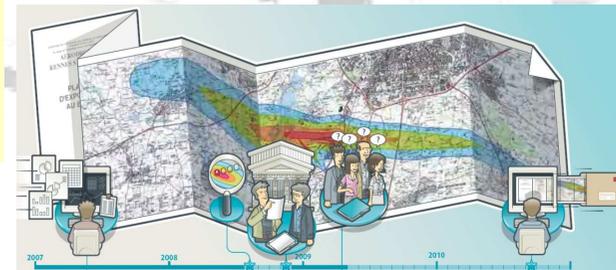
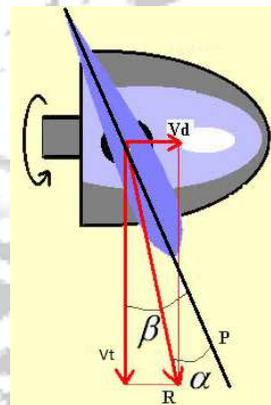




# 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

## 3.2.2 Groupes motopropulseurs Hélices et Rotors

### Contraintes liées au développement durable



### 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

## 3.2 Les groupes motopropulseurs

### • Hélices et Rotors

- Principe
- Rendement
- Calage
- Coupe gyroscopique et souffle hélicoïdal
- Contraintes liées au développement durable
  - Bruit
  - Optimisation énergétique

### 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

## 3.2 Les groupes motopropulseurs

- Hélices et Rotors
  - Principe
  - Pas
    - Fixe
    - Variable
  - Calage
  - Rendement
  - Couple gyroscopique et souffle hélicoïdal
- Contraintes liées au développement durable

## 3.2 Les groupes motopropulseurs

### • Principe de l'hélice

- Pas d'une hélice

### • Calage

- Fixe
- Variable

- Rendement

### • Couple gyroscopique

### • Souffle hélicoïdal



# L'hélice



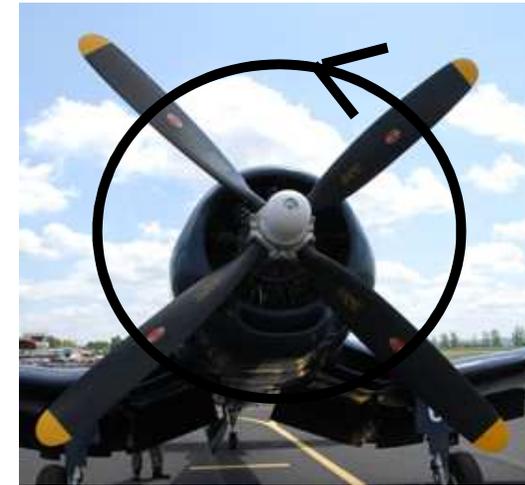
Hélice à 4  
pales en  
Métal

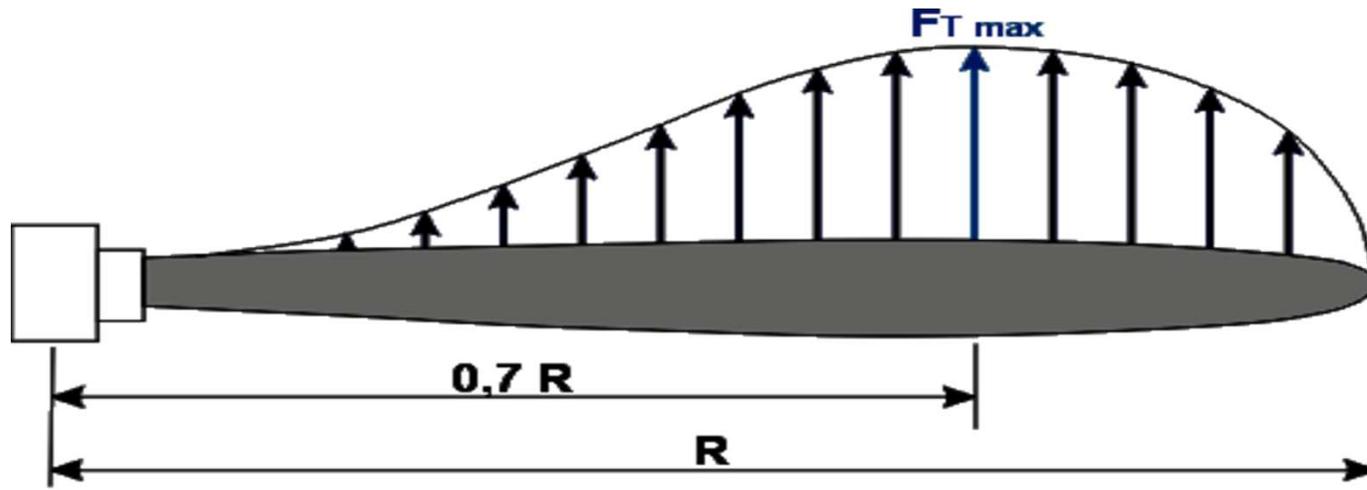


Hélice à 6 pales en  
fibre de carbone

# Principe

- C'est un dispositif:
  - Rotatif
  - Formé d'un certain nombre de pales ayant profil d'aile
- En mouvement ce dispositif crée:
  - une dépression devant lui
  - une surpression derrière lui.
- Il accélère des masses d'air.
- C'est une "aile tournante".





- ➡ L'hélice n'a pas un fonctionnement aérodynamique optimal dans chaque section, les meilleures performances sont obtenues vers 70% à 80% de  $R$ .
- ➡ La géométrie de l'hélice (diamètre, nombre de pales) est à adapter aux performances du moteur (puissance à transmettre), il est également possible d'adjoindre un réducteur entre le vilebrequin du moteur et l'axe de rotation de l'hélice.
- ➡ Les hélices sont fabriquées en bois (plus légères mais plus fragiles), éventuellement renforcées au bord d'attaque, ou en acier (plus lourdes . . . conséquences sur le centrage !), ou en matériaux composites.

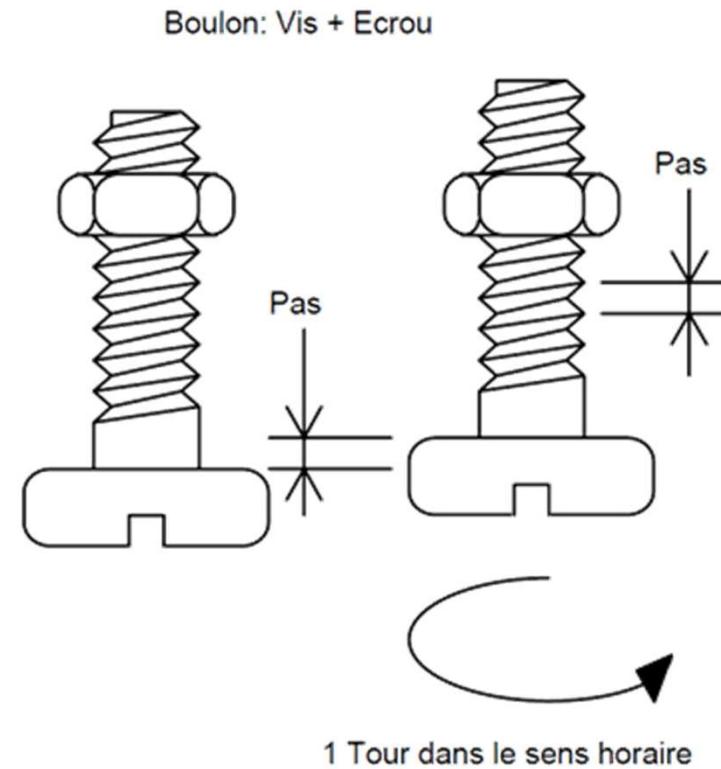
## 3.2 Les groupes motopropulseurs

- Principe de l'hélice
- Pas d'une hélice
- Calage
  - Fixe
  - Variable
- Rendement
- Couple gyroscopique
- Souffle hélicoïdal



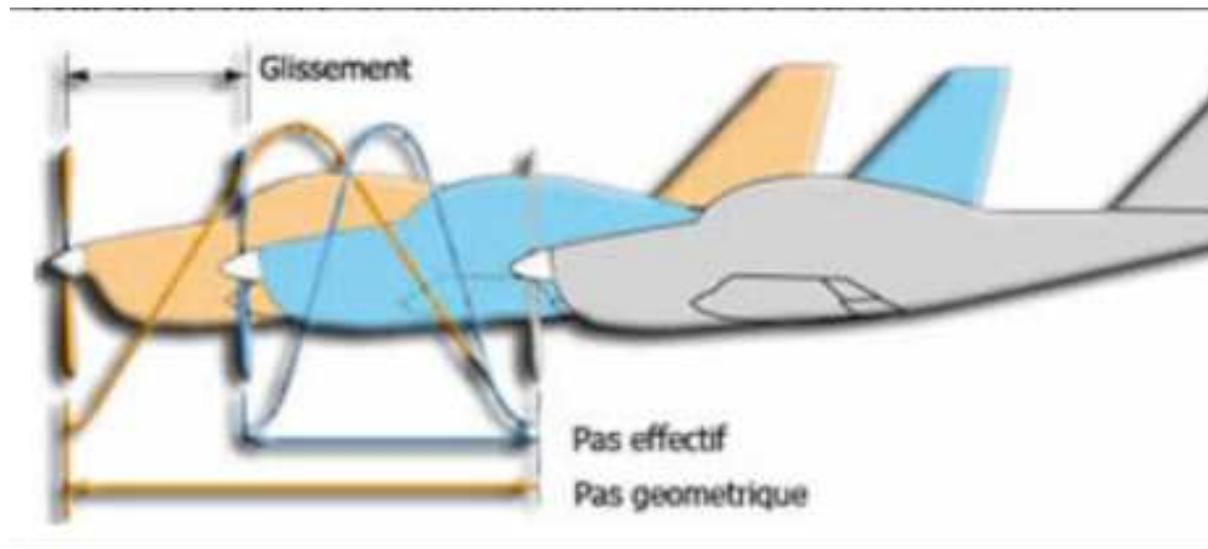
# Le Pas de l'hélice

- Pas = Distance parcourue pour un tour d'hélice.



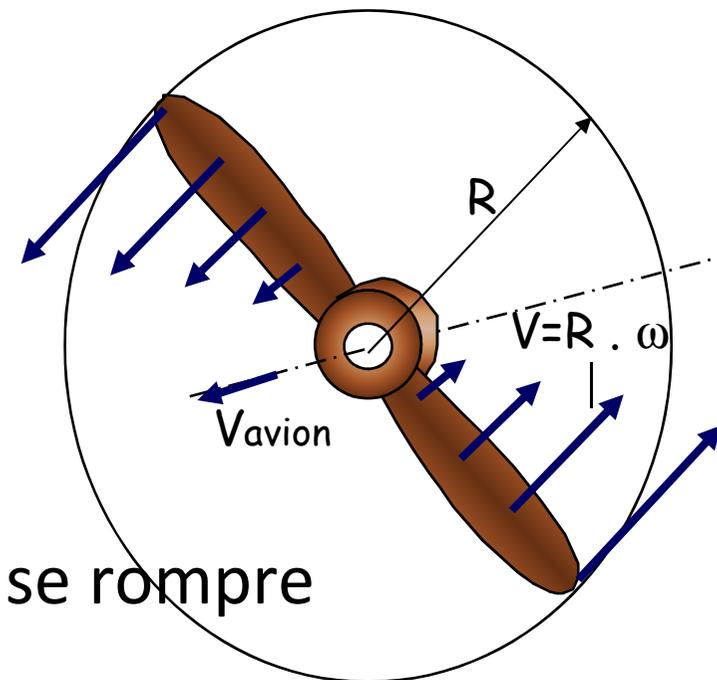
# Pas géométrique et effectif

- Le **pas effectif** est la distance effectivement parcourue par l'avion pendant un tour d'hélice.
- Le **pas théorique** est la distance que parcourrait l'hélice en un tour si elle se vissait dans un milieu incompressible et inerte.



