STAGES THÉORIQUES PPL

LES HÉLICES

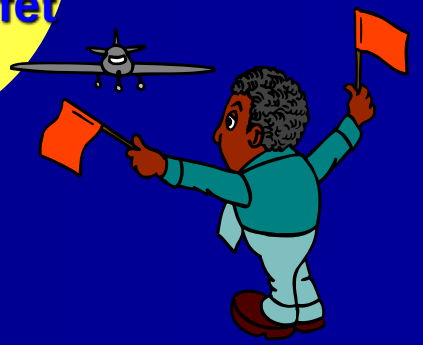
DESCRIPTION - UTILISATION - EFFETS

ANDRÉ PARIS

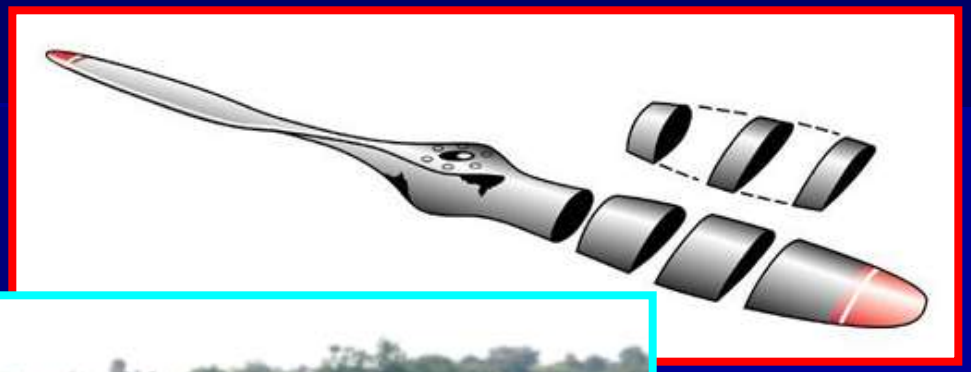
SOMMAIRE

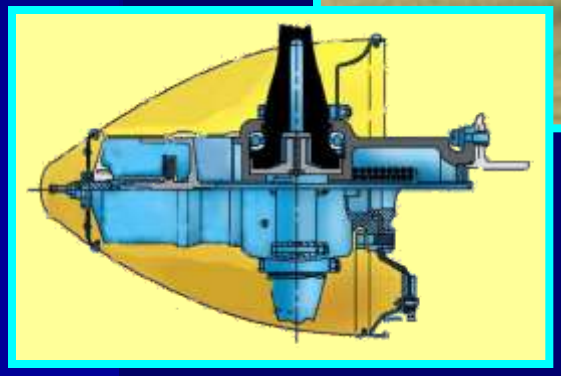
HÉLICES AVION

- Les fonctions de l'hélice
- Les hélices, principes, types, exploitation
- Etude géométrique
- Etude aérodynamique
- Etude énergétique
- Utilisation et aspects pratiques
- Puissance, pas d'hélice et mélange
- Les effets aérodynamiques dus à l'hélice
- Les effets gyroscopiques de l'hélice
- Les effets dus à une traction dissymétrique
- Moteur critique sur bimoteur - Emploi - Effet
- QCM d'autocontrôle



LES HÉLICES

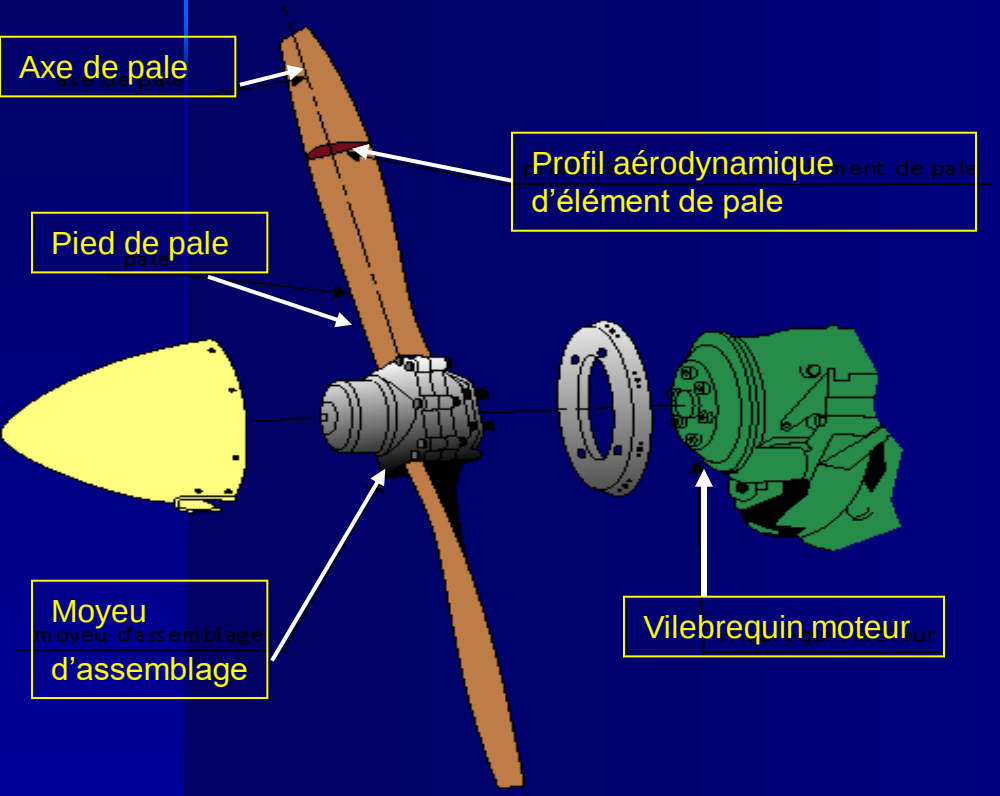


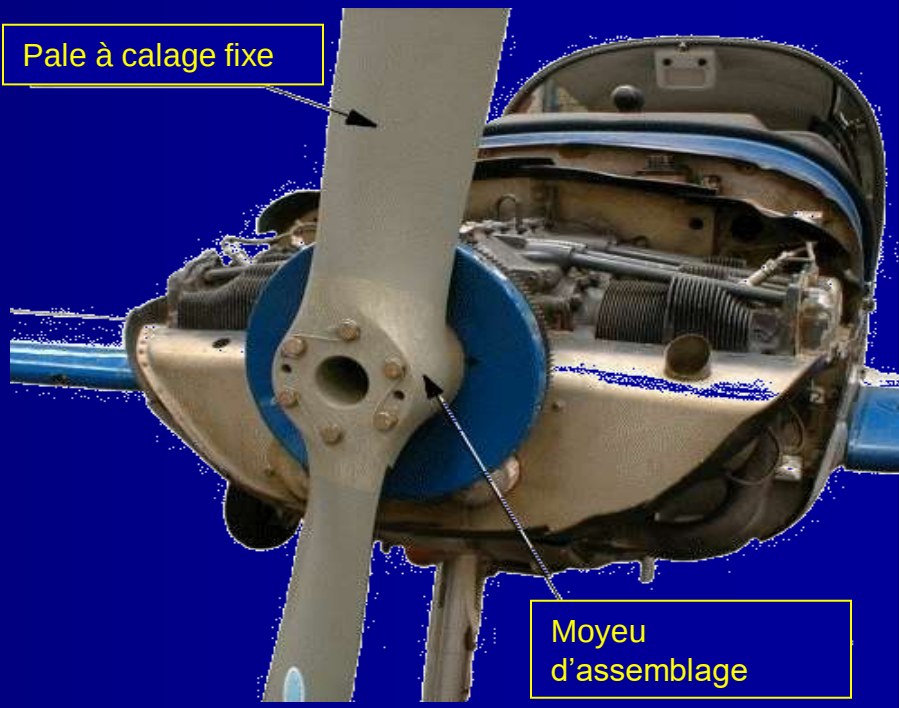


L'HÉLICE

<u>RÔLE :</u> TRANSFORMER UNE ÉNERGIE MÉCANIQUE DE ROTATION EN ÉNERGIE AÉRODYNAMIQUE DE TRACTION.

DESCRIPTION ET POSITION





Assemblage de l'hélice au moteur par le moyeu

L'HÉLICE

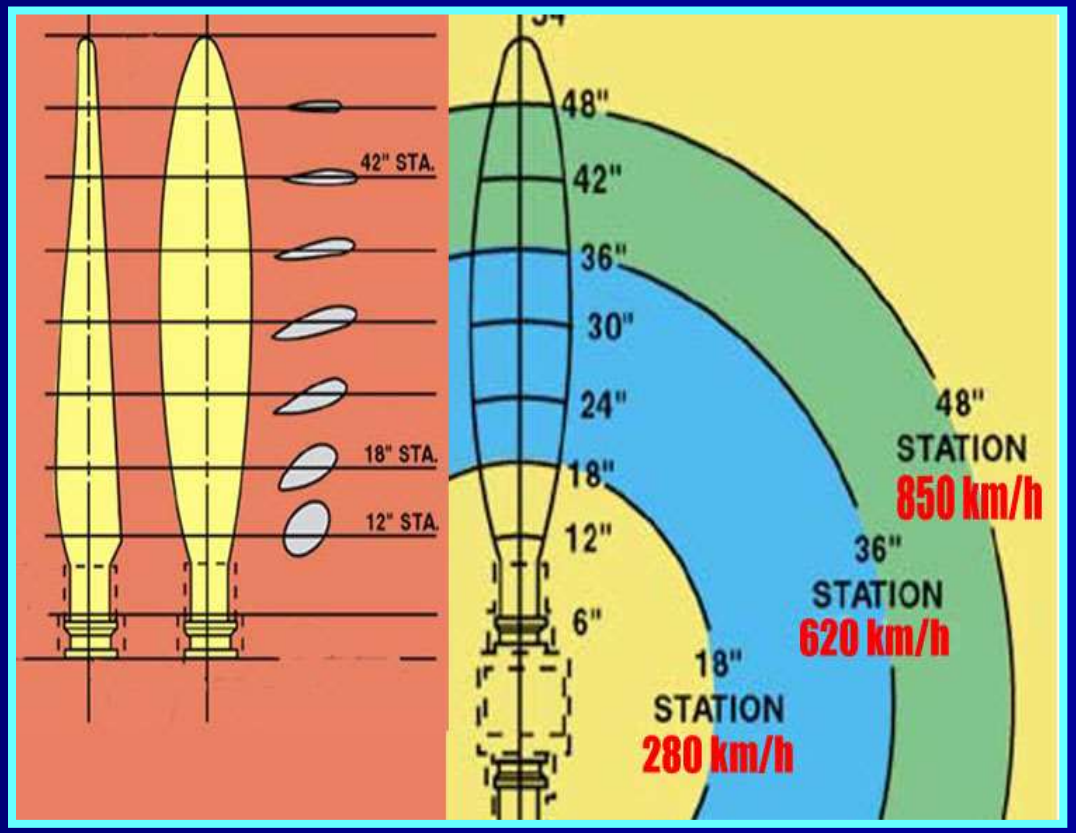
<u>RÔLE :</u> TRANSFORMER UNE ÉNERGIE MÉCANIQUE DE ROTATION EN ÉNERGIE AÉRODYNAMIQUE DE TRACTION.

NOTIONS DE BASE

La longueur de la pale est limitée :

- **par la vitesse angulaire en bout de pale (maxi 950 km/h) et**
- **par la garde au sol.**

Le vrillage de l'hélice permet l'équilibrage des forces sur toute la longueur de la pale, (augmentation de la vitesse vers le bout de pale compensée par une diminution de l'angle de calage).

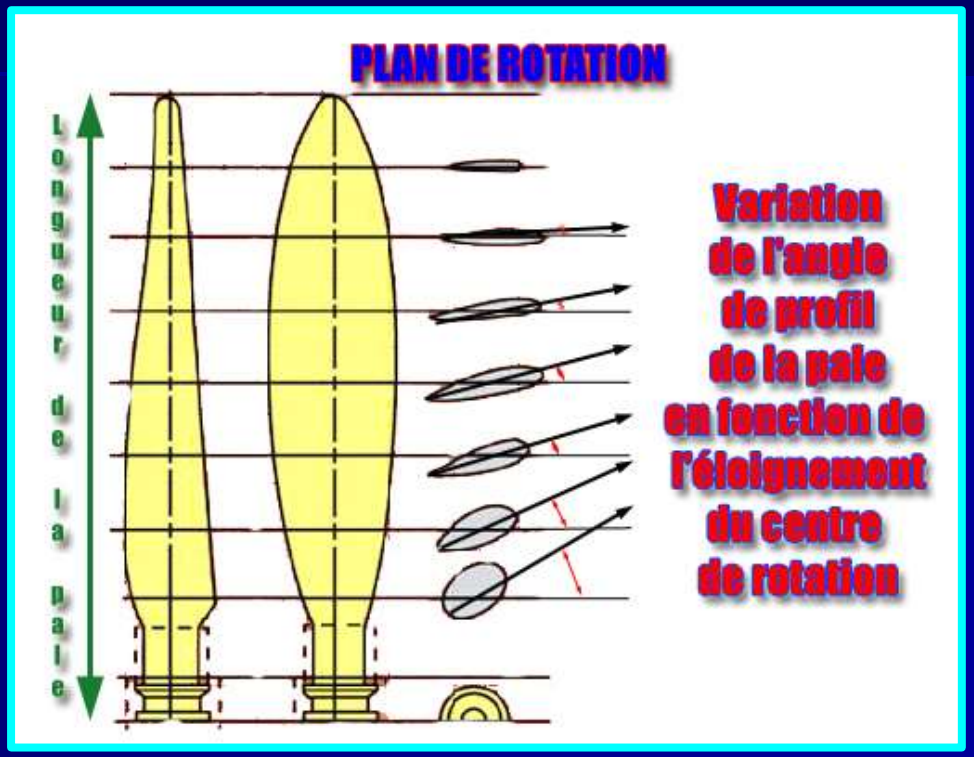


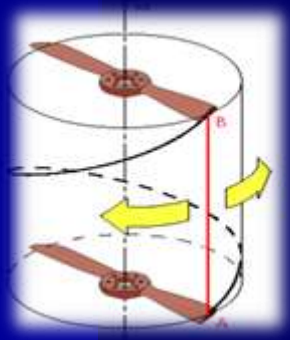
L'HÉLICE

RAPPEL DES NOTIONS DE BASE

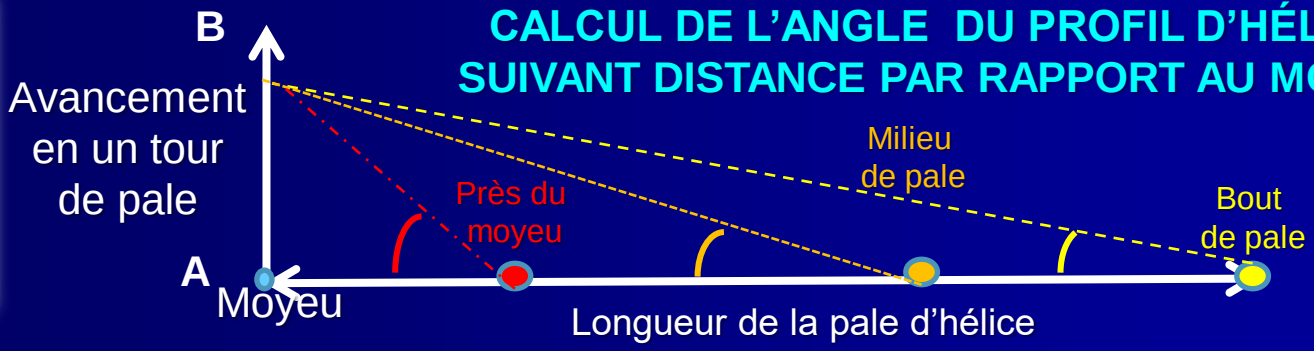
Ce vrillage induit la création d'un angle d'incidence, variable et décroissant vers le bout de pale.

Cet angle est formé par le plan de rotation de l'hélice et par la corde de profil de la pale.





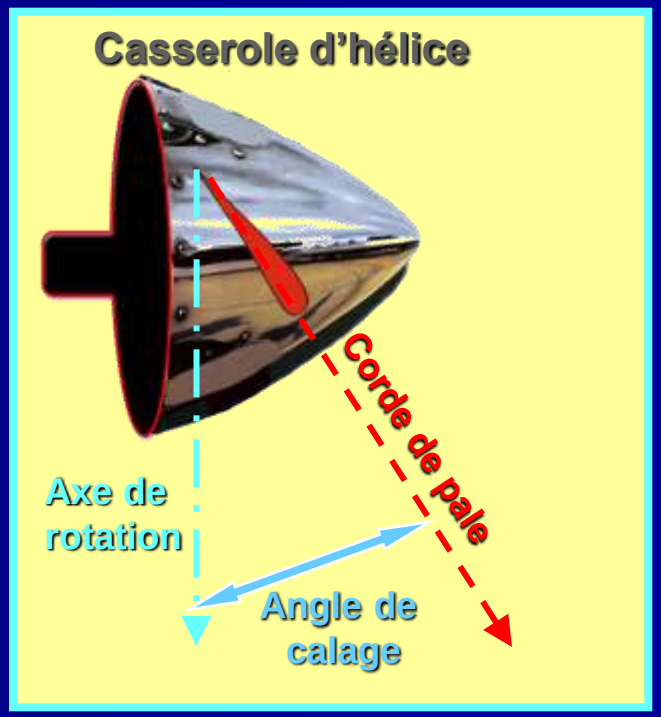
CALCUL DE L'ANGLE DU PROFIL D'HÉLICE SUIVANT DISTANCE PAR RAPPORT AU MOYEU



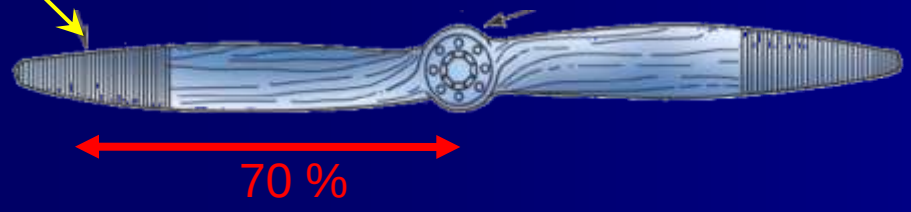
L'HÉLICE

RAPPEL DES NOTIONS DE BASE

La référence de l'angle de calage de la pale se mesure au pied de pale et définit le pas de l'hélice donc son avancement théorique par tour complet.



Par convention, on situe la section de référence d'une hélice et sa résultante aérodynamique de traction en général à 70% de la longueur de la pale.



Une des composantes du rendement de l'hélice s'appelle le coefficient de plénitude et s'obtient par le rapport de la surface couverte par l'hélice à la somme des surfaces de pale.

L'HÉLICE

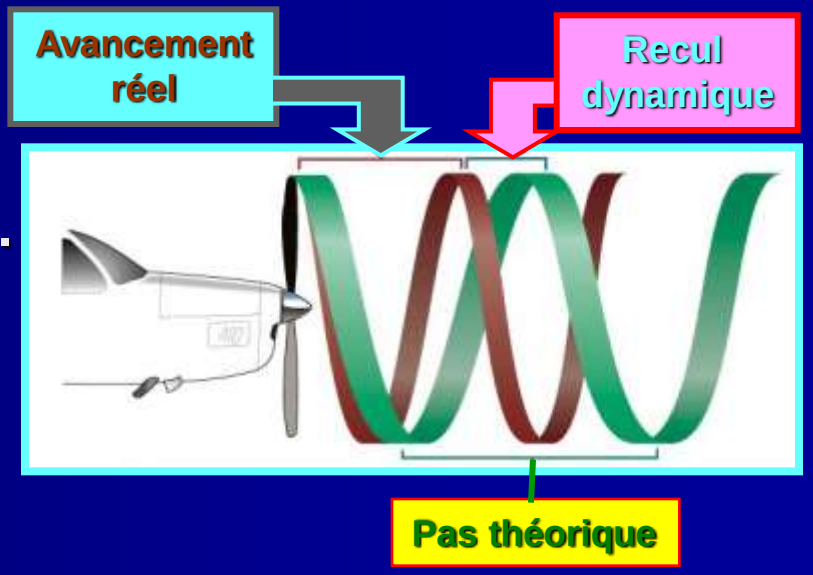
RAPPEL DES NOTIONS DE BASE

Le Pas est la longueur théorique de l'hélicoïde parcourue en un tour de rotation de la pale.

Ce pas est dit géométrique puisqu'il dépend des dimensions géométriques de l'hélice et non de ses performances.
Sa valeur peut aller de 5 à 6 mètres par tour pour les avions de compétition à 1 mètre pour les avions lents (remorqueurs, …).

Parallèlement, le pas moyen expérimental se définit comme la distance parcourue par l'hélice quand elle ne produit plus de traction.

Le recul dynamique est dû au rendement imparfait de l'hélice et à la vitesse de translation de l'avion.

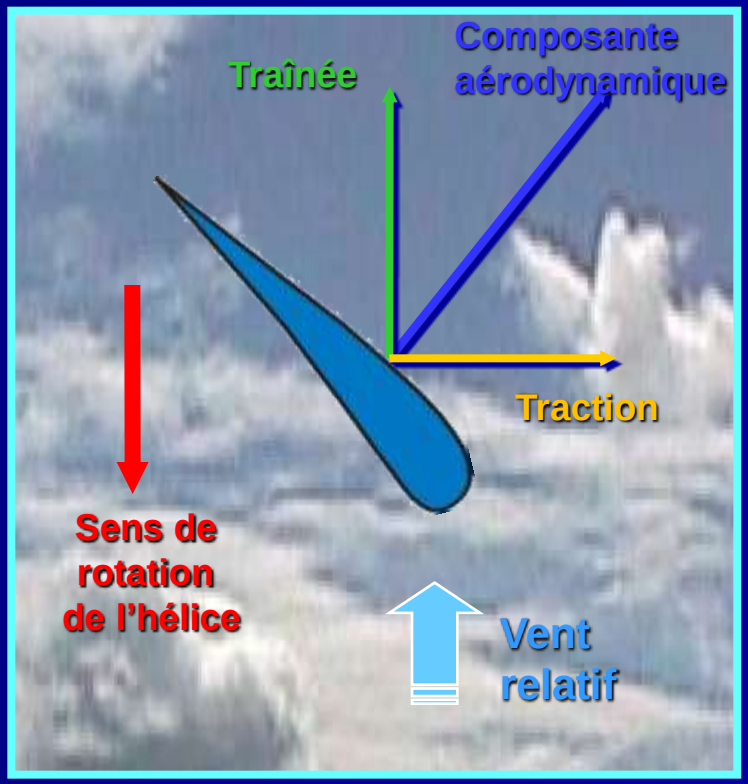


L'HÉLICE

RAPPEL DES NOTIONS DE BASE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Identique à un profil d'aile soumis à un vent relatif, l'hélice en rotation produit une résultante aérodynamique (la portance) décomposable en :



- **UNE FORCE DE TRACTION**
  (perpendiculaire à l'axe de rotation)

ET

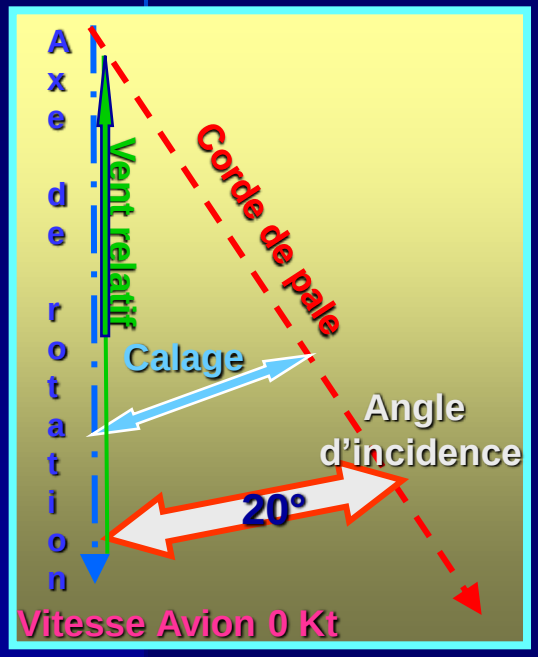
- **UNE FORCE RÉSISTANTE**
  (la traînée) qui s'oppose à la rotation de la pale.

L'HÉLICE A CALAGE FIXE

RAPPEL DES NOTIONS DE BASE

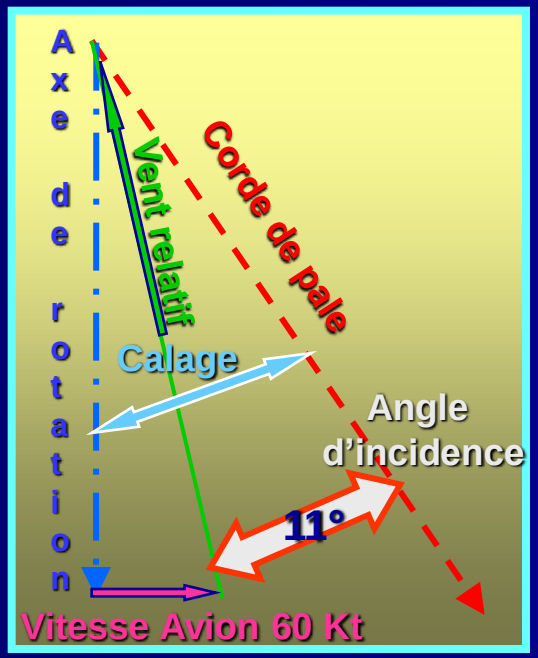
Évolution de l'angle d'incidence par rapport à la vitesse

Avion à l'arrêt Plein gaz



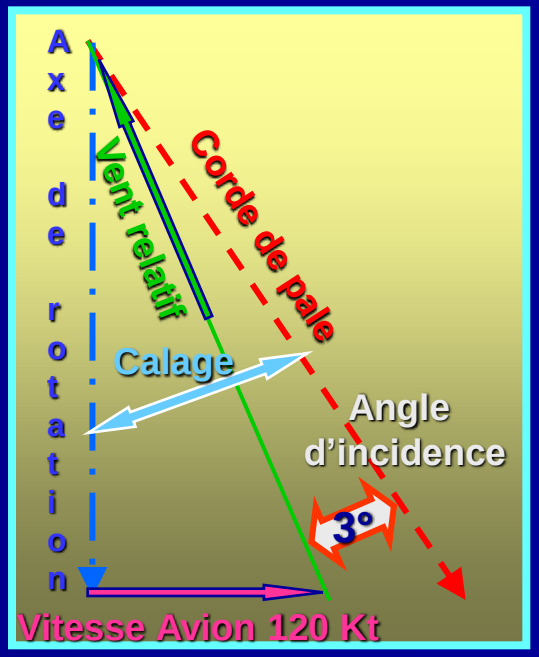
Angle d'incidence important
=
Traînée trop importante
Vitesse de rotation du moteur limitée (puissance insuffisante)

Montée initiale Plein gaz



Angle d'incidence diminué
=
Traînée moins importante
Vitesse de rotation du moteur améliorée (puissance moyenne)

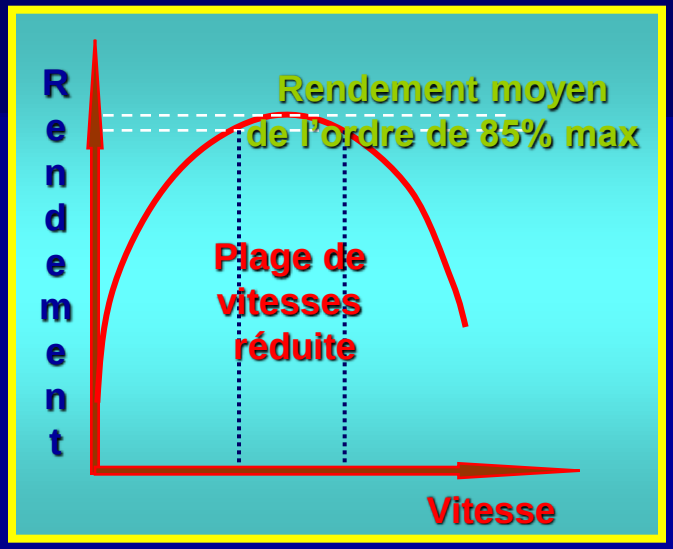
Palier croisière Plein gaz



Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation du moteur réglable (puissance excédentaire)

L'HÉLICE A CALAGE FIXE

RENDEMENT ET SPÉCIFICITÉS



L'hélice à calage fixe n'est véritablement adaptée que dans une plage réduite de vitesses où son rendement est acceptable (de l'ordre de 80 à 90%).

AVANTAGES DE L'HÉLICE A PAS FIXE

Robuste et Économique à la fabrication et à l'entretien,
Poids relatif léger et d'un emploi simple.

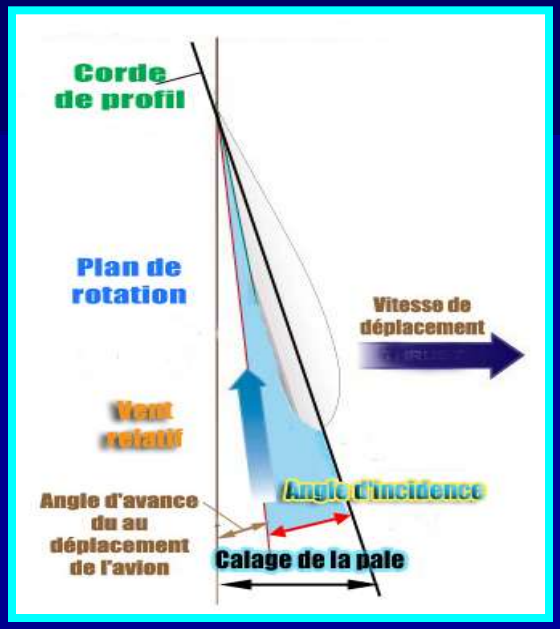
INCONVÉNIENTS

Rendement moyen, utilisation limitée :

- soit pour la croisière mais décollage et montée poussifs ;
- soit pour décollages et traction efficaces mais croisière lente.

L'HÉLICE A CALAGE VARIABLE

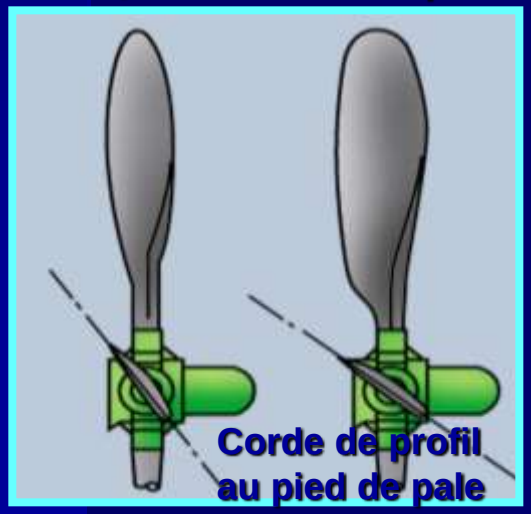
OPTIMISATION DU RENDEMENT

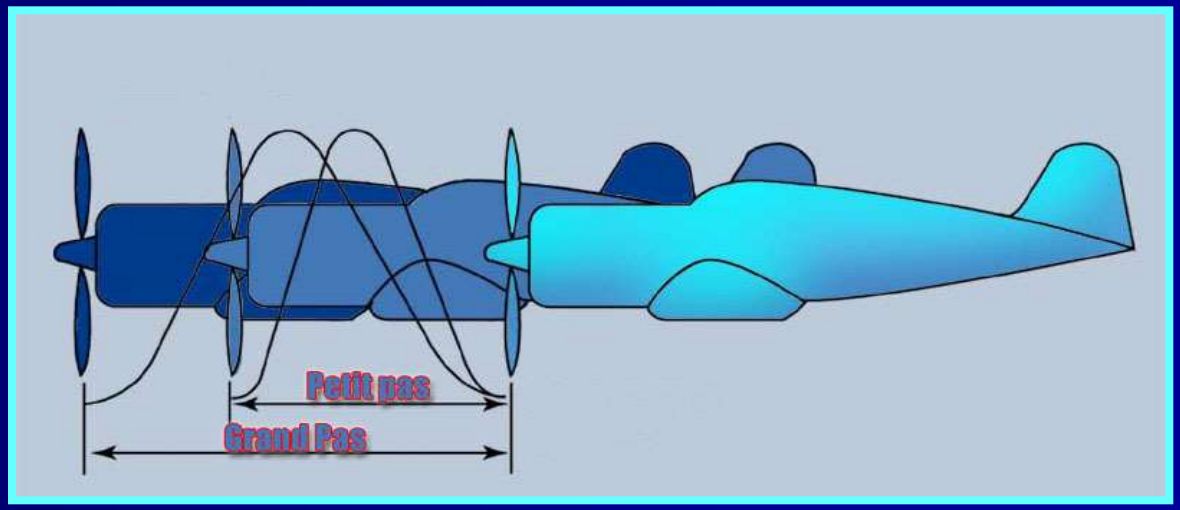


CALAGE VARIABLE

L'optimisation du meilleur angle d'incidence, (donc de la force tractrice) correspondant aux différents régimes de vol (vitesse et puissance disponible) est réalisée par une adaptation de l'angle de calage de l'hélice à la vitesse avion.

