

# Cours de météorologie



aéroclub J. Mermoz

JCR - FI (A) 000100870

# Cours de météorologie : 1° session

- 1> La pression atmosphérique et la température**
- 2> L 'humidité**
- 3> Stabilité et instabilité**
- 4> les nuages**
- 5> les masses d 'air**
- 6> Les fronts et les perturbations**
- 7> Perturbations tempétueuses sur l 'Europe occidentale**

# Cours de météorologie : 2ème session

## 8>L 'information météorologique

### Le dossier de vol:

- Exposé verbal,
- Metar,
- Speci,
- Temsi,
- Taf et Metar

### L 'assistance MTO aux vols VFR

### L 'assistance accessible en vol:

- Volmet,
- Atis,
- Service d 'Information de Vol (S.I.V)

## Cours de météorologie : 3ème session

### **9> Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique:**

- Le givrage
- La turbulence
- L'orage

### **10> Les phénomènes réduisant la visibilité:**

Brume, Brouillard, Stratus

### **11> La météorologie de montagne**

### **12> La météorologie côtière**

## Cours de météorologie : 3ème session

### **9> Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique:**

- Le givrage
- La turbulence
- L'orage

### **10> Les phénomènes réduisant la visibilité:**

Brume, Brouillard, Stratus

### **11> La météorologie de montagne**

### **12> La météorologie côtière**

# Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique

## LE GIVRAGE:

C'est la formation d'un dépôt de glace sur certaines parties de l'avion.  
Il a pour inconvénient majeur:

- d'alourdir l'avion,
- d'altérer l'écoulement aérodynamique de l'air,
- de pouvoir bloquer les gouvernes,
- d'étouffer le moteur (givrage carburateur).

# Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique

Il existe 3 sortes de givre:

- Le verglas,
- Le givre mou,
- La gelée blanche.

Le givrage le plus redouté pour les pilotes VFR est sans nul doute:

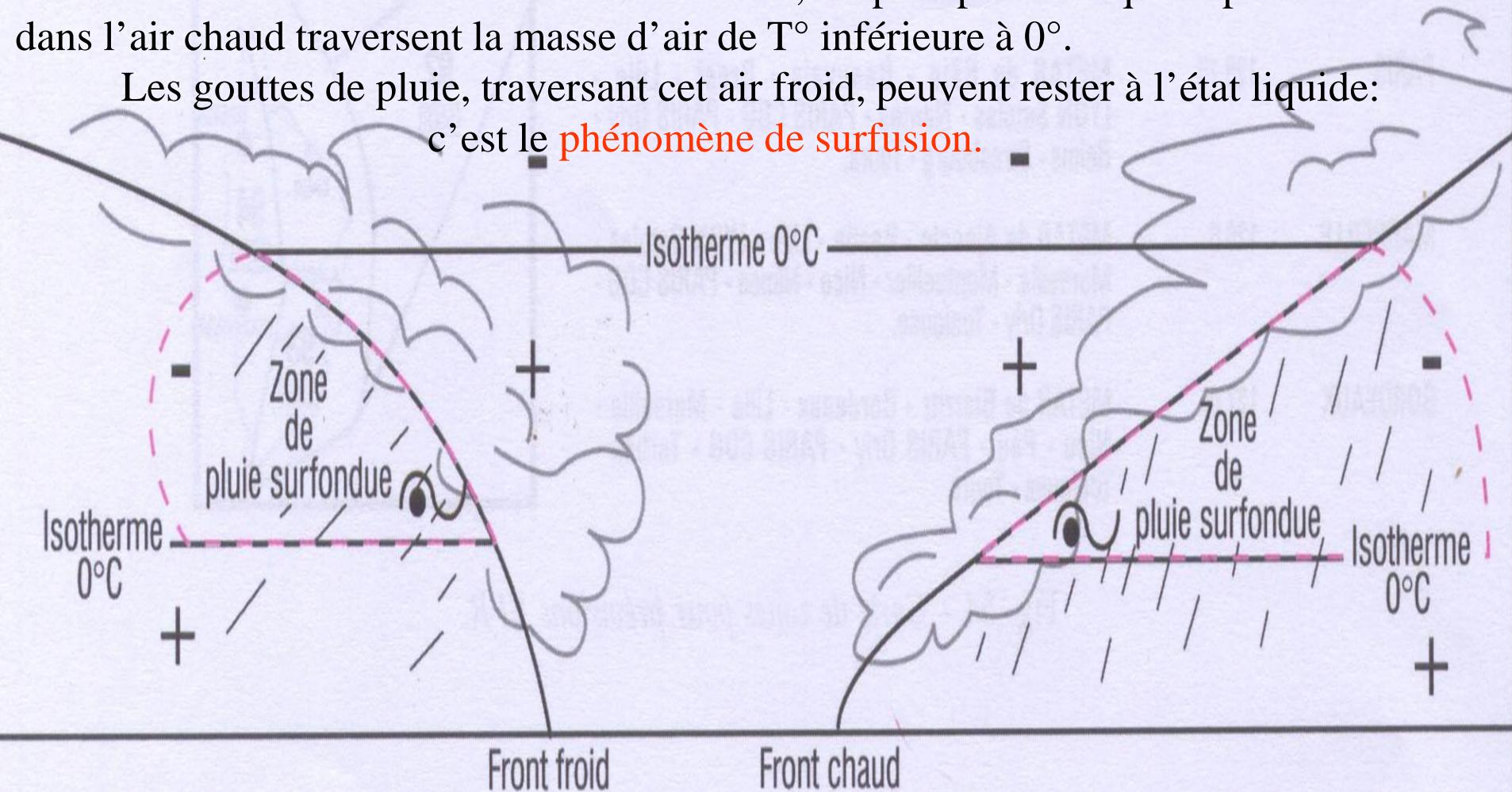
**Le givrage carburateur**

# Le verglas

Une masse d'air de  $T^\circ$  négative peut être observée au-dessous d'une masse d'air de  $T^\circ$  positive.

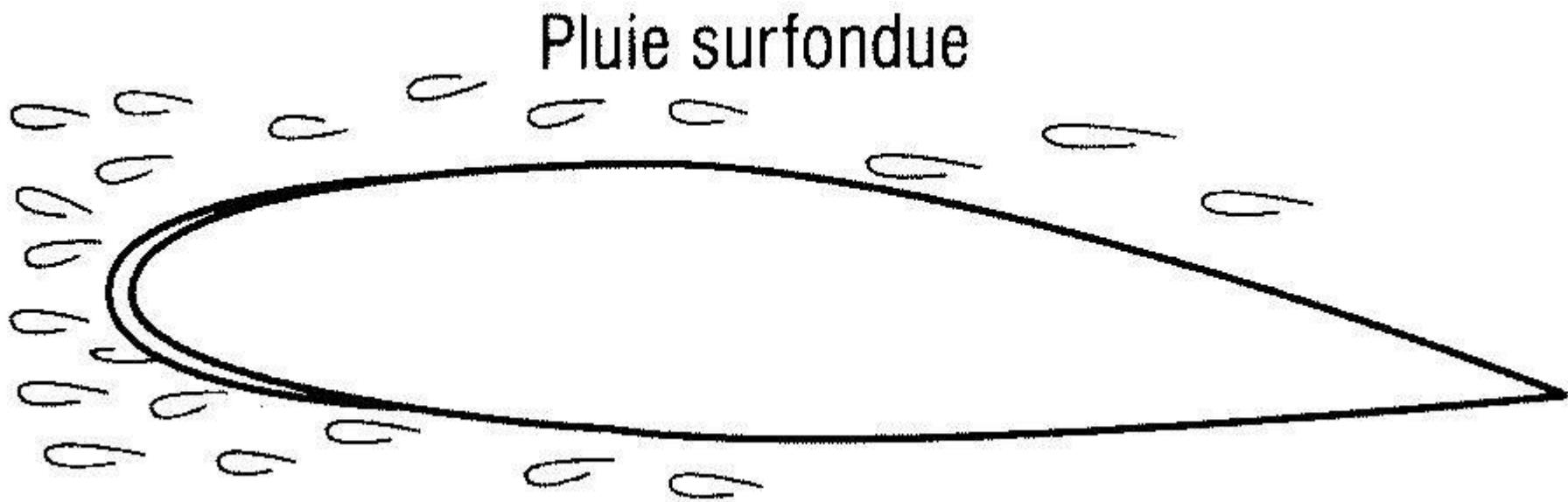
Dans la zone où les deux Iso $^\circ$  se chevauchent, les précipitations qui se produisent dans l'air chaud traversent la masse d'air de  $T^\circ$  inférieure à  $0^\circ$ .

Les gouttes de pluie, traversant cet air froid, peuvent rester à l'état liquide:  
c'est le **phénomène de surfusion**.



## Le verglas:

Un avion qui traverse une zone de pluie surfondue apporte à toutes les gouttes d'eau qu'il touche assez d'énergie pour qu'elles passent à l'état solide: l'avion se couvre de glace en très peu de temps.



C'est le givrage le **plus dangereux**, car on ne s'y attend pas.

Le risque de verglas est indiqué sur la carte TEMSI par le symbole: 

## Le givre mou:

C'est une couche de glace opaque et friable.

Son principe de formation est sensiblement identique à celui du verglas.

La différence réside dans le fait que l'eau liquide en surfusion est constituée par les gouttelettes formant le nuage, beaucoup plus petites que les gouttes de pluie.

C'est un givrage plus lent.



## La gelée blanche:

La gelée blanche n'alourdit pas notablement l'avion, par contre elle modifie le profil de l'aile et diminue très sensiblement ses performances aérodynamiques.

Lorsqu'un avion séjourne dans une masse d'air qui a une  $T^\circ$  inférieure à  $0^\circ$  et s'il traverse ensuite une atmosphère chaude et humide, la vapeur d'eau peut se congeler par le phénomène de condensation solide: (passage de l'état gazeux à l'état solide).

Ce type de givrage peut aussi se produire lorsque l'avion reste au sol en hiver. Il convient donc de retirer tout dépôt de glace avant le départ.

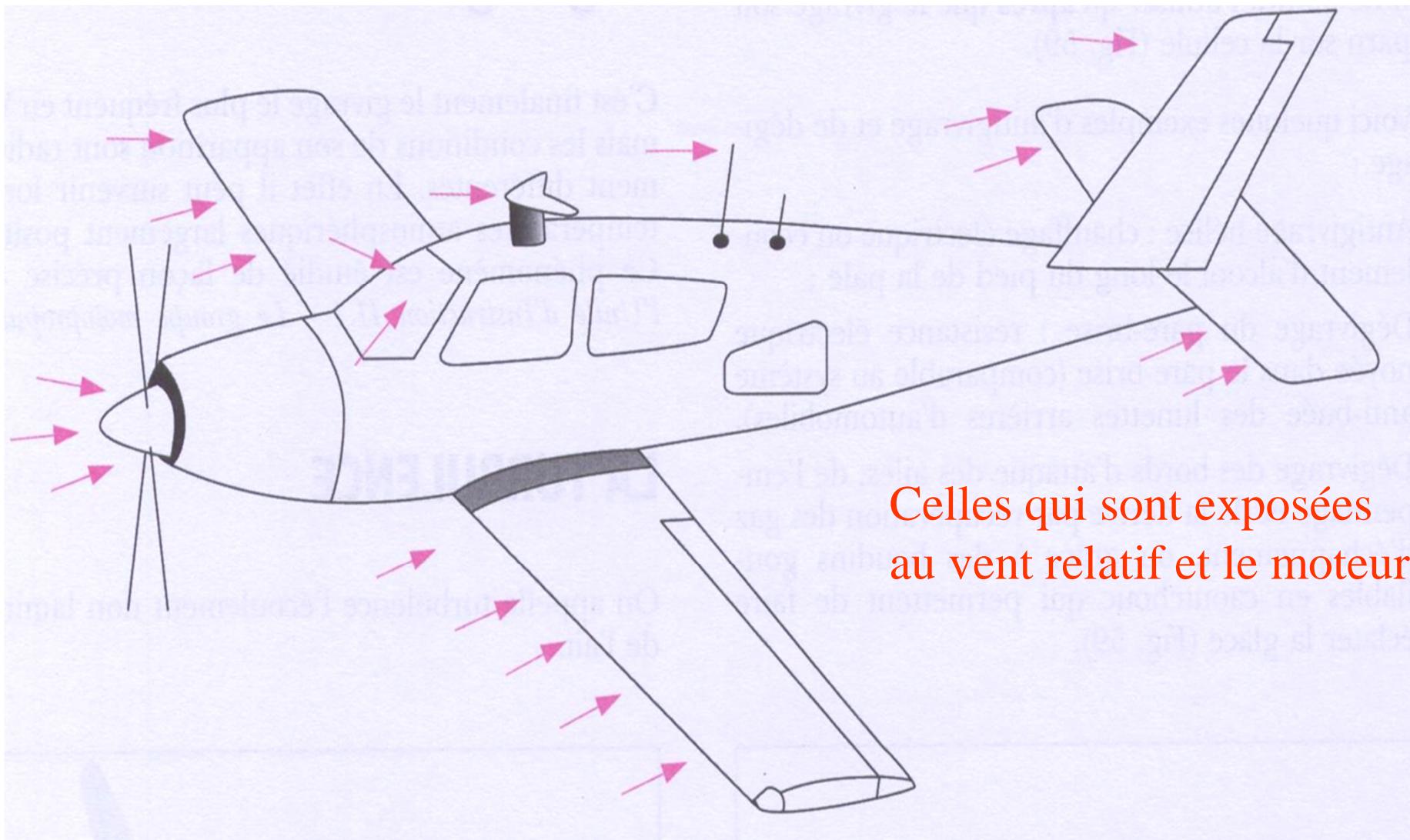
# Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique

## Où rencontre-t-on le givrage?

- \* Dans la plupart des nuages lorsque ceux-ci sont une  $T^\circ$  négative, plus particulièrement dans les nuages instables.
- \* Dans la pluie surfondue liée à un front.

# Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique

Les parties de l'avion qui givrent le plus:



Celles qui sont exposées  
au vent relatif et le moteur

# Cours de météorologie: 3ème session

Certains avions (pas les nôtres) sont équipés de systèmes antigivrants ou dégivrants.

- un système antigivrant est un système **préventif**,  
qu'il faudra actionner d'entrer en conditions givrantes
- un système dégivrant est un système **curatif**,  
à n'utiliser qu'après l'apparition du givrage.

Quelques exemples:

- **Anti-givrage hélice:** chauffage électrique ou écoulement d'alcool le long de la pale.
- **Dégivrage du pare-brise:** comme sur les voitures.
- **Dégivrage des bords d'attaque:**  
gonflement de boudins en caoutchouc

## Le givrage carburateur:

Causes de formation: L'évaporation de l'essence à l'intérieur du carburateur provoque un refroidissement.

Cette baisse de  $T^\circ$  est de l'ordre de  $10^\circ$  à  $15^\circ$ .

Il y a donc de fortes probabilités

pour que le point de rosée de l'air humide soit atteint.

Si en outre, la  $T^\circ$  de l'air ambiant est inférieure à  $15^\circ$ ,

la  $T^\circ$  à l'intérieur du carburateur devient inférieure à  $0^\circ$ .

Le refroidissement conduit souvent à la condensation de la vapeur contenue dans l'air extérieur admis.

Lorsque la  $T^\circ$  du mélange air-essence devient inférieure à  $0^\circ$ , les gouttelettes d'eau formées sont état de surfusion.

Celui-ci cesse lorsque ces gouttelettes heurtent un obstacle:  
soit les bords du venturi, soit le papillon lié à la manette des gaz.

De la glace se dépose donc sur ces éléments. L'espace dans lequel circule le mélange air-essence se réduit.

# Le givrage carburateur:

## Quelques précautions:

**Avant le vol:** le givrage carburateur n'est **jamais** indiqué sur les prévis aéronautiques, car ses caractéristiques sont liés au type de moteur utilisé.

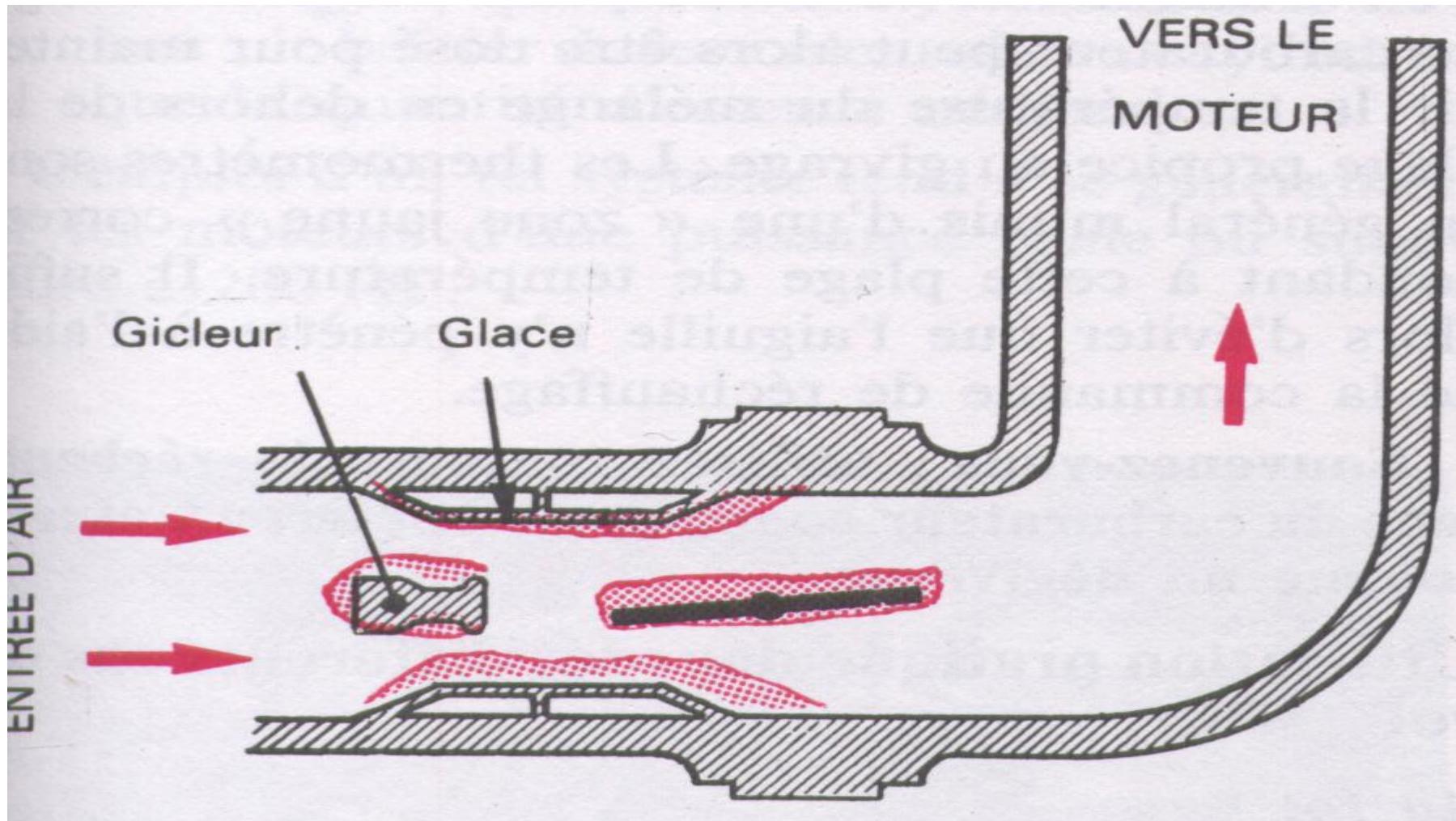
Il appartient **exclusivement** au pilote de recueillir les éléments météo de base.

Si l'avion est muni d'un thermomètre d'air d'admission ou de  $T^\circ$  carburateur, il sera très utile en vol.

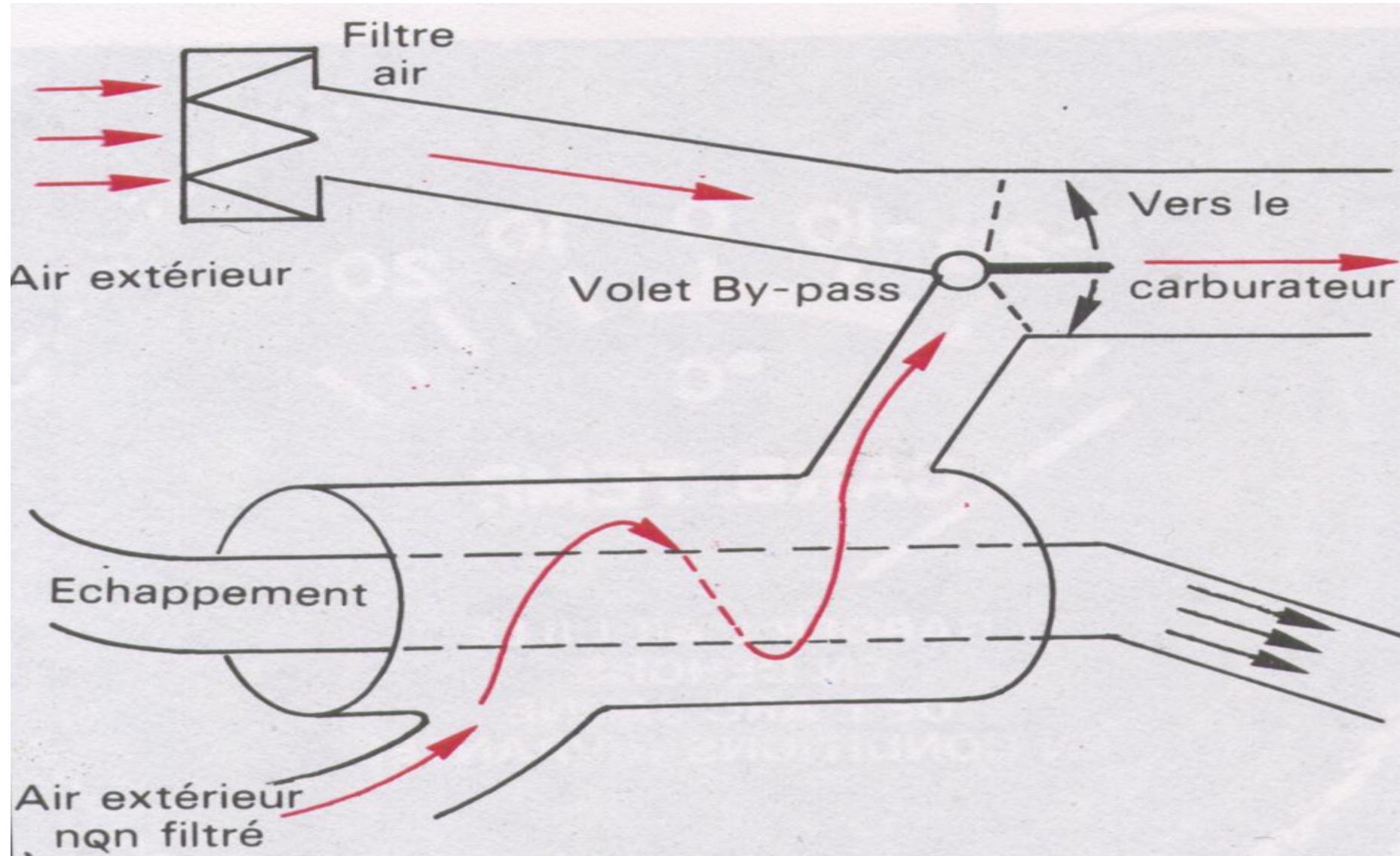
**Pendant le vol:** On attire toujours l'attention du pilote sur le givrage du carburateur moteur réduit.

**TOUJOURS ACTIONNER LE RECHAUFFAGE CARBURATEUR AVANT DE REDUIRE LES GAZ.**

# Le givrage carburateur:



# Le givrage carburateur:



# Les phénomènes dangereux pour l'aéronautique

## La TURBULENCE

On appelle turbulence l'écoulement non laminaire de l'air.

Ce phénomène a principalement deux origines:

- Origine thermique,
- Origine dynamique.

## La turbulence thermique:

### Rappel sur le phénomène de convection:

Lorsque le sol s'échauffe, les couches d'air à son contact deviennent instables et des mouvements ascendants compensés par des mouvements descendants entraînent la formation de tourbillons qui rendent turbulente cette partie de l'atmosphère.

Le plus souvent, on constate l'apparition de cumulus qui matérialisent les courants ascendants. On trouvera inévitablement de la turbulence sous ce type de nuages.

Lorsque l'air est très sec, la turbulence peut être active, même s'il n'y a pas de cumulus: on dit alors qu'il y a des *thermiques purs*.

## La turbulence thermique:

La turbulence thermique est lié à l'échauffement des couches inférieures de l'atmosphère, dont les variations sont très sensibles au cours de la journée:

- Par beau temps en début de matinée, la pellicule d'air en contact avec le sol devient instable. Elle devient le siège de faibles turbulences,
- En début d'après midi l'insolation atteint son maximum... les turbulences aussi,
- En fin d'après midi, la turbulence thermique s'atténue pour disparaître au crépuscule.

