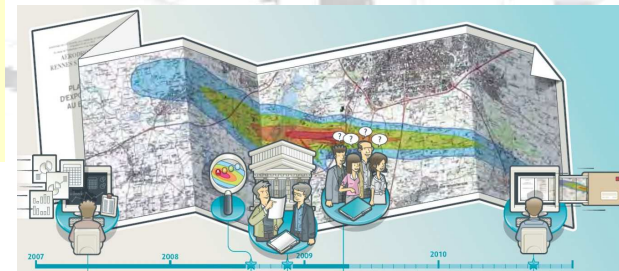
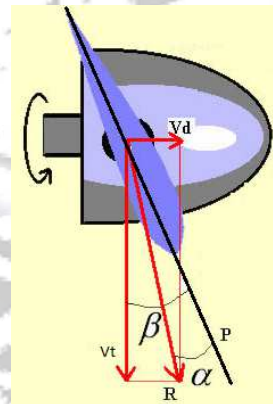




3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

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

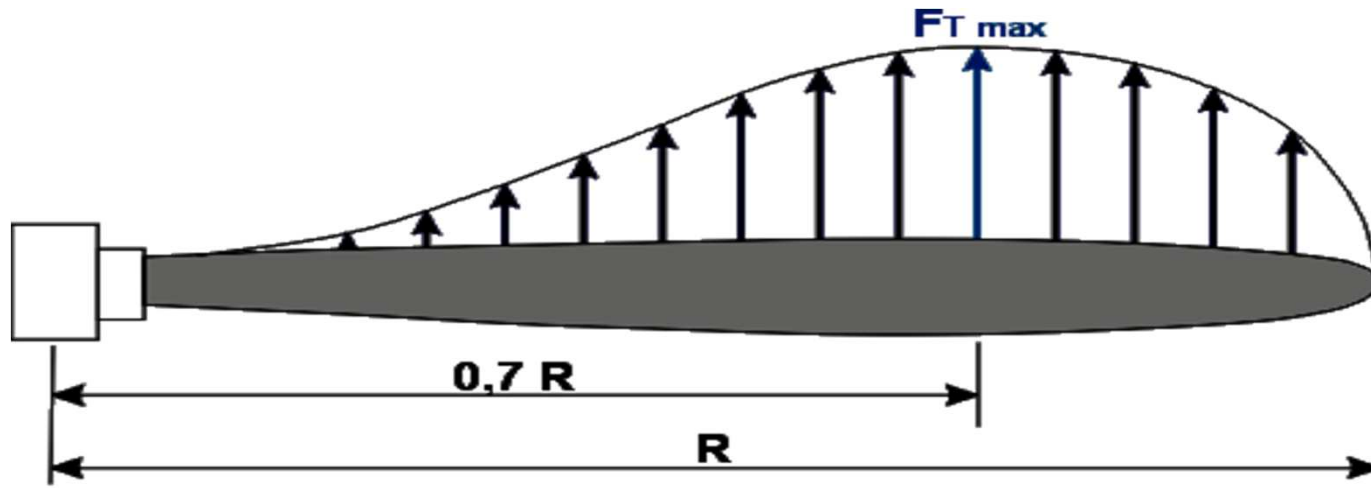


Hélice à 6 pales en
fibre de carbone

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.

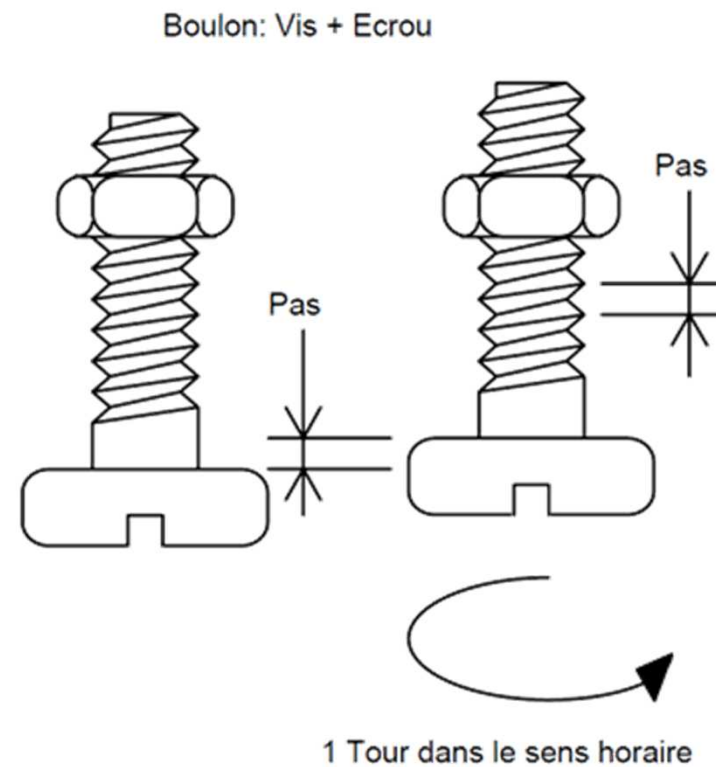
3.2 Les groupes motopropulseurs

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



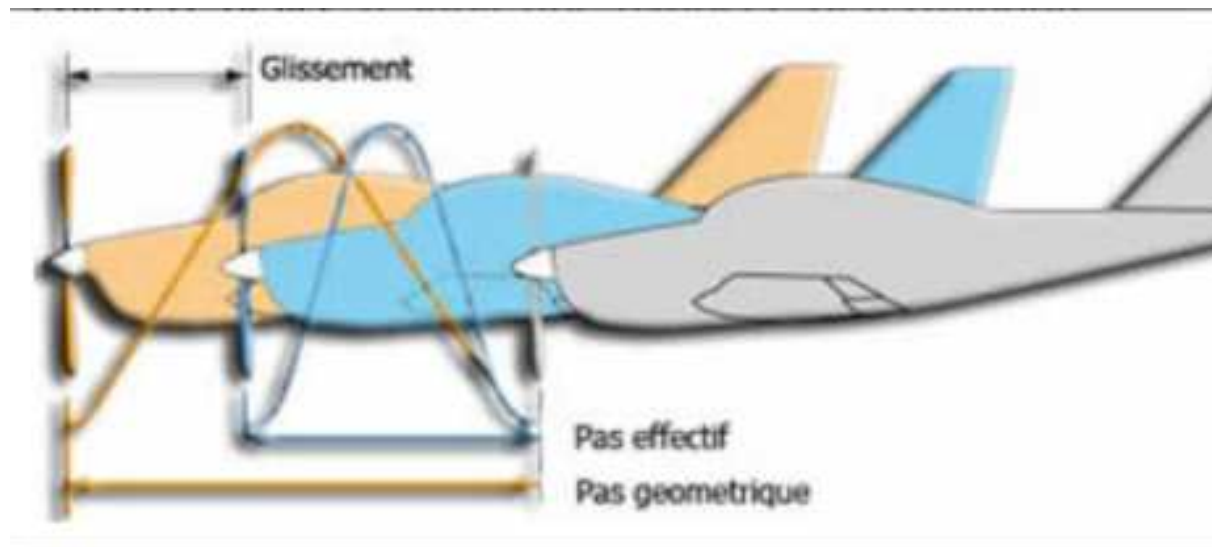
Le Pas de l'hélice

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



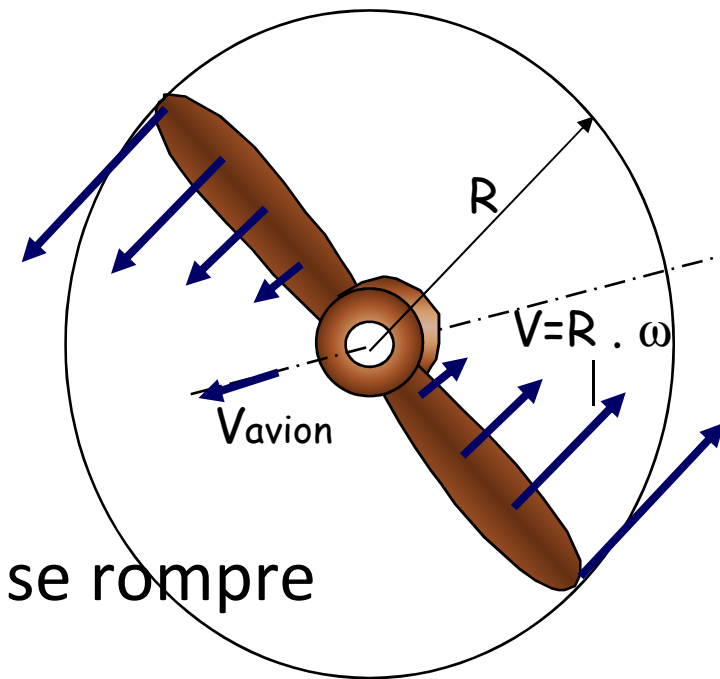
Pas géométrique et effectif

- 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.



