahoma lors d'une tornade le 3 mai 1999.

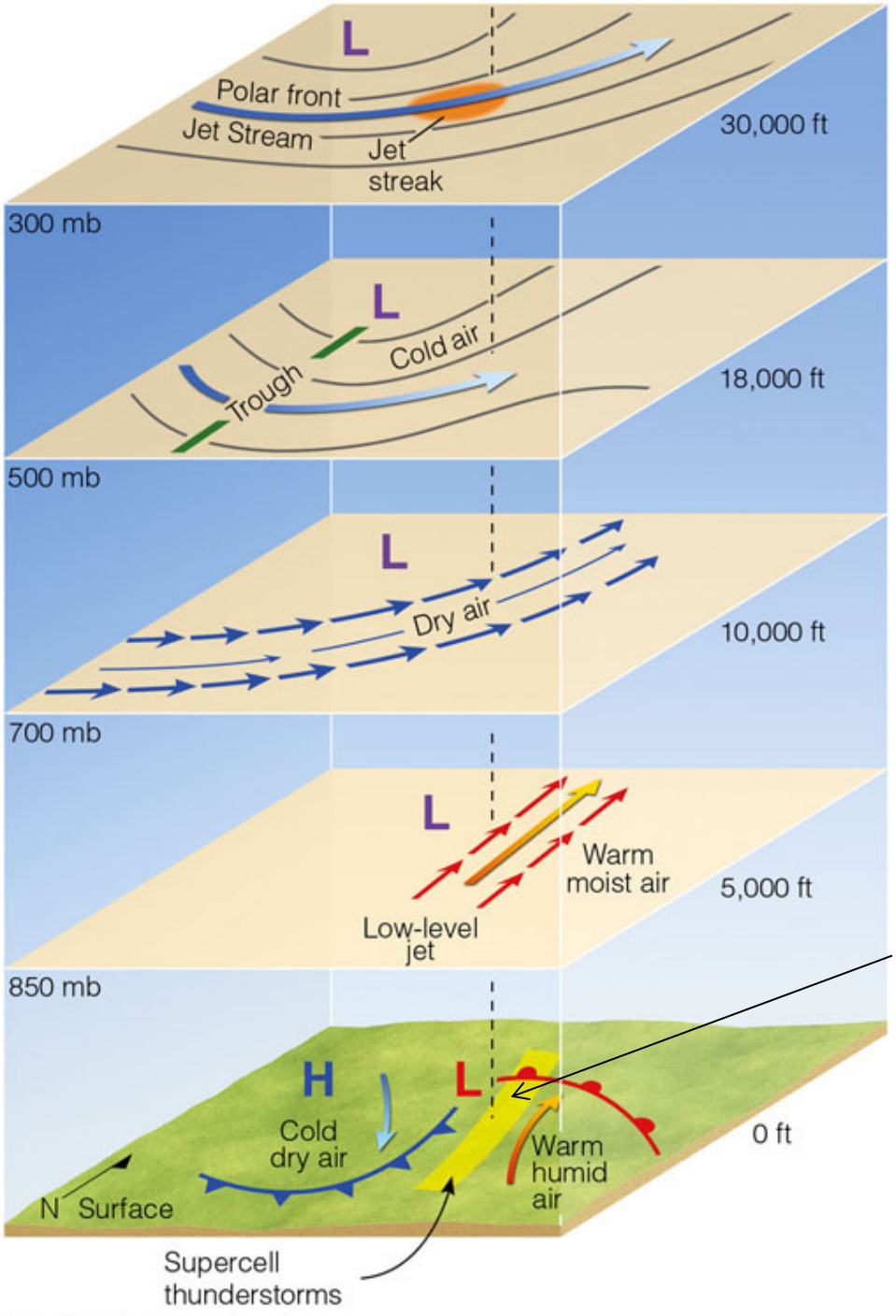


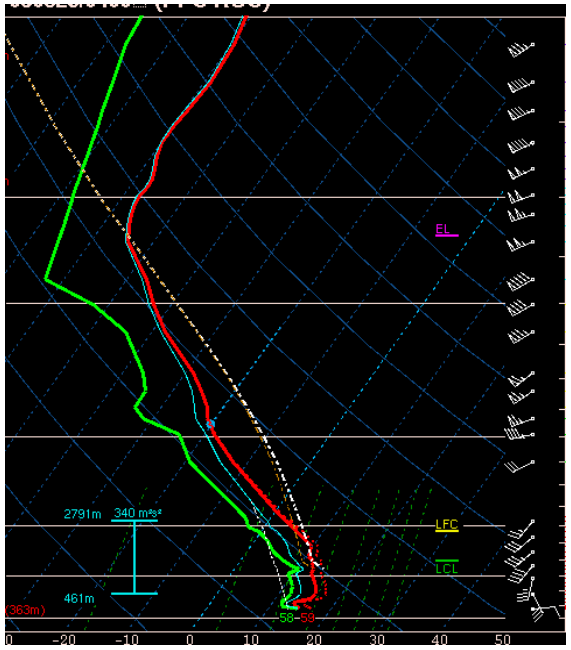
Credit: National Weather Service, USA

https://www.e-education.psu.edu/meteo3/l9_p8.html

Conditions environnementales propices à la formation d'une supercellule tornadique

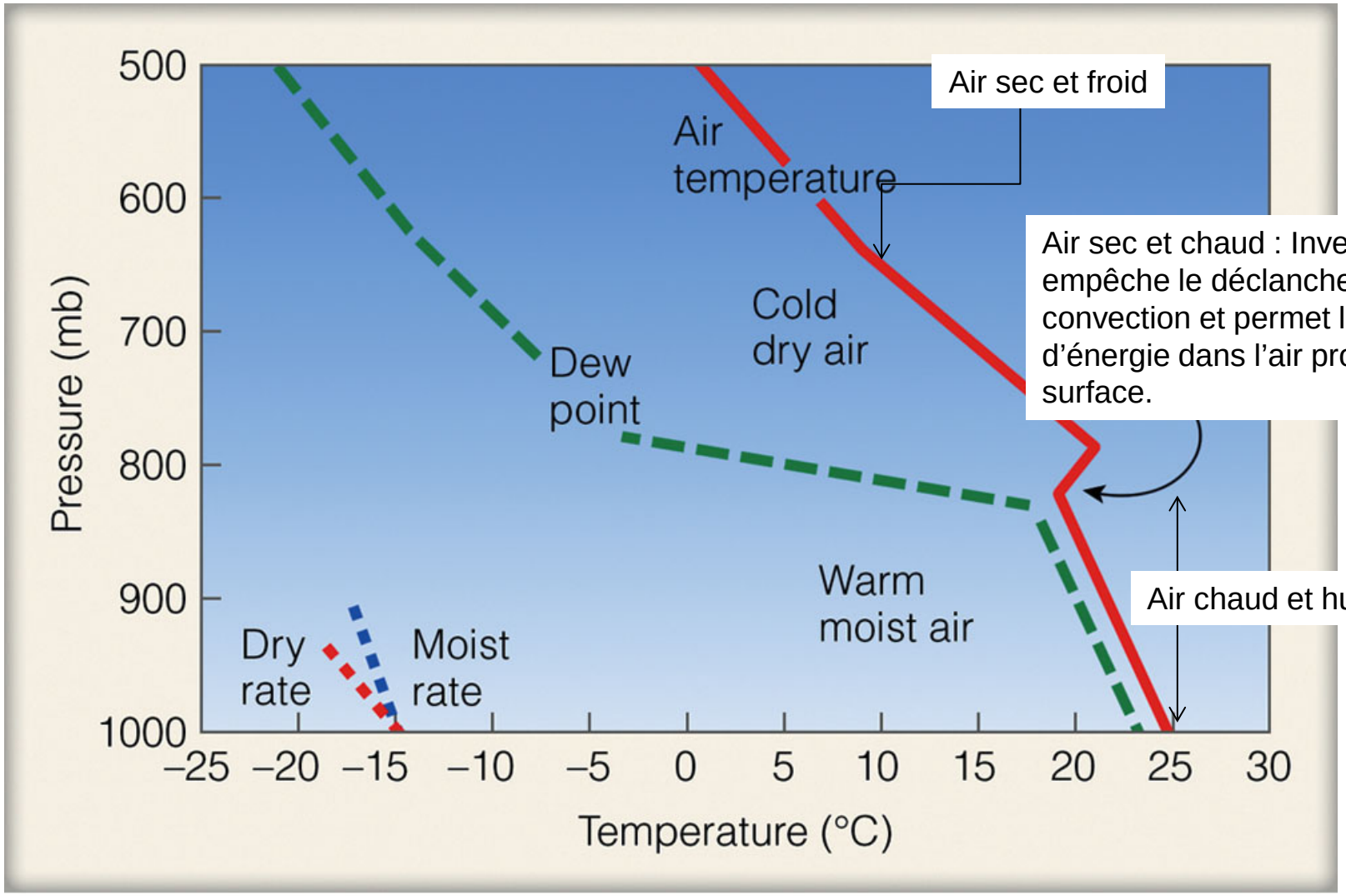
(1) Instabilité conditionnelle dans la couche limite – de l'air humide à la surface, surmonté par de l'air froid et sec.
(2) Une inversions de température empêchant la convection de se développer rapidement
(3) Grand cisaillement du vents ce qui induit la rotation





Sondage typique avant la formation d'un orage avec potentiel de formation de tornade

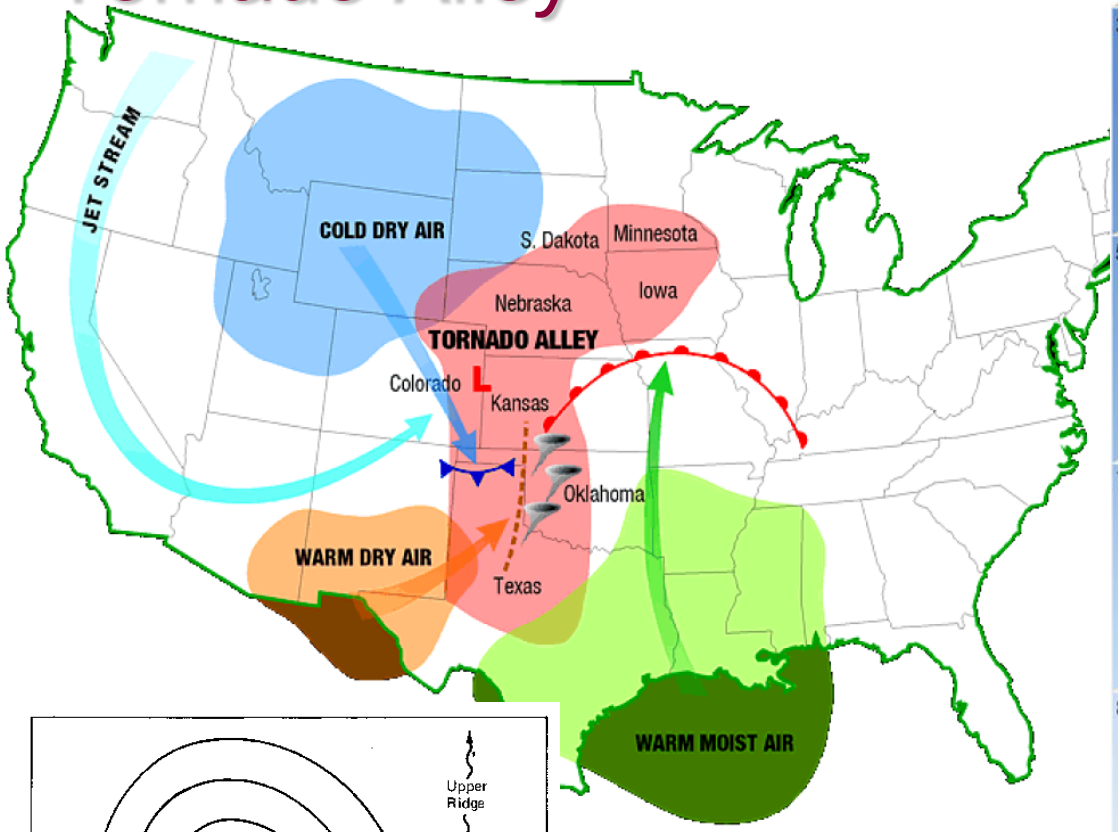
Pourquoi tant d'énergie?