## La turbulence thermique: que faut-il en retenir?

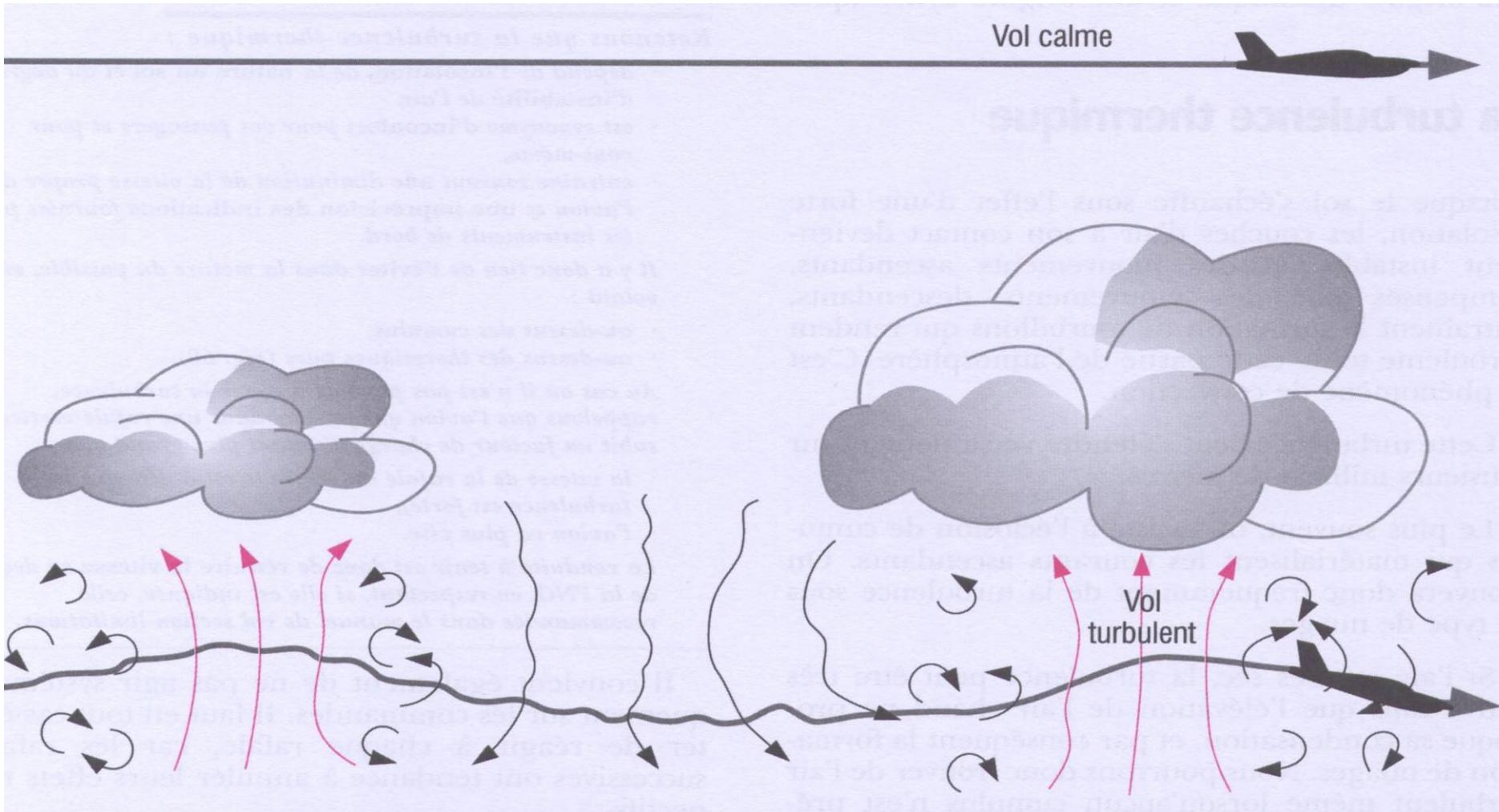
- Dépend de l'insolation, de la nature du sol, de l'instabilité de l'air,
- Est synonyme d'inconfort pour le vol,
- Entraîne souvent une diminution de la Vp de l'avion et une imprécision des indications fournies par les instruments de bord.

Dans la mesure du possible il faut voler au dessus des cumulus ou au dessus des *thermiques purs*.

Rappelons qu'un avion qui pénètre dans une rafale verticale subit un facteur de charge d'autant plus grand que la vitesse de la rafale est grande, et que la vitesse de l'avion augmentera.

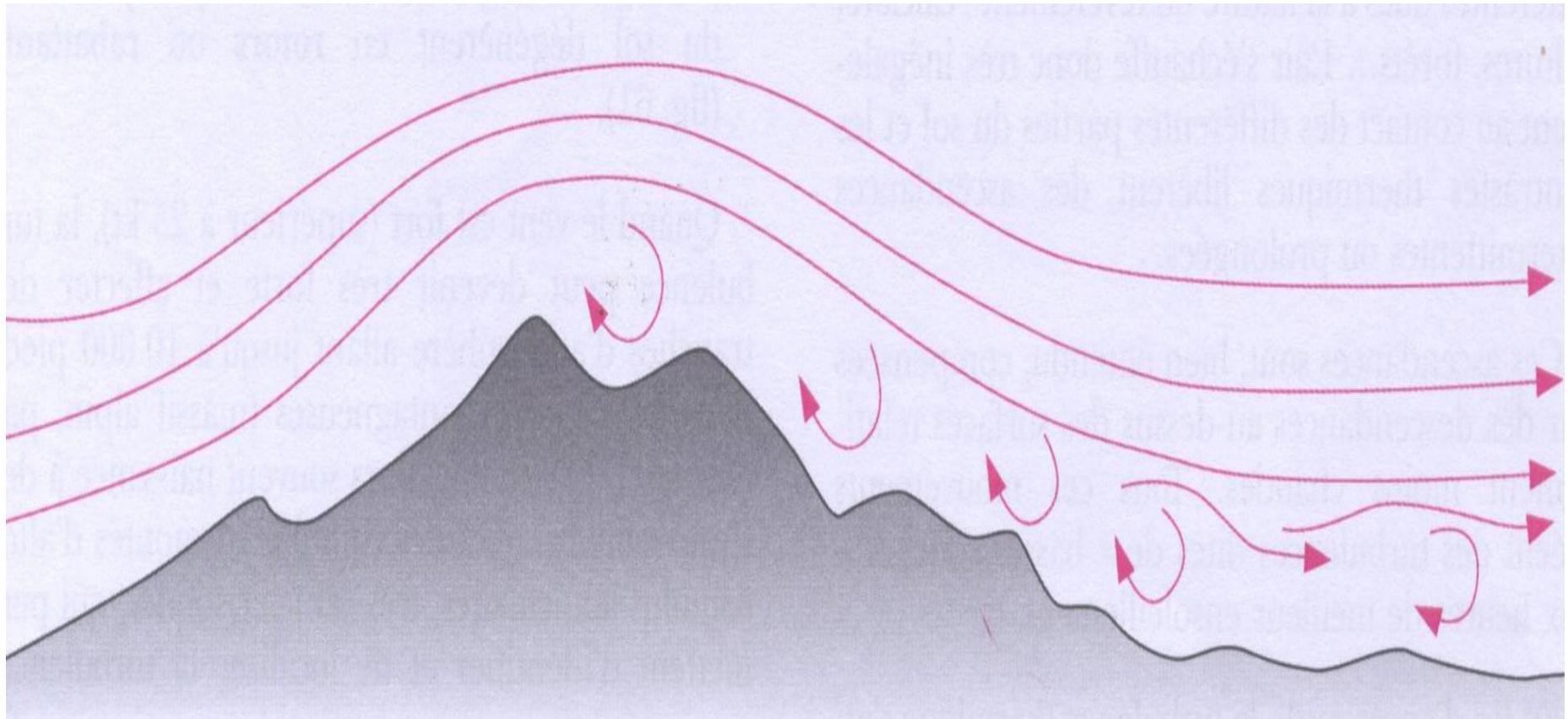
La conduite à tenir en air turbulent est de réduire la vitesse de l'avion. De plus, il n'est pas nécessaire d'agir systématiquement sur les commandes, car les rafales successives ont tendances à annuler leurs effets respectifs.

# La turbulence thermique:



## La turbulence dynamique:

En passant sur un relief, l'écoulement de l'air devient tourbillonnaire. Il génère en aval des crêtes des courants descendants, parfois très puissants: **les rabattants**.



## La turbulence dynamique:

Ces turbulences sont les plus dangereuses pour un avion léger.

L'intensité de cette turbulence varie selon trois facteurs:

- la forme du relief: plus sa hauteur et sa largeur son importantes, plus l'intensité des mouvements verticaux est forte,
- la vitesse du vent,
- le caractère stable de l'atmosphère favorise l'apparition de systèmes ondulatoire qui à proximité du sol dégénèrent en **rotors** ou **rabattants**.

Quand le vent est fort ( $> 25\text{Kt}$ ) la turbulence peut devenir très forte et aller au delà de 10 000 ft.

Elle donne souvent naissance à des strato cumulus ou à des cumulus surmontés d'alto cumulus lenticulaires, très caractéristiques.

aéroclub J. Mermoz

## **FORMATION DES ORAGES**

L 'existence des Cb est liée à l 'instabilité atmosphérique.

Cette instabilité peut provenir de deux phénomènes:

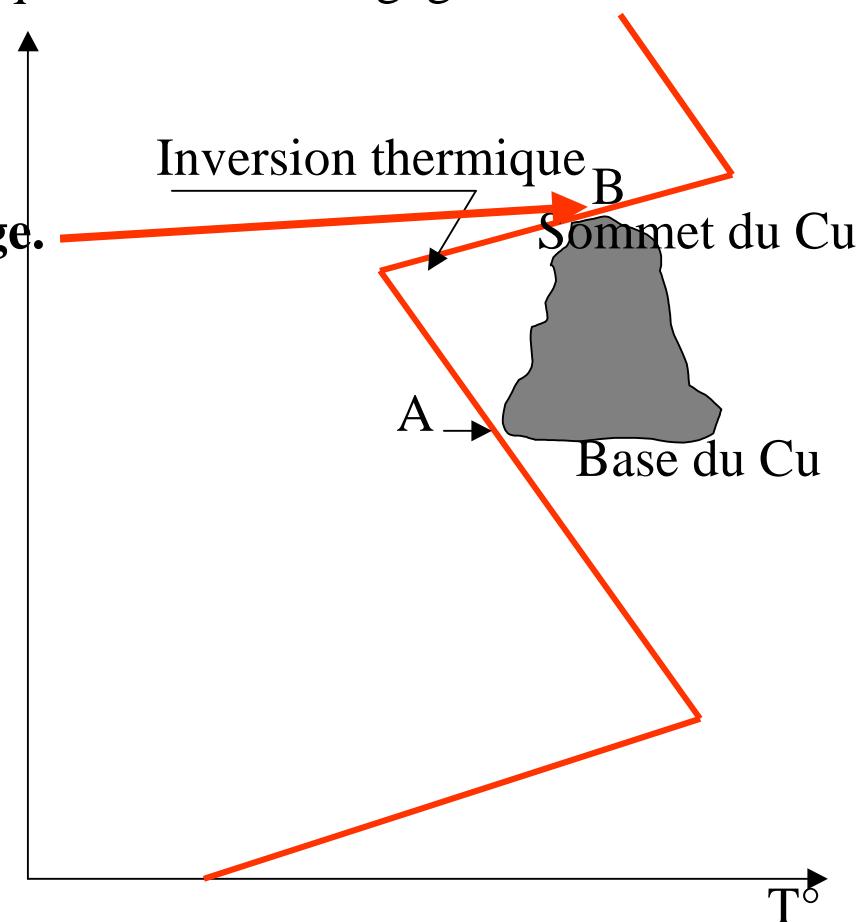
- le **réchauffement** diurne du sol qui donne naissance à la **convection**,
- le **soulèvement** de l 'air par un relief montagneux qui peut transformer une atmosphère stable en atmosphère instable.

# FORMATION DES CUMULONIMBUS

## Rappel sur la formation du Cumulus:

Une particule s'élève adiabatiquement jusqu'au point A où elle se sature en vapeur d'eau à cause de son refroidissement (c'est la base du Cu).

Au-delà, le refroidissement n'est plus adiabatique à cause du dégagement de chaleur latente, mais la particule continue à se lever, en restant saturée jusqu'au point B où l'équilibre thermique avec l'air ambiant est atteint au niveau de l'**inversion de blocage**.



# FORMATION DES CUMULONIMBUS

## -Inversion de blocage vigoureuse:

Si elle est située à moins de 4000 m, les mouvements de convection s'arrêteront au niveau de cette couche stable. Le nuage restera sous forme de Cu.

