

BREVET D'INITIATION AÉRONAUTIQUE

AÉRODYNAMIQUE  
ET  
MÉCANIQUE DU VOL



Aéroclub Marcillac Estuaire





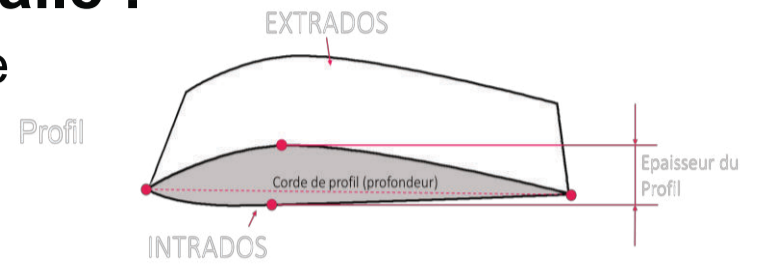
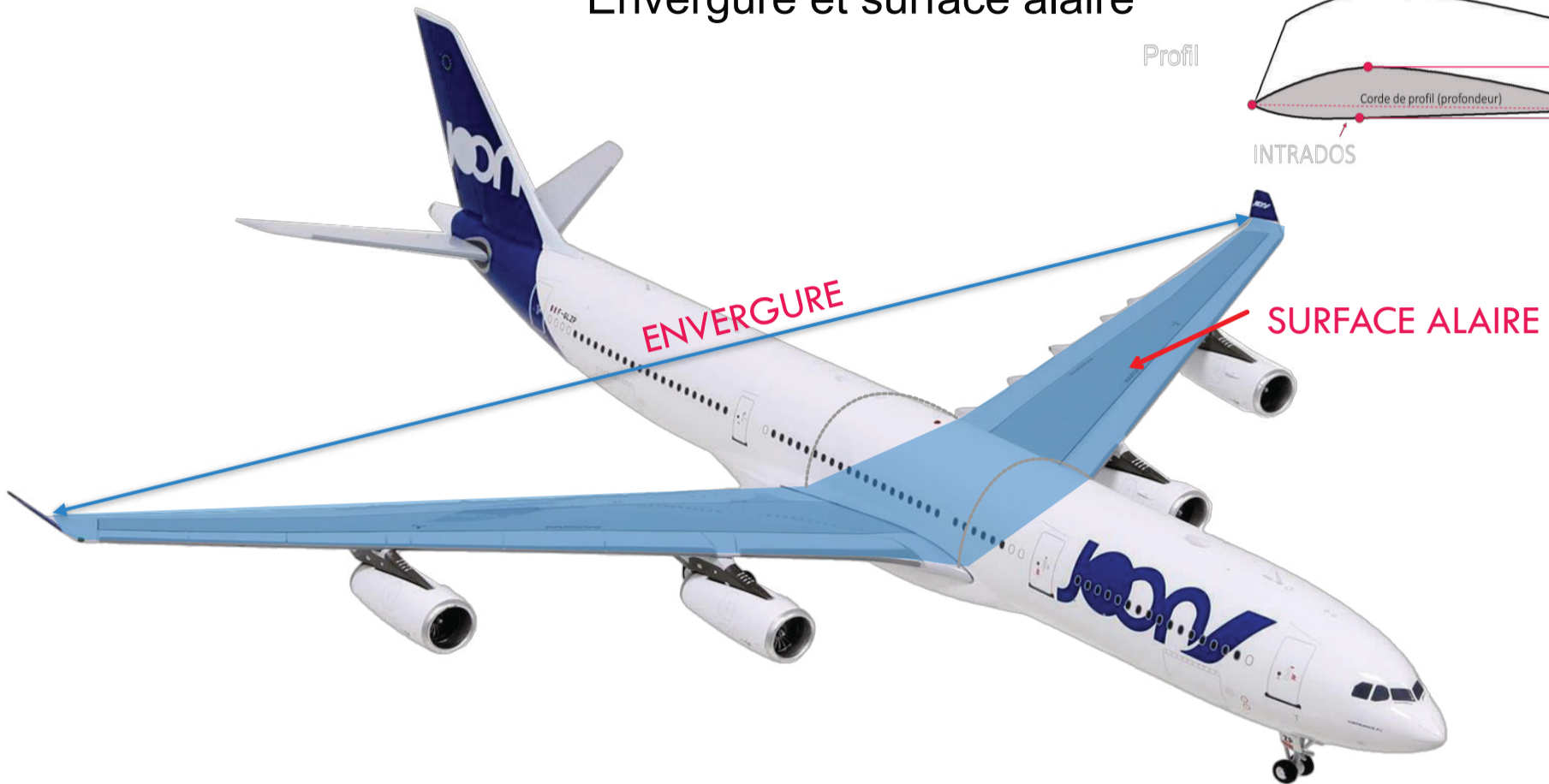




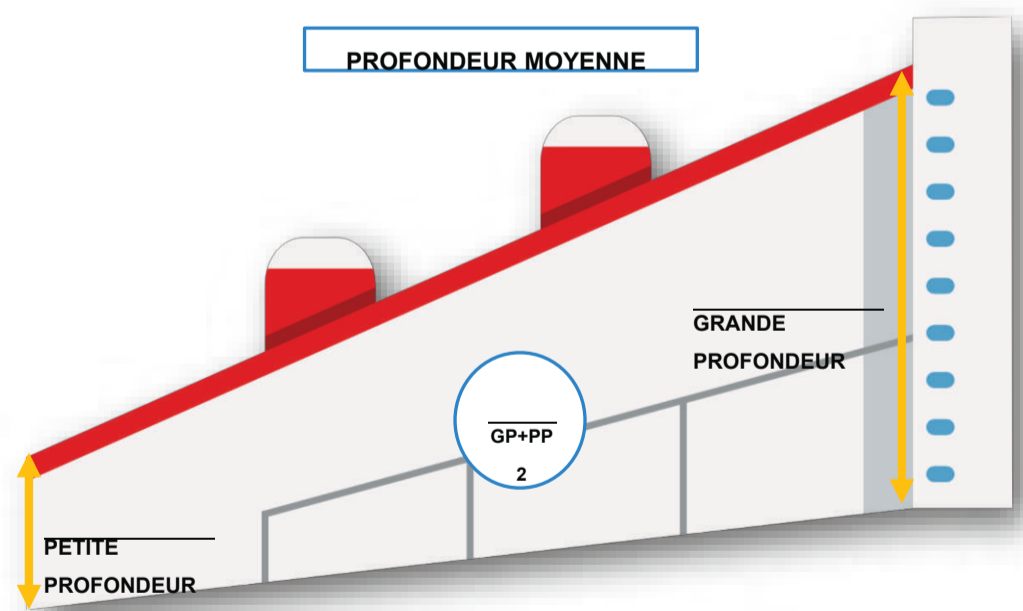
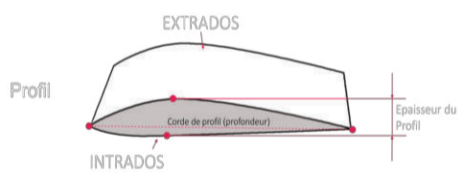
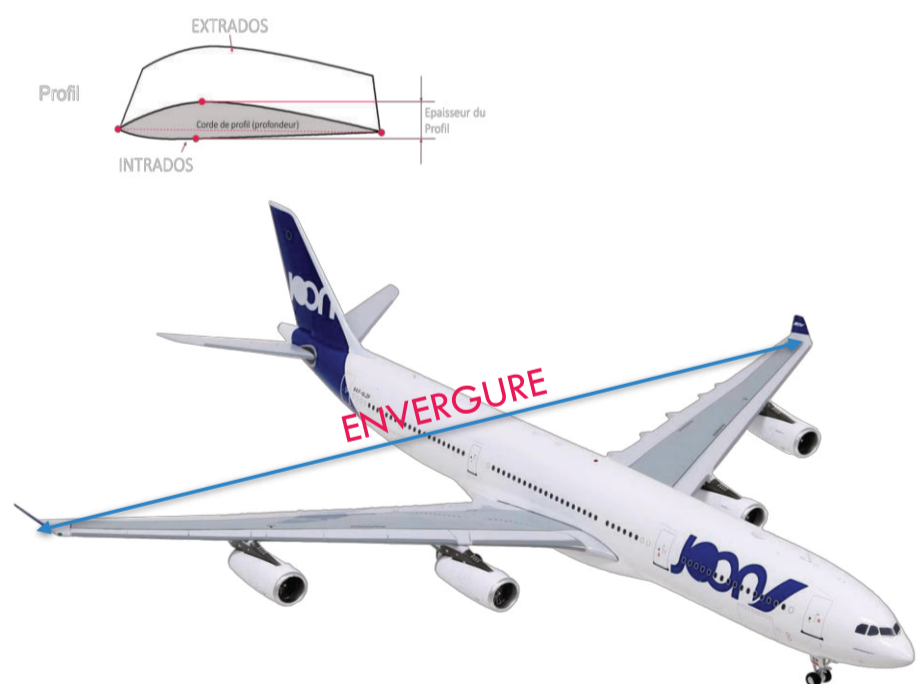
# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## Les caractéristiques de l'aile : Envergure et surface alaire