Petit pas Grand pas



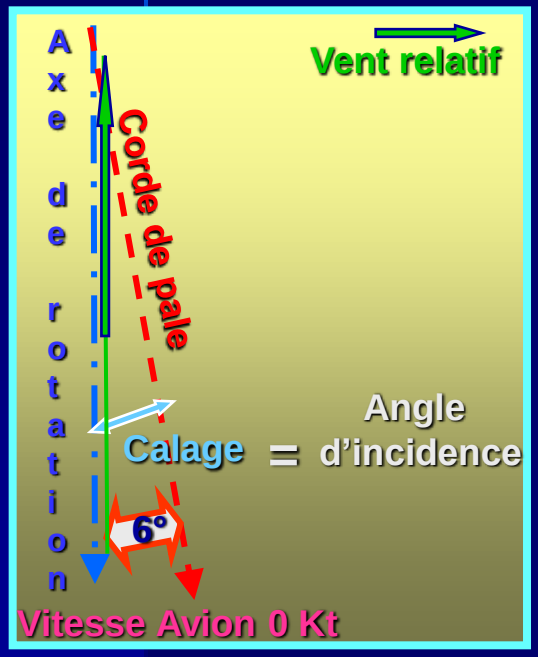


L'HÉLICE A CALAGE VARIABLE

OPTIMISATION DU RENDEMENT

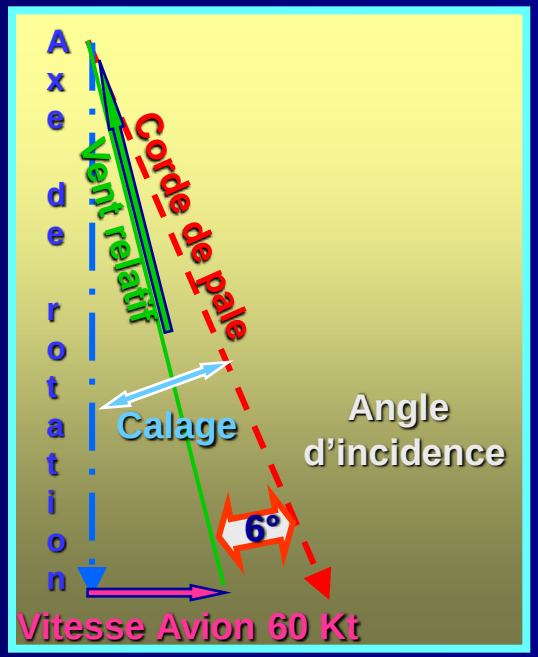
Évolution de l'angle de calage par rapport à la vitesse

Avion à l'arrêt Plein gaz



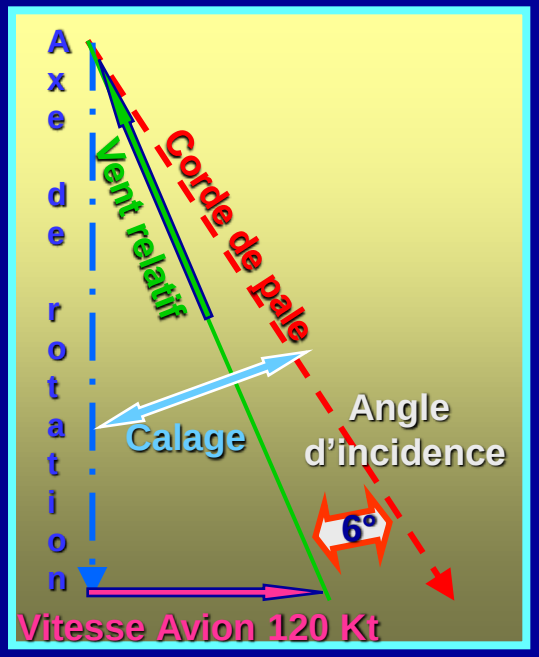
Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation du moteur réglable (puissance suffisante)

Montée initiale Plein gaz



Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation du moteur réglable (puissance suffisante)

Palier croisière Plein gaz



Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation du moteur réglable (puissance suffisante)

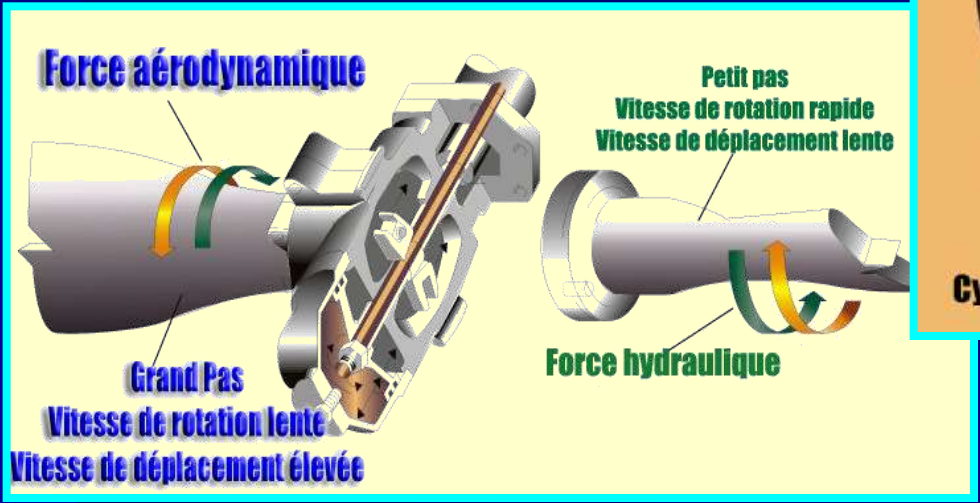
L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

RÉALISATION TECHNIQUE

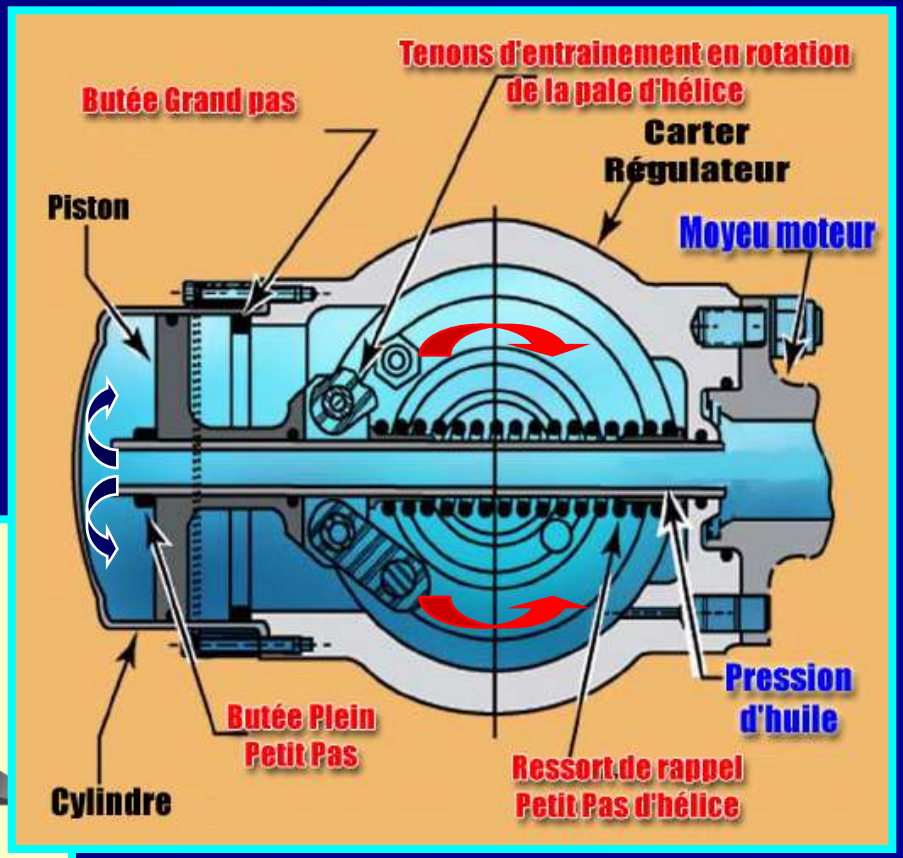
VITESSE CONSTANTE

La conduite du GMP est facilitée par l'adjonction d'un régulateur de régime de rotation de l'hélice.

Celui-ci règle automatiquement l'angle de calage de l'hélice en fonction des conditions de vol (décollage, montée, croisière, …).



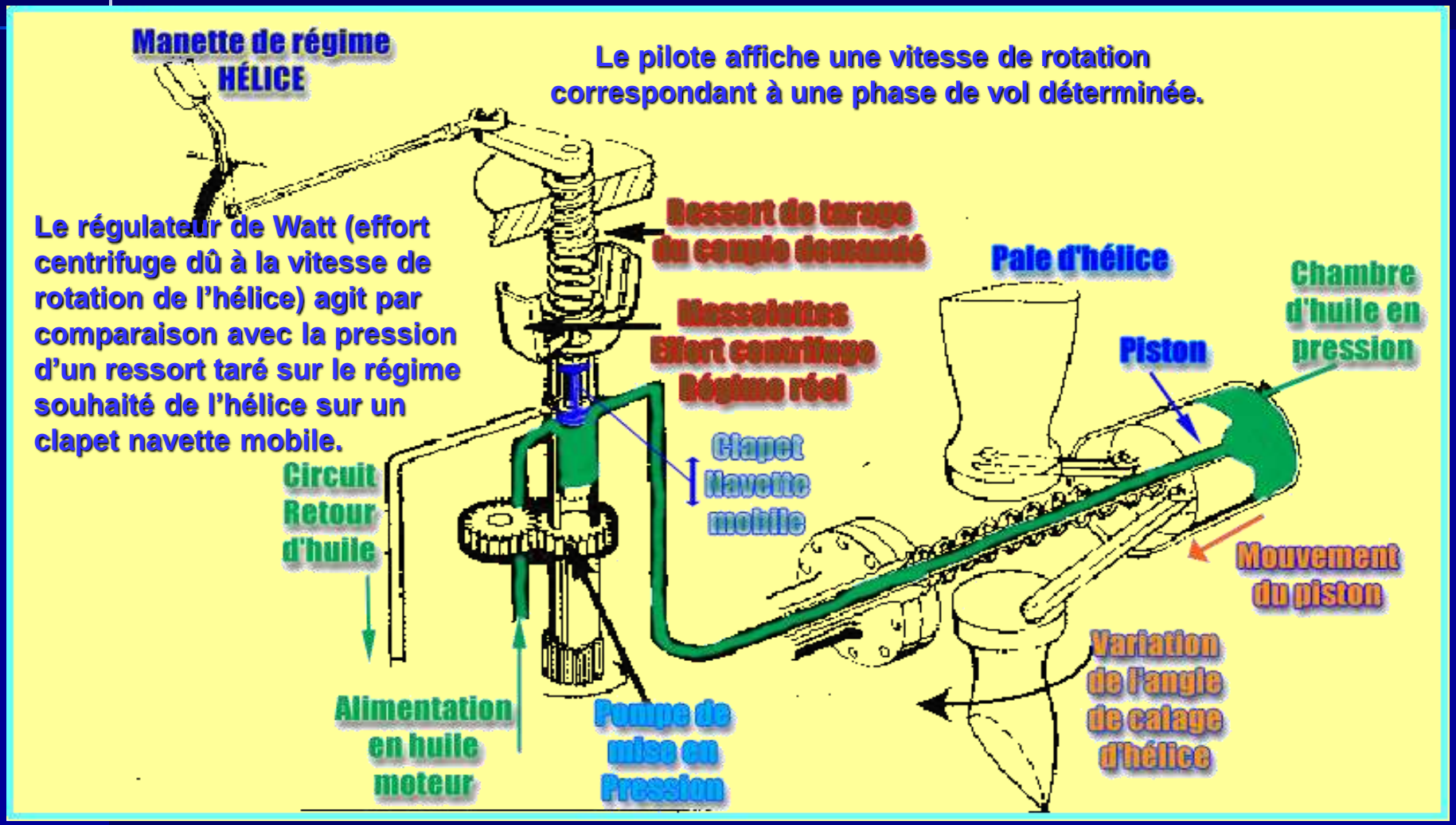
Régulateur d'hélice



La variation automatique de calage est basée sur l'équilibre du couple moteur et du couple résistant.

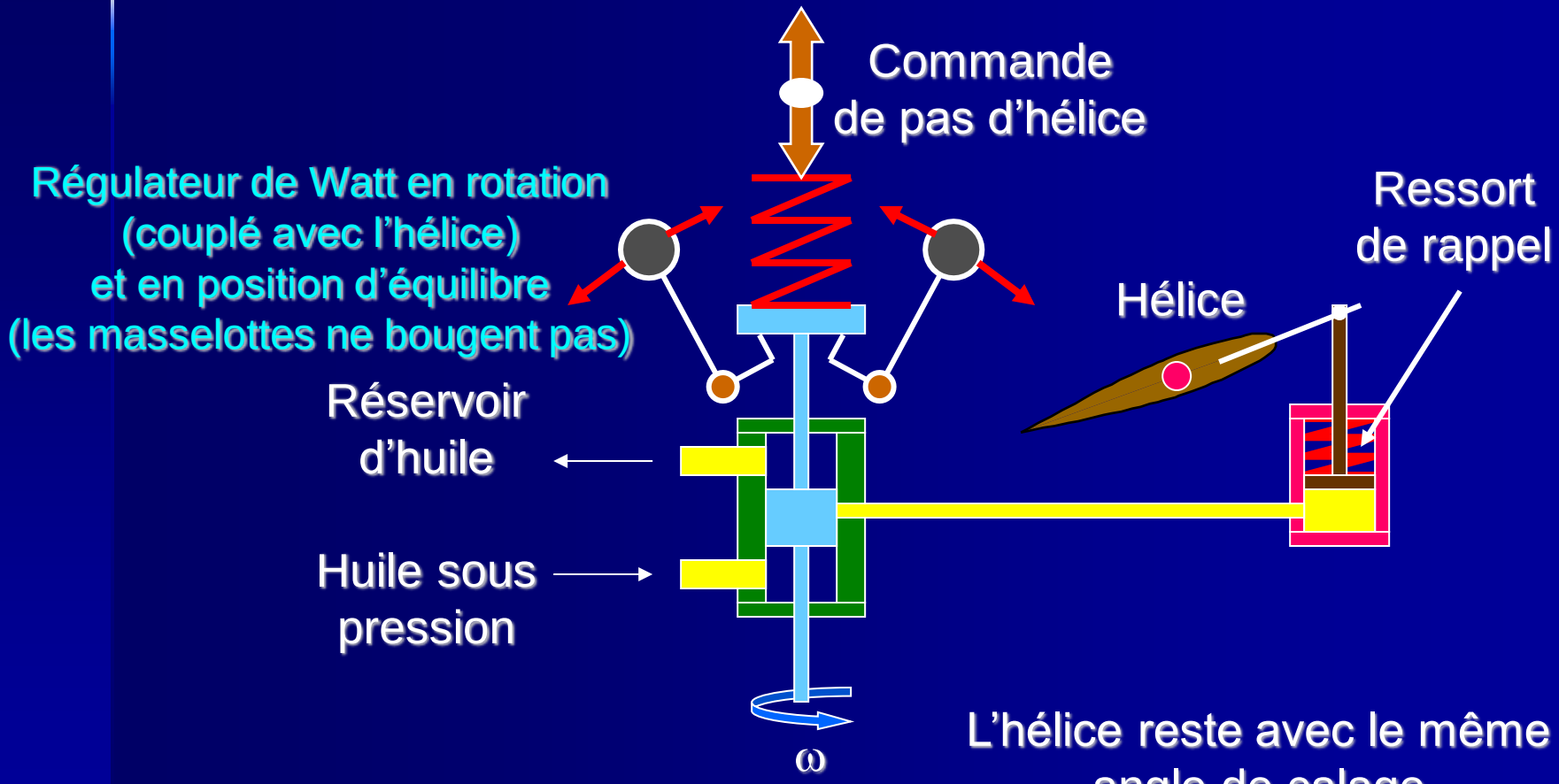
L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

SCHÉMA DE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT



L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

SCHÉMA DE PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT DU RÉGULATEUR D'HÉLICE



L'hélice reste avec le même angle de calage en position d'équilibre . . .

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

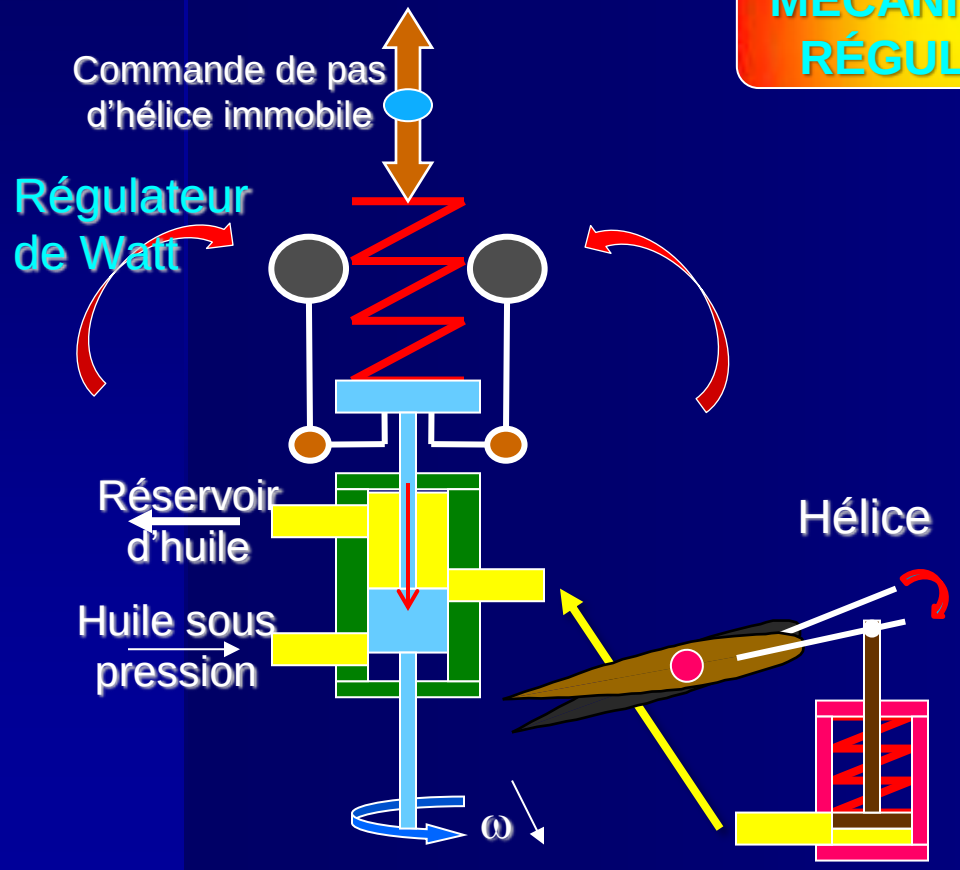
Vitesse de rotation tend à diminuer . . .

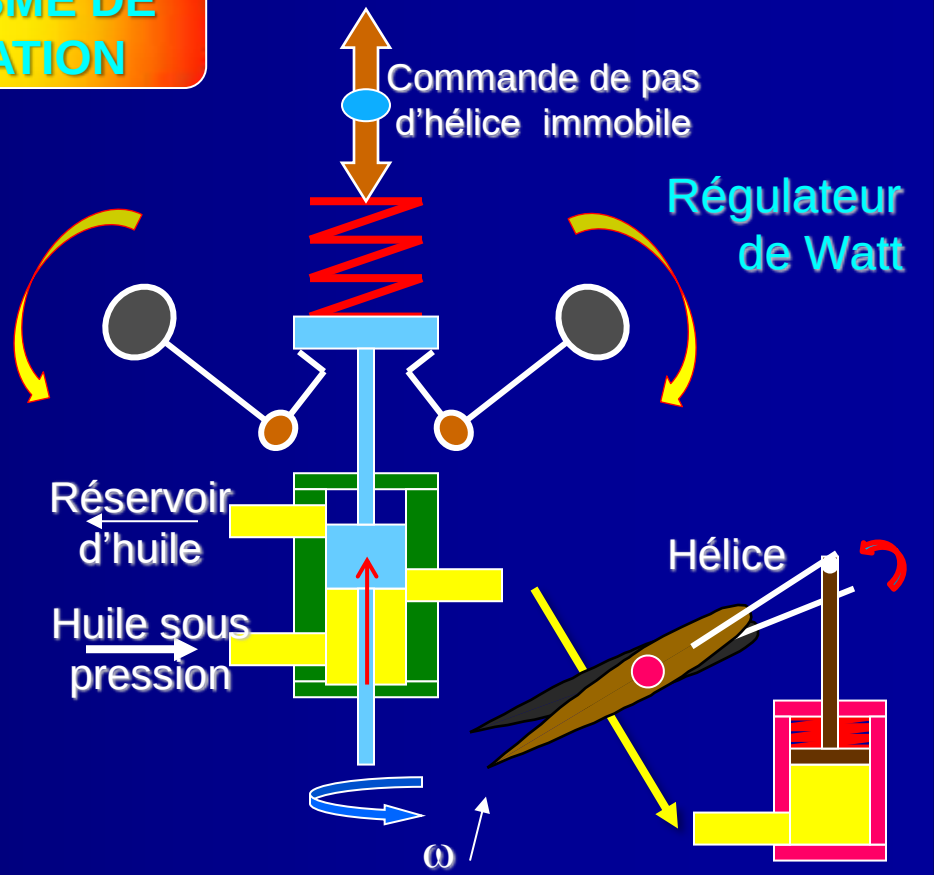
Les masselottes remontent
le ressort de rappel pousse le piston et
renvoie de l'huile de l'hélice vers le réservoir.
le calage diminue, la vitesse de l'hélice augmente.

Vitesse de rotation tend à augmenter . .

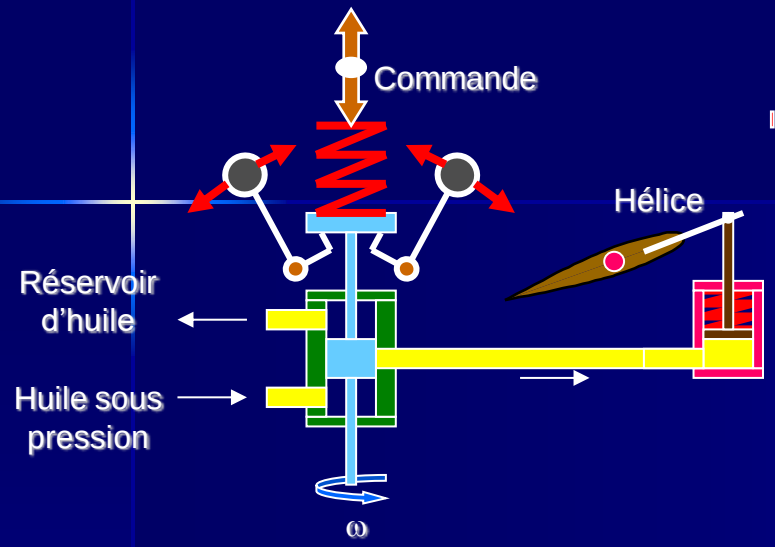
Les masselottes s'écartent et remontent le piston.
De l'huile sous pression est envoyée vers l'hélice .
le calage augmente, la traînée augmente,
la vitesse de l'hélice ralentit.

MÉCANISME DE RÉGULATION





L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante



Relation de la position de la commande de pas d'hélice avec la position des masselottes du régulateur :
- pousser la commande revient à rapprocher les masselottes (petit pas),
- tirer la commande éloigne les masselottes (grand pas).

CONSÉQUENCES :

En cas de panne moteur (monomoteur) ou une fuite sur le circuit d'huile, le ressort de rappel place les pales de l'hélice au calage mini (petit pas).

PARTICULARITÉS :

Le régulateur n'est actif qu'à partir d'une puissance minimale affichée (PA au ralenti : le régulateur n'est pas actif donc plein petit pas).

Notion de « seuil critique » : en dessous de certaines valeurs de PA ou de la vitesse de rotation, le distributeur du régulateur n'est plus stable, des « variations » de régulations peuvent être constatées.

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

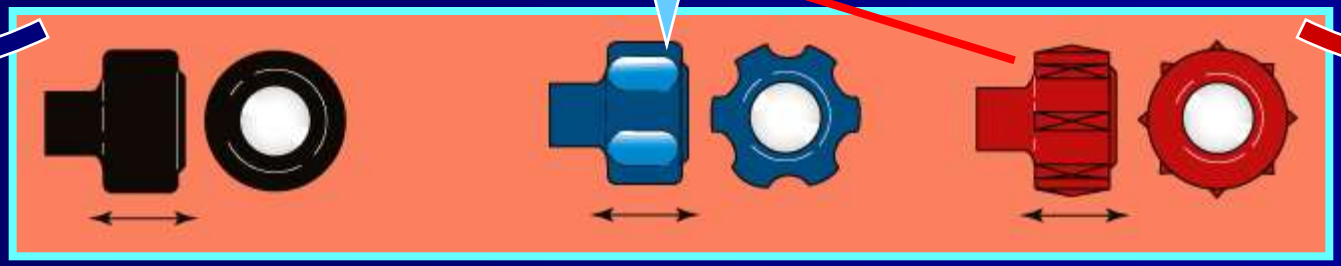
COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Pression d'Admission
en Pouces de mercure

Consommation instantanée
en Gallons par heure

Tachymètre
en Tours par minute (X 100)

Température Gaz Echappement (EGT)
en Degrés Fahrenheit



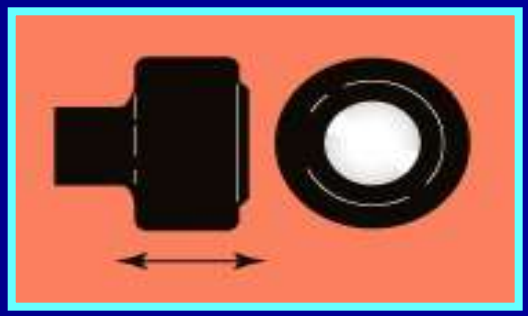
Pression d'Admission | **Régime Hélice** | **Mixture**

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Commande de Pression d'Admission

Cette commande, de couleur noire ou métal, agit sur l'ouverture du papillon d'admission d'air non carburé ainsi que sur la quantité d'essence injectée. Elle agit directement sur la puissance demandée au moteur.



Au sol, moteur arrêté, la pression d'admission indique la pression atmosphérique.
En montée, la diminution de la pression atmosphérique nécessite une action sur la PA.

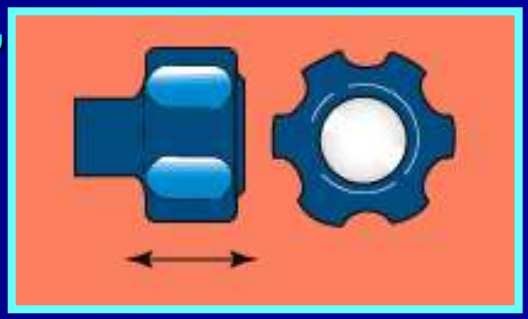
La valeur de la PA et le contrôle sont effectués, par référence au manuel constructeur, sur la partie gauche de l'instrument ci-contre.
L'unité courante est le Pouce de mercure

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Commande d'hélice

La manette de régime d'hélice, de couleur bleue, détermine une vitesse de rotation (RPM) du moteur et de l'hélice.



Elle peut varier graduellement par rotation du pommeau ou par déclenchement central :

- de la position plein « grand pas » (sens antihoraire ou manette en arrière) ;
- au « plein petit pas » (sens horaire ou manette en butée avant).

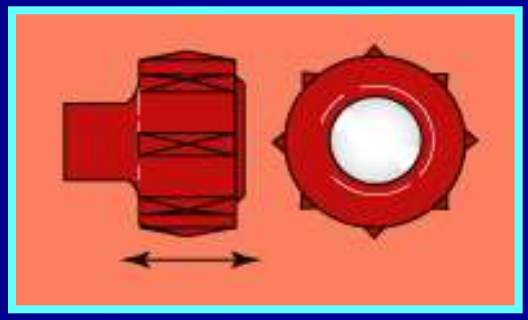
Elle commande le nombre de tours par minute de l'hélice (RPM).

L'instrument de contrôle associé est le compte-tours (tachymètre).

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Commande de richesse (Mixture)



La mixture, de couleur rouge, a également une forme dentelée et peut se visser (réglage fin) ou se déplacer d'avant en arrière en poussant un bouton central d'enclenchement (amorçage ou étouffoir).

Deux instruments de contrôle sont associés, l'un pour la consommation instantanée, l'autre pour mesurer la température des gaz d'échappement.

Le débitmètre ou Fuel Flow (partie droite de l'instrument) est considéré comme un préréglage (mesure le débit et non le mélange).

L'EGT (Exhaust Gaz Température) permet le réglage du mélange air/essence à toutes les altitudes par sa mesure fine de la température des gaz d'échappement.

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

PROCÉDURE DE RÉGLAGE DE L'E.G.T.

MOTEUR A INJECTION

Le dosage Essence / Air est primordial
pour le bon fonctionnement, la fiabilité et la longévité du moteur.

La relation liant la Puissance du moteur et la Température des gaz d'échappement permet de régler précisément le mélange Essence / Air.

Croisière Plein riche

Température du moteur et des gaz d'échappement trop froide.

Recherche Pic E.G.T.

Appauvrir lentement avec mixture
la température augmente jusqu'à un max
Positionner l'aiguille de référence.

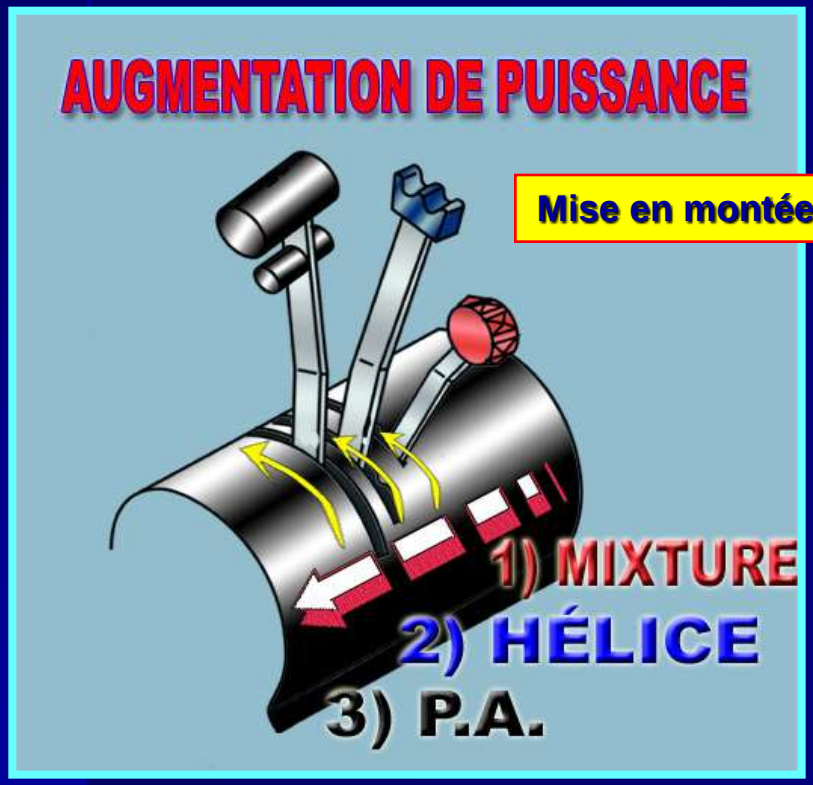
Réglage optimum E.G.T.

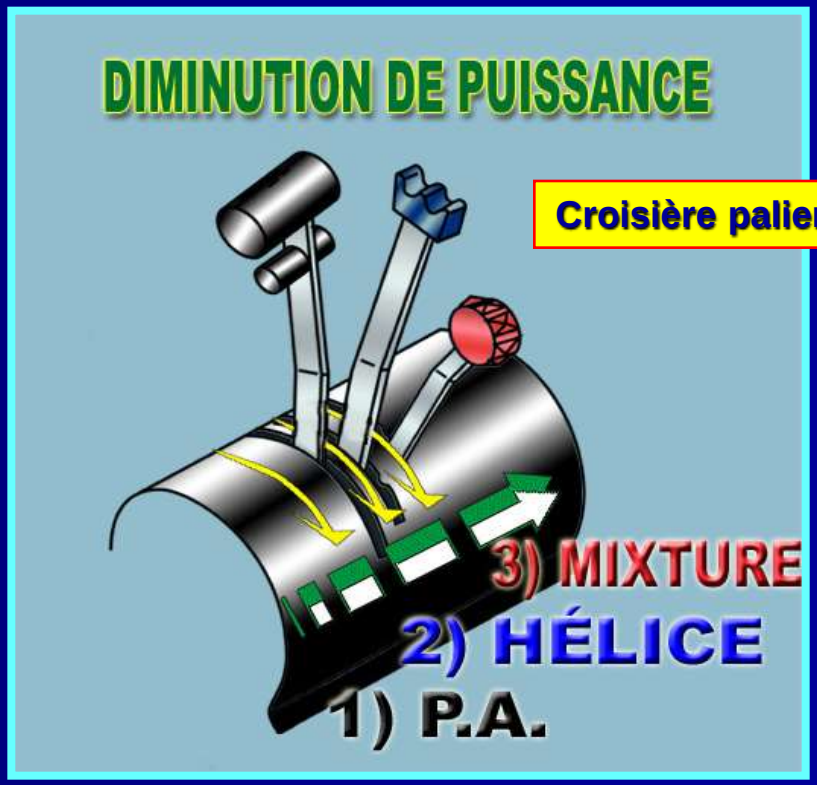
Enrichir lentement avec la mixture
jusqu'à la perte de 4 déviations
Réglage Puissance-Vitesse.

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

PROCÉDURES D'UTILISATION DES COMMANDES

Le couple résistant doit rester inférieur à la limite de résistance des matériaux, d'où l'obligation du respect de l'ordre d'utilisation des manettes de Pression d'Admission, de régime d'Hélice et de Mixture.