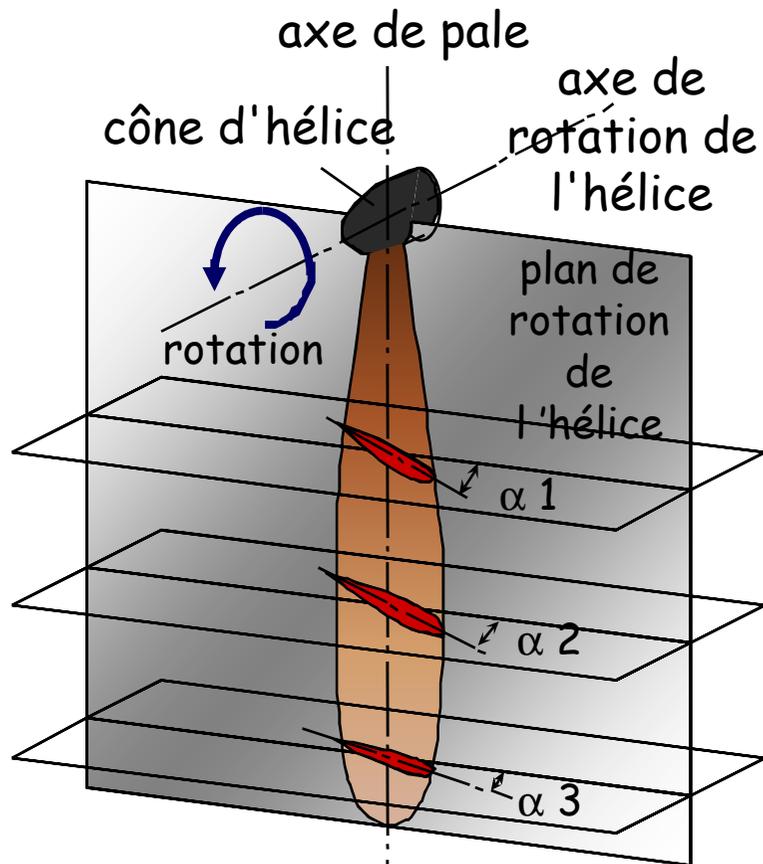
- A vitesse de rotation constante le bout de pale se déplace plus vite que près du noyau.  $V=R \cdot \omega$

- Si le calage de la pale était constant, l'extrémité de la pale créerait beaucoup plus de traction que la partie proche du centre.



- L'hélice pourrait se déformer et se rompre
- L'hélice à pales plates est donc à bannir car son rendement est mauvais et elle casserait.

# Le pas de L'hélice



- Pour un fonctionnement optimum, la pale devra donc être vrillée de la base vers le bout de pale pour que le pas **reste constant sur toute la longueur de la pale.**

➤ Donc quand R(rayon) augmente alpha doit diminuer pour que le pas reste constant.

$$\text{Pas} = \pi .d.\text{Tan}(\alpha)$$



# Simulation de calcul avec des pales plates

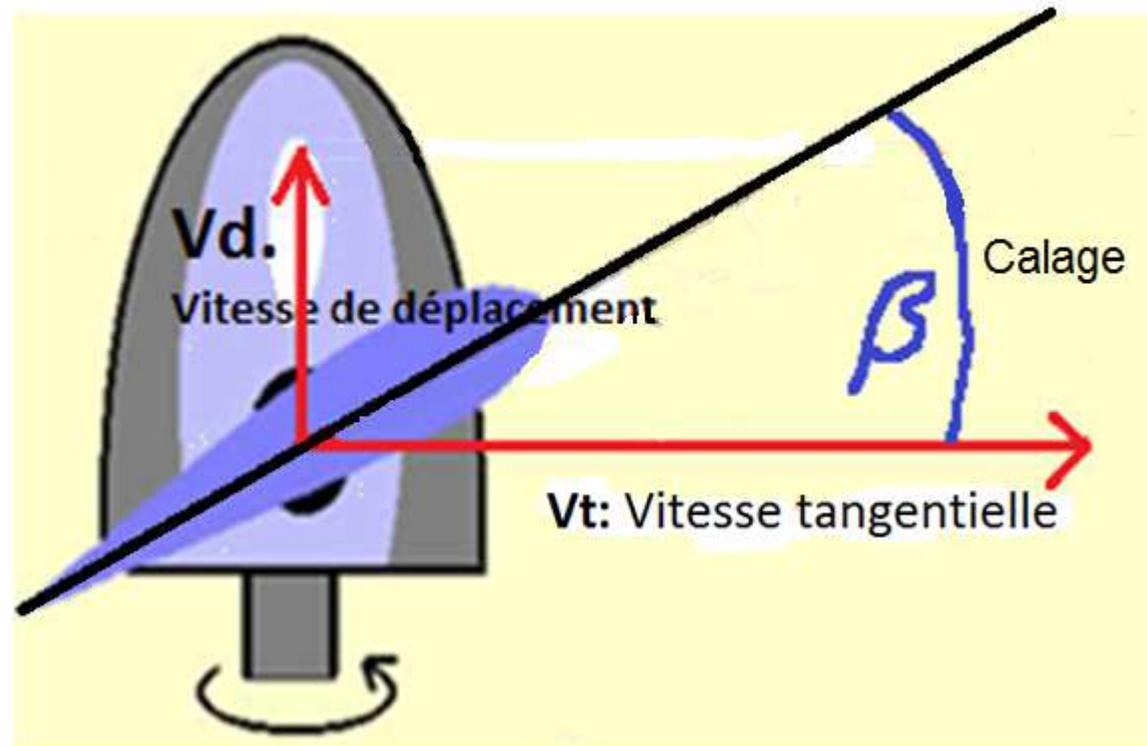
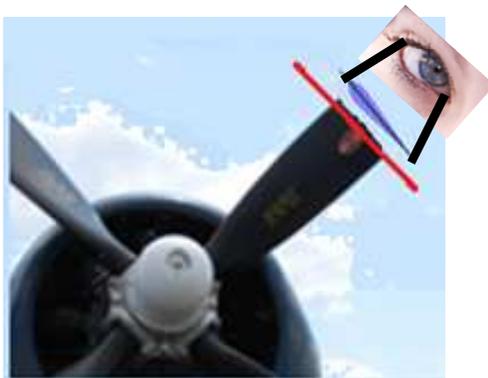
Calculons le pas à deux endroits de l'hélice ayant des pâles plates.

- Prenons par exemple :
  - $\alpha = 45^\circ$  (  $\text{Tan}(45^\circ) = 1$  )
  - $d = 1 \text{ cm}$  et  $D = 7 \text{ cm}$
- Calcul du pas au niveau du moyeu:  $d=1$ 
  - $\text{Pas} = \pi \cdot d \cdot \text{Tan}(\alpha) = \mathbf{3,14 \text{ cm}}$
- Calcul du pas au niveau du bout de pale:  $D=7$ 
  - $\text{Pas} = \pi \cdot D \cdot \text{Tan}(\alpha) = \mathbf{22 \text{ cm}}$

**Que pensez vous de ces résultats?**

# Le Calage

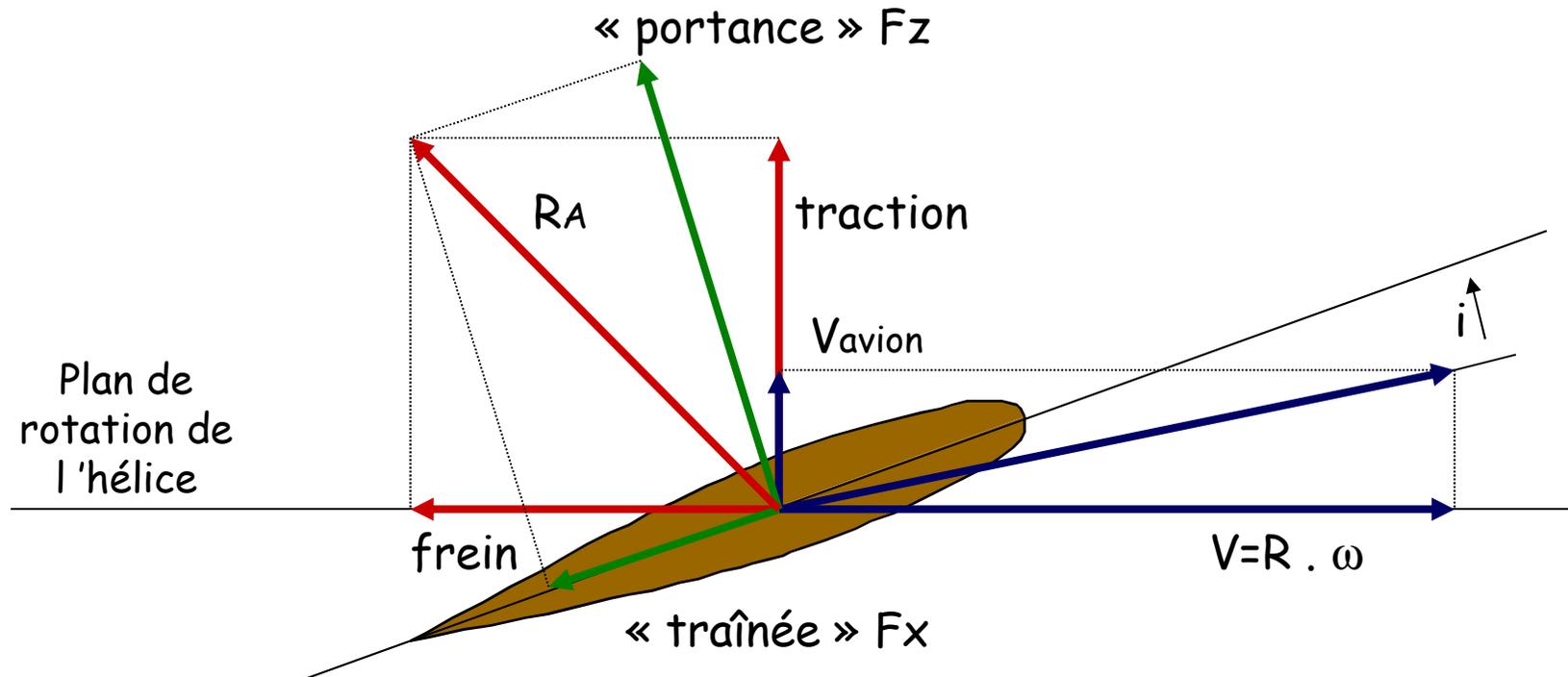
On prend comme référence de calage, la valeur du calage à 70% du pied de pale.