## Profondeur et Allongement



$$\text{ALLONGEMENT} = \text{ENVERGURE} / \text{PROFONDEUR MOYENNE}$$

$$\text{ALLONGEMENT} = \text{ENVERGURE}^2 / \text{SURFACE}$$





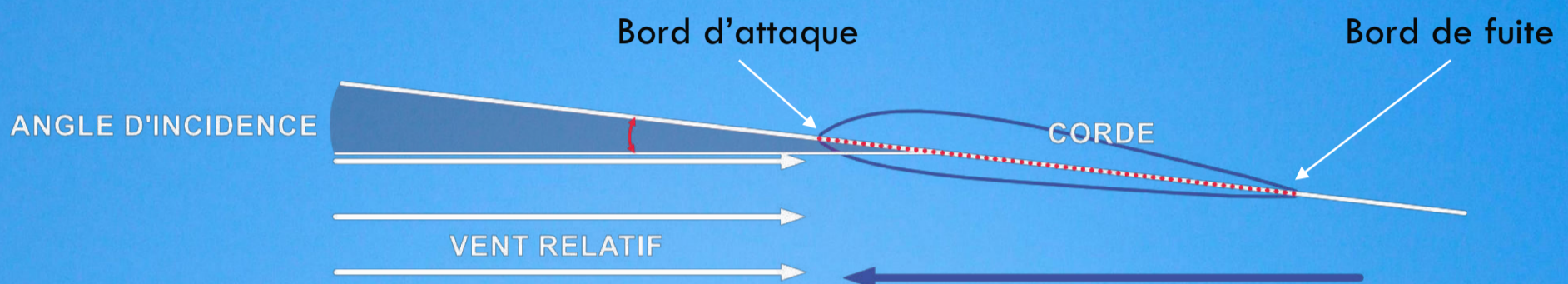




## Les caractéristiques de l'aile :

### L'angle d'incidence :

C'est l'angle compris entre la corde de profil de l'aile et la trajectoire



### L'angle de calage :

C'est l'angle entre la corde au profil de l'aile et l'axe longitudinal de l'aéronef



### L'assiette:

C'est l'angle entre l'axe longitudinal de l'aéronef et l'horizontale



### L'angle de pente :

C'est l'angle entre la trajectoire de l'aéronef et l'horizontale

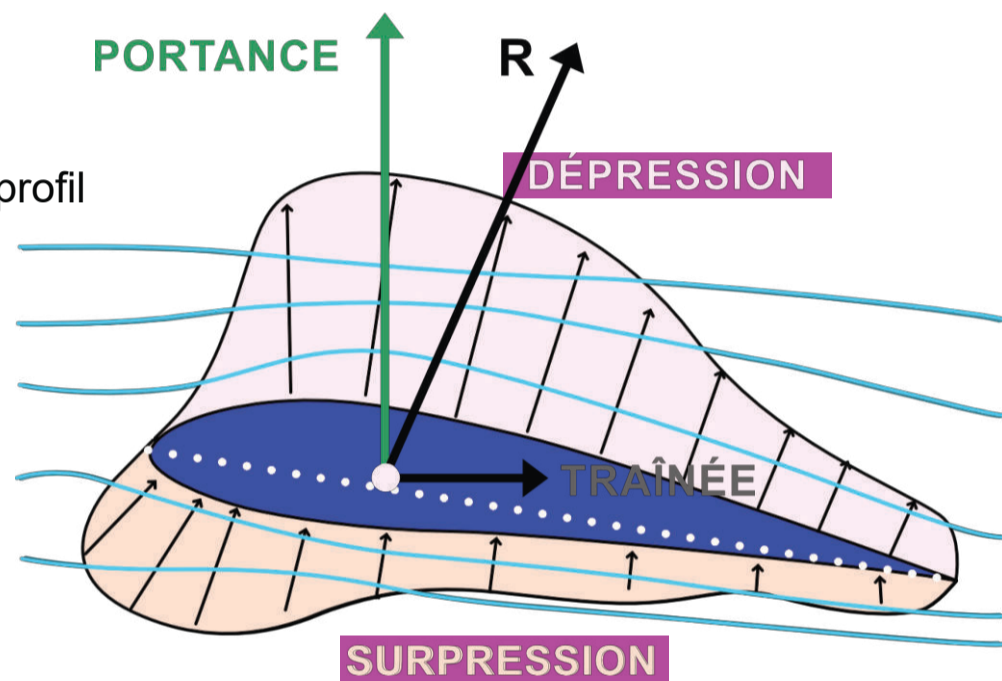
## Les caractéristiques de l'aile :

### Les forces aérodynamiques :

Lorsque l'aéronef se déplace, l'air s'accumule sous ses ailes et provoque une pression qui va **pousser les ailes vers le haut**.

Par ailleurs, un manque d'air (dépression) va se produire sur le dessus des ailes. Cette dépression va **aspirer l'aile vers le haut**.

La force ainsi générée par l'écoulement de l'air autour du profil de l'aile s'appelle la **résultante aérodynamique (R)**.



La résultante aérodynamique **R** pousse vers le haut et vers l'arrière même temps. On peut donc la décomposer en deux forces :

#### La portance

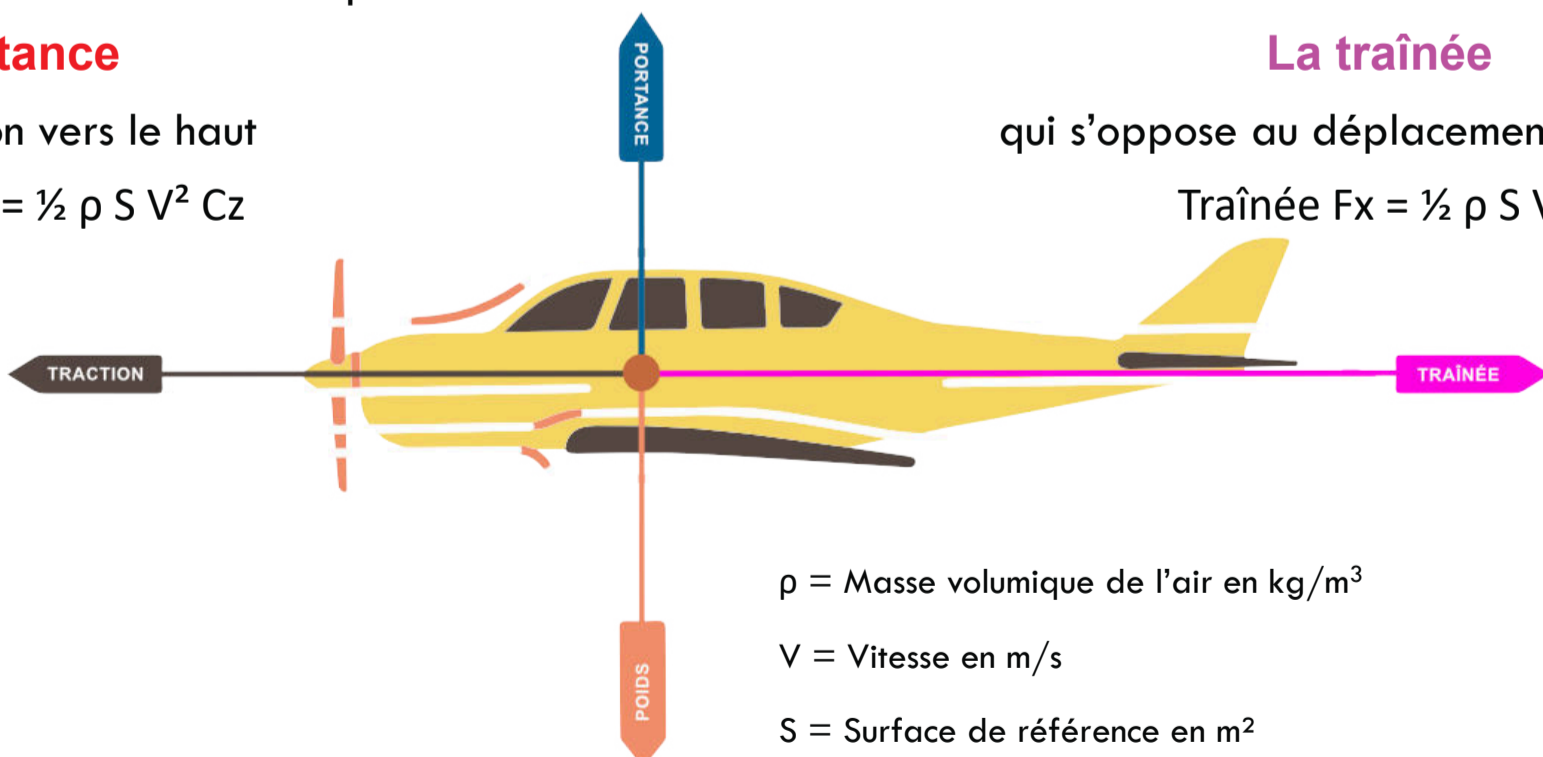
qui porte l'avion vers le haut

$$\text{Portance } F_z = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z$$

#### La traînée

qui s'oppose au déplacement de l'avion

$$\text{Traînée } F_x = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$$



$\rho$  = Masse volumique de l'air en  $\text{kg/m}^3$

$V$  = Vitesse en  $\text{m/s}$

$S$  = Surface de référence en  $\text{m}^2$

$C_z$  et  $C_x$  des coefficients caractéristiques du profil (sans unité)