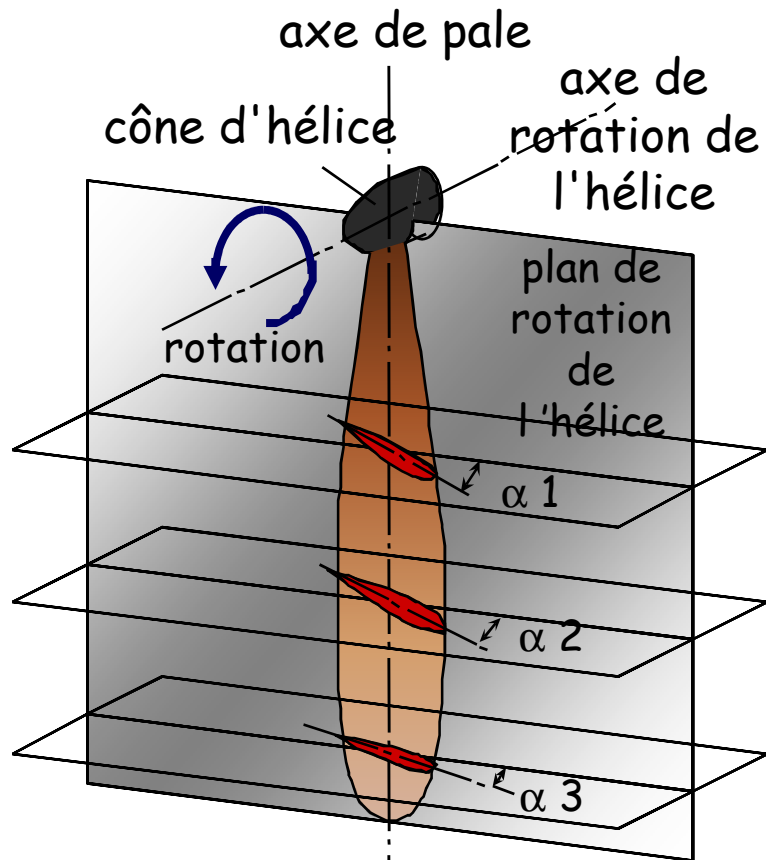
- A vitesse de rotation constante le bout de pale se déplace plus vite que près du noyau. $V=R \cdot \omega$

- 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

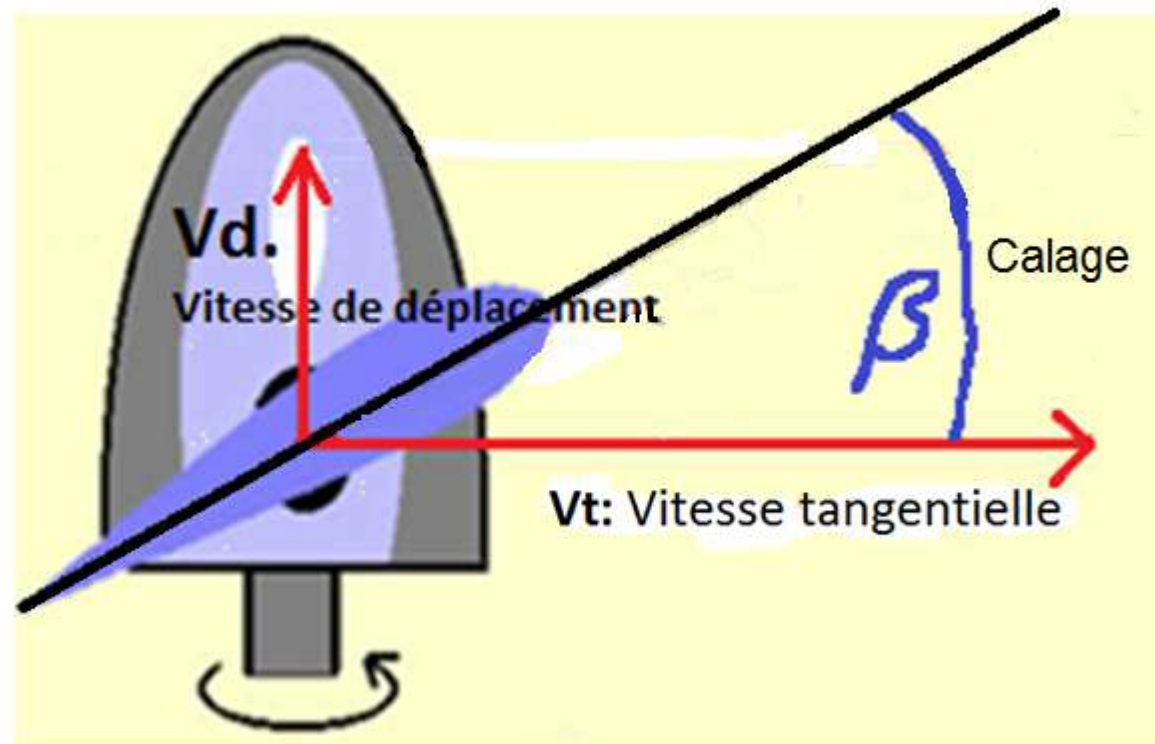
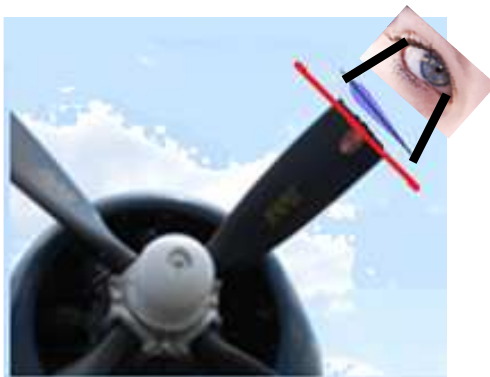
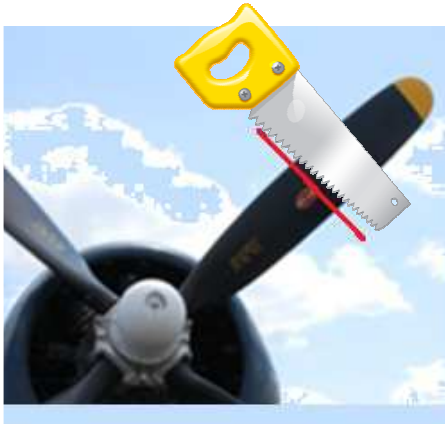
Calculons le pas à deux endroits de l'hélice ayant des pâles plates.

- 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

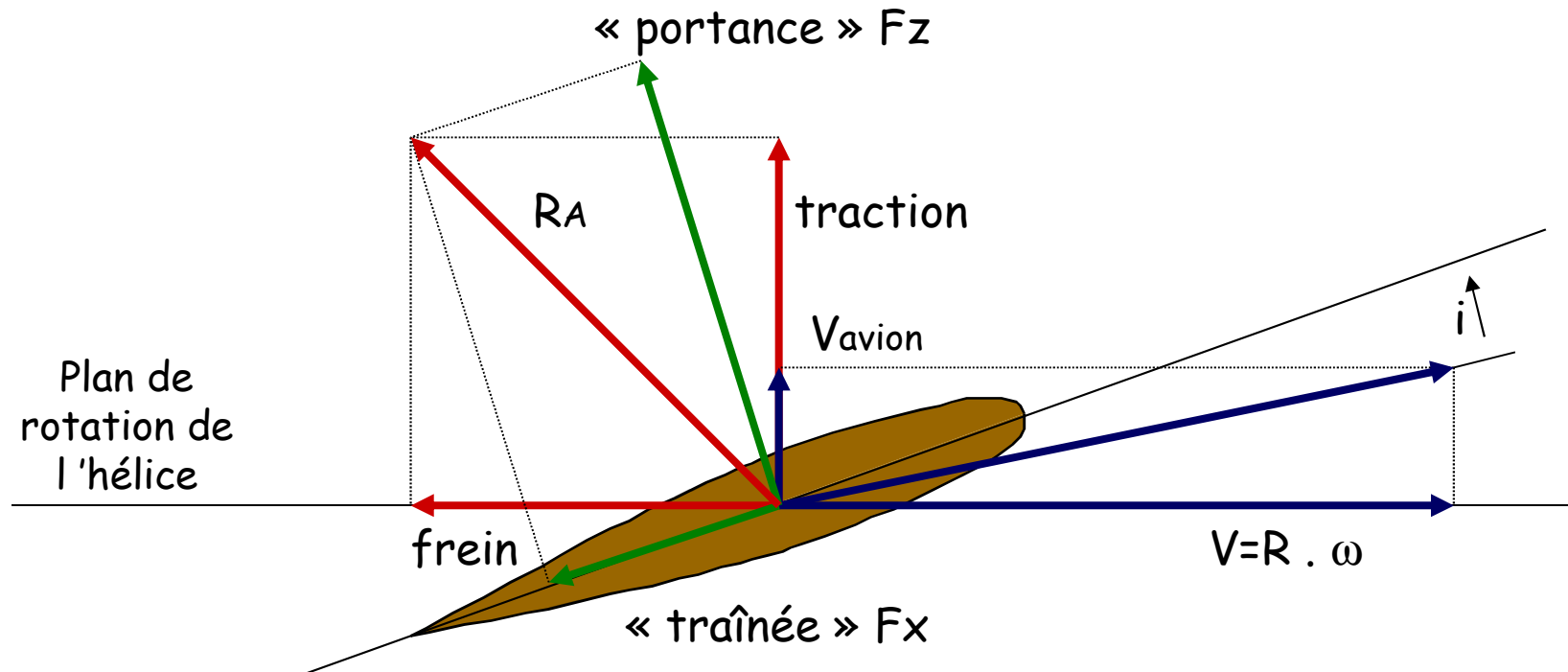
On prend comme référence de calage, la valeur du calage à 70% du pied de pale.