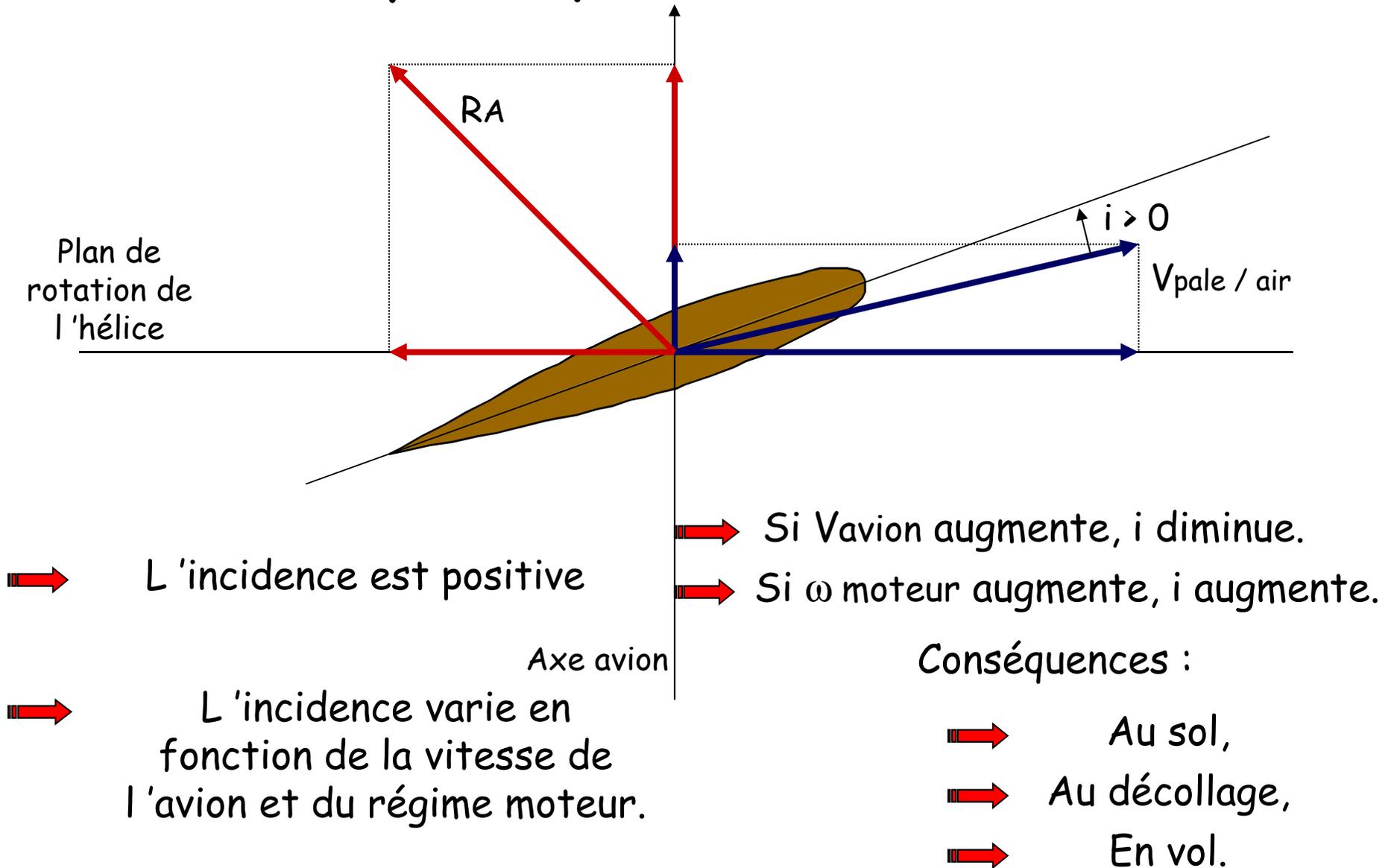
$$V_t = 2 \pi r \cdot n \quad (n \text{ vitesse de rotation en tours/s}).$$

- $\beta$  : Angle de calage de l'hélice. Angle entre la corde du profil de l'hélice et le plan de rotation de l'hélice.

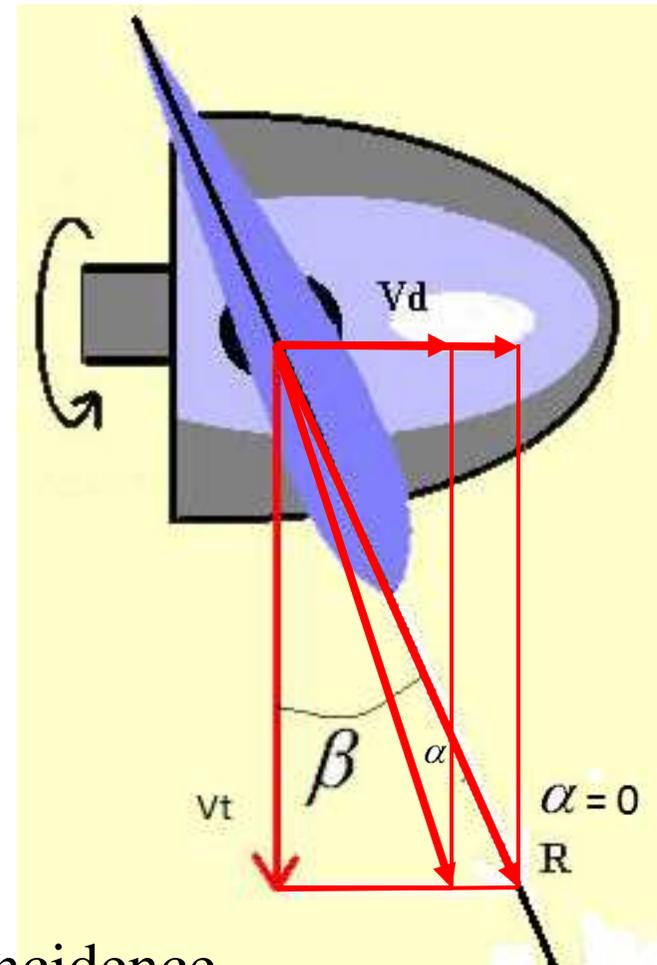
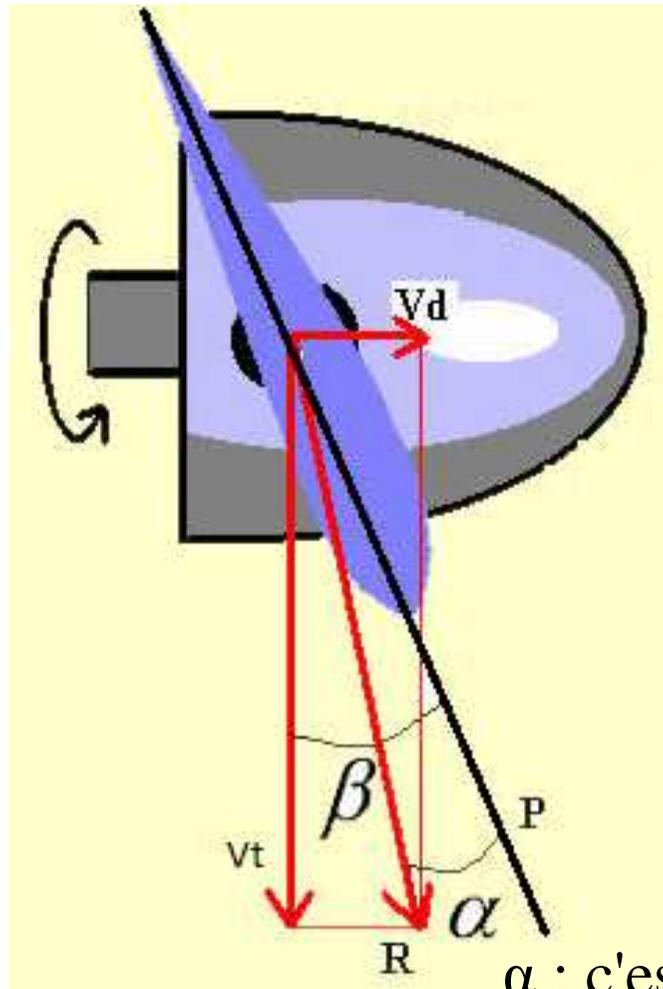
# Etude aérodynamique - bilan



# Etude aérodynamique - « normal »



# Etude aérodynamique - « normal »



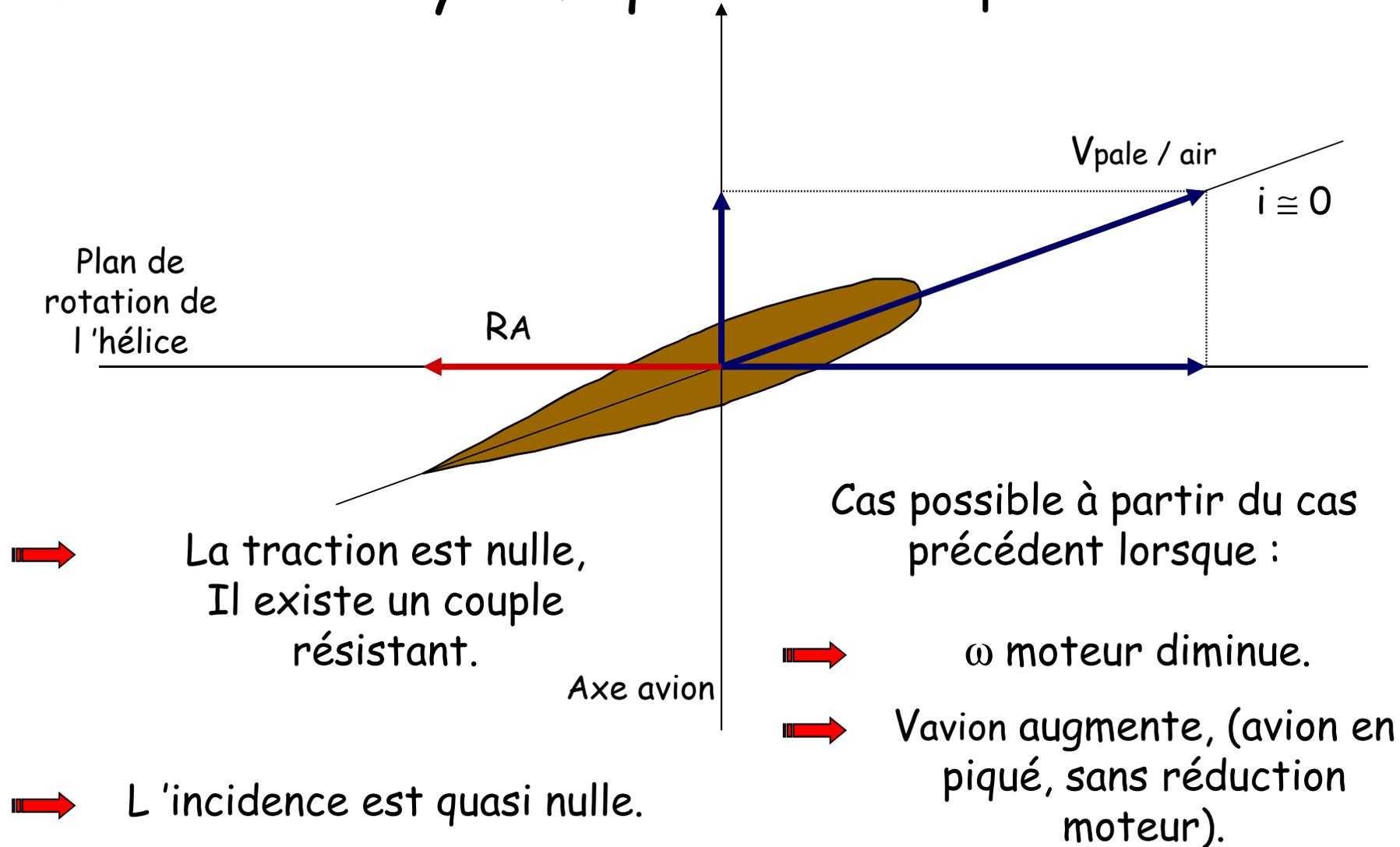
$\alpha$  : c'est l'angle d'incidence.