## - Inversion de blocage peu vigoureuse:

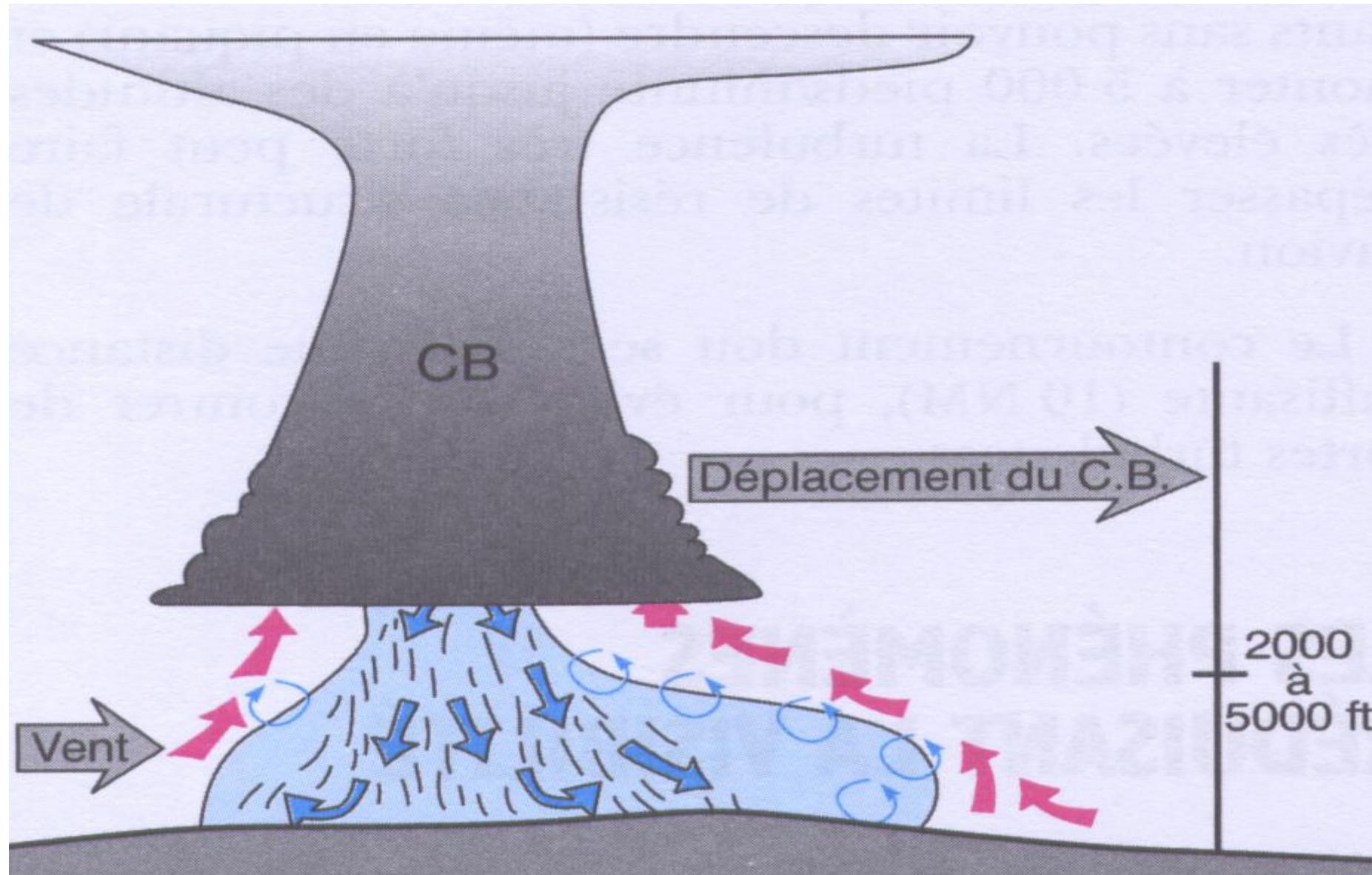
Le Cu verra son sommet limité au niveau de cette inversion toute la matinée.

Dans l'après midi, la hausse de T° est suffisamment importante pour qu'une inversion peu vigoureuse puisse rester efficace.

L'énergie thermique apportée par le sol l'emporte sur la petite couche d'air stable qui est finalement détruite.

Il n'y a plus d'obstacle pour les mouvements ascendants de l'air.

On constate qu'un des CU présents dans le ciel a un sommet qui s'élève rapidement de plus en plus haut. Ce sommet atteint plusieurs milliers de mètres: **Un Cumulonimbus vient de naître.**



# **MANIFESTATIONS DANGEREUSES LIEES AU Cb**

## **Vent, rafales:**

Le vent sous un Cb est très irrégulier, en direction et en vitesse. Le phénomène de cisaillement des vents est perceptible sous ce type de nuage.

## **Le Grain:**

C'est un coup de vent très violent annonciateur d'un Cb. Il est accompagné d'averses qui précèdent le Cb de quelques minutes.

## **La pluie:**

Souvent d'une extrême violence sous les Cb très actifs.

## **La Grêle:**

Phénomène peu fréquent mais très dangereux.

## **La Foudre:**

Elle ne touche qu'exceptionnellement les avions. Elle peut endommager les moyens radios.

Grêle



aéroclub J. Mermoz

# **SITUATIONS MTO PROPICES A LA PRESENCE DE Cb**

## **- la traîne active:**

Dans ce cas les Cb sont bien isolés et peuvent être contournés.

## **- Le front froid secondaire:**

C'est une barrière de Cb infranchissables. Il est situé dans la traîne.

## **- Le Cb noyé dans la couche frontale:**

Il est dangereux car difficilement repérable.

## **- Le Cb d'été:**

Par évolution diurne, l'orage éclate dans l'après-midi et se poursuit en soirée. Ses dimensions sont énormes.

## **VOL EN PRESENCE DE Cb**

Il est impossible de voler au-dessus d 'un Cb : sommet à plus de 25 000 ft.

Le passage sous le nuage est également très dangereux: on vient de voir les effets « secondaires » liés à ce type de nuage.

Le contournement doit se faire à une distance suffisante (10 NM) pour éviter de fortes turbulences.

## **LES PHENOMENES REDUISANT LA VISIBILITE**

La visibilité est la distance maximale jusqu'à laquelle il est possible d'identifier un objet à l'œil nu.

La visibilité horizontale est estimée en mètres ou en kilomètres.  
Le pilote est surtout intéressé par la visibilité en vol c'est à dire la visibilité oblique (du haut vers le bas)

Les phénomènes réduisant la visibilité sont:

- \* les précipitations,
- \* la brume,
- \* le brouillard
- \* la brume sèche.

## Les Précipitations:

La pluie modérée (RA) ou forte (+RA) peut réduire la visibilité jusqu'à 400 m, voire moins.

- \* Pluie associée à des nimbo-stratus (Ns): dans un front actif, cas assez fréquent en hiver.
- \* Averses (SH) dans un front: aggravent temporairement les conditions.
- \* Averse dans une traîne: les réductions d visibilité ne durent que quelques dizaines de minutes; possibilité de les contourner.
- \* La neige (SN): réduit la visibilité à 2 ou 3 Km. Une averse de neige (+SN) réduit la visibilité à quelques mètres : **vol VFR interdit**.
- \* La bruine (DZ): ne réduit pas sensiblement la visibilité, mais est souvent associée à des situations de brume ou de brouillard (secteur chaud d'une perturbation)

## La brume (BR):

Elle est constituée de poussières et de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air.

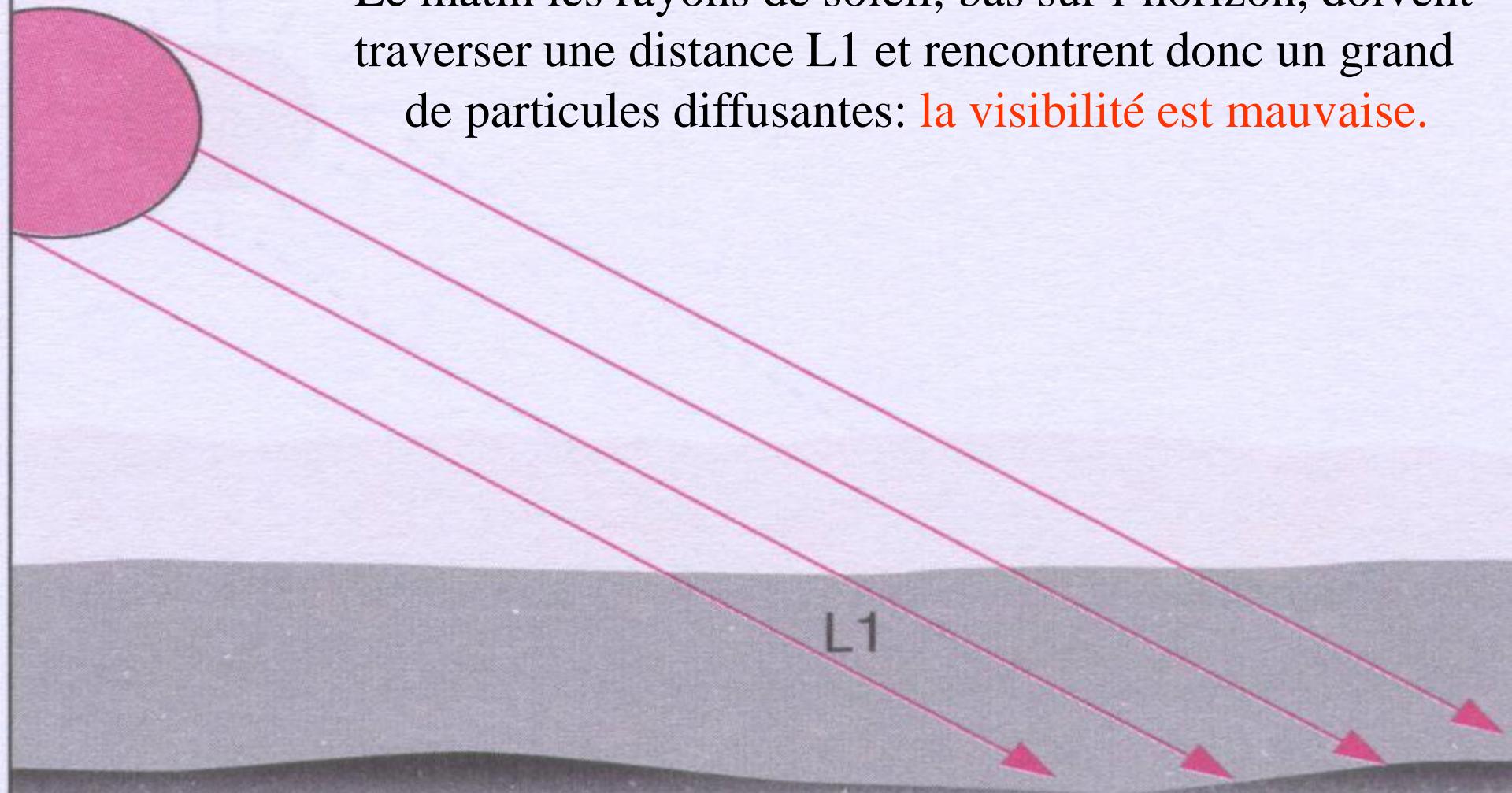
Il y a brume lorsque la visibilité est supérieure ou égale à 1 Km et inférieure à 5 Km.

La brume peut apparaître dans deux types de situations:

- \* anticyclone ou dorsale,
- \* secteur chaud avec couche nuageuse.

## La brume en conditions anticyclonique:

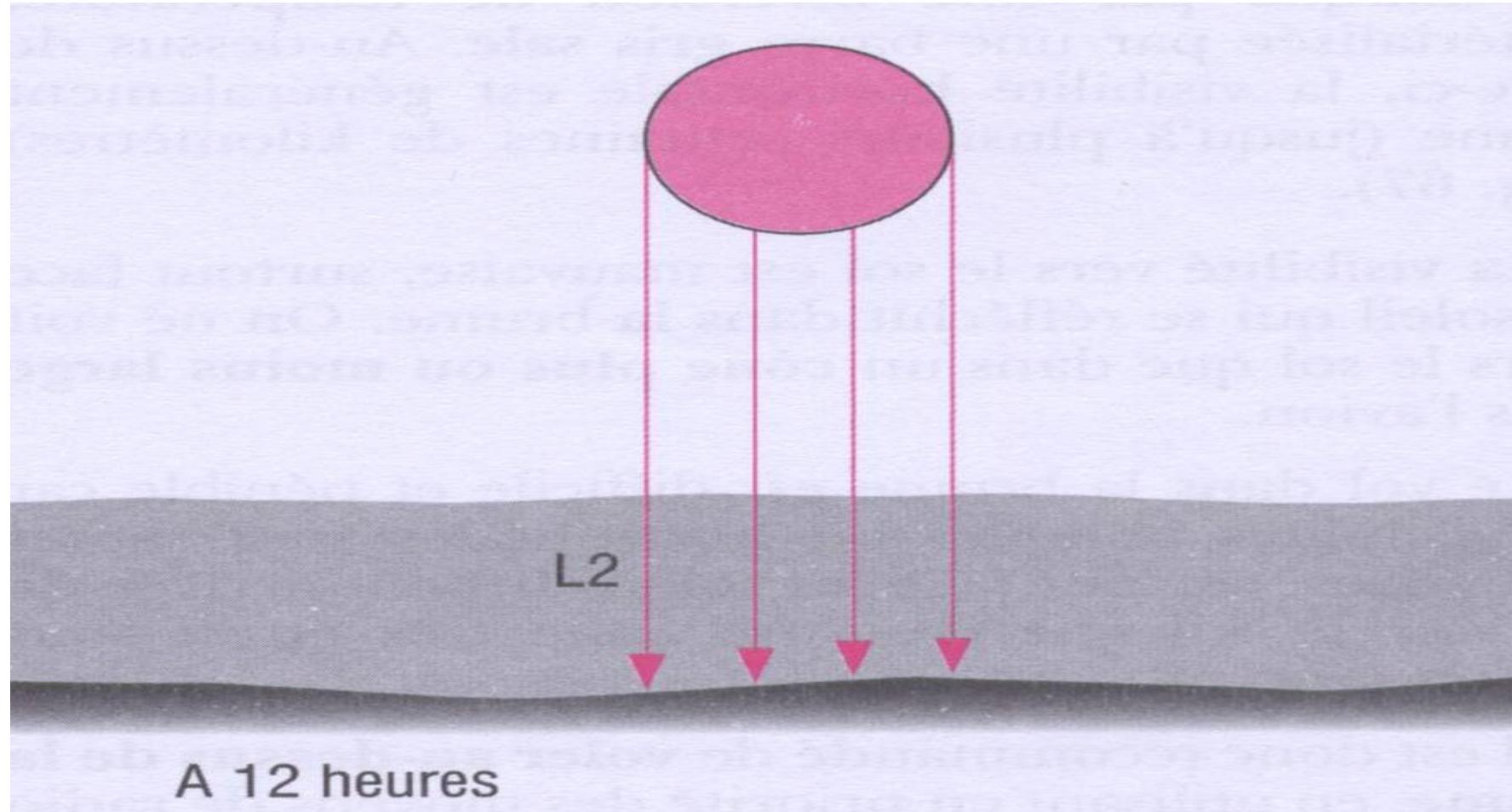
Le matin les rayons de soleil, bas sur l'horizon, doivent traverser une distance  $L_1$  et rencontrent donc un grand nombre de particules diffusantes: **la visibilité est mauvaise.**



