



Plan du cours

- 1) L'atmosphère terrestre
- 2) Température
- 3) Pression atmosphérique
- 4) Humidité et Stabilité
- 5) Circulation Générale - Mouvement
- 6) Masses d'air
- 7) Perturbations synoptiques des zones tempérées
- 8) Nuages et précipitations



Nuages

Généralités

Formation

Classification

Les nuages supérieurs

Les nuages moyens

Les nuages inférieurs

Description nuageuse

Précipitations

Généralités

Formation

Mesure

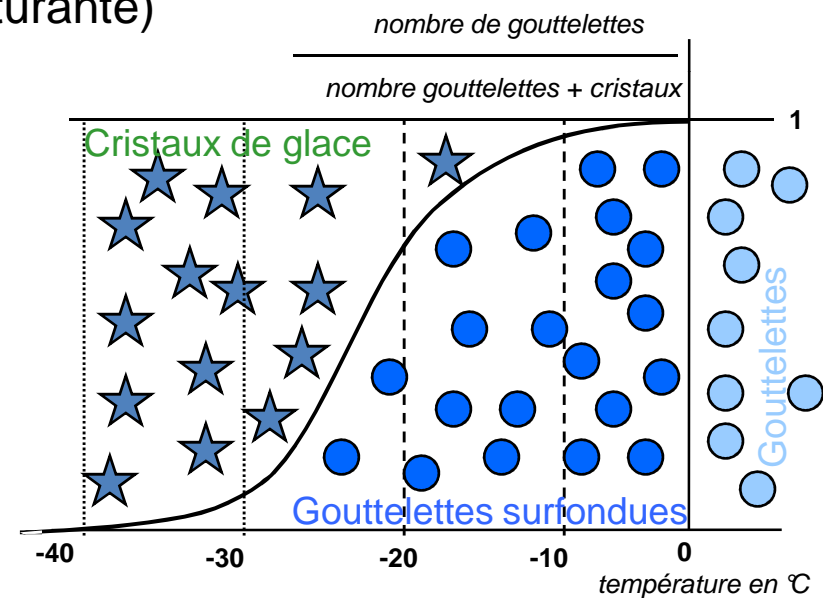
Climatologie





Généralités :

- Définition :
 - ensemble visible de gouttelettes d'eau liquide et/ou de cristaux de glace en suspension dans l'atmosphère
- Constitution physique
 - air saturé (air sec + vapeur d'eau saturante)
 - gouttelettes d'eau liquide
 - cristaux de glace
 - particules solides
- Microstructure
 - les cristaux
 - $-3^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ apparition
 - $-12^{\circ}\text{C} \Rightarrow 1 \square / 10\text{m}^3$
 - $-30^{\circ}\text{C} \Rightarrow > 1 \square / \text{cm}^3$
 - $-41^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ accroissement systématique





Généralités :

- Microstructure (suite)
 - les gouttelettes
 - gouttelettes élémentaires formées par condensation
 - après grossissement diamètre moyen : 10 à 40 μm
 - nombre 10 à 1000/ cm^3
 - séparation 50 à 100 fois leur diamètre
 - quantité d'eau liquide de 0,1 à 0,5g/ m^3 (nuages stables) de 0,5 à 5g/ m^3 (nuages instables)
 - vitesse limite de chute
 - $\varnothing = 0,2\mu \Rightarrow V_z = 0,05 \text{ cm/s}$
 - $\varnothing = 20\mu \Rightarrow V_z = 5 \text{ cm/s}$
 - $\varnothing = 50\mu \Rightarrow V_z = 30 \text{ cm/s}$
 - $\varnothing = 100\mu \Rightarrow V_z = 120 \text{ cm/s}$
 - $\varnothing \Rightarrow$ de 1 à 4 mm \Rightarrow 30 à 80 cm/s

courants ascendants de 1 à 1000 cm/s



Généralités :

- Formation des gouttelettes élémentaires
 - nucléation homogène très rare dans l'atmosphère requiert $400\% < U < 480\%$
 - nucléation hétérogène : les aérosols servent de support à la condensation dès que $U=100\%$
- Formation des cristaux
 - nucléation homogène possible en-dessous de -36°C (nuages élevés)
 - nucléation hétérogène à partir de noyaux glaçogènes. L'atmosphère est relativement pauvre en noyaux glaçogènes actifs d'où la présence de sursaturation par rapport à la phase glace et de surfusion assez généralisée entre 0°C et $-10^{\circ}\text{C}/-15^{\circ}\text{C}$



Formation des nuages :

1/ 90 % Ascendance d'air humide (détente adiabatique)

- zones dépressionnaires
- au voisinages des reliefs
- la convection
- la turbulence

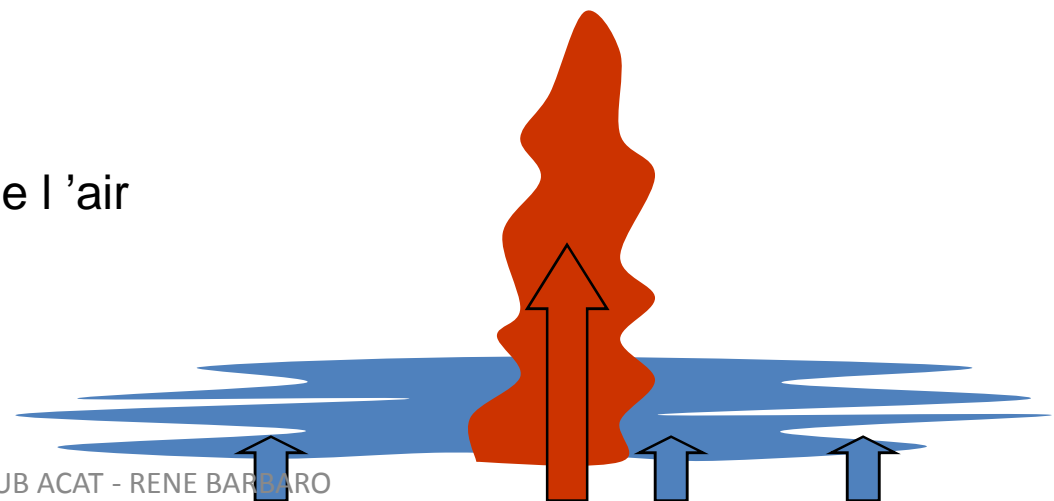
2/ développement ou épaisseur du nuage liés

- à la structure thermique de l'atmosphère
- aux mouvements verticaux
- à l'humidité
- au vent horizontal

aspect lié au degré d'instabilité de l'air

• **stabilité** = aspect stratiforme

• **instabilité** = aspect bourgeonnant

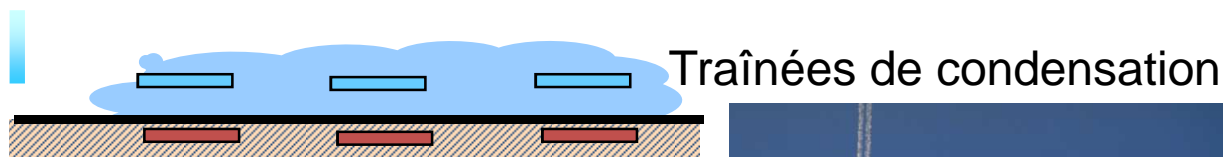




Formation des nuages :

- 10% restant
 - refroidissement isobare (brouillards en surface)
 - apport supplémentaire de vapeur (brouillards en surface, nuages frontaux, traînées de condensation)
 - apport supplémentaire de noyaux (traînées de condensation)

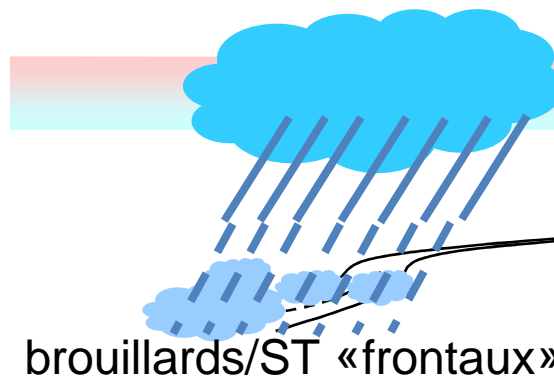
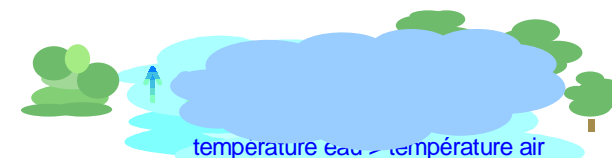
brouillard de rayonnement



brouillard d'advection



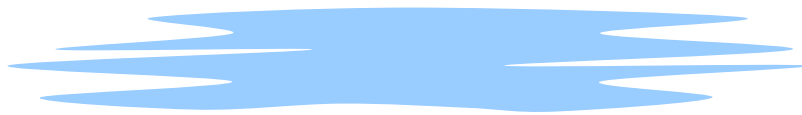
brouillard d'évaporation



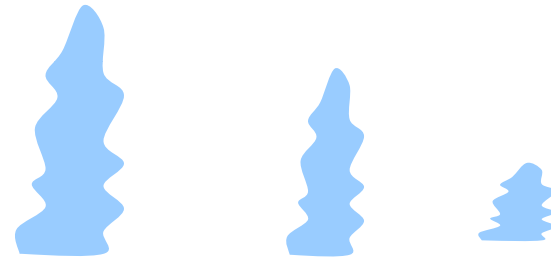


Classification internationale :

- Critères d'identification
 - étage :
hauteur de la base
 - forme



étalée, en voile, en couches (strates)
⇒ stable ⇒ **STRATUS**



bourgeonnante, isolée, arrondie «choux fleurs»
⇒ instable ⇒ **CUMULUS**

- épaisseur, développement
 - >3000 / 4000m ⇒ **NIMBUS** (pluvieux)



Classification internationale :

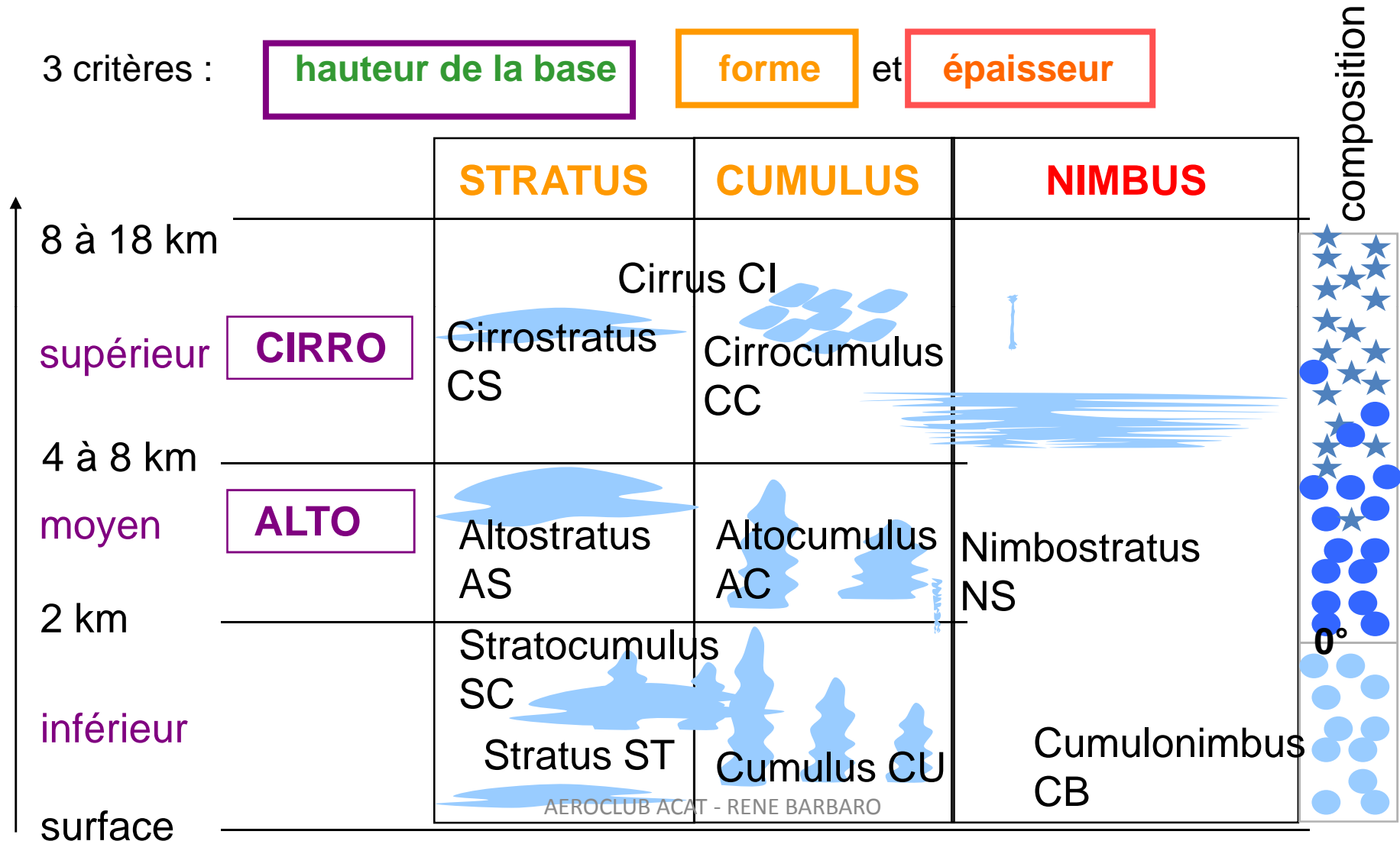
3 critères :

hauteur de la base

forme

et

épaisseur

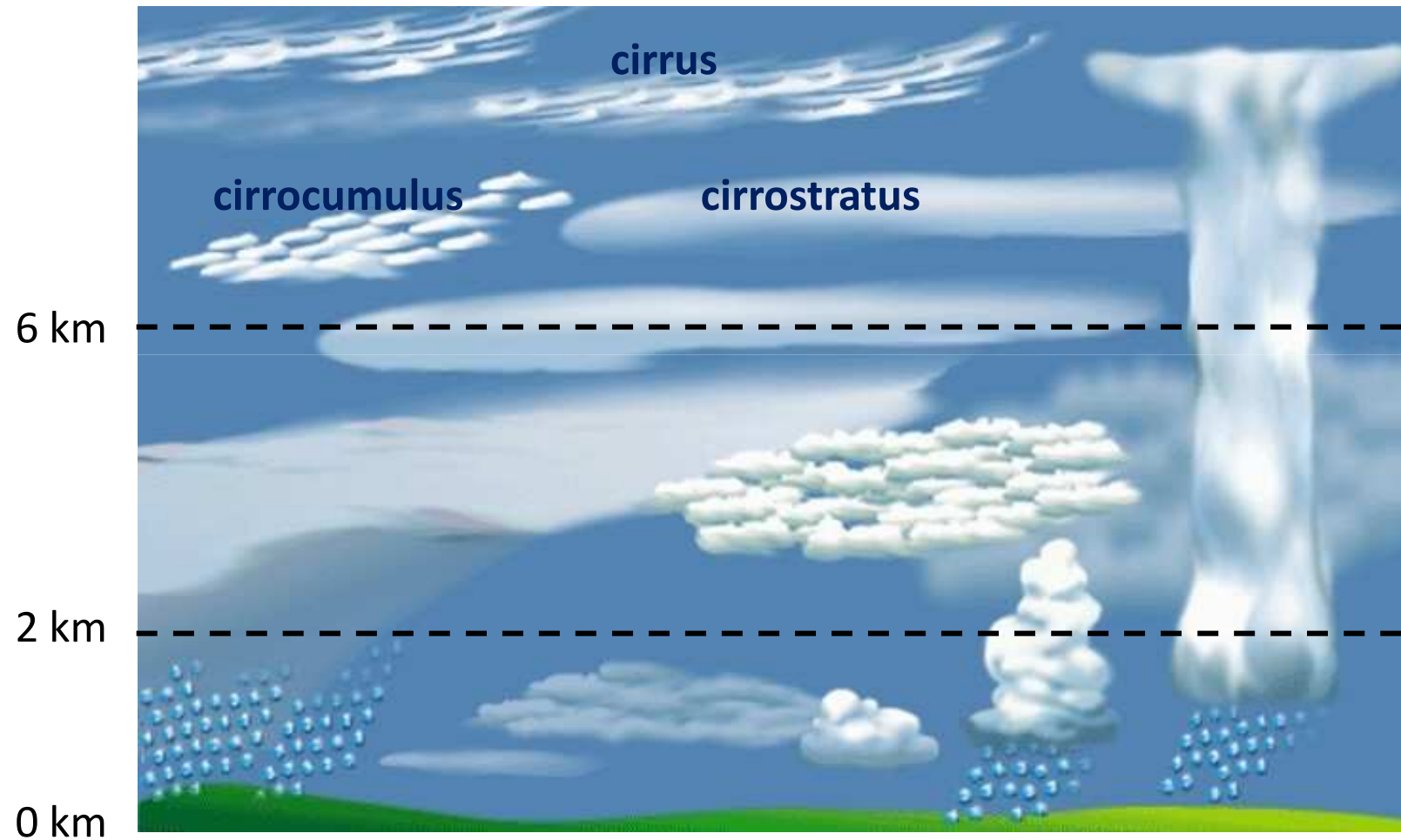




Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Nuages et précipitations

étage supérieur :

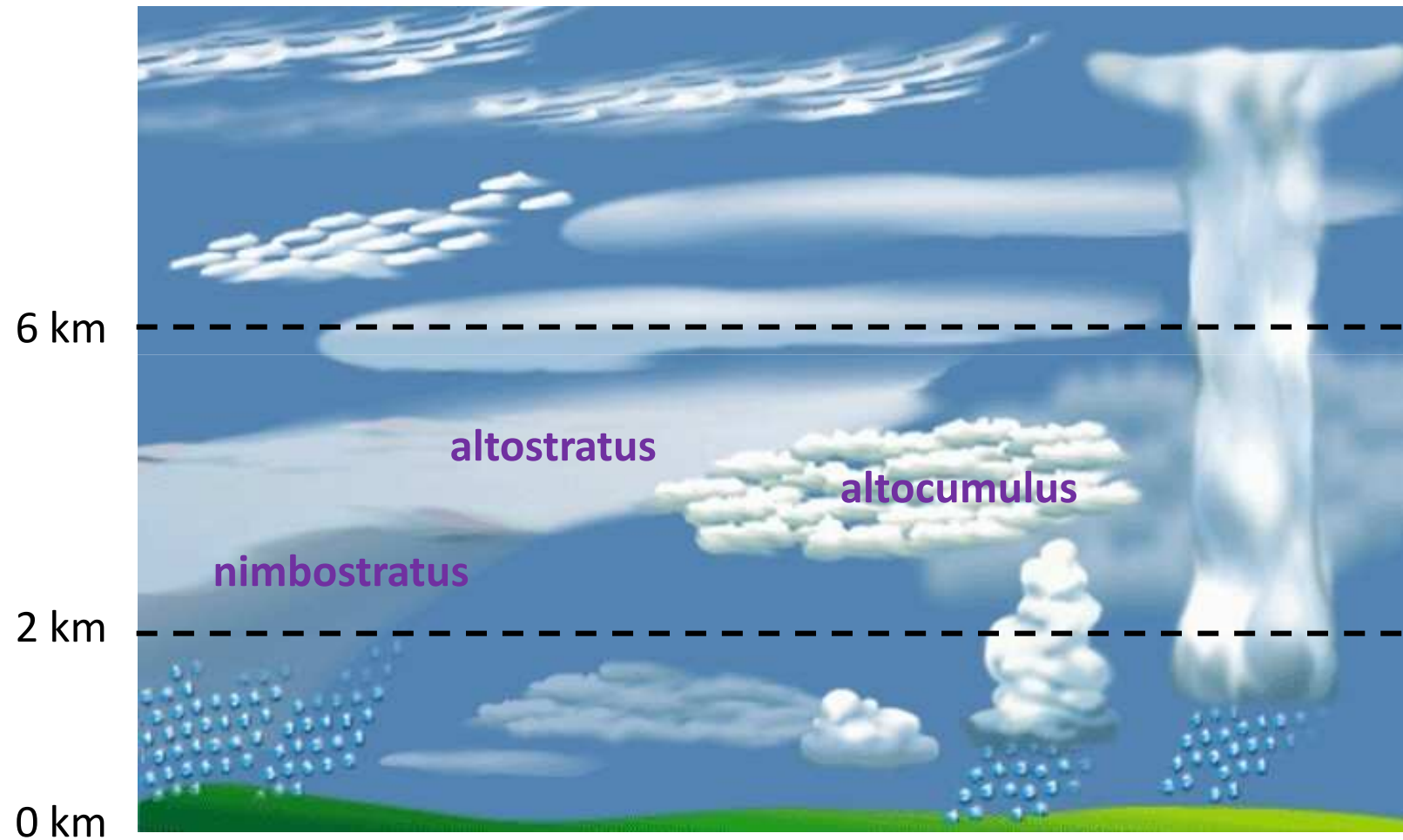




Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Nuages et précipitations

étage moyen :