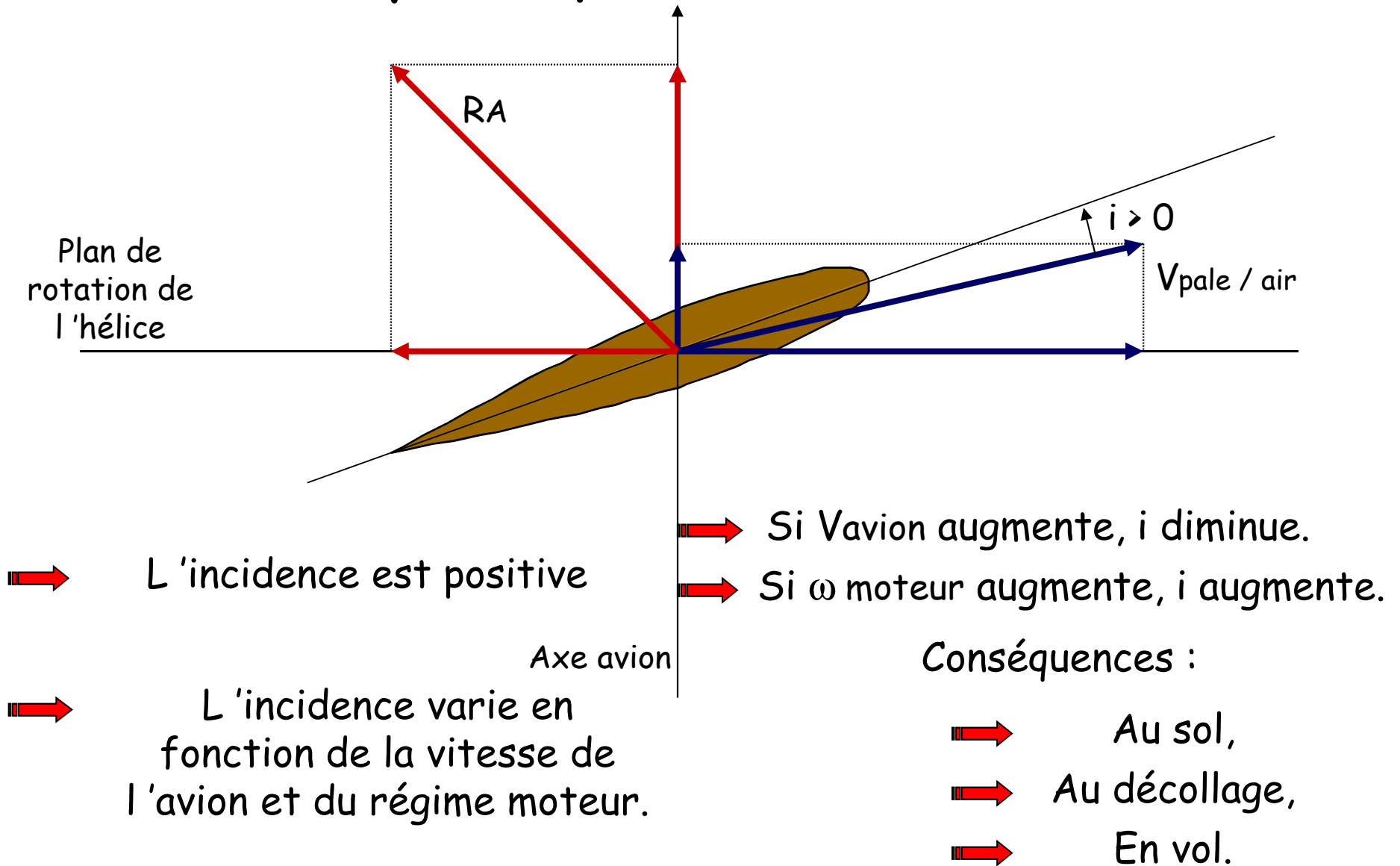
$$V_t = 2 \pi r.n \text{ (n vitesse de rotation en tours/s).}$$

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

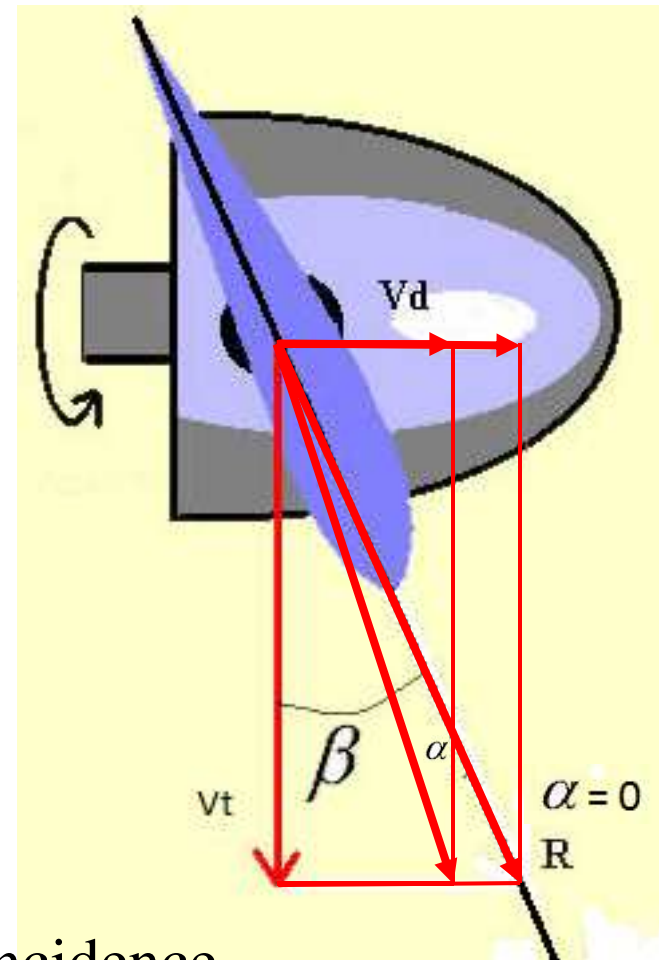
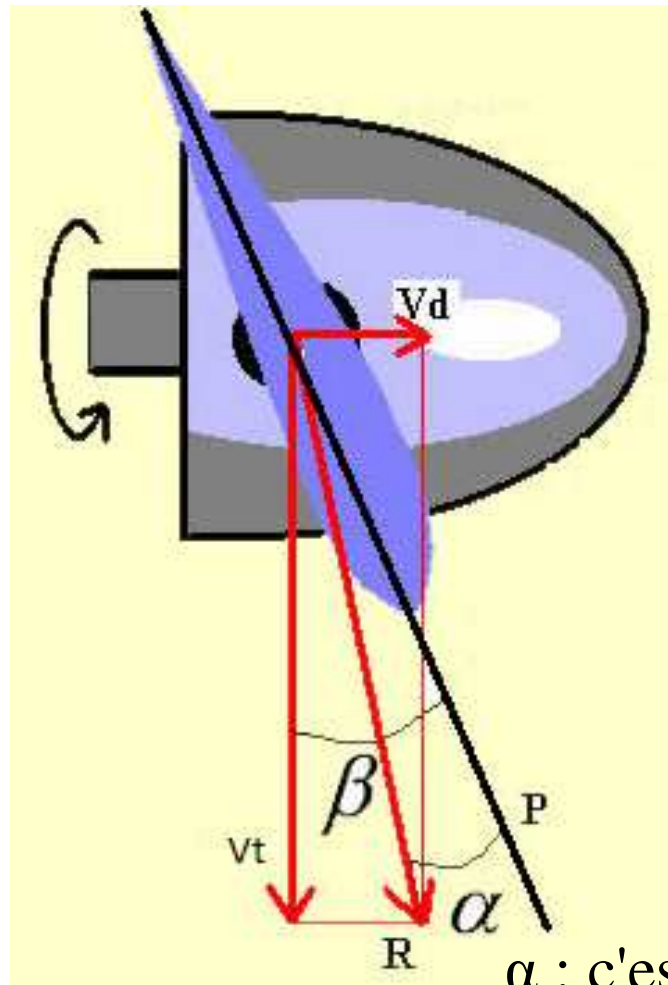
Etude aérodynamique - bilan



Etude aérodynamique - « normal »



Etude aérodynamique - « normal »



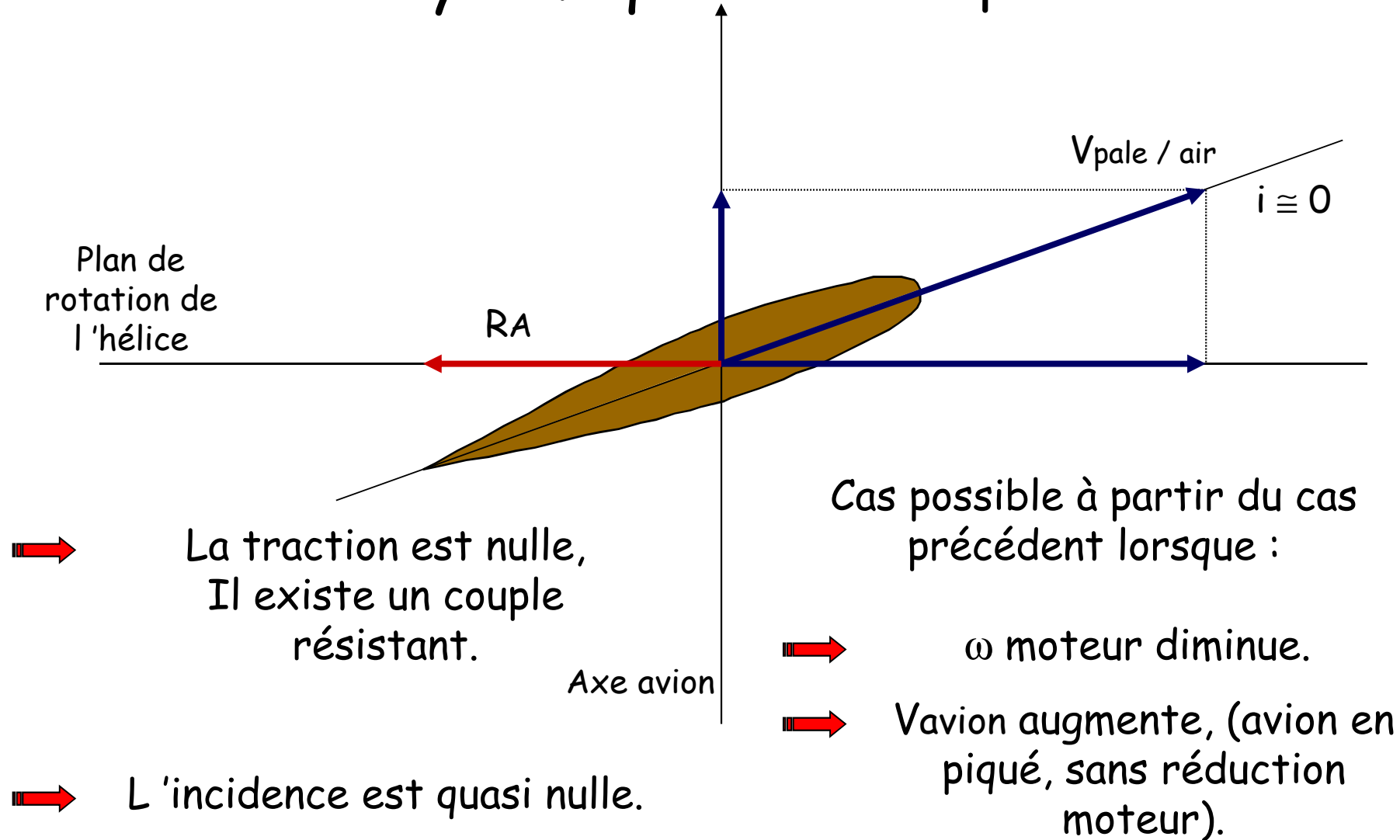
α : c'est l'angle d'incidence.