La portance s'exprime en Newton

1 kilogramme-force est équivalent à 9.81 newtons





# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL

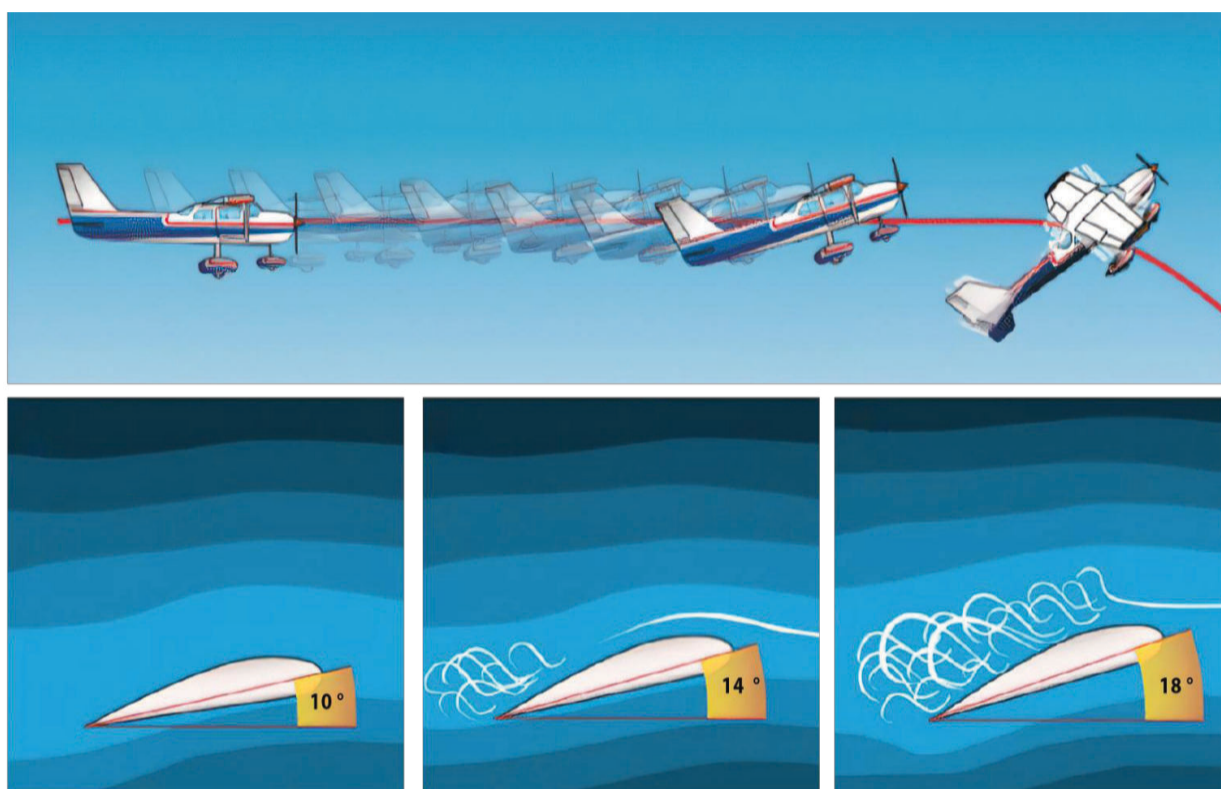


## Le décrochage – la polaire – la finesse

### Le décrochage :

Si l'on incline l'aile au-delà d'un certain angle (**incidence** d'environ  $18^\circ$ ), l'écoulement de l'air devient tourbillonnaire sur l'extrados car les filets n'ont plus suffisamment d'énergie pour coller au profil d'aile.

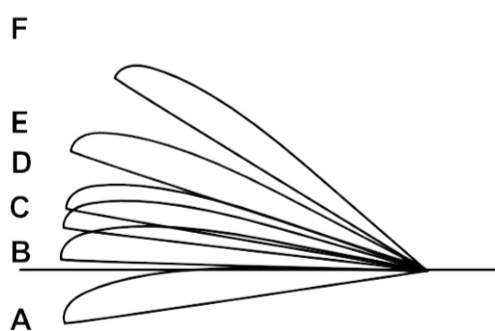
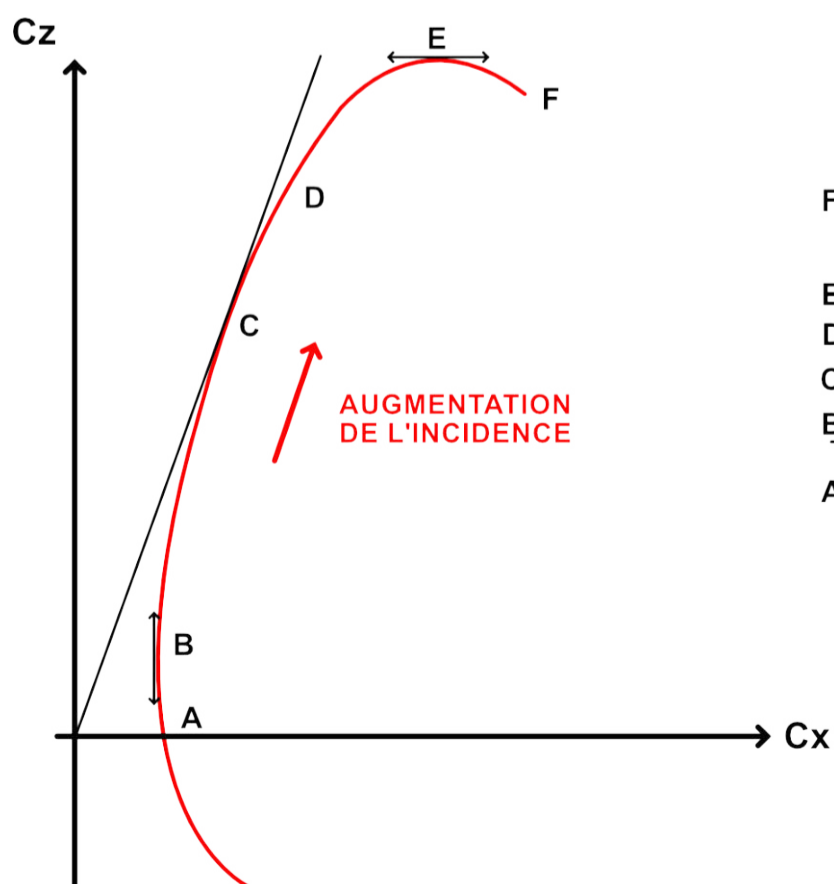
Il en résulte une diminution rapide et importante de la portance.



C'est le décrochage, qui se traduit par un enfoncement de l'avion, un basculement de l'avion vers l'avant et éventuellement sur le côté si une aile décroche en premier.

### La polaire :

Elle représente l'évolution des coefficients  $C_x$  et  $C_z$  avec l'angle d'incidence.



- A : portance nulle
- B : traînée minimale
- C : finesse maximale
- D : vitesse de chute minimale
- E : portance maximale
- F : décrochage







# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## Le décrochage – la polaire – la finesse

### La finesse :

La finesse rend compte de la capacité à planer d'un aéronef.

**Finesse = Distance horizontale parcourue en vol plané / Perte de hauteur**

La finesse représente donc combien de fois un aéronef peut parcourir sa hauteur.

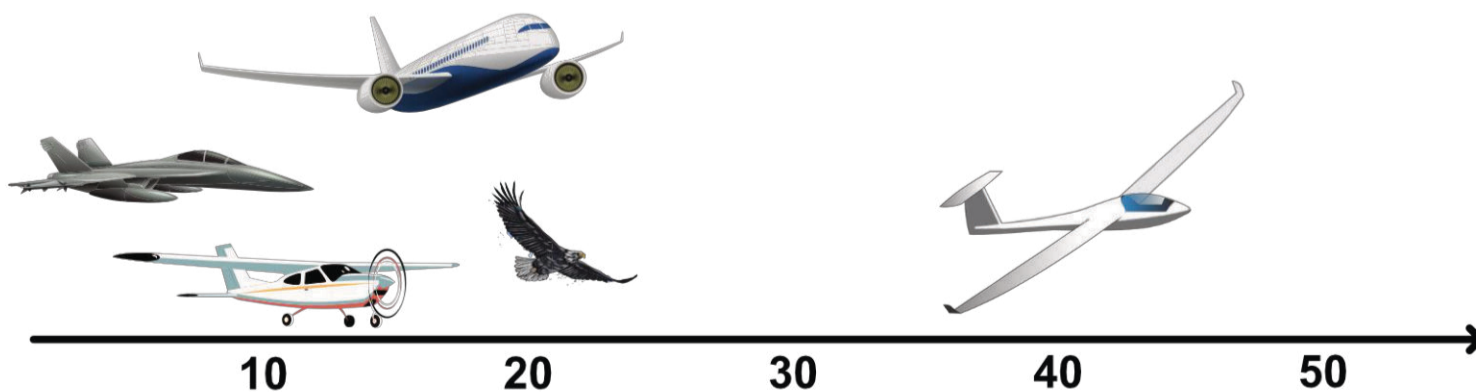
Exemple : un planeur de finesse 40 peut parcourir 40 km en perdant 1 km (1000 m) d'altitude.

Pour chaque aéronef il existe une seule vitesse pour laquelle la finesse est maximum. Choisir la vitesse de finesse maximale permet de parcourir la plus grande distance possible

Il existe plusieurs formules pour calculer la finesse.

$$\text{Finesse} = \frac{\text{Distance horizontale}}{\text{Distance verticale}} = \frac{\text{Vitesse horizontale}}{\text{Vitesse verticale}} = \frac{\text{Portance}}{\text{Traînée}} = \frac{C_z}{C_x}$$

Comparaison des finesesses en vol plané.



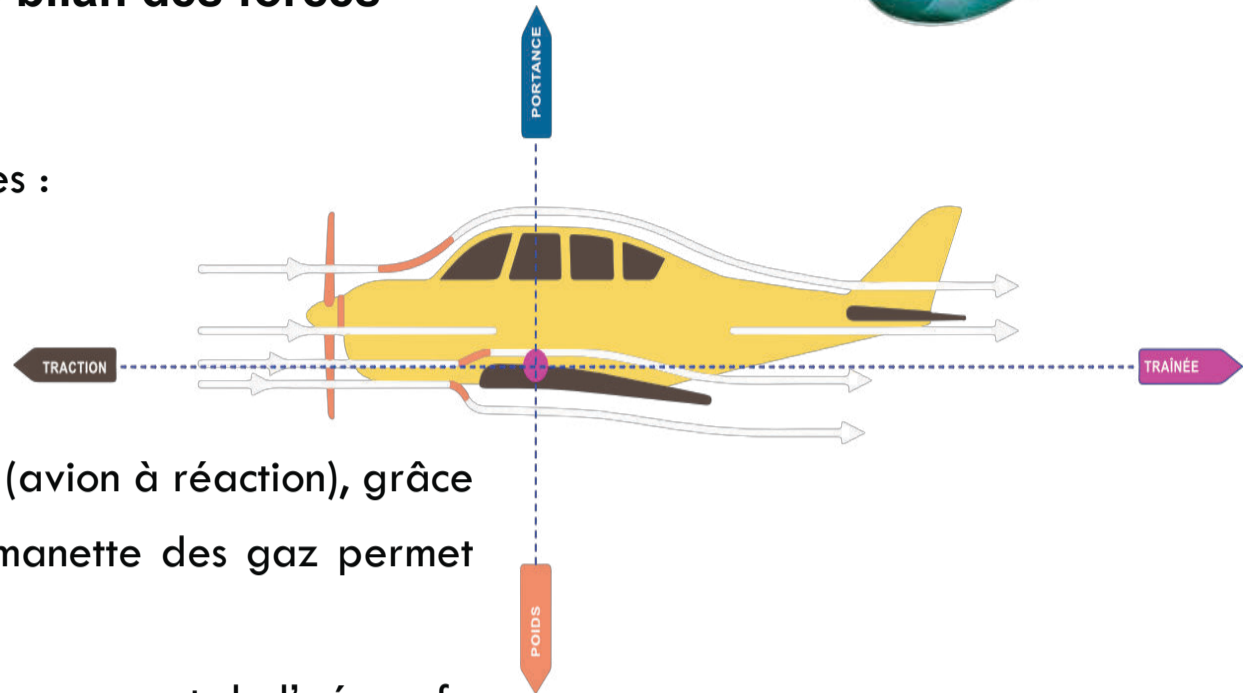
La finesse d'un planeur en compétition peut aller jusqu'à 72.