Toujours réduire le couple résistant avant d'augmenter le couple moteur

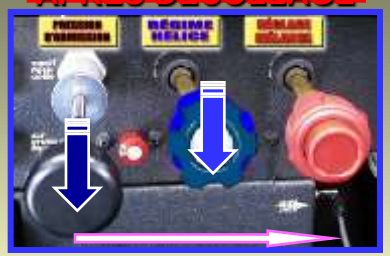
L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

PROCÉDURES D'UTILISATION DES COMMANDES

DÉCOLLAGE

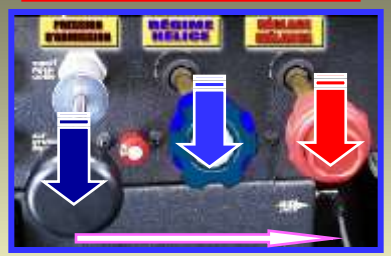
1) Plein Riche
2) Plein Petit Pas
3) Plein gaz

MONTÉE APRES DÉCOLLAGE



1) PA montée
2) RPM montée
3) Plein Riche vérifié

CROISIERE



1) PA croisiere
2) RPM croisière
3) Mélange réglé

+ PUISSANCE

1) Plein Riche
2) RPM montée
3) PA montée

DESCENTE

1) Plein Riche
2) RPM croisière
3) PA descente

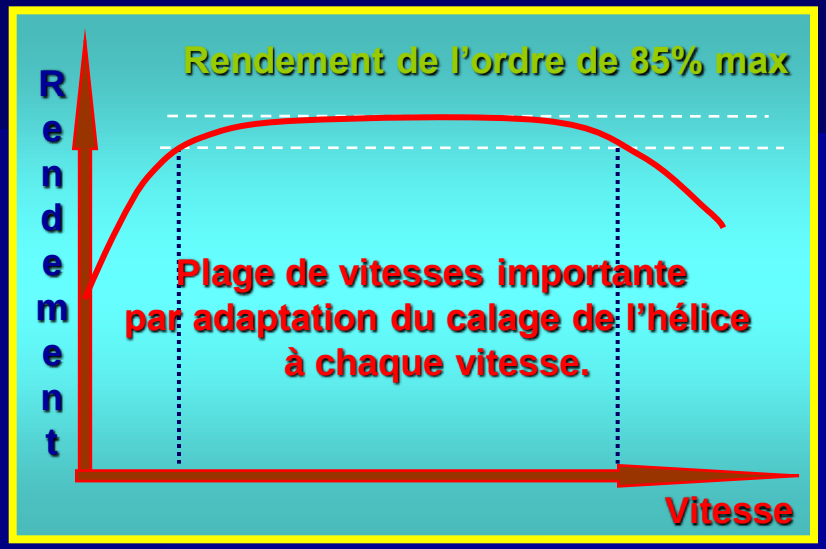
ATTERRISSAGE

1) Plein Riche
2) Plein Petit Pas
3) PA à la demande

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

RENDEMENT

Le rendement est optimal sur une très large plage de vitesses.
Il est conditionné par l'utilisation d'une puissance comprise entre 70 et 100 % du régime max.



Avantages de l'hélice à calage variable et vitesse constante :

- Rendement important sur une large plage de vitesses :
  - Décollage, traction et montée améliorés ;
  - Vitesse de croisière supérieure ;
- Protection des sur-régimes moteur ;
- Facilité d'emploi.

Inconvénients :

- Coût élevé de l'ensemble hélice – régulateur ;
- Maintenance onéreuse ;
- Poids plus élevé.

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

HÉLICES A PALES MULTIPLES

Tripale

Quadripale

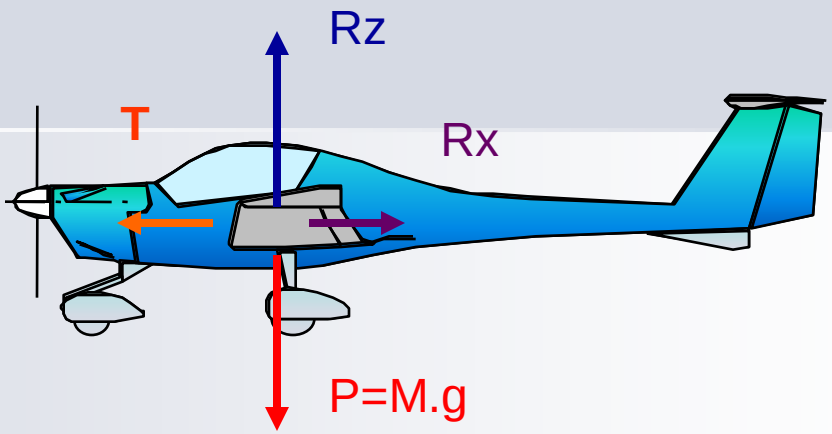
Quadripales contrarotatives

Octopale

L'utilisation d'hélices multipales améliorent le rendement, permet de diminuer le diamètre de l'hélice, donc la vitesse en bout de pale et participe ainsi à la diminution du bruit.

Sa fonction (1)

Mécanique du vol :



Aspect global

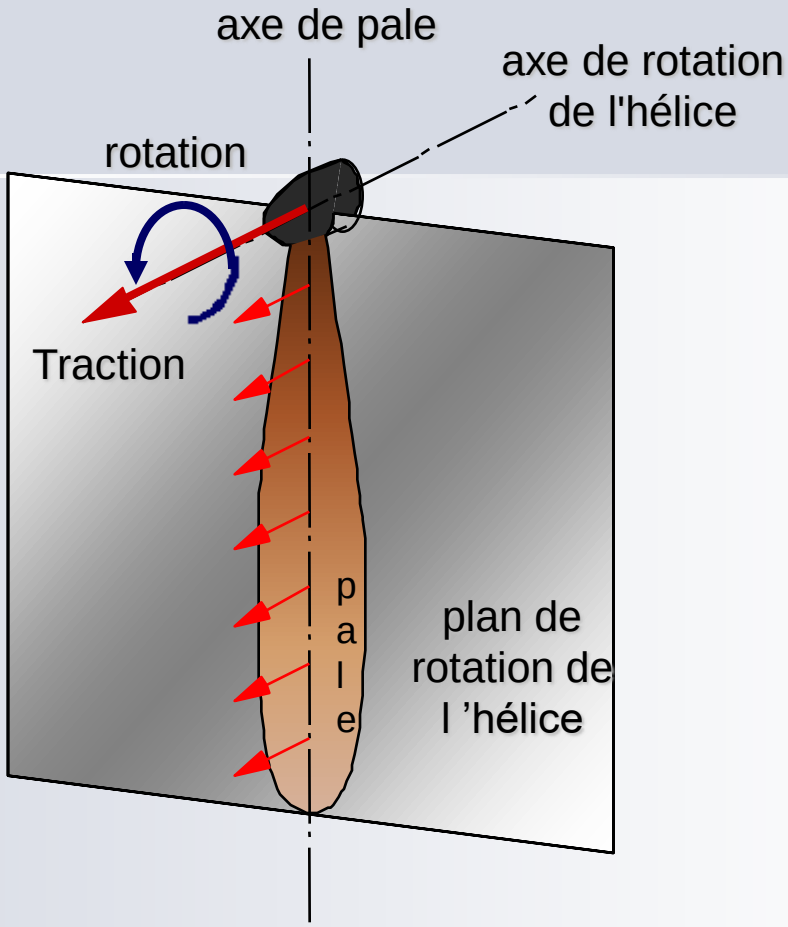
Rz ⟷ P

Rx ⟷ T

➡ **Générer un effort de traction**

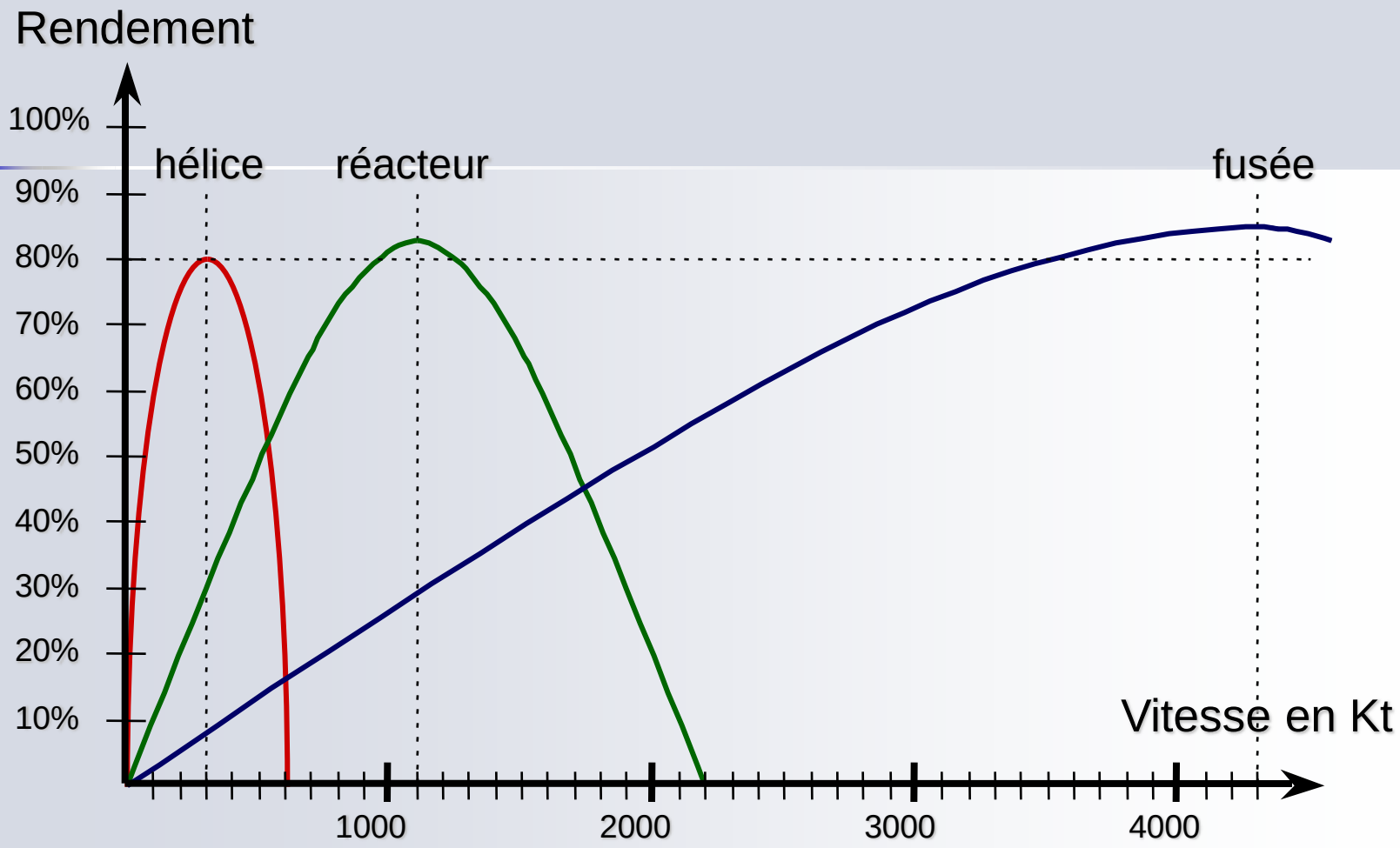
- si T = Rx . . . vol à vitesse constante,
- si T > Rx . . . l ’appareil accélère,
- si T < Rx . . . l ’appareil ralenti.

Sa fonction (2)



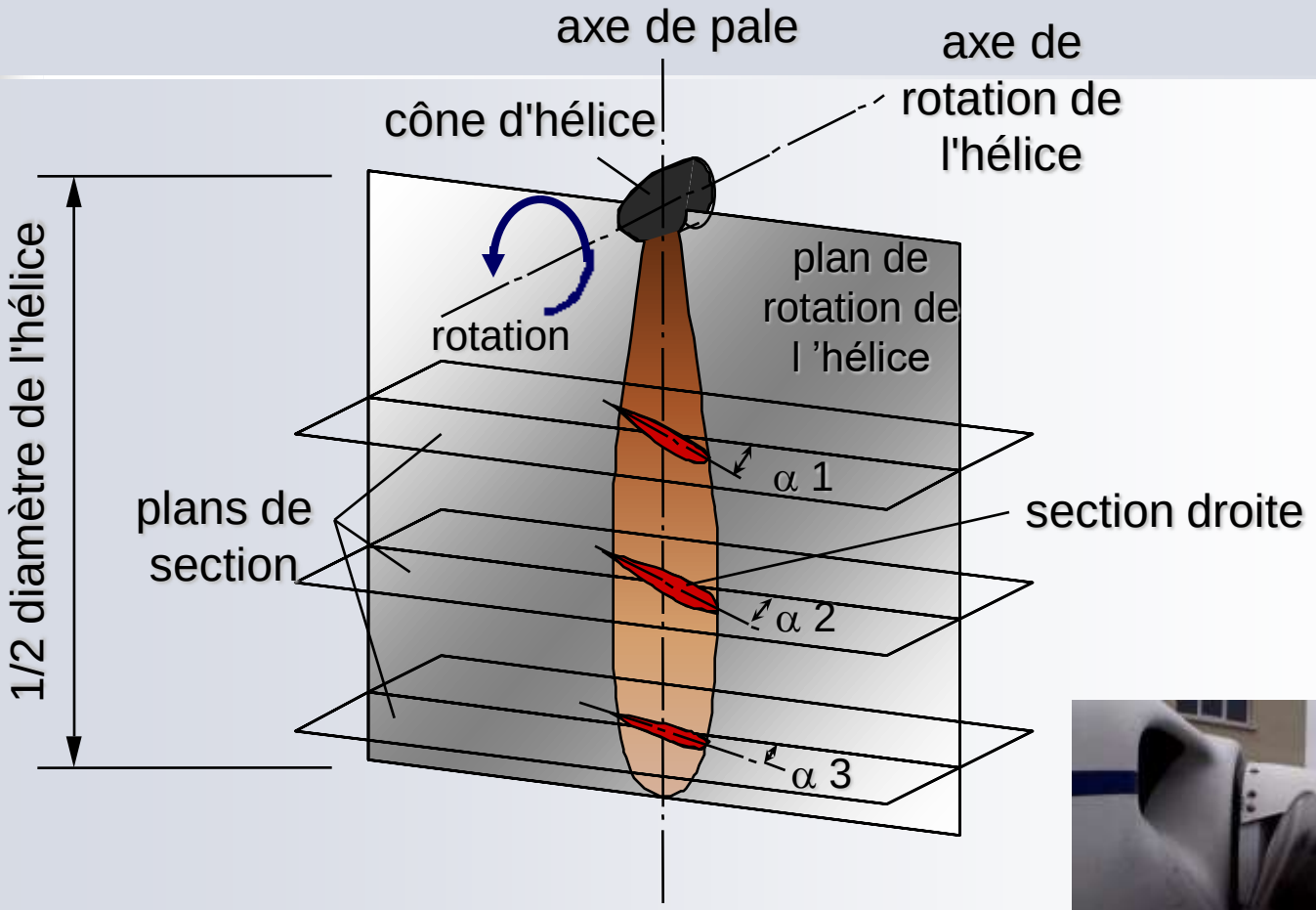
- Puissance sur un arbre en rotation (vilebrequin du moteur) **P = C . W**
- Effort de traction T → Vitesse de l 'avion / air → **P = T . V**

Pourquoi une hélice ?



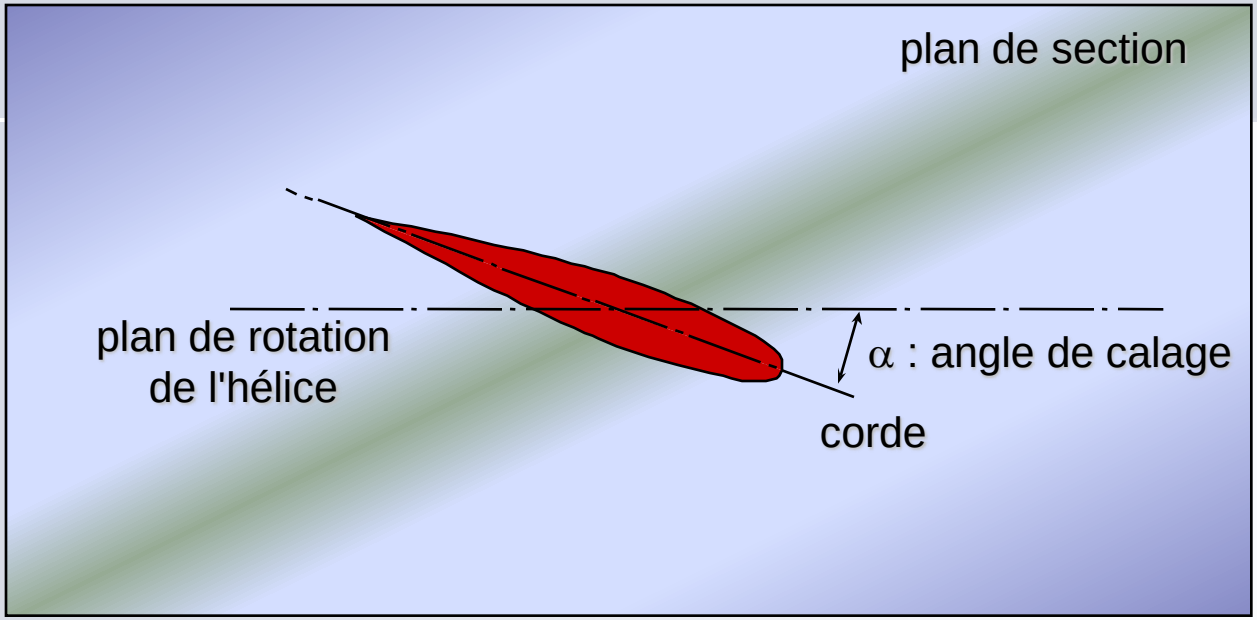
➡ Rendement (<1) = puissance restituée / puissance absorbée

Etude géométrique



➡ α = angle de calage. α1 > α2 > α3

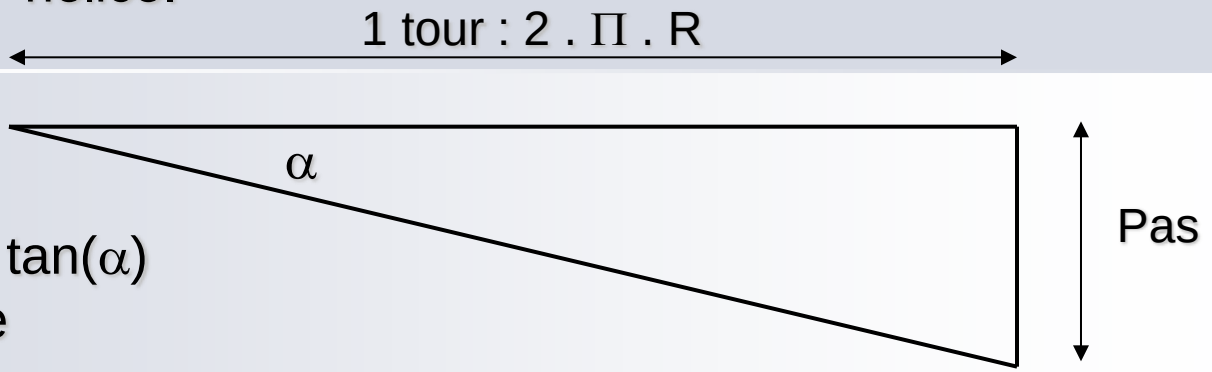
Angle de calage et pas (1)



- Angle de calage = angle entre la corde du profil de l ’hélice pour la section considérée et le plan de rotation de l ’hélice.
- Pas (géométrique) = chemin parcouru suivant l ’axe de rotation de l ’hélice par une section droite pour un tour d ’hélice.
  - Pas = 2 . Π . R . tan(α)

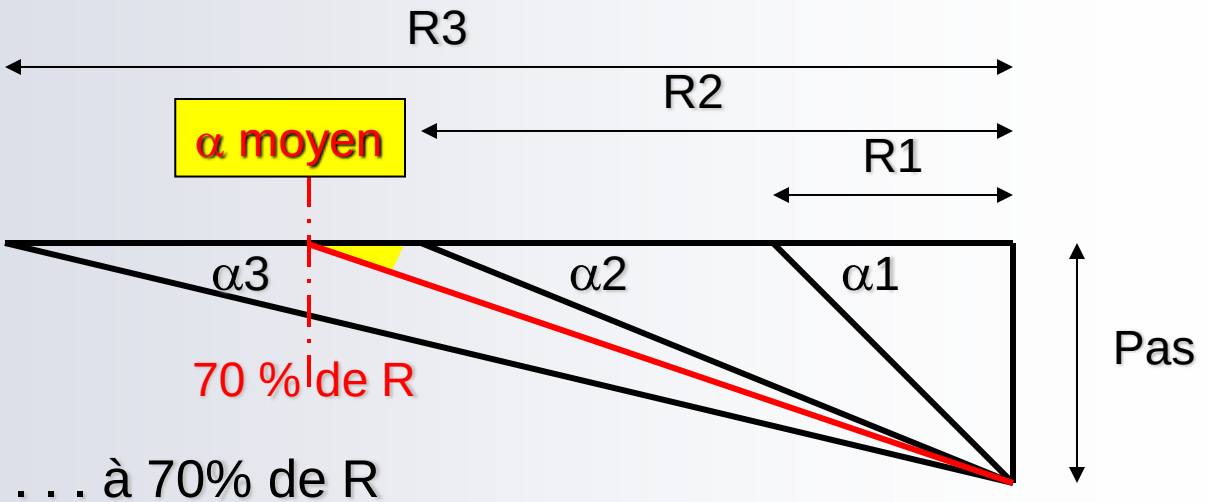
Angle de calage et pas (2)

- Le Pas (géométrique) doit être constant tout le long de la pale de l ’hélice.



- Pas = 2 . Π . R . tan(α)
- R . tan(α) = Cste

- Pour différentes sections à R1, R2, R 3 :



- Calage MOYEN . . . à 70% de R

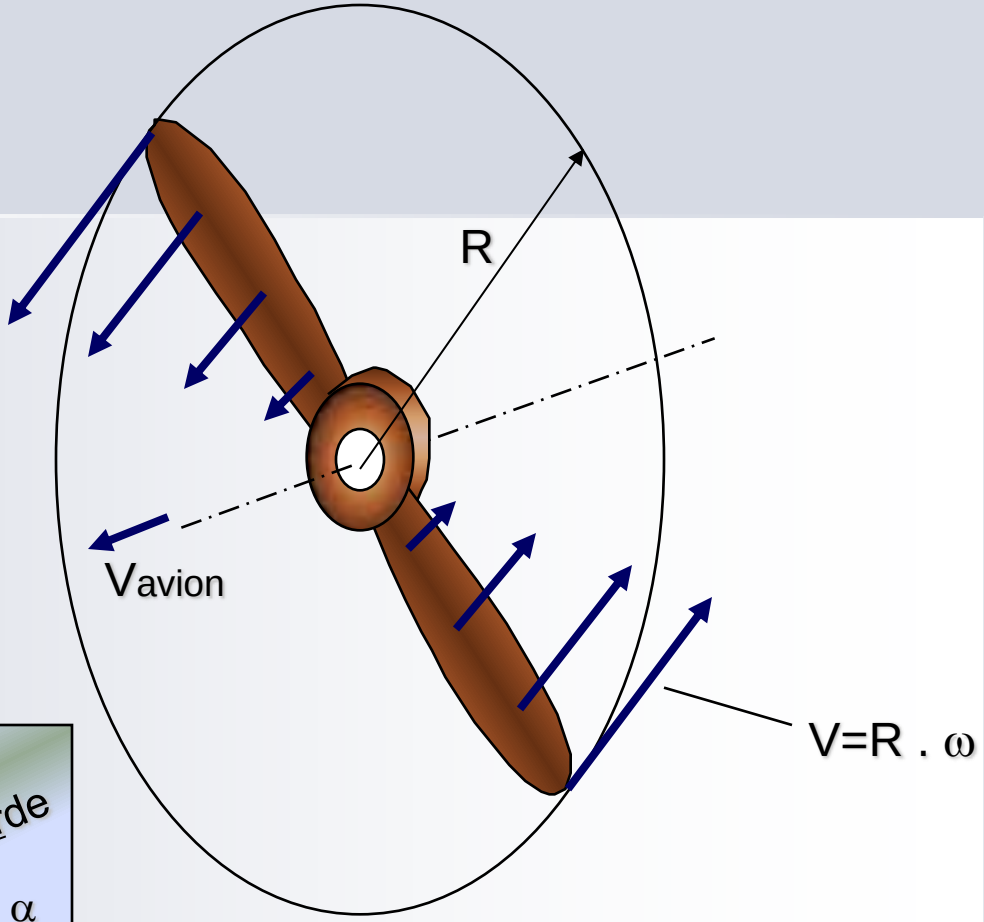
Un peu de technologie . . .

- Une hélice à calage constant ne fonctionnerait pas, elle se romprait.
- L ’hélice n ’a pas un fonctionnement aérodynamique optimal dans chaque section, les meilleures performances sont obtenue vers 70% à 80% de R.
- La vitesse en extrémité de pale est limitée (problème de compressibilité de l ’air), . . . et de bruit !
- La géométrie de l ’hélice (diamètre, nombre de pales) est a 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 hélice 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.

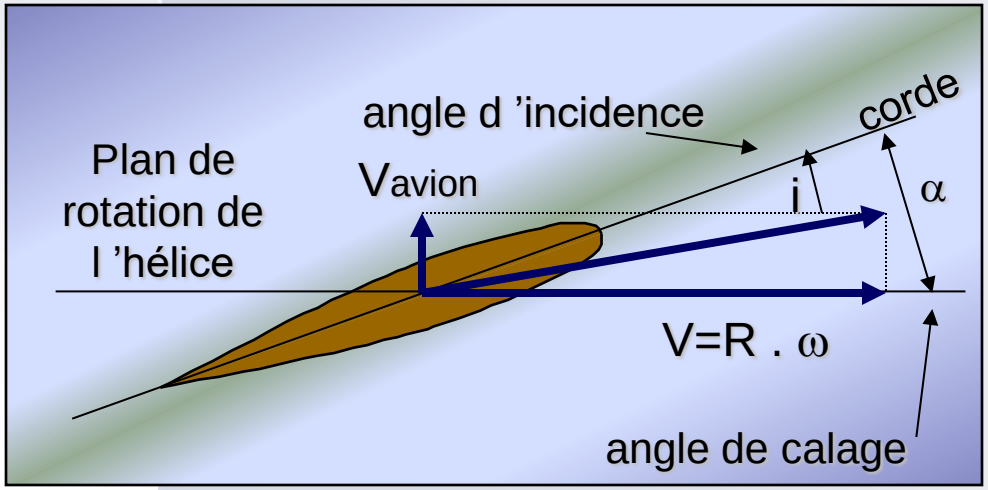
Etude aérodynamique - vitesses

En bleu les vitesses de :

- rotation de l 'hélice / l 'avion
- translation de l 'avion / l 'air



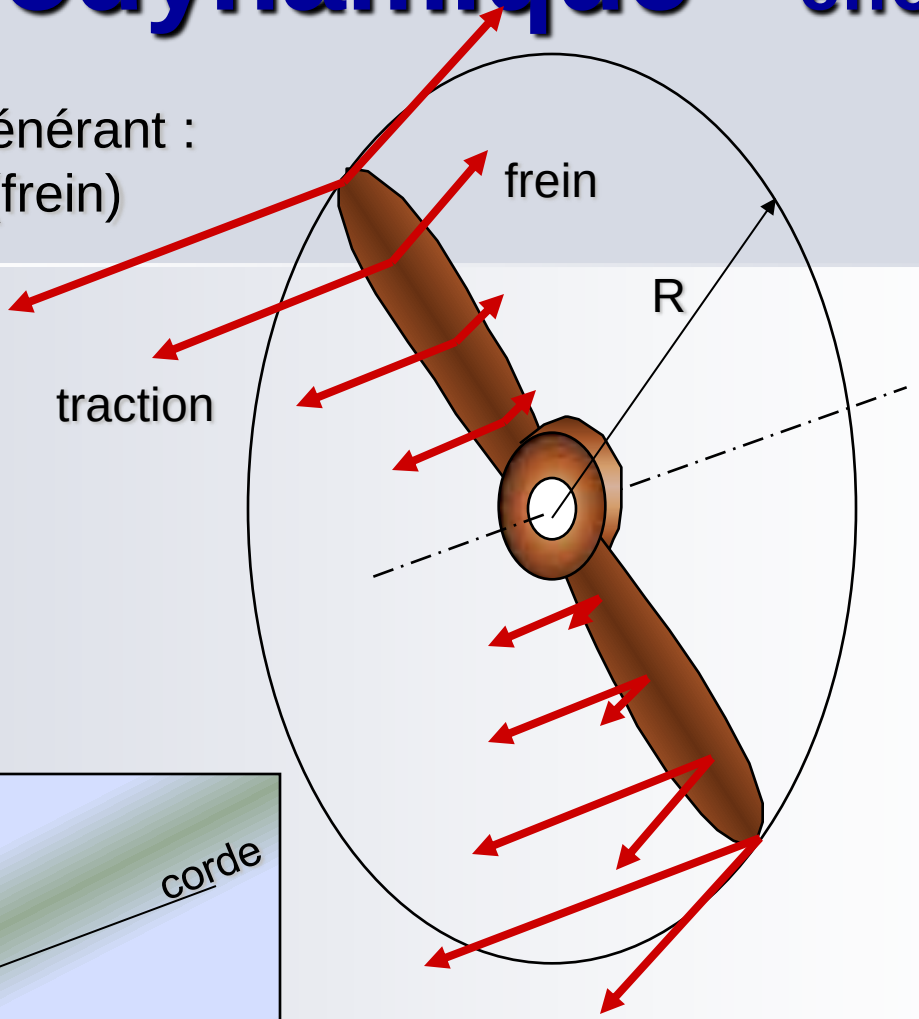
Dans un plan de section (à 0,7 R) :



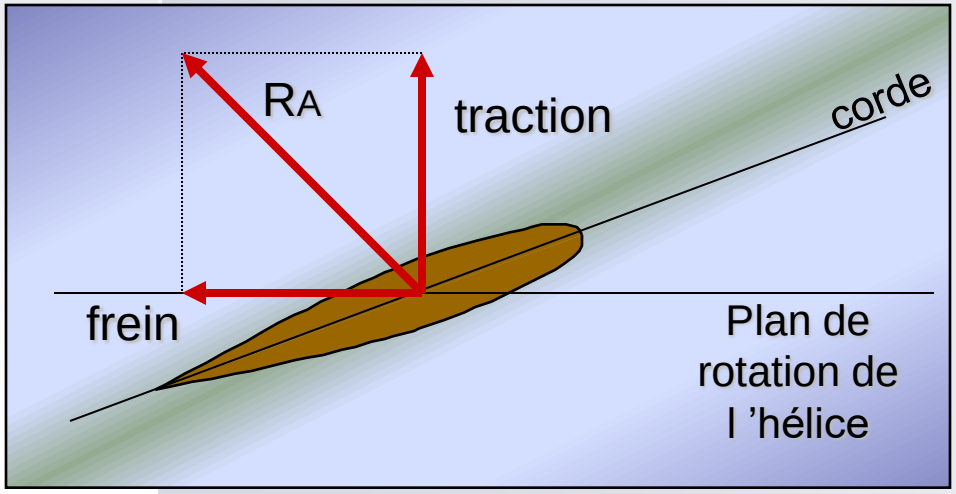
Définition de l 'incidence, (à ne pas confondre avec le calage) !

Etude aérodynamique - efforts

En rouge les forces générant :
- le couple récepteur (frein)
- la traction



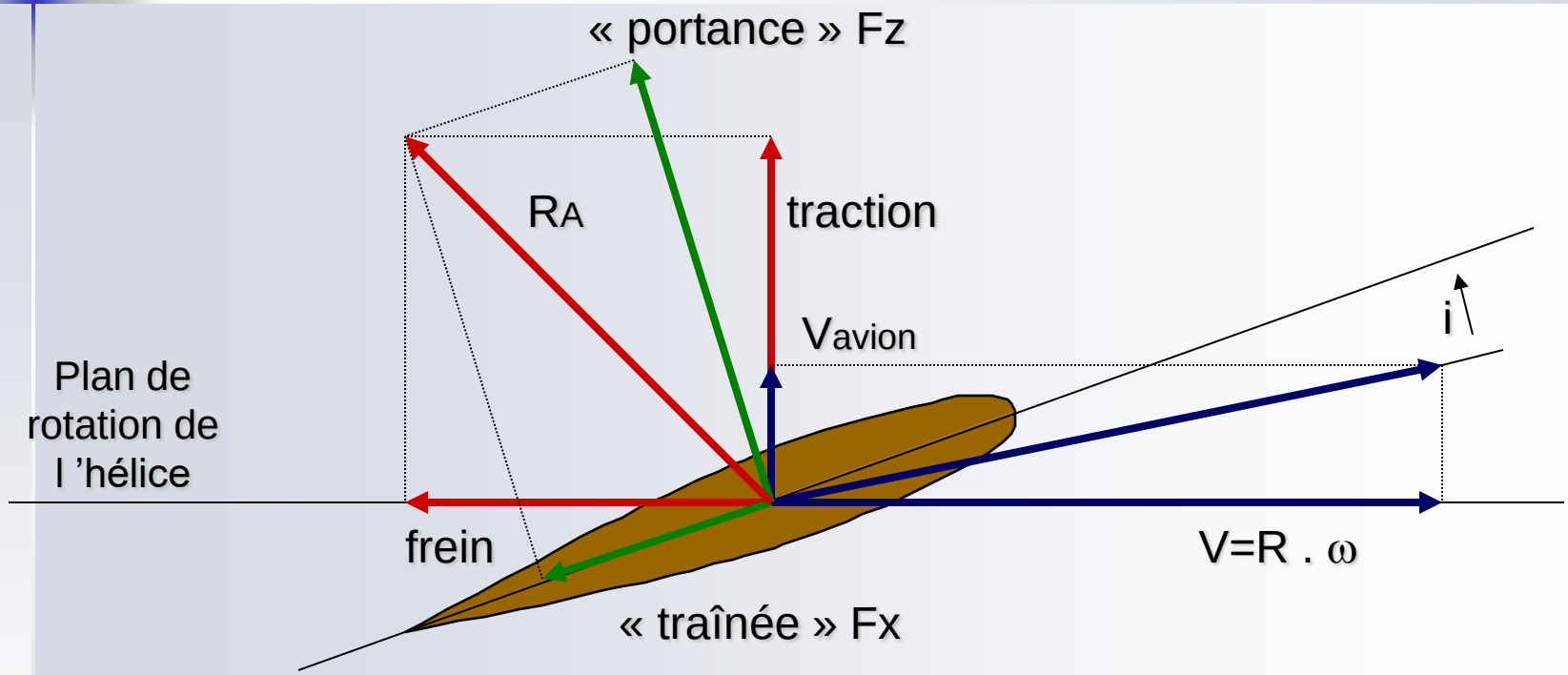
Dans un plan de section (à 0,7 R) :



. . .