Vitesse déplacement faible.

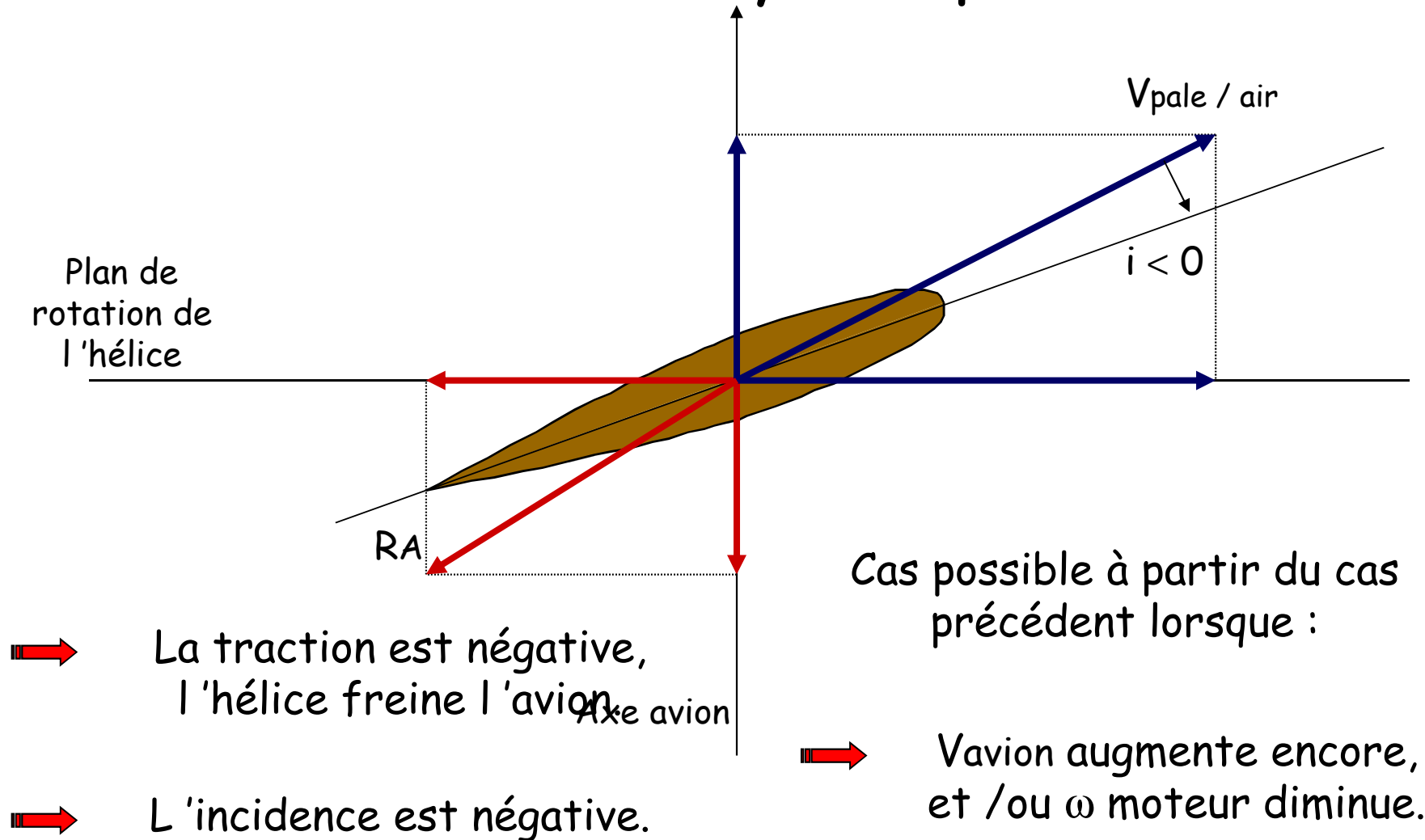
Vitesse déplacement augmente.

Vitesse Tangentielle et calage identiques.

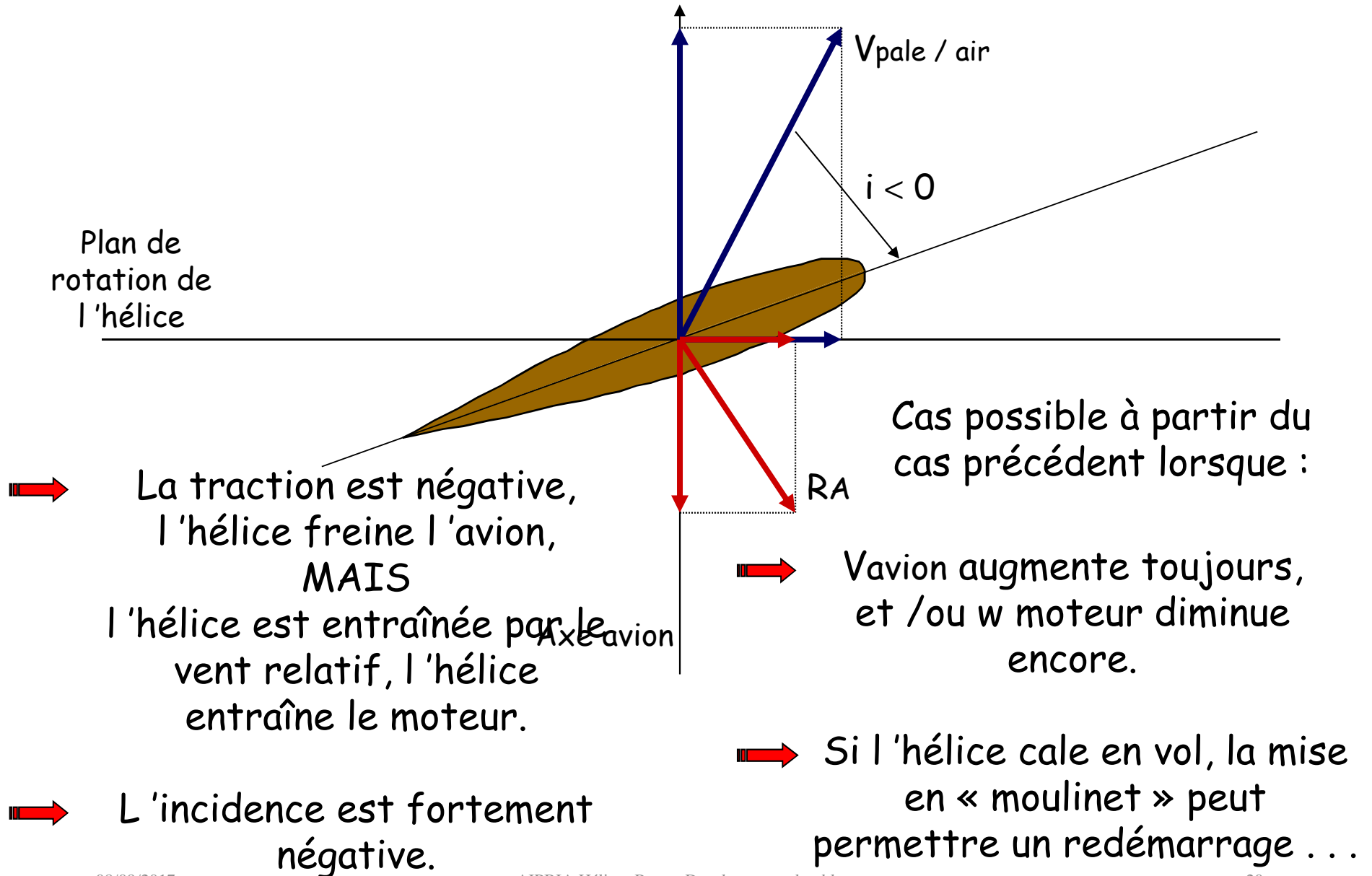
Etude aérodynamique - « transparence »



Etude aérodynamique - « frein »



Etude aérodynamique - « moulinet »