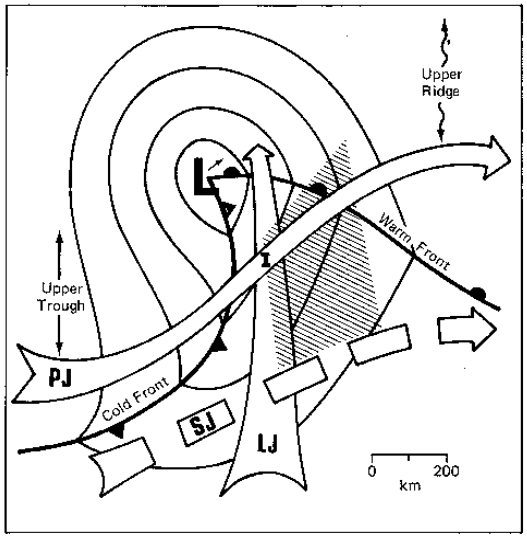


© Brooks/Cole, Cengage Learning

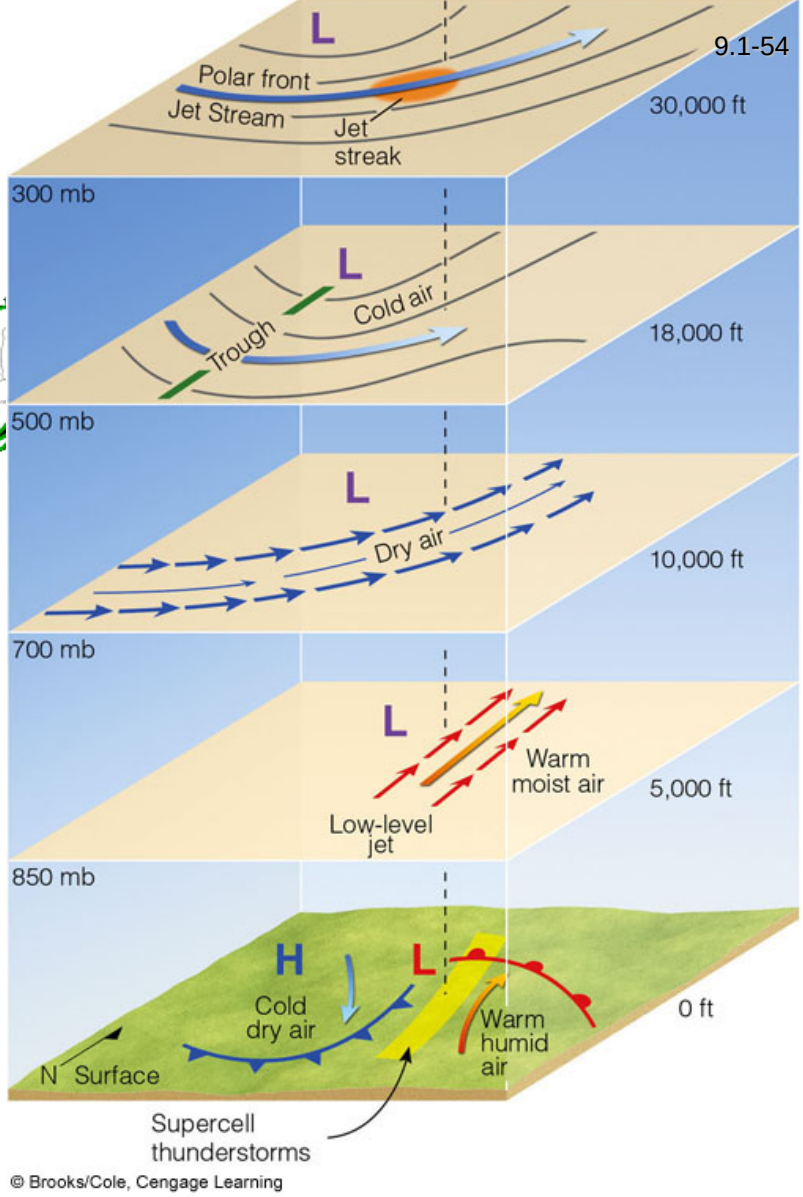
Cette situation permet l'accumulation d'énergie dans la couche limite atmosphérique.

Tornado Alley

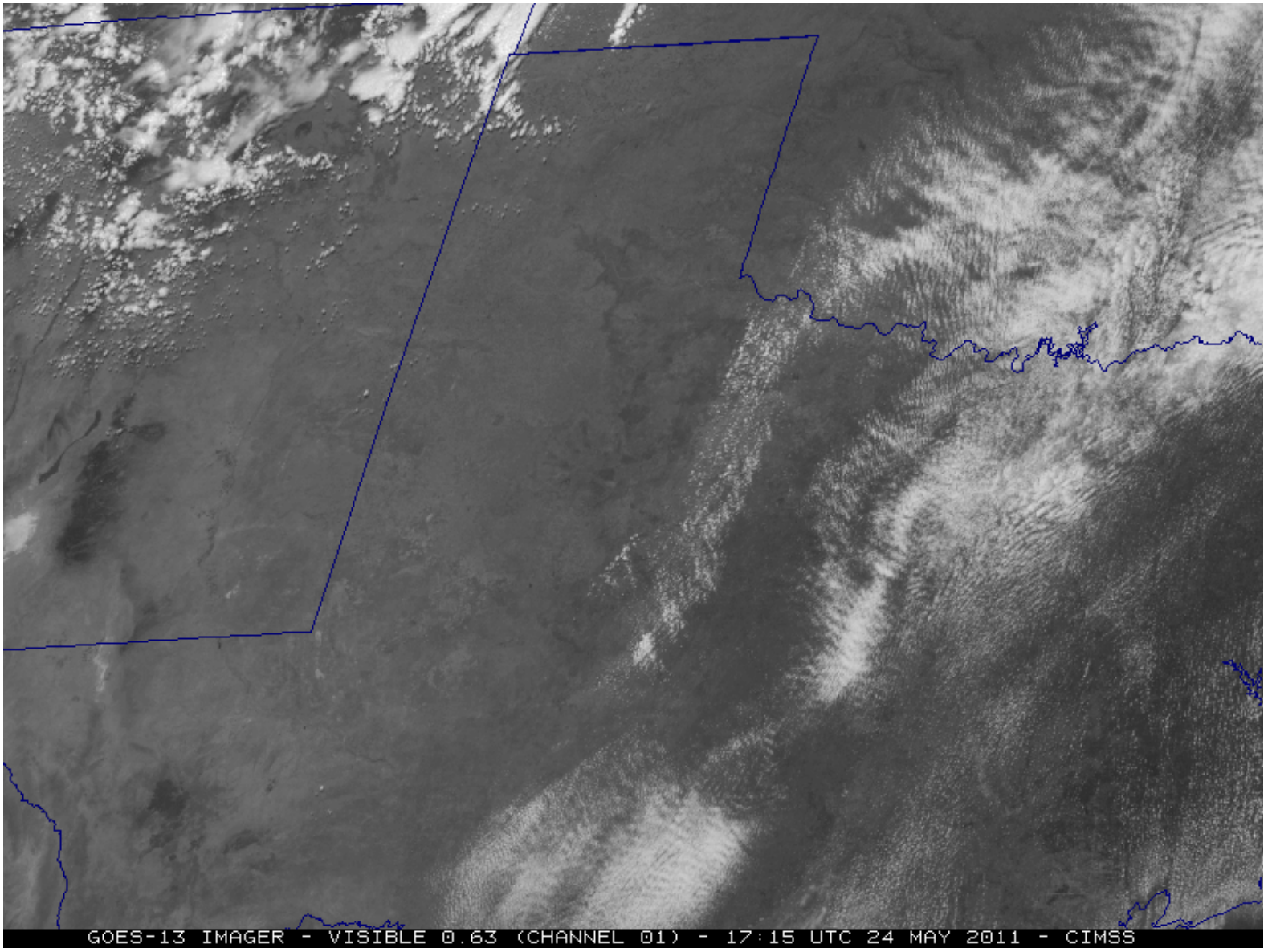




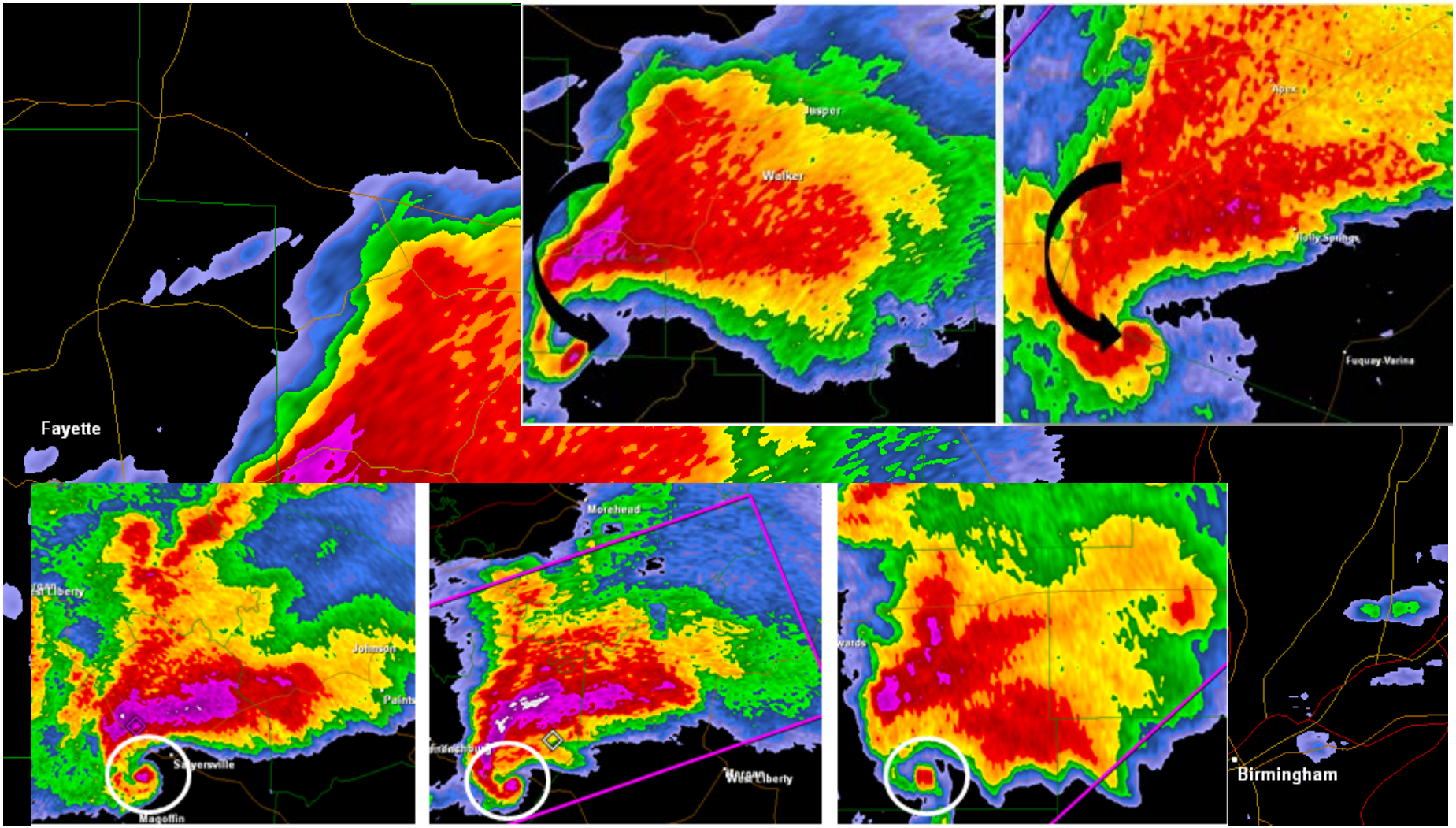
PJ – courant jet polaire
SJ – courant jet subtropical
LJ – jet de bas niveau
I – où la tornade a des plus grands chances de se former



Ces conditions sont observées souvent sur la régions des Plaines centrales aux États-Unis au printemps. Chasseurs de tornades : la période e chasse est ouverte!


GOES-13 IMAGER - VISIBLE 0.63 (CHANNEL 01) - 17:15 UTC 24 MAY 2011 - CIMSS

Le «crochet» dans l'image radar : alerte tornade



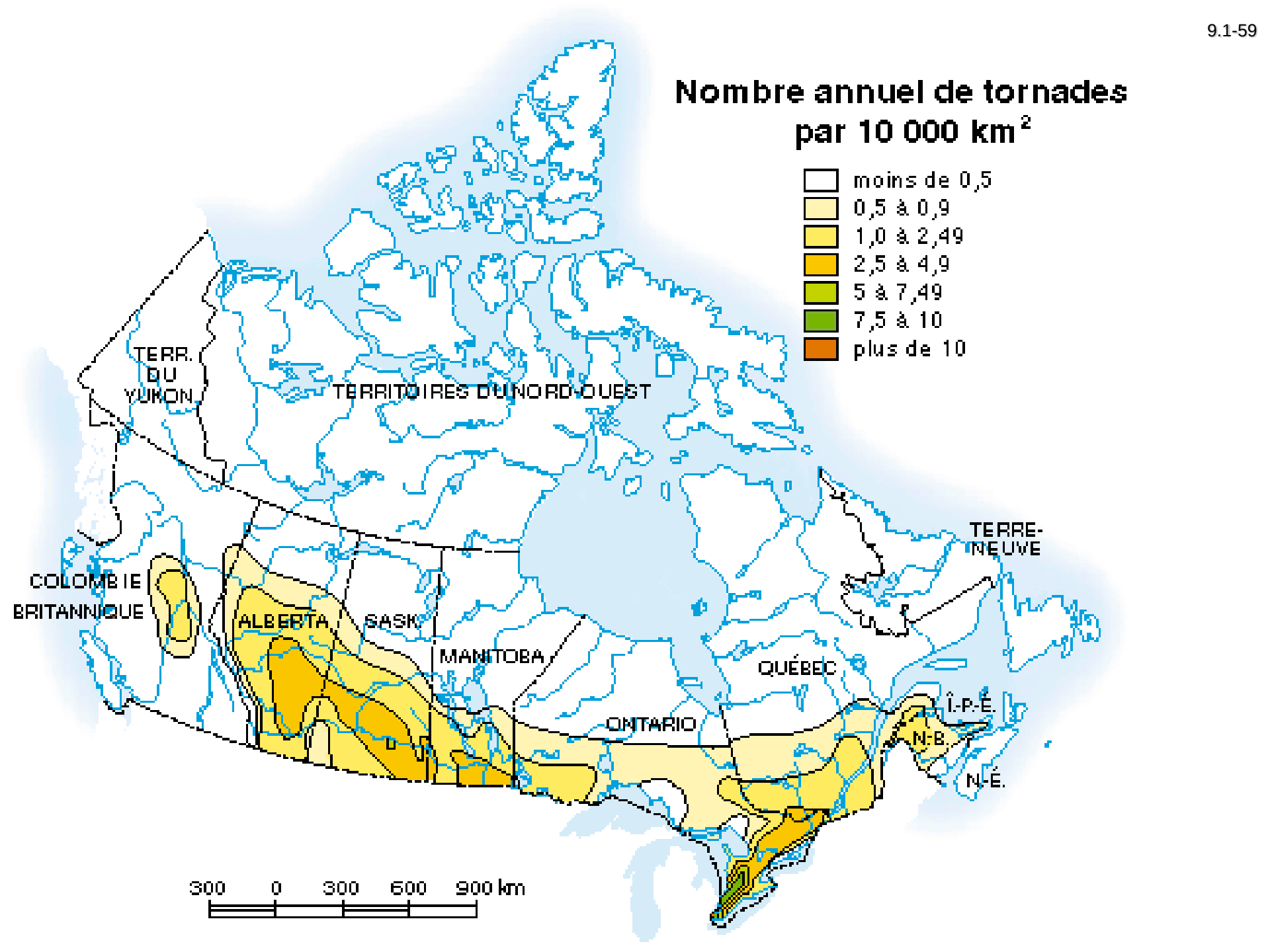
http://www.ustornadoes.com/2013/02/14/understanding-basic-tornadic-radar-signatures/