A 8 heures

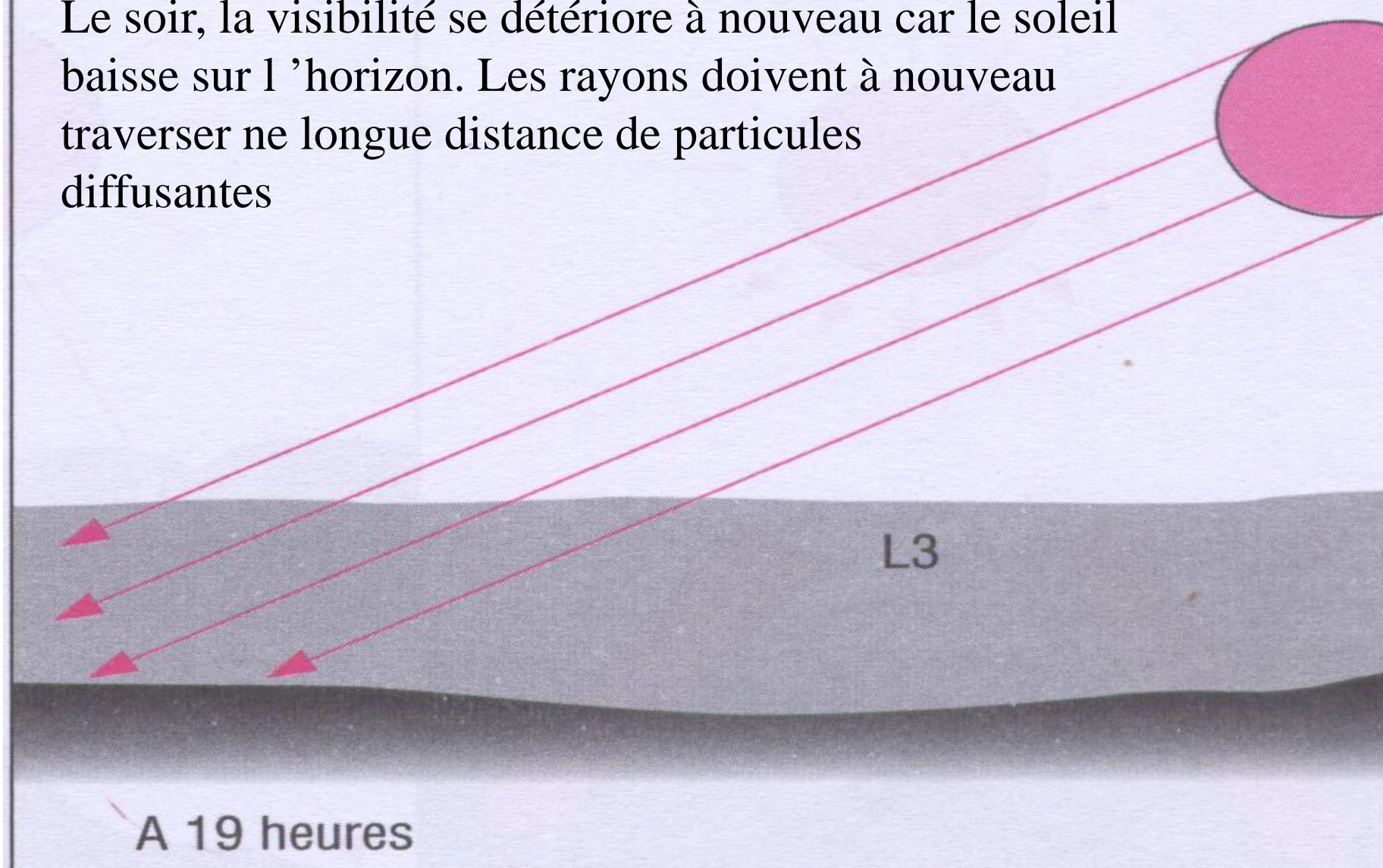
## La brume en conditions anticyclonique:

L'après-midi, le soleil est en haut, il y a moins de particules diffusantes à traverser: la visibilité s'améliore.



## La brume en conditions anticyclonique:

Le soir, la visibilité se détériore à nouveau car le soleil baisse sur l 'horizon. Les rayons doivent à nouveau traverser ne longue distance de particules diffusantes



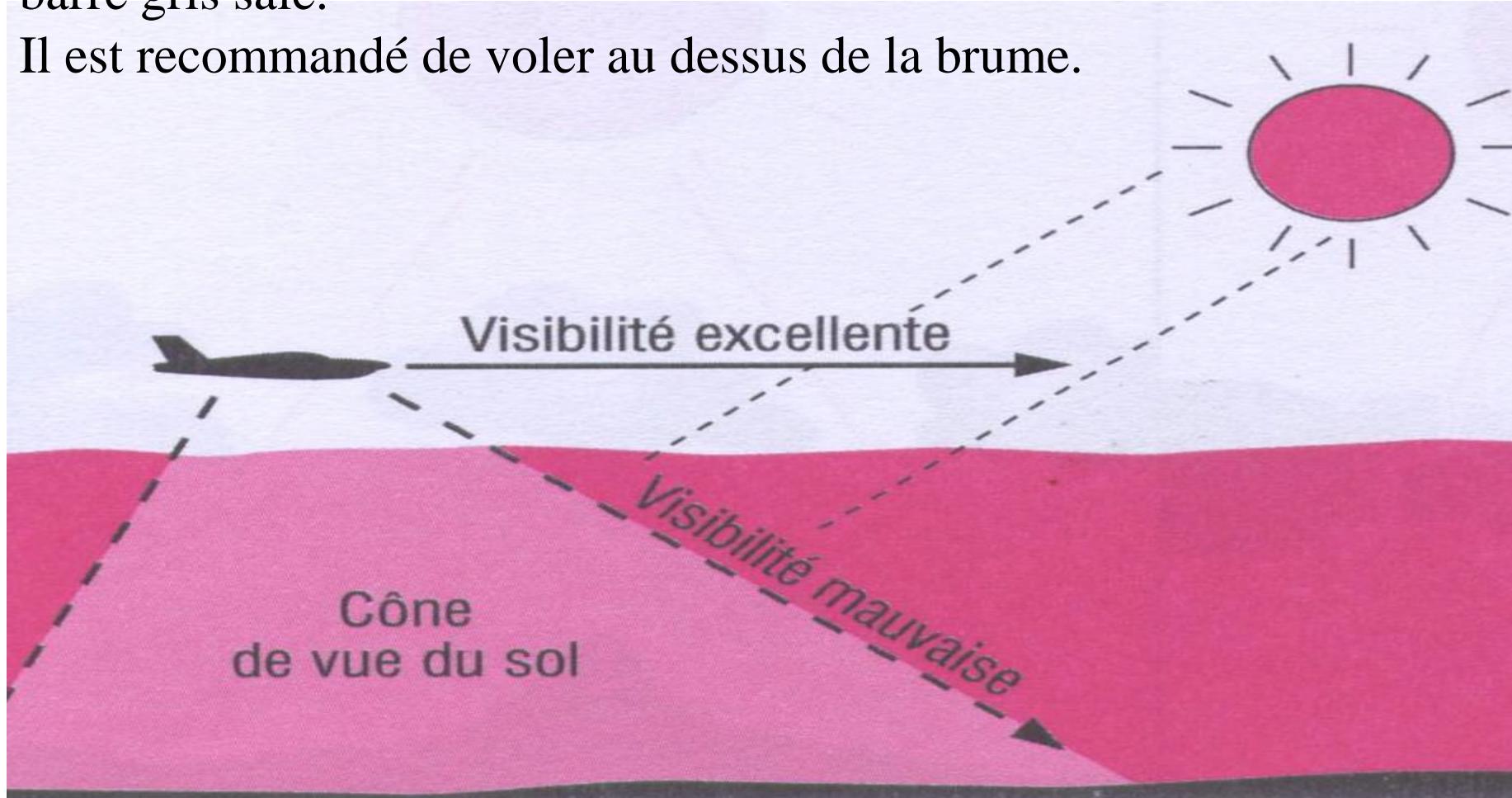
A 19 heures

## La brume en conditions anticyclonique:

La brume est limitée aux basses couches (2000 à 3000 ft).

Son sommet est marqué par une inversion de T° matérialisée par une barre gris sale.

Il est recommandé de voler au dessus de la brume.



## La brume en conditions anticyclonique:

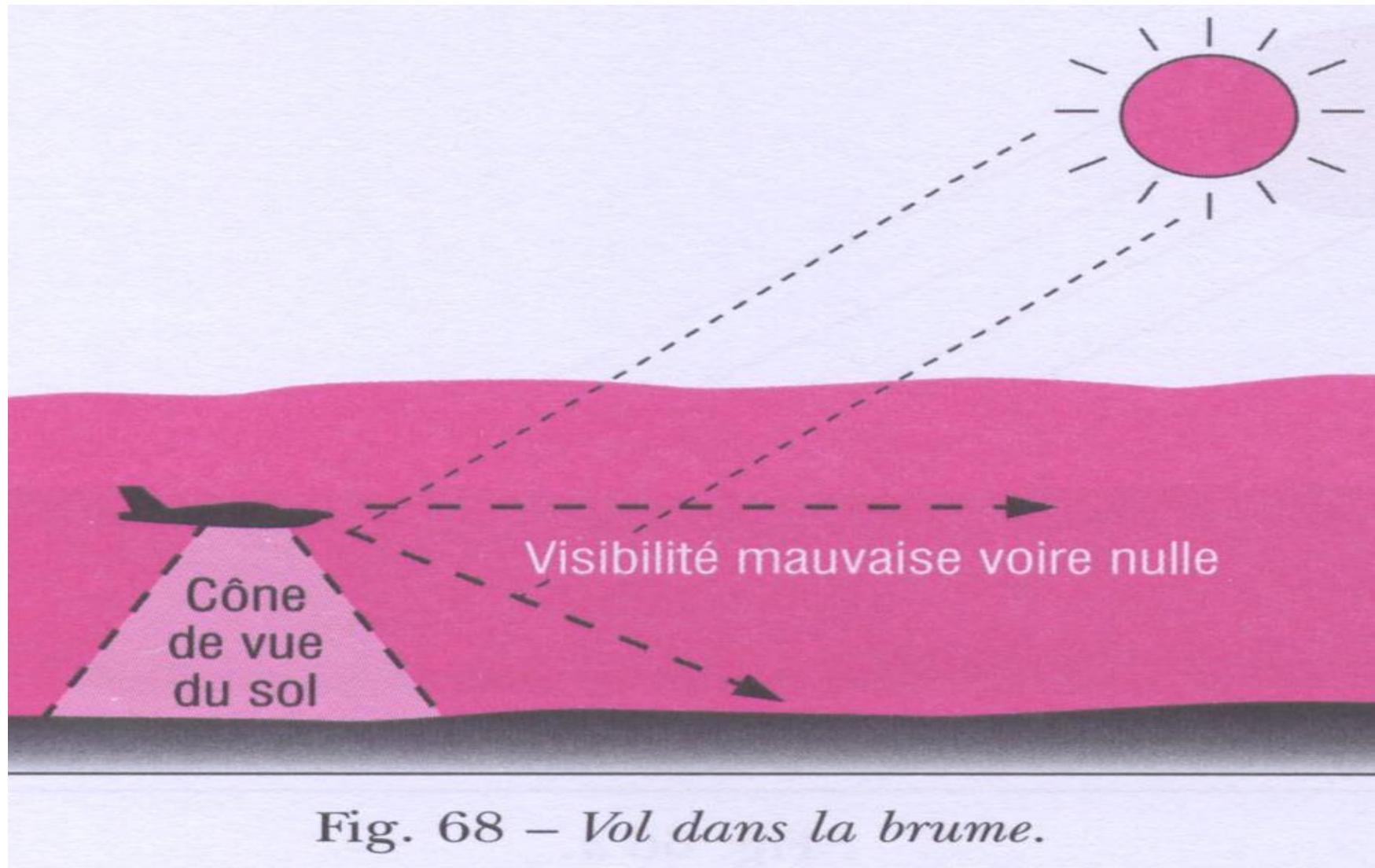


Fig. 68 – Vol dans la brume.