Etude aérodynamique - bilan

➡ Bilan :



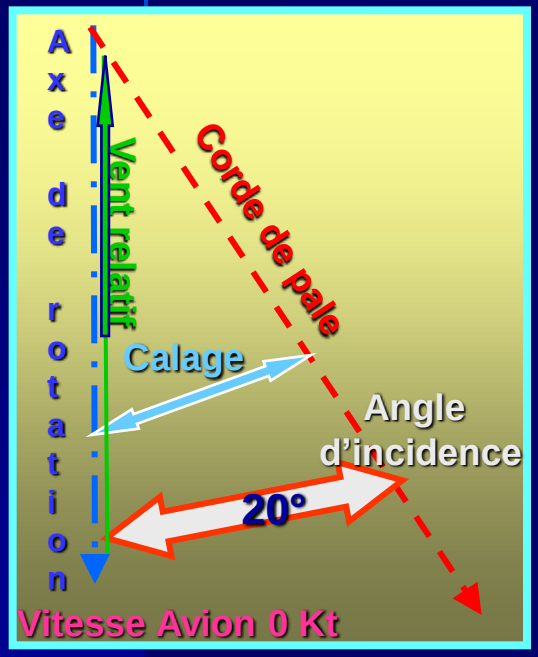
➡ Etude des cas possibles :

L'HÉLICE

NOTIONS DE BASE SUR EFFICACITÉ DE L'HÉLICE

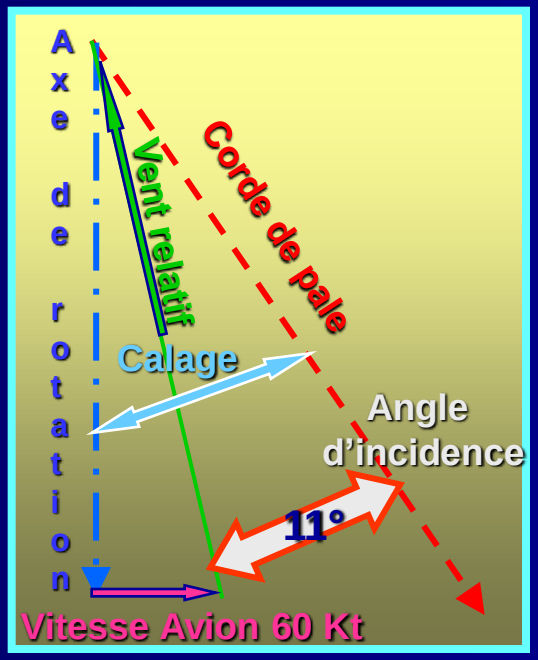
Évolution de l'angle d'incidence par rapport à la vitesse

Avion à l'arrêt Plein gaz



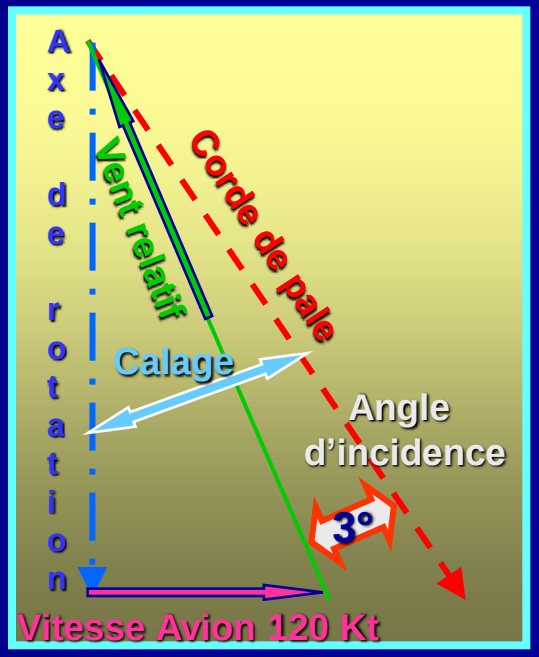
Angle d'incidence important
=
Traînée trop importante
Vitesse de rotation
du moteur limitée
(puissance insuffisante)

Montée initiale Plein gaz



Angle d'incidence diminué
=
Traînée moins importante
Vitesse de rotation
du moteur améliorée
(puissance moyenne)

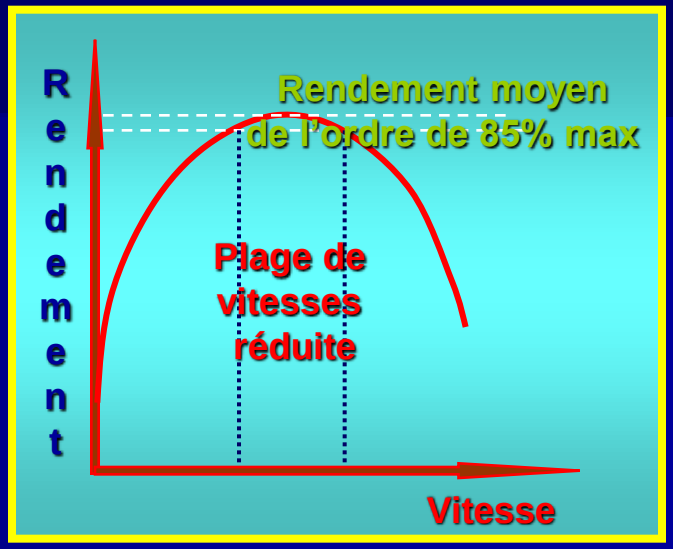
Palier croisière Plein gaz



Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation
du moteur réglable
(puissance excédentaire)

L'HÉLICE

RENDEMENT ET SPÉCIFICITÉS



L'hélice à calage fixe n'est véritablement adaptée que dans une plage réduite de vitesses où son rendement est acceptable (de l'ordre de 80 à 90%).

AVANTAGES DE L'HÉLICE A PAS FIXE

Économique, légère et d'un emploi simple.

INCONVÉNIENTS

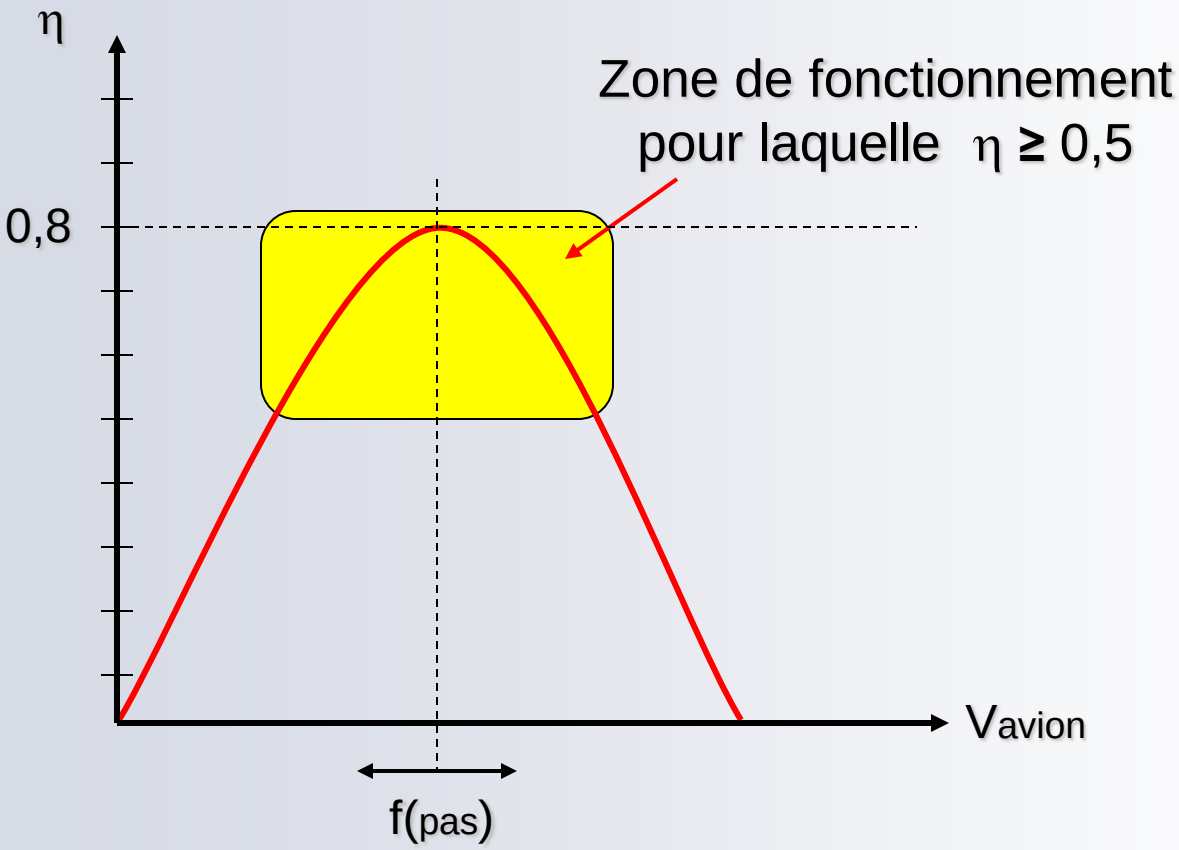
Rendement moyen, utilisation limitée :

- soit pour la croisière mais décollage et montée poussifs ;
- soit pour décollages et traction efficaces mais croisière lente.

Etude énergétique - rendement

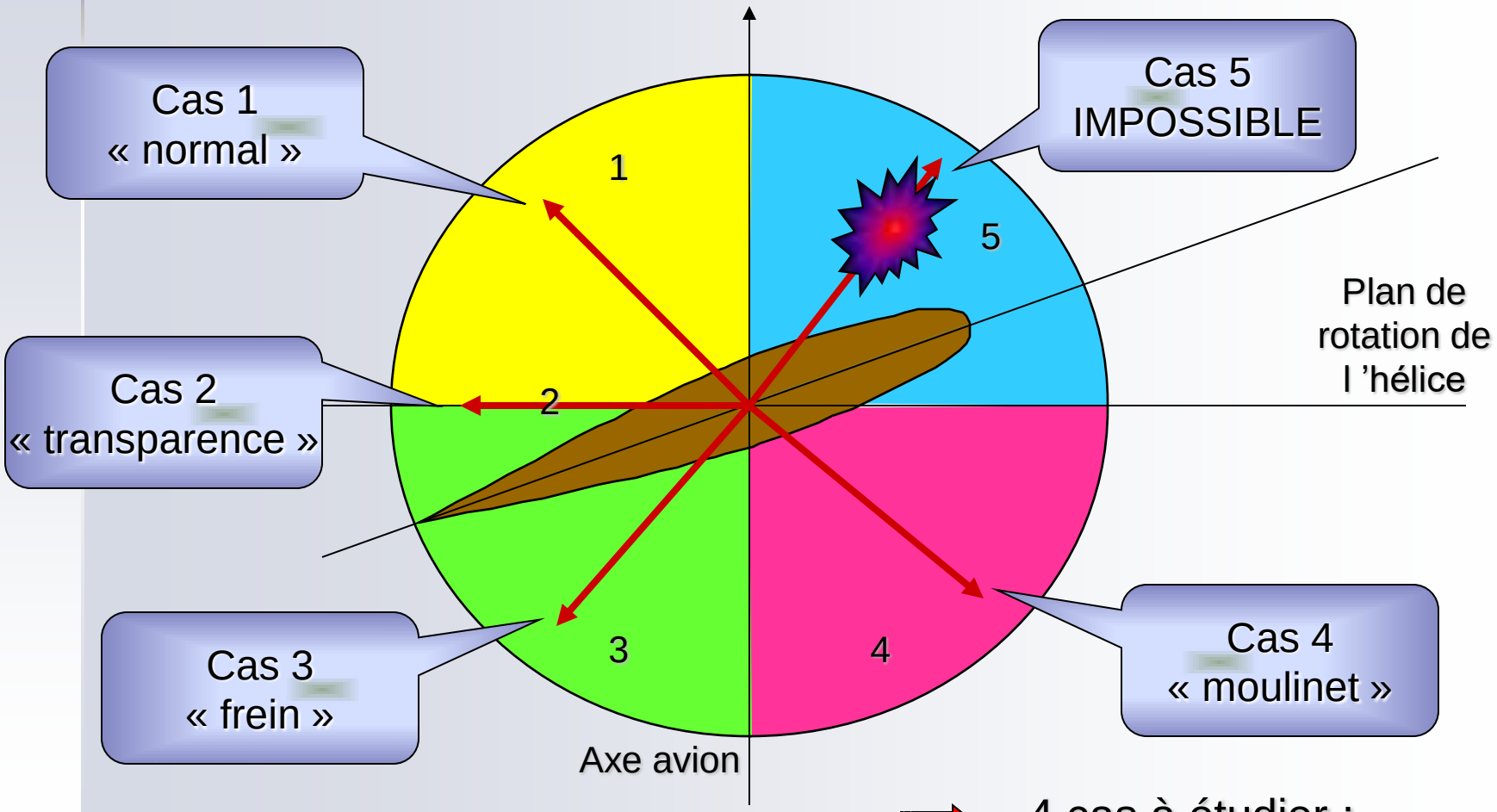
Rendement = $\dfrac{\text{puissance restituée}}{\text{puissance absorbée}}$

Pour une hélice à calage fixe :



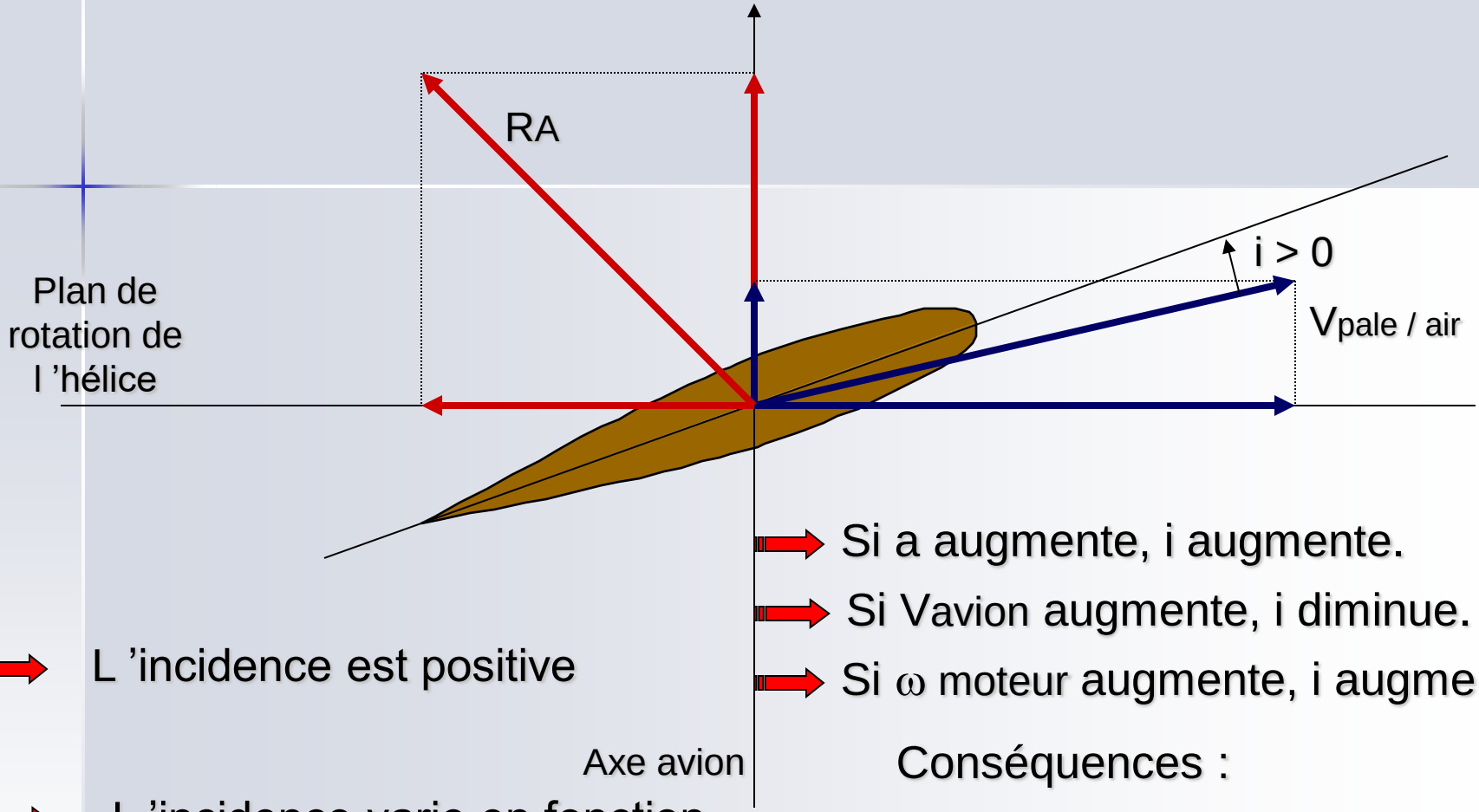
Etude aérodynamique - hélice à calage fixe

➡ En fonction de l ’orientation de R_A pour une hélice à calage fixe dans un premier temps :



➡ 4 cas à étudier :

Etude aérodynamique - « normal»



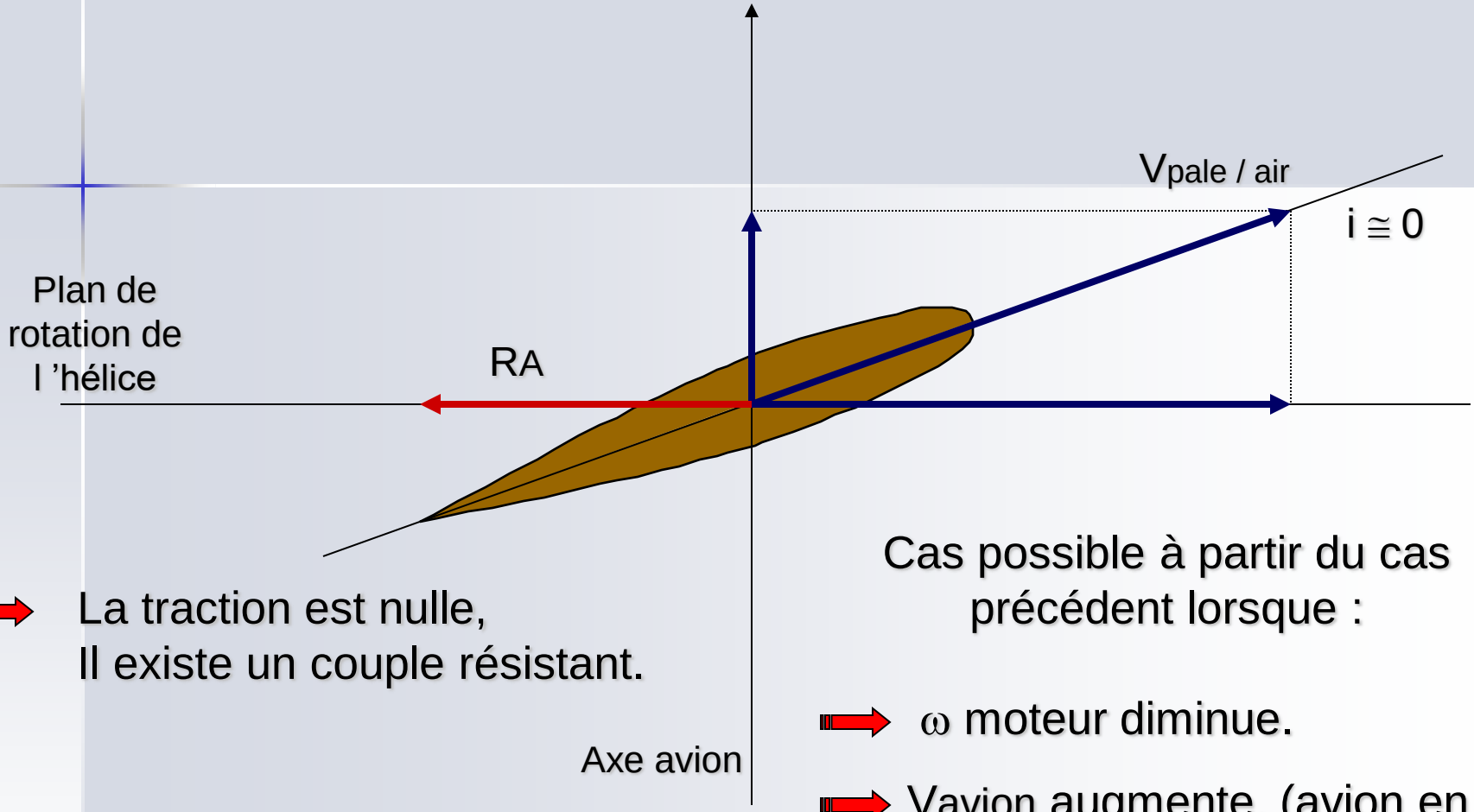
- L 'incidence est positive
- L 'incidence varie en fonction de la vitesse de l 'avion et du régime moteur.

- Si a augmente, i augmente.
- Si Vavion augmente, i diminue.
- Si ω moteur augmente, i augmente.

Conséquences :

- Au sol,
- Au décollage,
- En vol.

Etude aérodynamique - « transparence »

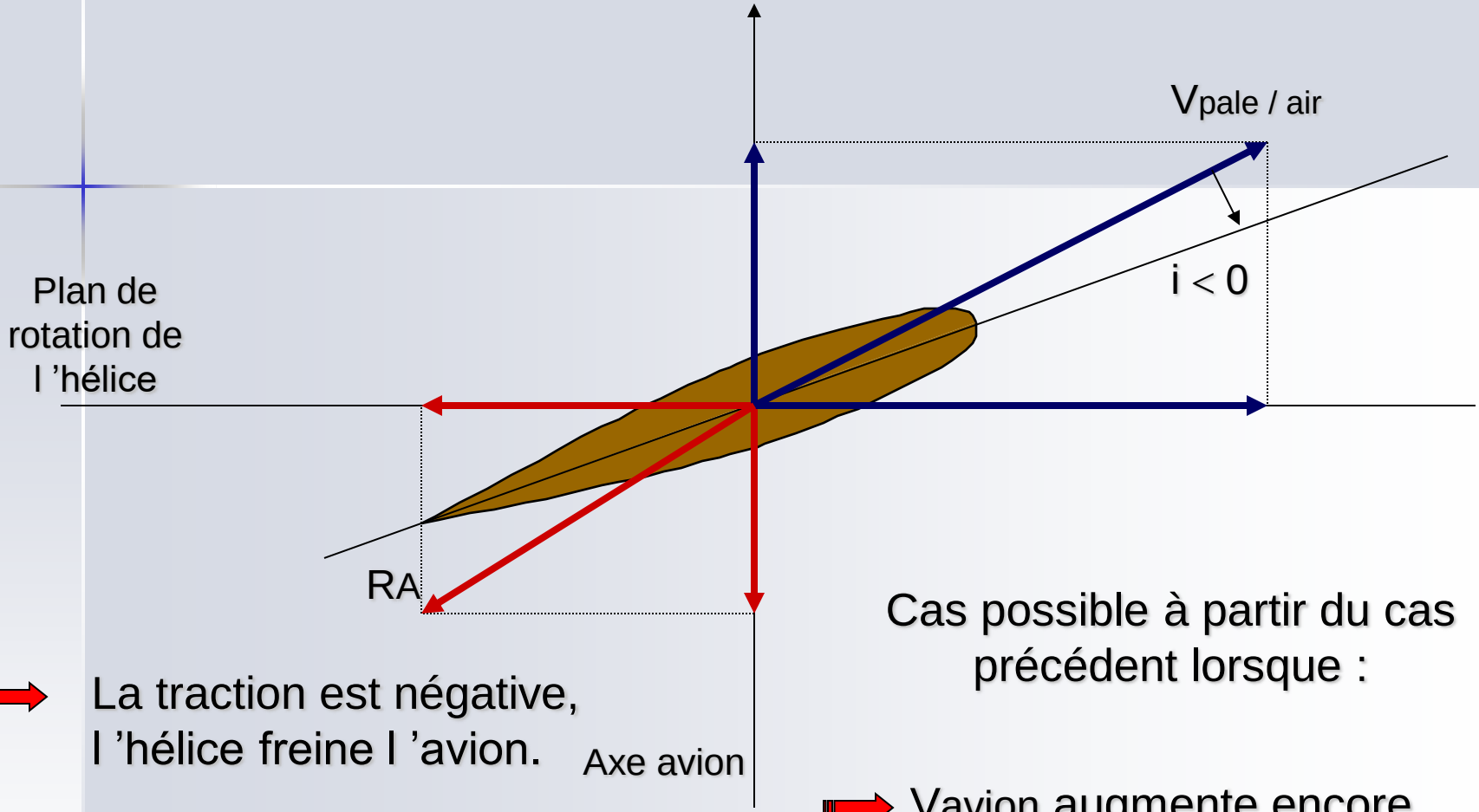


- La traction est nulle,
  Il existe un couple résistant.
- L 'incidence est quasi nulle.

Cas possible à partir du cas précédent lorsque :

- ω moteur diminue.
- Vavion augmente, (avion en piqué, sans réduction moteur).

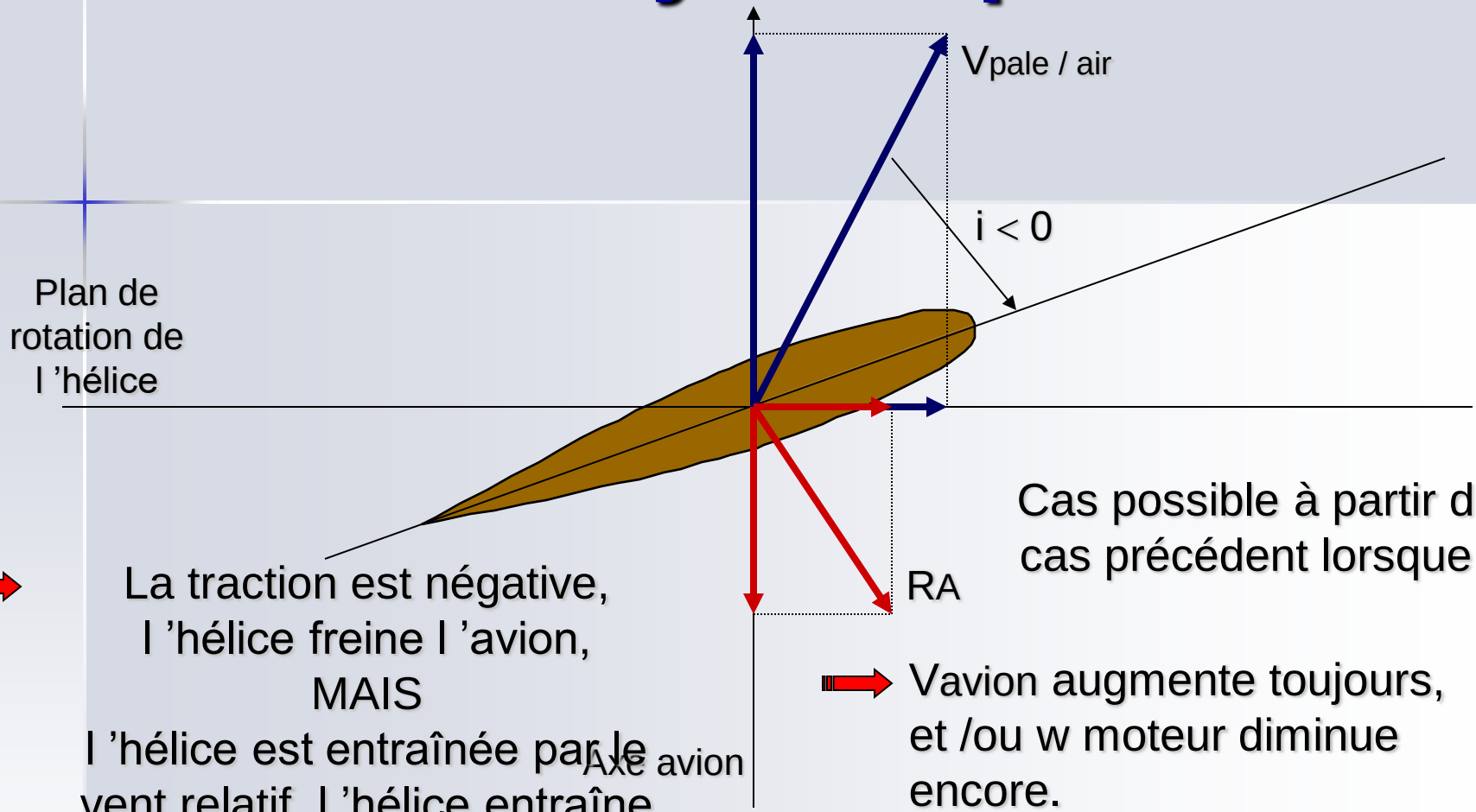
Etude aérodynamique - « frein »



Cas possible à partir du cas précédent lorsque :

- La traction est négative, l 'hélice freine l 'avion.
- L 'incidence est négative.
- Vavion augmente encore, et /ou ω moteur diminue.

Etude aérodynamique - « moulinet »



Cas possible à partir du cas précédent lorsque :

La traction est négative, l 'hélice freine l 'avion, MAIS l 'hélice est entraînée par le vent relatif, l 'hélice entraîne le moteur.

L 'incidence est fortement négative.

Vavion augmente toujours, et /ou w moteur diminue encore.

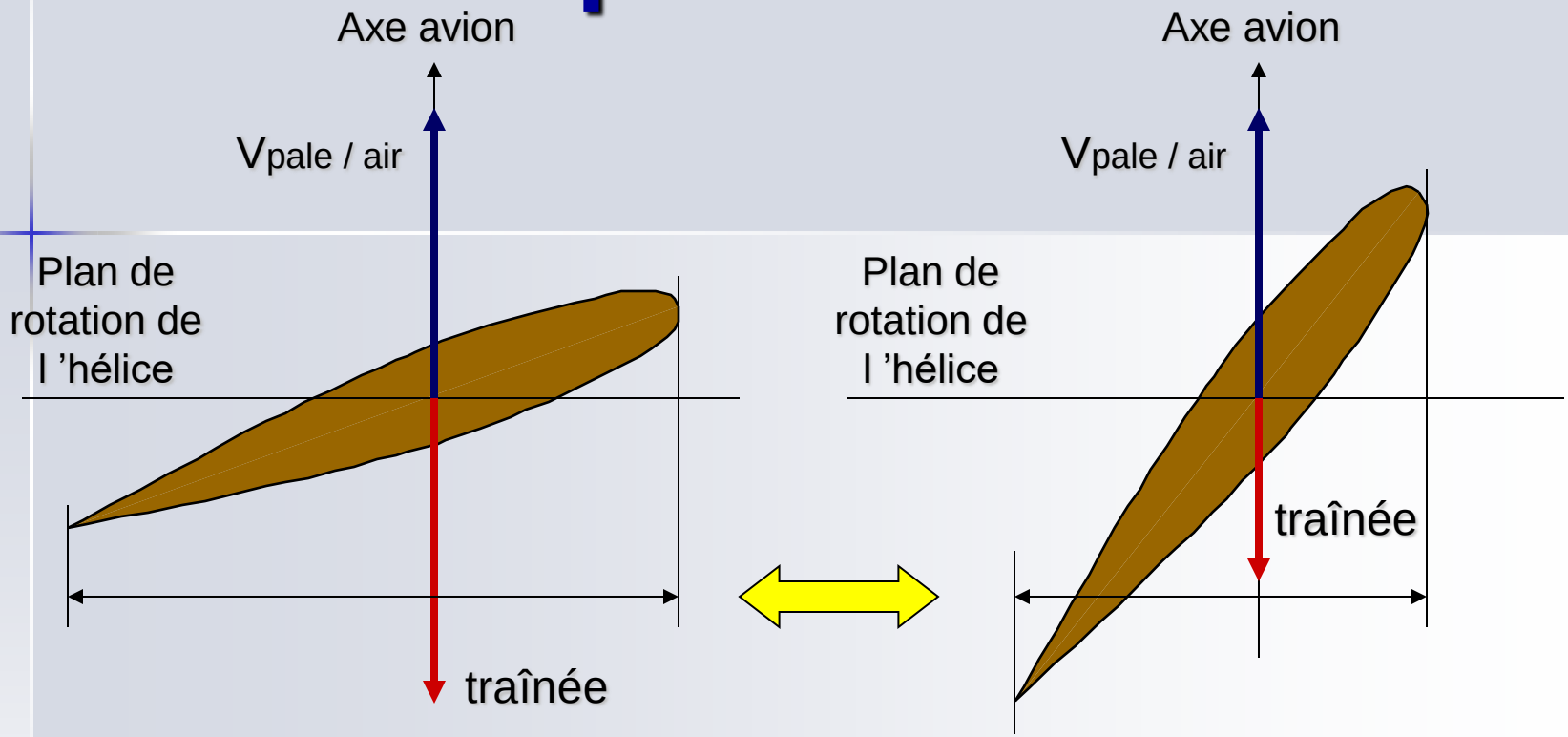
Si l 'hélice cale en vol, la mise en « moulinet » peut permettre un redémarrage . . .

Hélice à calage variable

- L ’angle de calage influence l ’incidence, cela fait un paramètre supplémentaire mais le fonctionnement aérodynamique est identique.

- Par contre, des cas de figures supplémentaires sont possibles :
  - La mise en « drapeau ».
  - Le fonctionnement en « reverse ».