## Le bilan des forces

Le vol d'un aéronef est soumis à quatre forces :

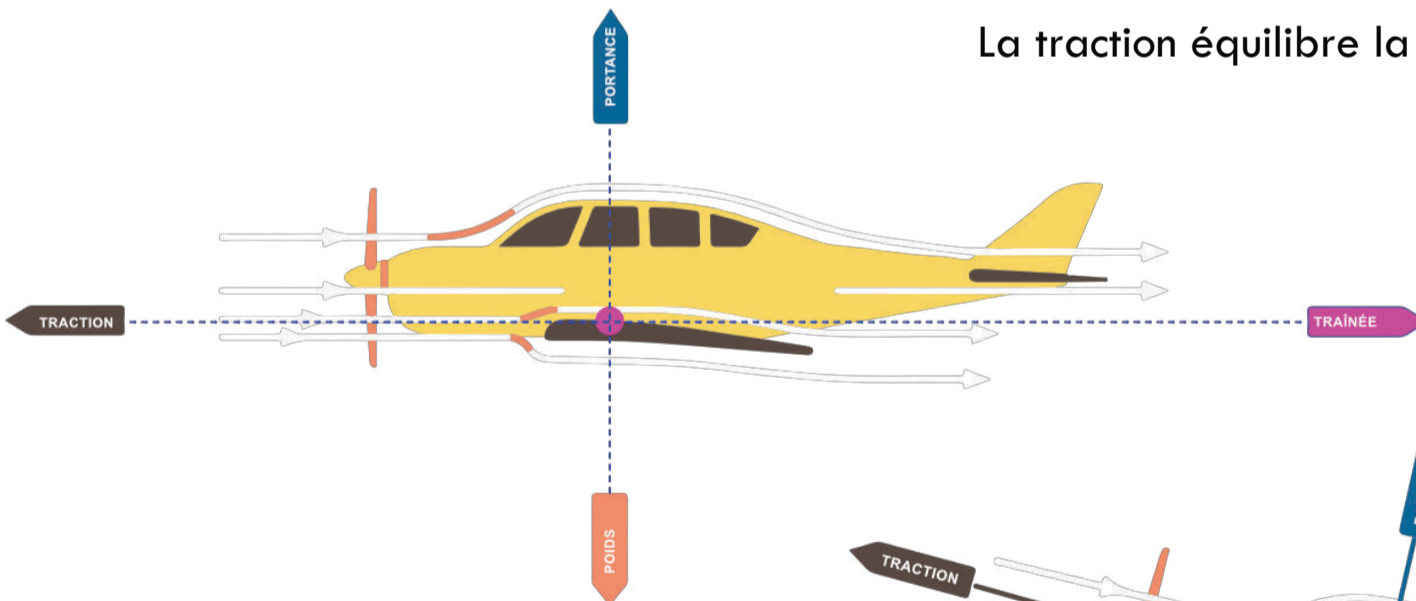


- **La traction** (avion à hélice) ou **poussée** (avion à réaction), grâce à laquelle l'avion progresse dans l'air. La manette des gaz permet d'agir sur l'intensité de cette force.
- **La traînée** c'est la force qui s'oppose au mouvement de l'aéronef.
- **Le poids** de l'aéronef, force verticale orientée vers le bas, appliqué au centre de gravité.
- **La portance**, force perpendiculaire à la trajectoire, impliquée au centre de poussée.

Le point d'application des variations de portance se nomme le **foyer**. Sa position pour un profil donné et fixe et se situe généralement au quart de la corde à partir du bord d'attaque.

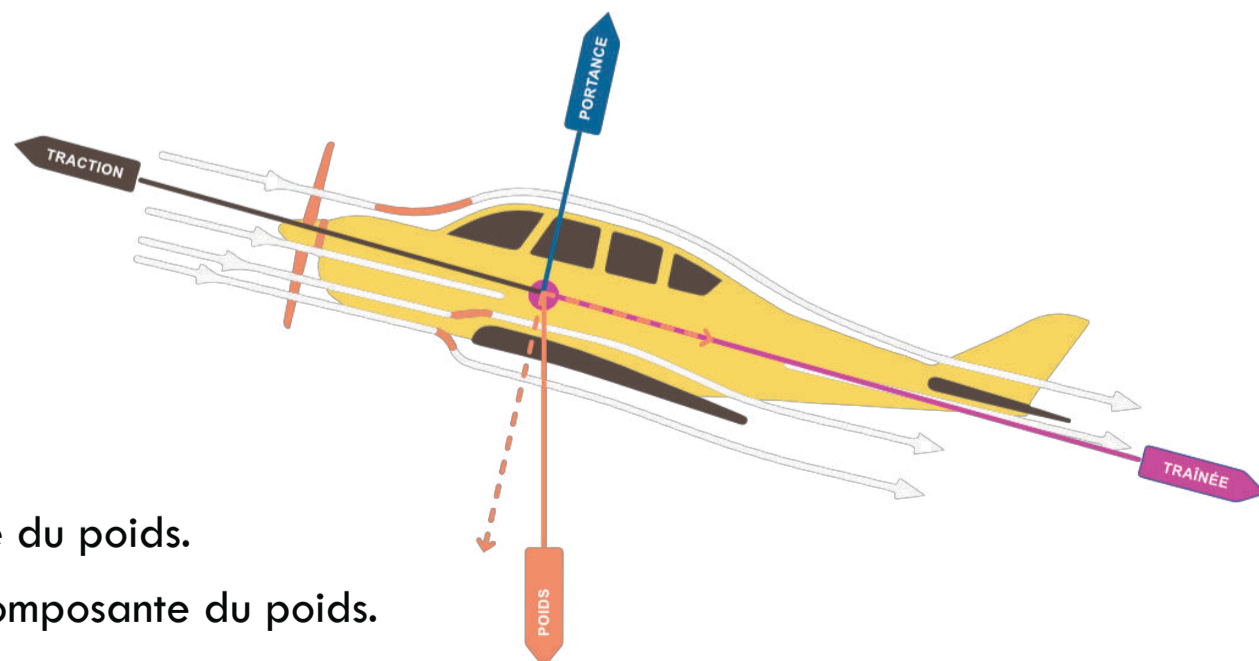
### En palier (Vol à altitude constante)

La portance équilibre le poids.  
La traction équilibre la traînée.



### En montée :

La portance équilibre la grande composante du poids.  
La traction équilibre la traînée + la petite composante du poids.  
La traction doit donc être plus importante qu'en palier.













# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## LES GOUVERNES PRINCIPALES

### Contrôle du tangage montée/descente :

Il s'effectue en déplaçant le manche longitudinalement (avant – arrière).

Le braquage du manche vers l'avant commande le mouvement de la gouverne de profondeur vers le bas. Ceci entraîne une **modification de l'assiette\*** à **piquer**.

Le braquage du manche vers l'arrière commande le mouvement de la gouverne de profondeur vers le haut. Ceci entraîne une **modification de l'assiette\*** à **cabrer**.



\*Assiette : angle compris entre l'horizontale et l'axe longitudinal de l'avion

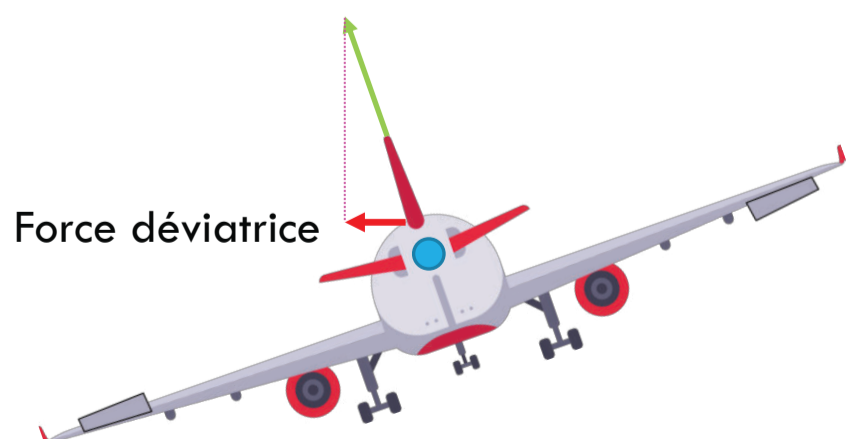
### Contrôle du roulis → virage

Il s'effectue en déplaçant le manche latéralement (droite – gauche).



Le braquage du manche à gauche commande le mouvement de l'aileron gauche vers le haut et de l'aileron droit vers le bas.

La portance de l'aile gauche diminue et la portance de l'aile droite augmente, ce qui provoque une inclinaison de l'avion vers la gauche.



Cette inclinaison entraîne un effet secondaire : l'aile droite qui voit sa portance augmentée voit également sa traînée augmentée. Il se produit alors une rotation autour de l'axe de lacet. Le nez part à droite. Une inclinaison sur la gauche engendre donc du lacet à droite. On parle de **lacet inverse**.