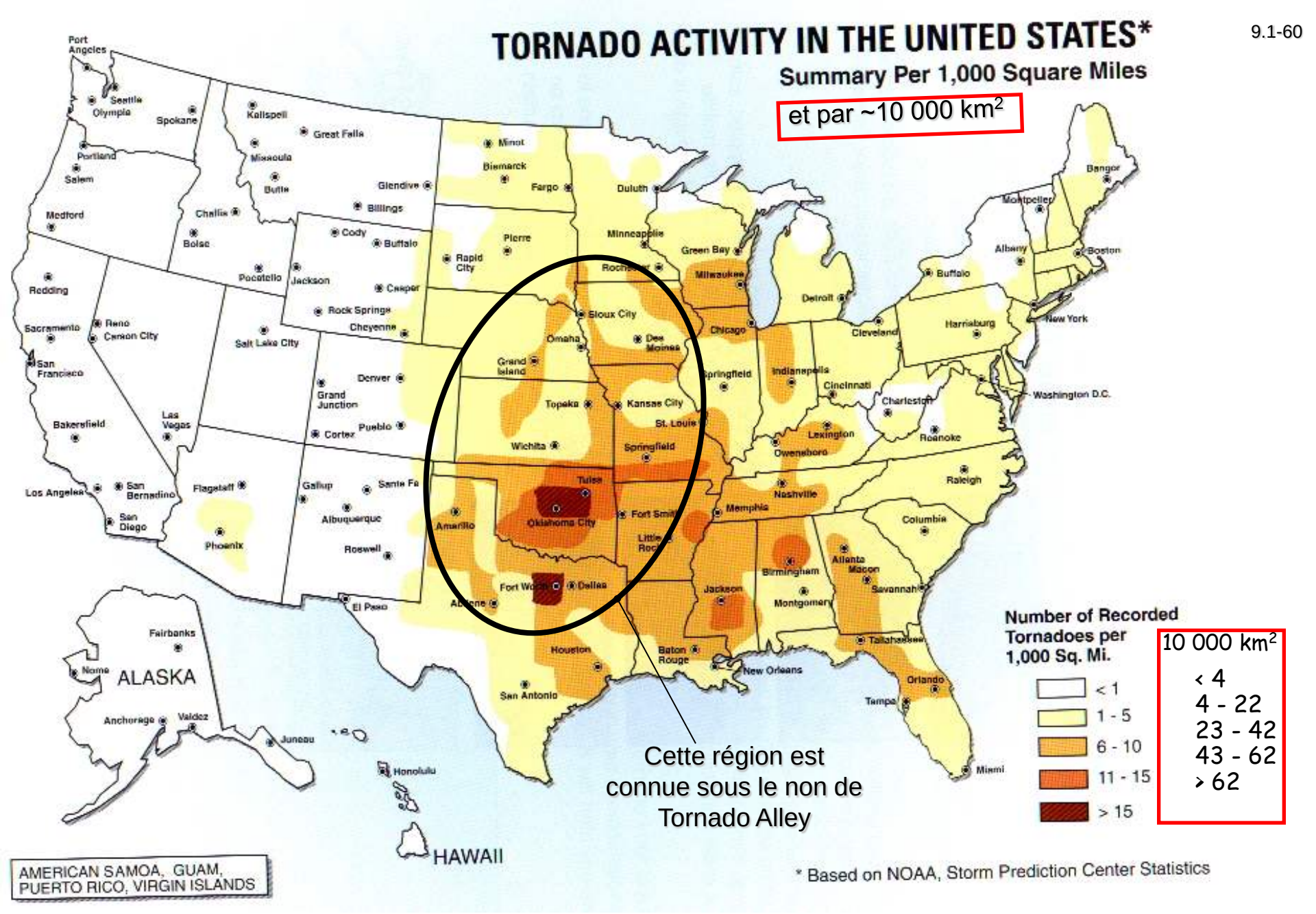
Échelle Fujita

F0	F1	F2	F3	F4	F5
Dommages légers	**Dommages** modérés	**Dommages** importants	**Dommages** sévères	**Dommages** dévastateurs	**Dommages** incroyables
Vitesse du vent 60 à 110 km/h	**Vitesse du vent** 120 à 170 km/h	**Vitesse du vent** 180 à 250 km/h	**Vitesse du vent** 260 à 330 km/h	**Vitesse du vent** 340 à 410 km/h	**Vitesse du vent** 420 à 510 km/h
Détail des dommages Antennes TV tordues, petites branches d'arbres cassées, caravanes déplacées.	**Détail des dommages** Caravanes renversées, arbres arrachés, dépendances soufflées.	**Détail des dommages** Toitures soulevées, objets légers transformés en projectiles, structures légères brisées.	**Détail des dommages** Murs de maisons renversés, arbres cassés dans les forêts, projectiles de grandes dimensions.	**Détail des dommages** Maisons bien construites rasées, gros projectiles, quelques arbres emportés par le vent.	**Détail des dommages** Fortes structures envolées, arbres emportés par le vent, projectiles à grande vitesse.

Échelle Fujita améliorée

New EF Scale	Old F-Scale	Typical Damage
EF0 (65-85 mph)	F0 (65-73 mph)	**Light damage.** Peels surface off some roofs; some damage to gutters or siding; branches broken off trees; shallow-rooted trees pushed over.
EF1 (86-110 mph)	F1 (73-112 mph)	**Moderate damage.** Roofs severely stripped; mobile homes overturned or badly damaged; loss of exterior doors; windows and other glass broken.
EF2(111-135 mph)	F2 (113-157 mph)	**Considerable damage.** Roofs torn off well-constructed houses; foundations of frame homes shifted; mobile homes completely destroyed; large trees snapped or uprooted; light-object missiles generated; cars lifted off ground.
EF3 (136-165 mph)	F3 (158-206 mph)	**Severe damage.** Entire stories of well-constructed houses destroyed; severe damage to large buildings such as shopping malls; trains overturned; trees debarked; heavy cars lifted off the ground and thrown; structures with weak foundations blown away some distance.
EF4 (166-200 mph)	F4 (207-260 mph)	**Devastating damage.** Whole frame houses Well-constructed houses and whole frame houses completely leveled; cars thrown and small missiles generated.
EF5 (>200 mph)	F5 (261-318 mph)	**Incredible damage.** Strong frame houses leveled off foundations and swept away; automobile-sized missiles fly through the air in excess of 100 m (109 yd); high-rise buildings have significant structural deformation; incredible phenomena will occur.
EF No rating	F6-F12 (319 mph to speed of sound)	**Inconceivable damage.** Should a tornado with the maximum wind speed in excess of F5 occur, the extent and types of damage may not be conceived. A number of missiles such as iceboxes, water heaters, storage tanks, automoblies, etc.will create serious secondary damage on structures.


Nombre annuel de tornades
par 10 000 km²
moins de 0,5
0,5 à 0,9
1,0 à 2,49
2,5 à 4,9
5 à 7,49
7,5 à 10
plus de 10
TERR. DU YUKON
TERRITOIRES DU NORD-OUEST
COLOMBIE BRITANNIQUE
ALBERTA
SASK.
MANITOBA
ONTARIO
QUÉBEC
TERRE-NEUVE
Î.-P.-É.
N.-B.
N.-É.
300 0 300 600 900 km


TORNADO ACTIVITY IN THE UNITED STATES*
Summary Per 1,000 Square Miles
et par ~10 000 km²
Cette région est connue sous le non de Tornado Alley
Number of Recorded Tornadoes per 1,000 Sq. Mi.
< 1
1 - 5
6 - 10
11 - 15
> 15
10 000 km²
< 4
4 - 22
23 - 42
43 - 62
> 62
ALASKA
HAWAII
AMERICAN SAMOA, GUAM, PUERTO RICO, VIRGIN ISLANDS
* Based on NOAA, Storm Prediction Center Statistics

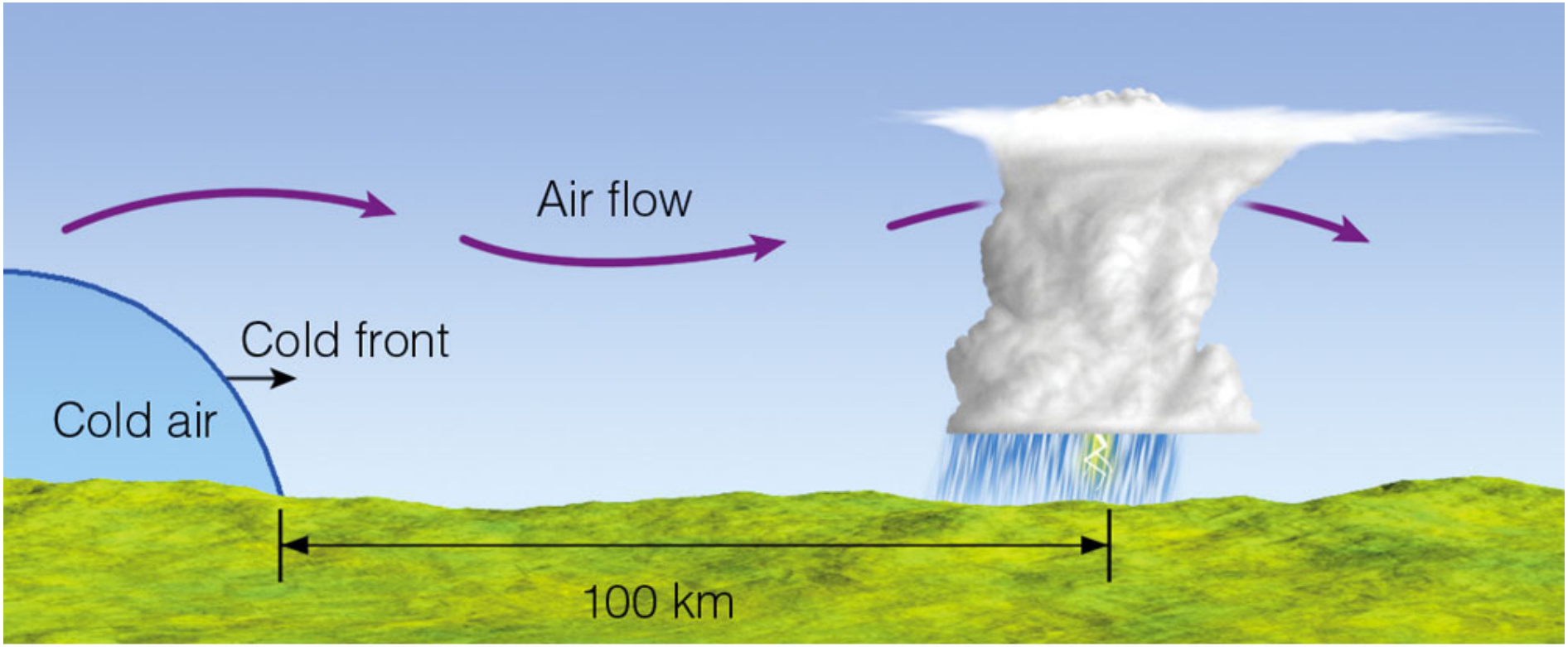
Un **système convectif de méso-échelle** (SCM) est un ensemble d'orages qui se répartissent avec le temps, en ligne ou en zones, pour former des entités qui peuvent occuper de plusieurs dizaines à quelques centaines de kilomètres de longueur ou de diamètre (méso-échelle). Ces systèmes météorologiques sont souvent associés avec du temps violent car les orages intenses qui les composent peuvent produire des pluies torrentielles causant des inondations, des vents de plus de 90 km/h et parfois de la grosse grêle. Ces phénomènes, même s'ils ont une durée de vie en général plus limitée que ceux produits par les dépressions synoptiques, affectent quand même de larges zones à cause du déplacement du système. Source : Wikipédia.