# Le brouillard

On dit qu'il y a brouillard quand la visibilité est inférieure à 1 kilomètre.

Il y a plusieurs types de brouillards:

Brouillard de rayonnement,

Brouillard d'advection,

Brouillard de pente.

## Le brouillard de rayonnement:

C'est le plus fréquent, sous nos climats. Sa formation est due:

- \* vent faible,
- \* ciel dégagé,
- \* forte humidité relative ( $T^\circ$  voisine du point de rosée).

Ces conditions sont réunies en présence d'un anticyclone ou d'une dorsale.

# Le brouillard de rayonnement:

## Sa formation:

Le soir, la  $T^\circ$  peut s'abaisser fortement par rayonnement du sol vers l'atmosphère.

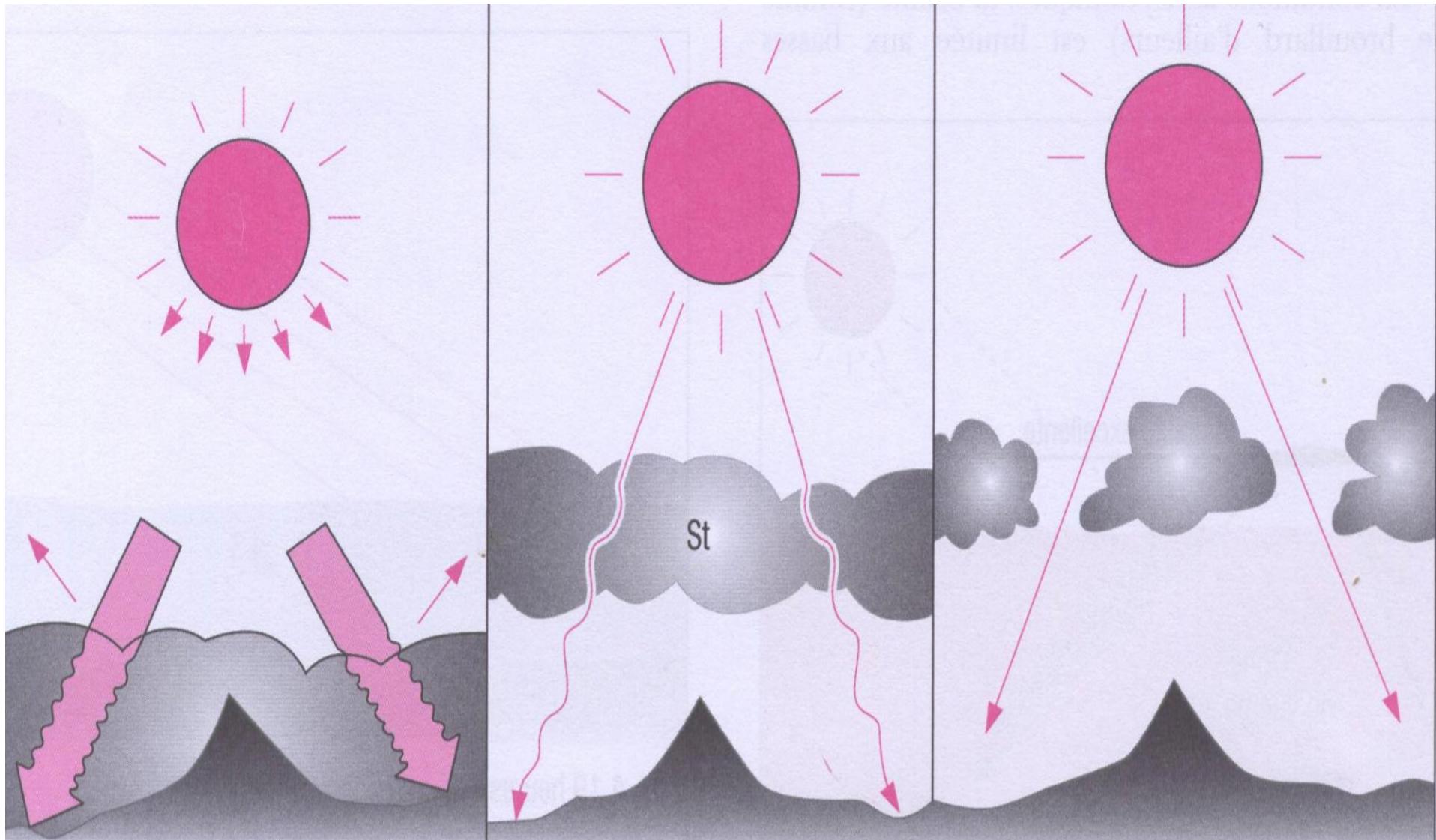
La  $T^\circ$  peut atteindre le  $T^\circ$  du point de rosée:

Il y a saturation, le brouillard se forme et s'épaissit progressivement.

Il peut se former après le coucher du soleil, mais c'est au moment du minimum de  $T^\circ$  (une ou deux heures après le lever du soleil) qu'il est le plus dense.

Avec l'échauffement solaire, le brouillard va diminuer et de dissiper.

# Le brouillard de rayonnement:



## Le brouillard d'advection:

Il apparaît dans les conditions suivantes:

- \* vent faible et régulier,
- \* arrivée d'une masse d'air chaude et humide sur un sol froid.

L'air se refroidit au contact du sol, entraînant la condensation de la vapeur d'eau. Ces conditions sont réunies dans la partie sud de certains secteurs chauds quand les pressions sont élevées.

La nappe de brouillard occupe une surface importante et ne disparaît qu'avec le passage du front froid.

Contrairement au brouillard de rayonnement, qui se forme la nuit et se dissipe le matin, le brouillard d'advection peut envahir un aérodrome (ou le quitter) à n'importe quel moment de la journée.

## Le brouillard de pente:

Peut se rencontrer en toutes saisons dans les régions montagneuses.  
Un masse d 'air humide qui s'élève le long de la pente se refroidit  
et peut atteindre la saturation.

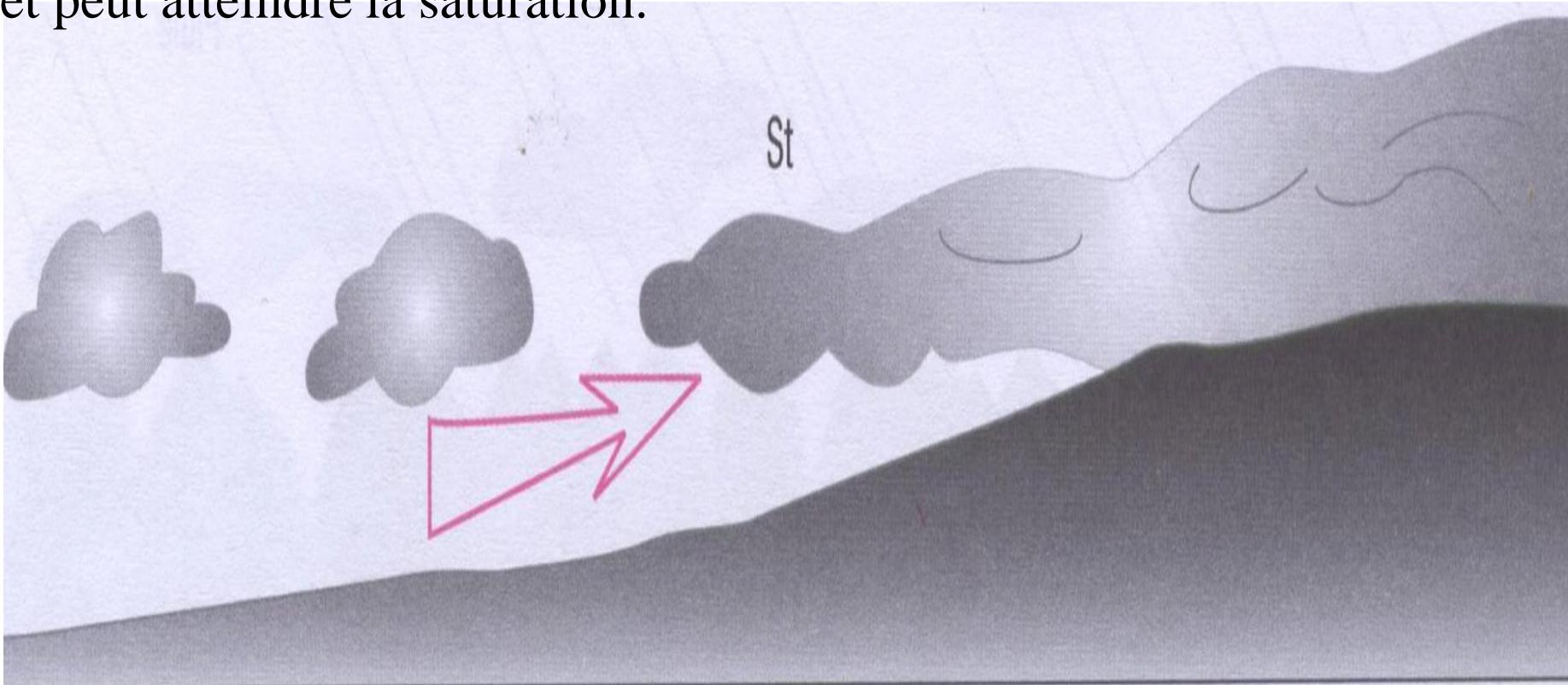


Fig. 70 - Le brouillard de pente.

## La brume sèche:

Elle est due à un grand nombre de particules diffusantes en suspension dans l'air.

Elle est exceptionnelle en France.

On la trouve surtout près des grands centres industriels (Allemagne), ou dans les régions sèches d'Afrique.

## Le Stratus:

Nuage **très dangereux pour l'aéronautique**, se rencontre soit dans la phase de dissipation des brouillards, soit lors du passage d'un front.

### Dissipation des brouillards:

Si l'échauffement diurne est suffisant (printemps et été) le stratus se dissipe en cours de matinée.

Il est suivi d'un ciel clair dans lequel on peut trouver de petits cumulus épars.

En automne et en hiver les stratus peuvent persister toute la journée.

# Le Stratus:

## Passage d'un front:

Leur formation est liée à l'évaporation des précipitations. Ils se déplacent avec le front et s'évacuent avec lui. Comme ce sont des nuages très bas (200 ft), **le VFR est totalement impossible.**

Dans les **secteurs chauds** en hiver, les mouvements turbulents des basses couches peuvent entraîner la formation de stratus. Ils sont associés à de la brume ou parfois du brouillard.