Vitesse déplacement faible.

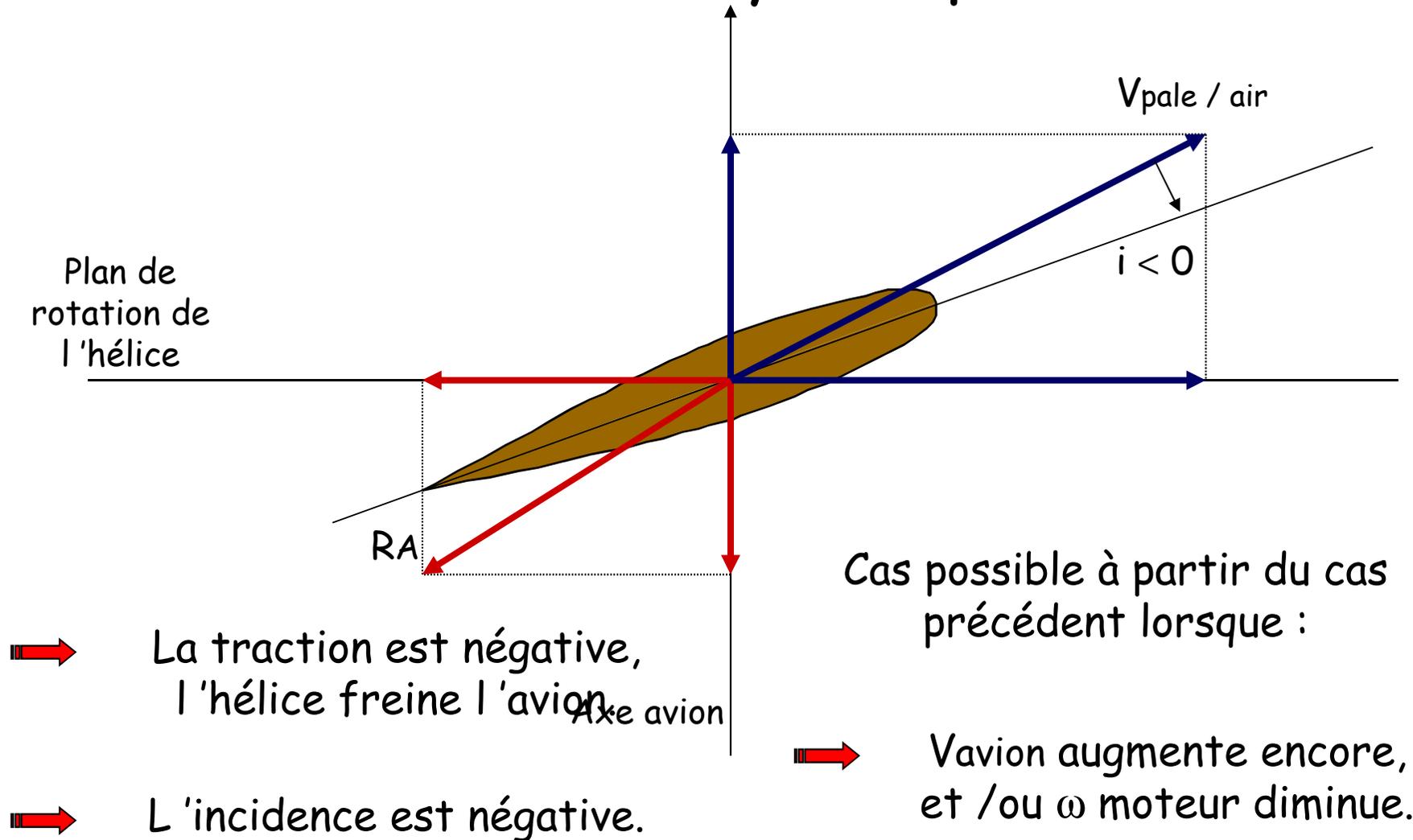
Vitesse déplacement augmente.

Vitesse Tangentielle et calage identiques.

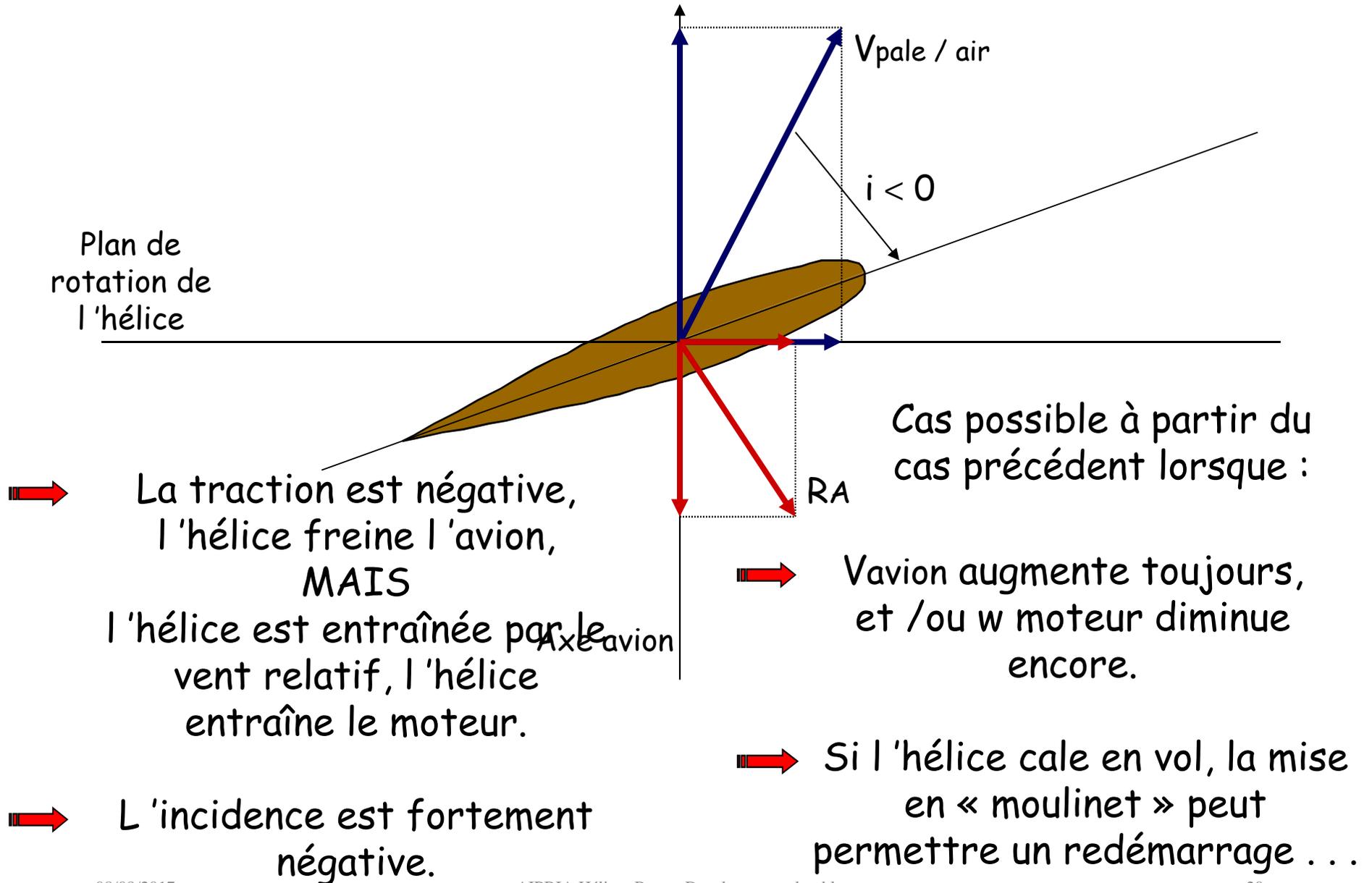
# Etude aérodynamique - « transparence »



# Etude aérodynamique - « frein »



# Etude aérodynamique - « moulinet »



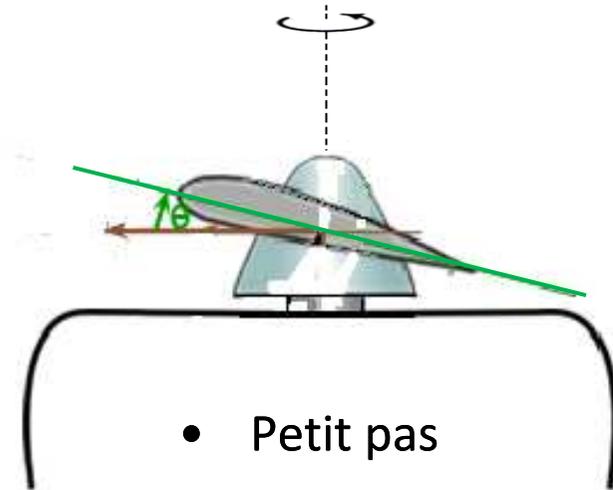
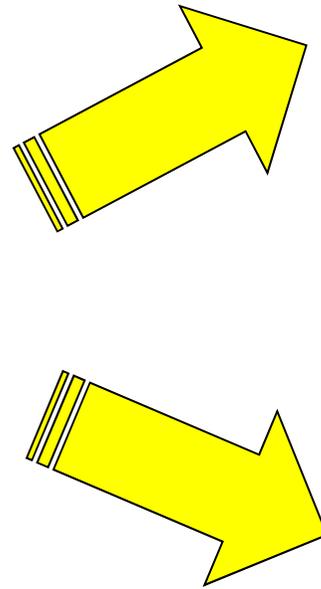
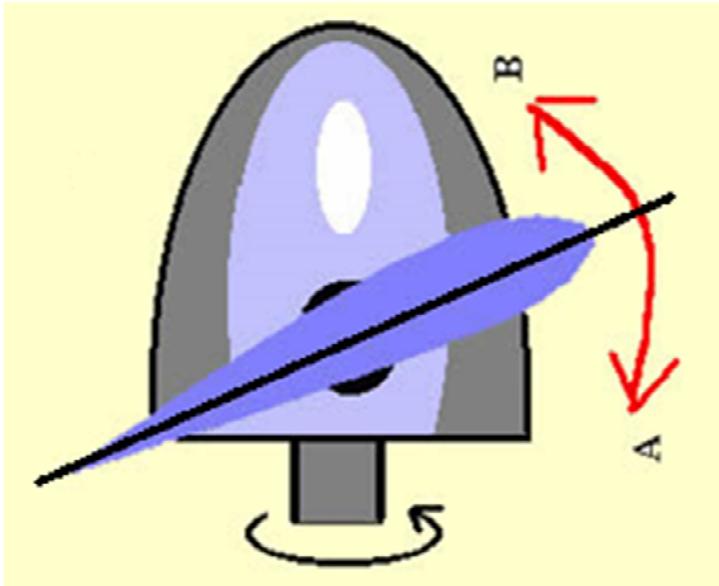
# Hélice à calage variable