Lignes de grain

Complexes convectifs

CONVECTION À MÉSO-ÉCHELLE

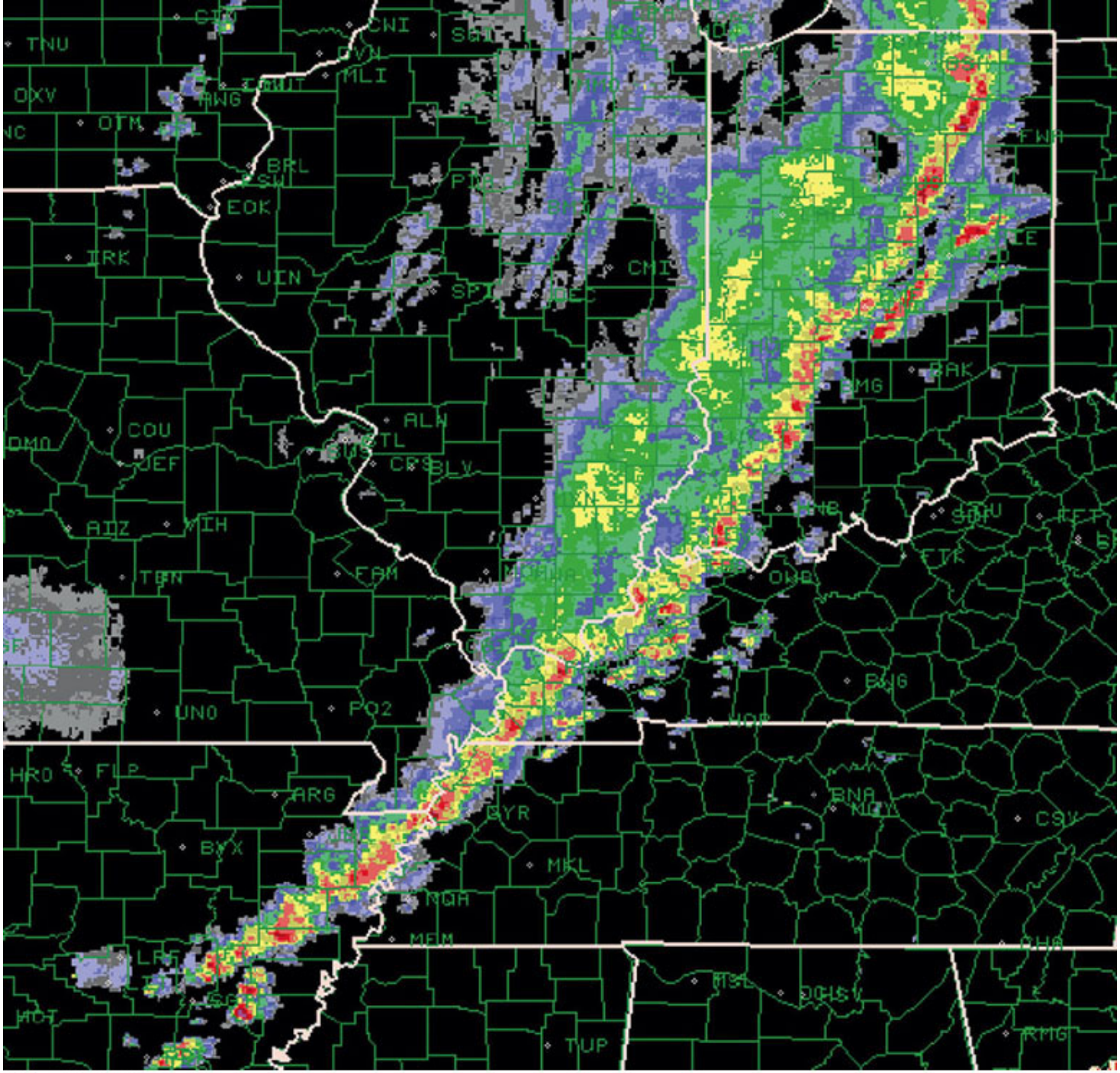
Les lignes de grain



© Brooks/Cole, Cengage Learning

Ligne d'orages préfrontale : en avant du front froid.

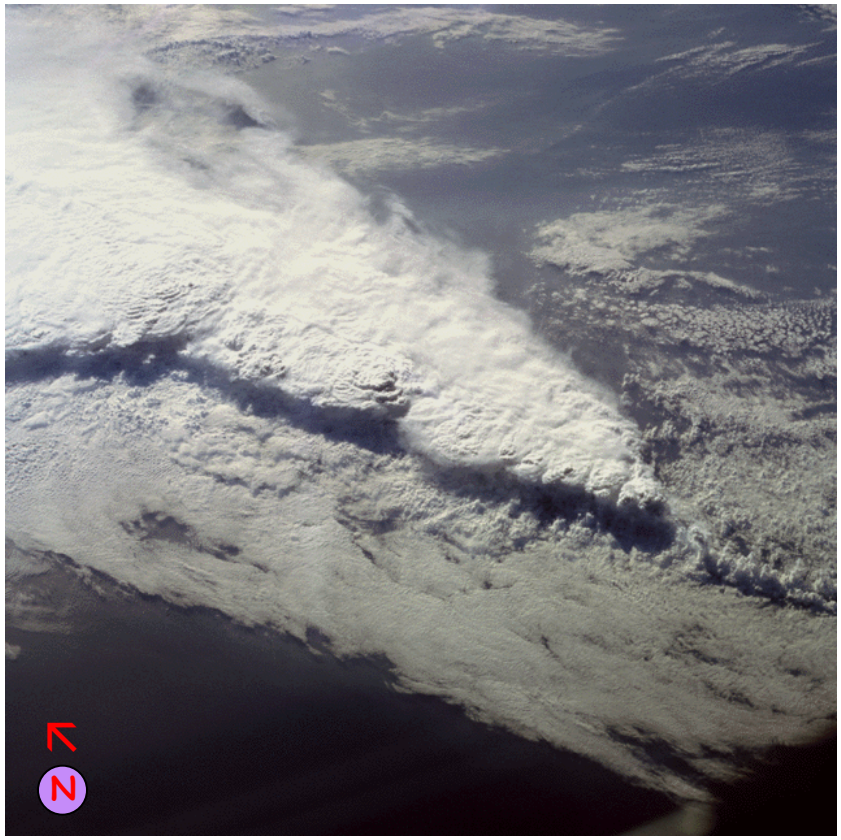
- Lorsque des orages multicellulaires se rassemblent en une ligne et que cette ligne se déplace avec le vent moyen, on a affaire à une ligne de grain. Ceci arrive quand, dans une masse d'air très chaude et humide, le soulèvement est fort. On les observe souvent en avant d'un intense front froid : ligne de grain préfrontale



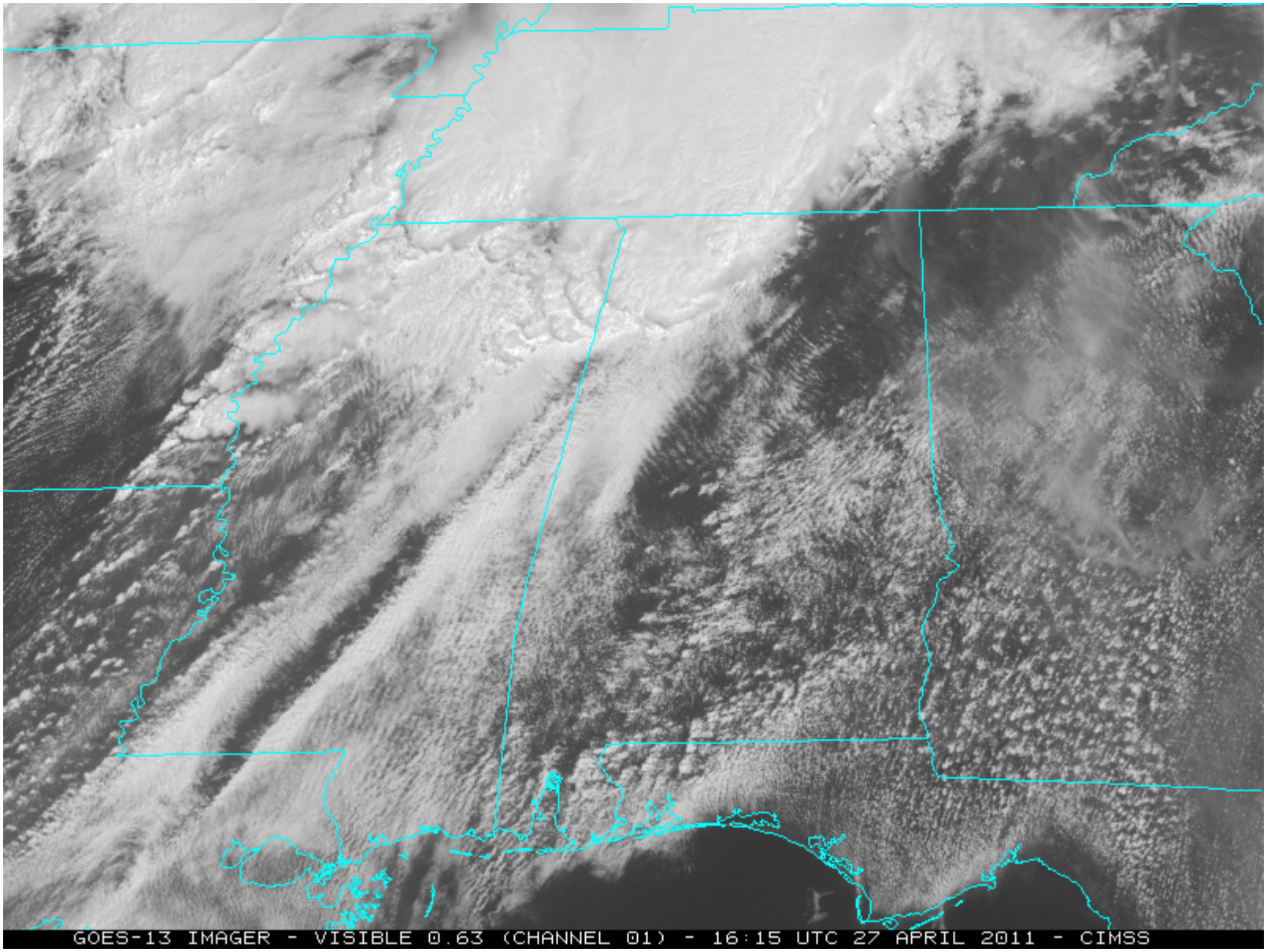
© Brooks/Cole, Cengage Learning

Les lignes de grain

- Les lignes de grain peuvent donner des vents violents, des microrafales, de la grêle de taille modérée (petits pois, raisins et noix), des pluies diluviennes (crues subites) et des faibles tornades.



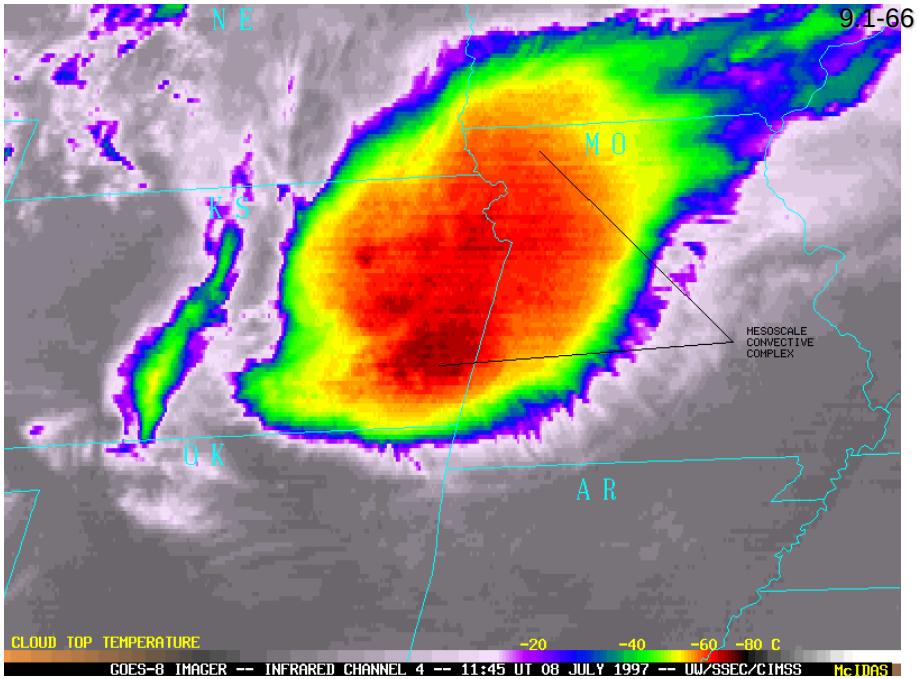
Florida, U.S.A Squall Line; Target Name: Earth;
Spacecraft: Space Shuttle; Produced by: NASA;
Copyright: NASA Copyright Free Policy;
Cross Reference: STS41C-40-2130;
Date Released: April 1984