### Raisonnement inverse pour le braquage du manche à droite





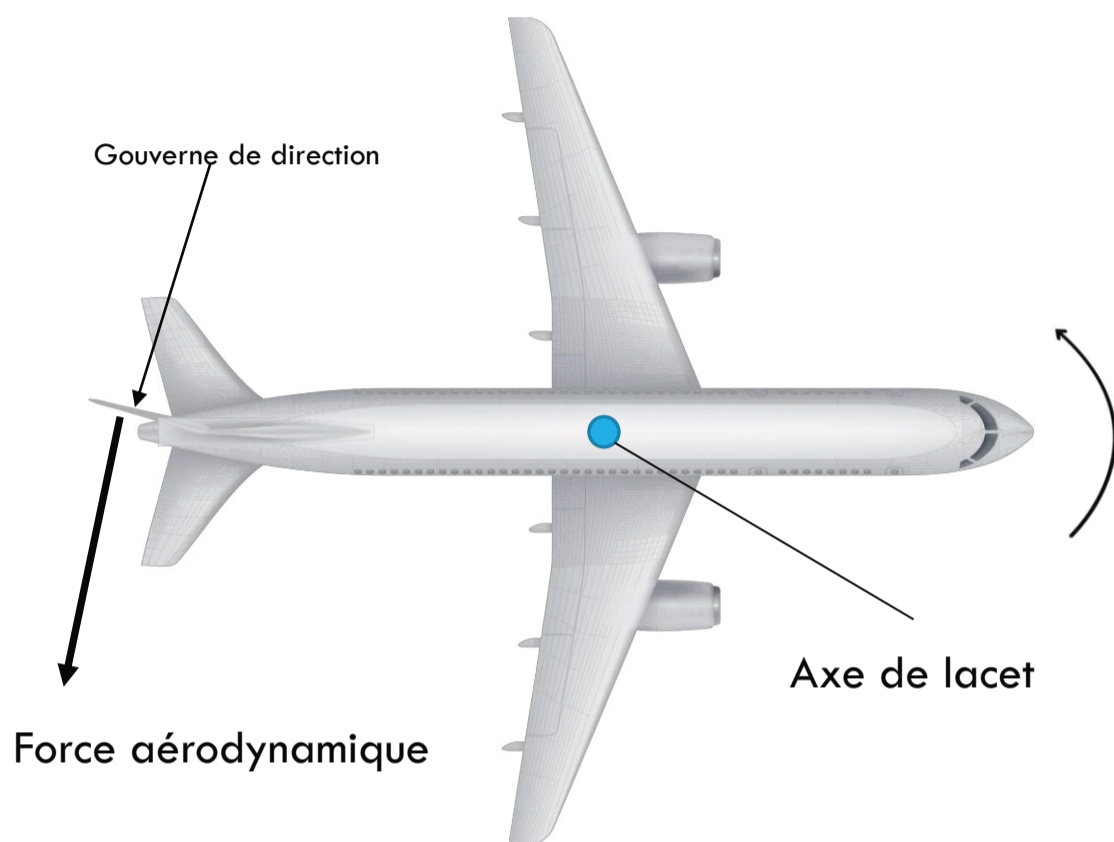
# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## Les gouvernes principales

**Contrôle du lacet → symétrie du vol**

Il s'effectue en manœuvrant les palonniers (pédales).



Le braquage du palonnier à gauche commande le mouvement de la gouverne de direction vers la gauche. Ceci entraîne une rotation à gauche autour de l'axe de lacet.

Raisonnement inverse pour le braquage du palonnier vers la droite.

Lors d'une mise en virage, il est nécessaire de mettre du pied du côté où l'on tourne afin de compenser le lacet inverse.

Virage à droite = manche + palonnier à droite.

Virage à gauche = manche + palonnier à gauche.

### NOTES

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---







# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## Les gouvernes secondaires

### Becs et volets



Bec de bord d'attaque



Volets

Les becs et les volets permettent de voler à basse vitesse pour les besoins de l'atterrissage et du décollage. Pour maintenir la portance constante, la diminution de vitesse est compensée par une augmentation de la surface alaire et/ou une augmentation de la courbure (modification de  $C_x$  et  $C_z$ ).

### Aérofreins et spoilers



Aérofreins



Spoilers

Les aérofreins sont des panneaux encastrés dans la voilure ou le fuselage dont la sortie dans l'écoulement de l'air permet d'augmenter la traînée.

En vol, ils permettent de diminuer la vitesse et d'augmenter le taux de chute.

Au sol, ils contribuent au freinage afin de diminuer la longueur de roulement.

Les spoiler sont des panneaux d'extrados dont le braquage est symétrique en fonction aérofrein ou dissymétrique en fonction gauchissement (réduction de la portance sur l'aile intérieure au virage).



## Les gouvernes secondaires

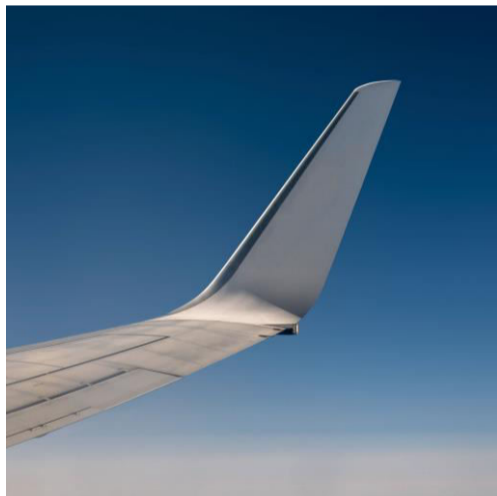
### Les Winglets – réduction des tourbillons marginaux.



La suppression d'intrados et la dépression extrados engendrent en bout d'aile (saumon) un mouvement de l'air de l'intrados vers extrados

Cet enroulement intrados/extrados de l'air, forme alors des tourbillons marginaux qui génèrent une traînée induite ainsi qu'une turbulence de sillage.

Pour réduire les tourbillons marginaux, on installe en bout d'ailes des pièces appelées winglet.



### NOTES

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---





## Le facteur de charge

### Définition :

C'est une grandeur qui traduit l'effort appliqué à la structure de l'aéronef.

Le facteur de charge est le rapport entre la charge totale supportée par la structure d'un appareil et le poids réel de cet appareil

$$\text{Facteur de charge} = \frac{\text{Poids apparent (gravité forces d'inertie)}}{\text{Poids réel (gravité)}} = \frac{\text{Portance}}{\text{Poids}}$$

Le nombre obtenu est sans unité mais il s'exprime le plus souvent en « **g** ».

Un avion subit un facteur de charge positif qu'en la portance est orientée dans le sens habituel vers le toit de l'avion, il est négatif dans le sens contraire.

En vol rectiligne stabilisé sur le dos, par exemple le facteur de charge vaut  $-1$ .

La plupart des avions légers peuvent supporter les facteurs de charges de  $+4$  à  $-2$ . Les avions de voltige sont certifiés par des facteurs de charges de  $+6$  à  $-4$ .

Ces valeurs sont des limites qui figurent dans le manuel de vol de chaque avion et au-delà desquelles il risque d'apparaître des déformations permanentes sur la structure de l'avion, voire une rupture de pièces essentielles telles que le longeron

Le pilote et ses passagers **subissent le même facteur de charge** que l'avion lors d'une évolution.

---

Facteur de charge  $> 1$  :

sensation de tassement

Facteur de charge proche de zéro :

sensation d'apesanteur

Facteur de charge négatif :

sensation d'être projeté vers le haut

### Facteur de charge et vitesse de décrochage :

La vitesse de décrochage évolue selon la racine carrée du facteur de charge. Par exemple, un avion qui décroche à 100 km sous 1g, décrochera vers 200 km/h sous 4g.

### Facteur de charge en palier :

La portance est égale au poids : le facteur de charge est de 1

### Facteur de charge en montée/descente :

La portance est inférieure au poids : le facteurs de charge est  $<$  à 1









# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## L'aérostation



L'aérostation est l'art de voler en utilisant des ballons et d'autres aéronefs plus légers que l'air. Depuis les premiers vols historiques jusqu'aux applications modernes, l'aérostation suscite fascination et admiration. Dans cet article, nous allons explorer les principes de sustentation des aéronefs d'aérostation, en nous concentrant sur les ballons à air chaud et les ballons à gaz. Vous découvrirez comment ces aéronefs parviennent à défier la gravité et à offrir une expérience de vol unique.

### Qu'est-ce que l'Aérostation ?

L'aérostation se réfère à l'utilisation d'aéronefs plus légers que l'air pour voler. Contrairement aux avions, qui dépendent de la vitesse et des ailes pour créer de la portance, les ballons utilisent la différence de densité entre l'air extérieur et le gaz ou l'air chauffé qu'ils contiennent pour monter dans l'atmosphère. Ce type de vol est unique car ils l'effectuent dans un silence quasi complet et offrent une stabilité incomparable.

Les aéronefs d'aérostation se divisent principalement en deux catégories : les ballons à air chaud et les ballons à gaz, chacun fonctionnant selon des principes spécifiques mais basés sur la même idée de base : la flottabilité.

### Principes Généraux de la Sustentation en Aérostation

La sustentation en aérostation repose sur un principe physique simple : un objet plus léger que l'air autour de lui tend à monter. Ce principe, tiré du concept de flottabilité d'Archimède, signifie que si un ballon contient un gaz ou de l'air chauffé moins dense que l'air ambiant, il va naturellement s'élever dans l'atmosphère.

La poussée nécessaire pour le vol est donc obtenue par l'utilisation de matériaux plus légers que l'air, comme l'hélium ou l'air chauffé, créant ainsi un effet de flottabilité.

### Les Ballons à Air Chaud

Les ballons à air chaud, souvent appelés montgolfières, sont les plus populaires dans l'aérostation. Leurs vols sont régulièrement organisés pour des expériences touristiques, car ils offrent des vues spectaculaires et un vol silencieux.