Moteur en panne

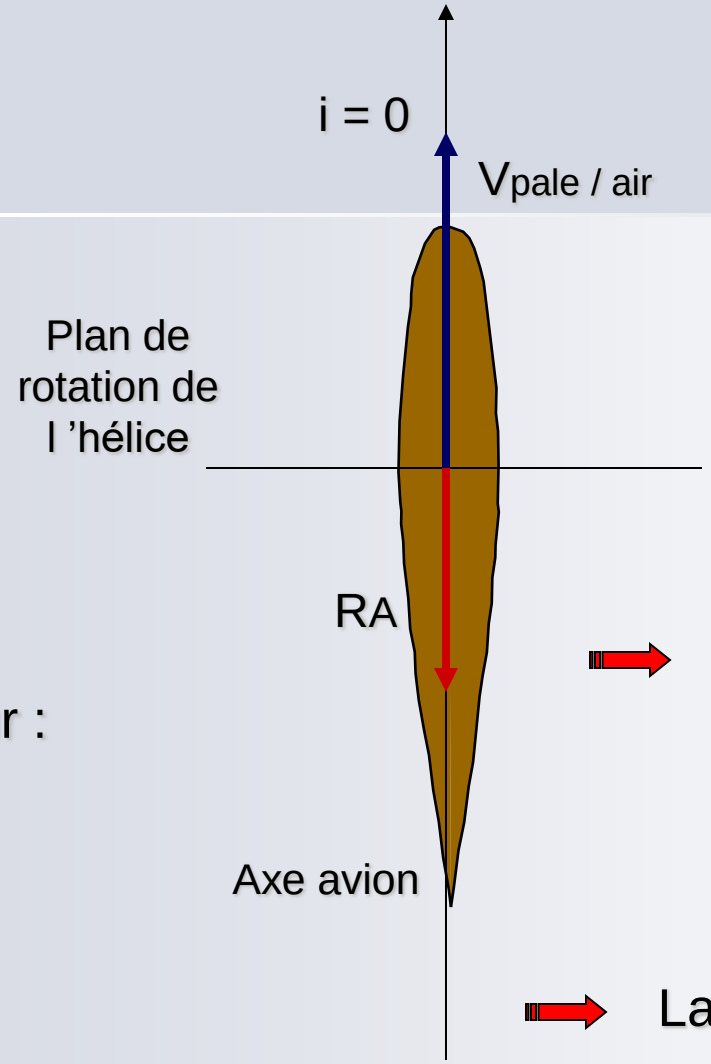


➡ Si le moteur est en panne, autant faire que l 'hélice traîne le moins possible !

➡ Mieux vaut immobiliser l 'hélice plein grand pas.

➡ En théorie, car impossible dans la réalité sur monomoteur à pas variable puisque l 'hélice s 'immobilise automatiquement plein petit pas.

Etude aérodynamique - « drapeau »

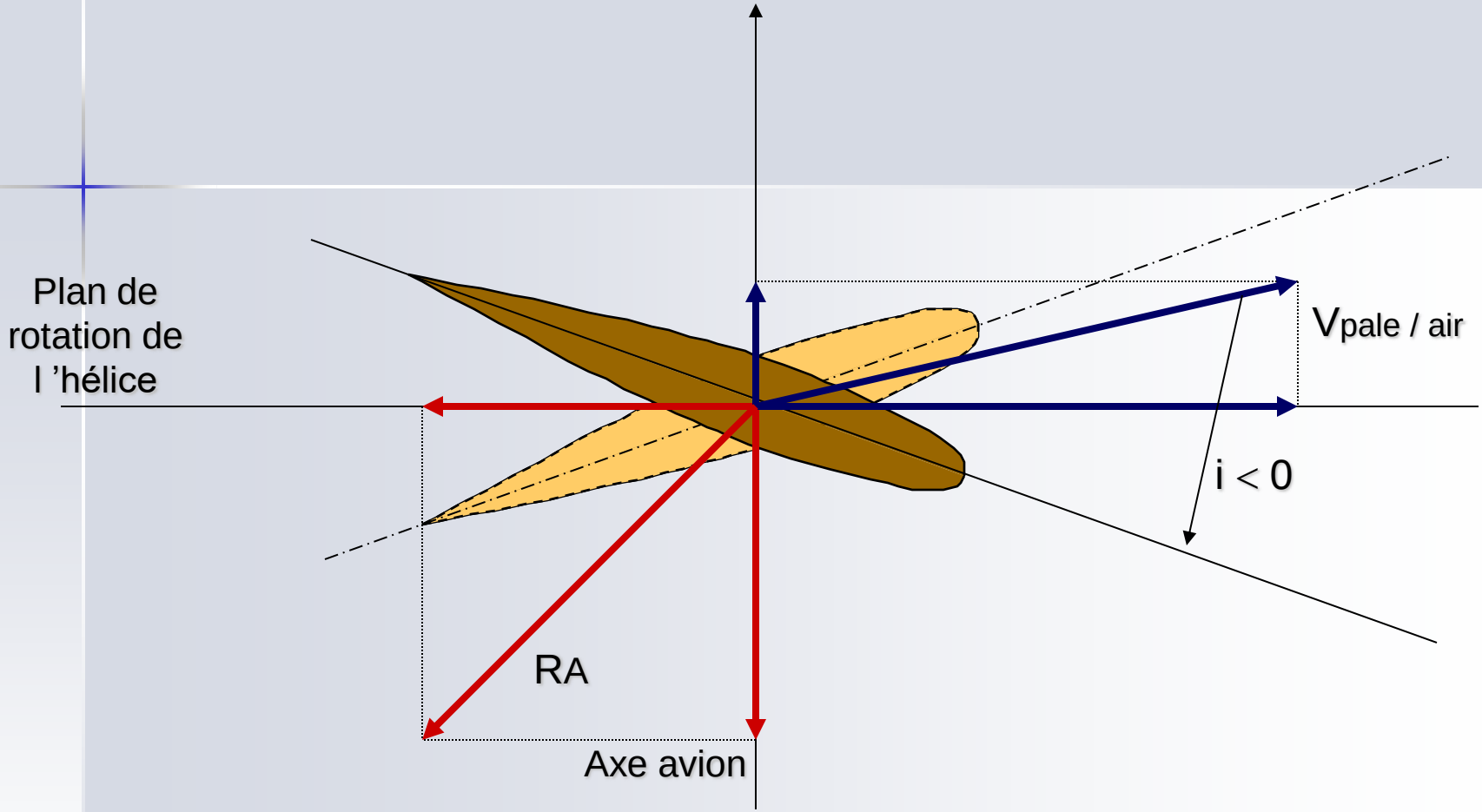


➡ Sur bimoteur :

➡ L 'angle de calage est voisin de 90°.

➡ La pale est immobile.

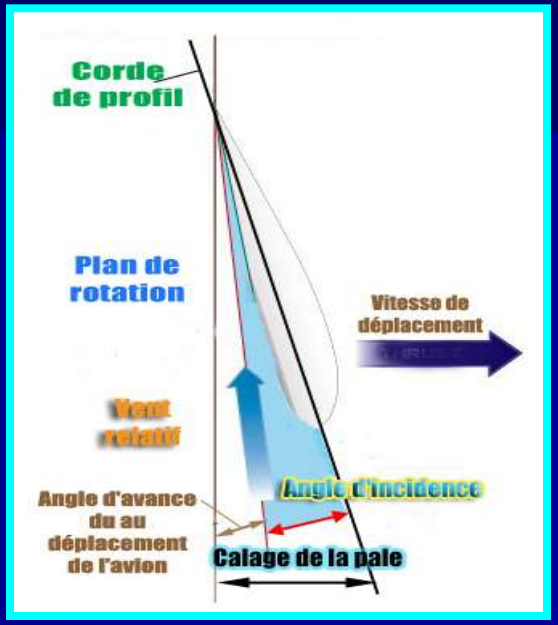
Etude aérodynamique - « reverse »



- L 'incidence est très fortement négative.
- L 'hélice est utilisée en frein aérodynamique.

L'HÉLICE à calage variable

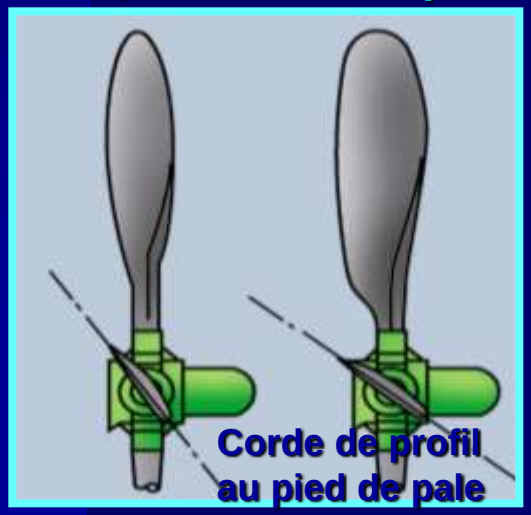
OPTIMISATION DU RENDEMENT

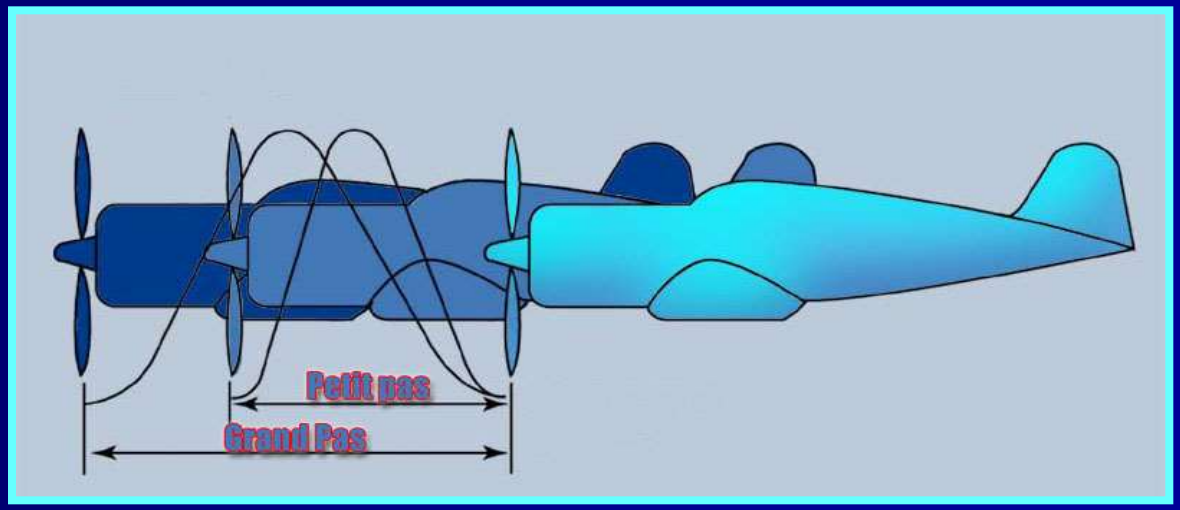


CALAGE VARIABLE

L'optimisation du meilleur angle d'incidence, (donc de la force tractrice) correspondant aux différents régimes de vol (vitesse et puissance disponible) est réalisée par une adaptation de l'angle de calage de l'hélice à la vitesse avion.

Petit pas Grand pas



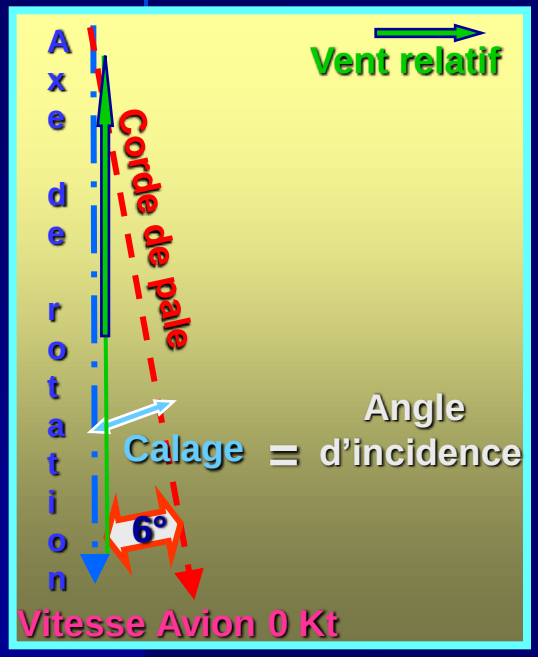


L'HÉLICE à calage variable

OPTIMISATION DU RENDEMENT

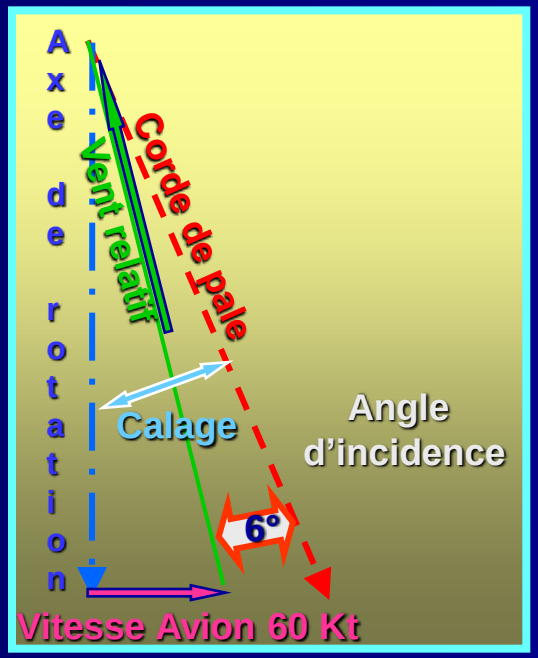
Évolution de l'angle de calage par rapport à la vitesse

Avion à l'arrêt Plein gaz



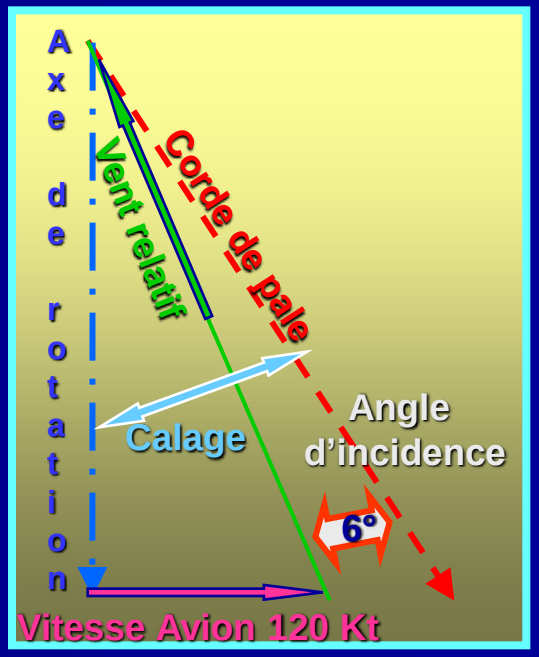
Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation du moteur réglable (puissance suffisante)

Montée initiale Plein gaz



Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation du moteur réglable (puissance suffisante)

Palier croisière Plein gaz

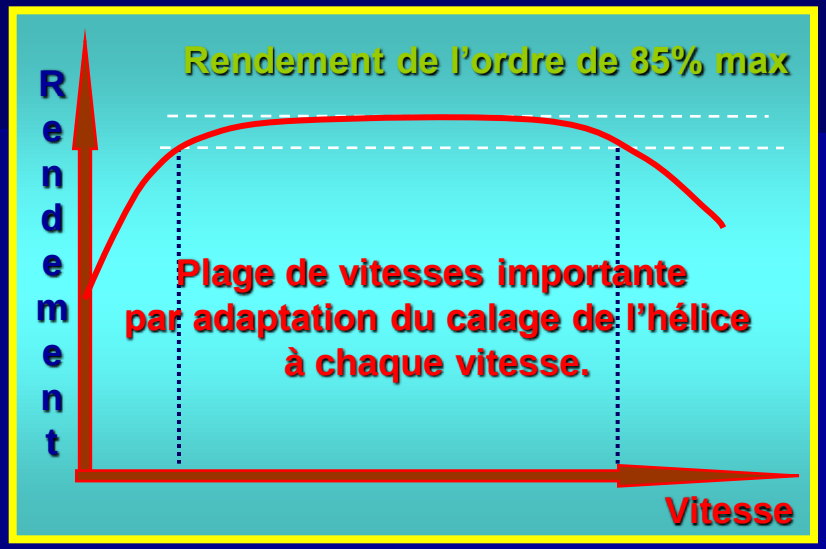


Angle d'incidence faible
=
Traînée insignifiante
Vitesse de rotation du moteur réglable (puissance suffisante)

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

RENDEMENT

Le rendement est optimal sur une très large plage de vitesses.
Il est conditionné par l'utilisation d'une puissance comprise entre 70 et 100 % du régime max.



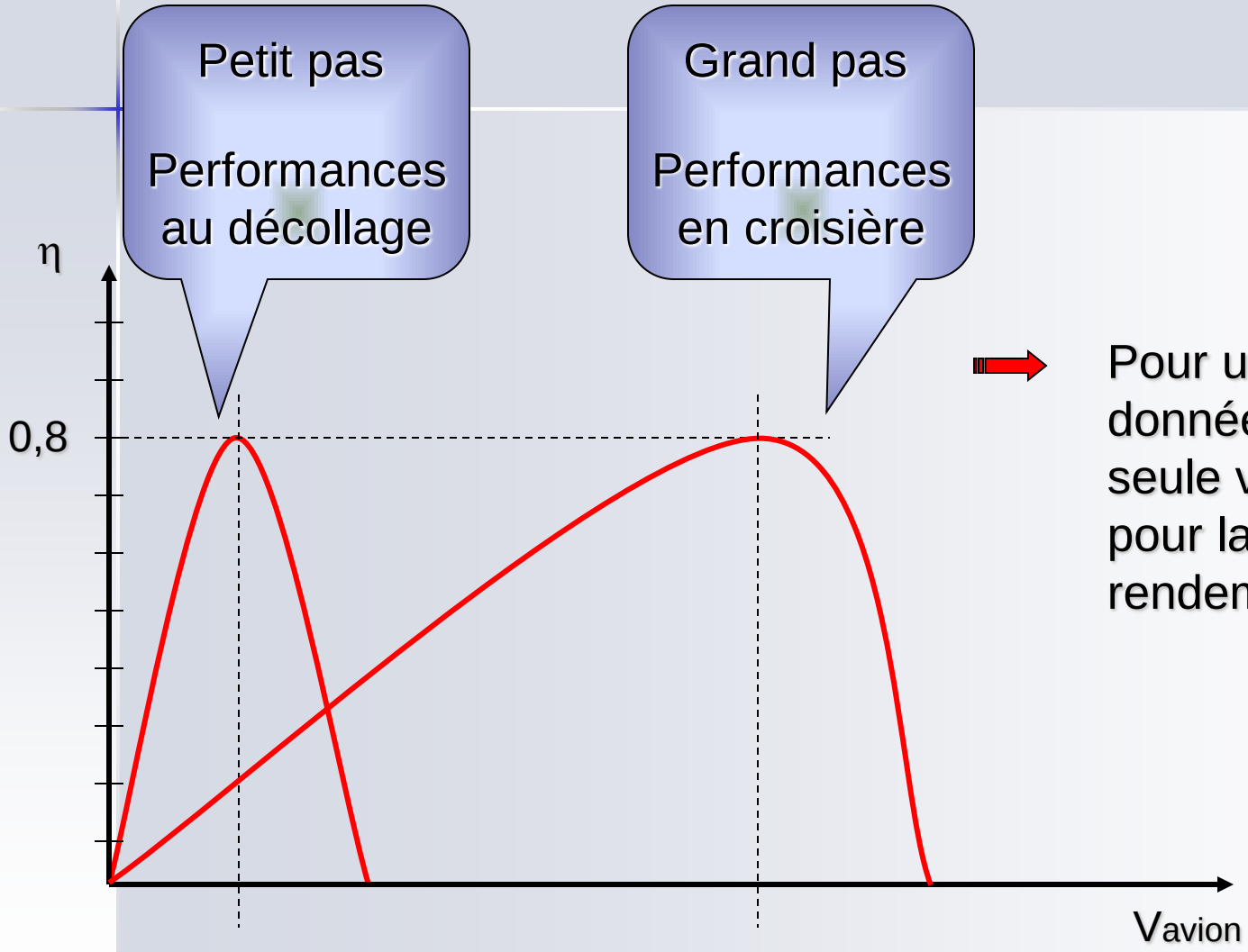
Avantages de l'hélice à calage variable et vitesse constante :

- Rendement important sur une large plage de vitesses :
  - Décollage, traction et montée améliorés ;
  - Vitesse de croisière supérieure ;
- Protection des sur-régimes moteur ;
- Facilité d'emploi.

Inconvénients :

- Coût élevé de l'ensemble hélice – régulateur ;
- Maintenance onéreuse ;
- Poids plus élevé.

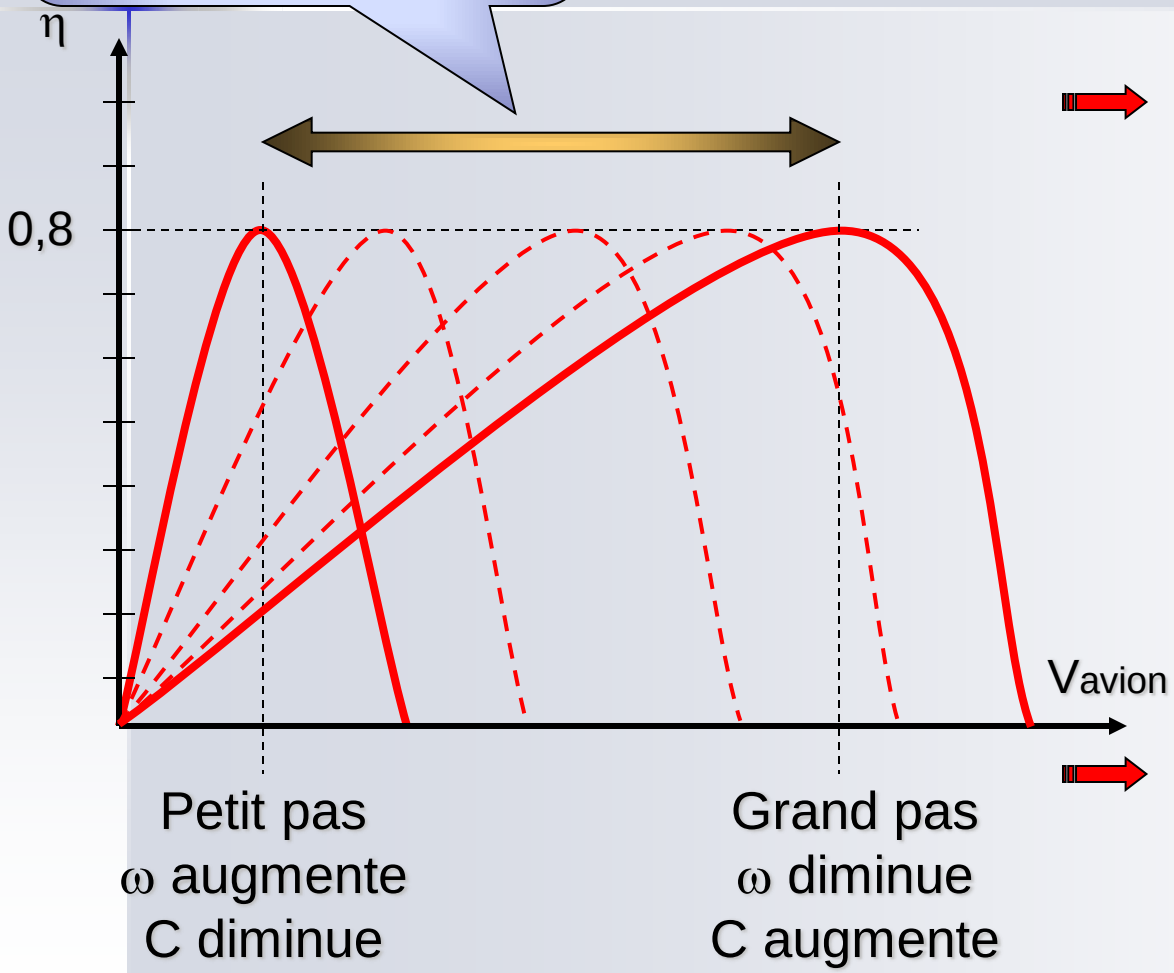
Etude énergétique - petit et grand pas



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

Etude énergétique - pas variable

Variation du pas :
Plage de vitesses
à rendement optimal



➡ Possibilité d ’adapter le pas de l ’hélice à la vitesse de l ’avion.

➡ $P = C . \omega$
A puissance constante, diminuer le pas revient à diminuer le couple récepteur exercé l ’hélice, donc la vitesse de rotation va augmenter !

➡ Difficulté de pilotage,
- risque de sur-vitesse,
- risque de sur-couple.

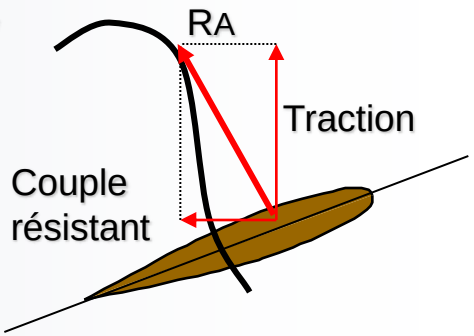
Etude énergétique - hélice « constant speed »

- Equipent la plupart de nos avions à pas variable (ex-qualif. B)
- Exemple : C172RG

- Le pilote affiche une vitesse de rotation souhaitée, un régulateur se charge de gérer le calage entre deux butées correspondants aux valeurs limites.

petit pas : 12°
grand pas : 26,5°

- Le calage recherché à chaque instant correspond au meilleur rendement, soit au meilleur rapport traction / couple résistant, . . . incidence de finesse max . . . cf polaire de l 'hélice (Lilienthal).



CONSEQUENCES :

- Les positions « plein grand pas » et « plein petit pas » ne correspondent pas nécessairement au plus grand et au plus petit calage.

- Il faut afficher une vitesse de rotation cohérente pour que le régulateur fonctionne correctement sinon on atteint les butées de calage et le rendement est mauvais.

Aspects pratiques - les commandes

C172RG

Position :				
« Poussé	« Arrêt »	« Plein gaz »	« Petit pas »	« Plein riche »
«Tirée »	«Marche »	«Ralenti »	«Grand pas »	«Plein pauvre »

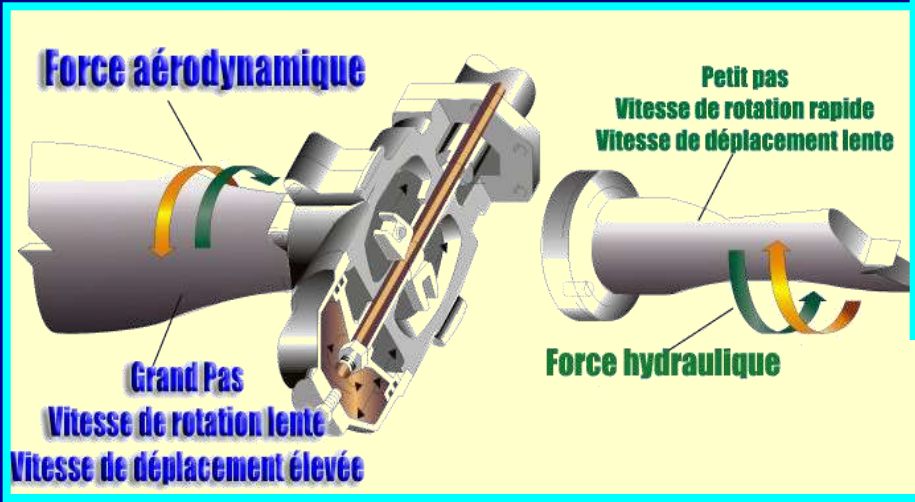
L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

OPTIMISATION DU RENDEMENT

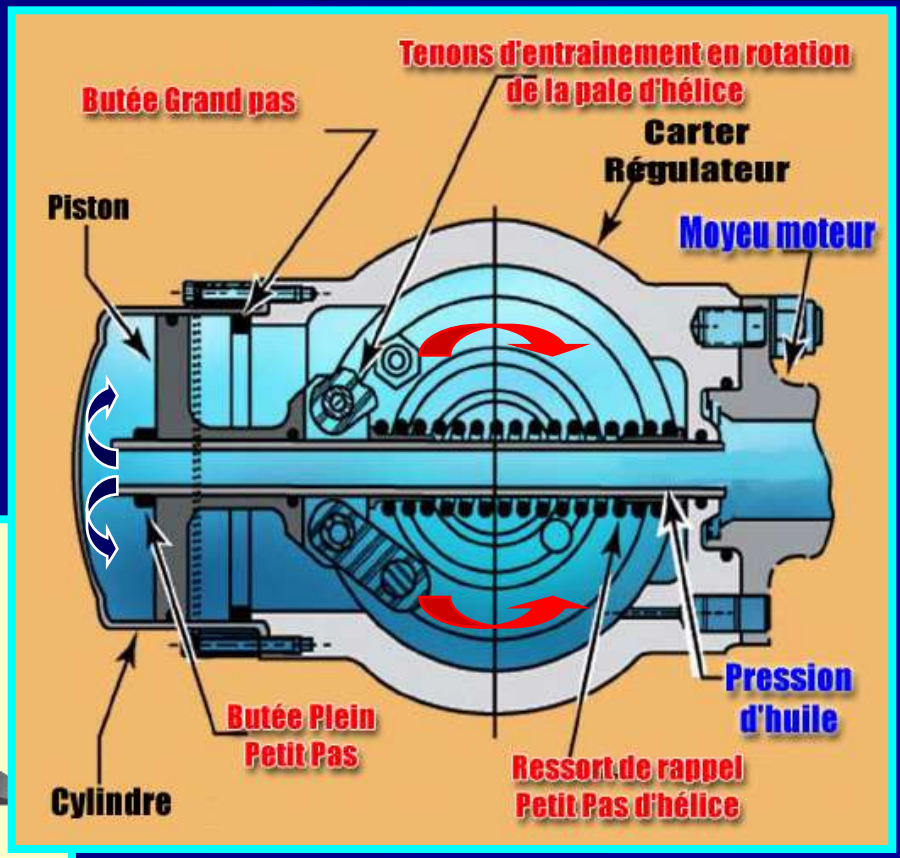
VITESSE CONSTANTE

La conduite du GMP est facilitée par l'adjonction d'un régulateur de régime de rotation de l'hélice.

Celui-ci règle automatiquement l'angle de calage de l'hélice en fonction des conditions de vol (décollage, montée, croisière, …).



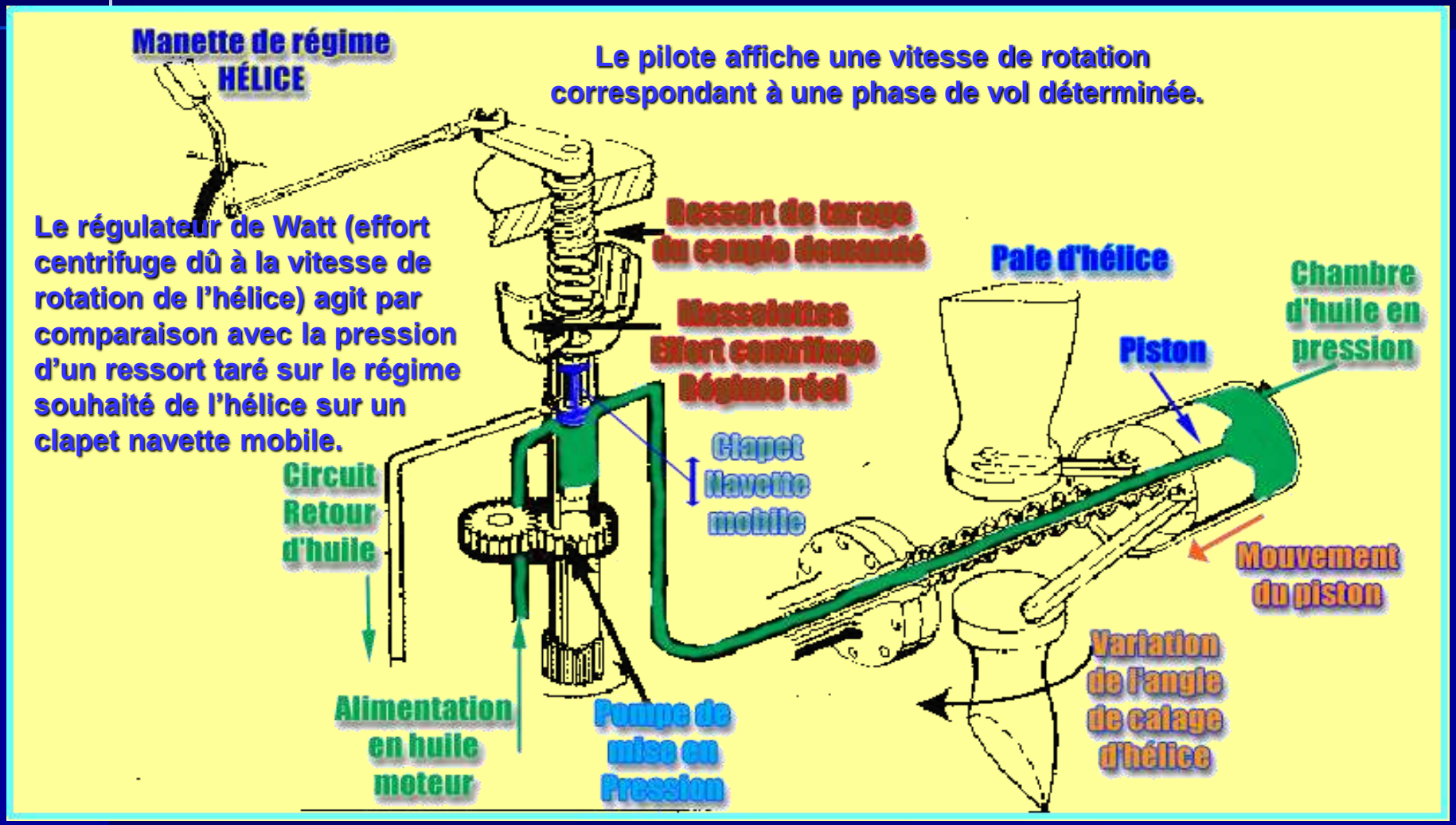
Régulateur d'hélice



La variation automatique de calage est basée sur l'équilibre du couple moteur et du couple résistant.