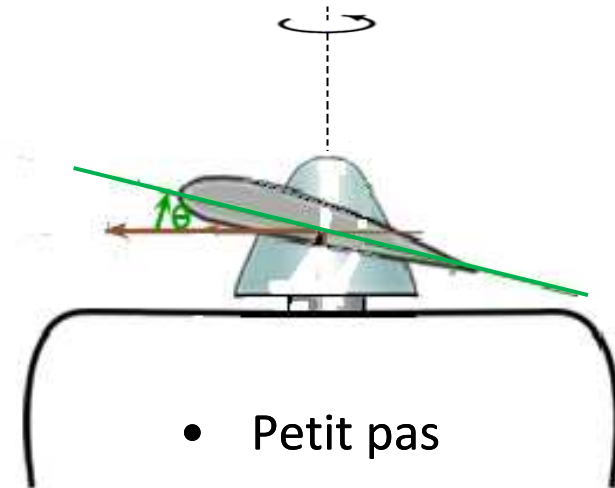
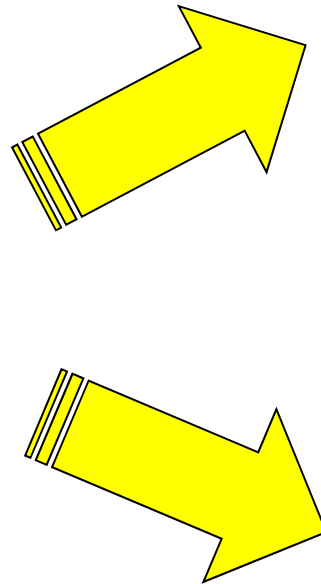
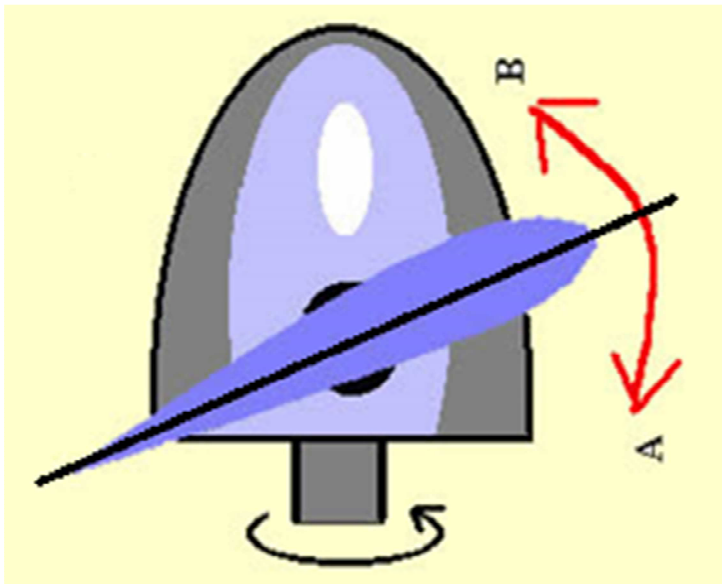
Hélice à calage variable

- **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 :

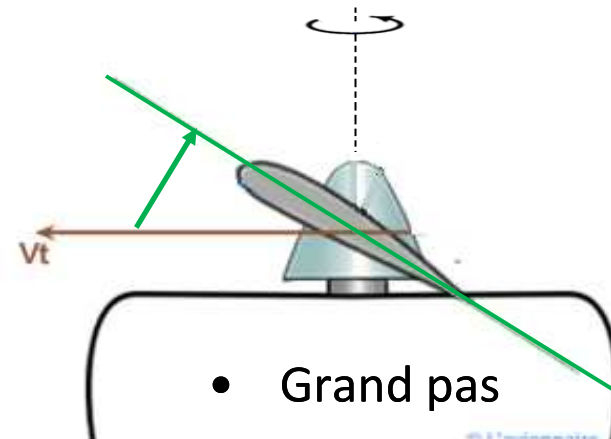
- On choisit un calage optimisé **pour chaque configuration du vol,** en utilisant un calage **réglable en vol** (= pas variable)

Hélice à calage variable



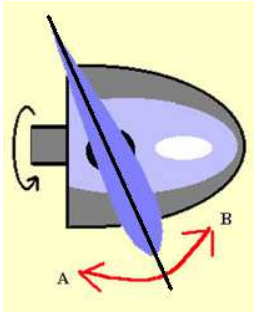
- Petit pas

Décollage, Atterrissage



- Grand pas

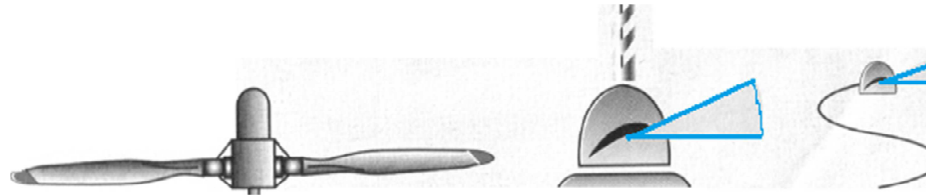
Croisière



Hélice à calage variable

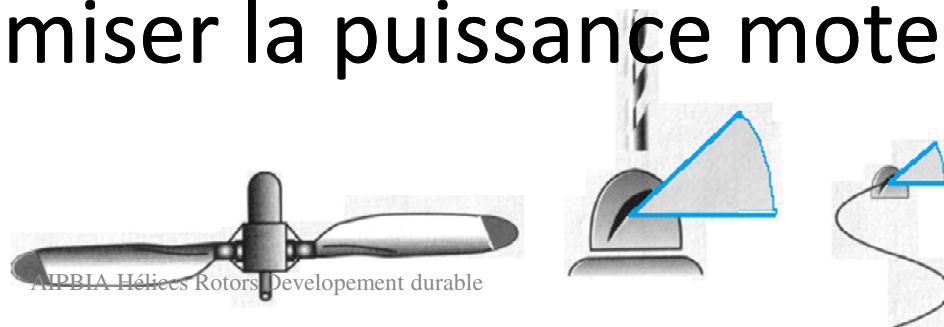
- **au décollage et à l'atterrissage**, la vitesse est faible mais *la puissance demandée est importante*

=> **Petit pas**



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

=> **Grand pas**



Hélice à calage variable

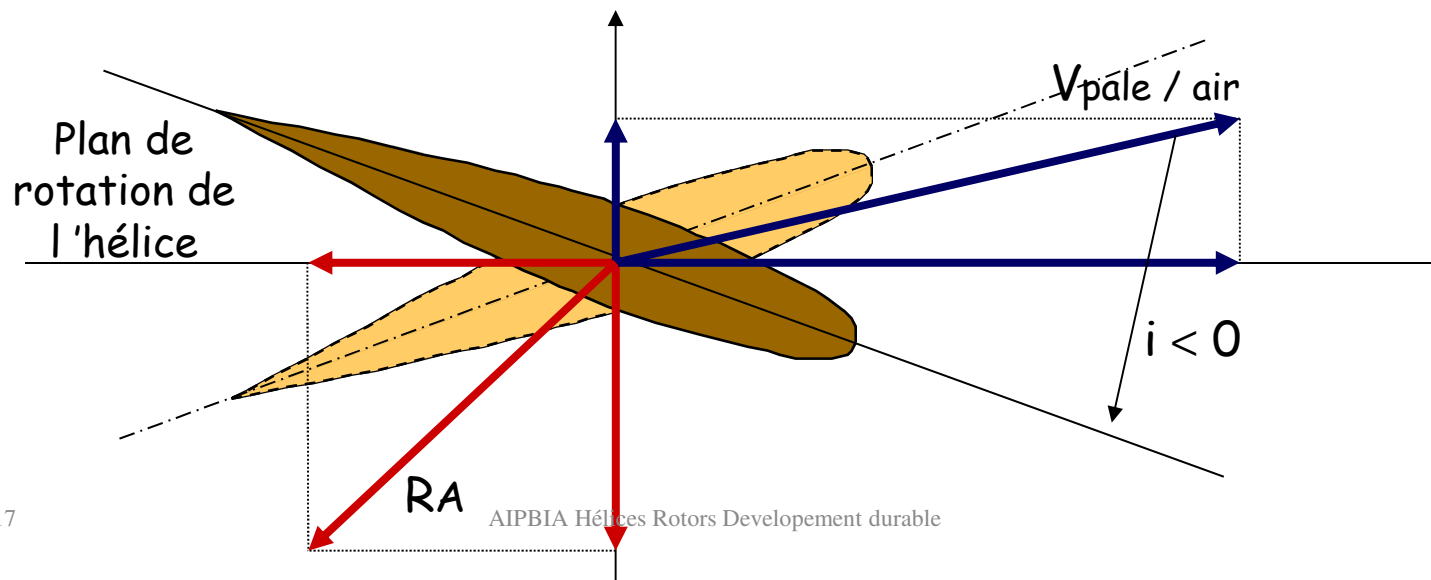
- Le pilotage du moteur devient plus exigeant.
 - On ne pilote plus la puissance avec le régime moteur seul.
 - Il faut afficher des paramètres de Pression d'Admission (PA) et de Régime
 - Par analogie avec la voiture:
 - PA = pédale d'accélérateur
 - Régime = Boite à vitesse



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**

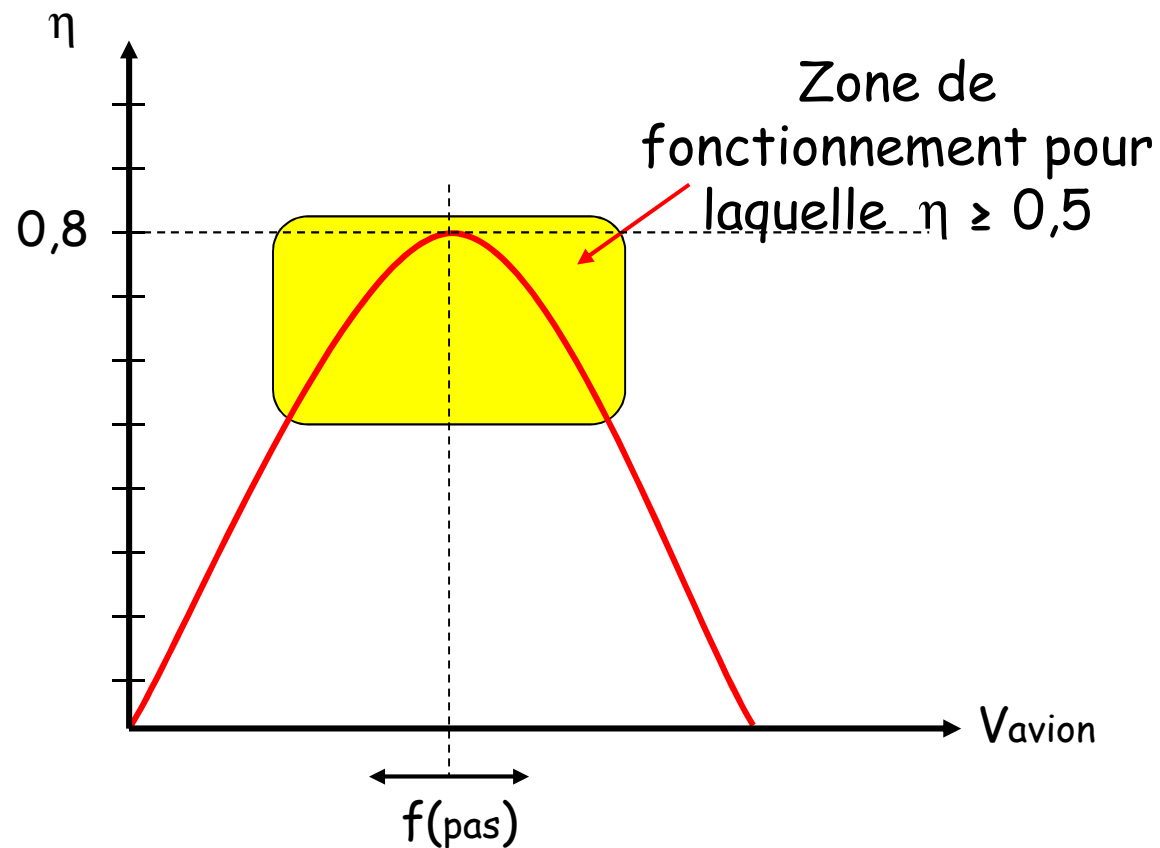
- Le calage vaut 90° :
 - la pale est parallèle à l'écoulement et son incidence est nulle.
 - La position qui traîne le moins. Préférable à l'arrêt moteur.



