







# TURBULENCE DE SILLAGE

A partir du grade :  et programme examen du grade  et supérieurs

A partir du grade :  et programme examen du grade  et supérieurs

## 1. DEFINITION :

La **turbulence de sillage** est une turbulence aérodynamique qui se forme derrière un aéronef.

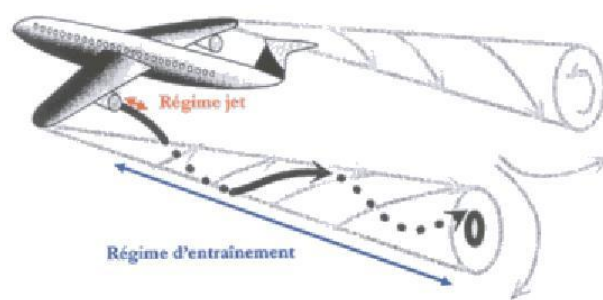
Ces turbulences de sillage apparaissent après l'envol et cessent dès que l'appareil touche la piste. En d'autres termes, il n'existe de turbulences de sillage qu'en vol

La turbulence comprend les phénomènes suivant :

- « jetwash »
- tourbillon marginal

Le **jetwash** est dû aux gaz expulsés par les réacteurs. Il est extrêmement violent, mais de courte durée.

Le **tourbillon marginal** correspond à des turbulences aux extrémités des ailes et sur leur surface supérieure. Elles sont moins violentes, mais elles peuvent perdurer jusqu'à trois minutes après le passage d'un avion. Elles sont une cause d'accidents d'avions.

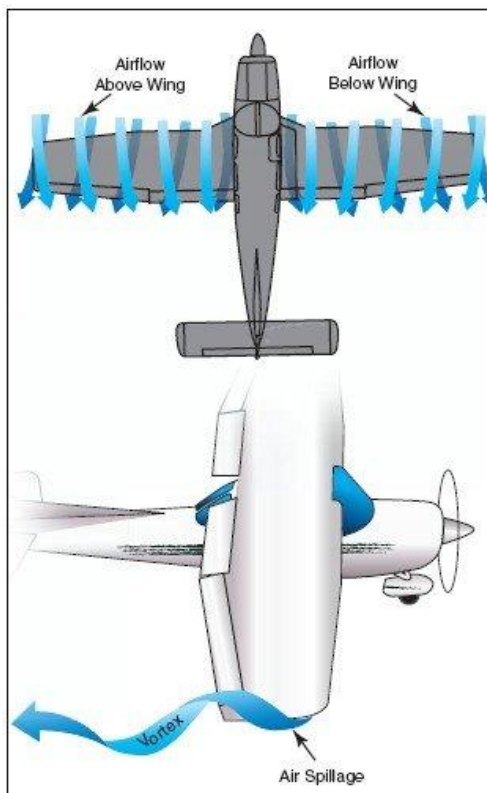


C'est le mélange de ces tourbillons avec les jets issus des réacteurs qui crée les traînées de condensation que l'on peut observer dans le ciel.

### 1.1. CREATION DE LA TURBULENCE

En pratique, les turbulences de sillage sont créées du fait de la différence de pression entre l'intrados et l'extrados de l'aile.

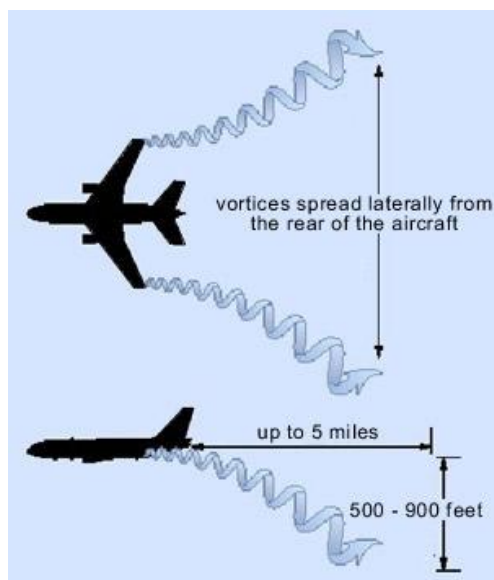
Lorsque les filets d'air sur l'intrados et l'extrados se rejoignent au niveau du bord de fuite de la voilure, les angles décrits par les deux trajectoires sont tels qu'ils "s'enroulent" l'un autour de l'autre pour former un tourbillon appelé **tourbillon de fuite**.



L'écoulement ainsi perturbé forme à l'arrière du bord de fuite une véritable nappe tourbillonnaire.

L'association des tourbillons marginaux et des tourbillons de fuite, qui se rejoignent en aval du profil, donnent naissance à une **zone fortement perturbée**. Cette turbulence est appelée **turbulence de sillage**.