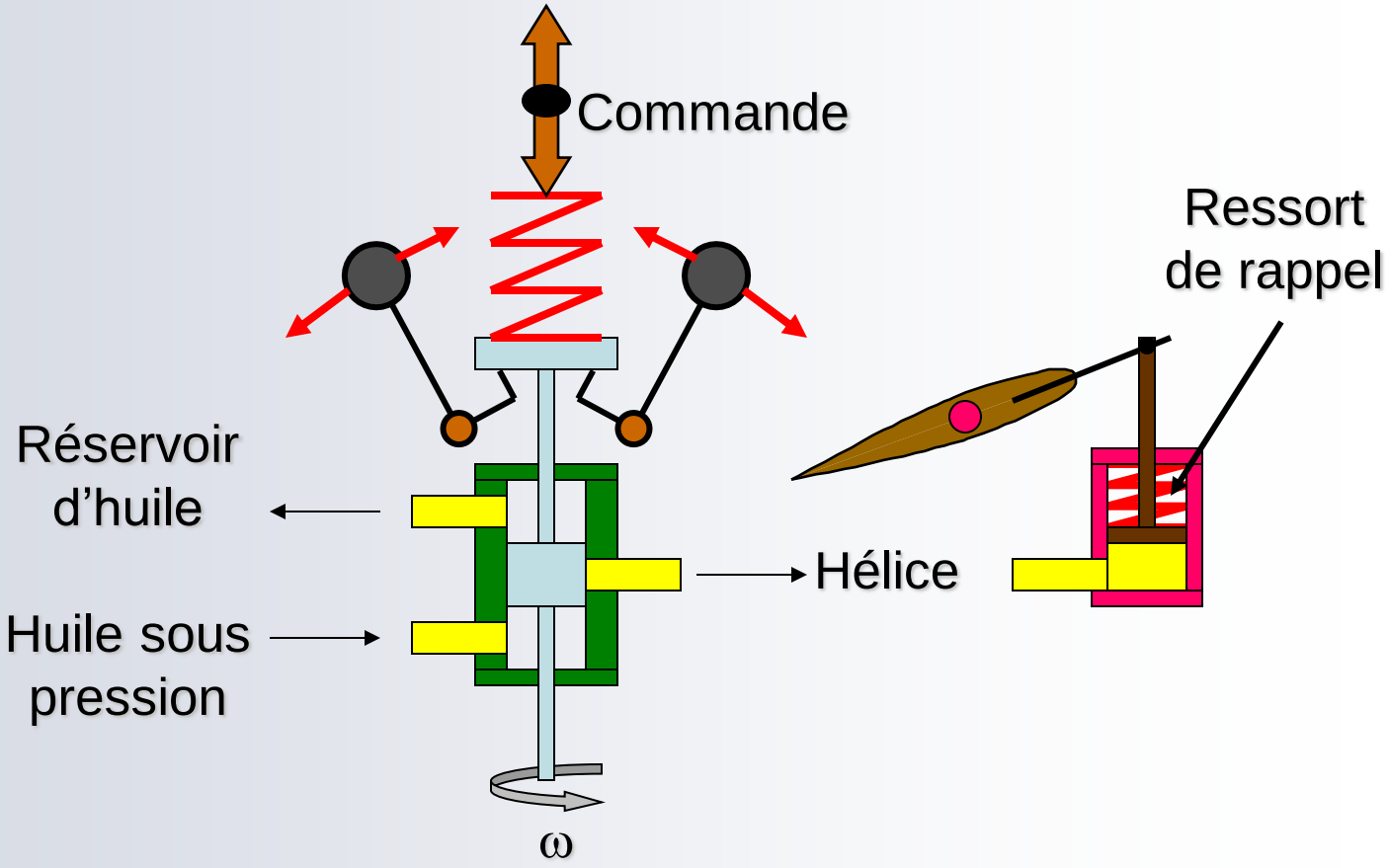
L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

FONCTIONNEMENT DU RÉGULATEUR D'HÉLICE



Aspects pratiques - le régulateur (1)

Schéma de principe d ’un régulateur hydraulique.



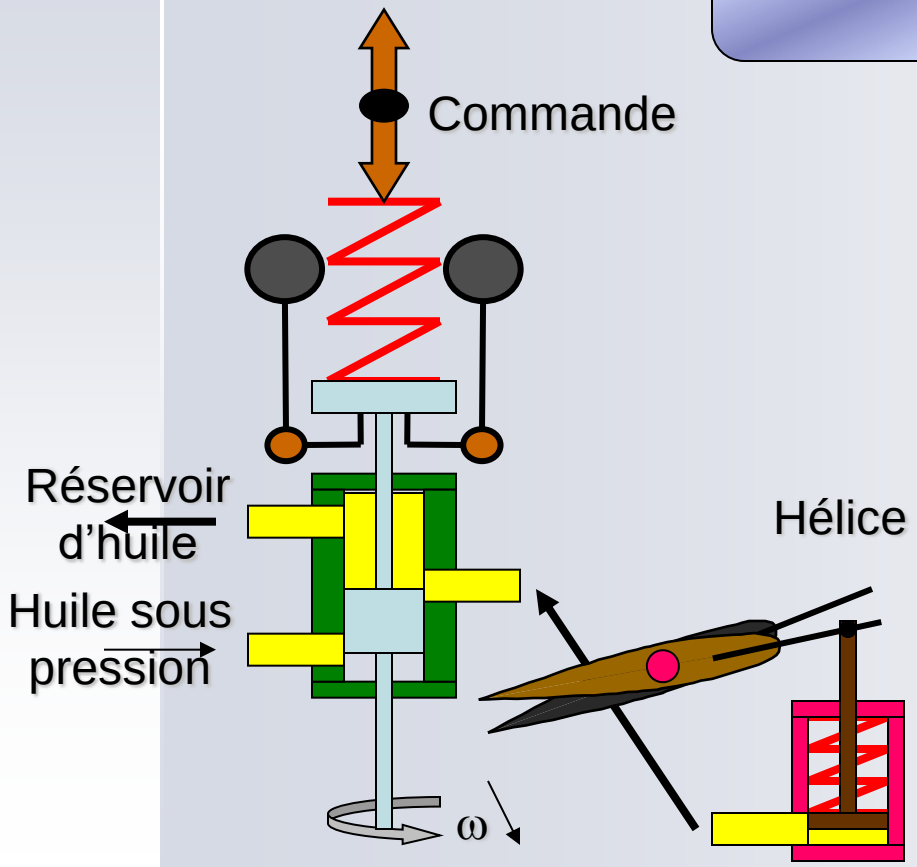
Ici en position d ’équilibre . . .

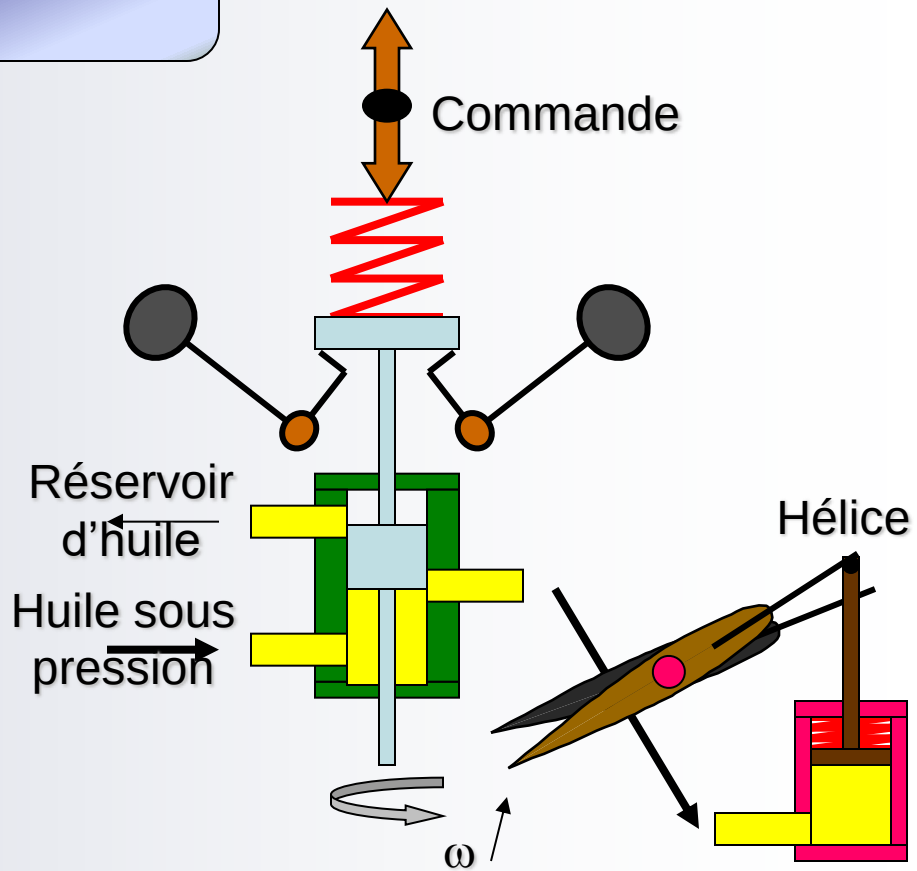
Aspects pratiques - le régulateur (2)

ω diminue . . .
le ressort de rappel renvoie de l ’huile de l ’hélice vers le réservoir
. . .
le calage diminue.

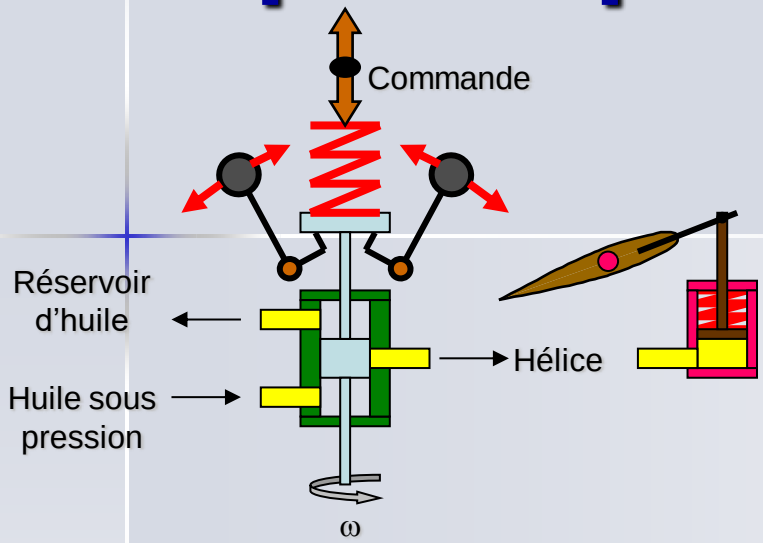
Fonctionnement.

ω augmente . . .
de l ’huile sous pression est envoyée vers l ’hélice . . .
le calage augmente.





Aspects pratiques - le régulateur (3)



- Action identique au niveau de la commande :
  - pousser la manette revient à rapprocher les masselottes,
  - tirer la manette éloigne les masselottes.

CONSEQUENCE :

- En cas de panne moteur (monomoteur) ou une fuite sur le circuit d 'huile, le ressort de rappel place les pales de l 'hélice au calage mini.

ATTENTION :

- Le régulateur n 'est actif qu 'à partir d 'une puissance affichée (P adm) minimale.
- Notion de « seuil critique » : en dessous de certaines valeurs Padm / ω, le distributeur du régulateur n 'est plus stable, des « sautes » de régulations sont possibles.

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

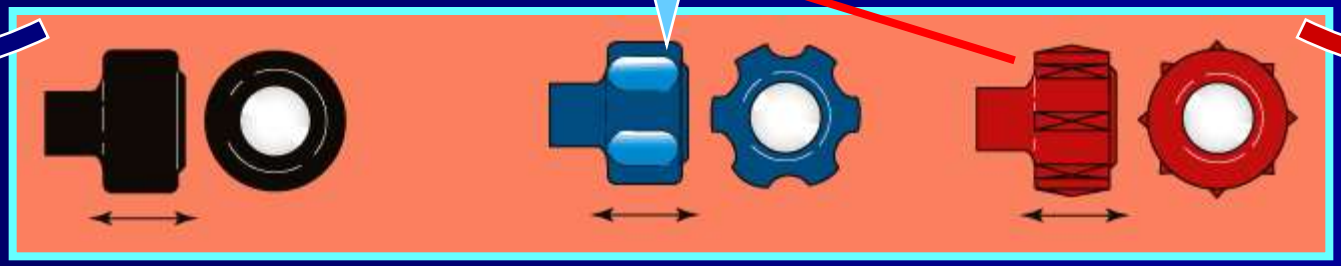
COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Pression d'Admission
en Pouces de mercure

Consommation instantanée
en Gallons par heure

Tachymètre
en Tours par minute (X 100)

Température Gaz Echappement (EGT)
en Degrés Fahrenheit



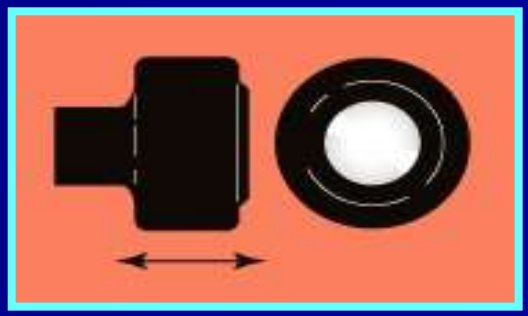
Pression d'Admission | **Régime Hélice** | **Mixture**

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Commande de Pression d'Admission

Cette commande, de couleur noire ou métal, agit sur l'ouverture du papillon d'admission d'air non carburé ainsi que sur la quantité d'essence injectée. Elle agit directement sur la puissance demandée au moteur.

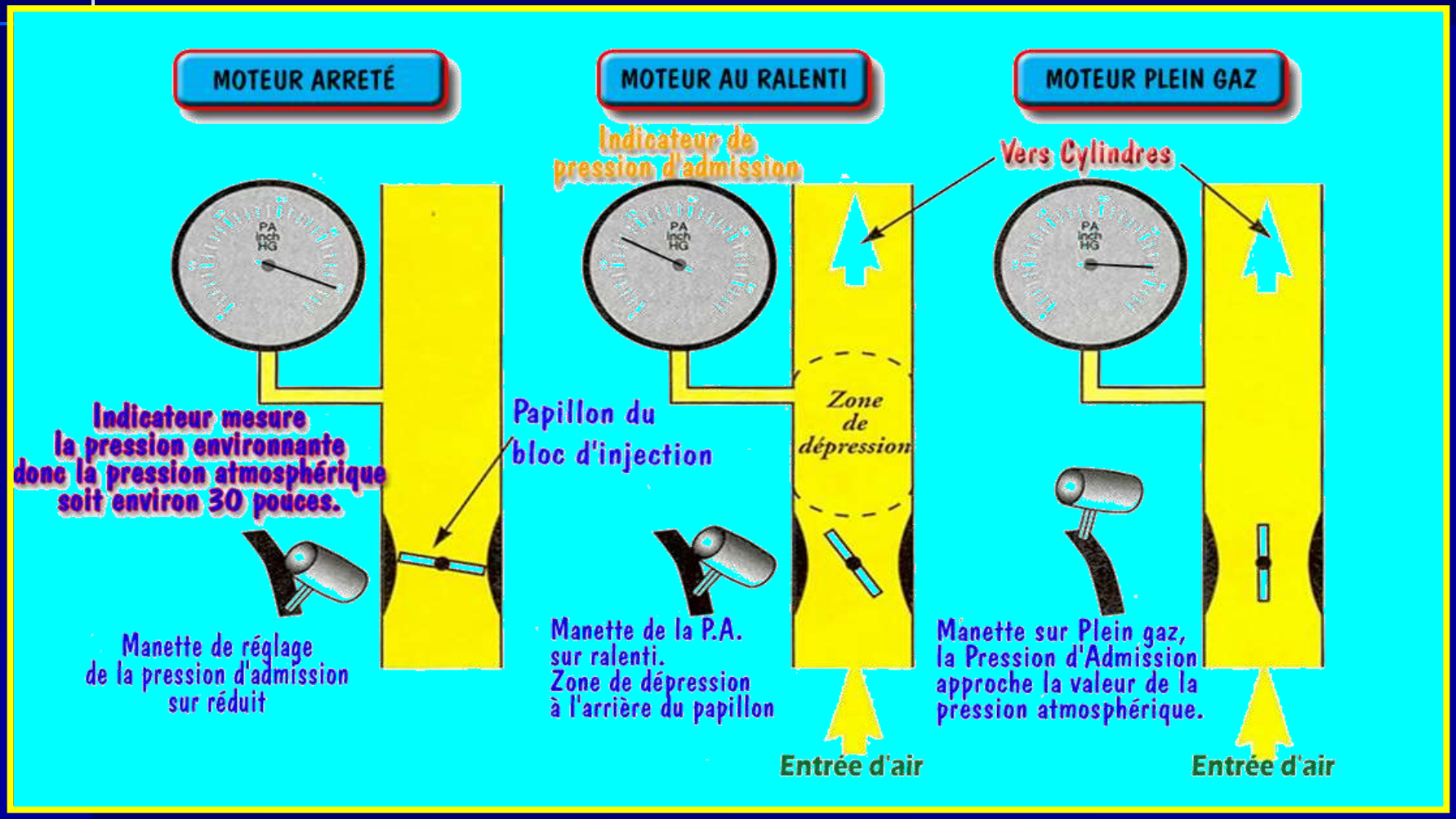


Au sol, moteur arrêté, la pression d'admission indique la pression atmosphérique.
En montée, la diminution de la pression atmosphérique nécessite une action sur la PA.

La valeur de la PA et le contrôle sont effectués, par référence au manuel constructeur, sur la partie gauche de l'instrument ci-contre.
L'unité courante est le Pouce de mercure

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

VALEURS DE L'INDICATEUR DE PRESSION D'ADMISSION



L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

PRESSION D'ADMISSION ET ALTITUDE

(PUISSANCE PLEIN GAZ SUR MOTEUR ATMOSPHÉRIQUE)

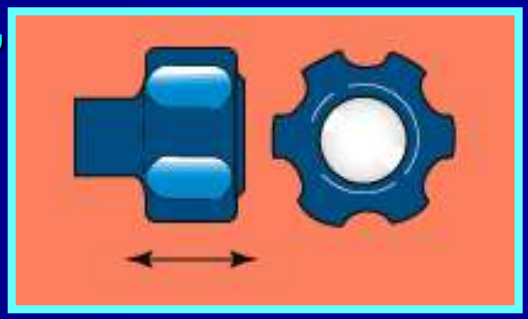
ALTITUDE (en Feet)	PRESSION ADM (Pouces de Mercure)	% de puissance nominale
10000	18,7	70,8
9000	20,2	73,5
8000	21,0	76,2
7000	21,9	78,9
6000	22,8	81,7
5000	23,7	84,6
4000	24,6	87,5
3000	25,6	90,5
2000	26,6	93,6
1000	27,7	96,8
Niveau de la mer	28,7	100,0

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Commande d'hélice

La manette de régime d'hélice, de couleur bleue, détermine une vitesse de rotation (RPM) du moteur et de l'hélice.



Elle peut varier graduellement par rotation du pommeau ou par déclenchement central :

- de la position plein « grand pas » (sens antihoraire ou manette en arrière) ;
- au « plein petit pas » (sens horaire ou manette en butée avant).

Elle commande le nombre de tours par minute de l'hélice (RPM).

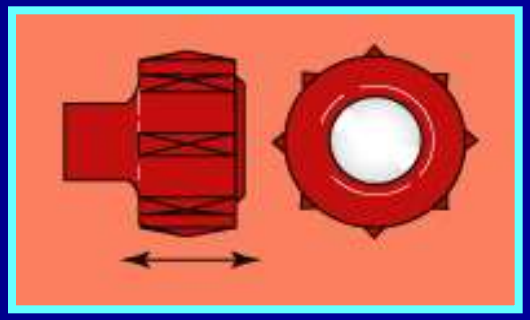
L'instrument de contrôle associé est le compte-tours (tachymètre).

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

COMMANDES ET INSTRUMENTS DE CONTRÔLE

Commande de richesse (Mixture)

La mixture, de couleur rouge, a également une forme dentelée et peut se visser (réglage fin) ou se déplacer d'avant en arrière en poussant un bouton central d'enclenchement (amorçage ou étouffoir).



Deux instruments de contrôle sont associés, l'un pour la consommation instantanée, l'autre pour mesurer la température des gaz d'échappement.

Le débitmètre ou Fuel Flow (partie droite de l'instrument) est considéré comme un préréglage (mesure le débit et non le mélange).

L'EGT (Exhaust Gaz Température) permet le réglage du mélange air/essence à toutes les altitudes par sa mesure fine de la température des gaz d'échappement.

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

PROCÉDURE DE RÉGLAGE DE L'E.G.T.

MOTEUR A INJECTION

Le dosage Essence / Air est primordial pour le bon fonctionnement, la fiabilité et la longévité du moteur.

La relation liant la Puissance du moteur et la Température des gaz d'échappement permet de régler précisément le mélange Essence / Air.

Croisière Plein riche

Température du moteur et des gaz d'échappement trop froide.

Recherche Pic E.G.T.

Appauvrir lentement avec mixture
la température augmente jusqu'à un max
Positionner l'aiguille de référence.

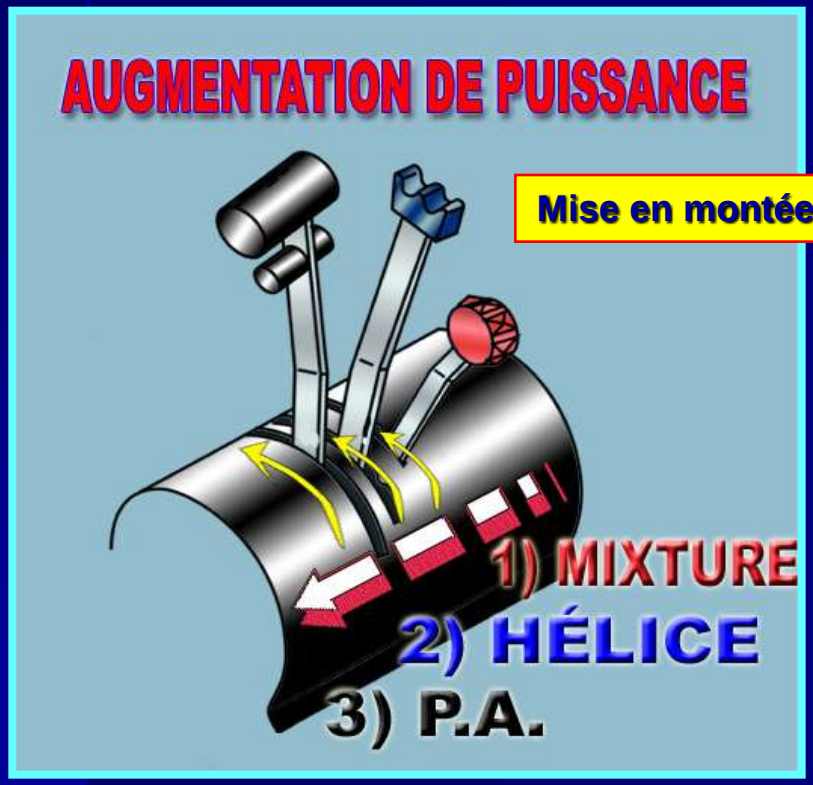
Réglage optimum E.G.T.

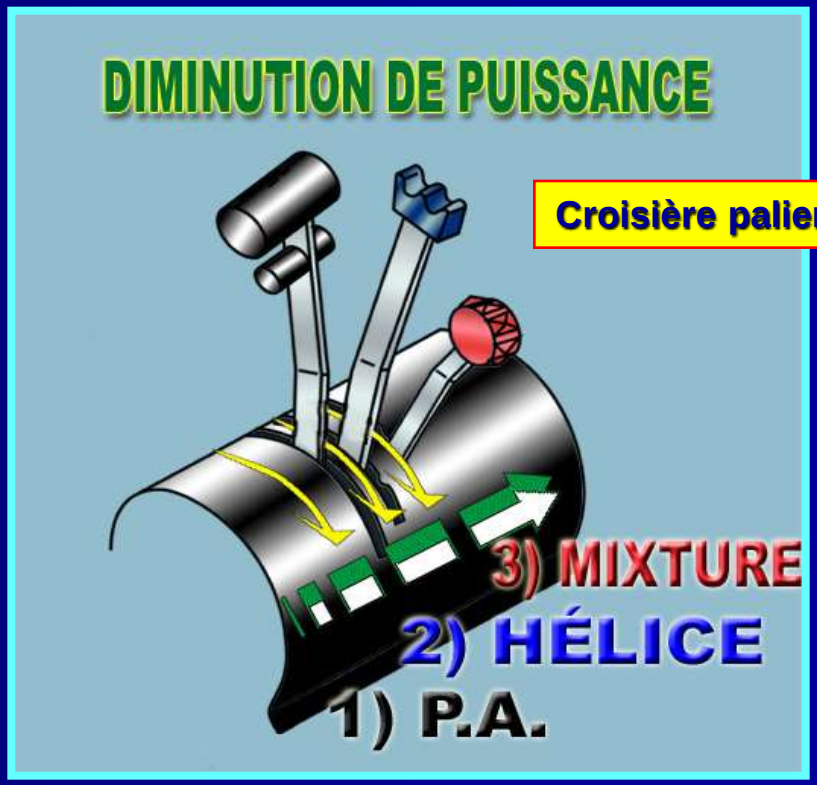
Enrichir lentement avec la mixture
jusqu'à la perte de 4 déviations
Réglage Puissance-Vitesse.

L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

PROCÉDURES D'UTILISATION DES COMMANDES

Le couple résistant doit rester inférieur à la limite de résistance des matériaux, d'où l'obligation du respect de l'ordre d'utilisation des manettes de Pression d'Admission, de régime d'Hélice et de Mixture.





Toujours réduire le couple résistant avant d'augmenter le couple moteur

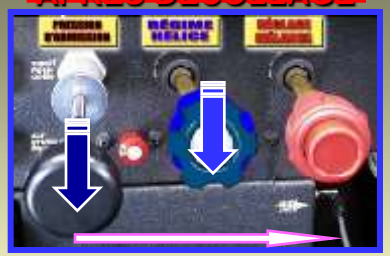
L'HÉLICE à calage variable et vitesse constante

PROCÉDURES D'UTILISATION DES COMMANDES

DÉCOLLAGE

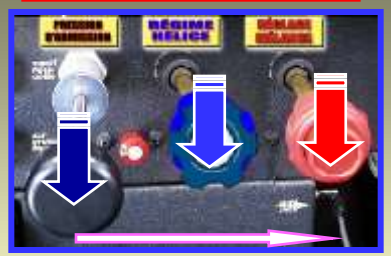
1) Plein Riche
2) Plein Petit Pas
3) Plein gaz

MONTÉE APRES DÉCOLLAGE



1) PA montée
2) RPM montée
3) Plein Riche vérifié

CROISIERE



1) PA croisiere
2) RPM croisière
3) Mélange réglé

+ PUISSANCE

1) Plein Riche
2) RPM montée
3) PA montée

DESCENTE

1) Plein Riche
2) RPM croisière
3) PA descente

ATTERRISSAGE

1) Plein Riche
2) Plein Petit Pas
3) PA à la demande

Aspects pratiques - utilisation (1)

R RISQUES : ⇨ Le régulateur permet de caler les pales de l ’hélice sur une plage définie et limitée par des butées.

1 SEUIL CRITIQUE : instabilité du régulateur (et donc du calage des pales de l ’hélice) pour des affichages inadaptés.
(sur C172RG : en dessous de Padm : 19 ’ et ω : 2000 tr/mn).

2 COUPLE RECEPTEUR trop fort, risque de CALAGE : avec une vitesse de rotation faible (fort calage), il y a peu de « reprise ». Cela revient à essayer démarrer en cote en 5ième avec une automobile.

3 Risque de sur-vitesse hélice : Si l ’on diminue brutalement la Padm alors que la vitesse de rotation est importante (vent arrière en tour de piste), l ’avion est freiné par l ’hélice, et celle-ci risque de s ’accélérer. De plus si l ’on est en descente (cas d ’une arrivée rapide), la butée de calage (grand pas) peut être atteinte, et la vitesse de rotation peut dépasser la limite autorisée.

4 Risque de sur-couple moteur : Augmenter la puissance sans préalablement augmenter la vitesse de rotation revient à augmenter le couple exercé sur le vilebrequin.

Aspects pratiques - utilisation (2)

AU SOL :

ESSAIS MOTEUR :

- Les essais des magnétos, réchauffage carburateur et ralenti sont fait « plein petit pas », étant sous le seuil de régulation, la manette de Padm est utilisée comme sil ’on avait une hélice à calage fixe.

- Un essai de régulation est réalisé : pour cela il faut afficher une puissance suffisante, permettant d ’atteindre le seuil de régulation. (sur C172RG : 2000 tr/mn), puis on passe la manette de rotation de l ’hélice sur « plein grand pas » à deux reprises.
Lors de la première manipulation, on vérifie que le nombre de tours hélice diminue puis revient vers 2000 tr/mn lorsque l ’on repasse en « plein petit pas »,
Lors de la seconde manipulation, on vérifie que la pression d ’huile n ’évolue pas au cours de la manœuvre.

- Le décollage sera effectué manette de rotation hélice sur « **PLEIN PETIT PAS** »

Aspects pratiques - utilisation (3)

EN VOL :

2 REGLES SIMPLES :

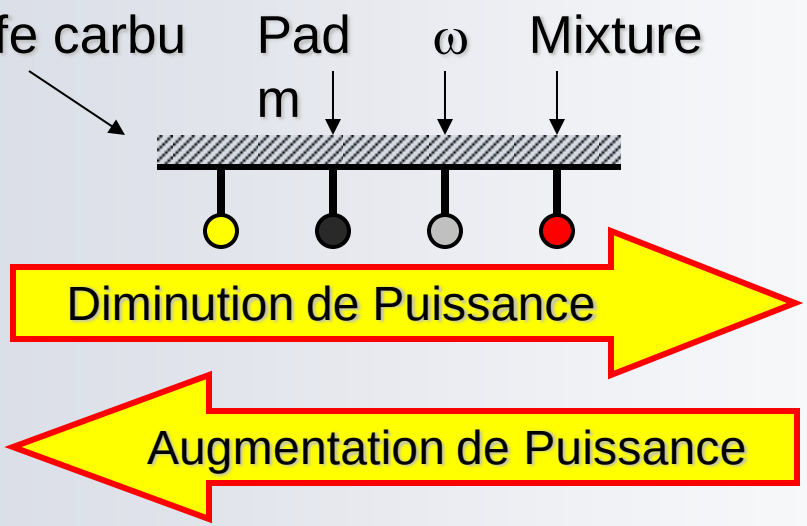
R1

Padm (en ') toujours inférieure ou égale à ω (en tr/mn*100).

Ex sur C172RG :

23 ' et 2300 tr/mn	➡ OUI
21 ' et 2300 tr/mn	➡ OUI
25 ' et 2300 tr/mn	➡ NON
25 ' et 2500 tr/mn	➡ OUI

R2



Aspects pratiques - utilisation (4)

CONCLUSION :

- Eviter les manipulations brutales des manettes, respecter l ’ordre et les sens de manipulation, pour éviter les sur-régimes, et les sur-couples.

En CAS DE PANNE (fuite hydraulique) :

- Penser que l ’hélice passe automatiquement en plein petit pas, l ’utiliser comme une hélice à calage fixe en faisant attention au sur-régime.

SECURITE =

CONNAISSANCE
+
PREVENTION

- Respect des consignes d ’utilisation (manuel de vol), pré-affichages, . . . et des 2 règles élémentaires d ’utilisation.
- Visite pré-vol (état de l ’hélice, jeux, fuites d ’huile, . . .), et essai de régulation lors des essais moteur.

HELICES : EFFETS AERODYNAMIQUES

- **EFFETS DUS AU COUPLE MOTEUR**
  - Mise en évidence
  - Effets en vol et remèdes
  - Effets au sol et remèdes
- **EFFETS DUS AU SOUFFLE HELICOIDAL**
  - Mise en évidence
  - Effets en vol et remèdes
- **EFFET GYROSCOPIQUE DE L'HELICE**
  - Causes d'apparition du phénomène
  - Effets en utilisation et remèdes
  - Particularités

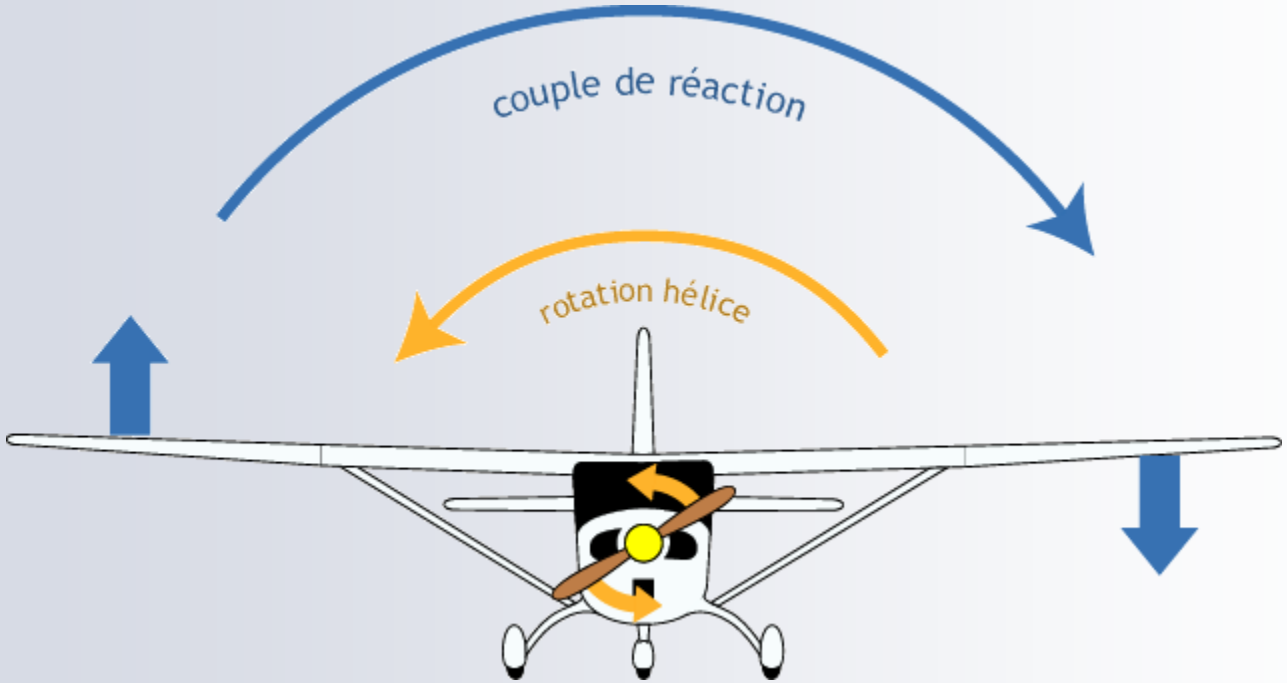
HELICES : EFFETS AERODYNAMIQUES

- EFFETS DUS A UNE TRACTION ASSYMETRIQUE
  - Mise en évidence
  - Effets en vol et remèdes
  - Moteur critique

• Effets dus au couple moteur

- Mise en évidence

Selon le principe de l'action / réaction, comme l'hélice tourne dans un sens (action), l'avion tend à tourner en sens opposé (réaction).