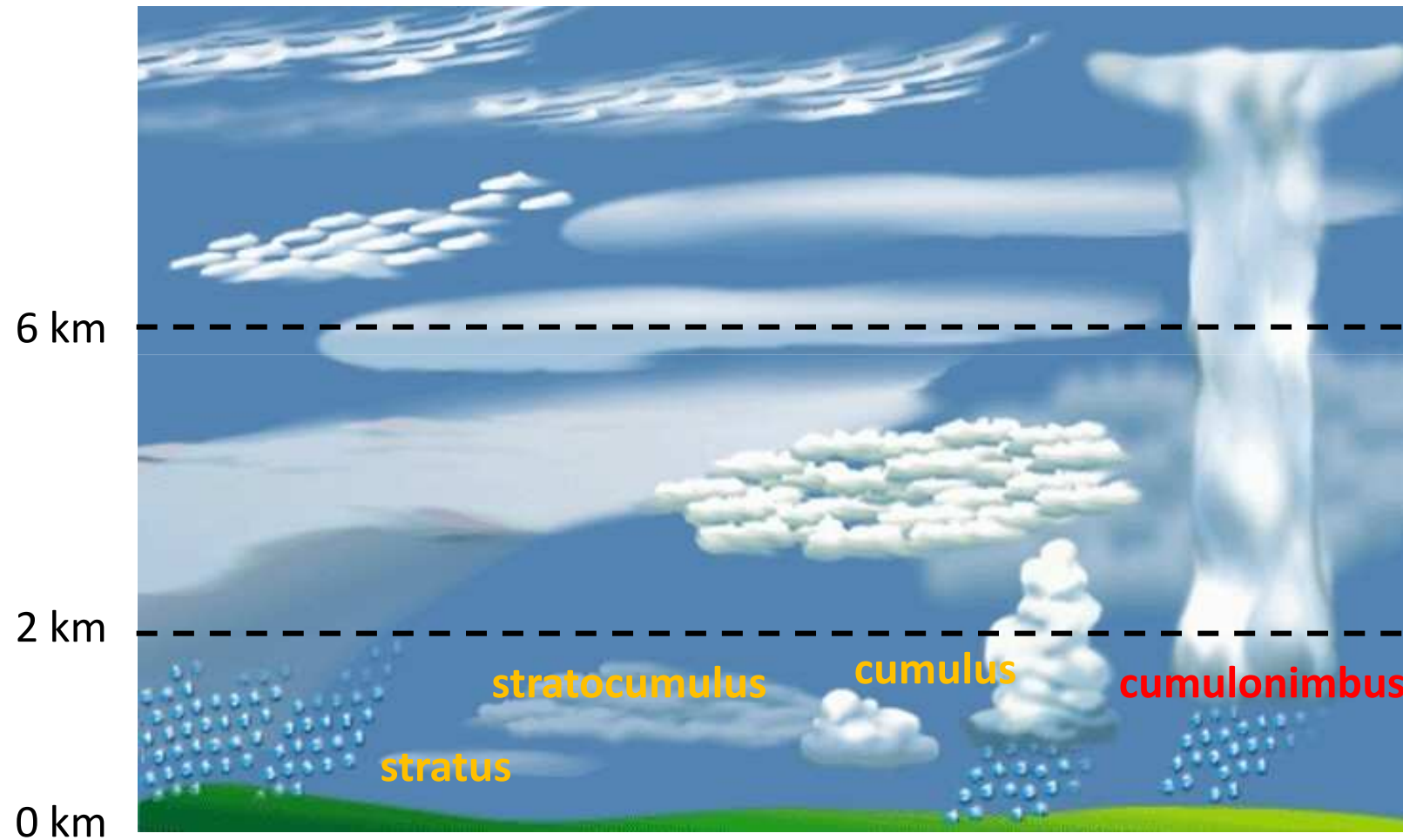




Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Nuages et précipitations

étage inférieur :





Description nuageuse :

- Nébulosité : estimée par l'observation humaine
 - **ciel clair** : aucun nuage **SKC** pour sky clear
 - **rares nuages** : couche de 1 à 2/8 **FEW** pour few
 - **nuages épars** : couche de 3 à 4/8 **SCT** pour scattered
 - **nuages fragmentés** : couche de 5 à 7/8 **BKN** pour broken
 - **ciel couvert** : couverture totale du ciel **OVC** pour overcast

- *règle 1-3-5 ou FEW-SCT-BKN : description des couches successives de nuages à partir de la surface*
 - la première de nébulosité au moins FEW
 - la deuxième de nébulosité au moins SCT
 - la troisième de nébulosité au moins BKN
 - les CB et TCU quelque soit leur nébulosité



Description nuageuse :

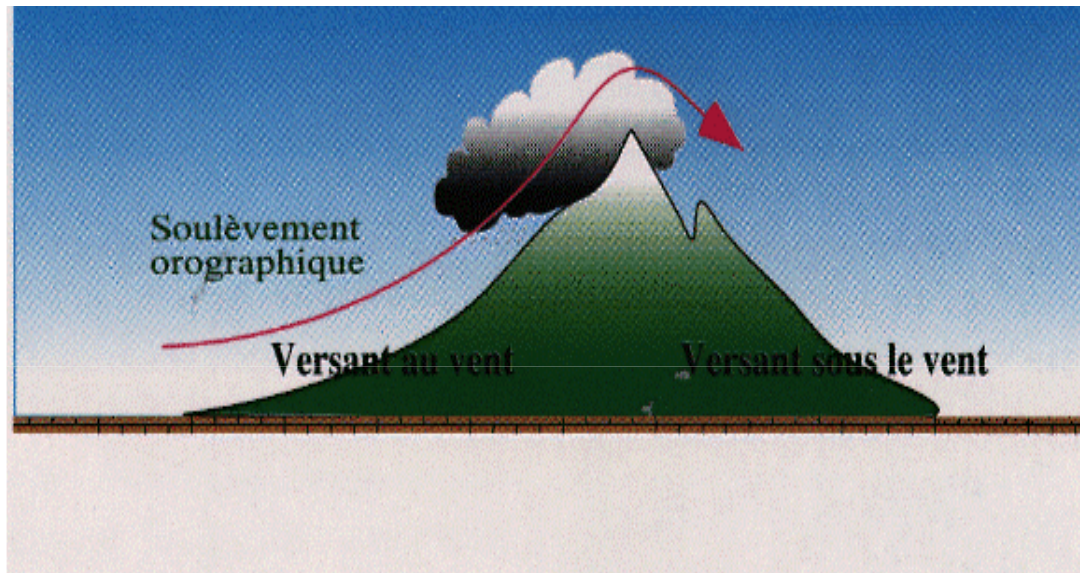
- Hauteur de la base :
 - jusqu'à 7500m, la hauteur peut être mesurée par un télémètre laser,
 - Estimation au-dessus de 7500M
 - En réglementation , le **plafond** est la couche la plus basse en dessous de 6000 m recouvrant plus de la moitié du ciel (nébulosité au moins BKN)
- Genre : observation humaine
 - Cirrus : CI Cirrostratus : CS Cirrocumulus : CC
 - Altostratus : AS Altocumulus : AC Nimbostratus : NS
 - Stratus : ST Stratocumulus : SC Cumulus : CU
 - Cumulus Congestus : TCU Cumulonimbus : CB



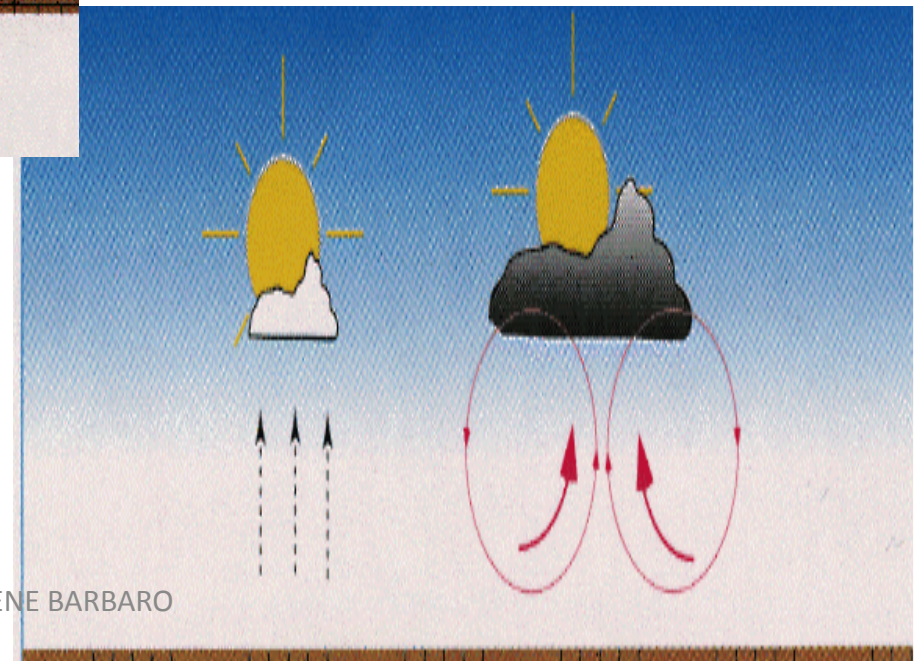


Processus de condensation par ascendance :

Ascendance orographique



Ascendance convective



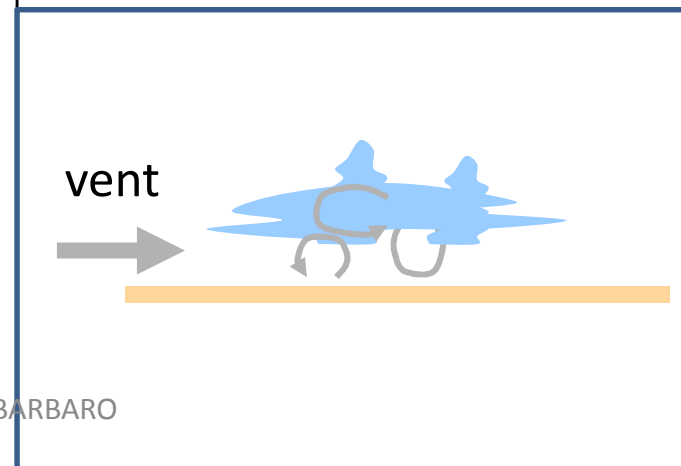


Processus de condensation par ascendance :

Ascendance dépressionnaire

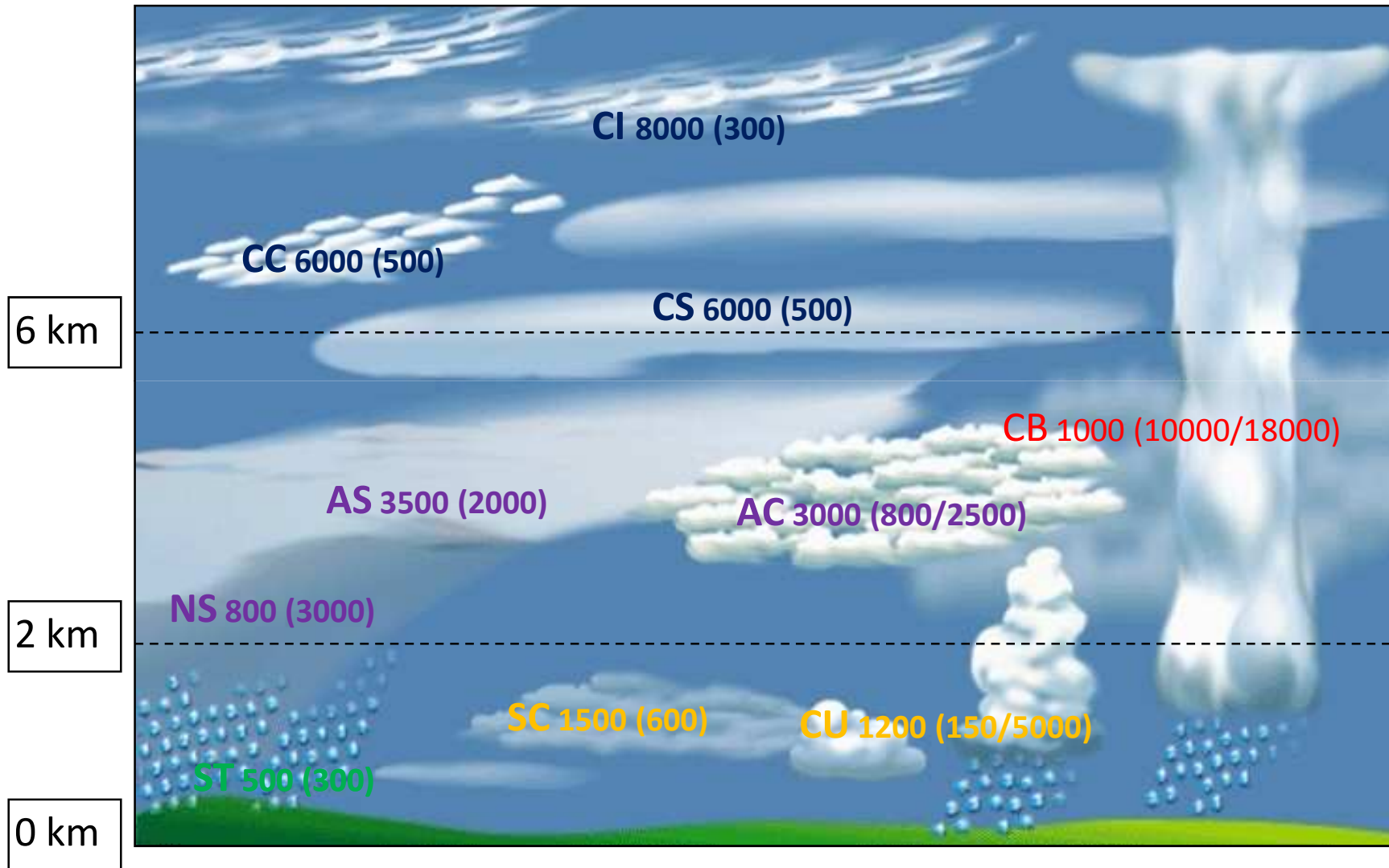


La turbulence (agitation de particules), notamment près de la surface (frottement de l'air sur le sol), peut modifier la répartition verticale de T et de l'humidité. Cette modification peut parfois provoquer d'une part un refroidissement au sommet de la couche turbulente et d'autre part une augmentation de l'humidité relative. Ceci peut provoquer la saturation puis la condensation de la vapeur d'eau et la formation de nuages (nuages de turbulence).





Hauteurs de la base et épaisseurs typiques :







Précipitations

Définitions :

- chute d'eau liquide ou solide en provenance d'un nuage
- les cristaux et gouttelettes composant un nuage sont de dimensions suffisamment faibles pour rester en suspension dans l'atmosphère. Ils ne peuvent chuter que par l'accroissement de leur poids et donc de leur taille
- on parle de gouttelettes lorsque elles sont suffisamment petites pour rester en suspension, elles deviennent des gouttes lorsque leur taille leur permet d'avoir une vitesse de chute significative
- la frontière, en dimension, se situe aux alentours de 200μ
 - de 2 à 200μ : suspension effective
 - de 200 à 500μ : bruine, virga en altitude
 - $>500\mu$; domaine des précipitations



Nature des précipitations:

- **la pluie (///, ●, RA)** : précipitation de gouttes dispersées de $\varnothing > 0,5\text{mm}$
- **la bruine (, , DZ)** : précipitation assez uniforme de fines gouttes très rapprochées les unes des autres de $\varnothing < 0,5\text{mm}$
- **la neige (*, SN)** : précipitation de cristaux de glace généralement agglomérés en flocons de dimension de 2 à 20mm
- **la grêle (Δ , GR)** : précipitation de globules ou morceau de glace de dimension de 5 à ($>$)50 mm
- **le grésil (Δ , GS)** : précipitation de particules de glace de dimension < 5 mm



Nature des précipitations :

- la neige en grains (*, **SG**) : très petits grains de glace plats ou allongés de dimension $< 1\text{mm}$
- la neige roulée (Δ , **GS**) : grains de glace sphériques parfois coniques de dimension entre 2 et 5mm
- granule de glace (**PL**) : particules de glace de 1 à 5mm, provenant de la congélation de gouttes
- poudrin de glace (**IC**) : très petits cristaux de glace (aiguilles, plaques...) si ténus qu'ils semblent rester en suspension

Remarques

une précipitation solide qui traverse une couche d'air à température positive se transforme en précipitation de pluie ou de bruine

une précipitation liquide qui traverse une couche d'air à température négative reste liquide mais surfondue (**FZRA** ou **FZDZ**)



Caractère des précipitations :

- une précipitation de courte durée (<10mn), qui démarre et s'arrête brusquement, d'intensité modérée à forte variable dans le temps, est une averse (∇ , **SH**). C'est le caractère typique de précipitations provenant d'un nuage **instable**
- un nuage **stable** donne des précipitations de plus longue durée, assez uniformes sur des étendues plus grandes et d'intensité faible à modérée
- le terme de **giboulées** s'applique en général à un mélange de précipitations solides et liquides : pluie et neige, pluie et grêle...



Nuages générateurs :

Nuages élevés : Ci, Cs, Cc : rares précipitations, mais parfois des virga (chute de cristaux de glace sous le nuages).

Nuages moyens :

- Ac : ra/sn parfois sous forme d'averses (variété castellanus)
- As : ra / sn faible à modérée mais continue et pouvant durer plusieurs heures.
- NS : ra/sn modérée/forte pouvant durer longtemps.

Nuages bas :

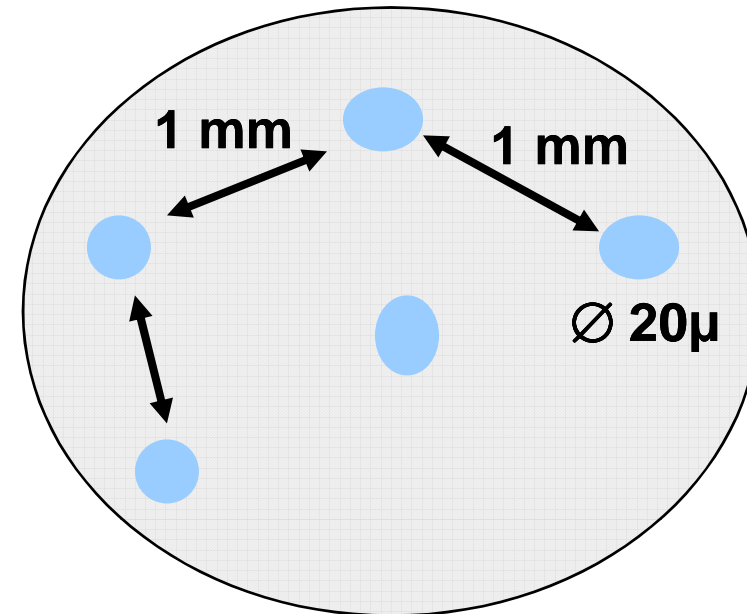
- St : dz souvent granules de glace en hiver dans les pays très froids,
- Sc : dz/ra/sn/sg plus ou moins continues et d'intensité faible en général,
- Cu : ra/sn/sg à partir de la variété médiocris sous forme d'averse faible,
- Tcu (cumulus congestus) : averses ra/sn/sg modérée à forte, rare GS
- CumuloNimbus CB : toute sauf dz, sous forme d'averse souvent forte + orage + grain...