- **L'efficacité** de l'hélice à une vitesse donnée varie en fonction du calage.
- Le calage des pales n'est optimal que pour une vitesse et un régime moteur donnés

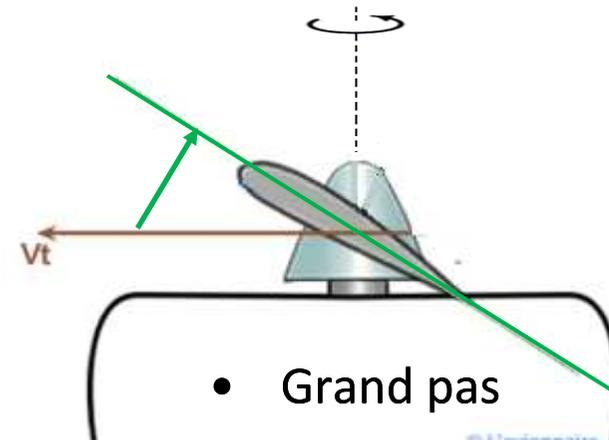
Pour optimiser l'efficacité de l'hélice à toutes les vitesses et régime moteur de l'avion :

- On choisit un calage optimisé **pour chaque configuration du vol,** en utilisant un calage **réglable en vol** (= pas variable)

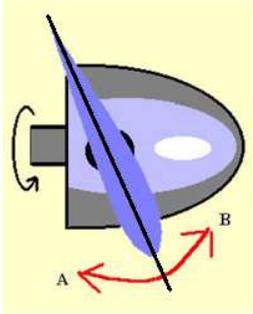
# Hélice à calage variable



Décollage, Atterrissage



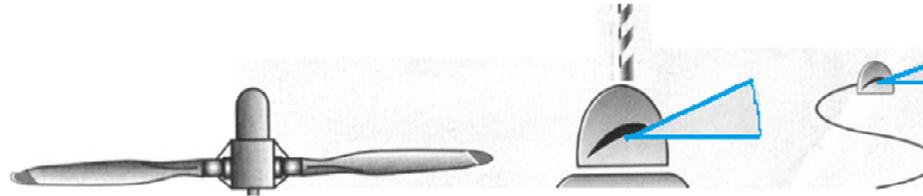
Croisière



## Hélice à calage variable

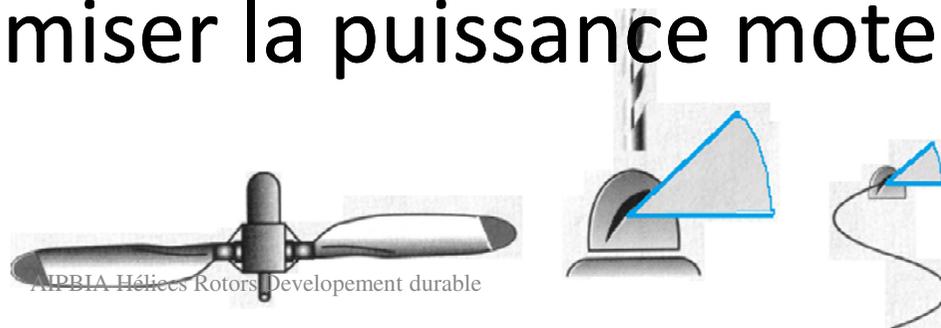
- **au décollage et à l'atterrissage**, la vitesse est faible mais *la puissance demandée est importante*

=> **Petit pas**



- **en croisière**, la vitesse est élevée et on cherche à minimiser la puissance moteur demandée

=> **Grand pas**



# Hélice à calage variable

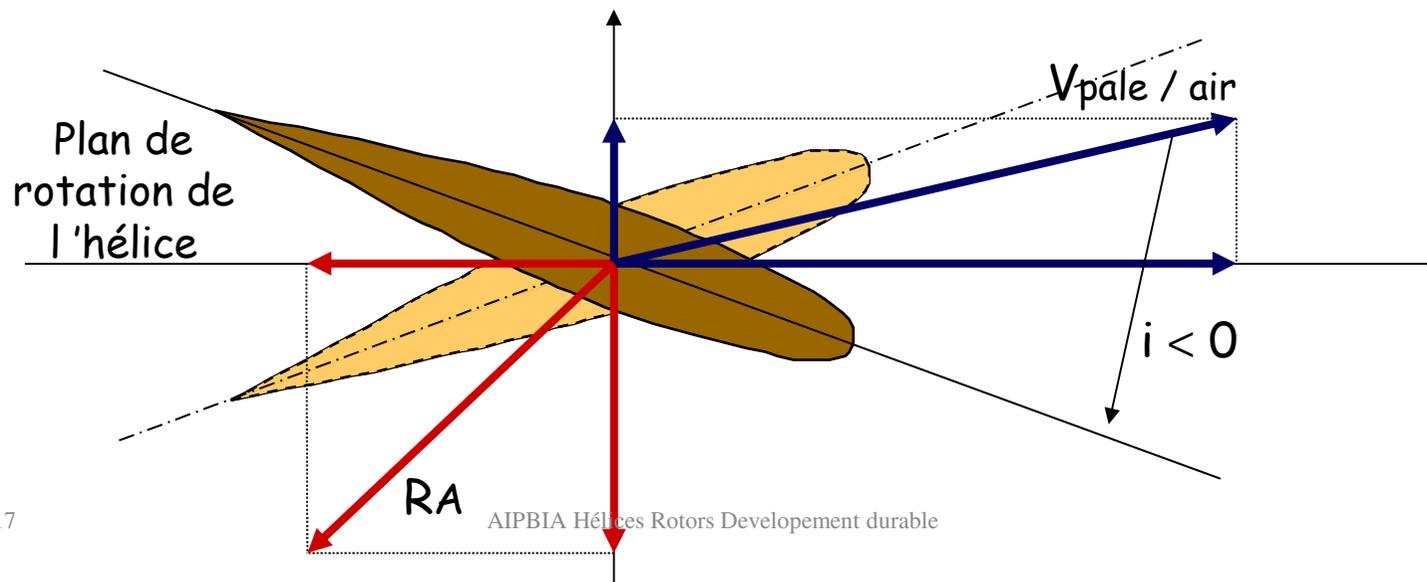
- Le pilotage du moteur devient plus exigeant.
  - On ne pilote plus la puissance avec le régime moteur seul.
    - Il faut afficher des paramètres de Pression d'Admission (PA) et de Régime
    - Par analogie avec la voiture:
      - PA = pédale d'accélérateur
      - Régime = Boite à vitesse



# Etude aérodynamique - « inversion de poussée »

## Fonctionnement en inversion de poussée

- Calage négatif suffisamment important:
  - l'hélice fournit une traction négative importante.
  - utilisée pour le ralentissement de l'hélice et de l'avion à l'atterrissage.



# Etude aérodynamique - « drapeau »

## Fonctionnement **Drapeau**

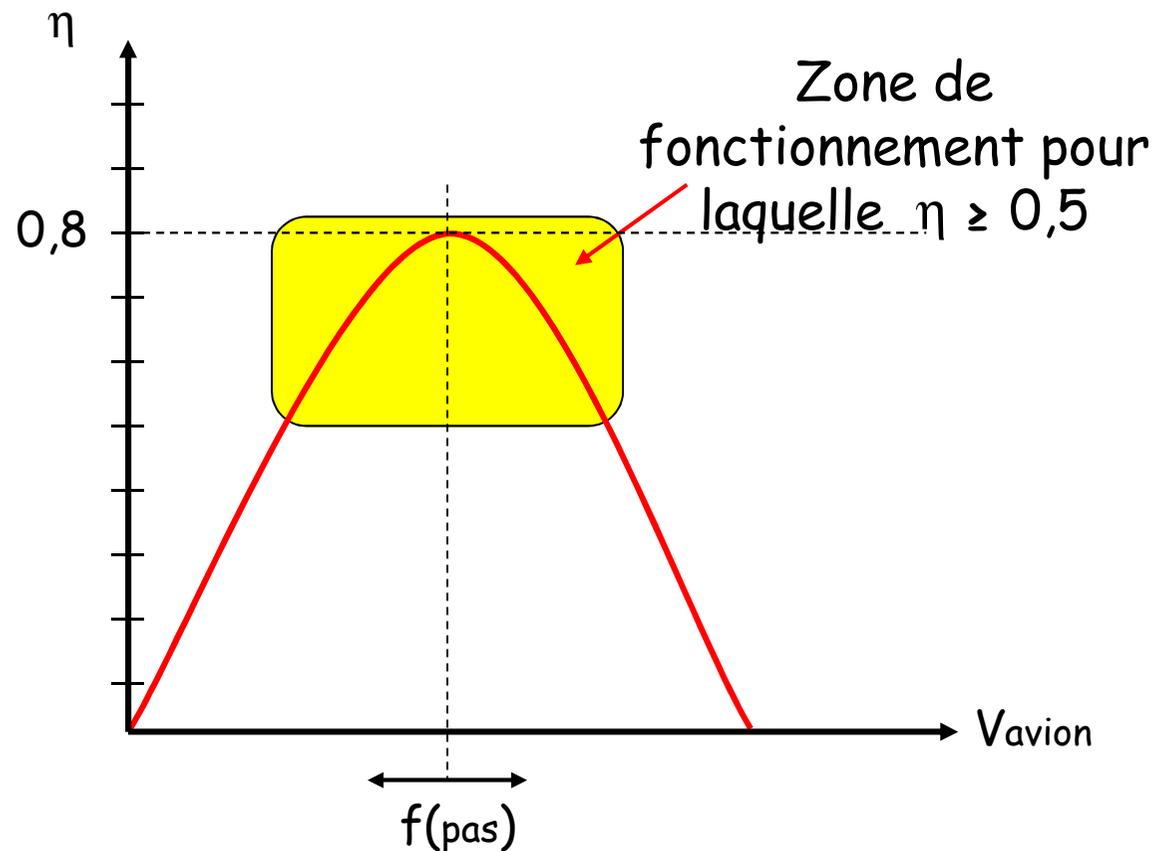
- Le calage vaut  $90^\circ$  :
  - la pale est parallèle à l'écoulement et son incidence est nulle.
  - La position qui traîne le moins. Préférable à l'arrêt moteur.



