

# LA TURBULENCE

## Généralités:

La turbulence est un phénomène souvent observé et génère des mouvements parfois violents pouvant perturber le vol. Même si les accidents avec destruction des aéronefs restent exceptionnels, **les accidents corporels dus à la turbulence sont nombreux**, surtout en aviation commerciale (passagers, et majoritairement équipages).

On ne peut éviter ces incidents que par une bonne information sur **l'état de l'atmosphère**, une bonne compréhension des **paramètres entrant en jeu**, et des **réactions appropriées**.

## Définition:

La turbulence désigne des **mouvements aléatoires** de l'air se superposant au mouvement moyen

La turbulence aéronautique est associée à toute **variation de la direction et/ou de la vitesse du vent (cisaillement)** engendrant des accélérations verticales ou horizontales pouvant modifier les paramètres de vol non compensées par des méthodes normales de pilotage.

## Classification et signalement:

Intensité de la turbulence potentielle	Classification	Racine cubique de l'EDR ( $m^{2/3}s^{-1}$ )
1	Faible	< 0.4
2 	Modérée	Entre 0.4 et 0.7
3 	Forte	> 0.7

**La turbulence forte fait l'objet de SIGMET. Les symboles de turbulence modérée ou forte font partie des phénomènes significatifs décrits dans les cartes TEMSI.**

Le critère de turbulence choisi par l'OACI (Annexe3 à la convention de Chicago) est la racine cubique du taux de dissipation des tourbillons de turbulence ou EDR) avec les valeurs seuils décrites dans le tableau ci-dessus. Il convient de distinguer :

→ La **turbulence potentielle**, qui décrit le potentiel turbulent de l'atmosphère sous forme d'échelle objective indépendant de l'aéronef.

→ La **turbulence effective**, qui est la conséquence du potentiel turbulent atmosphérique sur les aéronefs. Elle se traduit par les rafales verticales subies pouvant entraîner des variations importantes et soudaines du facteur de charge.

## Turbulence d'origine mécanique :

- **Turbulence de frottement** *Interaction entre la surface terrestre et le vent dans la couche limite de surface (CLS) (entre SFC et 150ft)*

→ elle ne se manifeste donc que dans les très basses couches.

- **Turbulence d'écoulement** *Résultat du frottement de la viscosité à l'intérieur d'une même tranche, ou entre deux tranches atmosphériques de caractéristiques différentes en termes d'écoulement. Elle intéresse toute l'atmosphère et se décline sous de multiples formes :*

→ turbulence **orographique et ondes de relief**

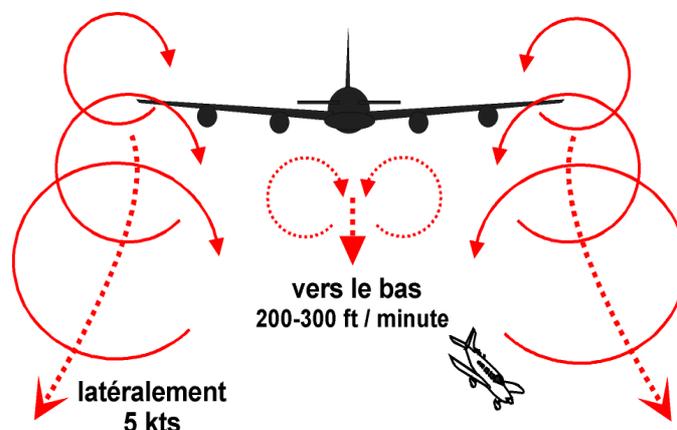
→ turbulence en air clair (**CAT**) due aux **jets**

→ turbulence près des **surfaces frontales** – due au contraste thermique des masses d'air, au cisaillement horizontal, ainsi qu'aux mouvements verticaux induits.