Formation des précipitations :

● Remarques

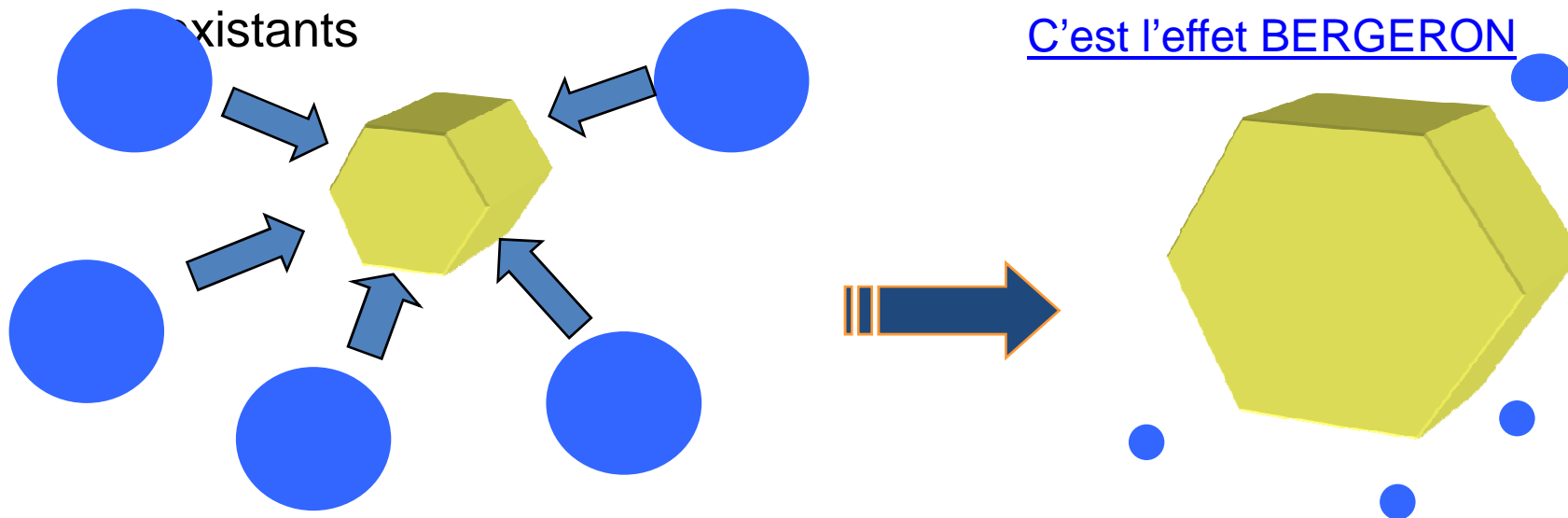
- la répartition et la taille des gouttelettes et cristaux au sein d'un nuage sont telles que le grossissement direct par agglutination pour former une goutte est difficilement réalisable
- il faut au moins quelques gouttelettes initiatrices de diamètre supérieur à 80μ pour que la collection fonctionne efficacement
- or le grossissement, uniquement par effet pur de condensation est difficilement réalisable et durerait plusieurs heures, dépassant largement la durée de vie de certains nuages précipitants





Formation des précipitations :

- Grossissement par transfert de vapeur
 - dans un milieu nuageux à $t < 0^{\circ}\text{C}$: transfert de vapeur des nombreuses gouttelettes surfondues vers les quelques cristaux



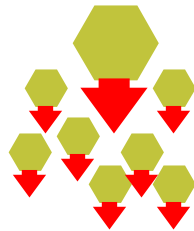
Il faut compter 4 heures de transfert pour qu'un cristal devienne l'équivalent d'une goutte de $\varnothing = 2\text{mm}$ et 16 heures pour une goutte de $\varnothing = 4\text{mm}$



Grossissement par collection :

sous l'effet de leur mouvement les différents éléments du nuage vont collecter et fusionner d'autres éléments sur leur trajet et accélérer ainsi leur propre grossissement

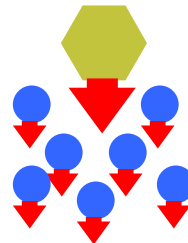
Collection de cristaux de glace



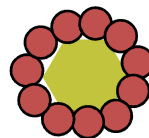
agrégation



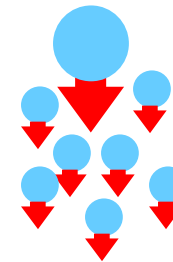
Collection de cristaux et de gouttelettes surfondues



accrétion



Collection de gouttelettes

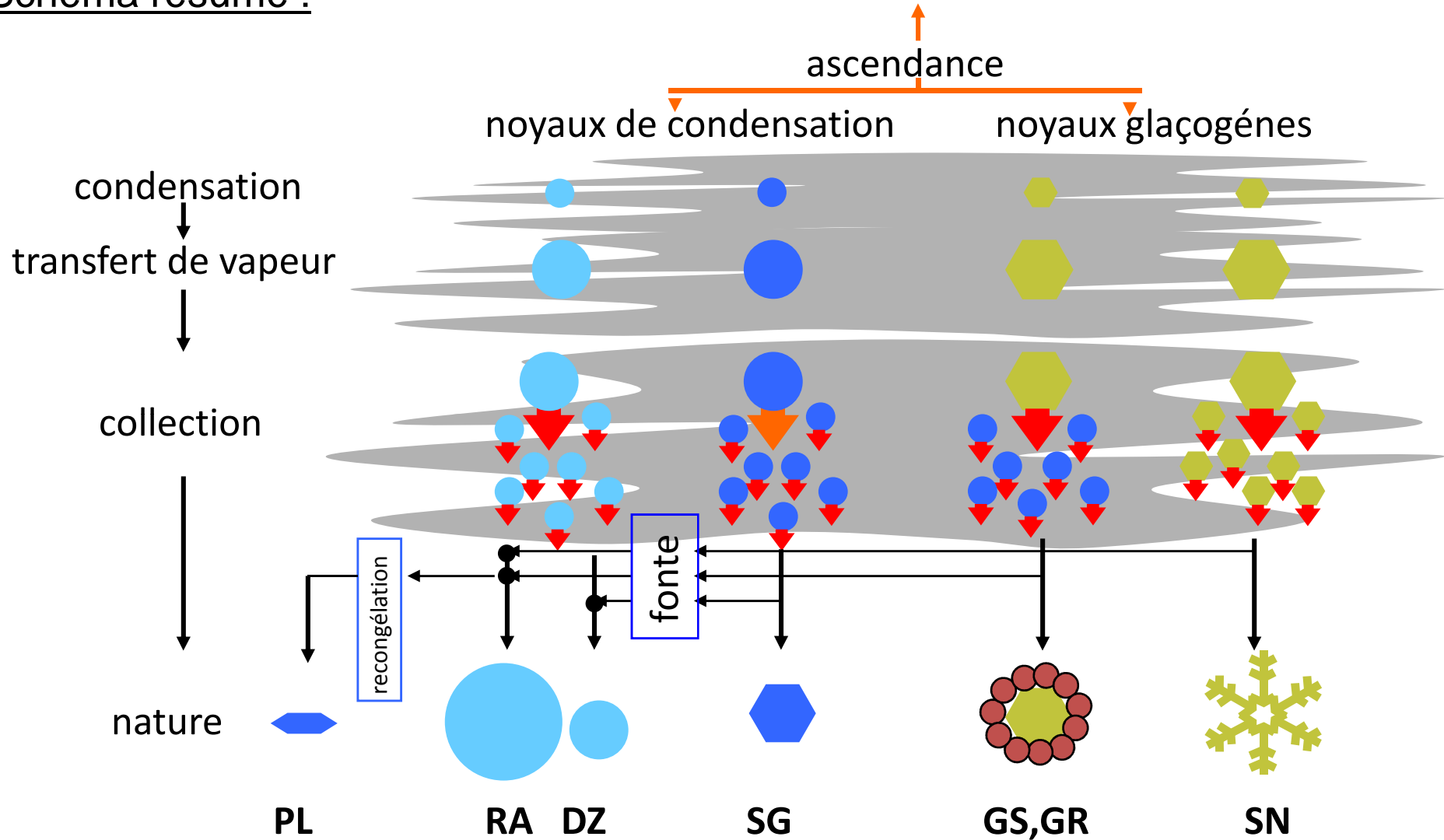


coalescence



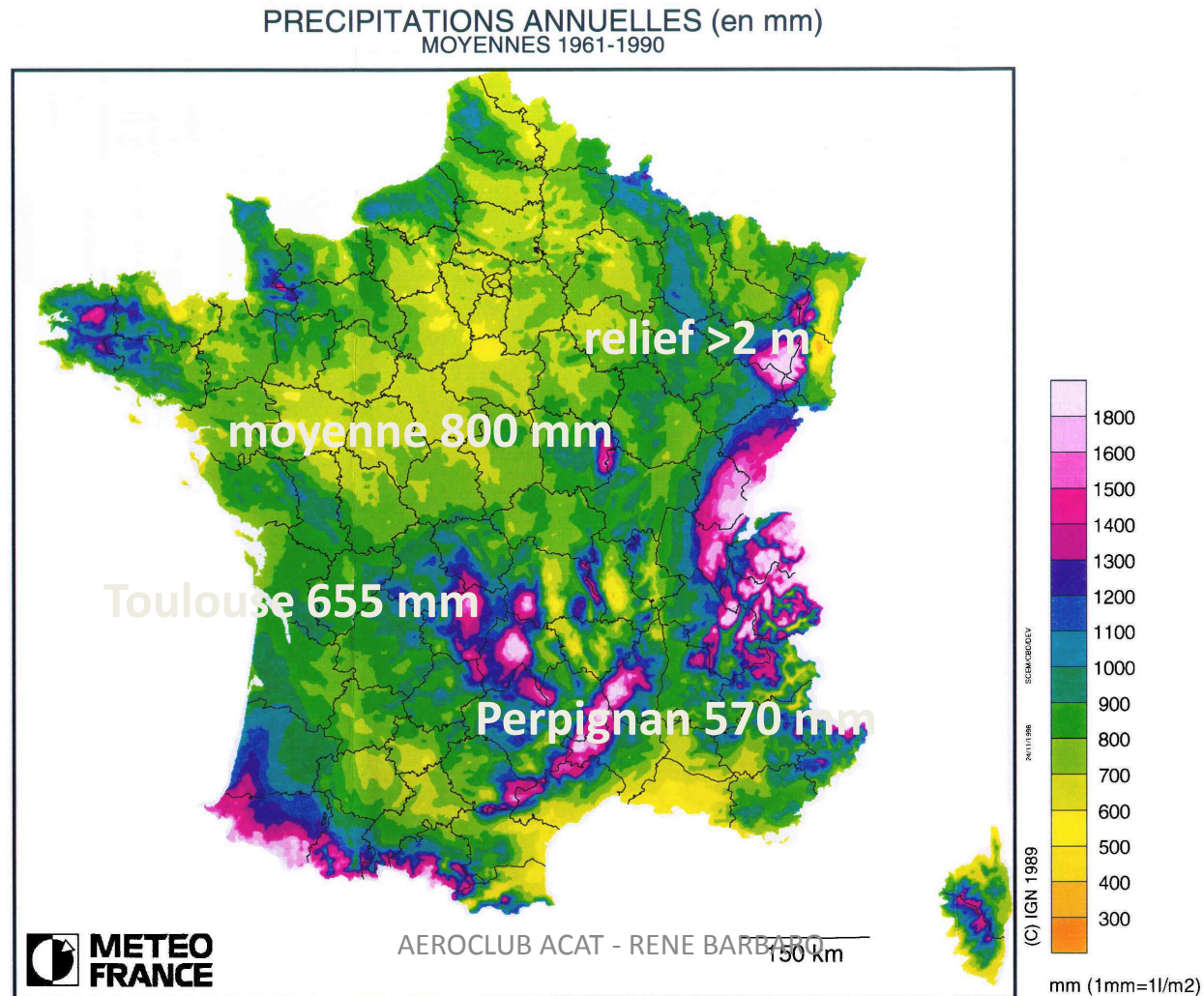


Schéma résumé :



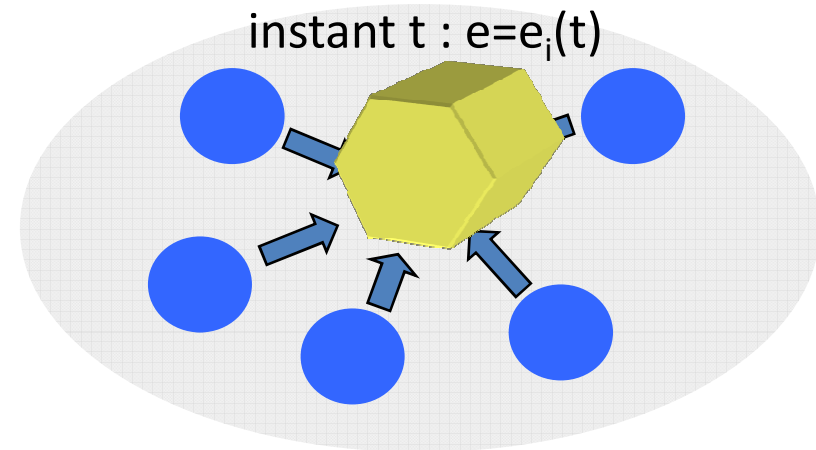
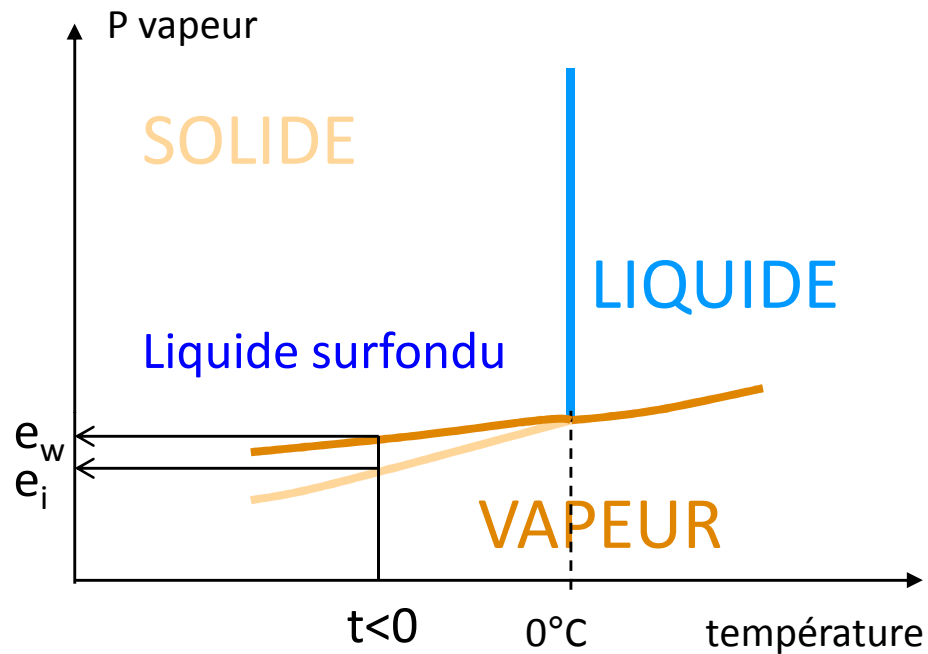


Climatologie des précipitations :





Hors programme: L'effet BERGERON :



- $e=e_i(t) \Rightarrow$ cristal saturé en vapeur
- $e_w(t) > e \Rightarrow$ gouttelettes non saturées s'évaporent
- la vapeur se transforme en glace autour du cristal initial



Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro



Plan du cours

- 1) L'atmosphère terrestre
- 2) Température
- 3) Pression atmosphérique
- 4) Humidité et Stabilité
- 5) Circulation Générale - Mouvement
- 6) Masses d'air
- 7) Perturbations synoptiques des zones tempérées
- 8) Nuages et précipitations
- 9) Phénomènes locaux



Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Phénomènes d'échelle locale

Circulations tourbillonnaires

Les régions côtières

Les régions montagneuses

Les vents locaux en France métropolitaine

Évolutions locales jour/nuit



- Taille inférieure à l'échelle synoptique
- Échelle aérologique à moyenne
- Dimensions : du km à quelques dizaines de km
- Durée : de quelques minutes à quelques heures



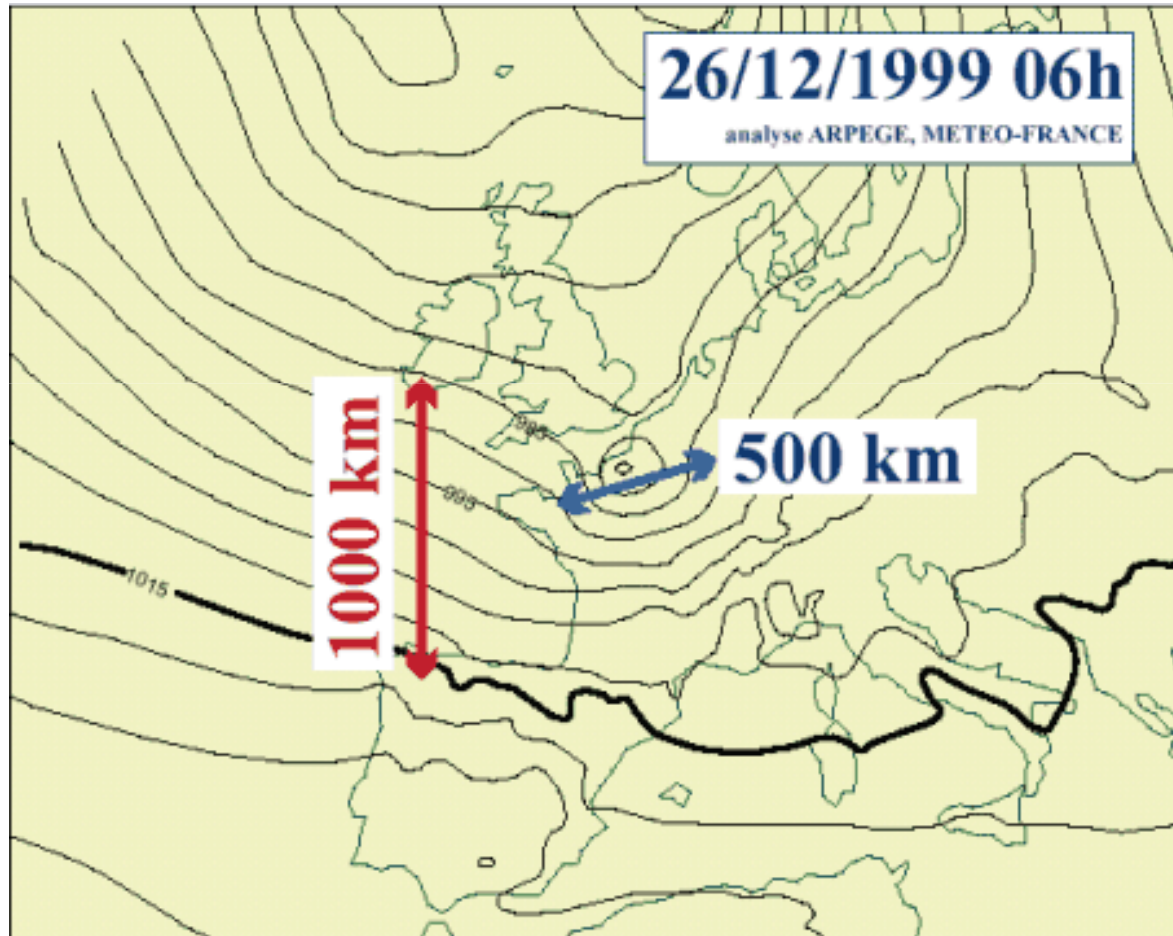
Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Phénomènes d'échelle locale

Circulations tourbillonnaires



Tourbillons d'échelle moyenne



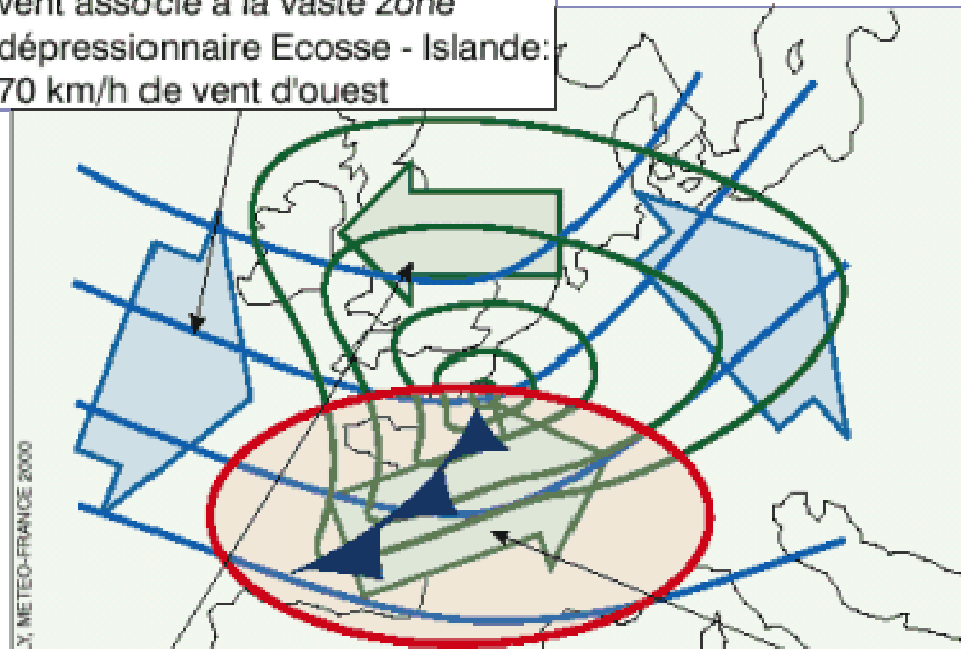
Les tempêtes mémorables de décembre 1999 étaient de petite dimension

Jeunes et vigoureuses, elles s'accompagnent parfois des événements les plus violents



Tourbillons d'échelle moyenne

Gradient de pression et vent associé à la vaste zone dépressionnaire Ecosse - Islande: 70 km/h de vent d'ouest



Infographie: © Alain JULY, METEO-FRANCE 2000

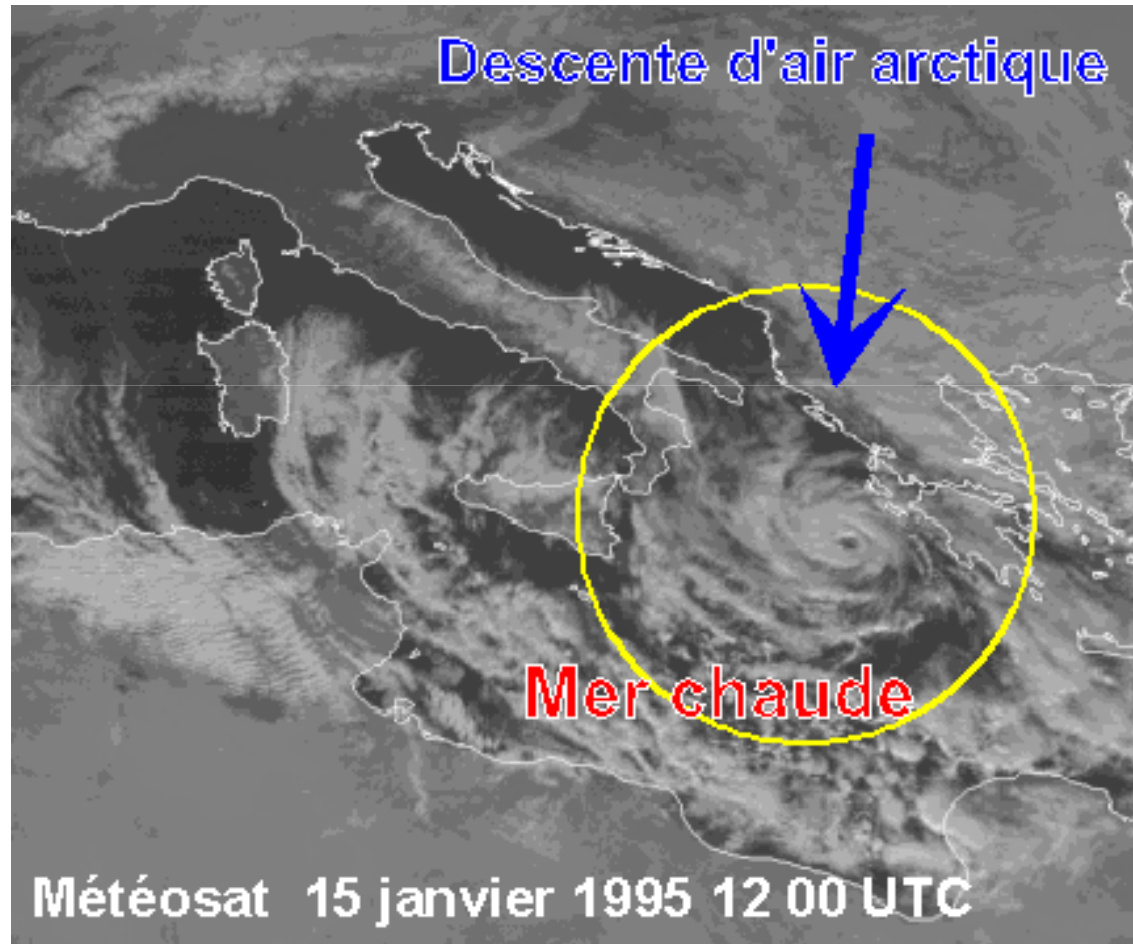
Dépression et vent associé se superposent à ce flux.