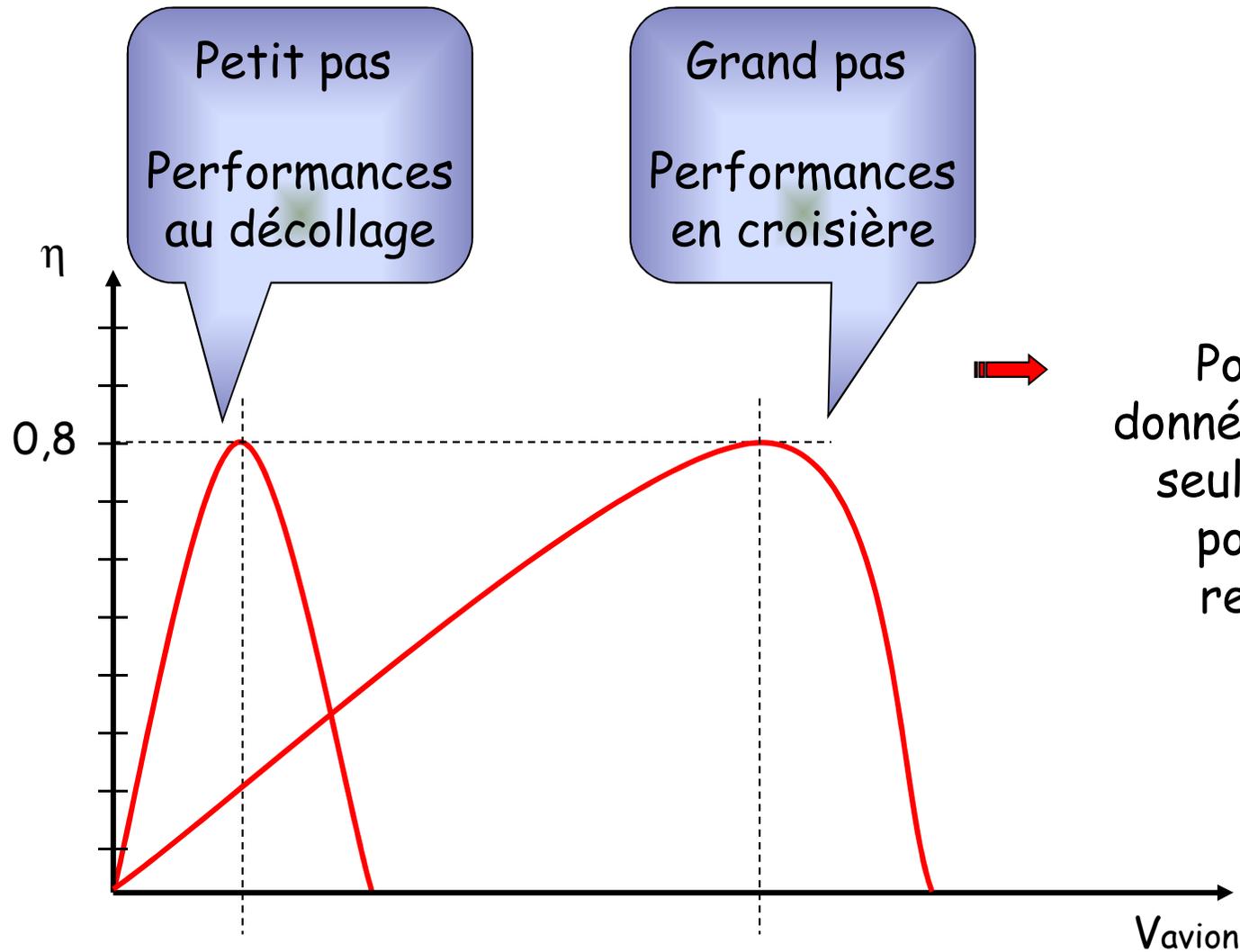
# Etude énergétique - rendement

➡ Rendement =  $\frac{\text{puissance restituée}}{\text{puissance absorbée}}$

Pour une hélice à calage fixe :

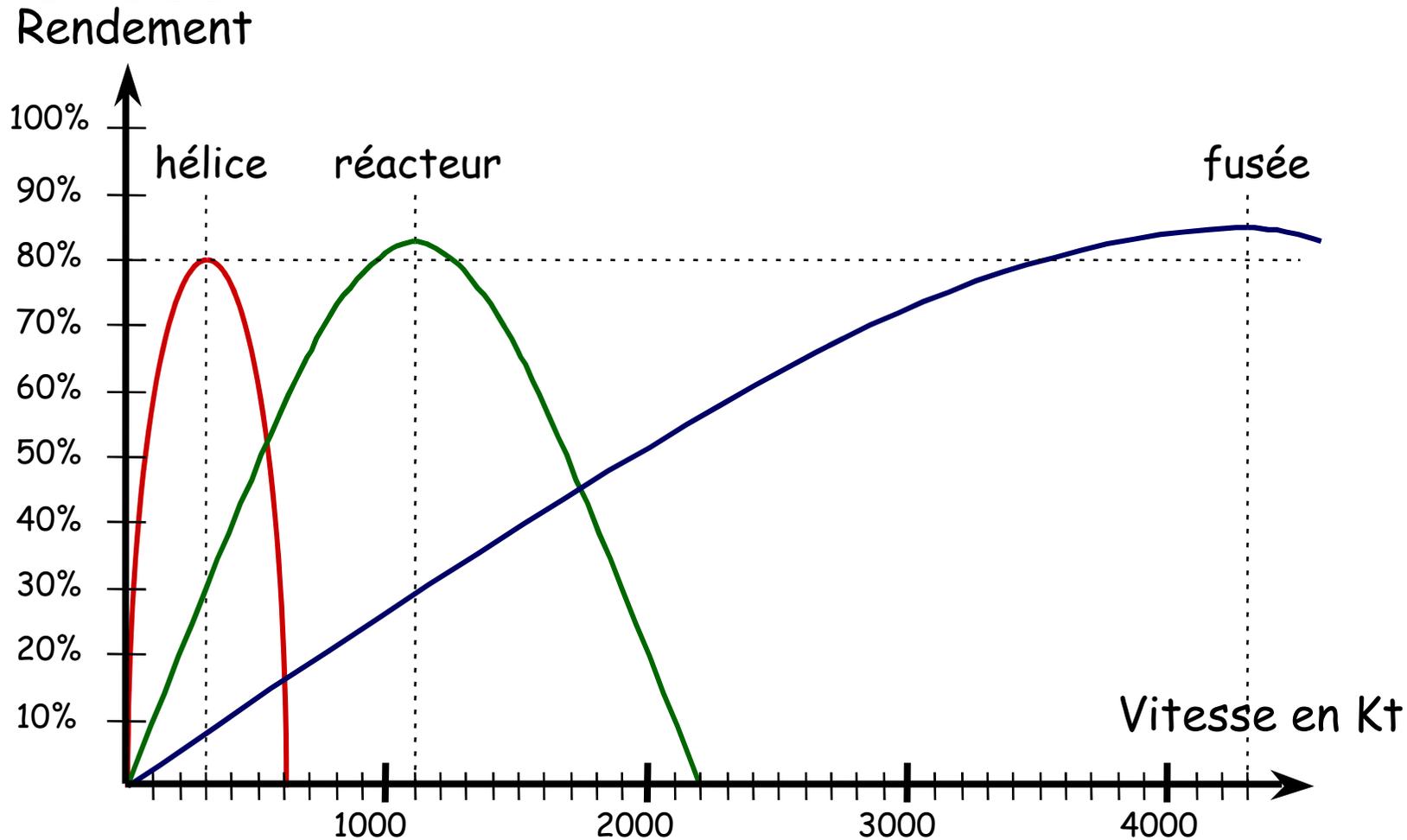


# Etude énergétique - petit et grand pas



Pour une hélice donnée, il n'y a qu'une seule vitesse avion pour laquelle le rendement est optimal.

# Pourquoi utilise t on encore des hélices ?



➡ Rendement (<1) = puissance restituée / puissance absorbée

## Hélice tractive ou propulsive

- Selon le calage de l'hélice, elle peut produire une force motrice dans un sens ou dans l'autre.
- Quand l'hélice est placée en avant de l'avion, elle est **tractive**.
- Quand elle est en arrière, elle est **propulsive**.
- La modification du calage après l'atterrissage permet de réaliser une **inversion** de l'action des hélices pour freiner un appareil sur la piste.

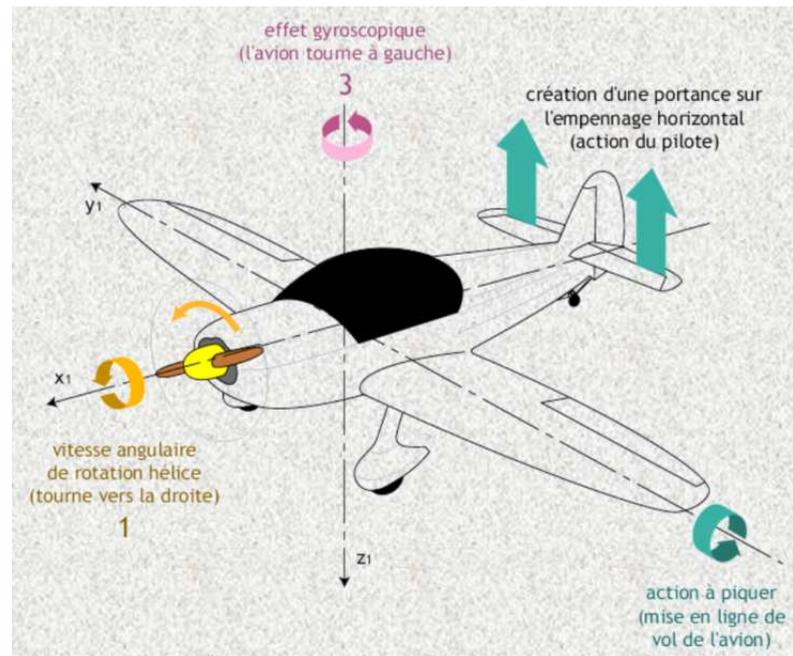
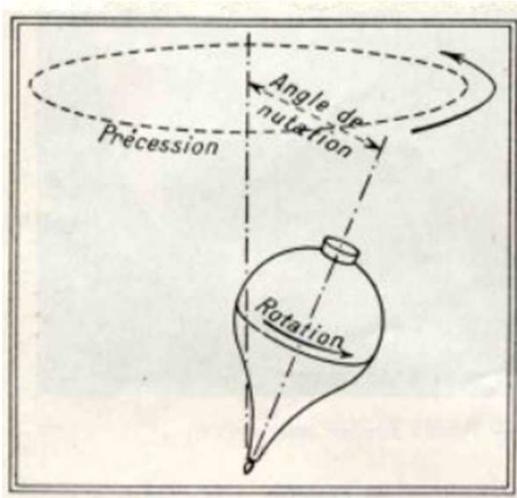


*Cessna Skymaster*

*Par Kogo — Travail personnel, GFDL 1.2*

# Couple gyroscopique d'une hélice

- L'hélice en rotation présente les mêmes caractéristiques qu'un gyroscope.
- La précession gyroscopique se manifeste, sur un avion monomoteur à train d'atterrissage classique, lors de la mise en ligne de vol au roulage pour le décollage.