Les conséquences sont que en bout d'aile sont créés des vortex qui vont tourner derrière l'appareil et rester plus ou moins longtemps suivant l'état de l'air (turbulent ou non, suivant la vitesse du vent...)



## 1.2. RISQUES ET DANGER

La turbulence de sillage augmente la traînée de l'avion et nuit donc aux performances.

Elle est particulièrement dangereuse dans les phases de décollage et atterrissage à cause des paramètres :

- la vitesse de l'avion est réduite et son angle d'attaque élevé ce qui favorise l'apparition de ces turbulences.
- L'avion est à vitesse réduite proche du décrochage et proche du sol. Il dispose donc de peu de marge de manœuvre en cas d'incident.
- Un avion porté par l'air laisse toujours derrière lui un sillage constitué de tourbillons, d'autant plus puissants que la masse de l'appareil est importante.

La masse d'air mise en rotation est très importante et les vitesses induites peuvent aller jusqu'à 30 m/s, ce qui ne manquerait pas de déstabiliser un avion les traversant, voire de provoquer sa chute. L'air est perturbé, en quelque sorte, de la même manière que lorsque nous faisons du ski nautique derrière un hors-bord. Cependant, le **danger essentiel** est constitué par le **mouvement de roulis généré par le vortex** (tourbillon marginal de bout d'aile).

Retenons également, pour mémoire, que des expérimentations en vol ont permis de démontrer que la turbulence de sillage générée par les avions lourds présente un taux de descente de l'ordre de 400 à 500 ft/min, la tendance étant ensuite une stabilisation à 900 ft sous l'altitude de vol de l'appareil qui en est à l'origine de la turbulence.

## 1.3. REDUCTION DES TURBULENCES

Les constructeurs ont mis au point des dispositifs tels que les **winglets**, qui sont sensés réduire les effets de cette perturbation (allongement fictif de la voilure).

L'idéal serait une aile dite infinie (de type annulaire par exemple, telle que celle étudiée par la Nasa).

## 1.4. PREVENTION

Lorsque la turbulence de sillage est générée à proximité du sol, comme c'est le cas lors des phases de décollage et d'atterrissage, les tourbillons se déplacent latéralement en atteignant le sol. Ils s'écartent à une vitesse voisine de 5 Kt.

*Note : Il existe un certain nombre de situations potentiellement dangereuses :*

*Lorsque par exemple la composante de vent de travers est proche de 5 KT (entre 3 et 7 KT). Il y a alors une forte probabilité pour que le tourbillon soit ramené et maintenu sur l'axe de la piste.*

*Lorsque le vent est "secteur arrière". Les turbulences sont alors décalées par rapport au point de toucher des roues ou du point de rotation*

Plusieurs types d'actions préventives peuvent être envisagés :

- La première consiste à respecter un espacement matérialisé par un temps minimal de séparation qui laisse aux turbulences de sillage le temps de se dissiper. Deux à trois minutes sont un ordre de grandeur satisfaisant.
- La seconde consiste à adapter sa trajectoire afin d'éviter les zones potentiellement dangereuses
- Si l'appareil lourd précédent est au décollage, atterrir **avant** son point de rotation.
- Si l'appareil lourd précédent est à l'atterrissage, atterrir **après** son point de toucher des roues.
- Veillez à effectuer l'approche au-dessus ou sur le même plan de descente. En aucun cas, sous son plan.

Dans tous les cas, il faut tenir compte, lors de l'évaluation des risques de rencontre des turbulences de sillage, des différents effets du vent qui peuvent entraîner leur déplacement.

## 2. CATEGORIES D'APPAREIL :

En fonction de la **turbulence de sillage**, les aéronefs sont classés comme suit :

Faible tonnage	LIGHT	Masse < 7000 kg (15500lb)
Moyen tonnage	MEDIUM	7000 kg < Masse < 136000 kg
Gros Porteur	HEAVY	Masse > 13600 kg (300000lb)
Jumbo	JUMBO	A380

Il est à noter que certains appareils ne respectent pas cette classification :

- Le Boeing 757 est classé en **Medium**. Cependant il doit être considéré comme **medium** quand il suit un autre aéronef et un **Heavy** quand il est suivi par un autre aéronef.

## 3. APPELLATION DES CATEGORIES

« **Heavy** » est ajouté à l'indicatif après le nom de la compagnie et le numéro du vol aux Etats Unis. En Europe, cette appellation est beaucoup plus rare.

AFR4521 EN B777 = AIR FRANCE QUARANTE-CINQ VINT-ET-UN **HEAVY**

« **Super** » est ajouté à l'indicatif après le nom de la compagnie et le numéro du vol pour un A380.

AFR380 = AIR FRANCE TROIS QUATRE VINGT **SUPER**".

Ce manuel est destiné uniquement à la simulation de vol et de contrôle aérien sur IVAO™.  
Ce document ne doit pas être utilisé dans l'aviation réelle. Il reste la propriété de IVAO™ Division France