Les vents d'ouest s'ajoutent: on atteint des vitesses exceptionnelles au sud du minimum de pression

La vitesse et direction de déplacement de ces tourbillons est importante pour localiser les régions les plus menacées par les vents violents



Tourbillons d'échelle moyenne



Certaines tempêtes de nos latitudes ont un aspect «tropical»
Comme ce petit tourbillon méditerranéen



Tourbillons de petite échelle



elles correspondent à une dépression très creuse en surface

tornades et trombes sont des manifestations atmosphériques tourbillonnaires extrêmes. Leur développement est associé à un nuage de type cumulonimbus





Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

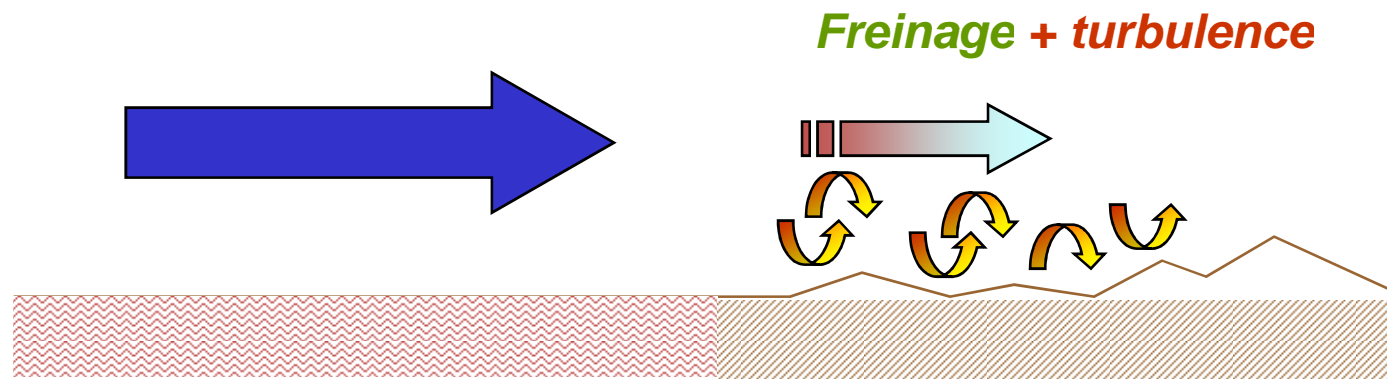
Phénomènes d'échelle locale

Les régions côtières



Aspect dynamique

accélération / freinage du déplacement de la masse d'air en contact avec la surface terrestre (rugosité des surfaces)

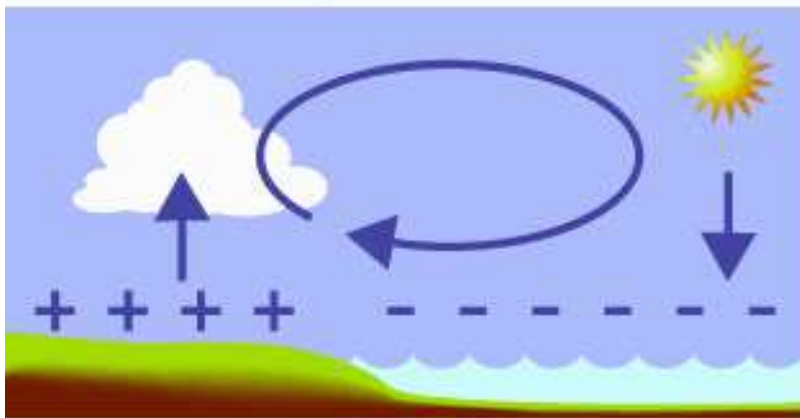




Aspect thermique

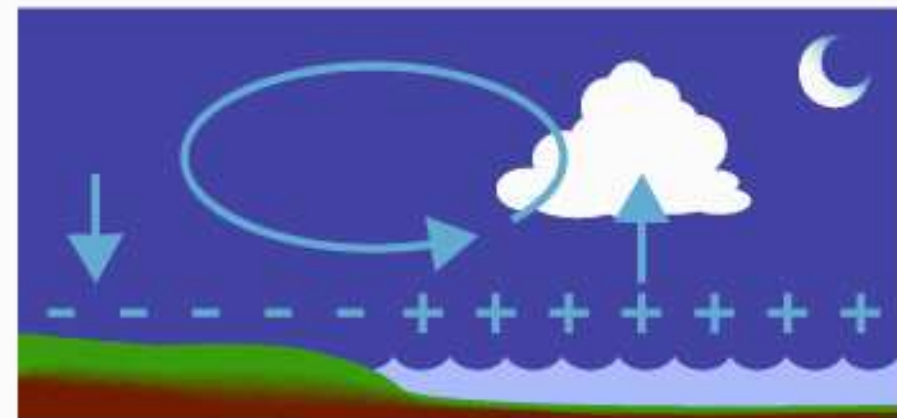
Mécanismes des brises

Brise de mer le jour



Le jour, la terre se réchauffe alors que la mer reste à la même température

Brise de terre la nuit



La nuit, la terre se refroidit, la mer gardant la même température, est alors plus chaude que la terre



La brise de mer

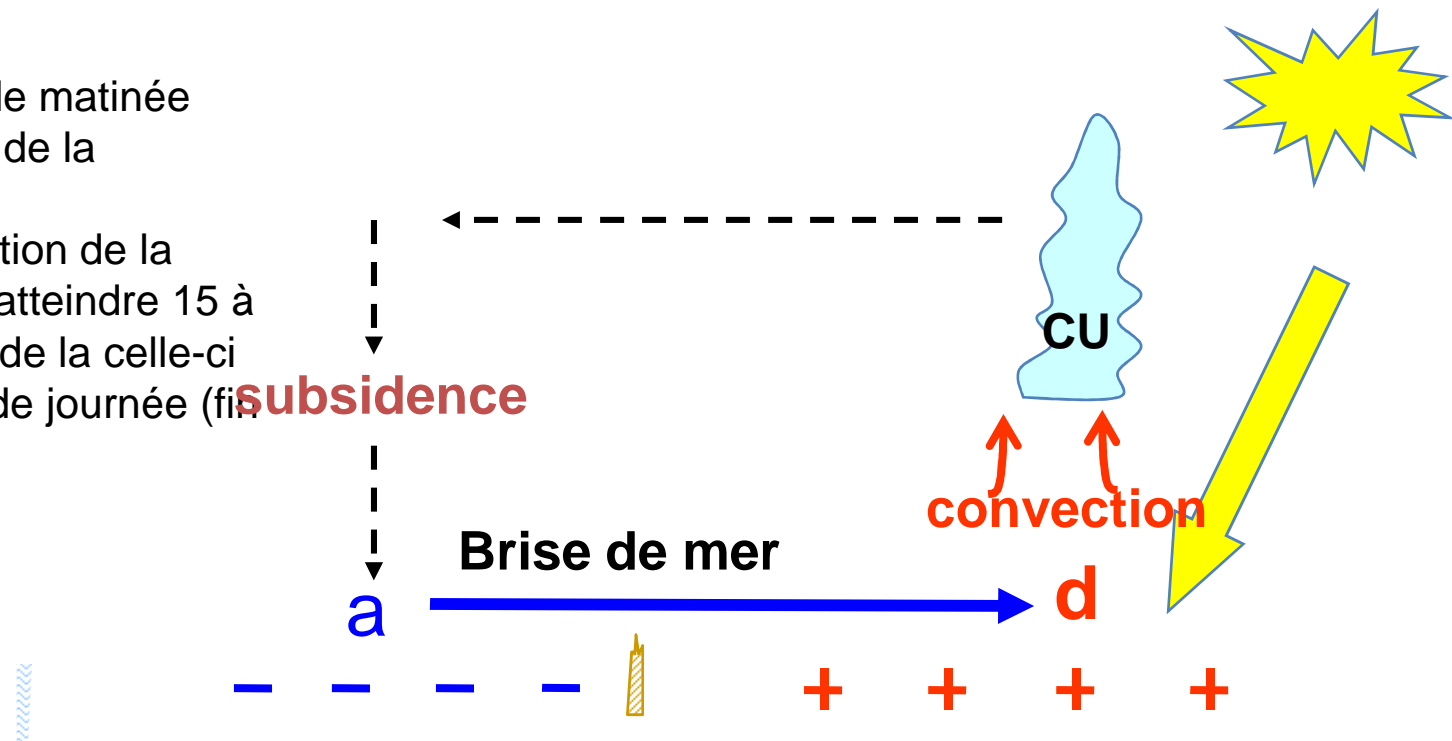
De jour par ciel dégagé et vent faible

- (conditions anticycloniques ou marais barométrique)

- s'établit en fin de matinée avec l'installation de la convection

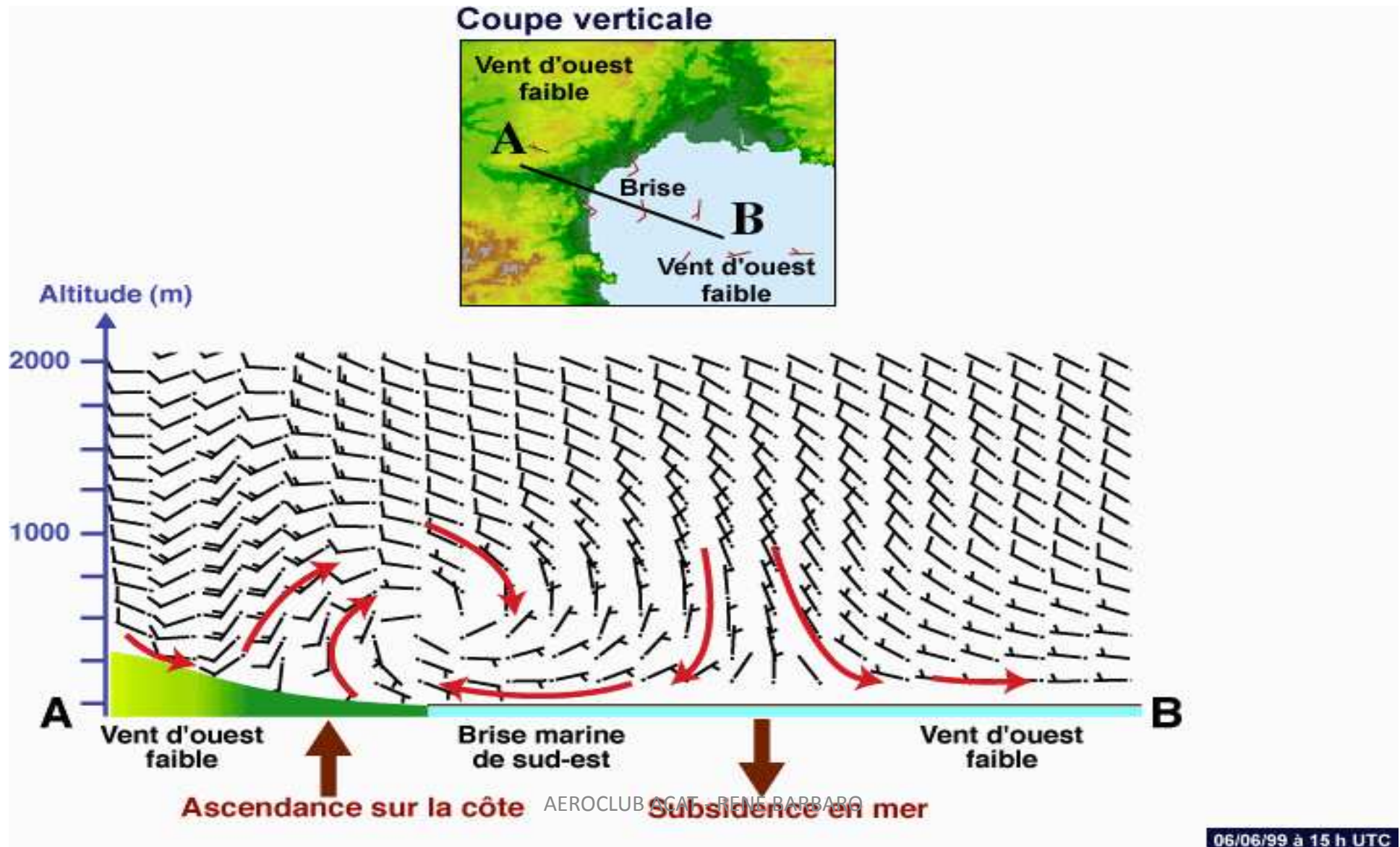
- l'intensité, fonction de la convection, peut atteindre 15 à 20 kt au plus fort de la celle-ci

- disparaît en fin de journée (fin de la convection)



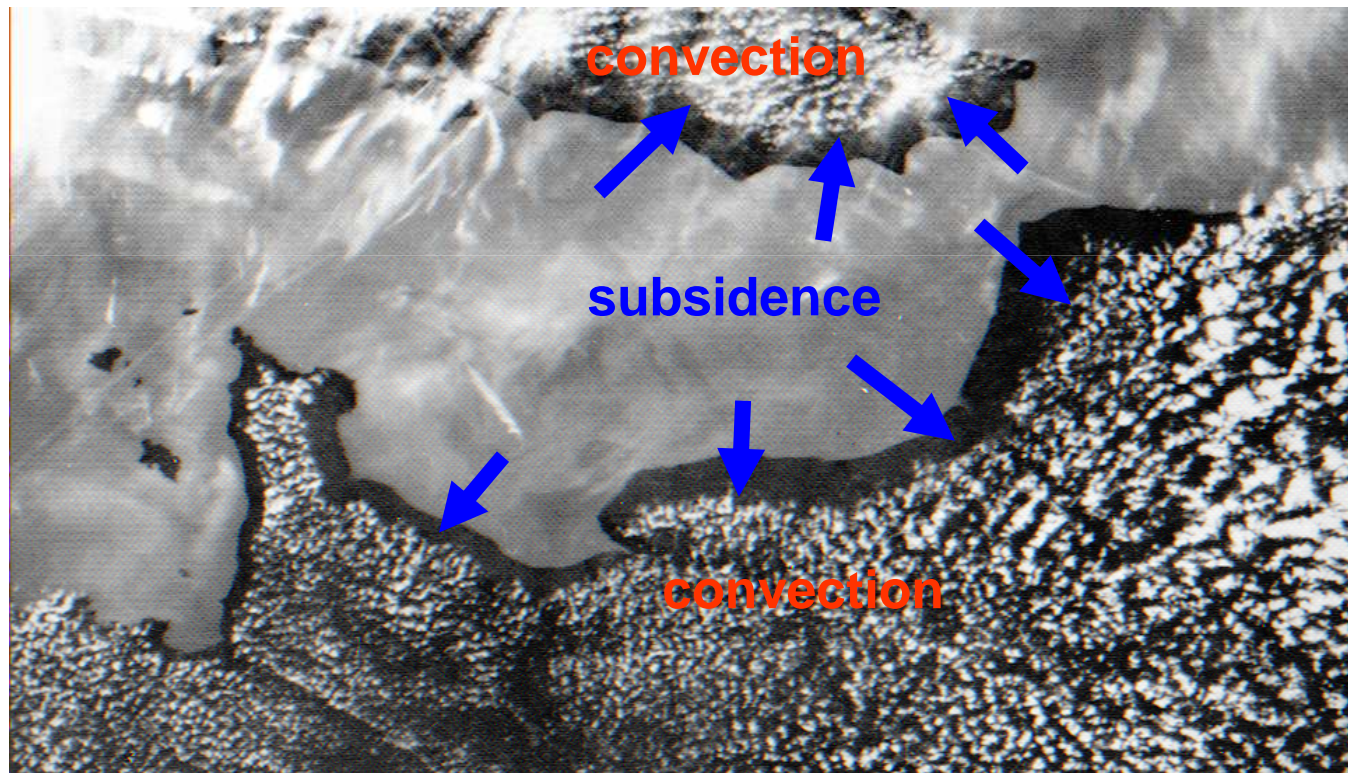


La brise de mer





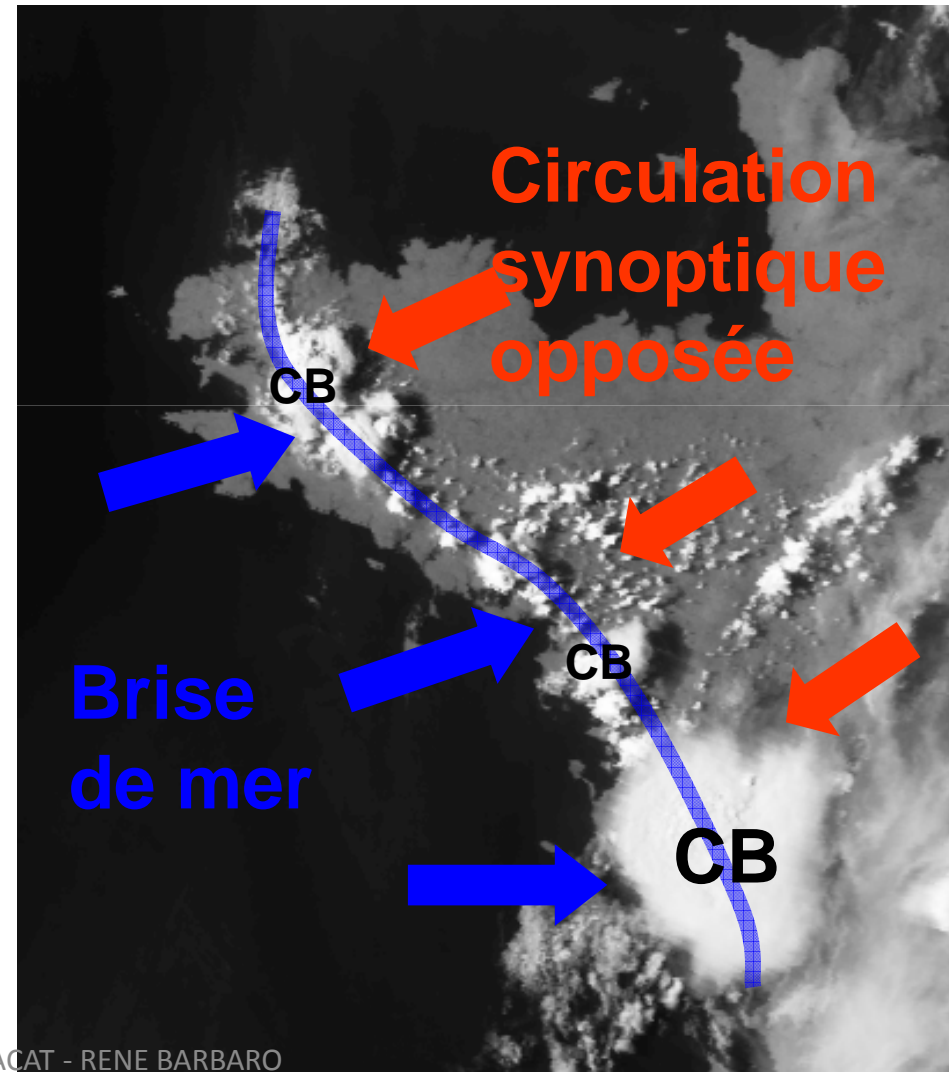
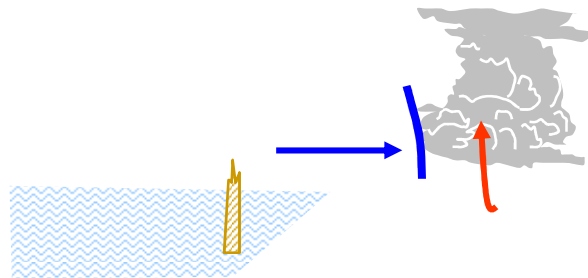
Brise de mer