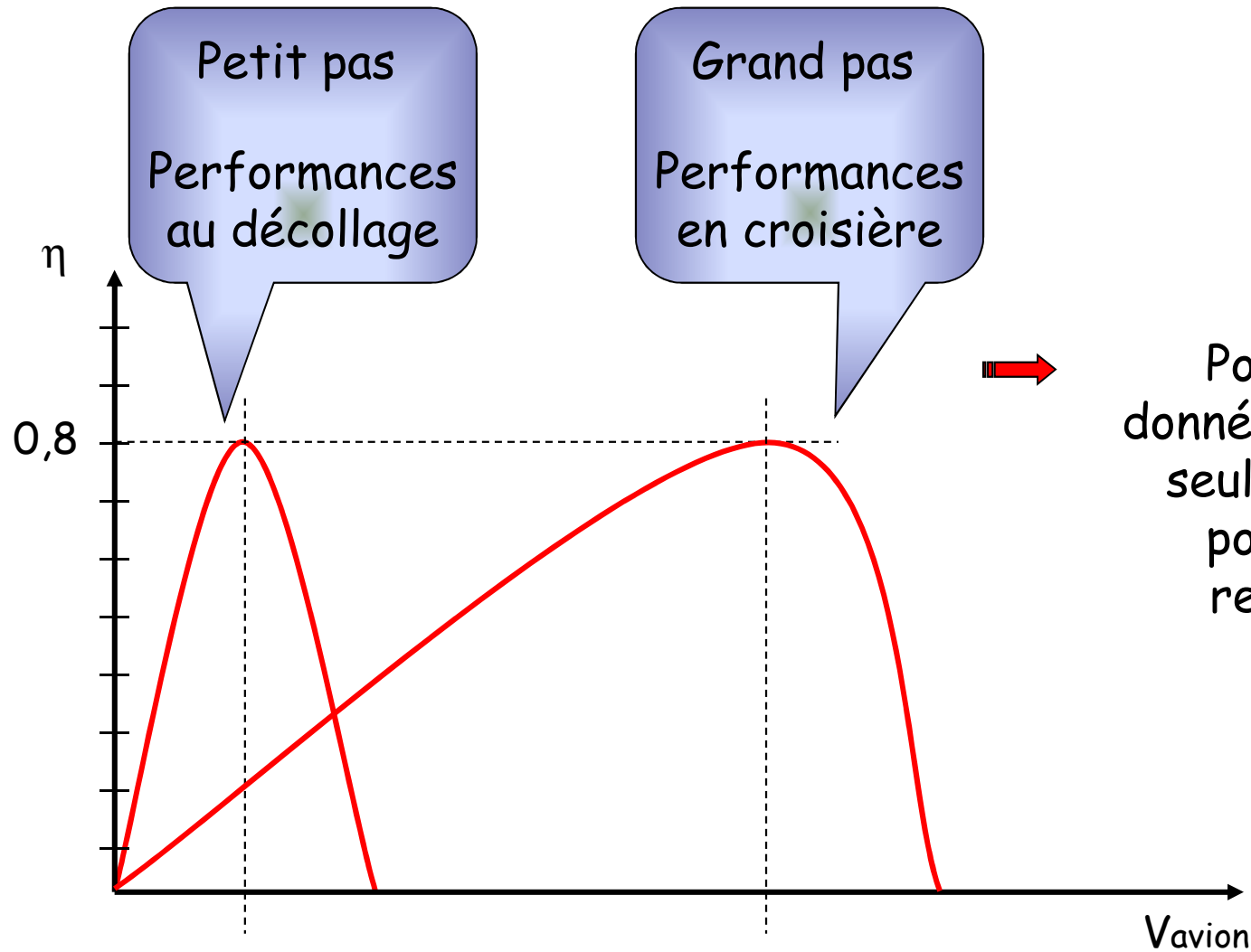
Etude énergétique - rendement

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

Pour une hélice à calage fixe :

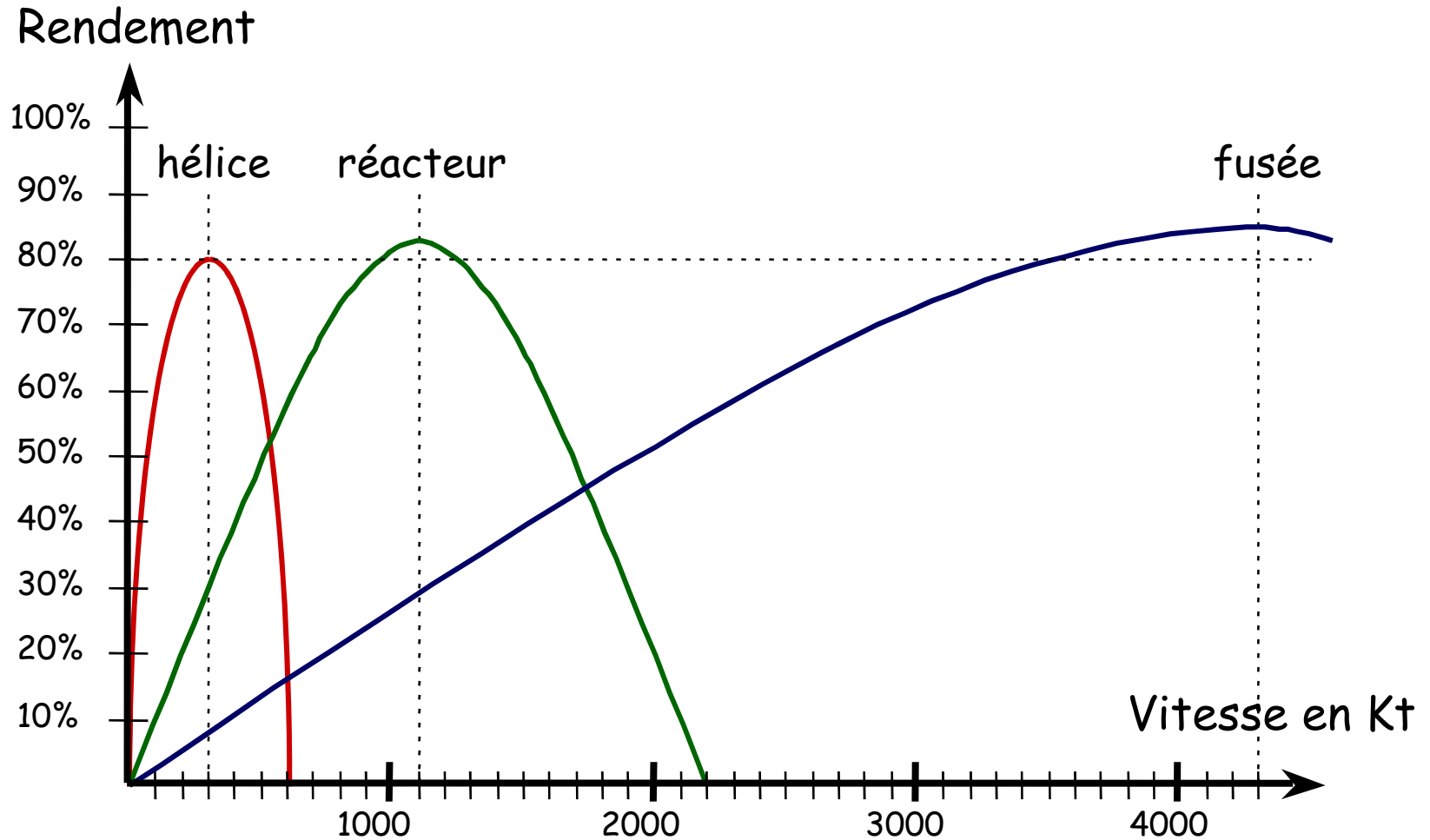


Etude énergétique - petit et grand pas



→ 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.