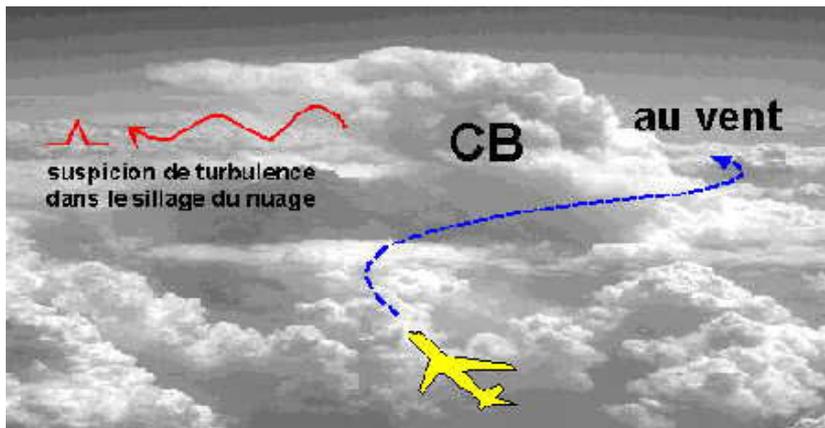
→ turbulence due à une **forte inversion thermique** - le refroidissement crée une bulle d'air calme en surface. La force de frottement étant réduite, l'air glisse sur cette bulle et, vers le sommet de l'inversion, la vitesse du vent peut être plus d'une fois et demi supérieure à la vitesse du vent géostrophique, créant ainsi du cisaillement.

→ turbulence due aux **brises** - vent de directions quasiment opposées entre le sol et le sommet de la circulation de brise, qui se situe généralement vers 1000ft.

→ turbulence de **sillage** - turbulence aérodynamique créée par les tourbillons de l'avion.

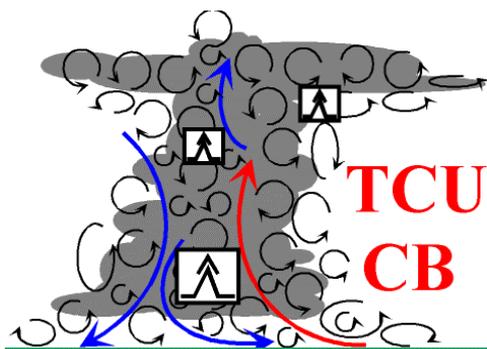


→ Turbulence de **sillage nuageux** - générée par un cumulonimbus (CB)



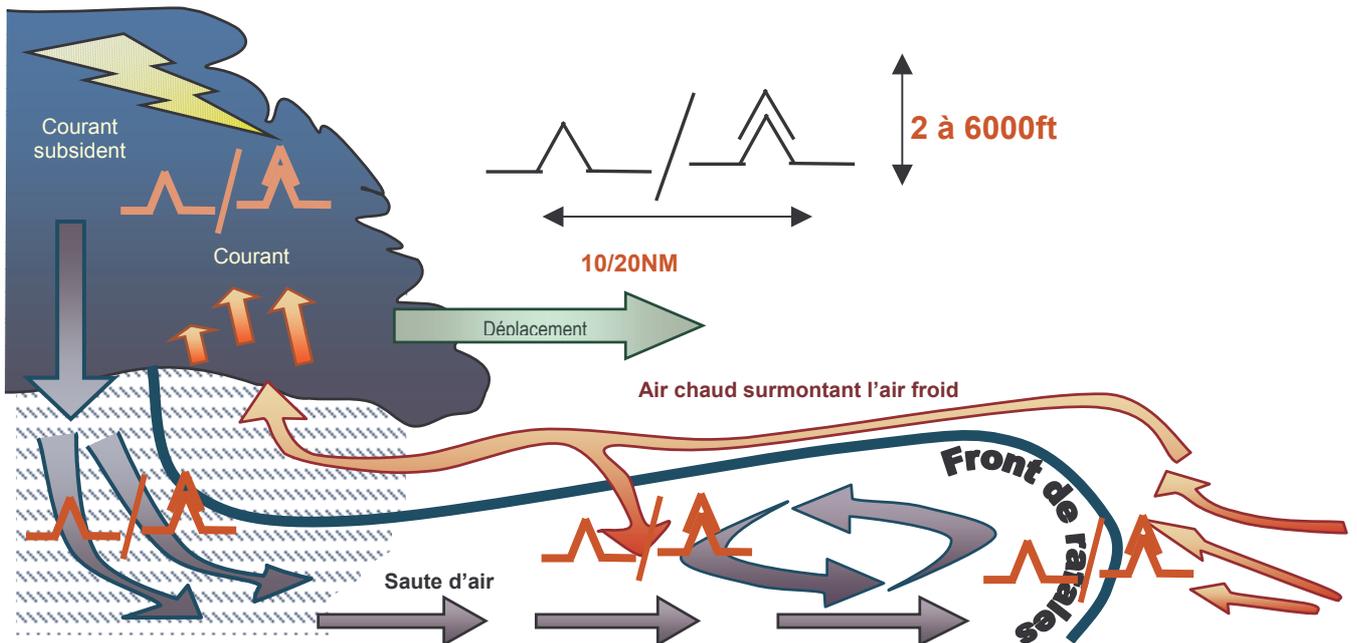
### Turbulence d'origine thermique ou convective:

→ Les nuages convectifs - *plus l'activité convective est importante, plus forte est la turbulence.*

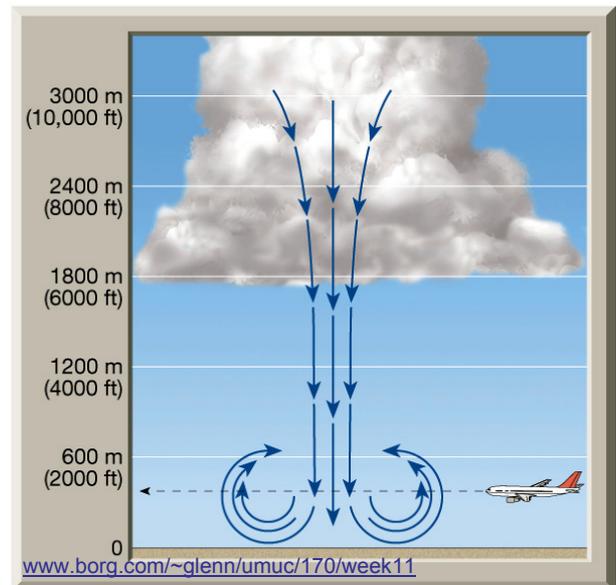


La turbulence se manifeste aussi bien dans le nuage convectif qu'au-dessus, autour et en-dessous.

→ Le front de rafale - siège de forts cisaillements, il se déplace à l'avant et avec la cellule orageuse.



→ Downburst - ces courants descendants, parfois violents peuvent modifier dramatiquement la trajectoire des aéronefs sous la cellule orageuse. Ils correspondent à une forte subsidence d'air froid, lourd, issu de la partie supérieure du nuage et sont généralement associés à des précipitations. Lorsque ces phénomènes sont de petite échelle (4km environ), on les nomme **microburst**. Ils sont alors associés à des vitesses verticales de l'ordre de 4000ft/min et peuvent engendrer des rafales horizontales de l'ordre de 100kt .



## Détection:

On peut détecter des turbulences aujourd'hui de plusieurs façons.

→ Les **nuages convectifs** (Cu Cumulus, Cb Cumulonimbus etc.) par exemple, signalent des ascendances pouvant générer des turbulences.

→ Sur les aéroports, des systèmes instrumentés peuvent être installés, comme le **LLWSAS** (Low Level Wind Shear Alert System), de plus en plus souvent remplacé par des **TDWR** (Terminal Doppler Weather Radar).

→ En vol, on peut détecter les turbulences avec des systèmes embarqués tels les **capteurs infrarouge**, les **radars micro-ondes** ou le **lidar Doppler**. Ce dernier fonctionne comme un radar doppler à technologie laser et mesure le mouvement de l'air à 500/600m devant l'avion.

## Prévention:

→ Il est important de choisir **la bonne trajectoire et le bon niveau de vol**. Dans le cas des jets, on privilégiera des routes côté anticyclonique en s'éloignant de l'axe du jet sur la verticale.

→ Il convient d'éviter d'être **sous le vent** d'un relief par vent modéré à fort (> 20kt) ou sous le vent d'un cumulonimbus pour éviter les turbulences de sillage nuageux.

→ Il peut être utile de surveiller le défilement de nuages bas lorsque la manche à air indique un vent nul au sol. Cela permet de suspecter de la **turbulence issue d'une couche d'inversion**.

→ Dans la plupart des cas le risque sur la structure de l'avion peut être diminué :

- phase en route : par une **réduction appropriée de la vitesse de l'avion en route**
- phases d'atterrissage /décollage et d'approche **par une légère majoration de la vitesse**.

Dans le cas particulier des 'super cellules' orageuses (une seule cellule, de 30 à 50 km de diamètre), **l'évitement** est nécessaire.