#### Comment Fonctionne un Ballon à Air Chaud ?

Un ballon à air chaud fonctionne en chauffant l'air contenu dans l'enveloppe du ballon à l'aide d'un brûleur. En chauffant l'air, on diminue sa densité, ce qui le rend plus léger que l'air extérieur. L'air chaud monte alors, emportant le ballon avec lui.

- **Montée et Descente :** Le pilote peut ajuster l'altitude du ballon en contrôlant le brûleur. En augmentant la chaleur, le ballon monte, tandis que la réduction de la chaleur provoque la descente.
- **Contrôle Directionnel :** Contrairement aux avions, les ballons à air chaud n'ont pas de système de direction actif. Ils sont portés par les courants d'air, et le pilote peut modifier la trajectoire seulement en jouant sur les différentes altitudes, car les vents peuvent varier à différentes hauteurs.

### Avantages des Ballons à Air Chaud

Les ballons à air chaud sont appréciés pour leur sécurité et leur simplicité. Ils ne nécessitent pas de carburant pour la propulsion et dépendent uniquement du brûleur pour la montée. En outre, le vol en montgolfière est écologique et offre une expérience silencieuse, souvent proche de la nature.

### Les Ballons Gonflés au Gaz

Les ballons à gaz sont une autre catégorie de l'aérostation et fonctionnent avec des gaz comme l'hélium ou l'hydrogène, qui sont naturellement plus légers que l'air. Ces ballons ont une autonomie et une portée beaucoup plus grandes que les ballons à air chaud.

#### Comment Fonctionne un Ballon à Gaz ?





# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



Contrairement aux ballons à air chaud, les ballons à gaz utilisent un gaz plus léger que l'air pour créer de la flottabilité. Une fois gonflé, le ballon monte sans qu'il soit nécessaire de chauffer l'air.

- **Contrôle de l'Altitude** : Pour faire monter le ballon, on peut ajouter davantage de gaz ou larguer du lest (généralement du sable). Pour descendre, il suffit de libérer du gaz du ballon.
- **Durée de Vol** : Les ballons à gaz peuvent rester en vol beaucoup plus longtemps que les ballons à air chaud, car ils ne nécessitent pas de consommation de combustible constant pour se maintenir en l'air. Cette caractéristique les rend idéaux pour les vols de longue durée.

## Avantages et Inconvénients des Ballons à Gaz

Les ballons à gaz sont plus efficaces pour les vols de longue distance et permettent un meilleur contrôle de l'altitude sans dépendre de la chaleur. Cependant, ils sont plus coûteux à utiliser en raison du prix du gaz et présentent des risques en fonction du type de gaz utilisé. Par exemple, l'hydrogène, bien qu'abondant et très léger, est inflammable, tandis que l'hélium est plus sûr mais coûteux.

## Applications Modernes de l'Aérostation

Aujourd'hui, l'aérostation est principalement utilisée pour des loisirs, mais elle continue également de jouer un rôle important dans certains domaines scientifiques et industriels.

1. **Loisirs et Tourisme** : Les vols en montgolfière sont populaires dans de nombreuses régions du monde, offrant aux touristes des vues panoramiques uniques et une expérience de vol tranquille.
2. **Recherche Scientifique** : Les ballons sont utilisés pour transporter des équipements de recherche dans l'atmosphère, où ils collectent des données sur la météo, la pollution ou d'autres phénomènes atmosphériques.
3. **Publicité et Événements** : Les ballons captifs (retenus au sol) sont souvent utilisés pour promouvoir des événements ou des marques, attirant l'attention grâce à leur grande taille et leur visibilité.

## Sécurité et Régulation en Aérostation

Les aéronefs d'aérostation sont soumis à des réglementations strictes pour assurer la sécurité des passagers et des pilotes. Les ballons à gaz, en particulier, nécessitent des précautions supplémentaires en raison des risques liés aux gaz utilisés. Par ailleurs, les vols en aérostation sont surveillés et autorisés par les autorités de l'aviation civile, qui imposent des limitations sur les zones et altitudes de vol pour éviter les risques de collision avec d'autres aéronefs.

## NOTES

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---







# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## Le vol spatial

Le vol spatial fascine depuis des décennies, et ce n'est pas sans raison. Naviguer dans l'espace implique bien plus que de quitter la Terre : c'est un véritable défi technologique qui pousse l'humanité à repousser ses limites. Entre la gravitation, l'absence d'atmosphère et les contraintes techniques, le vol spatial est une aventure qui combine science avancée et précision extrême. Dans cette leçon, nous explorerons les principaux aspects du vol spatial, de la gravité aux moteurs des satellites, en passant par les techniques de mise en orbite.

### Qu'est-ce que le vol spatial ?

Le vol spatial désigne le déplacement d'engins à travers l'espace, au-delà de l'atmosphère terrestre. Cette aventure commence par un défi : s'extraire de l'attraction terrestre. Contrairement aux vols aériens, le vol spatial se heurte à des contraintes physiques spécifiques, telles que le vide absolu et l'absence d'oxygène, ce qui demande des solutions technologiques uniques et une conception minutieuse.

### Le vide de l'espace : un défi technique majeur

#### Structure et pression

Le vide de l'espace impose des défis de conception cruciaux. Contrairement à la Terre, où la pression atmosphérique protège les structures, le vide spatial exerce une pression nulle. Cela signifie que toute enceinte pressurisée doit être extrêmement solide pour résister à la pression interne sans exploser dans le vide. Cette contrainte influence chaque aspect de la structure des véhicules spatiaux, du choix des matériaux à la résistance des coques.

#### Propulsion en milieu sans oxygène

Dans l'espace, l'absence d'oxygène empêche l'utilisation des moteurs à combustion conventionnels. Les véhicules spatiaux utilisent donc des propulseurs spécifiques, souvent à base de carburants chimiques qui peuvent se mélanger et brûler dans le vide, comme le moteur-fusée. D'autres alternatives, telles que les moteurs ioniques, propulsent les engins grâce à l'éjection d'ions accélérés, offrant ainsi une solution durable pour les longs trajets dans l'espace.

### La gravitation : moteur et frein du vol spatial

#### Comprendre la gravitation

La gravitation est la force naturelle qui attire deux masses l'une vers l'autre, comme celle de la Terre qui retient les objets sur sa surface. Cette force, découverte par Newton, est décrite par la formule :

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / d^2$$

Où  $F$  est la force de gravité,  $m_1$  et  $m_2$  sont les masses des objets,  $d$  est la distance entre eux, et  $G$  est la constante gravitationnelle. Je vous rassure, cette formule n'est pas à connaître pour le BIA vous aurez tout loisir de l'aborder en cours de physique au lycée.

#### La pesanteur et l'altitude

La pesanteur, souvent mesurée à la surface de la Terre comme une accélération de  $9,81 \text{ m/s}^2$ , diminue avec l'altitude. Sur la Lune, par exemple, elle est six fois plus faible que sur Terre, ce qui explique pourquoi les astronautes peuvent y "sauter" facilement. Lors d'un vol spatial, les variations de pesanteur influencent la consommation d'énergie et la trajectoire des engins.





# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



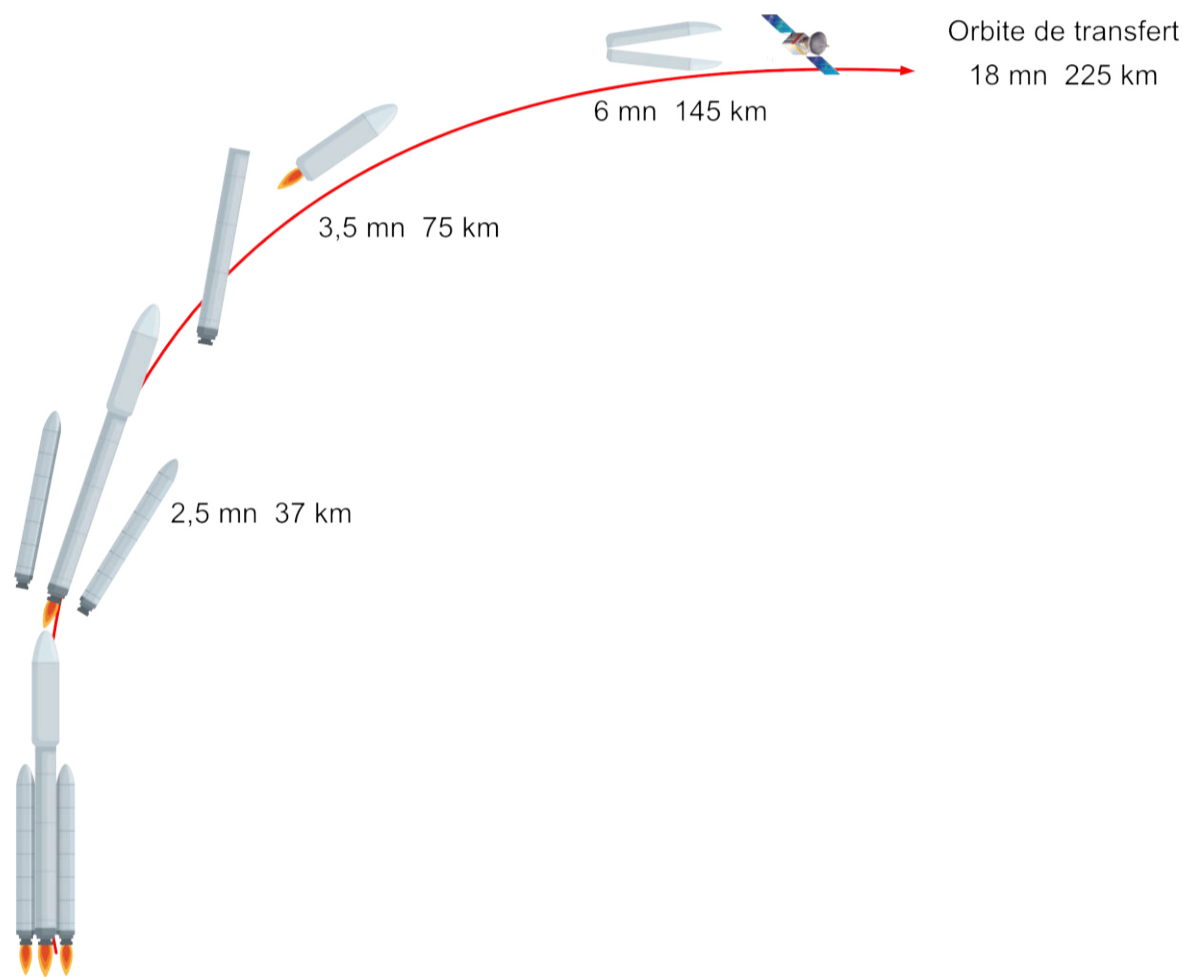
## La mise en orbite : atteindre la vitesse de libération

### Trajectoire de lancement

Mettre un engin en orbite exige d'atteindre une vitesse de lancement critique. À partir de la surface terrestre, il est nécessaire d'atteindre une vitesse minimale de 7,9 km/s pour stabiliser un satellite en orbite basse. Plus la vitesse est élevée, plus l'orbite peut être étendue, jusqu'à une vitesse de 11,2 km/s où l'engin échappe complètement à la gravité terrestre pour devenir une sonde spatiale.