Le couple moteur engendre un couple contraire autour de l'axe de roulis. Celui-ci doit être compensé.

Effets en vol et remèdes

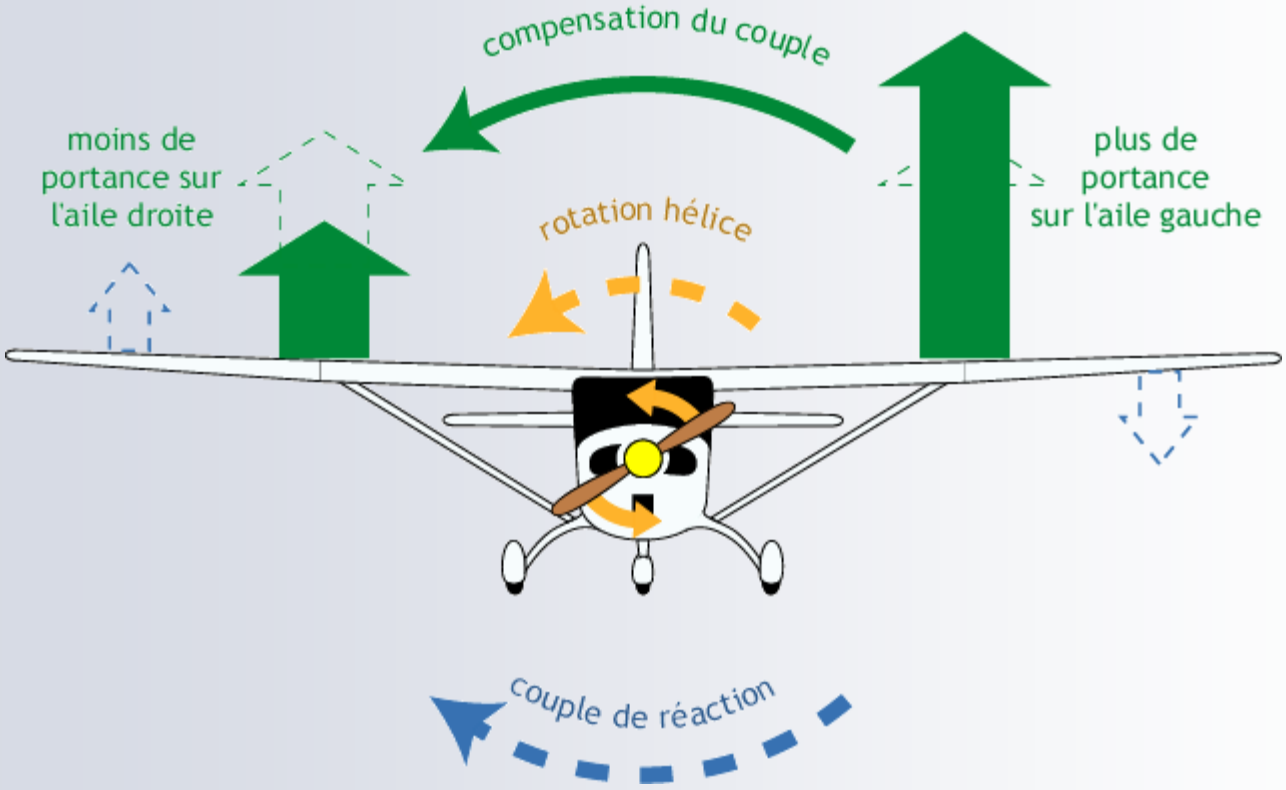
Pour annuler l'effet de couple moteur, il faut créer un couple opposé autour de l'axe de roulis.

Cela revient à générer plus de portance sur l'aile qui descend et moins sur celle qui monte.

Effets en vol et remèdes

Pour annuler l'effet de couple moteur, il faut créer un couple opposé autour de l'axe de roulis.

Cela revient à générer plus de portance sur l'aile qui descend et moins sur celle qui monte.



Pour créer la différence de portance, il faut :

- que la surface de la demi voilure qui descend soit plus grande que celle de la demi voilure qui monte, ou
- que le calage de la demi voilure qui descend soit plus fort que celui de la demi voilure qui monte.

Comme l'intensité de l'effet de couple moteur dépend de :

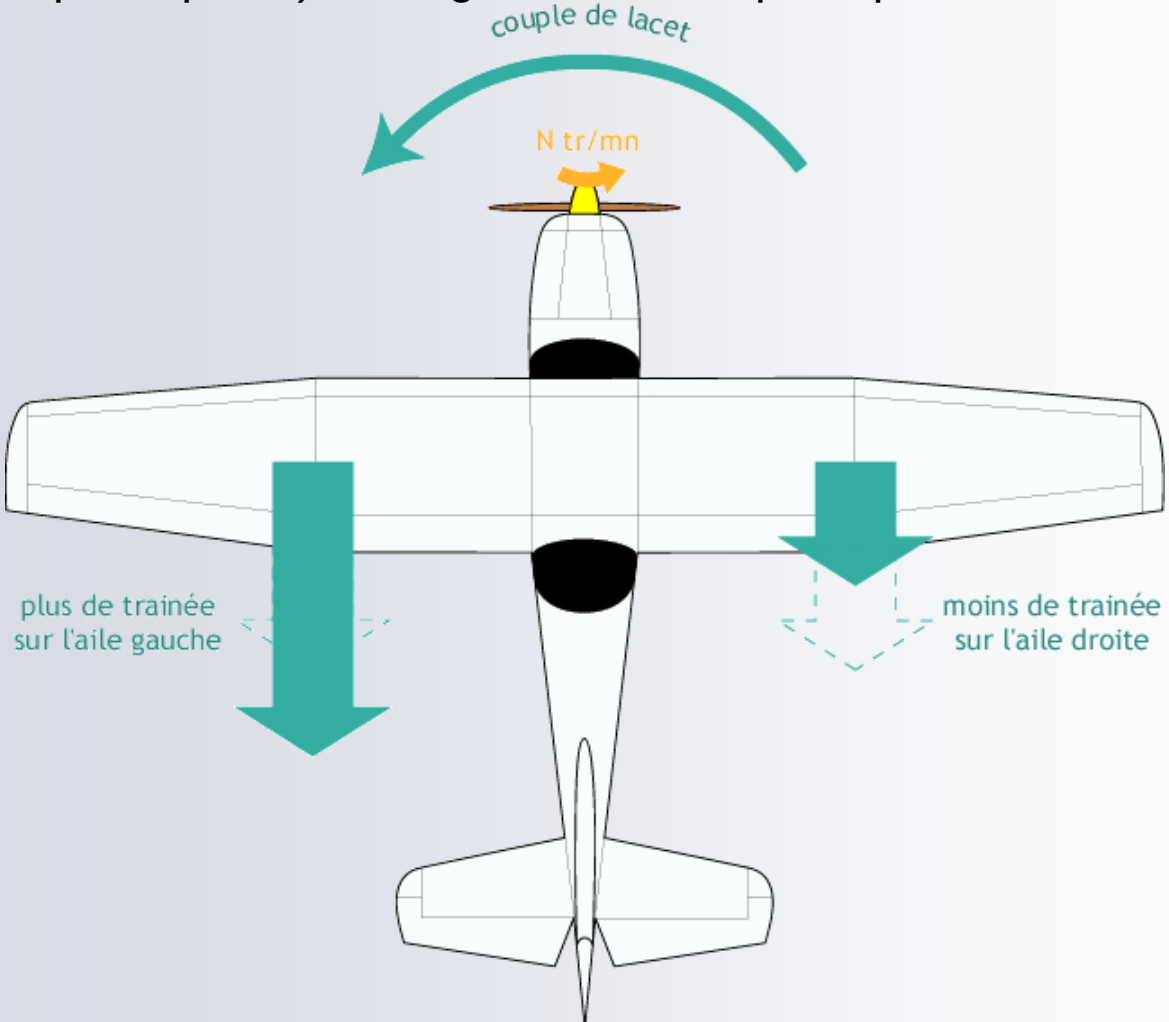
- **la puissance du moteur ;**
- **l'envergure de l'avion ;**
- **du diamètre de l'hélice et de son régime de rotation ;**

le dispositif retenu pour la correction sera pleinement efficace pour la phase de vol croisière.

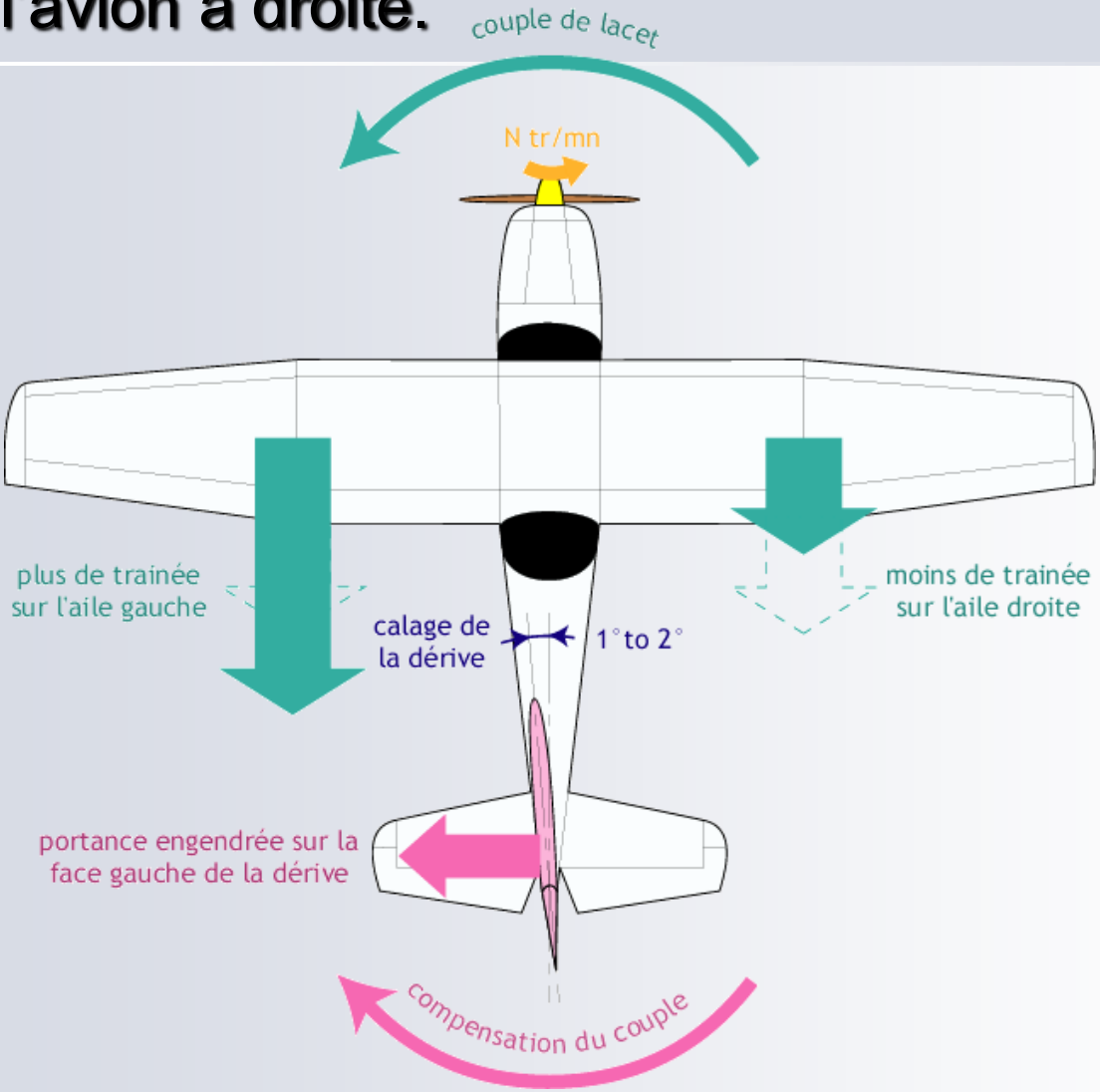
Pour les autres phases de vol, les trims d'ailerons seront utilisés ou le manche par action manuelle.

Comme il y a une différence de portance entre les deux demi voilures, cela engendre une différence de traînée.

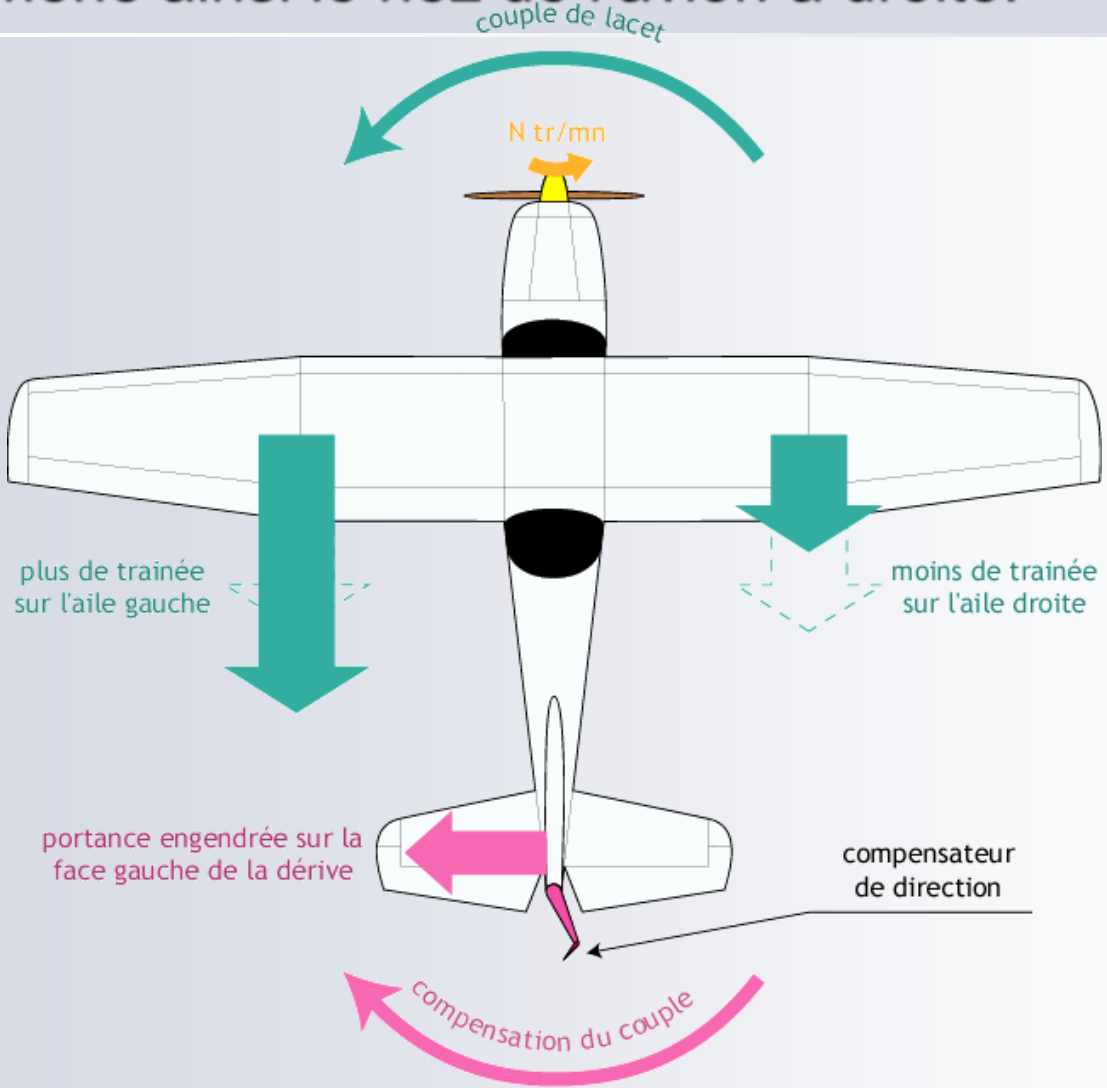
Pour une hélice en pas à droite (qui tourne dans le sens horaire vu de la place pilote), l'aile gauche traîne plus que l'aile droite.



Le lacet à gauche induit par la différence de traînée peut être corrigé en calant légèrement la dérive pour qu'elle porte à gauche et ramène ainsi le nez de l'avion à droite.

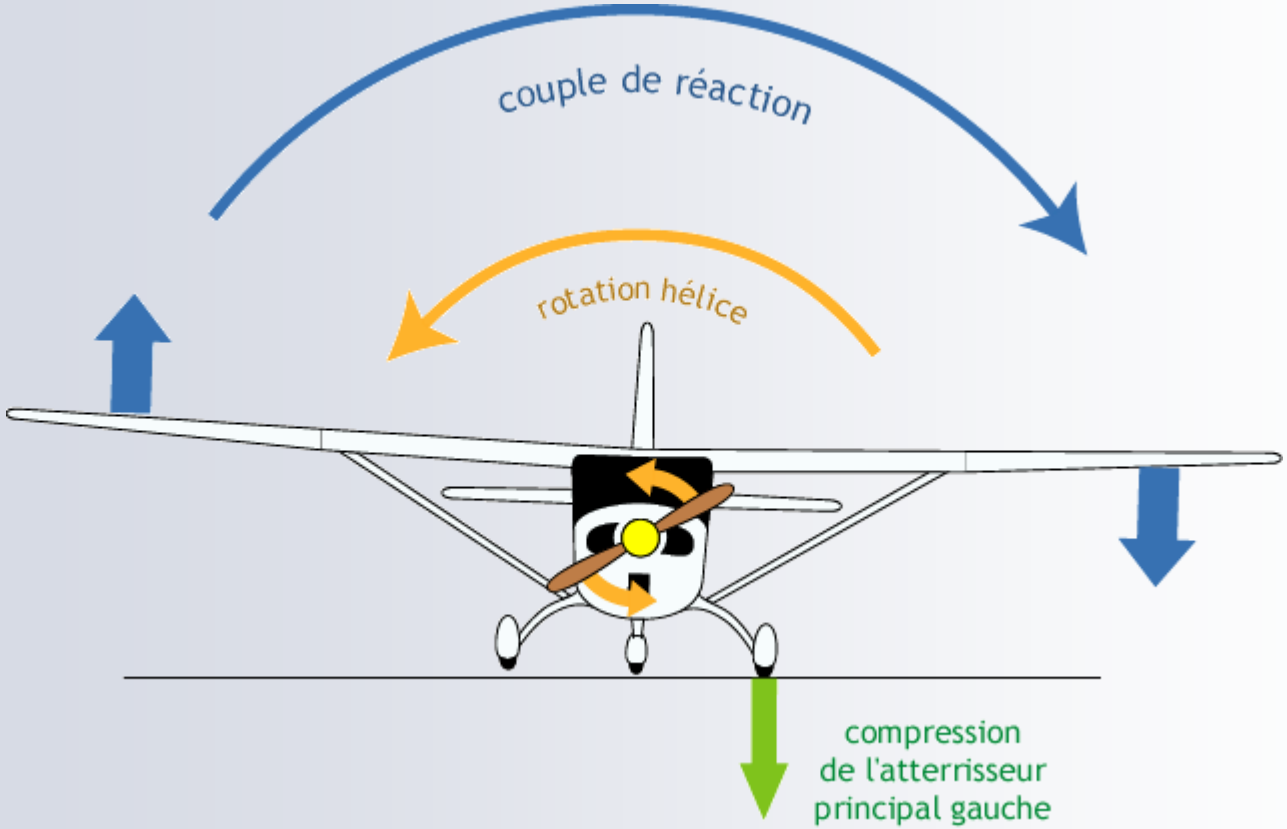


On peut aussi corriger le lacet à gauche induit par la différence de traînée en braquant la gouverne de direction pour que la dérive porte à gauche et ramène ainsi le nez de l'avion à droite.



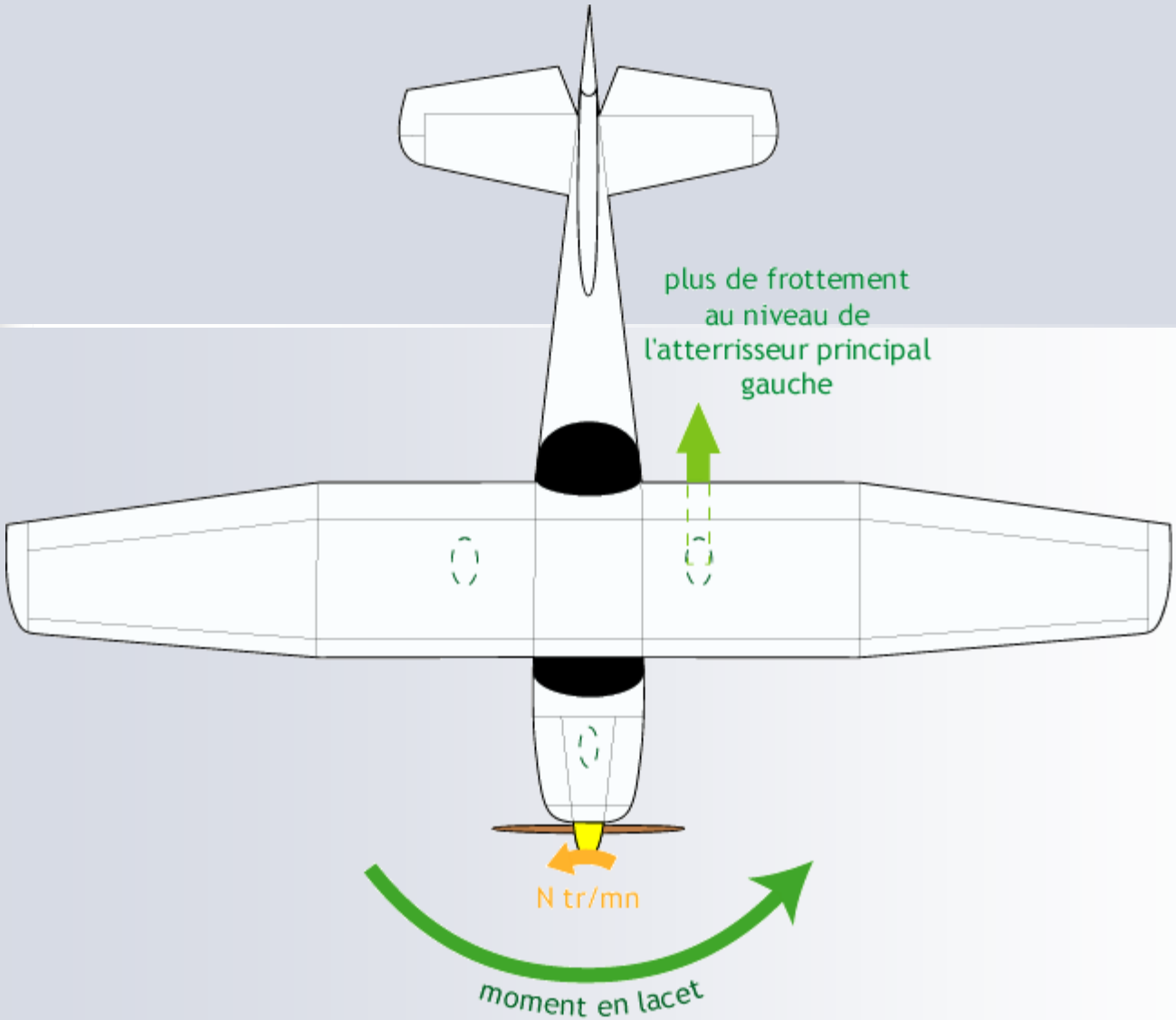
Effets au sol et remèdes

Lors du roulage (taxiing ou décollage), l'effet de couple moteur, pour une hélice en pas à droite, va écraser l'atterrisseur gauche.



Cela engendre un frottement plus intense du pneu sur la piste et de là une tendance à partir à gauche.

QCM



Le pilote corrigera ce lacet à gauche par une action dosée sur la pédale droite du palonnier.

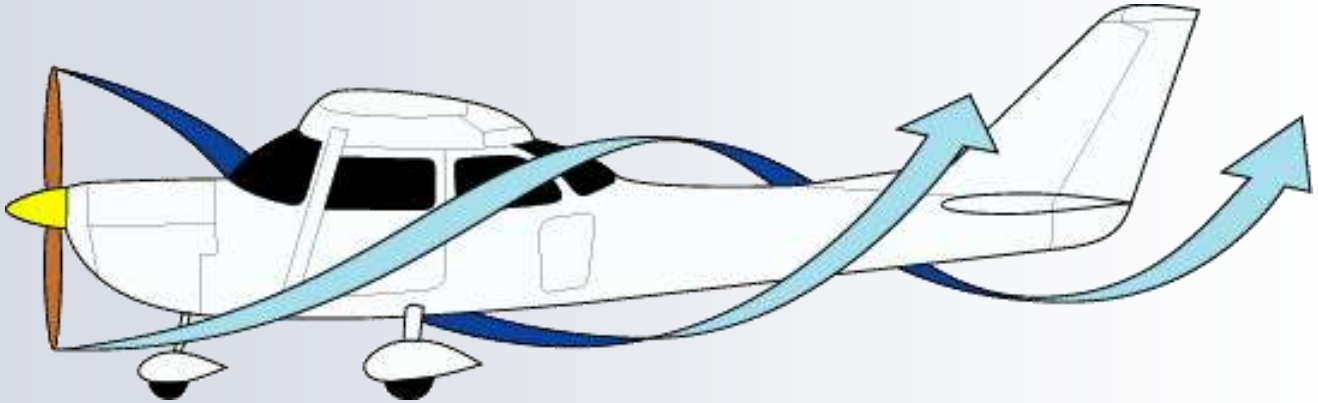
- **Remarque :**
  - Pour annuler l'effet de couple moteur, sur un avion monomoteur, il faudrait utiliser deux hélices contrarotatives.

Effets dus au souffle hélicoïdal

- Mise en évidence

L'hélice accélère l'air qui la traverse et lui imprime un mouvement de rotation dans le même sens qu'elle.

Un écoulement, plus ou moins rapide, s'enroule autour de l'avion.



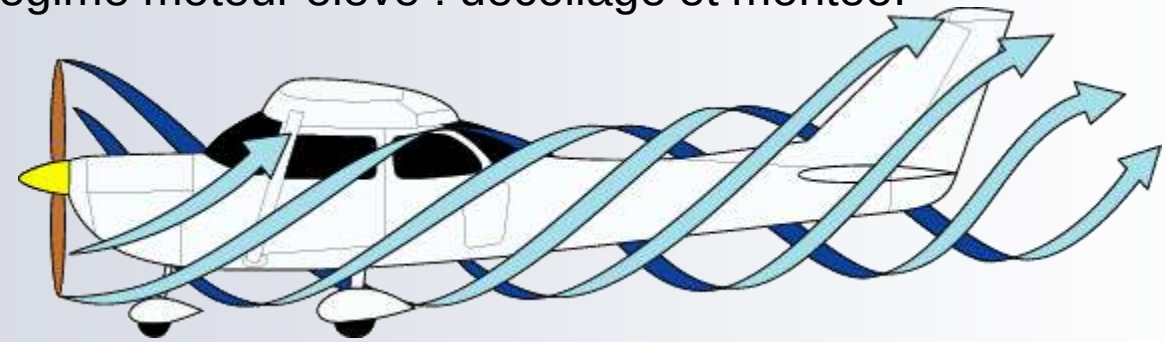
Les filets d'air hélicoïdaux heurtent les surfaces de l'avion et affectent ses qualités de vol et son aérodynamisme.

C'est l'effet de souffle hélicoïdal.

L’intensité du souffle hélicoïdal dépend de :

- **la vitesse de vol, et**
- **du régime de rotation de l’hélice.**

Ainsi, l’écoulement hélicoïdal est plus intense pour une vitesse faible et un régime moteur élevé : décollage et montée.

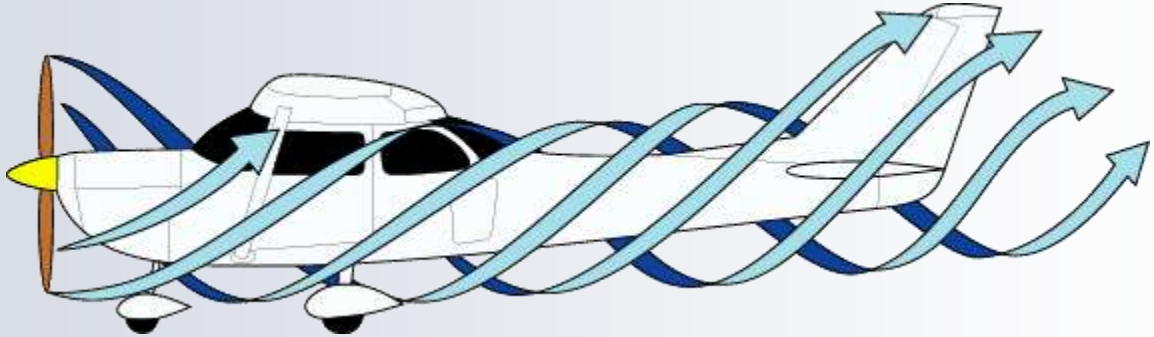


A l’inverse, le souffle hélicoïdal sera moins violent pour des vitesses élevées et un régime moteur faible : descente et approche.

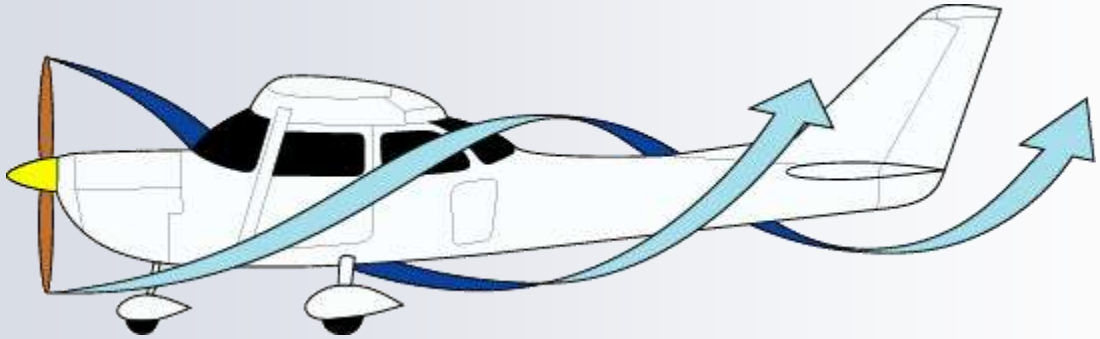
L’intensité du souffle hélicoïdal dépend de :

- **la vitesse de vol, et**
- **du régime de rotation de l’hélice.**

Ainsi, l’écoulement hélicoïdal est plus intense pour une vitesse faible et un régime moteur élevé : décollage et montée.

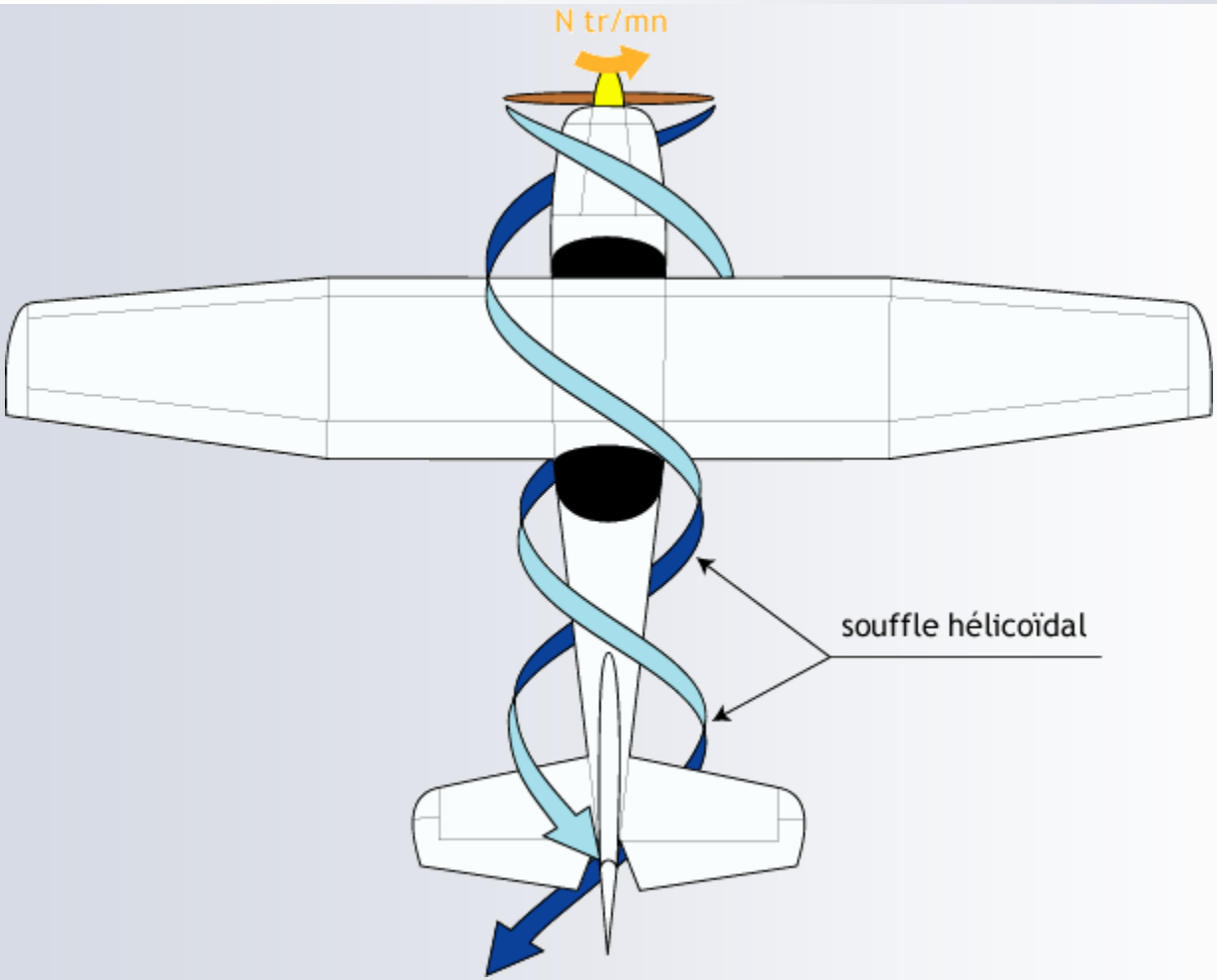


A l’inverse, le souffle hélicoïdal sera moins violent pour des vitesses élevées et un régime moteur faible : descente et approche.