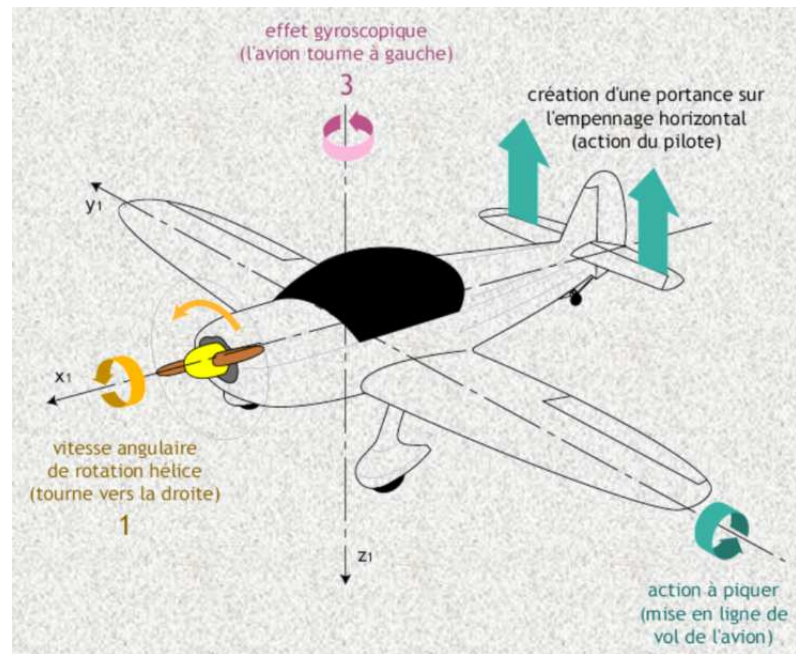
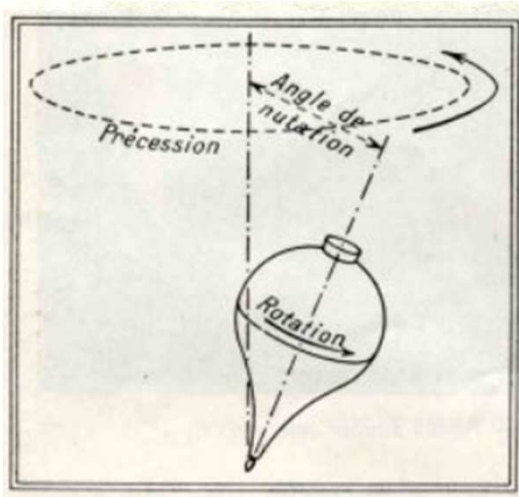


Cessna Skymaster

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.



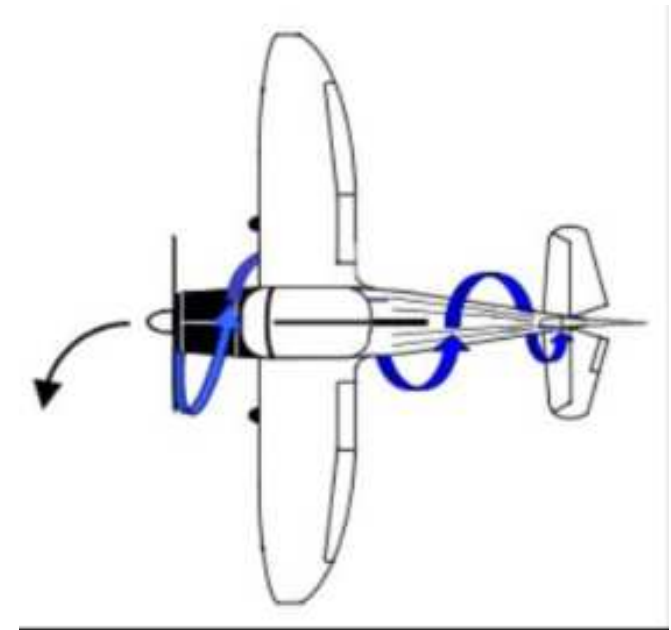
Remèdes au couple gyroscopique d'une hélice

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



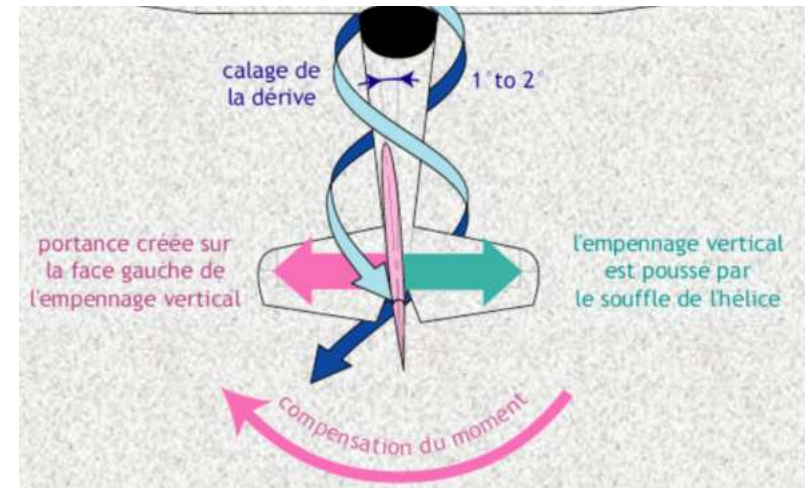
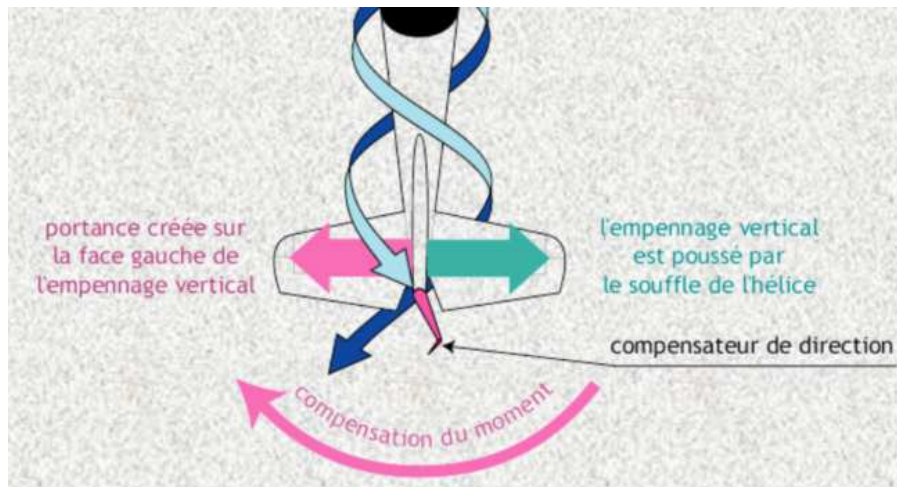
Souffle Hélicoïdal

- 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

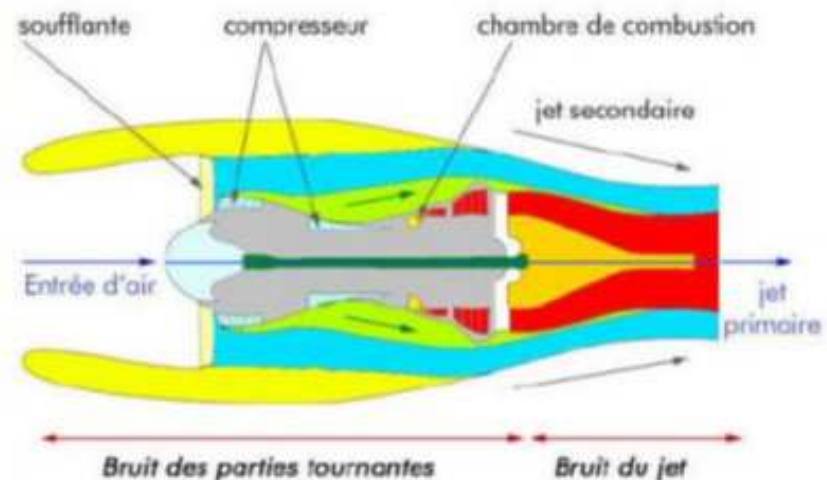
Contraintes liées au développement durable

- 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

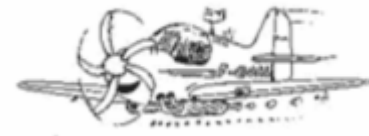
- Propagation du bruit
 - Influencée par:
 - La distance entre la source et le point d'observation qui est lié aux trajectoires
 - Les conditions météorologiques (vent, humidité, température)
- Ce qui compte dans le bruit n'est pas uniquement de le réduire à la source mais plus de supprimer ou réduire 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 crée 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

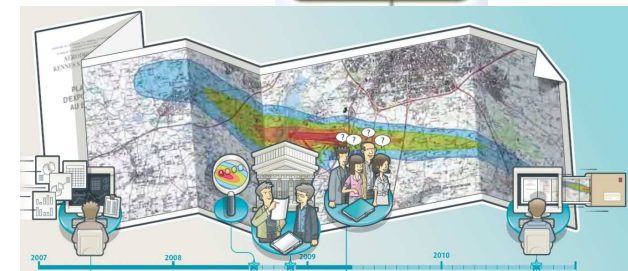


- Management des territoires autour des aéroports

- Zone non constructible (PEB)

- Restrictions des opérations

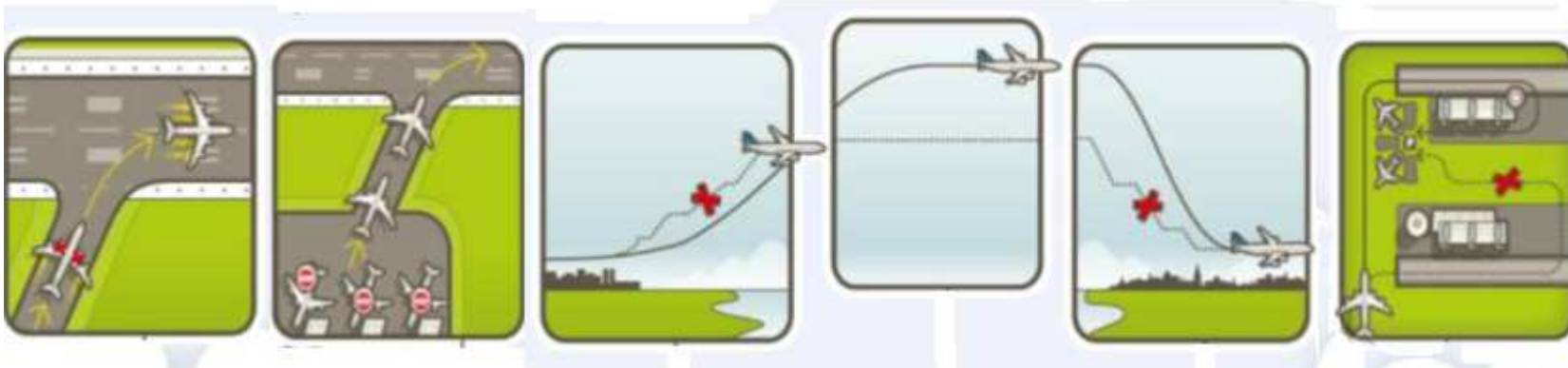
- Limitations du trafic d'hélicoptères
- Au Versoud charte avec les riverains
 - Procédure décollages, atterrissages
 - Voltige: Hauteur minimum et horaires