### Rôle des lanceurs

Les lanceurs, tels que les fusées, jouent un rôle essentiel dans le processus de mise en orbite. Ils fournissent l'énergie nécessaire pour déplacer un satellite à une vitesse et une altitude spécifiques. Une fois que le satellite atteint le point d'injection, il est propulsé en orbite circulaire. Pour des ajustements précis, des moteurs secondaires placés dans le satellite permettent de le guider vers une orbite elliptique, souvent utilisée pour les missions d'observation ou de communication.



## Types de vols et d'orbites

### Orbite géostationnaire : les satellites de communication

Pour les satellites de communication, il est essentiel de rester fixe par rapport à un point terrestre, ce qui nécessite une orbite géostationnaire. Placé à environ 36 000 km de la Terre, le satellite tourne en synchronisation avec la rotation terrestre, permettant une couverture stable de la même région, essentielle pour les télécommunications.

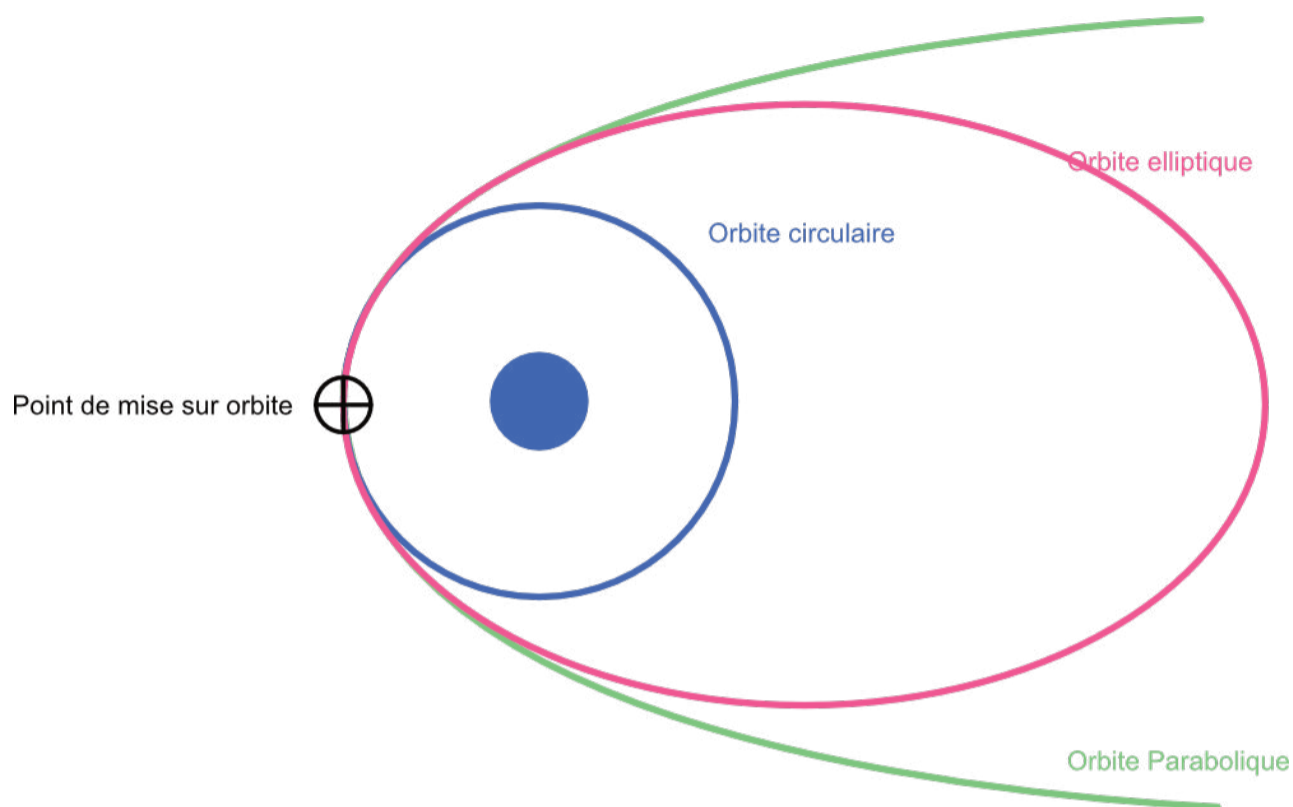
### Orbite héliosynchrone : les satellites d'observation

Les satellites d'observation, comme ceux de la série SPOT, utilisent des orbites héliosynchrones qui passent par les pôles à environ 820 km d'altitude. Cette orbite permet des conditions d'éclairage constantes, idéales pour l'imagerie terrestre, en garantissant que chaque zone est photographiée sous le même angle et avec la même luminosité, facilitant ainsi la surveillance environnementale.





# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



Différents orbites

Orbite géostationnaire







# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## La vitesse Mach

En aéronautique, la vitesse est souvent exprimée en « Mach » lorsqu'il s'agit de vitesses très élevées, surtout celles proches ou dépassant celle du son. Mais qu'est-ce que signifie vraiment "Mach" ? Pour les candidats au BIA, comprendre cette unité de mesure est un pas de plus dans le monde des avions supersoniques et des voyages à grande vitesse.

### Qu'est-ce que le Mach ?

Le Mach est une unité de mesure de vitesse, mais elle est un peu différente des kilomètres par heure (km/h) ou des miles par heure (mph) que nous utilisons habituellement. Mach est une unité spéciale utilisée pour mesurer des vitesses comparées à celle du son dans l'air. Lorsque nous disons qu'un avion vole à Mach 1, cela signifie qu'il se déplace à la même vitesse que le son, soit environ 1 235 km/h au niveau de la mer.

Le Mach est donc un nombre sans unité, car il représente un rapport de vitesse.

Par exemple :

- Mach 1 : l'avion vole à la vitesse du son.
- Mach 2 : l'avion vole deux fois plus vite que la vitesse du son.
- Mach 0,5 : l'avion vole à la moitié de la vitesse du son.

### Pourquoi Utilise-t-on Mach pour Mesurer la Vitesse ?

L'unité Mach est particulièrement utile en aviation, car la vitesse du son n'est pas constante. Elle change en fonction de la température et de l'altitude. Par exemple, à haute altitude où il fait plus froid, la vitesse du son est plus faible qu'au niveau de la mer. Cela signifie que Mach 1 pourrait représenter une vitesse différente en fonction de l'altitude.

Pour les avions qui volent très vite, en particulier les avions militaires et les avions supersoniques, il est important de connaître la vitesse relative au son. Lorsque les avions atteignent des vitesses proches ou supérieures à celle du son, cela entraîne des effets aérodynamiques importants, comme les bangs supersoniques et des changements de pression autour de l'appareil.

### Les Différentes Catégories de Vitesses en Mach

En fonction de la vitesse, on peut diviser le vol en plusieurs catégories de Mach :

- Subsonique ( $Mach < 1$ ) : Ce sont les vitesses inférieures à celle du son. La majorité des avions de ligne volent en régime subsonique, généralement entre Mach 0,7 et Mach 0,85. À ces vitesses, l'avion ne produit pas de bang supersonique.
- Transsonique ( $Mach \approx 1$ ) : Lorsque l'avion atteint une vitesse proche de Mach 1, il entre dans une zone appelée « transsonique ». Ici, certaines parties de l'air autour de l'avion peuvent atteindre la vitesse du son, ce qui crée des turbulences et des variations de pression. C'est une zone complexe pour les ingénieurs, car elle affecte la stabilité et la performance de l'avion.
- Supersonique ( $Mach > 1$ ) : À Mach 1 et au-delà, l'avion dépasse la vitesse du son. À cette vitesse, il produit un « bang supersonique » (ou bang sonique) que l'on peut entendre au sol. Les avions de chasse, peuvent atteindre ces vitesses. Le concorde fut le seul avion civil de son époque à atteindre de telles vitesses.
- Hypersonique ( $Mach > 5$ ) : Les vitesses hypersoniques commencent au-delà de Mach 5, soit cinq fois la vitesse du son. À ces vitesses extrêmes, les avions doivent être construits avec des matériaux spéciaux pour résister à la chaleur intense générée par la friction avec l'air.

Avec sa vitesse de croisière de 2,2 mach le concorde pouvait ainsi s'allonger de 20 à 50 cm car la température de son fuselage pouvait monter jusqu'à 130 °C ! Une température suffisamment élevée pour que l'alliage métallique se dilate fortement.





# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## Comment le Mach Influence-t-il le Vol d'un Avion ?

La vitesse en Mach affecte de nombreux aspects du vol d'un avion, notamment sa résistance à l'air, sa stabilité et sa consommation de carburant. Lorsque l'avion approche de Mach 1, des changements importants se produisent dans l'écoulement de l'air autour de l'appareil.