## En début de traîne;

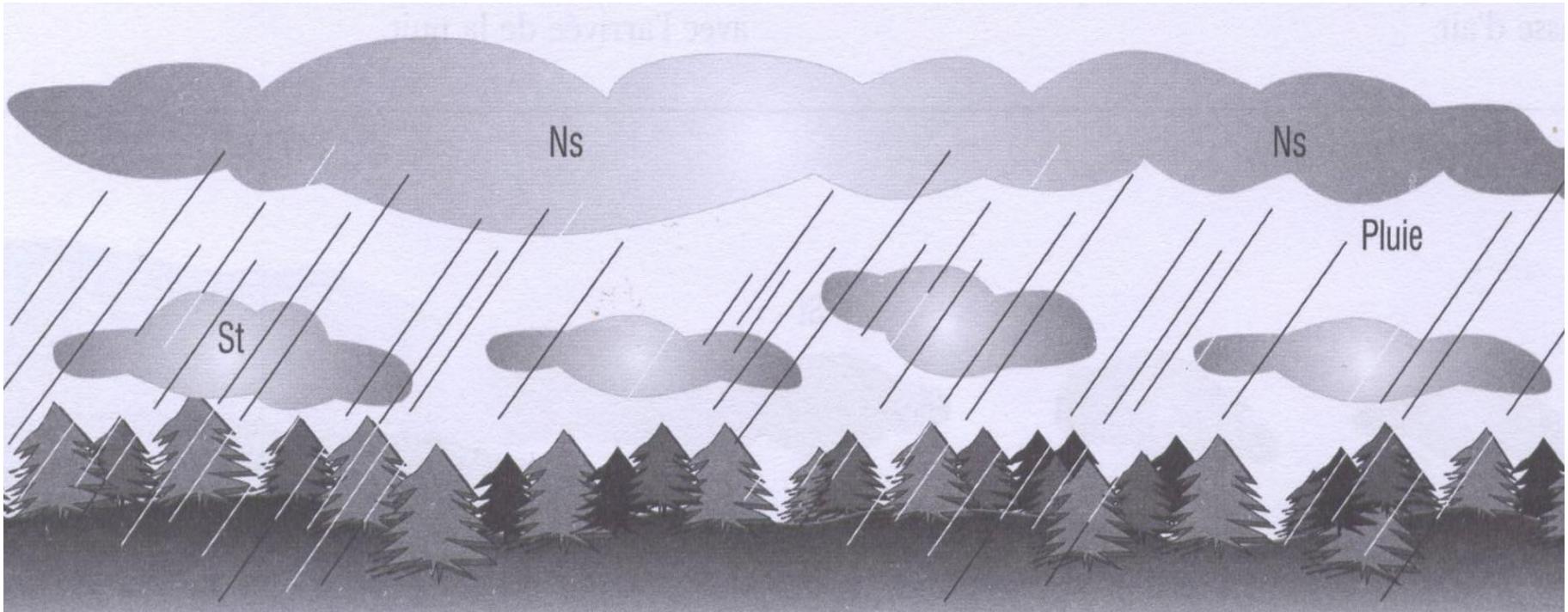
une masse d'air froid arrive sur le sol chaud et humide,  
l'évaporation entraîne localement la formation de stratus.

# Le Stratus:

## Vol en présence de stratus:

Les stratus liés à des perturbations empêchent totalement le VFR.

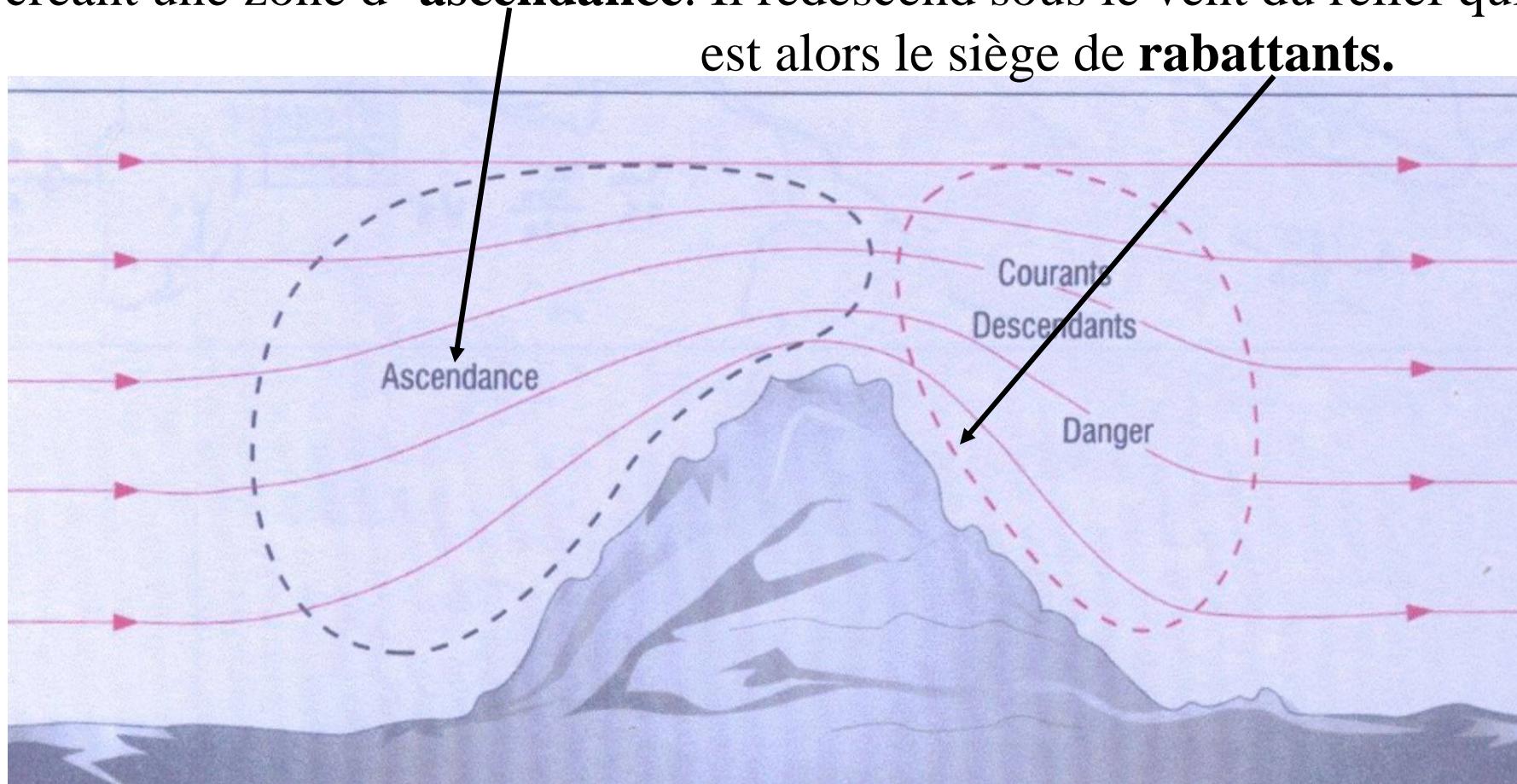
Leur présence, observée ou prévue, est décrite dans les METAR et les TAF. Ca sera à vous de décider: voler ou pas.



# METEOROLOGIES LOCALES

## La météorologie de montagne : action du relief sur le vent

Lorsqu'un vent souffle perpendiculairement à un relief, l'air est soulevé créant une zone d'**ascendance**. Il redescend sous le vent du relief qui est alors le siège de **rabattants**.



## Action du relief sur le vent:

### L'onde de ressaut:

Un vent égal ou supérieur à une vingtaine de kt et sensiblement perpendiculaire à une ligne de crête, une bordure de plateau, ou une vallée encaissée, peut déclencher un **système ondulatoire**.

Un système ondulatoire est composée de deux tranches bien distinctes:

La tranche supérieure appelée **couche ondulatoire** où l'écoulement de l'air est laminaire.

La distance séparant 2 ondulations s'appelle la longueur d'onde.

Elle peut mesurer de 3 à 15 Km selon la force du vent et la T° de l'air.

La hauteur entre le creux et le sommet du mouvement ondulatoire s'appelle l'amplitude.

Une grande amplitude peut engendrer des ascendances et des rabattants parfois supérieur à 2 000 ft/mn.

## L'onde de ressaut:

La **tranche inférieure** est appelée **couche sous-ondulatoire turbulente**

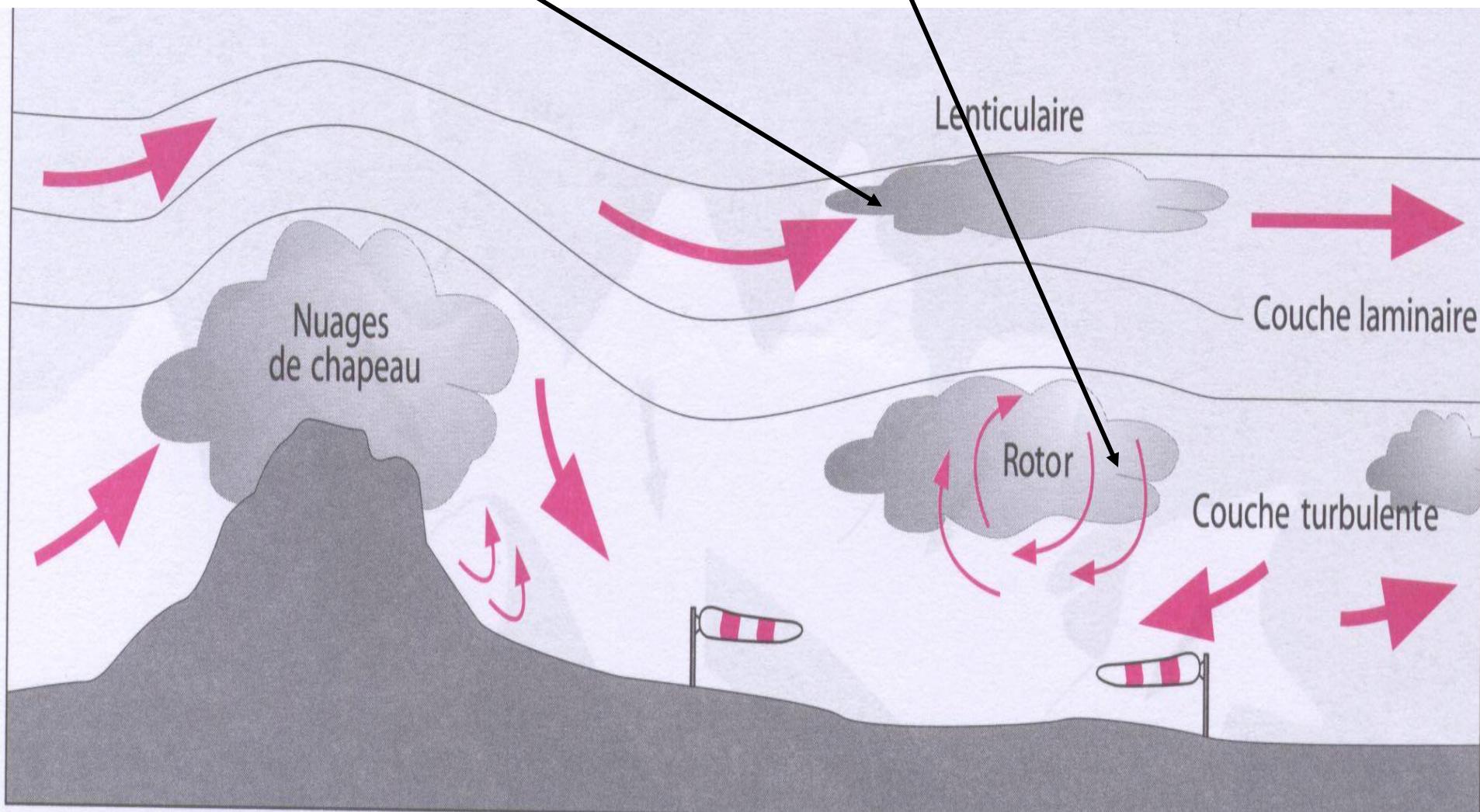
Dans l'écoulement ondulatoire, étagé sur plusieurs niveaux, des nuages (Ac, Cc, As, Cs) appelés **lenticulaires** matérialisent les ressauts successifs.

Dans l'écoulement sous-ondulatoire, se développent des nuages en forme de rouleaux.

Ces nuages (Cu ou Sc) sont appelés **nuages de rotor**.

Près du sol, à l'aplomb de ces rotors, des vents inverses (au sens du vent en altitude) peuvent rendre l'atterrissement dangereux.

# Les systèmes ondulatoires et sous-ondulatoire



## L'action du soleil : Les brises de pentes et de vallées:

De jour les versants exposés au soleil s'échauffent plus vite que le fond des vallées. Il se crée un courant ascendant le long des pentes éclairées: C'est la **brise de pente montante**.

Le phénomène attire d'énormes masses d'air en provenance des alentours du massif:  
c'est la **brise de vallée montante**.



## L'action du soleil : Les brises de pentes et de vallées:



# L'effet de Foehn

C'est un phénomène spécifique aux régions de montagne.

## Explication:

Franchissement d'un obstacle par une masse d'air humide non saturée. Cette masse d'air est soulevée, ce qui entraîne la transformation d'une quantité de vapeur d'eau en liquide et un refroidissement.

Au sommet de la montagne (10 000 ft) :

formation de nuages et précipitations.

En redescendant la masse d'air qui contient moins d'eau se comprime et se réchauffe.