Contraintes liées au développement durable

Optimisation énergétique:

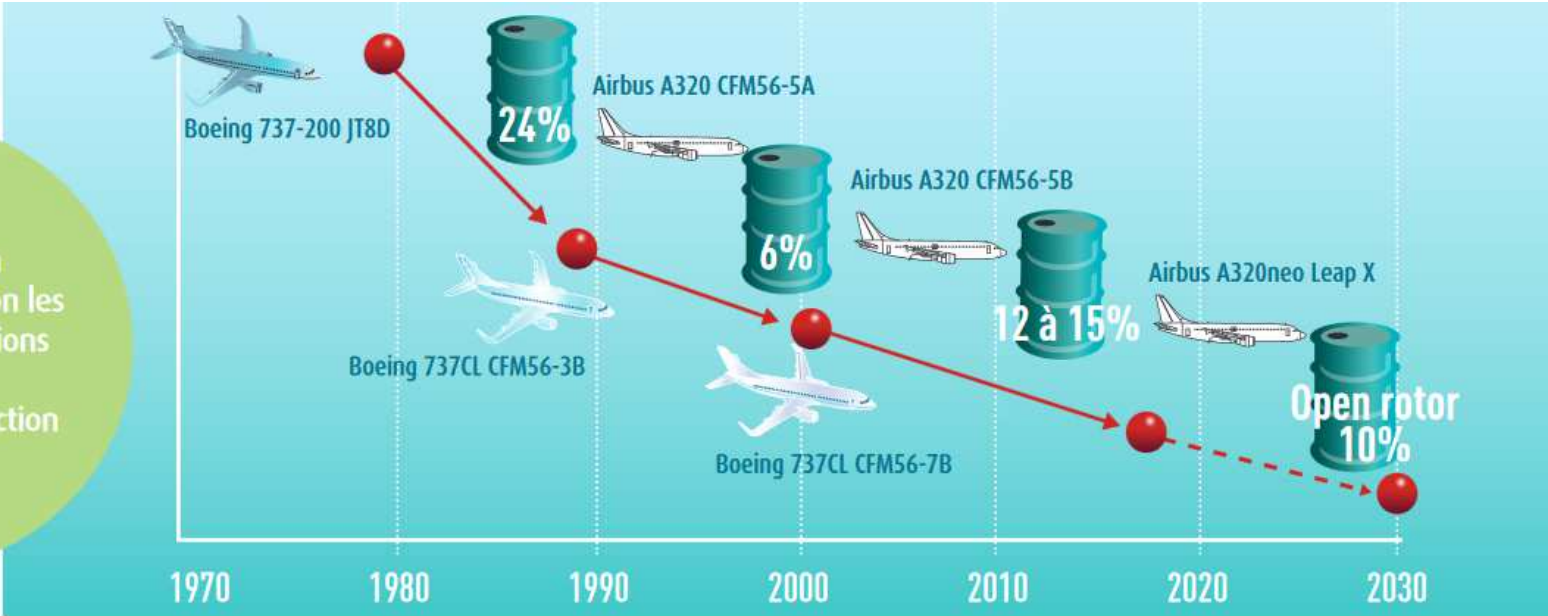
- Réduction de la consommation en carburant
- Comment?



- 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

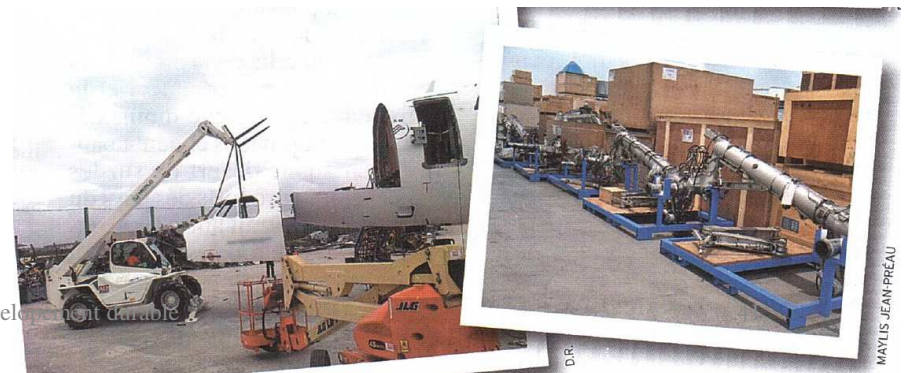


Contraintes liées au développement durable

Optimisation énergétique: Recyclage

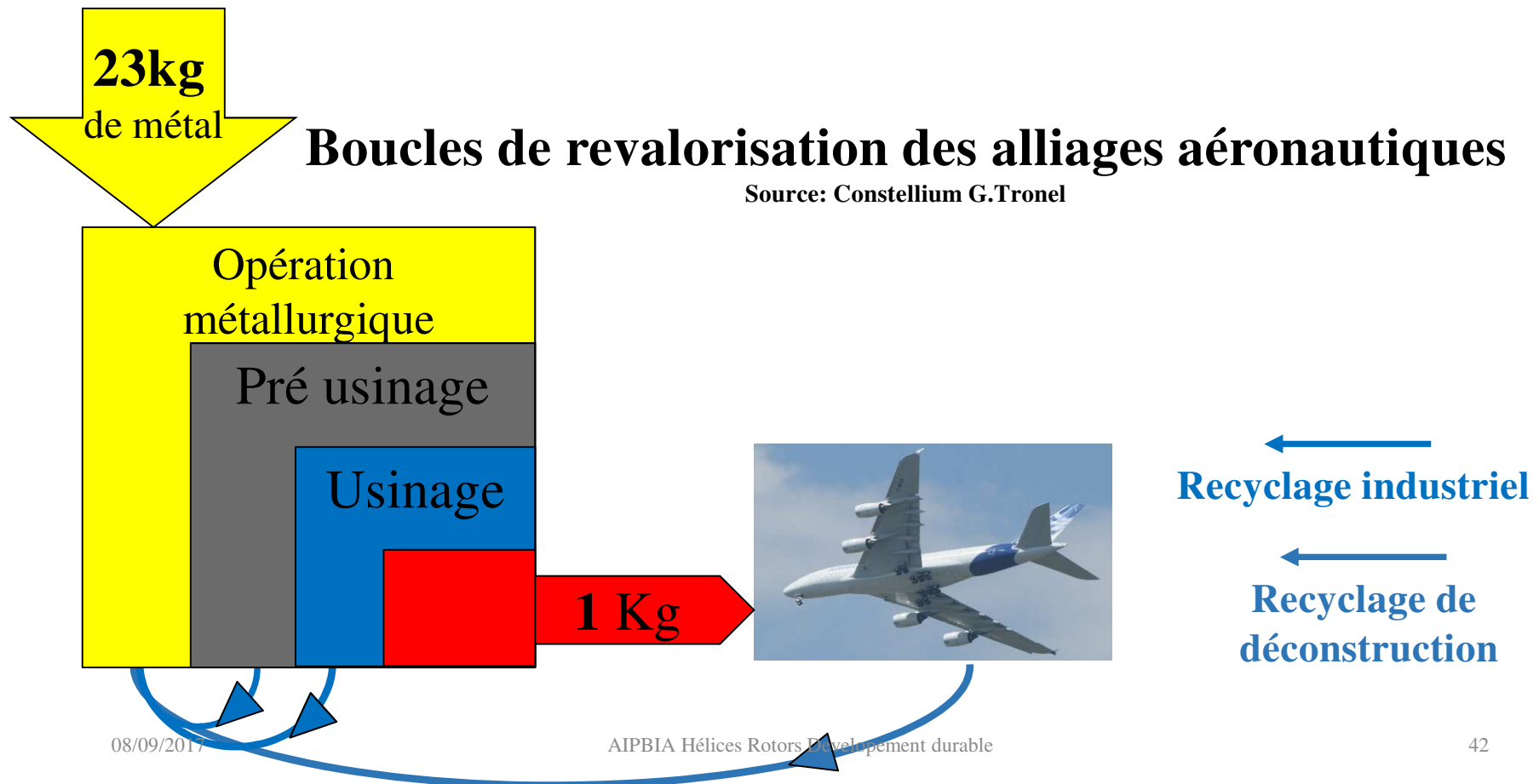
- Un avion est recyclé à 75% et le sera bientôt à 95%.
 - Les métaux serviront à fabriquer des canettes ou des vélos ou ...
 - Revente de pièces sur le marché de l'occasion.
 - Revente moteur: 500 000\$ à 1,5 m\$

- 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.

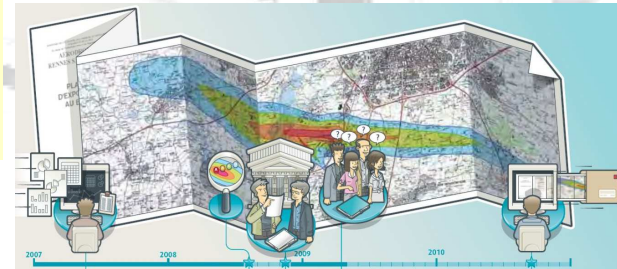
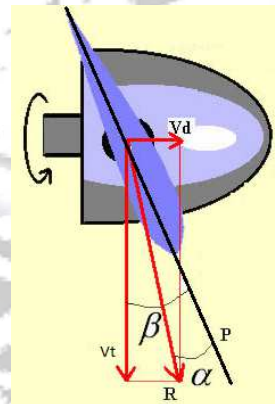




3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

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/*