- Résistance de l'air : Plus la vitesse en Mach est élevée, plus l'avion rencontre de résistance. À des vitesses supersoniques, cette résistance devient si forte que l'avion nécessite des moteurs très puissants pour maintenir sa vitesse.
- Formation de Chocs : Lorsqu'un avion atteint Mach 1, des ondes de choc se forment autour de lui. Ces chocs provoquent des changements brusques de pression qui peuvent affecter le confort et la structure de l'avion. C'est pour cette raison que les avions supersoniques doivent être conçus pour supporter ces effets.
- Bang Supersonique : Lorsque l'avion dépasse Mach 1, il produit un bang supersonique, un bruit très fort entendu au sol. Ce phénomène est dû à l'accumulation des ondes de pression créées par l'avion lorsqu'il dépasse la vitesse du son.

## Pourquoi la Vitesse en Mach Est-Elle Importante pour les Avions Supersoniques ?

Les avions qui dépassent Mach 1, comme les avions militaires ou les anciens avions de ligne supersoniques comme le Concorde, sont conçus pour voler à des vitesses très élevées. Cela leur permet de parcourir de longues distances en un temps record. Par exemple, le Concorde pouvait relier Paris à New York en un peu plus de 3 heures, contre 8 heures pour un avion classique.

Cependant, le vol supersonique présente des défis importants, notamment en matière de consommation de carburant, de confort des passagers et d'impact environnemental. À Mach 2, un avion consomme beaucoup plus de carburant, ce qui rend les vols plus coûteux. De plus, les bangs supersoniques limitent les vols au-dessus des zones habitées.

## Exemples de Vitesses en Mach dans le Monde de l'Aviation

- Mach 0,85 : Les avions de ligne long-courriers, comme le Boeing 787 ou l'Airbus A350, volent généralement autour de cette vitesse.
- Mach 1 : Cette vitesse correspond à la vitesse du son au niveau de la mer. Elle est souvent atteinte par les avions de chasse pendant les manœuvres rapides. Le rafale peut atteindre la vitesse de mach 1,8.
- Mach 2 : Certains avions militaires, comme le F-15 Eagle, peuvent atteindre Mach 2, soit deux fois la vitesse du son.
- Mach 3 et plus : Les avions expérimentaux, comme le SR-71 Blackbird, peuvent atteindre Mach 3, une vitesse rare qui demande des matériaux et des technologies spécifiques pour résister à la chaleur intense.





# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## Le décollage et l'atterrissage

**Le décollage** : Pendant la phase de roulement, l'avion accélère sur la piste afin d'atteindre une vitesse lui permettant d'assurer sa sustentation par une portance suffisante.

Lorsque la vitesse de décollage est atteinte, le pilote effectue la rotation pour placer l'avion à l'assiette de montée. Cela augmente la portance par augmentation de l'incidence.

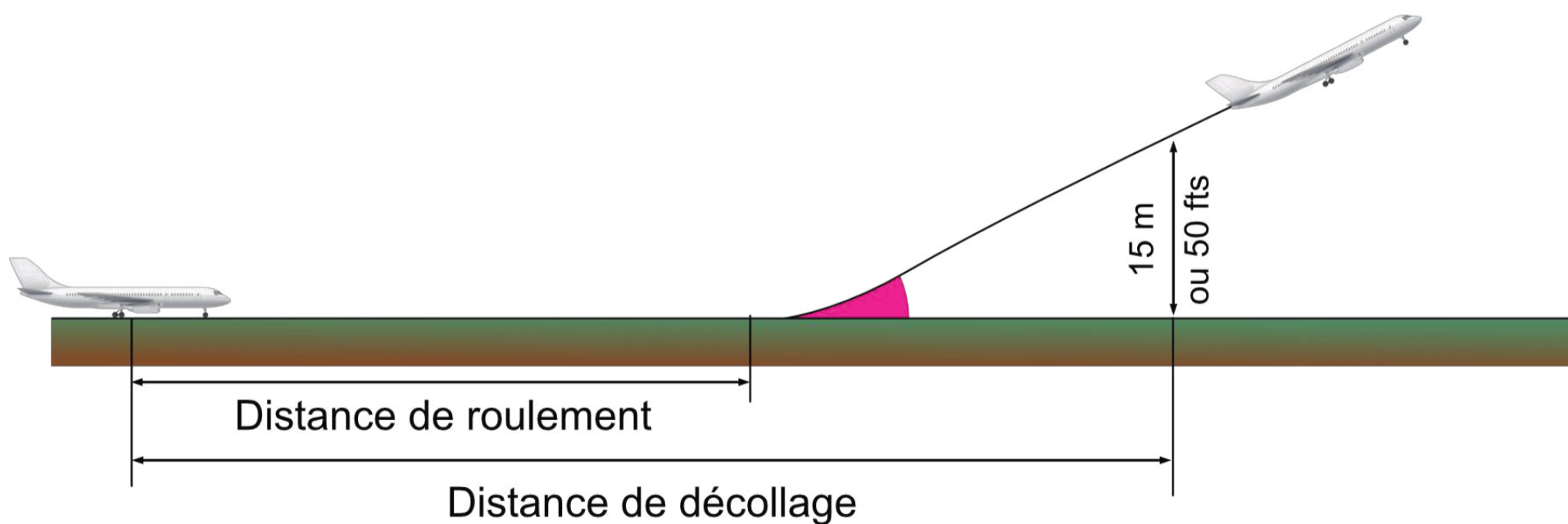
L'avion quitte le sol et continue à accélérer vers sa vitesse de montée tout en prenant de l'altitude.



**Le décollage se termine au passage à la hauteur de 15 m par rapport au sol.**

**Le décollage** Le décollage d'un avion se fait face au vent pour décoller sur distance plus courte. L'utilisation des volets permet de diminuer la vitesse nécessaire au décollage.

La longueur de roulage nécessaire au décollage augmente avec l'altitude et la température







# AÉRODYNAMIQUE ET MÉCANIQUE DU VOL



## L'atterrissage :

L'avion descend sur une pente **finale** stabilisée à la **vitesse d'atterrissage**.

Près du sol le pilote « **arrondit** » c'est-à-dire qu'il cabre l'avion pour réduire la pente de descente afin de venir tangenter le sol.

En même temps, il réduit complètement la puissance des moteurs. La vitesse décroît, ce qui réduit doucement la portance.

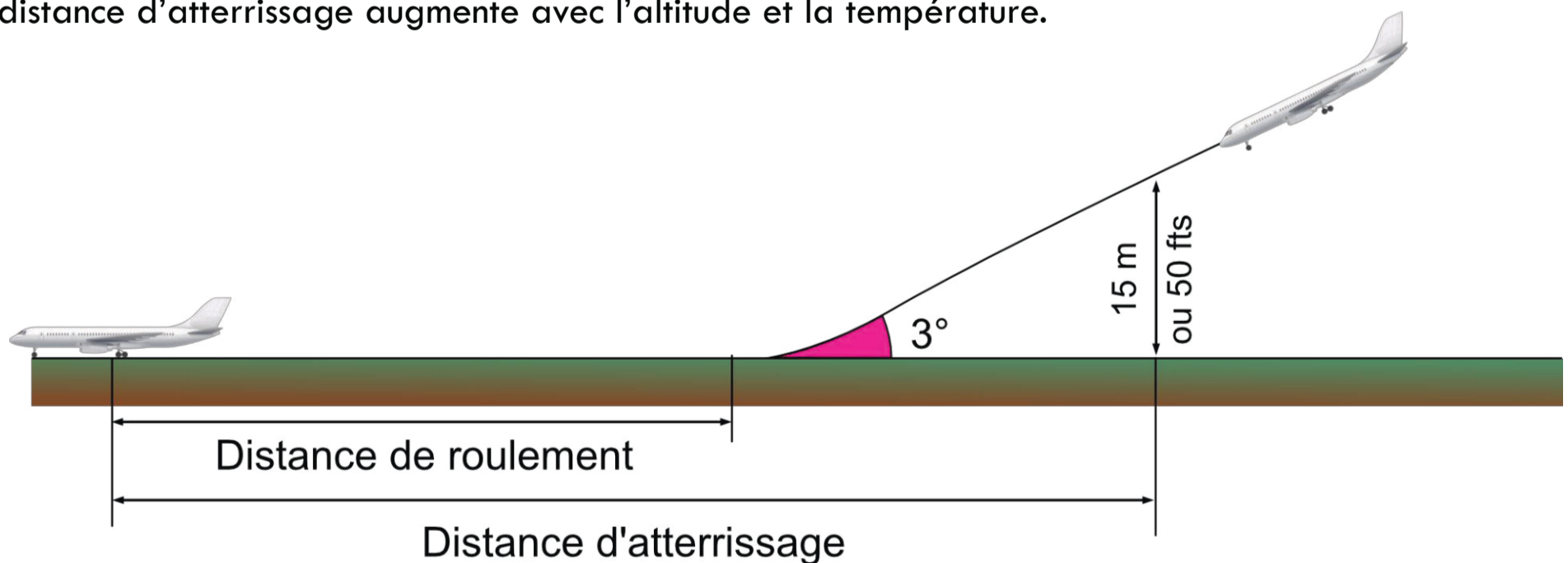
Le pilote relève le nez de l'avion pour que le **train d'atterrissage principal** prenne contact avec le sol en premier. Suit la phase de **décélération** qui permet de réduire la vitesse sur la piste avant de dégager vers le parking.



L'atterrissage d'un avion se face au vent pour atterrir sur une distance plus courte.

L'installation des pleins volets (et si installés les becs) permet de réduire la vitesse d'approche.

La distance d'atterrissage augmente avec l'altitude et la température.



Revoir le cours par modules sur <https://www.horizonbia.com>

En vidéos sur YouTube : [@horizonbia](https://www.youtube.com/@horizonbia)

S'entraîner aux QCM sur <https://formation-bia.fr>