Front de brise de mer

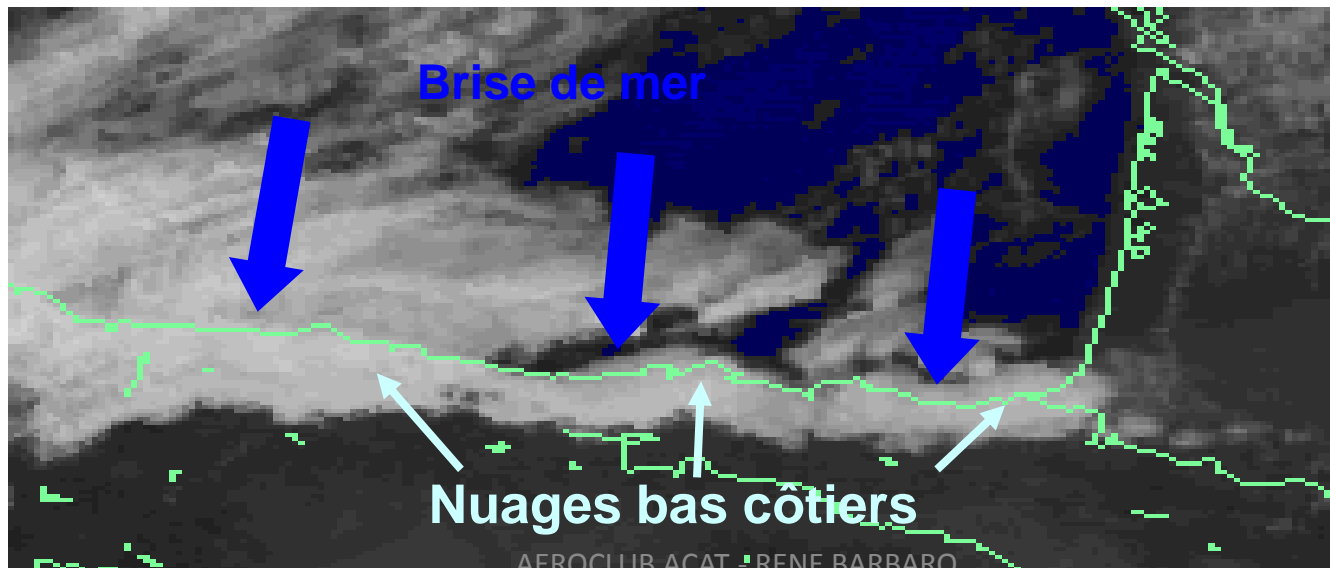
- conflit entre la brise de mer et une circulation opposée
- turbulence et fabrication nuageuse importante à l'intérieur des terres
- l'air marin peut pénétrer jusqu'à 30 NM à l'intérieur des terres avec extension verticale de 1000 à 1500 ft





Front de brise de mer

- à l'établissement de la brise de mer, par advection d'air marin très humide
- dégradation rapide des conditions météorologiques en bordure côtières: *nuages bas, brume et brouillard*

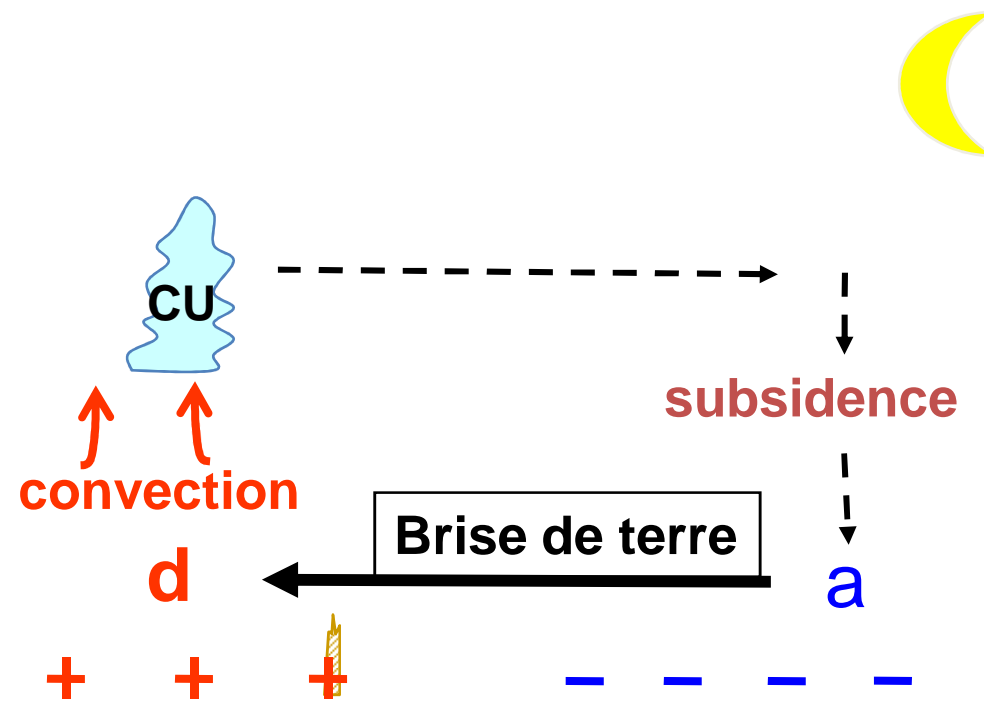




Brise de Terre

- de nuit, par ciel dégagé et vent faible
 - (conditions anticycloniques ou marais barométrique)

- s'établit en milieu de nuit
- l'intensité peut atteindre 10 kt
- peut pénétrer jusqu'à quelques NM avec extension verticale de quelque centaines de pieds
- disparaît en début de journée





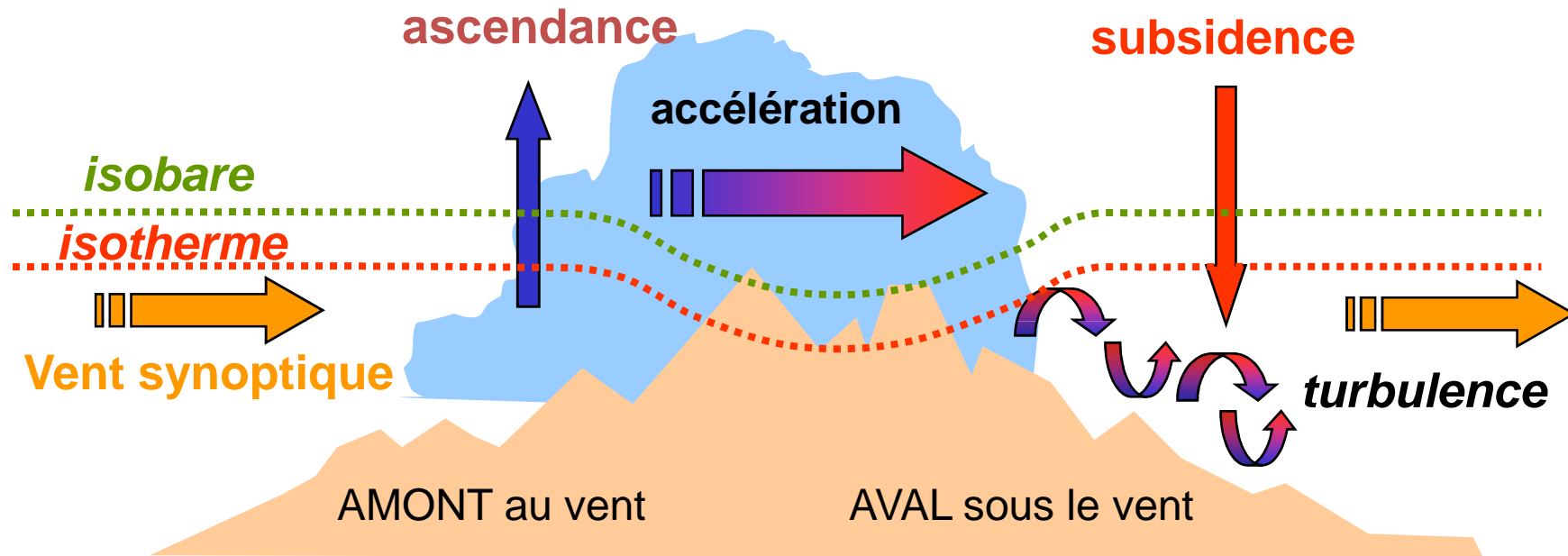
Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Phénomènes d'échelle locale