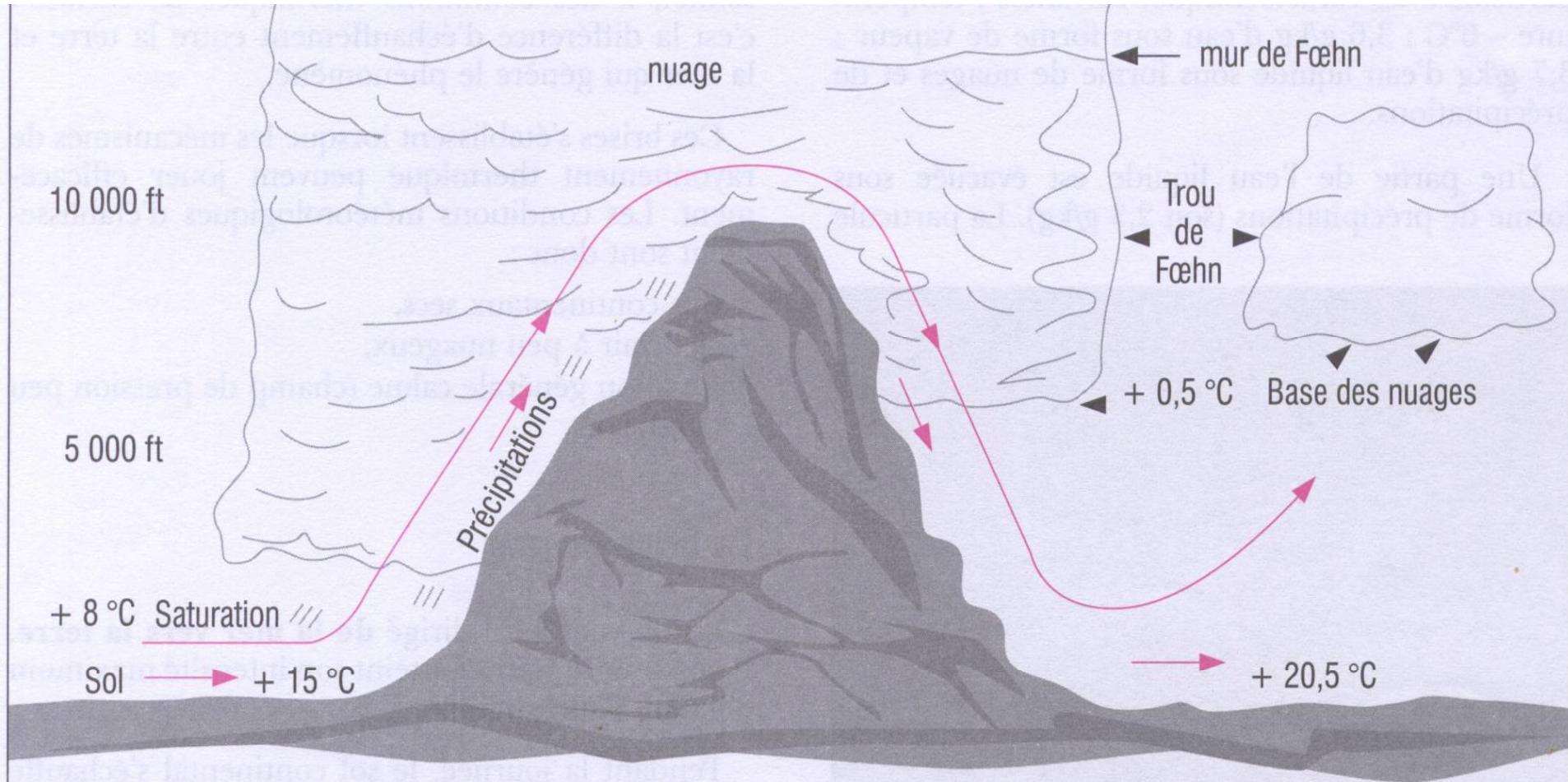
Aux alentours de 6 000 ft toute l'eau liquide s'est vaporisée.

C'est la base du nuage.

## Pour résumer l'effet de Foehn:

le passage du relief assèche et réchauffe une masse d'air.

# L'effet de Fœhn



- Au vent de la montagne : frais (+ 15 °C), humide, plafond bas (2 800 ft)
- Sous le vent de la montagne : doux (+ 20,5 °C), sec, plafond assez haut (6 600 ft)  
dans certains cas, un trou de ciel clair



Fig. 43 – Trou de fæhn vu par dessus.

# La météorologie côtière:

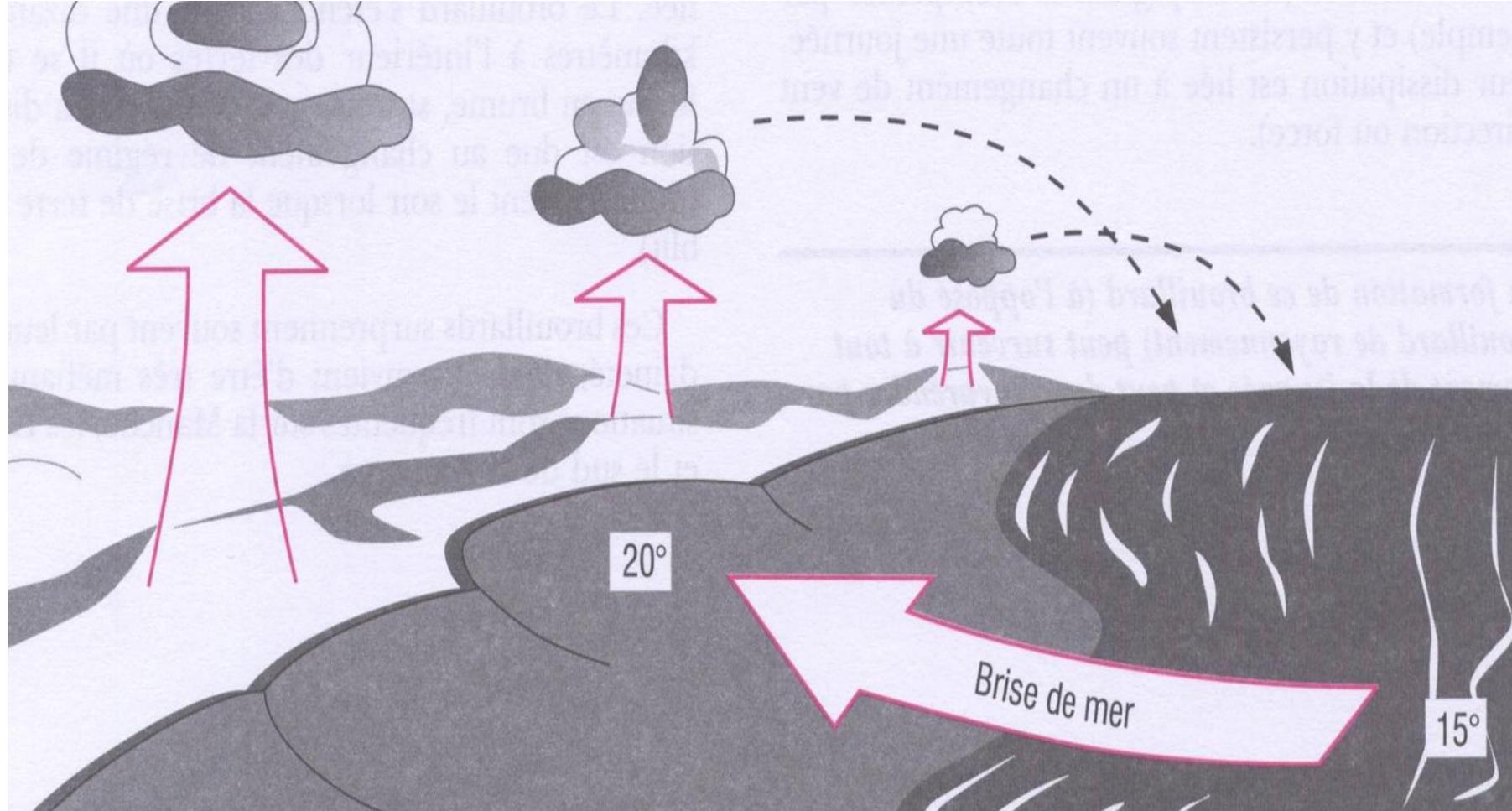
Les **brises de terre et de mer** sont des phénomènes dus à la différence d'échauffement entre la terre et la mer.

Les conditions météorologiques pour que ces brises s'établissent sont:

- sols continentaux secs,
- ciel clair à peu nuageux,
- situation générale calme (champ de pression peu contrasté).

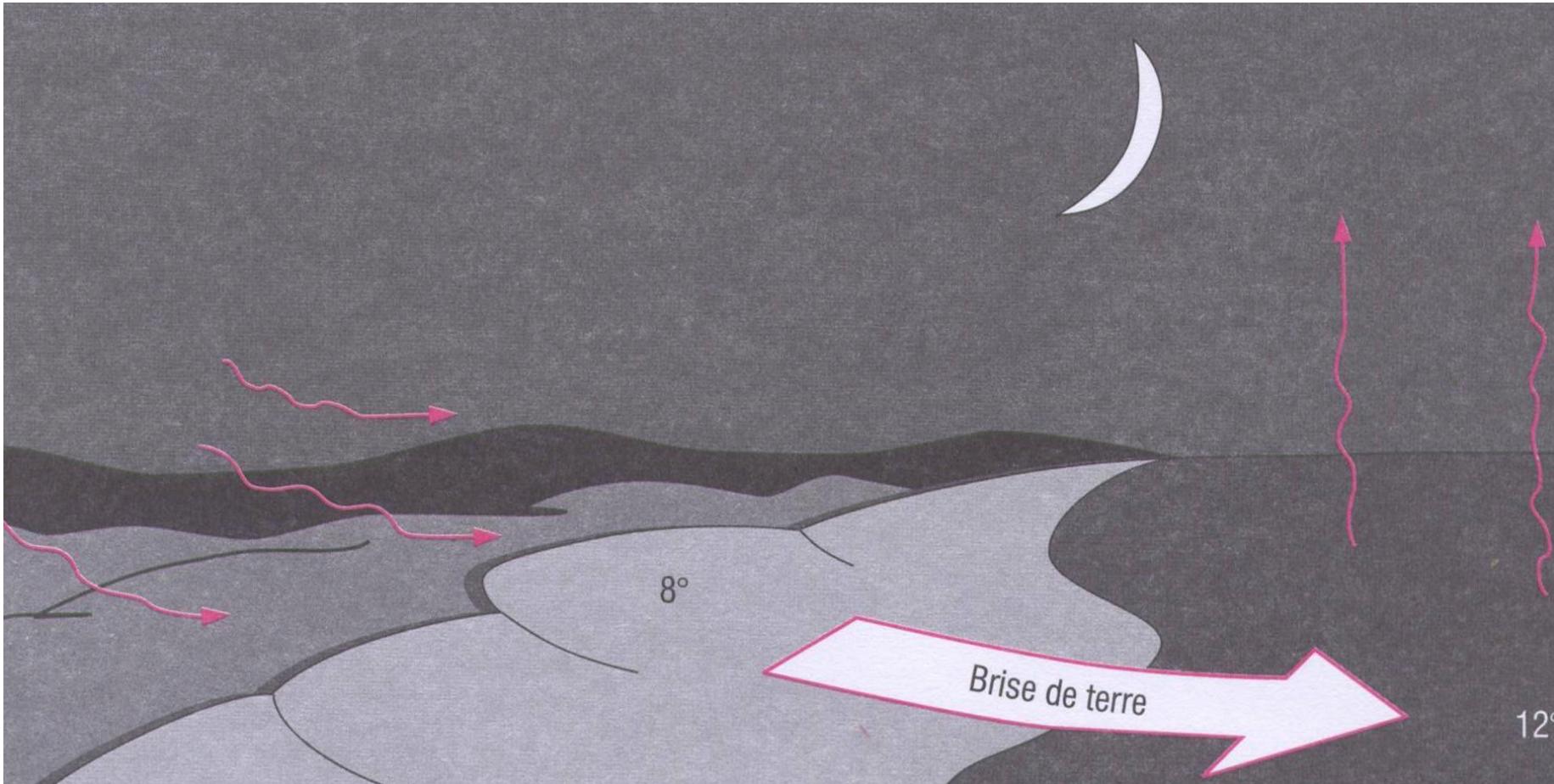
## La brise de mer:

C'est un vent local dirigé de la mer vers la terre qui apparaît le jour. En journée, le sol s'chauffe plus vite que la mer. Le contraste thermique crée un mouvement de convection et un courant mer -> terre.



## La brise de terre:

C'est le phénomène inverse de la brise de mer: la nuit le sol se refroidit plus vite que la mer. L'air froid s'écoule par gravité vers la mer. Sa vitesse est de 5 à 10 Kt et est pratiquement perpendiculaire à la côte.



# Les brouillards côtiers:

Assimilables à des brouillards d'advection, ils ont lieu en hiver quand le vent faible (5 kt) vient de la mer (Languedoc, Aquitaine, Manche). Ce vent amène de l'air doux et humide sur un sol froid. L'air refroidi atteint la saturation, d'où condensation, donc brouillard.

La formation de ce brouillard peut survenir à tout moment de la journée et peut donc surprendre par soudaineté.

Enfin n'oublions pas un autre phénomène dû à la brise de mer. Celle ci peut entraîner vers la terre des plaques de brouillard formées en mer. Ceci a plutôt lieu en été.

## Cours de METEOROLOGIE

**En conclusion**

**Partez en vol en ayant**

**connaissance des**

**éléments METEOROLOGIQUES**