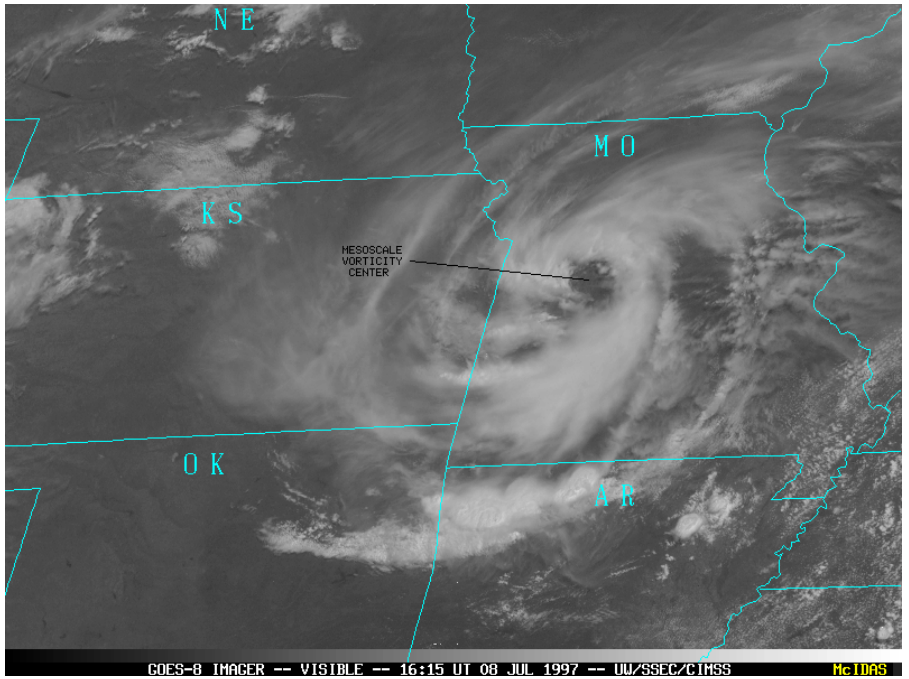

GOES-13 IMAGER - VISIBLE 0.63 (CHANNEL 01) - 16:15 UTC 27 APRIL 2011 - CIMSS

Les vortex convectifs de mésoéchelle

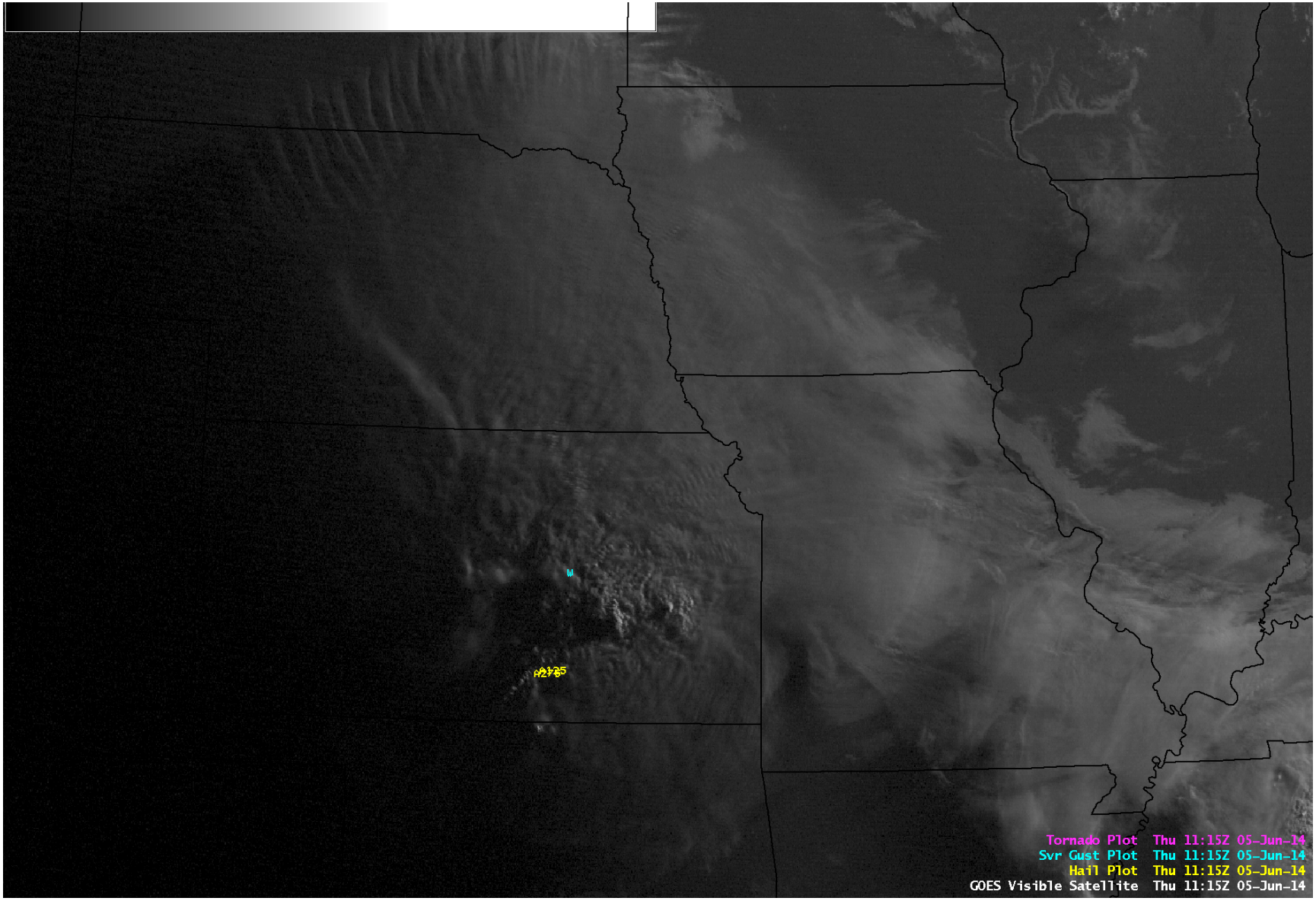
http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/misc/970708.html
http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/misc/interesting_images.html

Grande étendue d'orages, de forme ronde ou ovale, de plus de 400 - 500 km de taille, ayant une durée de vie de 6 heures et plus. Ils se forment normalement l'après-midi ou le soir, ils atteignent leur pic d'intensité la nuit. À ce moment-là, le danger immédiat est l'inondation. Du temps violent sous la forme de bourrasques de vent, de gros grêlons et de tornades peut se produire en tout temps.

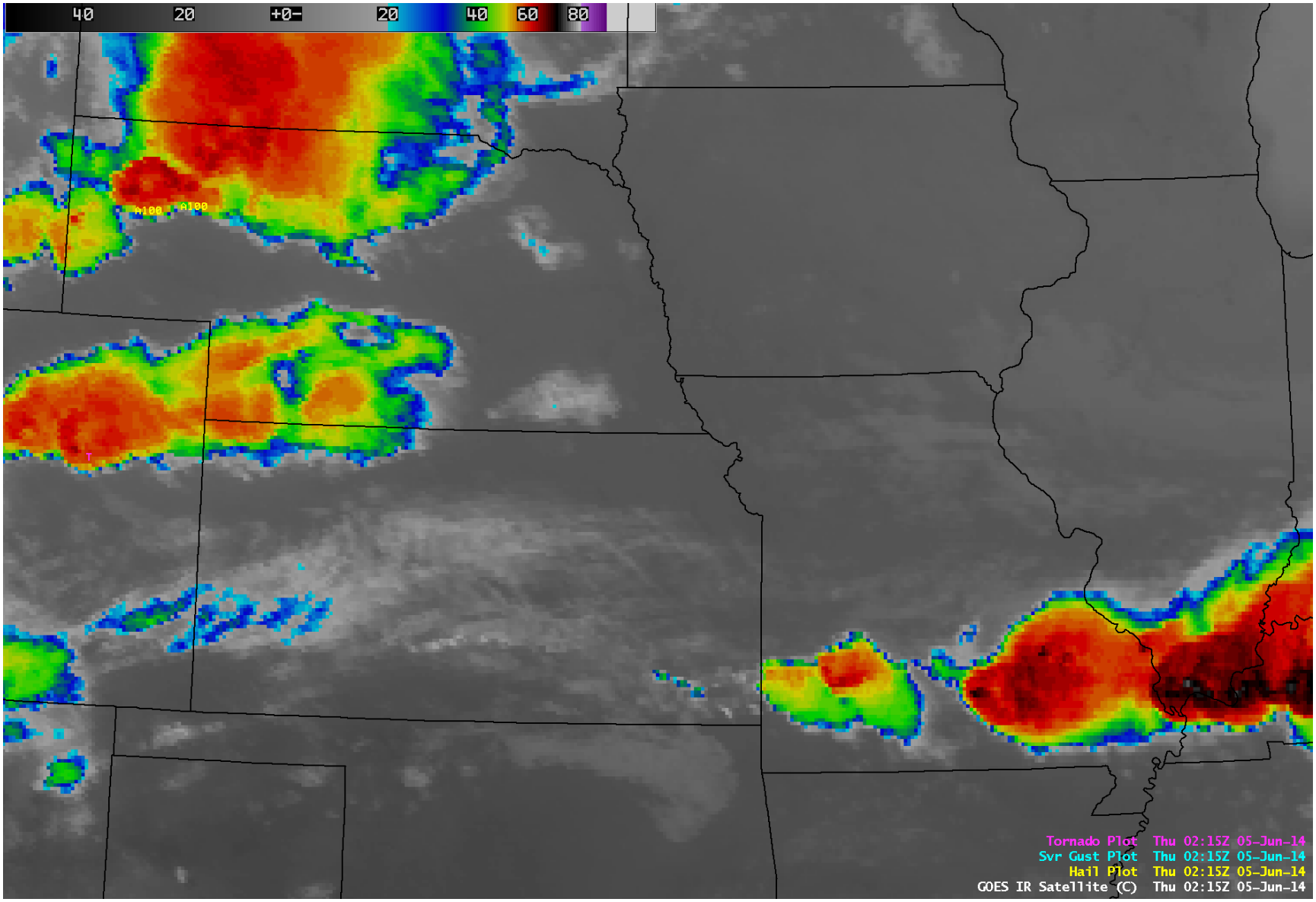




La croissance d'un «système convectif à mésoéchelle», ou MCS, se manifeste dans cette animation d'images visibles du satellite météorologique GOES-13 alors que le système se déplaçait à travers le Kansas et dans la vallée de la rivière Mississippi le 5 juin. 2014. (Source: Institut coopératif d'études météorologiques)



Animation d'images infrarouges du satellite météorologique GOES-13 du même système convectif à meso-échelle (le 05 juin 2014)

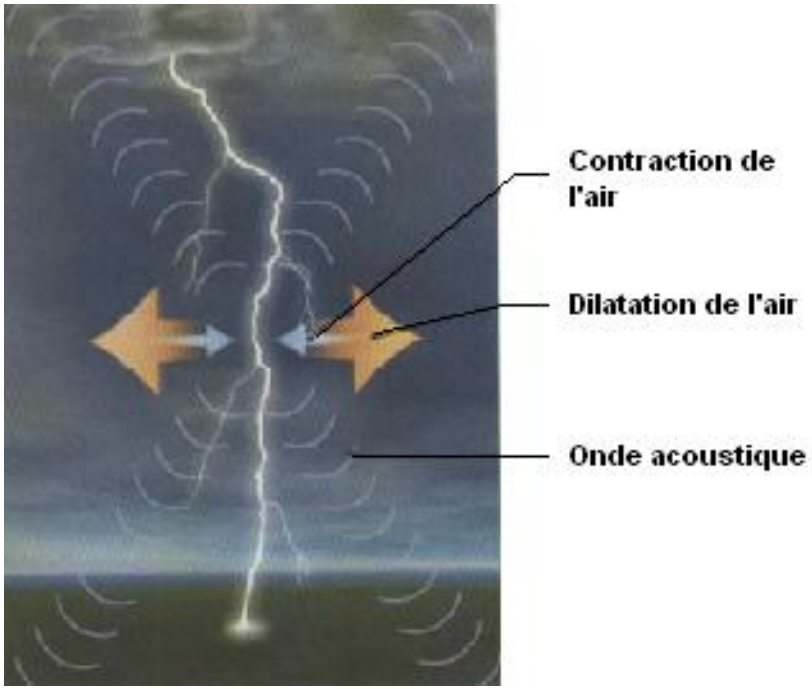


Les grondements de l’atmosphère : une tempête sans foudre, n’est pas un orage!