Les régions montagneuses



Franchissement du relief

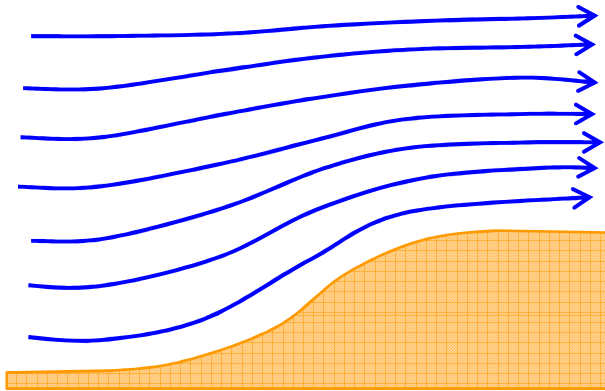




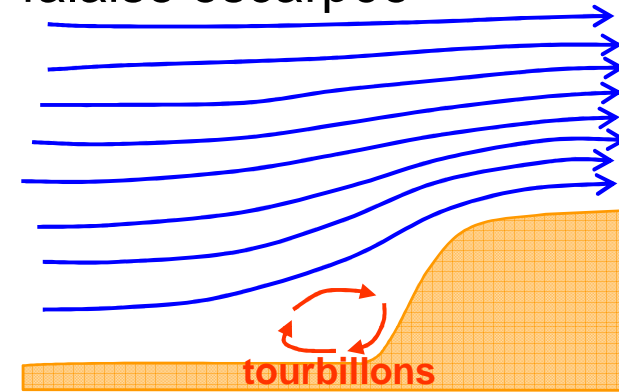
Phénomènes d'échelle locale

Forme de la pente

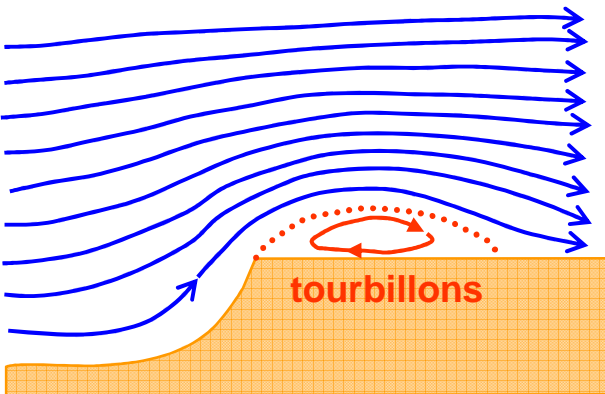
flux laminaire au dessus d'une crête



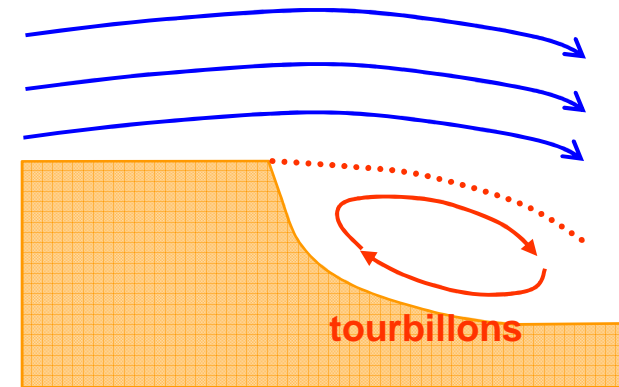
falaise escarpée



profil concave

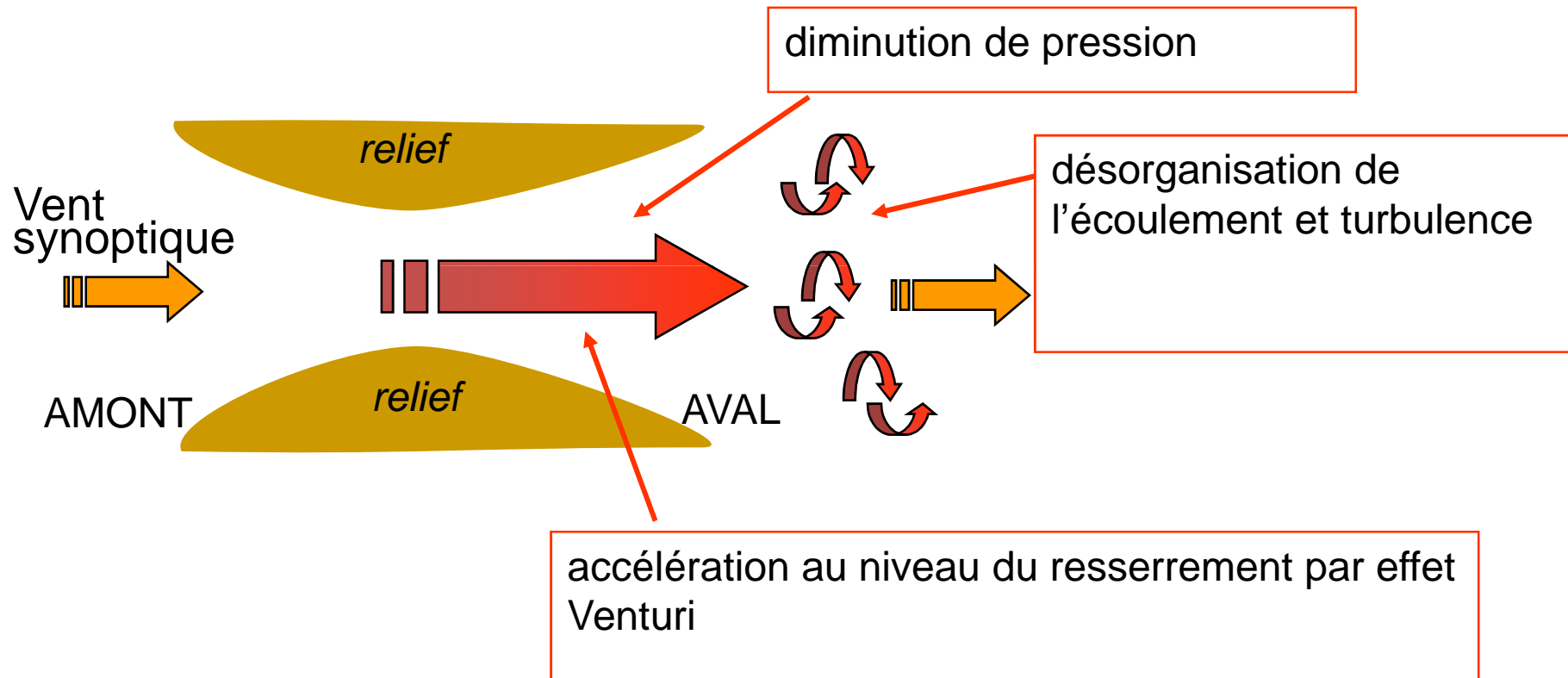


pente en aval : inversion du flux





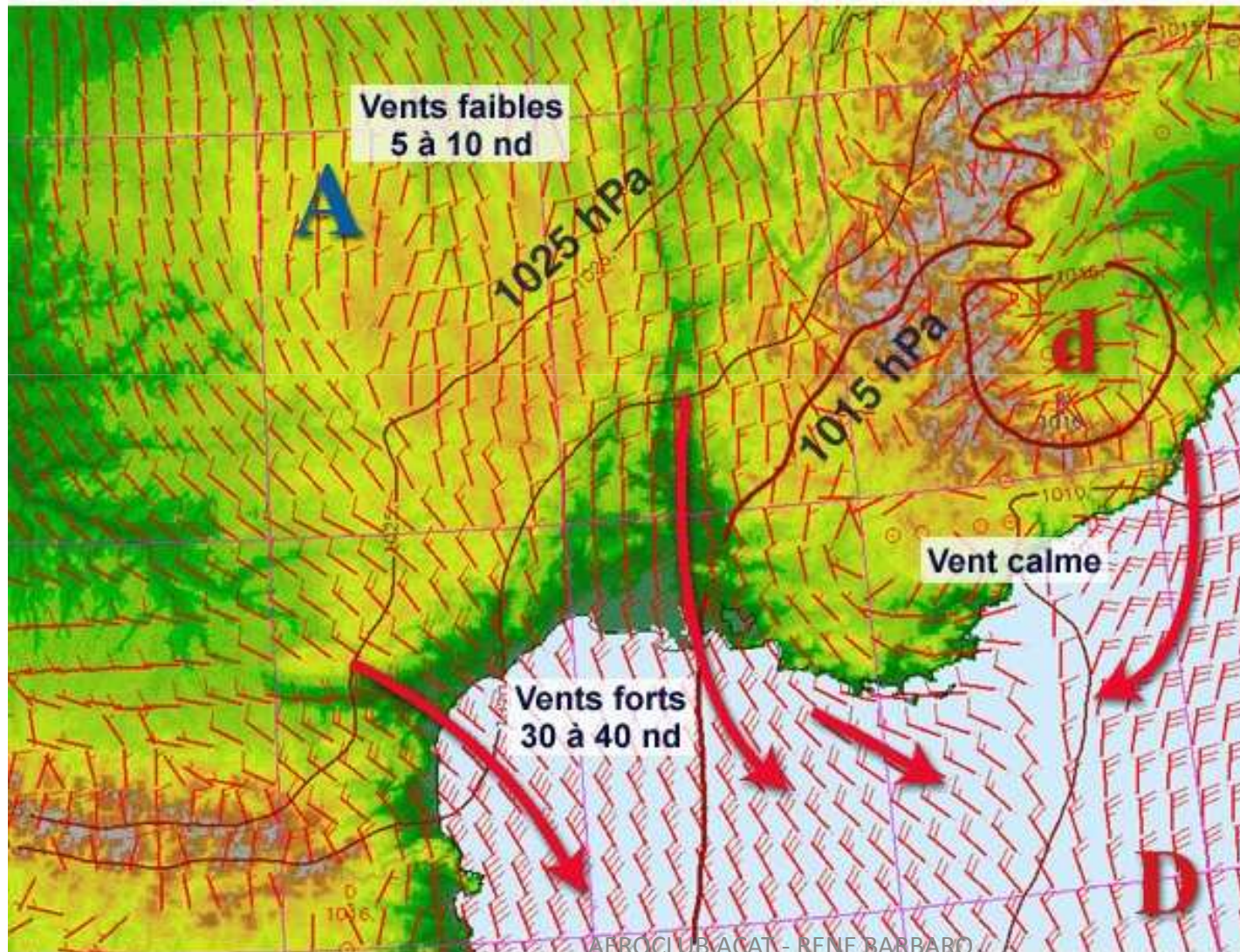
Col ou resserrement de vallée





Accélération du vent

Vents à 10 m

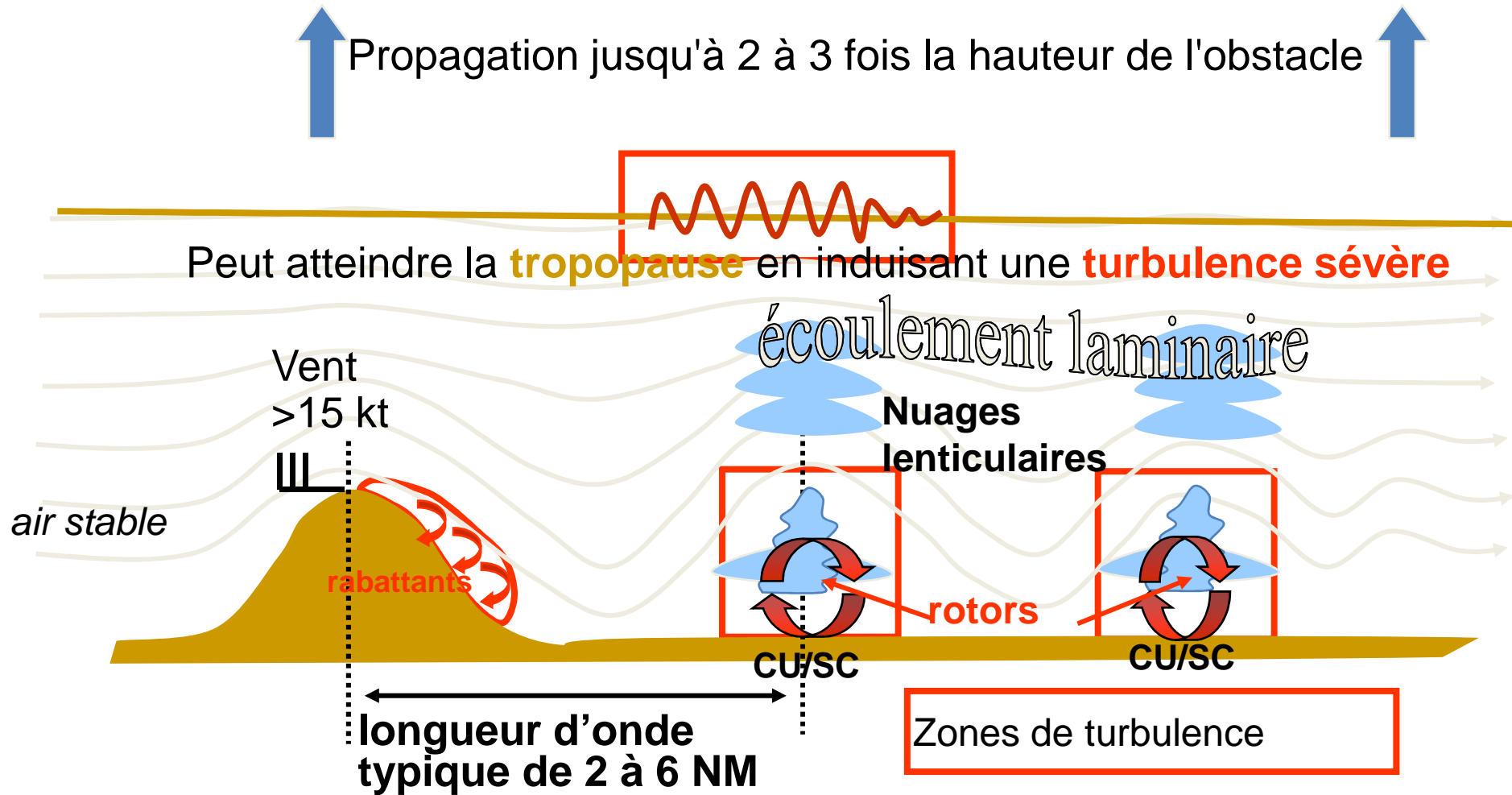


AÉRO-CLUB ACAT - RENE BARBARO

Situation du 07/11/99 à 12 h UTC

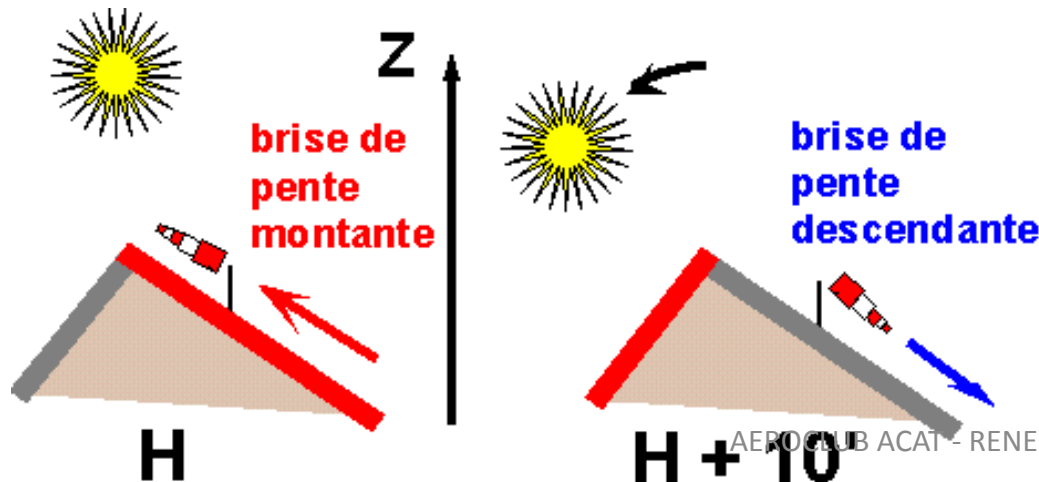
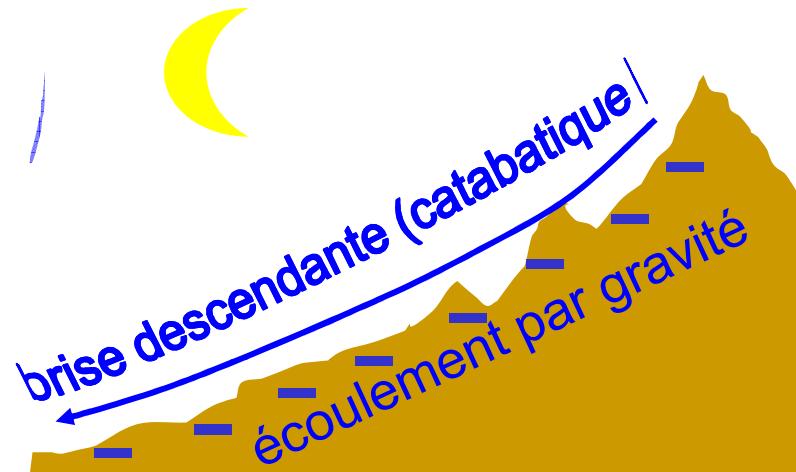
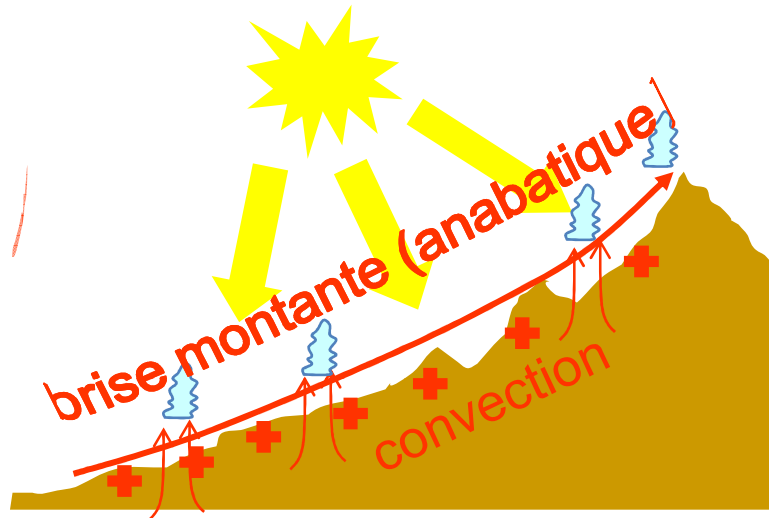


Ondes orographiques





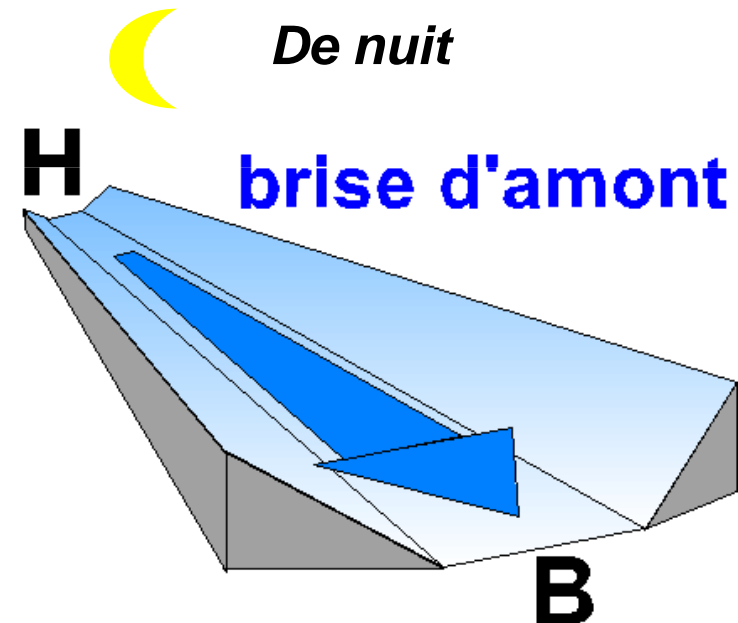
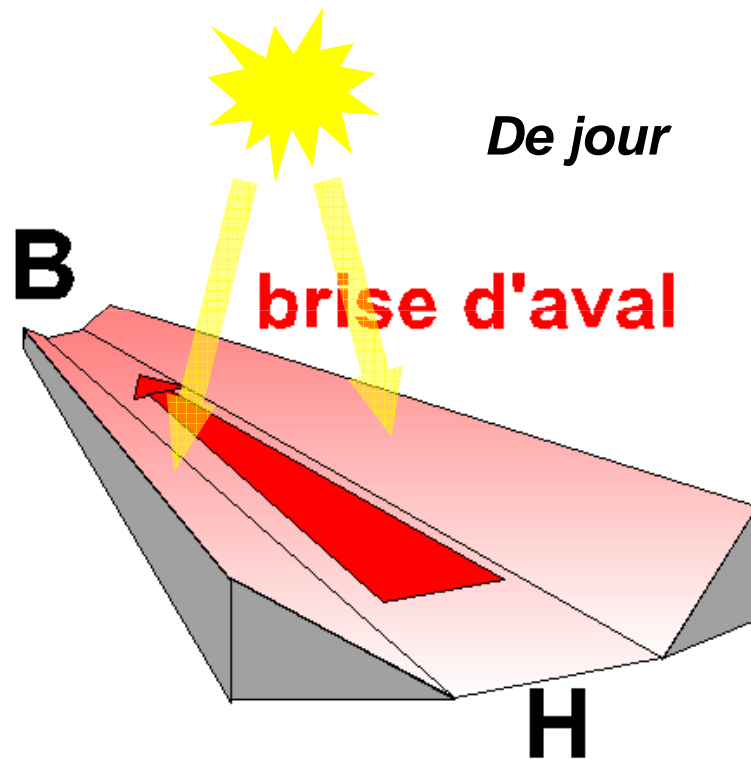
Brises de pente



Les brises de pente sont des phénomènes aérologiques de petite échelle au temps d'établissement ou de disparition très courts



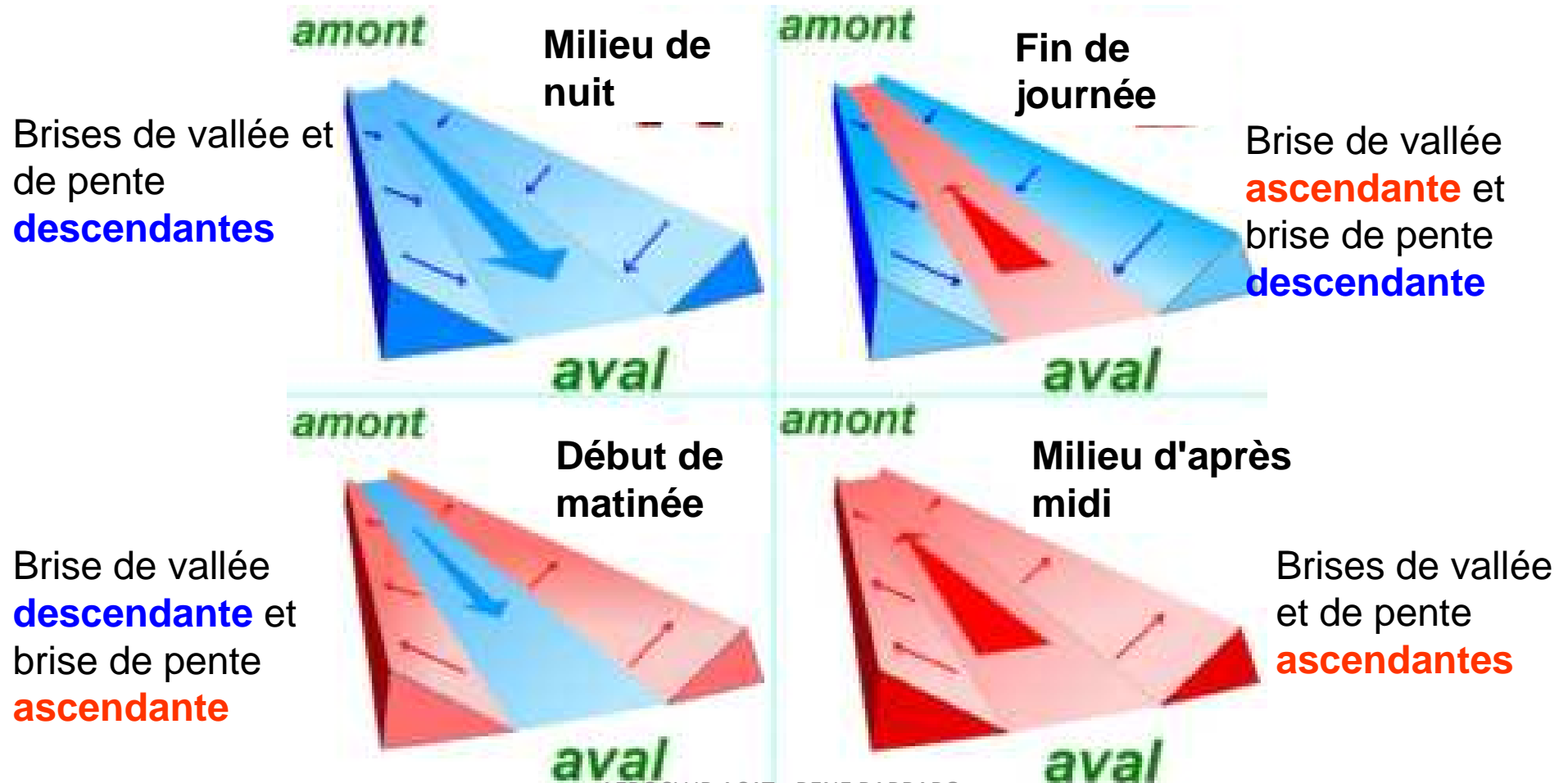
Brises de vallée



Les brises de vallée impliquent tout le volume de la vallée. Leurs temps d'établissement sont plus longs que ceux des brises de pente environ 2 à 3 heures.

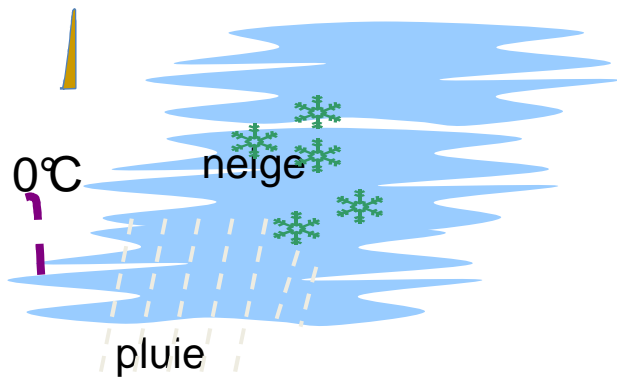
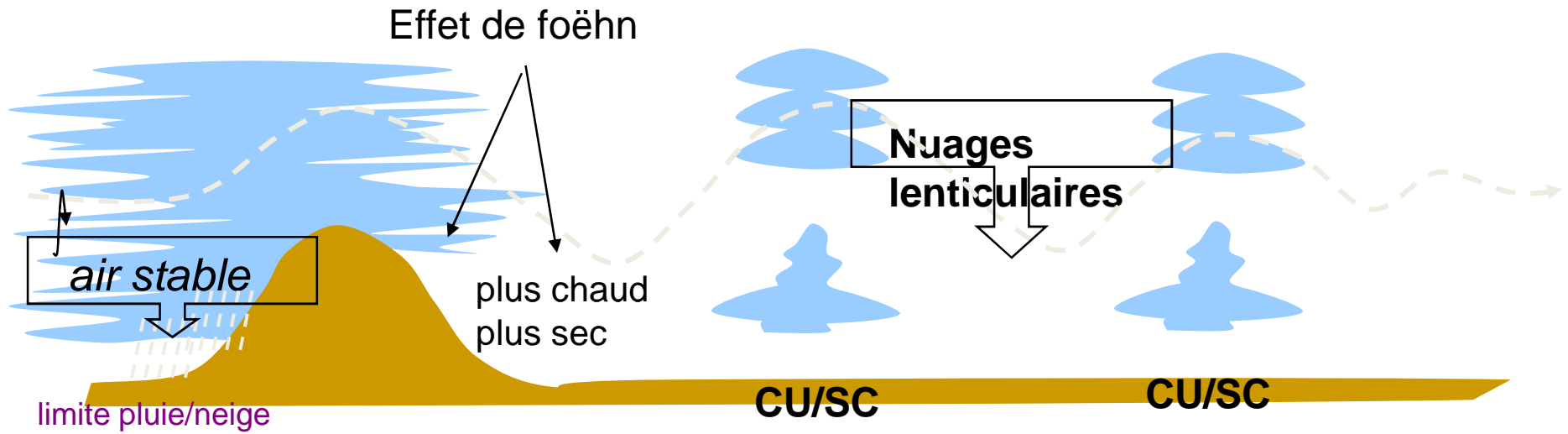