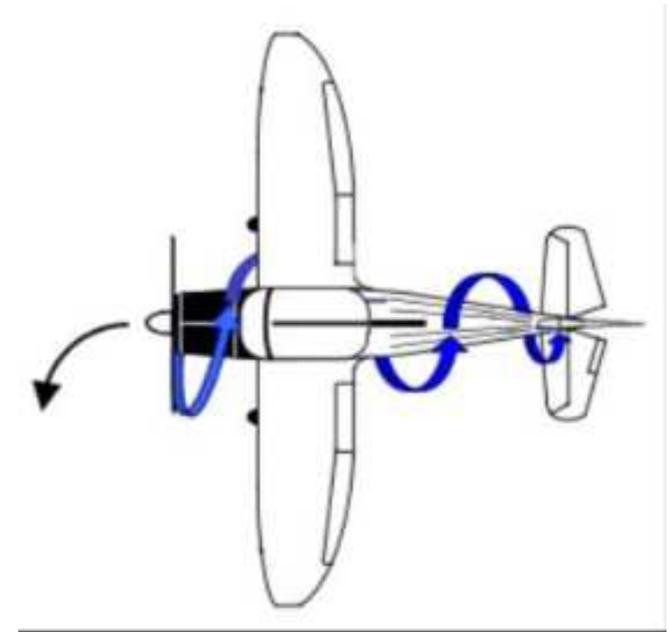
# Remèdes au couple gyroscopique d'une hélice

- Pour annuler l'effet gyroscopique de l'hélice sur un avion monomoteur, il faudrait utiliser deux hélices contrarotatives.



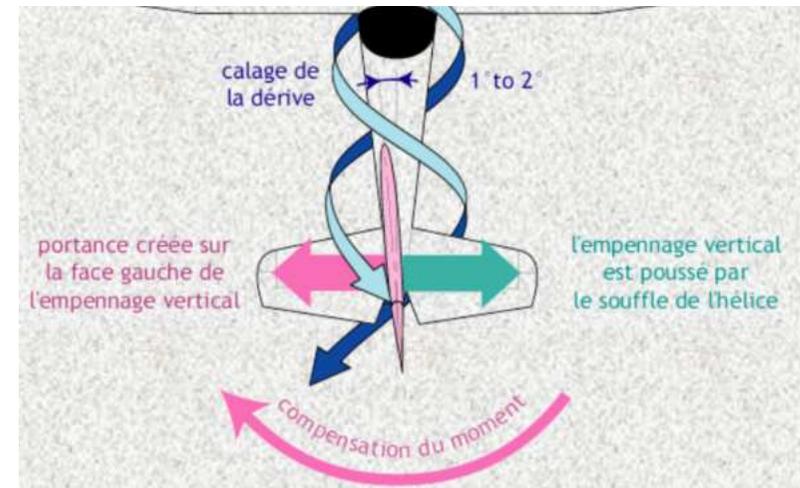
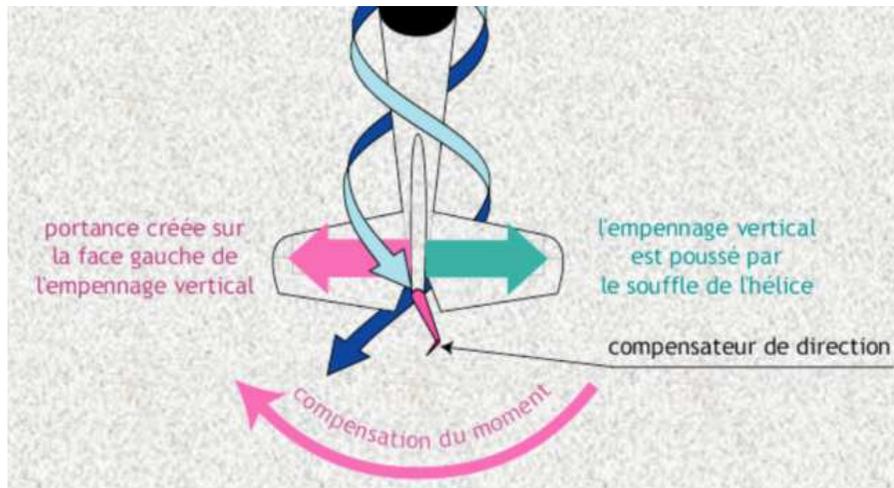
# Souffle Hélicoïdal

- La rotation de l'hélice produit un courant d'air qui s'enroule autour du fuselage et qui vient «frapper» l'empennage vertical du côté de la pale montante.
- L'intensité dépend de:
  - La vitesse de vol
  - Du régime de rotation de l'hélice
    - plus intense pour une vitesse faible et un régime moteur élevé : décollage et montée.



# Remèdes

- Le lacet à gauche induit par le souffle hélicoïdal est de même sens que celui induit par l'effet de couple moteur. Les remèdes seront donc les mêmes :
  - léger calage à gauche de la dérive
  - braquage de la gouverne de direction,



## 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

### 3.2 Les groupes motopropulseurs

- Hélices et Rotors

- Principe

- Rendement

- Calage

- Couple gyroscopique et souffle hélicoïdal

- Contraintes liées au développement durable

- Bruit

- Optimisation énergétique

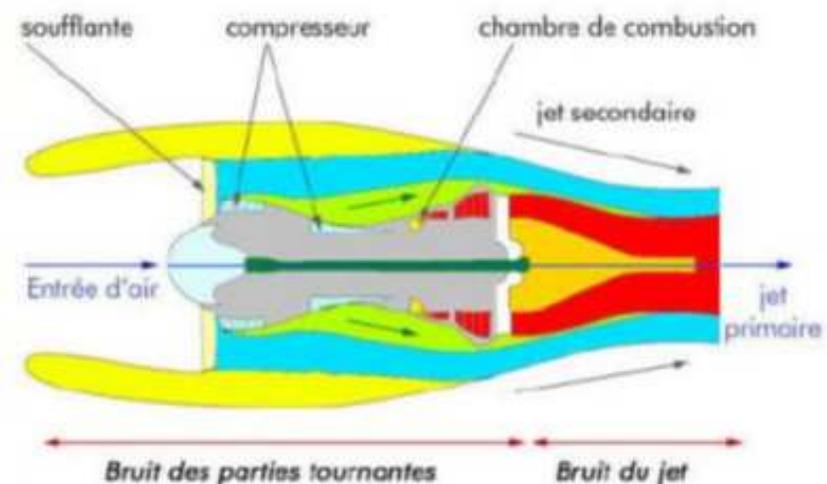
# Contraintes liées au développement durable

- Origine du bruit

- Bruit aérodynamique
- Bruit moteur
- Bruit hélice



- Les avions sont classés en fonction de leur performances acoustiques.



# Contraintes liées au développement durable

## Le bruit

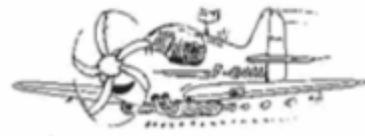
- Propagation du bruit
  - Influencée par:
    - La distance entre la source et le point d'observation qui est lié aux trajectoires
    - Les conditions météorologiques (vent, humidité, température)
- Ce qui compte dans le bruit n'est pas uniquement de le réduire à la source mais plus de supprimer ou réduire la gêne supportée par les humains.
  - Il faut donc se préoccuper des critères de gêne et de perception.
- Depuis 1960 les bruit de avions a été réduit de 25 EPNdB
  - L'ONERA a créé un département d'aéro-acoustique pour prendre en charge cette problématique.

# Contraintes liées au développement durable

- OACI a édicté des recommandations autour de 4 piliers pour réduire le bruit:

- Réduction des bruits à la source

- Nouvelle hélices multi pales
- Taux de dilution des réacteurs



- Procédures de moindre bruit

- Descente continue.
- Relèvement des altitudes d'arrivée

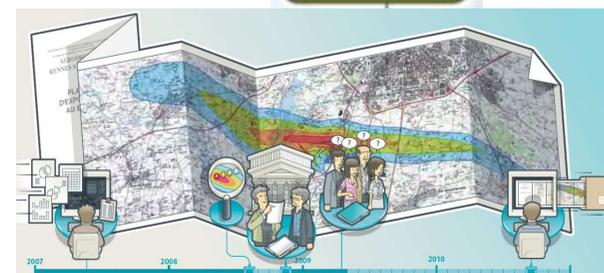


- Management des territoires autour des aéroports

- Zone non constructible (PEB)

- Restrictions des opérations

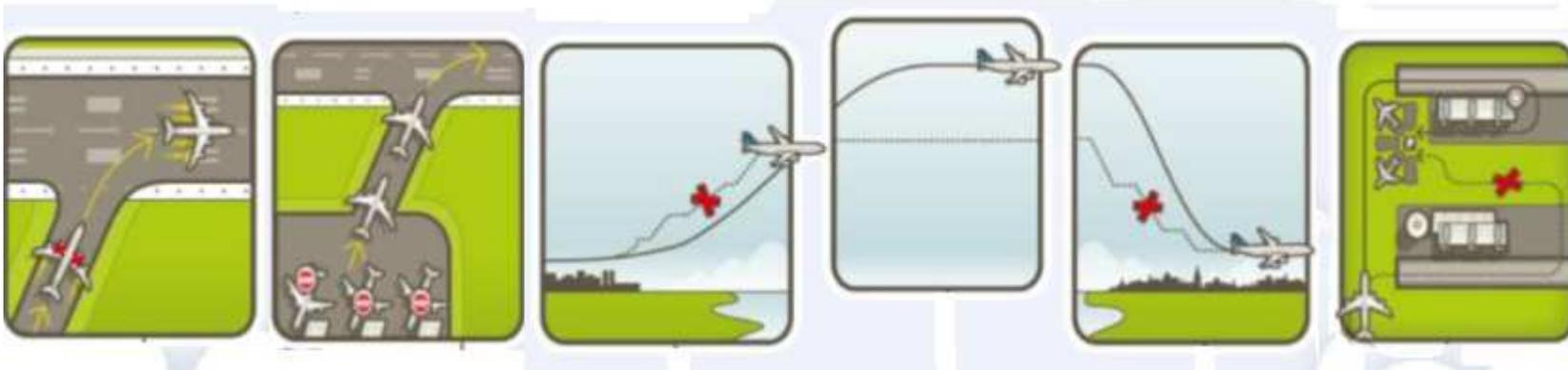
- Limitations du trafic d'hélicoptères
- Au Versoud charte avec les riverains
  - Procédure décollages, atterrissages
  - Voltige: Hauteur minimum et horaires