https://www.youtube.com/watch?v=1Pg6JQgjKnI

De la foudre au tonnerre

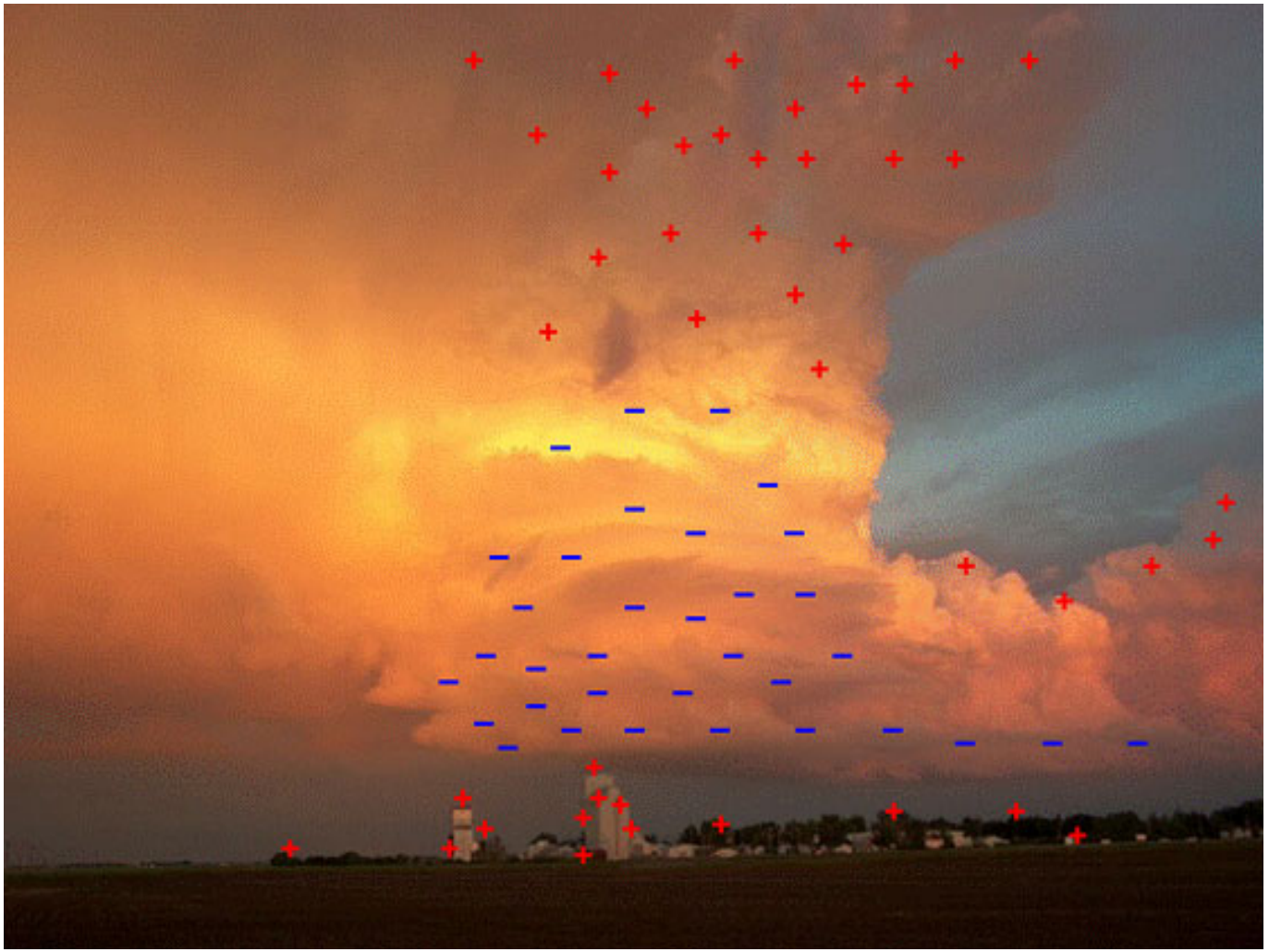
La décharge électrique provoque une augmentation de la température de 30 000°C. L'air se dilate brusquement , dilatation qui est suivie d'une contraction. Ce double mouvement crée une onde de choc qui se transforme en onde acoustique, le tonnerre.



Provenant de toute la longueur de l'éclair, le tonnerre ne parvient pas à un observateur comme un bruit sec mais plutôt comme un grondement.

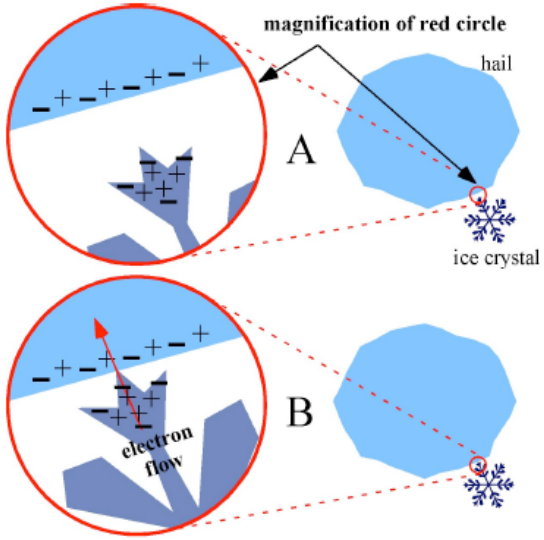
Alors que nous percevons presque instantanément l'éclat d'un éclair, le tonnerre nous parvient avec un léger retard, car la vitesse du son est moins grande que celle de la lumière. En comptant le nombre de secondes de retard et en le divisant par 3, on obtient une bonne estimation de la distance (en kilomètre) du lieu où est tombée la foudre.

Comment le nuage devient électrifié



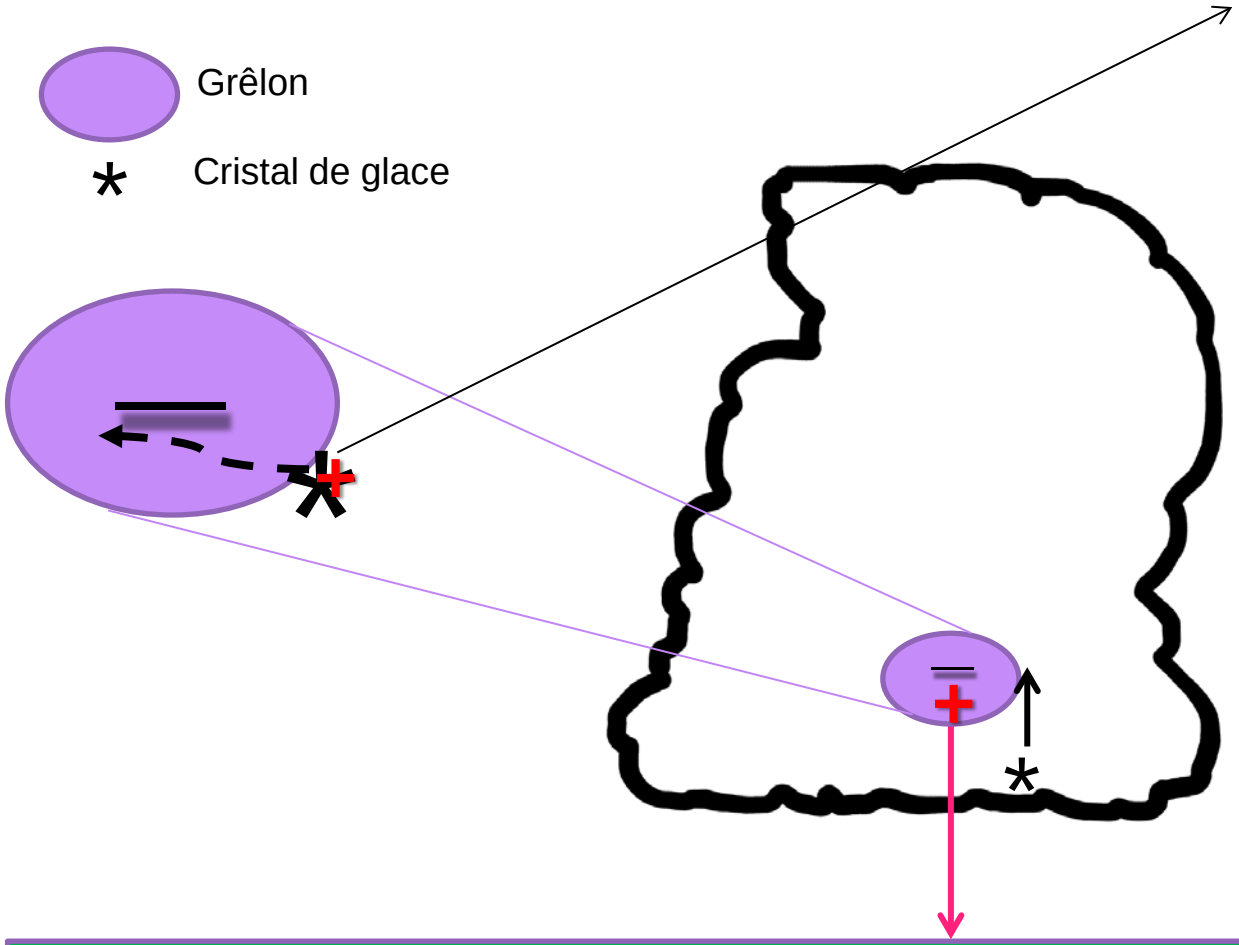
https://www.weathervideohd.tv/wvhd.php?mod=detail&asset=1091

Électrification du nuage une théorie…



Grêlon

Cristal de glace



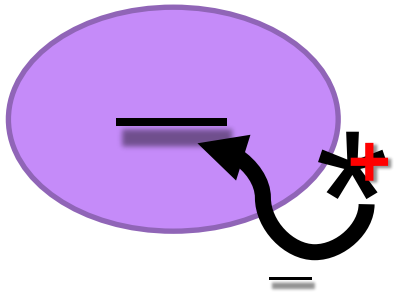
Les grêlons et la grêle grossissent par givrage (collection de gouttes surfondus) pendant que les cristaux grossissent par diffusion. La charge est distribuée différemment dans les deux particules.