Brises de vallée et de pente





Relief & nuages





Relief et nuages: effet de Foehn

Effet de Foehn avec précipitations



Effet de Foehn sans précipitations

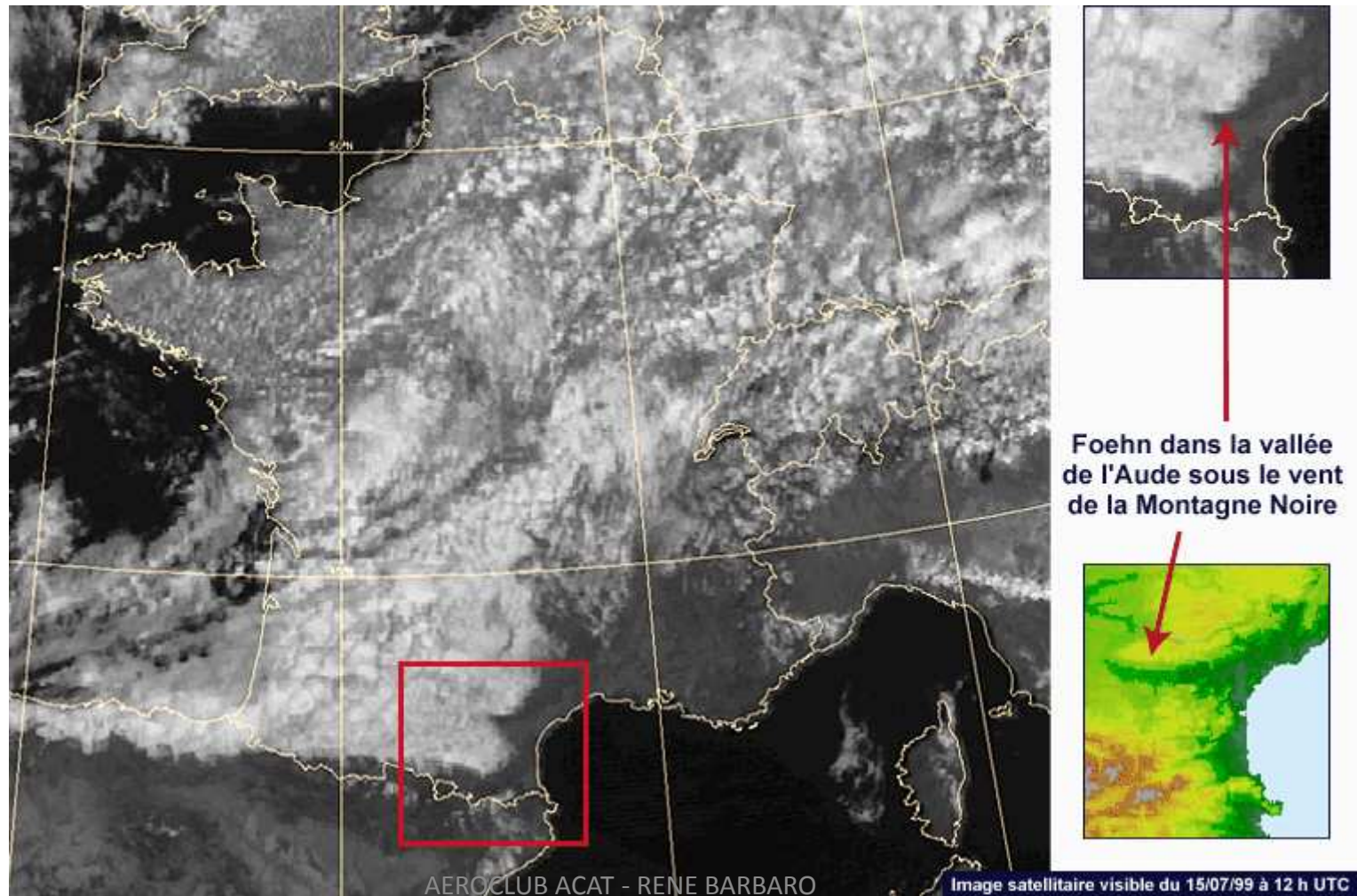


L'effet de Foehn désagrège les nuages



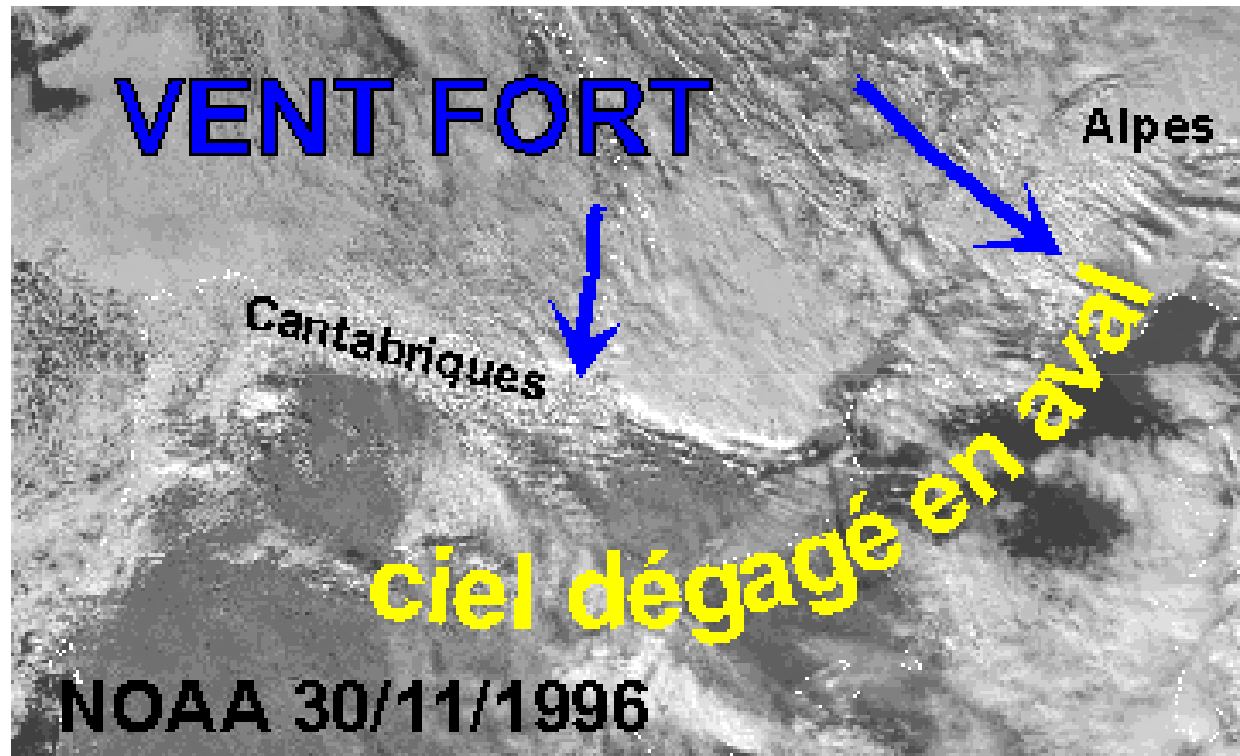


Relief et nuages: effet de Foehn





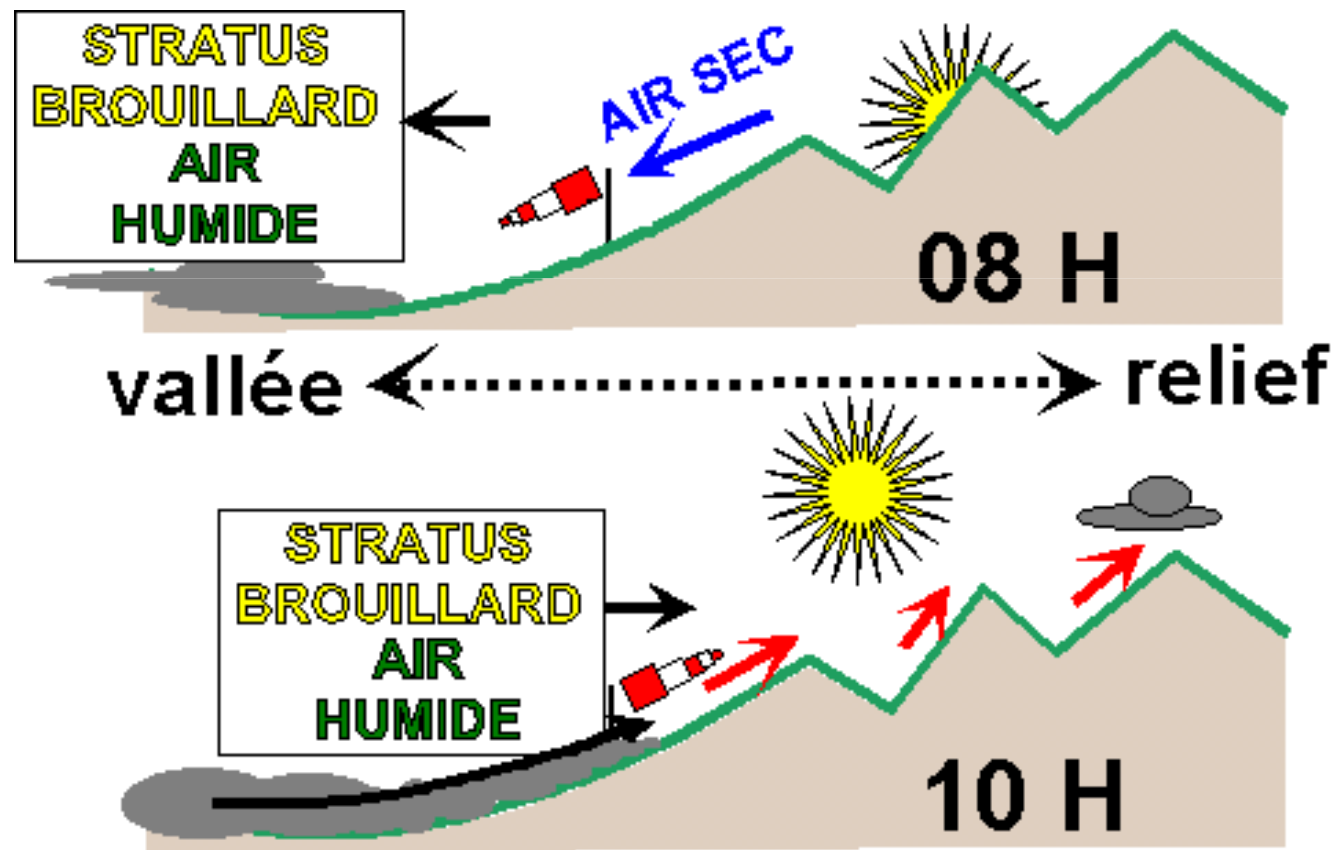
Relief et nuages



Sur l'image du 30 novembre 1996, les nuages de ressaut d'aval s'alignent en plusieurs longueurs d'onde des Pyrénées aux Cantabriques sous l'impulsion d'un vigoureux courant de nord.

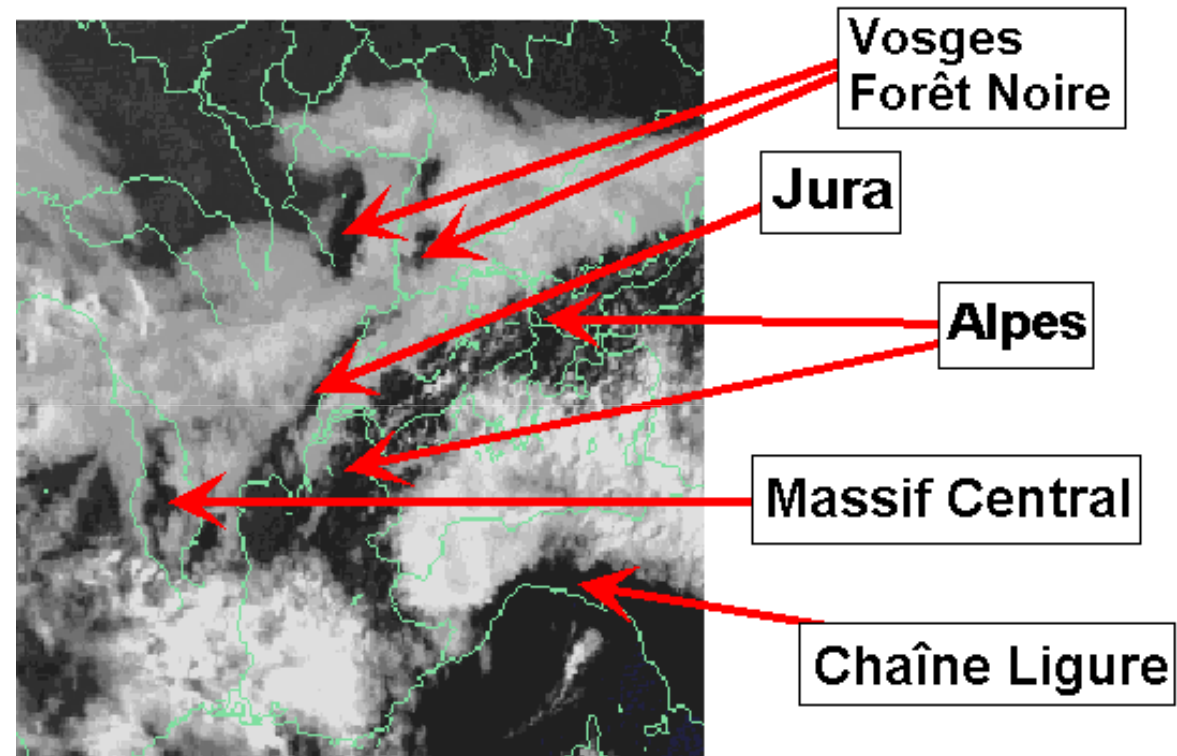


Relief et nuages





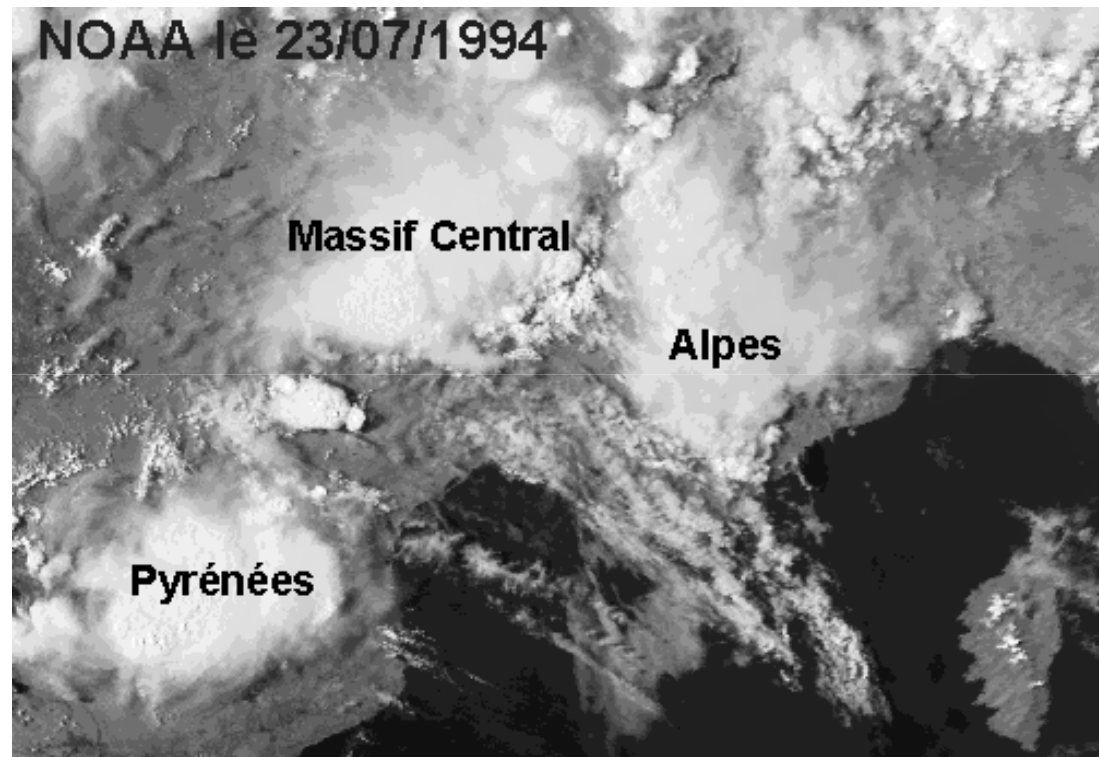
Relief & nuages



Les reliefs aménagent l'espace nuageux et dégagent localement le ciel la nuit et en début de matinée : Ici, sur cette image matinale, nuages bas et brouillards occupent encore toutes les vallées et les plaines, les massifs montagneux restent plus dégagés.



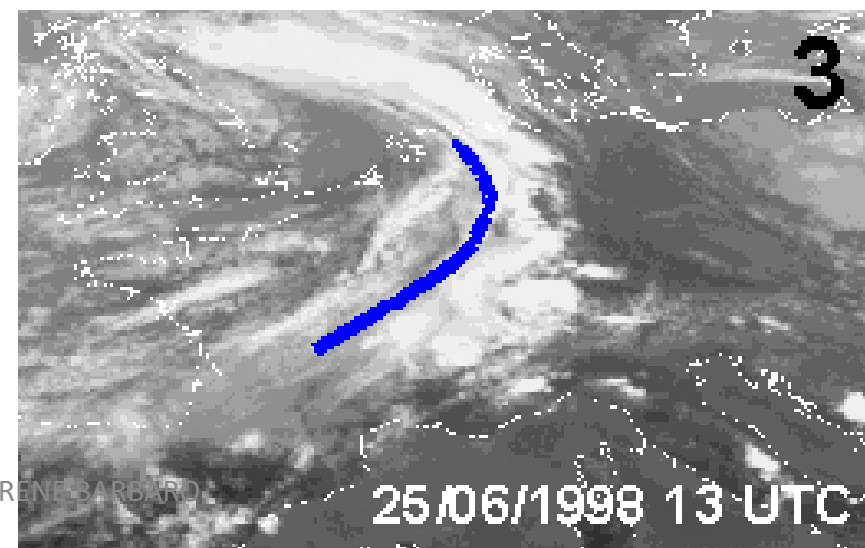
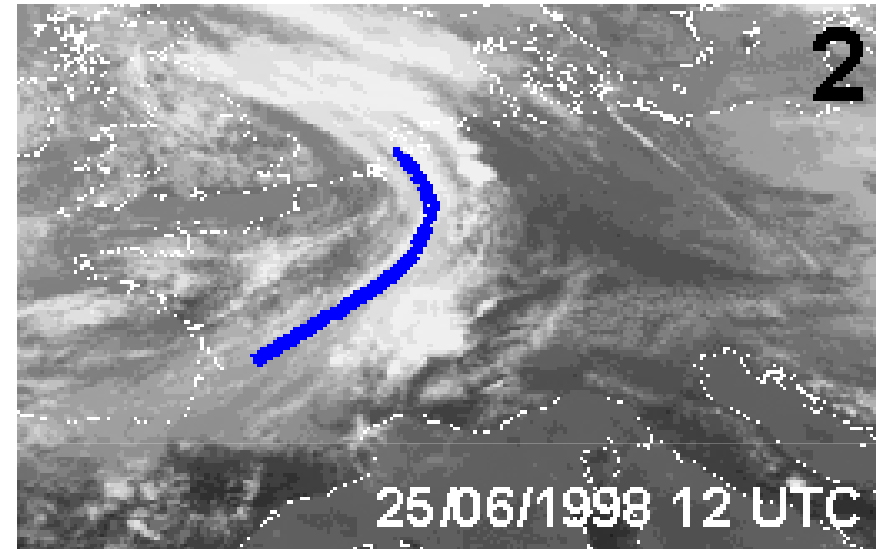
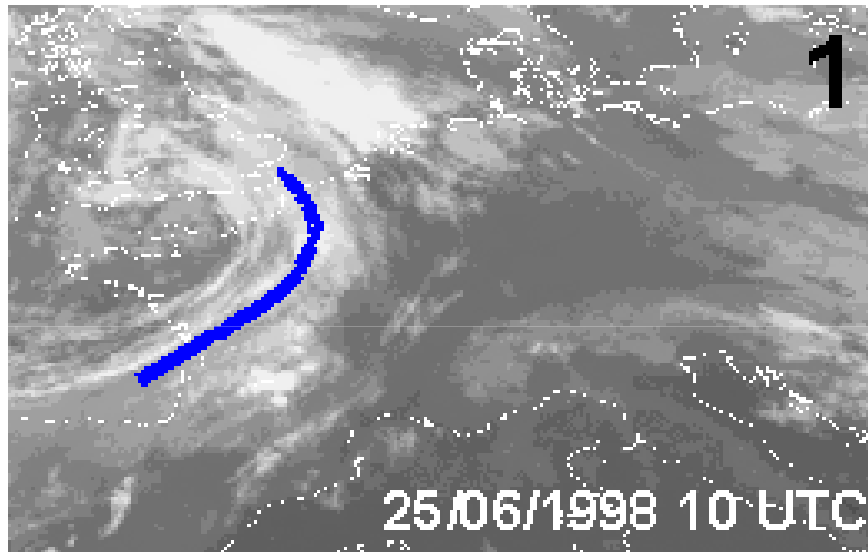
Relief & nuages



Les reliefs aménagent l'espace nuageux et chargent localement le ciel en cours de journée : Ici les grands massifs sont le siège d'une forte activité diurne (cumulonimbus et orages). Les vallées où les plaines restent plus dégagées.



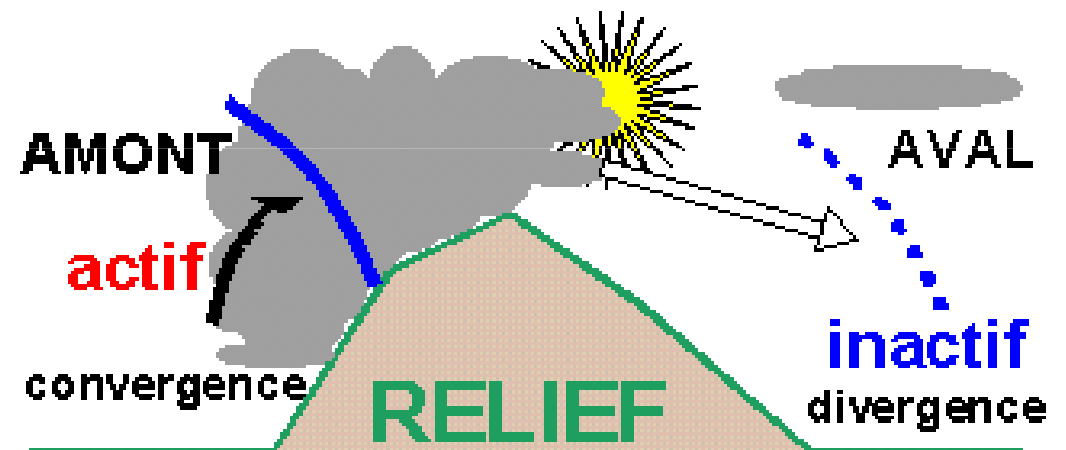
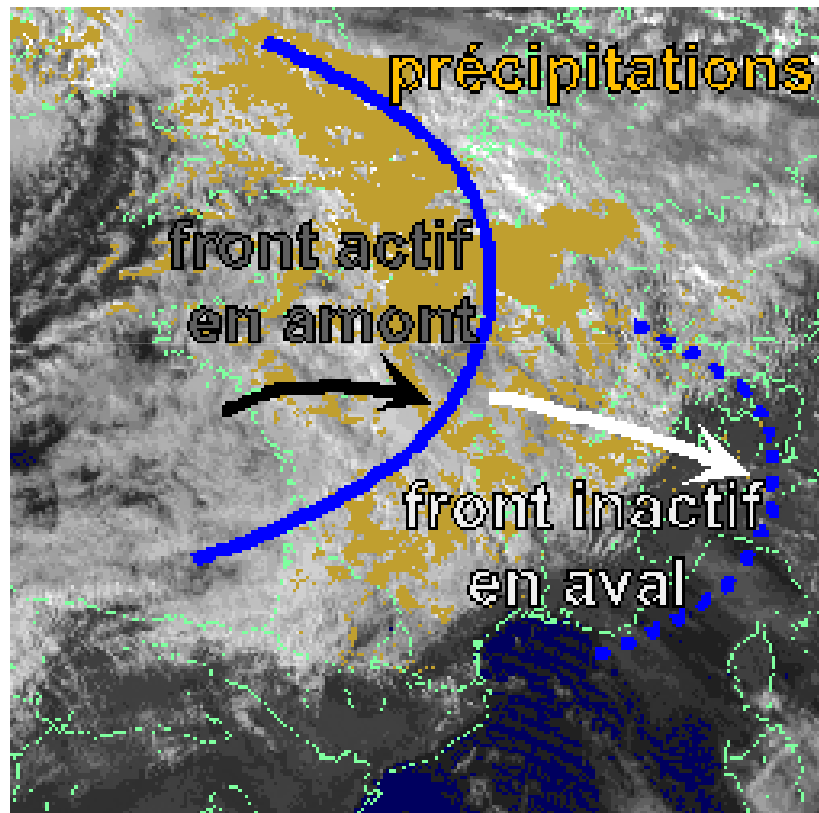
Relief & activité frontale



Le relief renforce l'activité frontale :
comme ici dans le cas d'un front froid
qui aborde le relief Alpin en début
d'après-midi. Des orages se
déclenchent.



Relief & activité frontale



L'activité frontale s'atténue ou disparaît en aval d'un relief important.