# Contraintes liées au développement durable

## Optimisation énergétique:

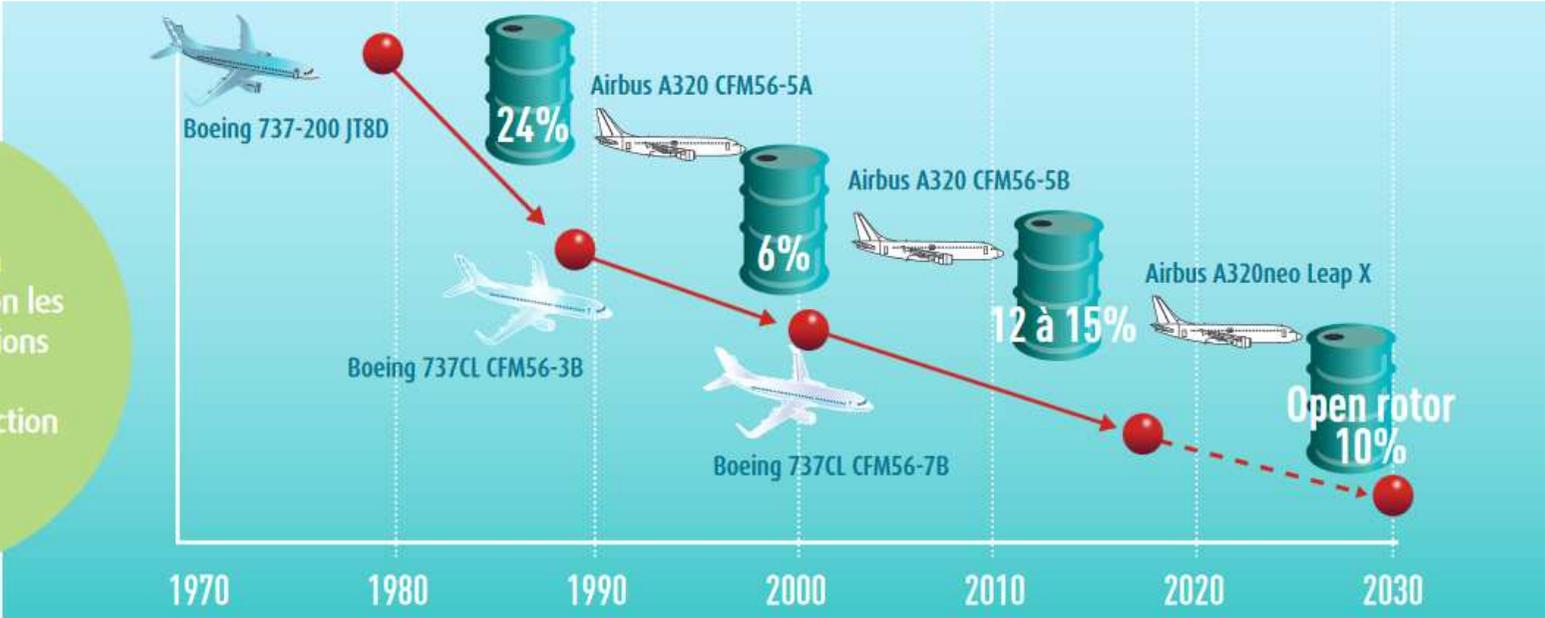
- Réduction de la consommation en carburant
- Comment?



- Green Taxi pour les avions
- Utilisation de Bio carburant
- Taux de dilution des turboréacteurs
- Diminution de l'émission de NOx et CO2

# Le ciel de demain ....

Réduction de la consommation de carburant selon les générations d'avions depuis 1970 et objectifs de réduction d'ici à 2030

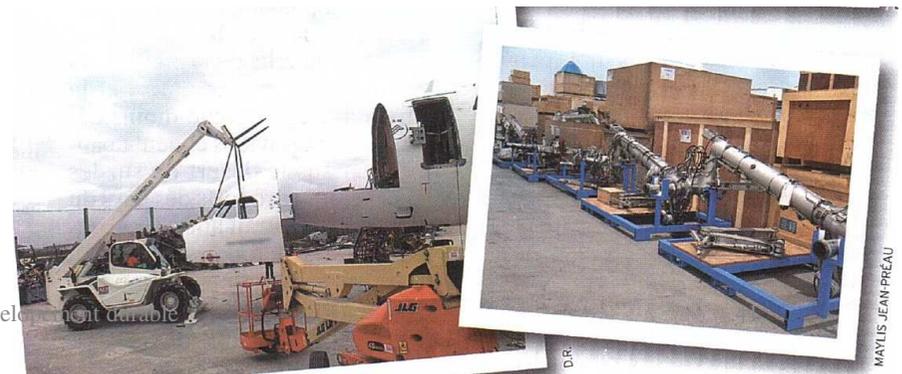


# Contraintes liées au développement durable

## Optimisation énergétique: Recyclage

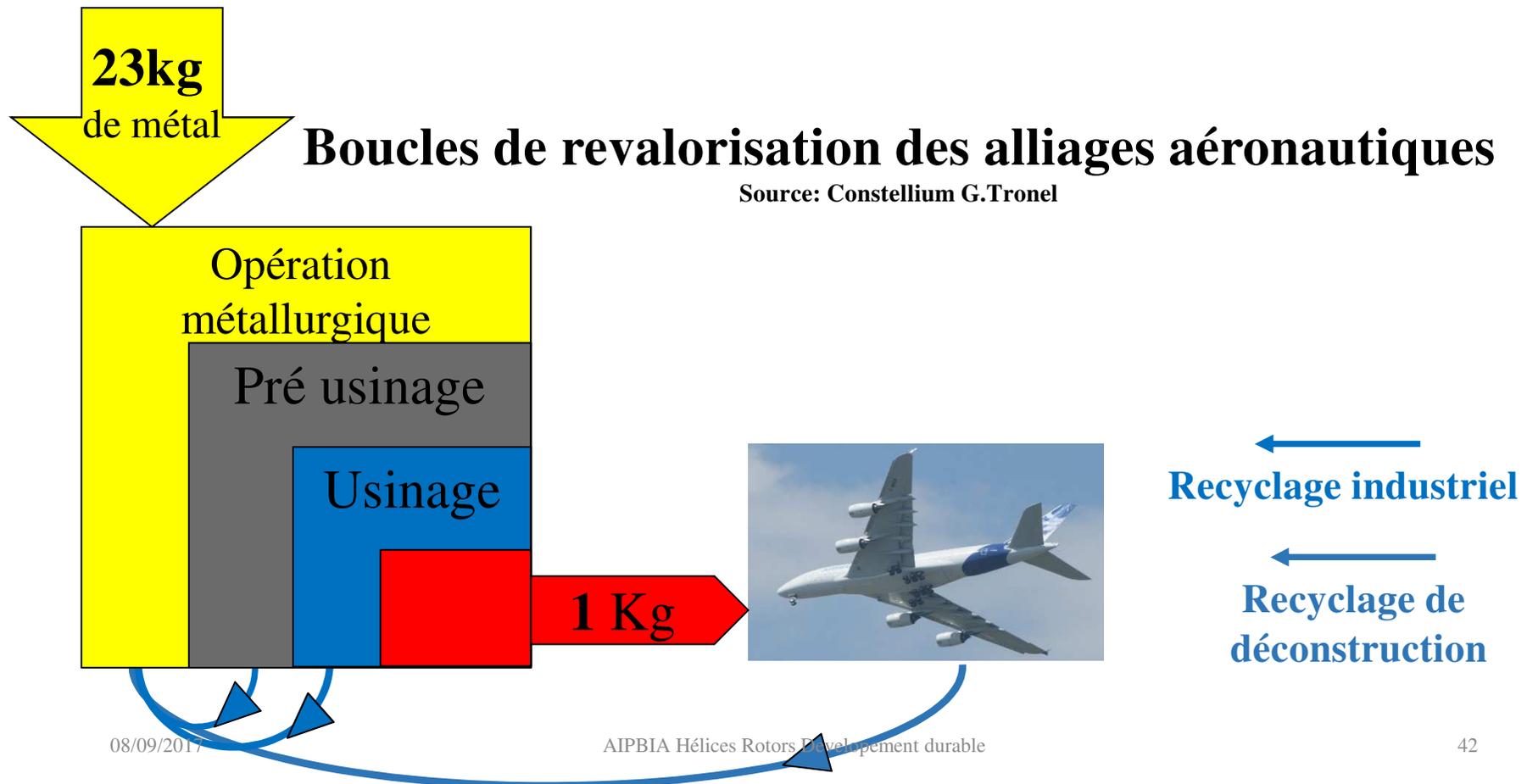
- Un avion est recyclé à 75% et le sera bientôt à 95%.
  - Les métaux serviront à fabriquer des canettes ou des vélos ou ...
  - Revente de pièces sur le marché de l'occasion.
    - Revente moteur: 500 000\$ à 1,5 m\$

- Cout d'une déconstruction:
  - 60 000 à 80 000 \$



# Contraintes liées au développement durable

- Chaîne de production éco-efficente:
  - But: 80% d'Aluminium recyclé en 2015
    - Pour avoir 10 kg d'alliage intégrés dans un avion il faut mettre en œuvre 230 kg d'alliage.

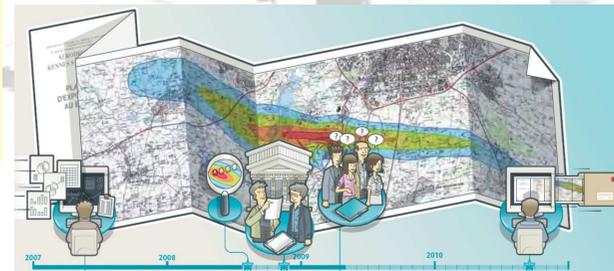
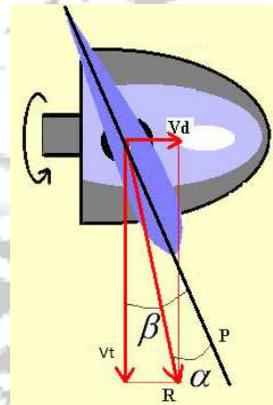




# 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

## 3.2.2 Groupes motopropulseurs Hélices et Rotors

### Contraintes liées au développement durable



# Bibliographie

- *Véronique SALMON-LEGAGNEUR et Eric SAVATTERO. Hélice Avionneur*
- *Wikipedia: <https://fr.wikipedia.org/>*
- *Site FFA*
- *F. Willot cours BIA*
- *Jean Luc Philippe. Hélice aériennes*
- *Site Internet de : GE, SAFRAN; Dassault*
- *La chronique de Michel Barry: le choix d'une hélice*
- *Philippe LOUSSOUARN*
- *Air & Cosmos*
- *Philippe Raguin 2012*
- *<http://spaceconquest.pagesperso-orange.fr/Propulsion.htm>*
- *Site DGAC*
- *<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>*
- *[www.nasa.gov/images/](http://www.nasa.gov/images/)*