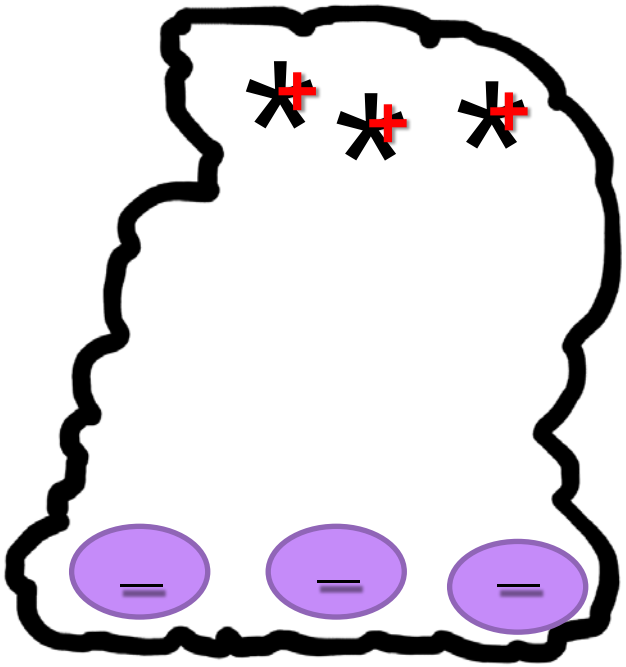
surface

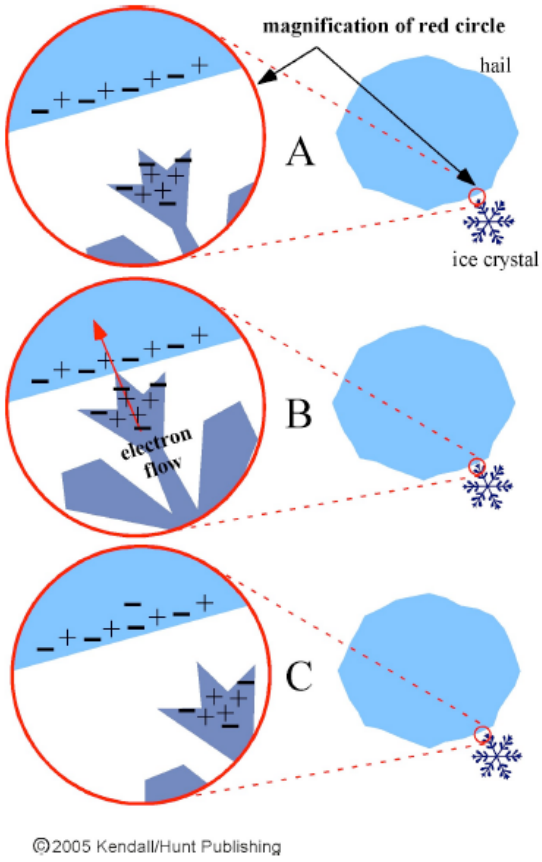
Électrification du nuage une théorie…

Grêlon

Cristal de glace

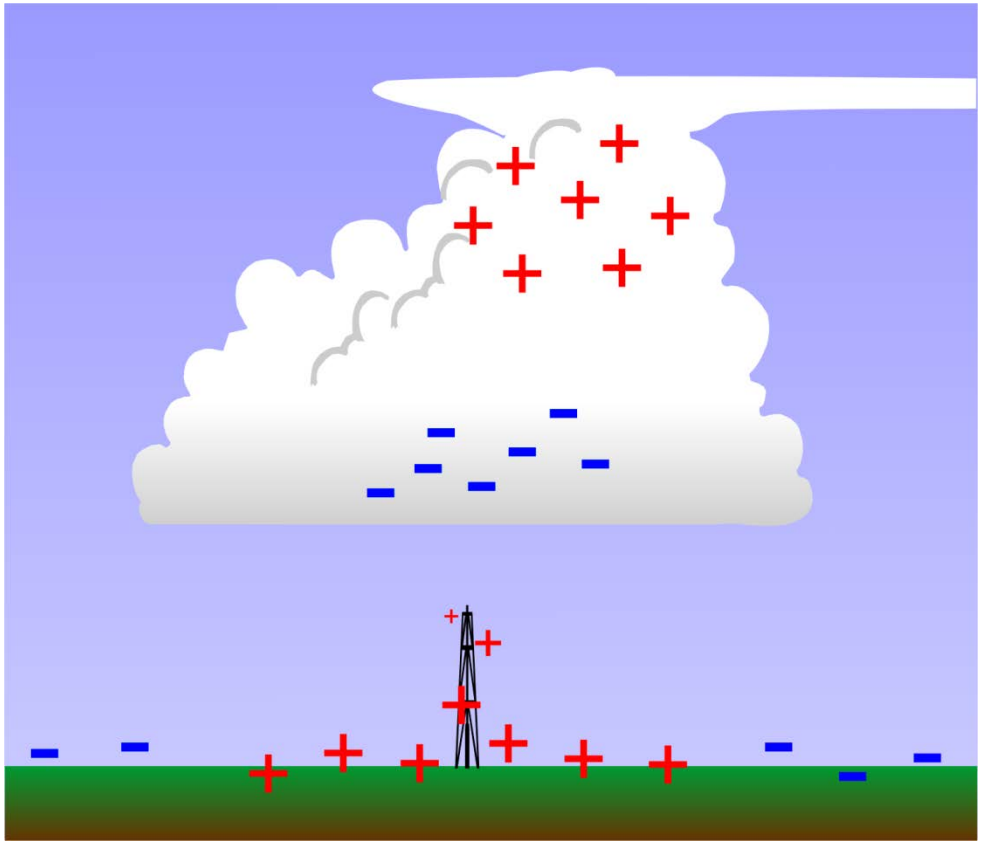




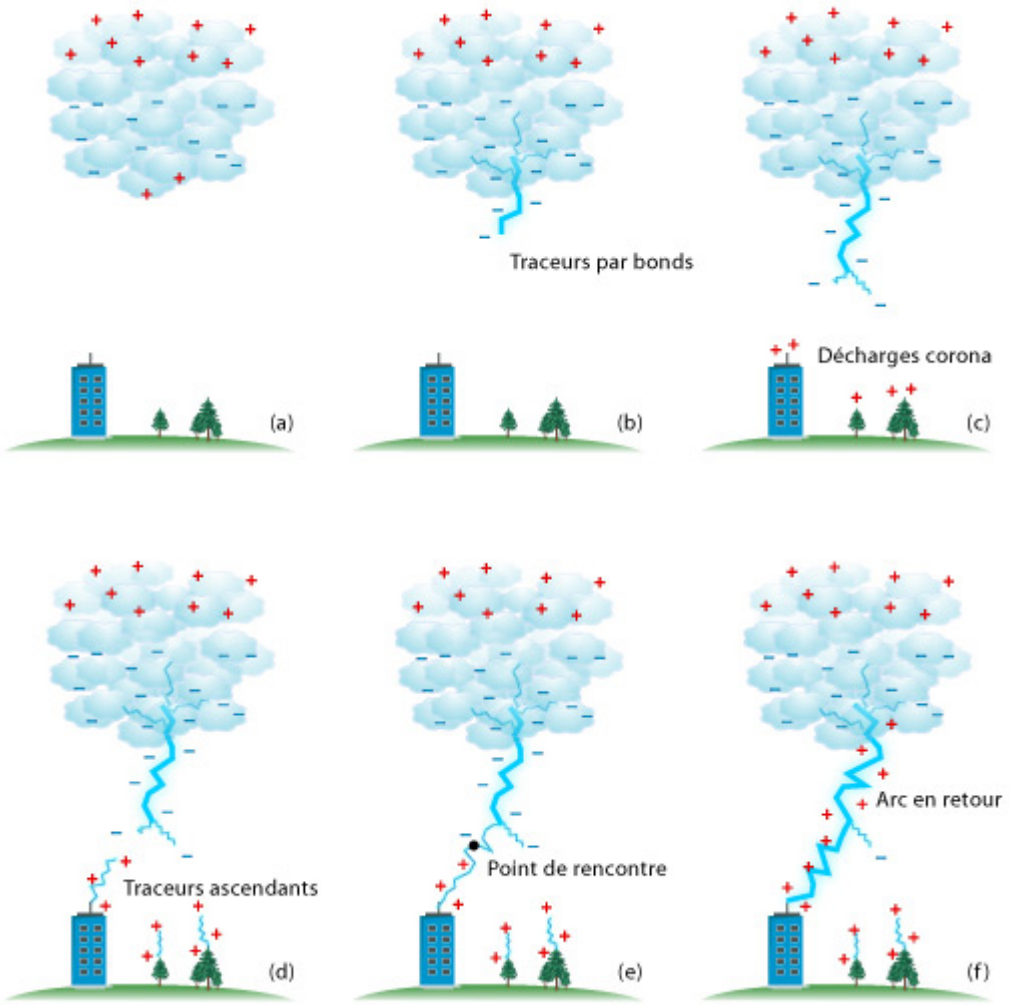


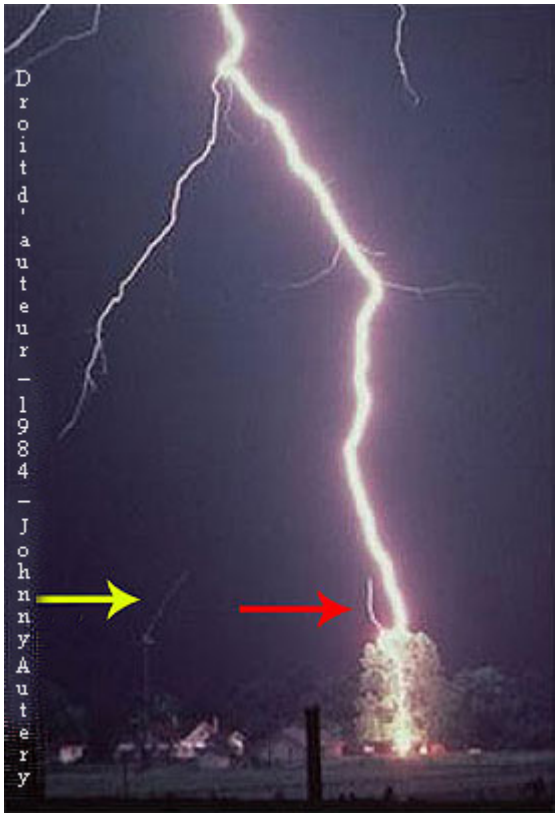
©2005 Kendall/Hunt Publishing

Modèle à deux couches



La décharge

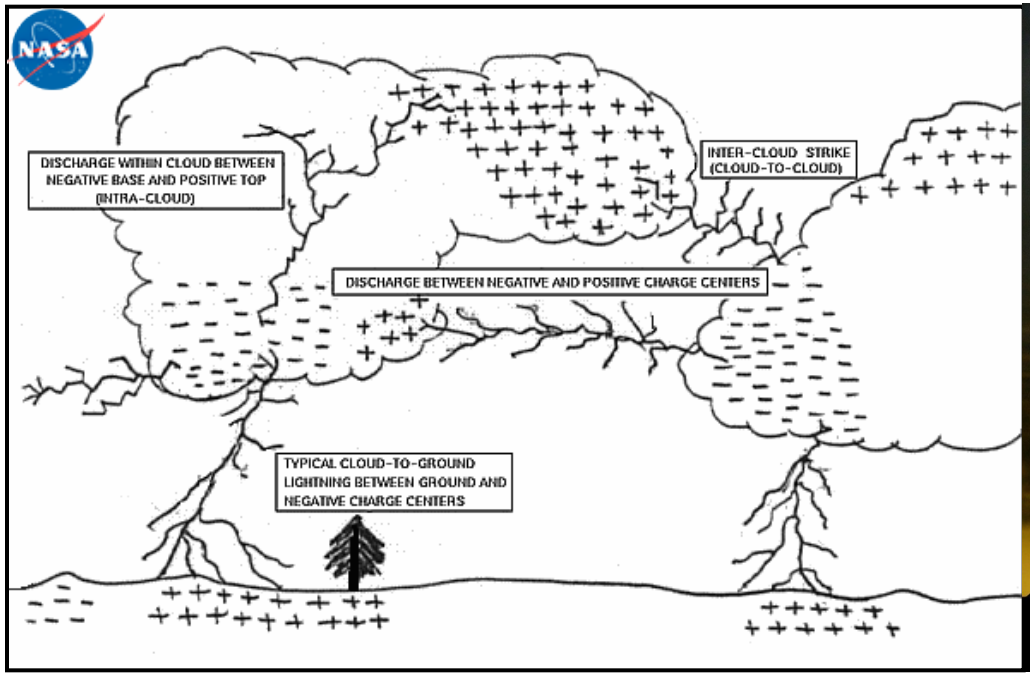




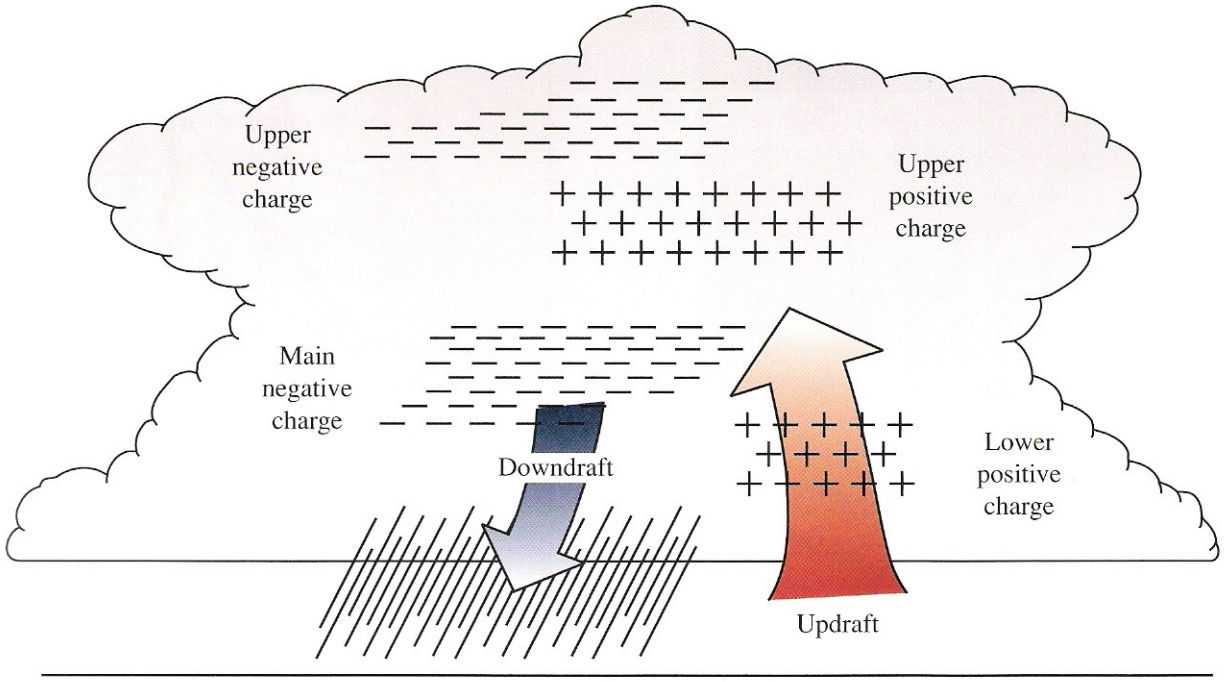
http://www.foudre-ineo.com/rep-la_foudre/rub-decharges_atmospheriques.html

La foudre

- Formes de foudre :
  - Interne : entre deux points dans le même nuage (la plupart des éclairs sont de ce type : ~ 80%)
  - Nuage-nuage : entre deux nuages adjacents (rares)
  - Nuage-air : entre le nuage et l'air clair (rares)
  - Nuage-sol : entre le nuage et le sol (~ 20 %)