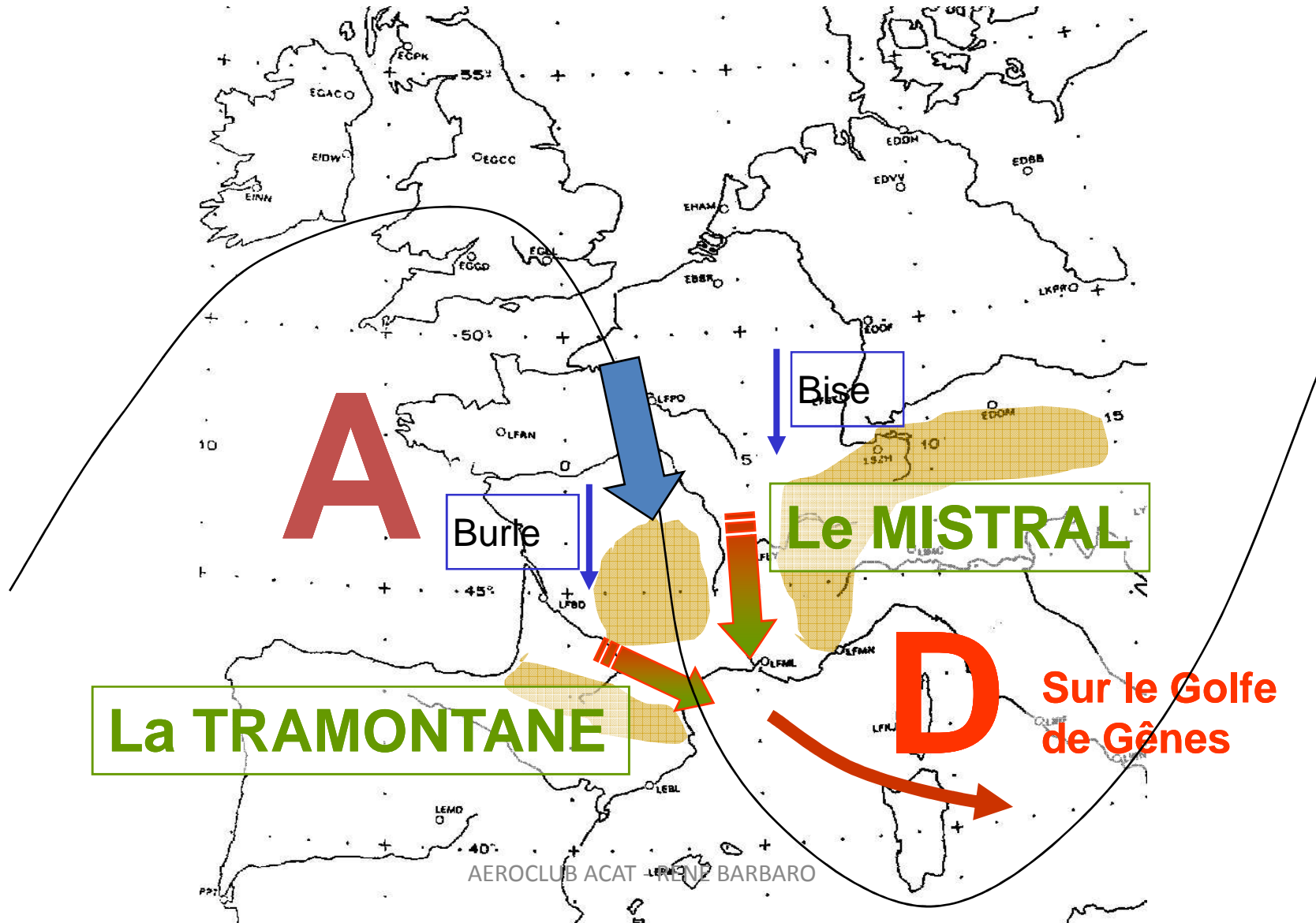
Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Phénomènes d'échelle locale

Les vents locaux France métropolitaine



Situation de Nord

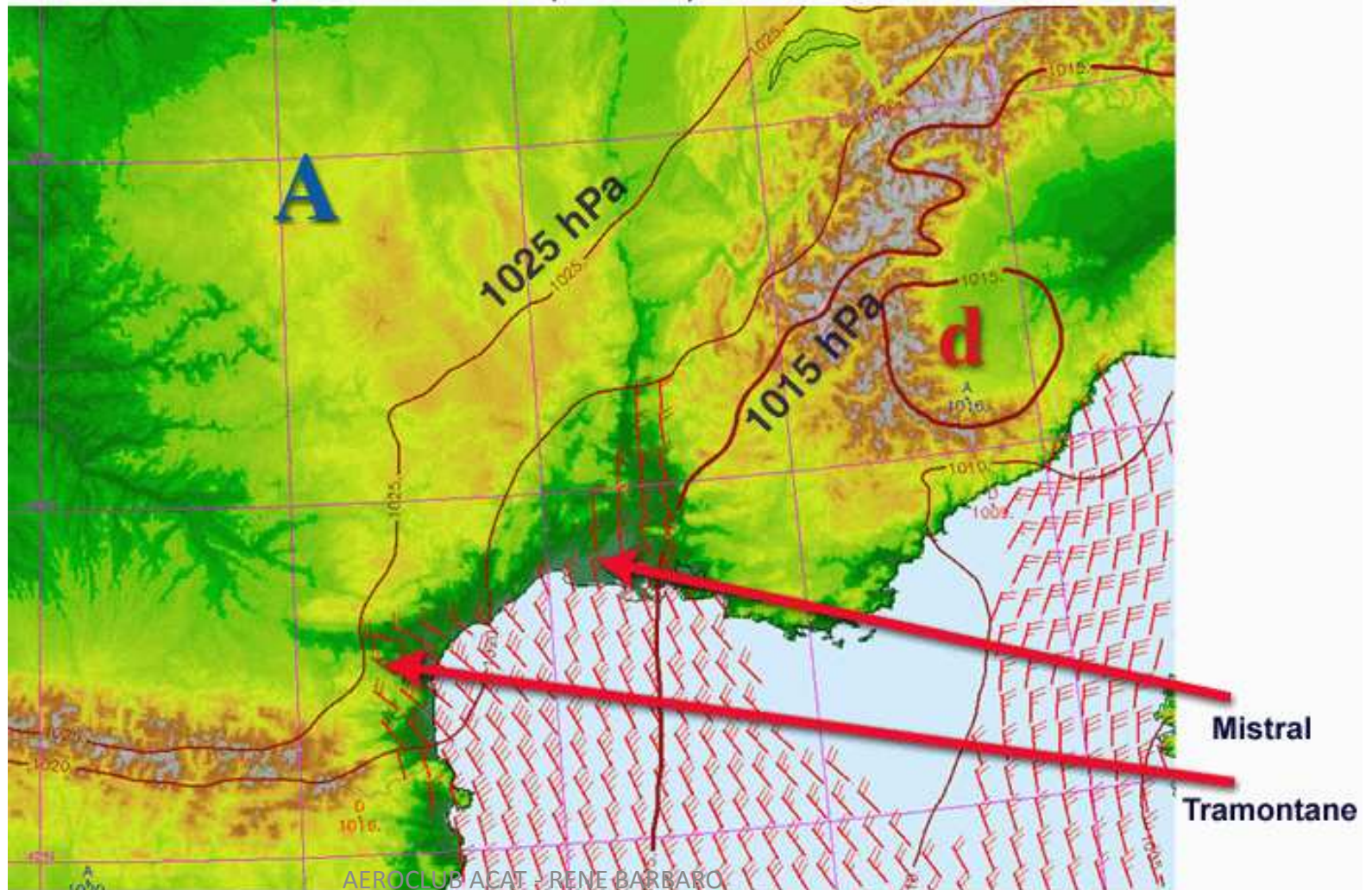




Mistral

Tramontane

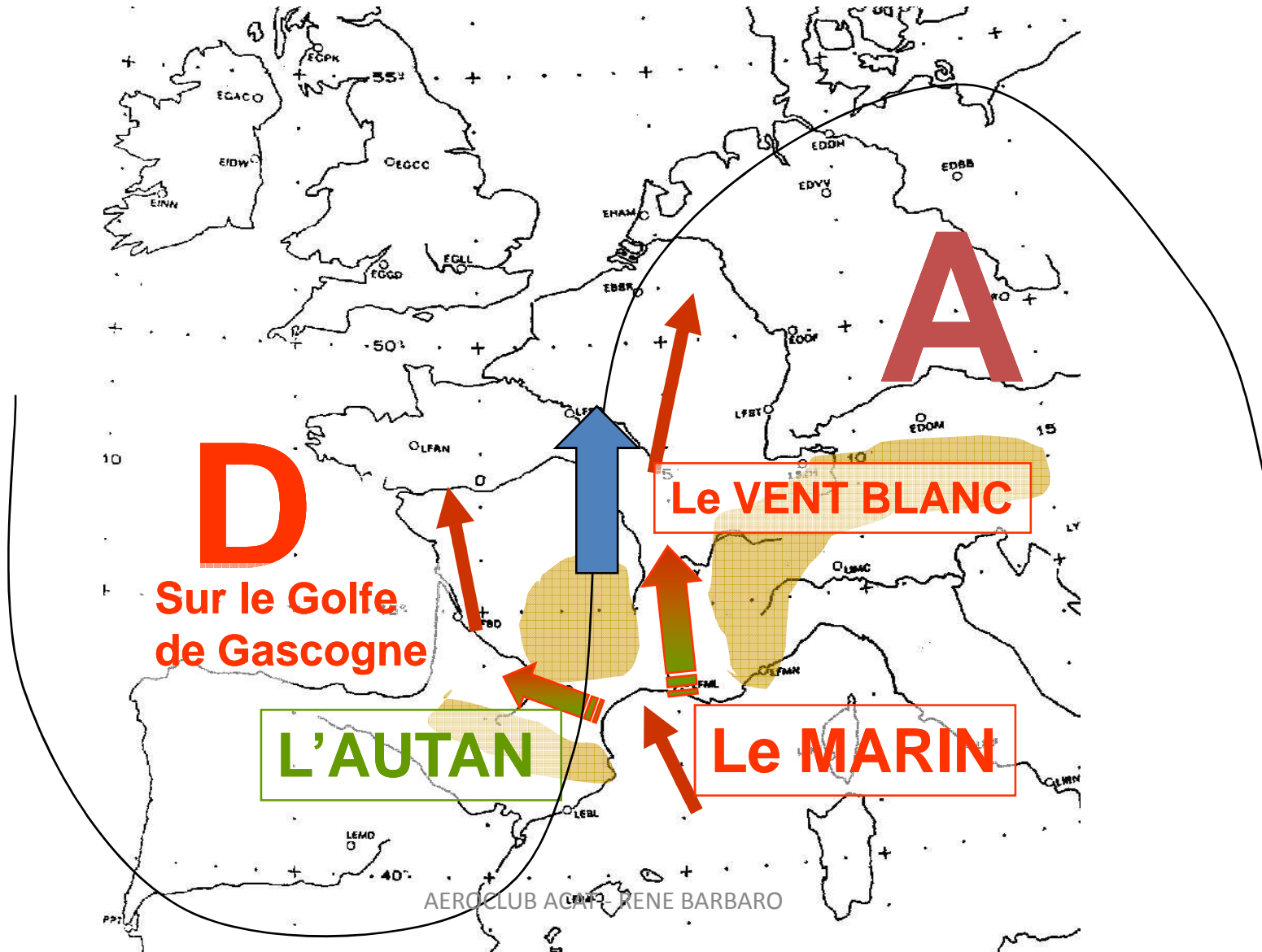
Vents à 10 m supérieurs à 20 nd (37 km/h)



AEROCLOB ACAT - RENE BARBARO



Situation de Sud





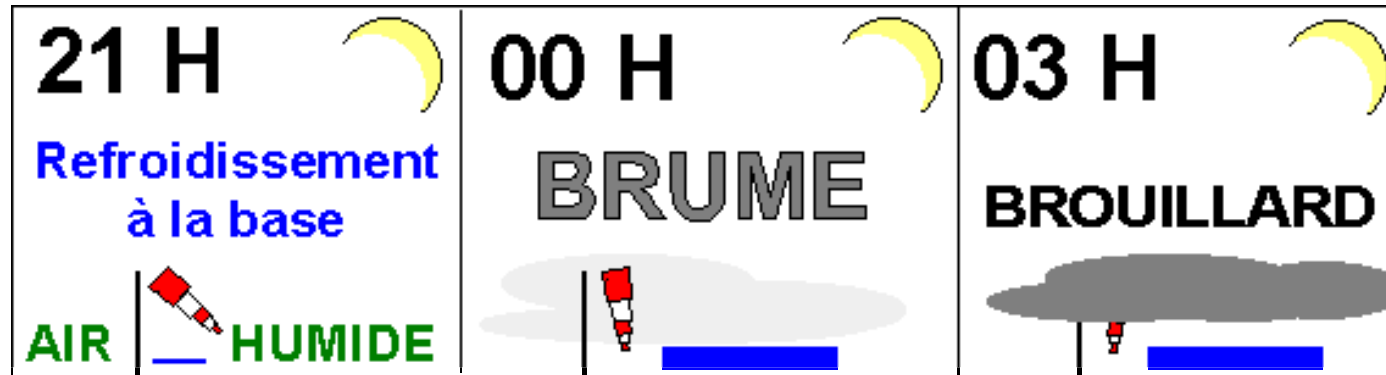
Aéro-club du CE AIRBUS-France Toulouse
René Barbaro

Phénomènes d'échelle locale

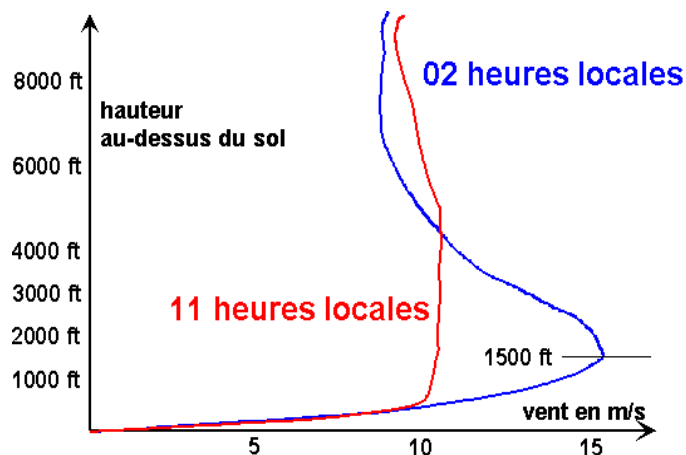
Évolutions locales jour/nuit



Hors perturbations de nuit



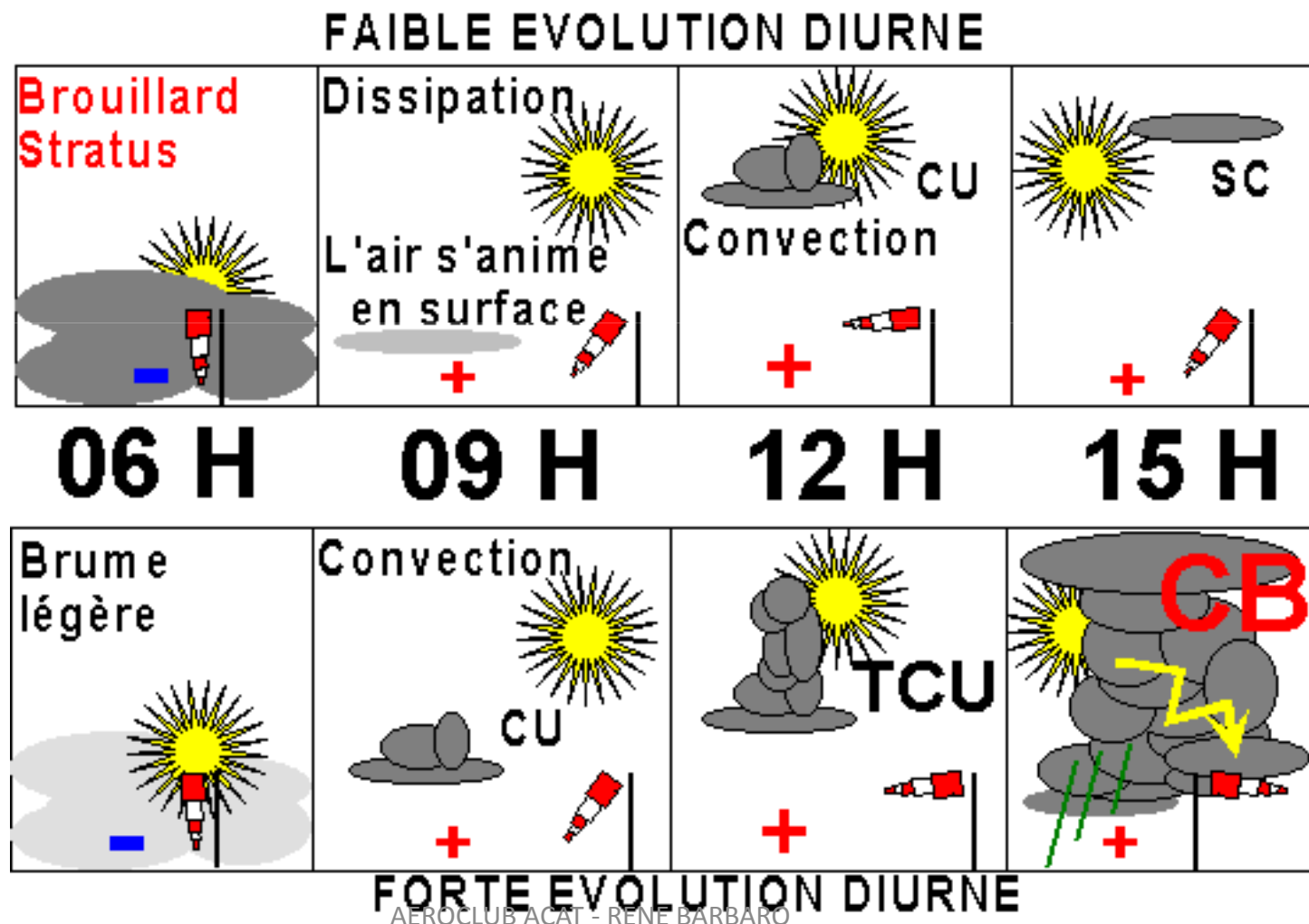
Évolution nocturne classique en régime non perturbé : la nuit, le vent se calme et la visibilité diminue



Évolution nocturne significative : profils moyens jour et nuit de vitesse de vent au-dessus du sol sur un site continental des grandes plaines des États Unis par situation non perturbée. Le maximum de vent apparaît au cours de la nuit à mesure que s'installe l'inversion de température



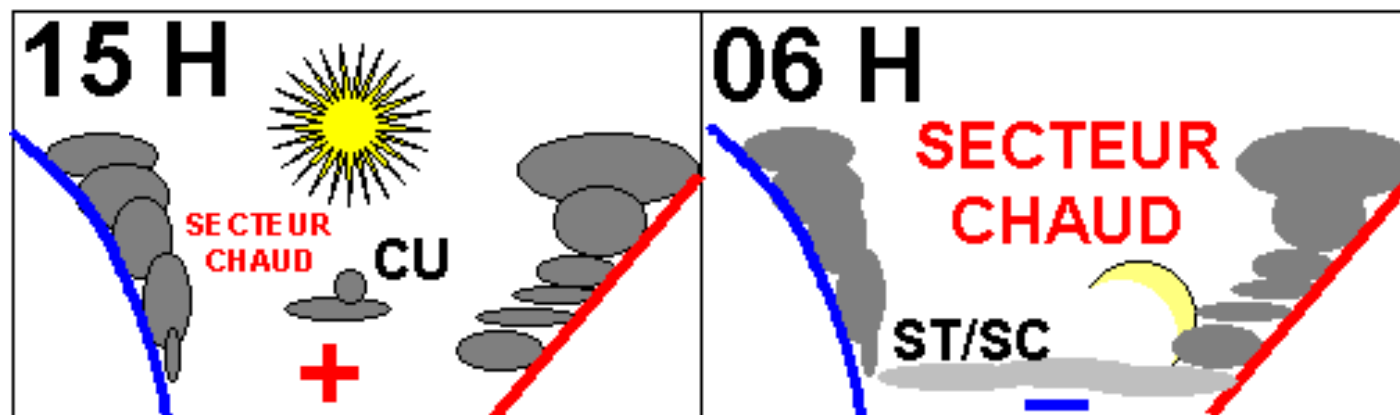
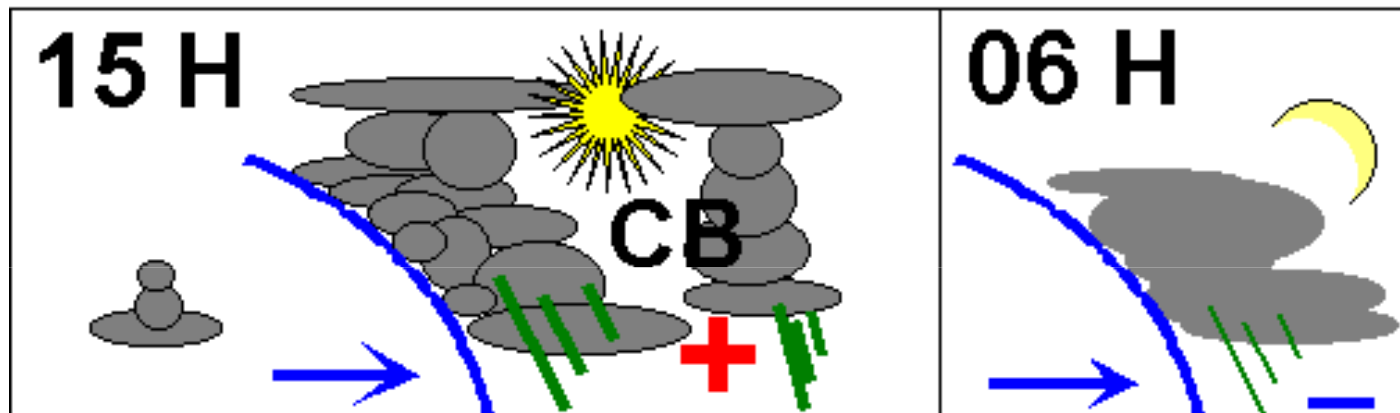
Hors perturbations de jour





Effet sur les perturbations

L'activité frontale diminue dans la nuit



Un secteur chaud se charge dans la nuit