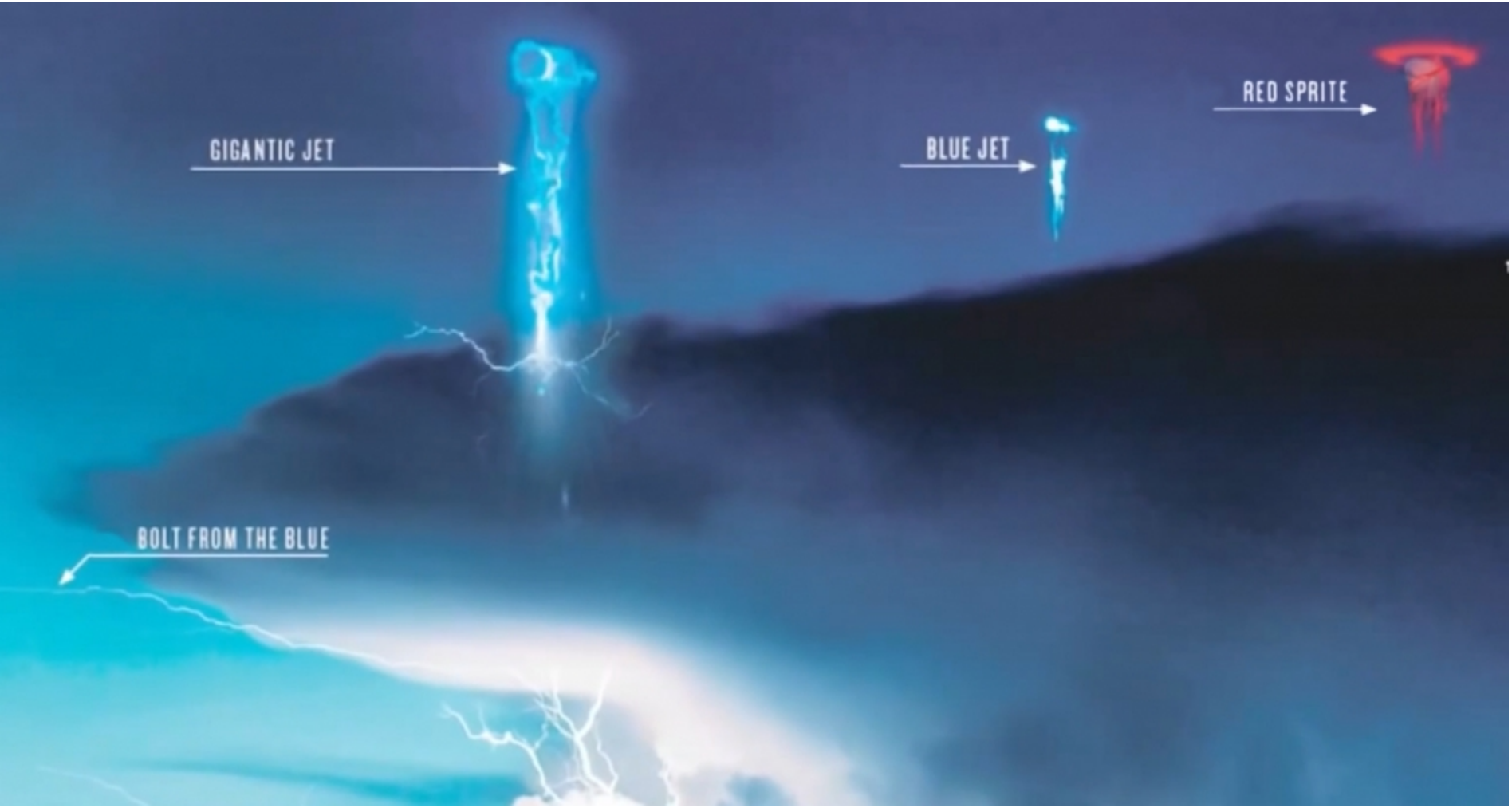


Mais, dans la nature, rien est si simple…



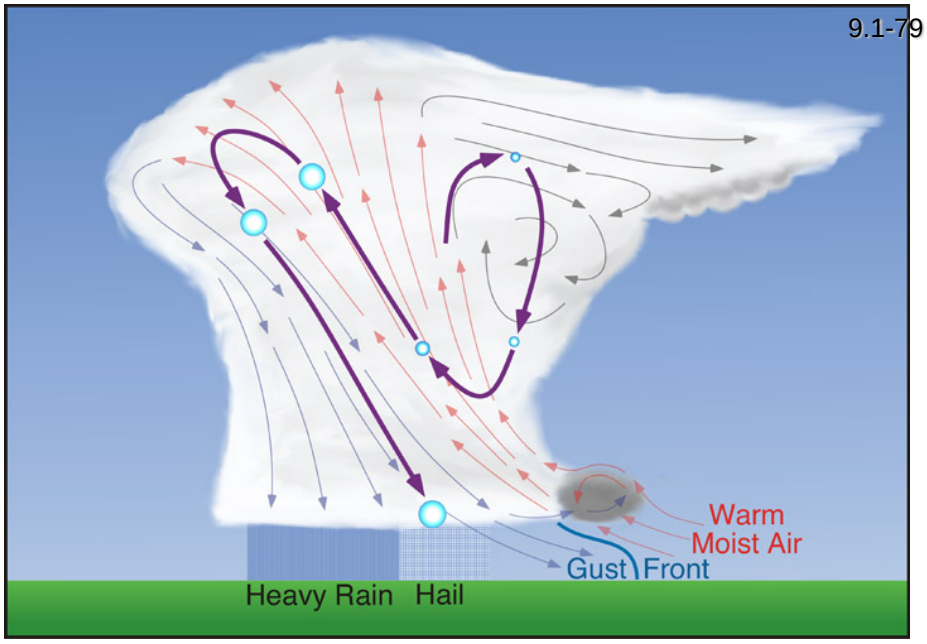
La distribution de charge dans un orage d'après la recherche menée à l'université de Mississipi. La distribution de charges dans le nuage est plus compliquée que celle du modèle à deux couches. Courtoisie des Dr Maribeth Stolzenburg et Dr Thomas Marshall, Journal of Geophysics Research, 1998.

L’électricité est dans l’air…



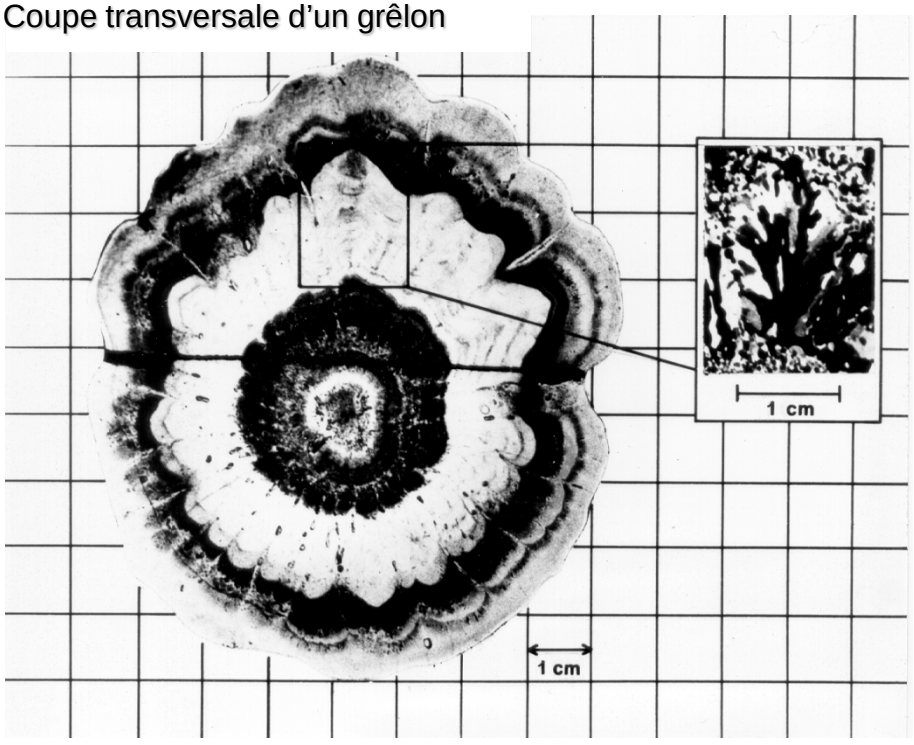
https://www.nasa.gov/content/goddard/iss-firestation-explores-tops-of-thunderstorms/

La grêle



Nancy Knight tient dans sa main un des plus gros grêlons répertoriés : diamètre 14,4 cm; poids 0.75 kg; lieu Coffeyville, KS. (Librairie photographique de NOAA.) Le plus gros grêlon répertorié aux US a un diamètre d'environ 18 cm.

Coupe transversale d'un grêlon



Climatologie de la grêle

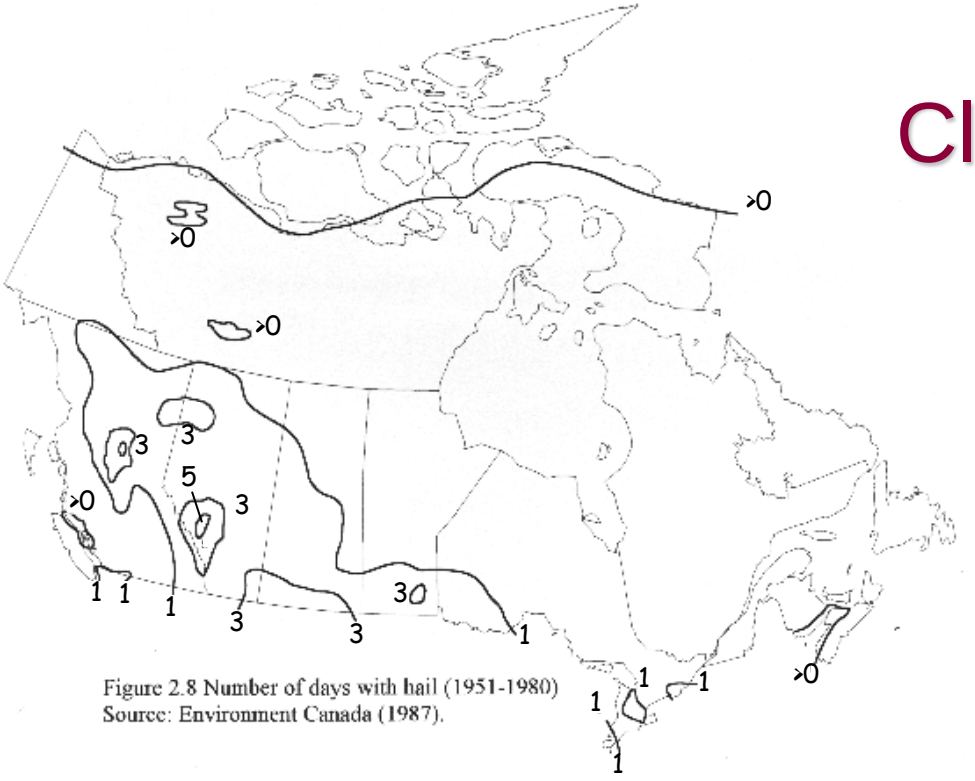
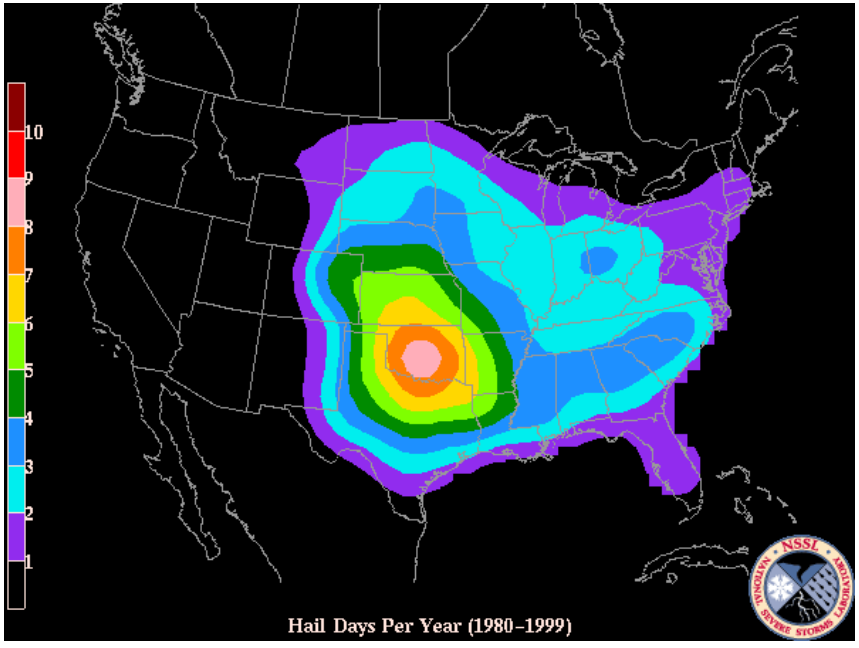


Figure 2.8 Number of days with hail (1951-1980)
Source: Environment Canada (1987).

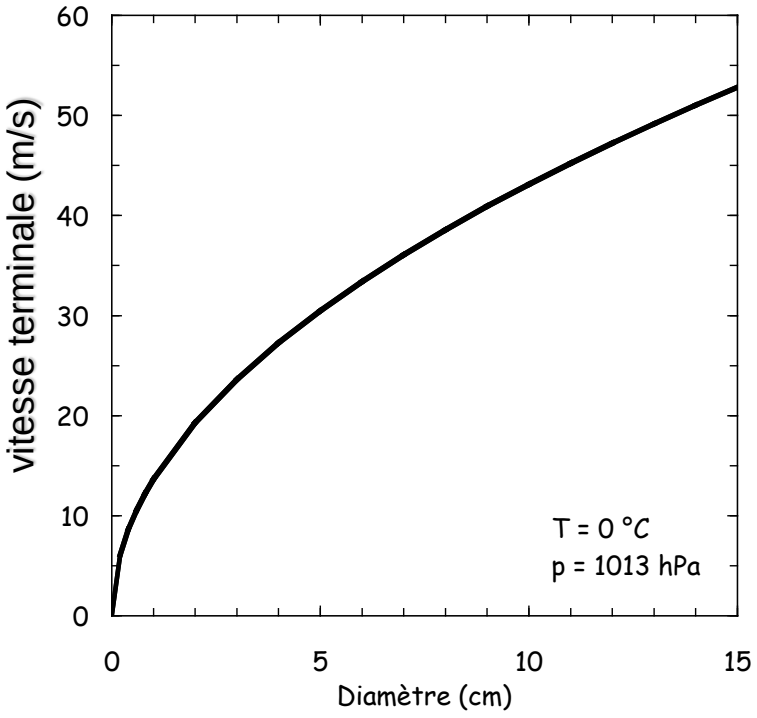


Principales tempêtes de grêle au Canada

http://atlas.nrcan.gc.ca/sites/francais/maps/environment/naturalhazards/naturalhazards1999/majorhailstorms/hailstorms_stats_new.html
…

Calgary-1998 : Deux tempêtes de grêle se produisent les 4 et 5 juillet et le 8 juillet. Le 4 juillet, il tombe également **43,2 millimètres de pluie** à Calgary. La tempête du 8 juillet est accompagnée **de vents atteignant 100 kilomètres à l'heure** qui arrachent des toits de serres. Des grêlons dont la taille va de celle d'un pois à celle d'une **balle de base-ball** provoquent une inondation; l'eau monte à la taille, forçant de nombreuses personnes à abandonner leur voiture à des croisements. **On sort les chasse-neige pour dégager les routes dont certaines sont détruites par la grêle.** Un entrepôt s'effondre et un magasin doit fermer à cause de l'éclatement d'une conduite d'égout. Des glissements de terrain provoquent des coulées de boue et de roches qui bloquent des routes et des voies ferrées.
Source : Protection civile Canada.

Dommages causés par la grêle



Bonne été et merci beaucoup!

Références

- https://xtremchasequebec.com/page/8/
- Wallace and Hobbs, 2006 : Atmospheric Science. An Introductory Survey