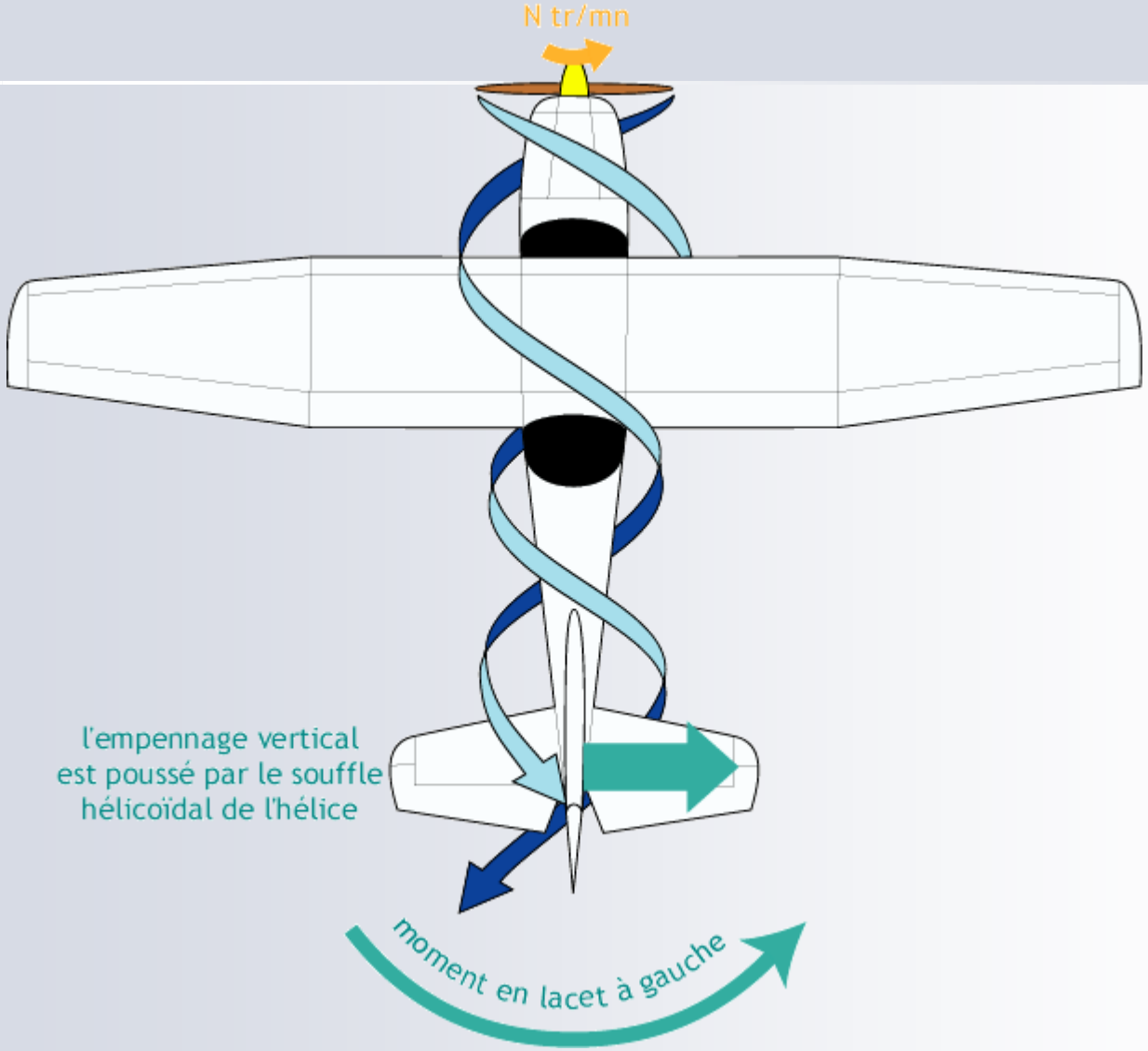


Effets en vol et remèdes

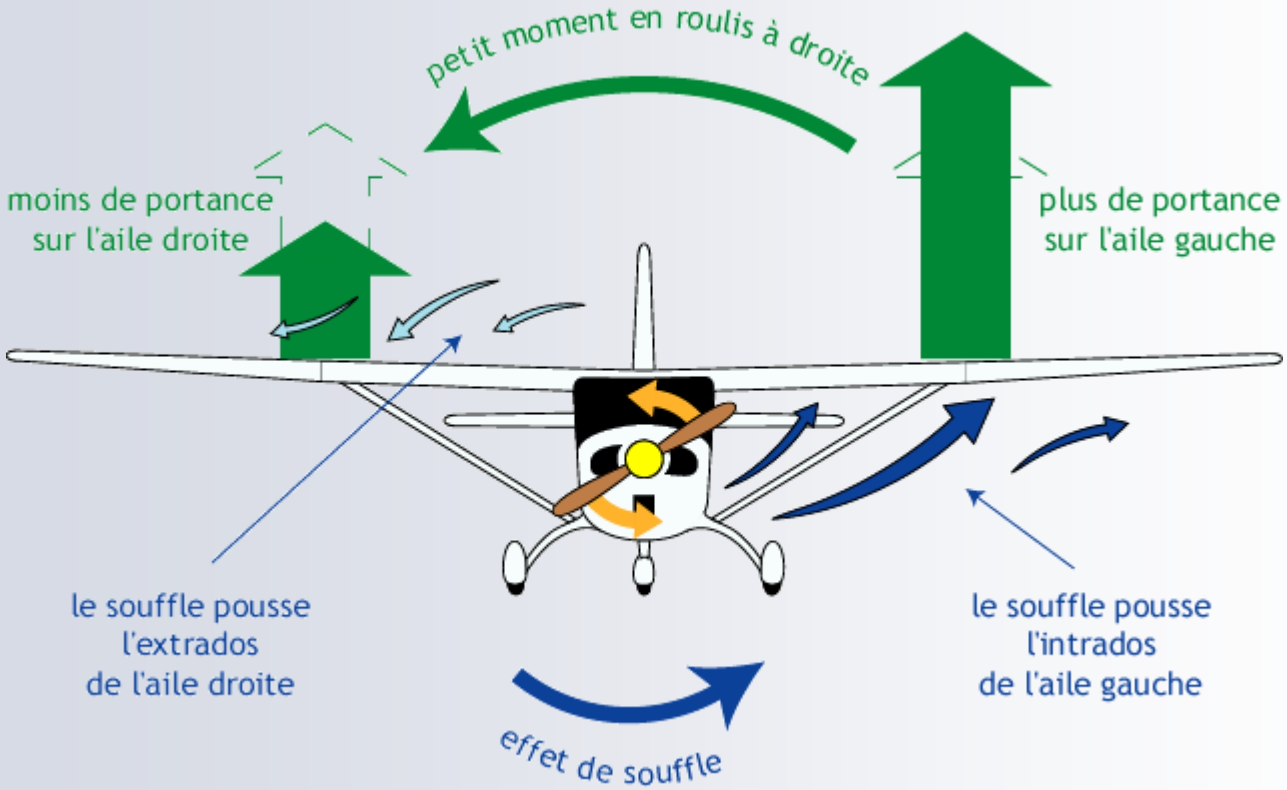
Dans le cas d'une hélice avec pas à droite, on observe les effets suivants :



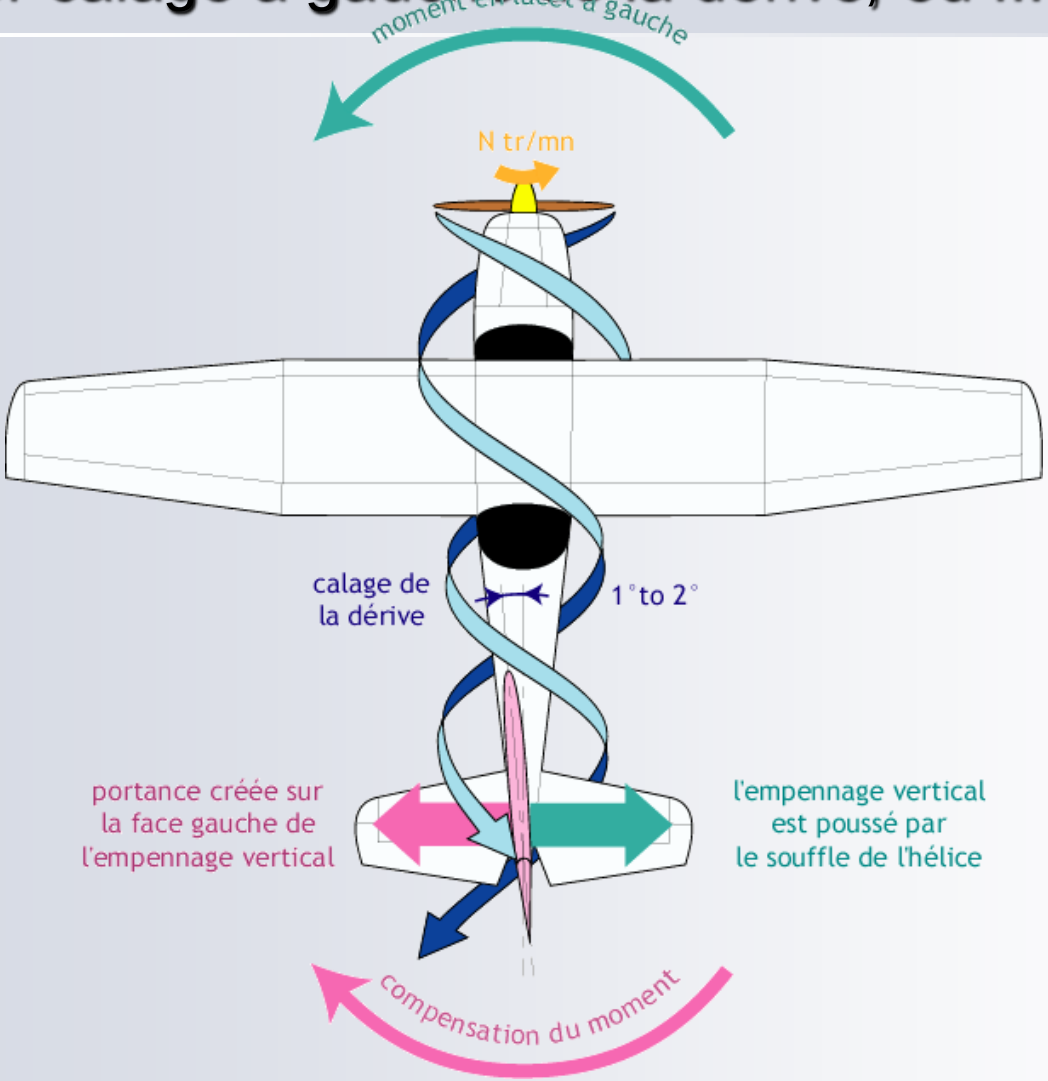
– La dérive est heurtée par l'écoulement hélicoïdal du côté gauche. De ce fait, elle porte à droite et engendre, pour l'avion, un lacet à gauche.



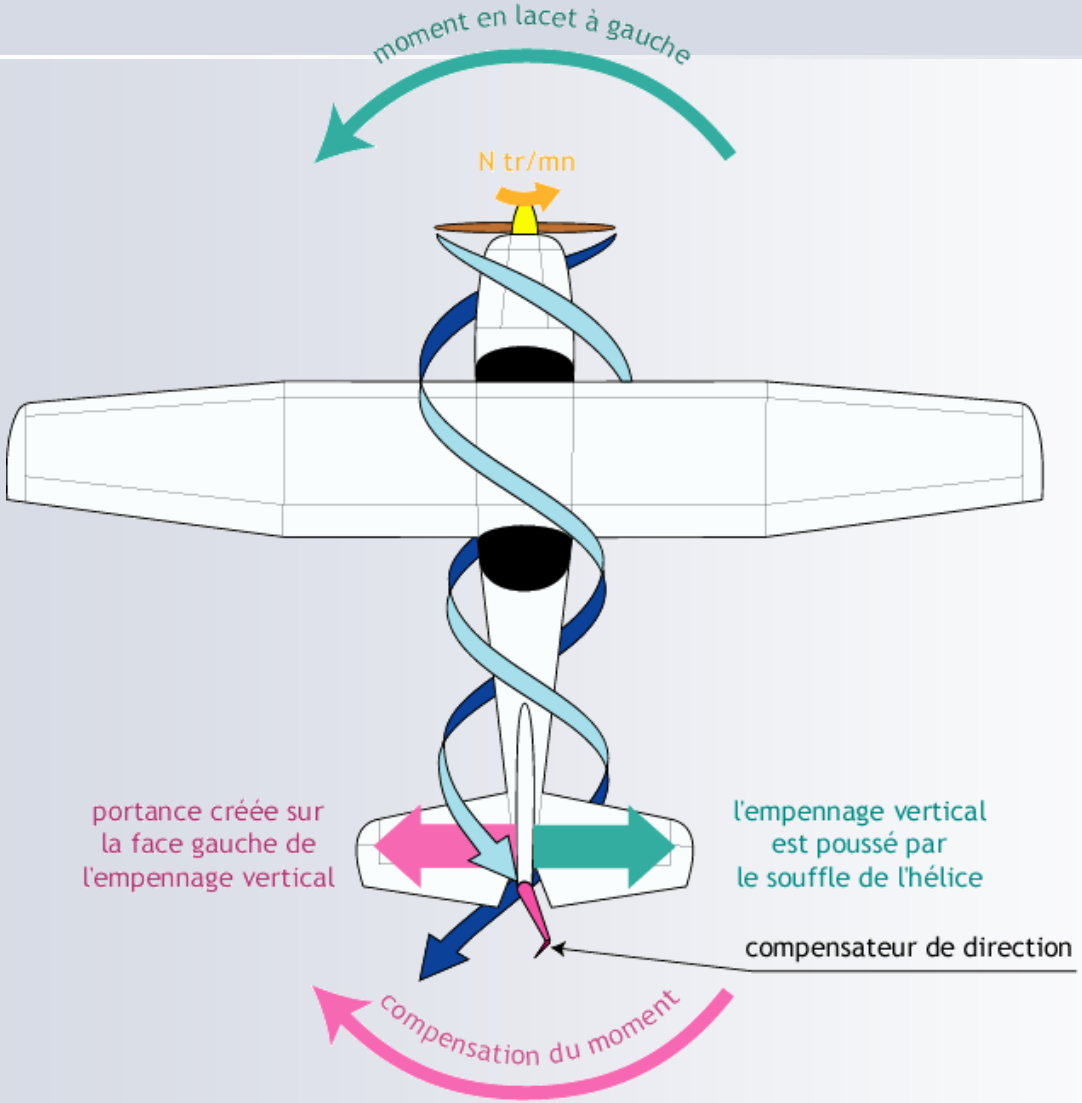
– Les filets d'air poussent l'intrados de l'aile gauche et l'extrados de l'aile droite. Cela fait apparaître une dissymétrie de portance qui emmène l'avion en roulis à droite (effet moins important que le lacet).



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, ou ...



braquage du trim de direction, pour créer une portance à gauche sur la dérive.



Pour le roulis à droite, il est de sens opposé à celui engendré par l'effet de couple moteur.

Il n'est donc pas nécessaire d'y remédier parce qu'il constitue un remède partiel au roulis dû à l'effet de couple moteur.

Les dispositifs de correction sont adaptés aux conditions de vol en croisière.

Pour les autres phases de vol, le pilote corrige à l'aide des gouvernes de vol primaires et des trims si nécessaire.

Effet gyroscopique de l’hélice

- **Causes d’apparition du phénomène**

L’hélice en rotation présente les mêmes caractéristiques qu’un gyroscope.

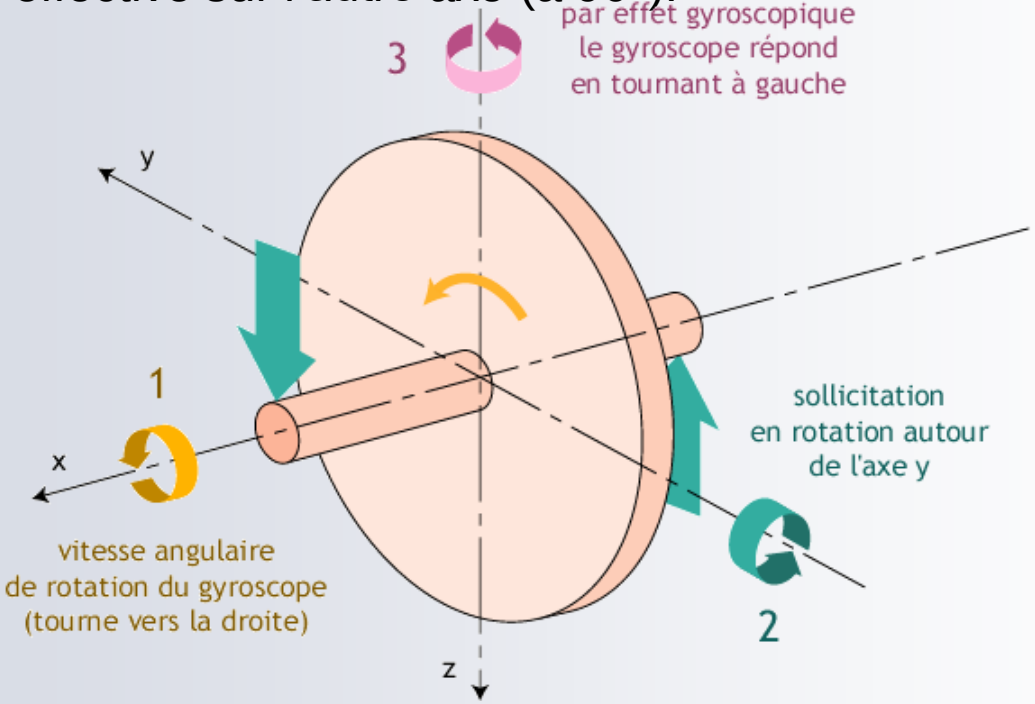
Ainsi, toute sollicitation en mouvement, autour de l’un des deux axes perpendiculaire à l’axe de rotation, aura pour conséquence une rotation effective sur l’autre axe (à 90°).

Effet gyroscopique de l'hélice

- **Causes d'apparition du phénomène**

  L'hélice en rotation présente les mêmes caractéristiques qu'un gyroscope.

  Ainsi, toute sollicitation en mouvement, autour de l'un des deux axes perpendiculaire à l'axe de rotation, aura pour conséquence une rotation effective sur l'autre axe (à 90°).

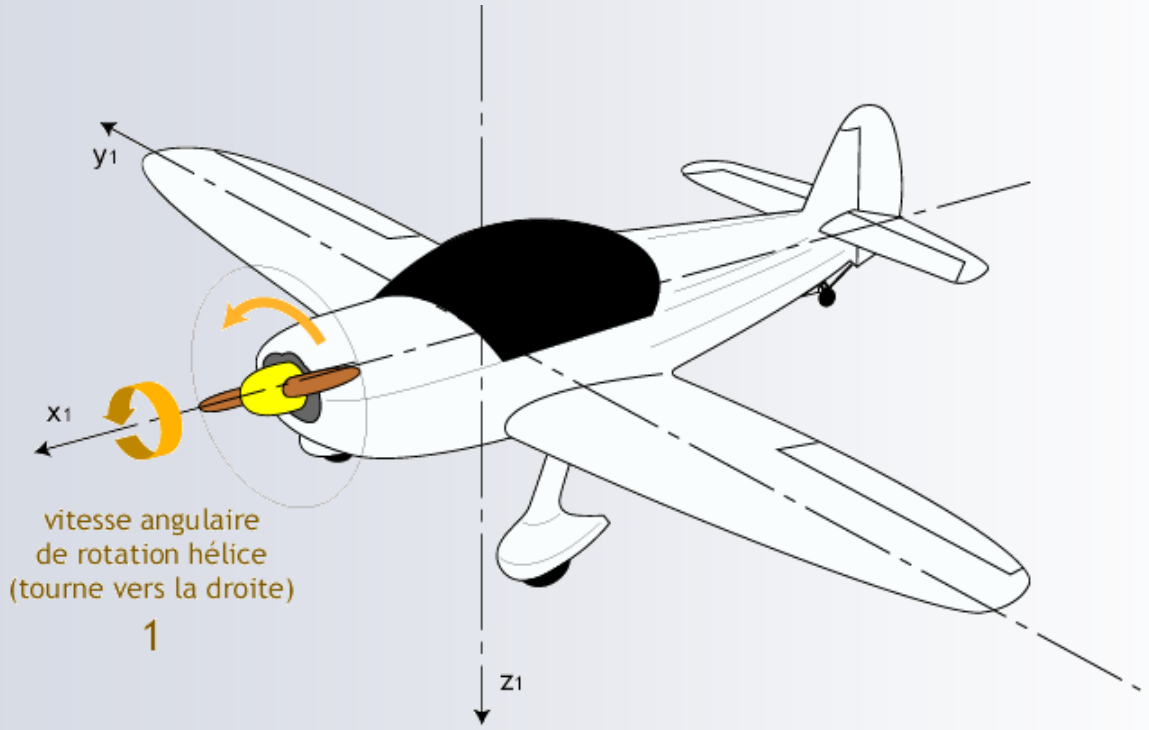


Ce phénomène particulier s'appelle la précession gyroscopique et son intensité croît avec la vitesse de rotation du gyroscope.

QCM

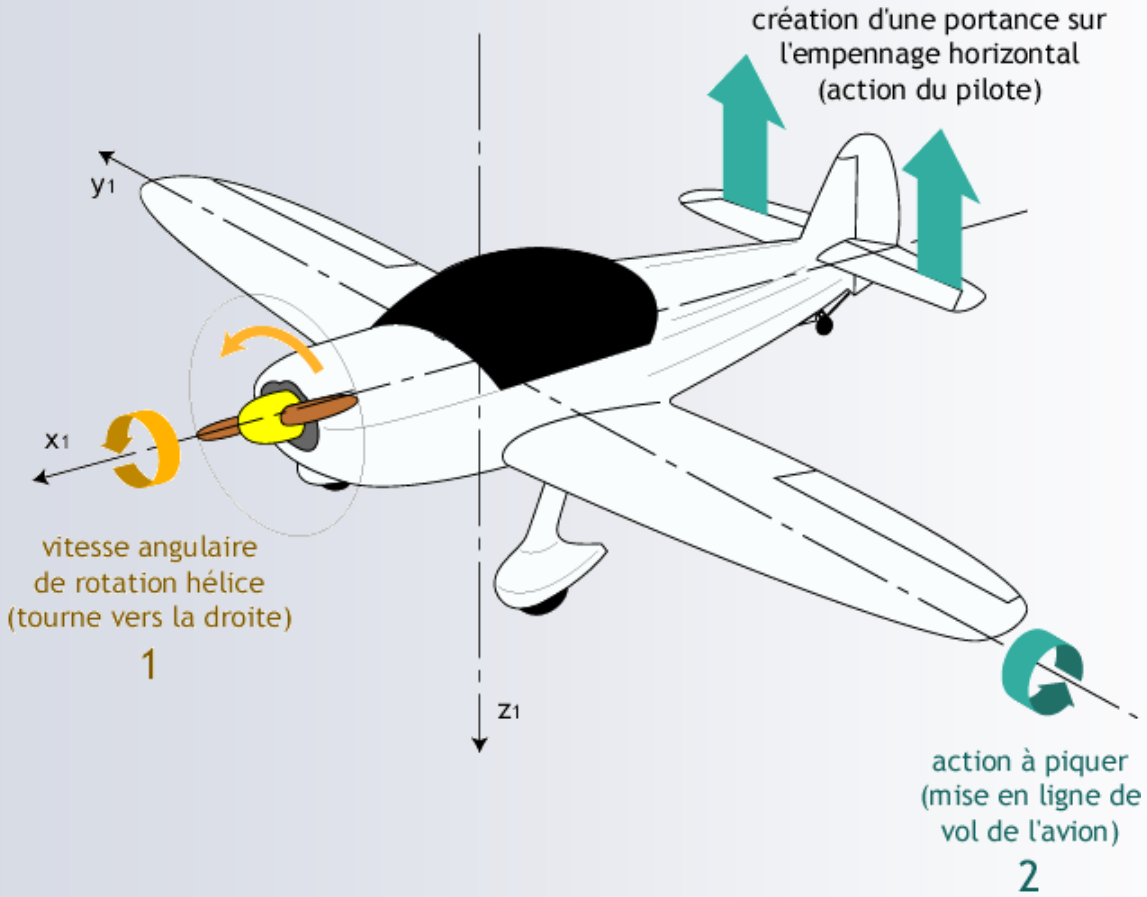
Effets en utilisation et remèdes

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 (hélice en pas à droite).



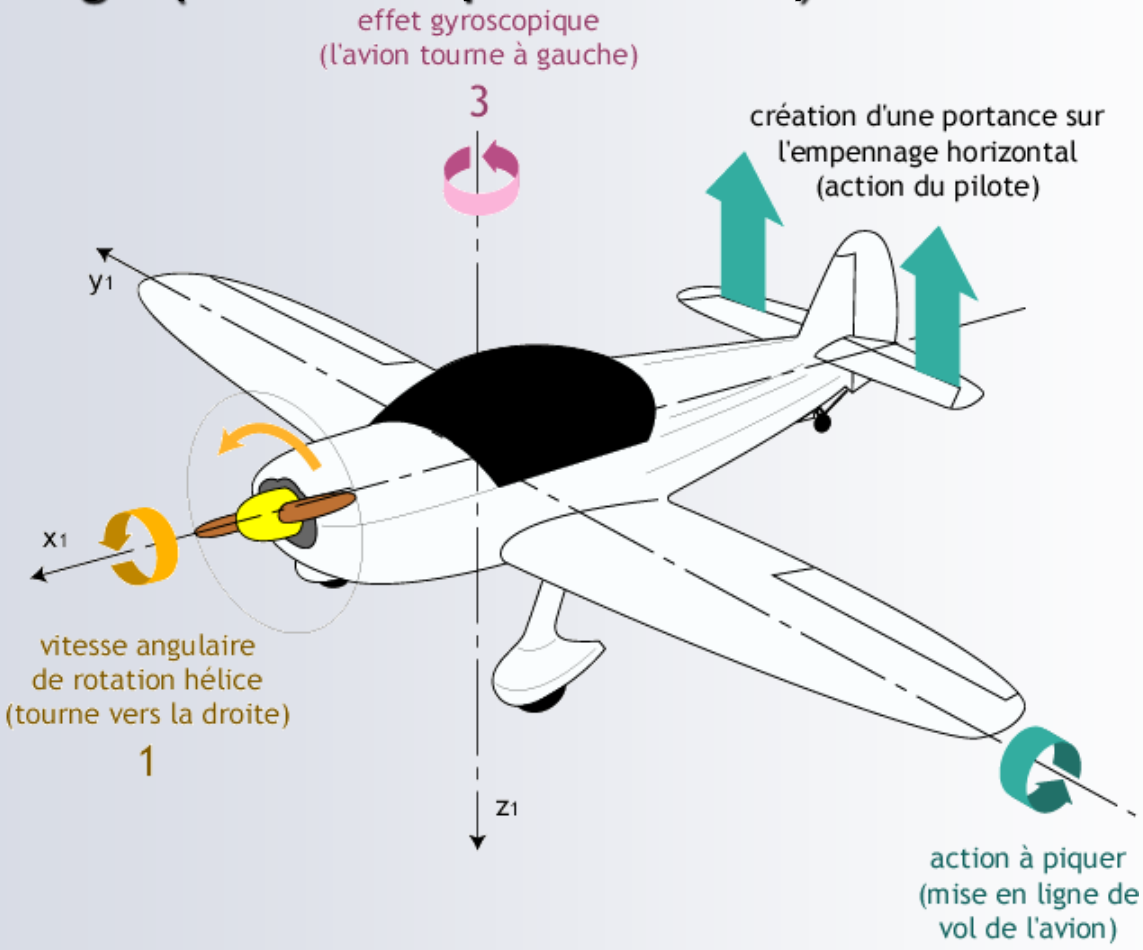
Effets en utilisation et remèdes

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 (hélice en pas à droite).



Effets en utilisation et remèdes

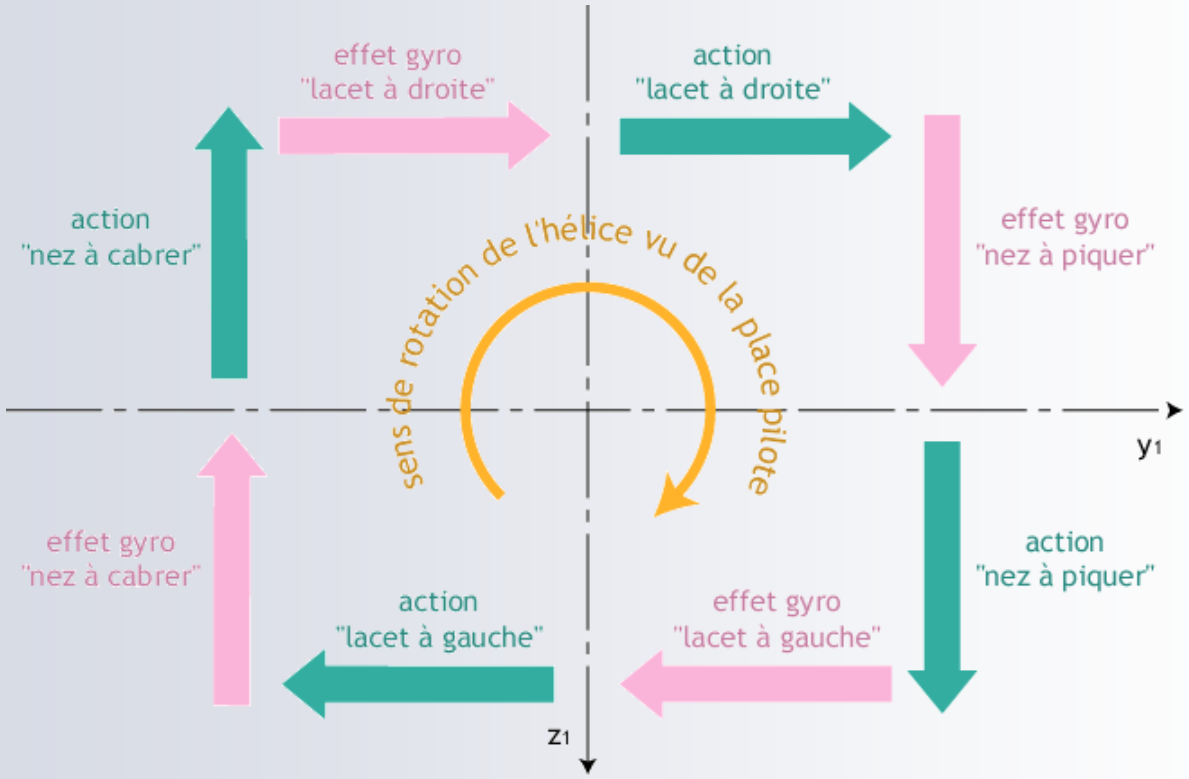
La précession gyroscopique se manifeste, sur un avion monomoteur à train d'atterrissage classique, lors de la mise en ligne de vol au roulage pour le décollage (hélice en pas à droite).



Par effet gyroscopique, une action à piquer sur le manche engendre un lacet à gauche.

Pour contrer ce phénomène, le pilote agit sur les commandes de vol primaires en fonction des effets observés.

Pour se souvenir des différents effets gyroscopiques possibles sur un avion, il est judicieux de retenir ce qui suit :



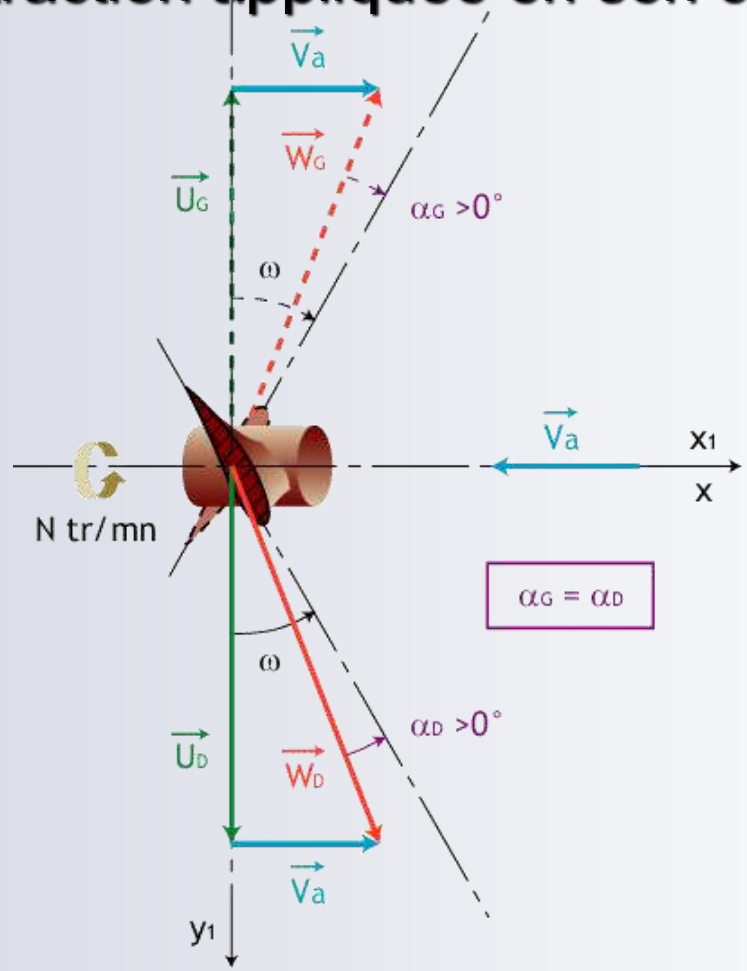
QCM

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

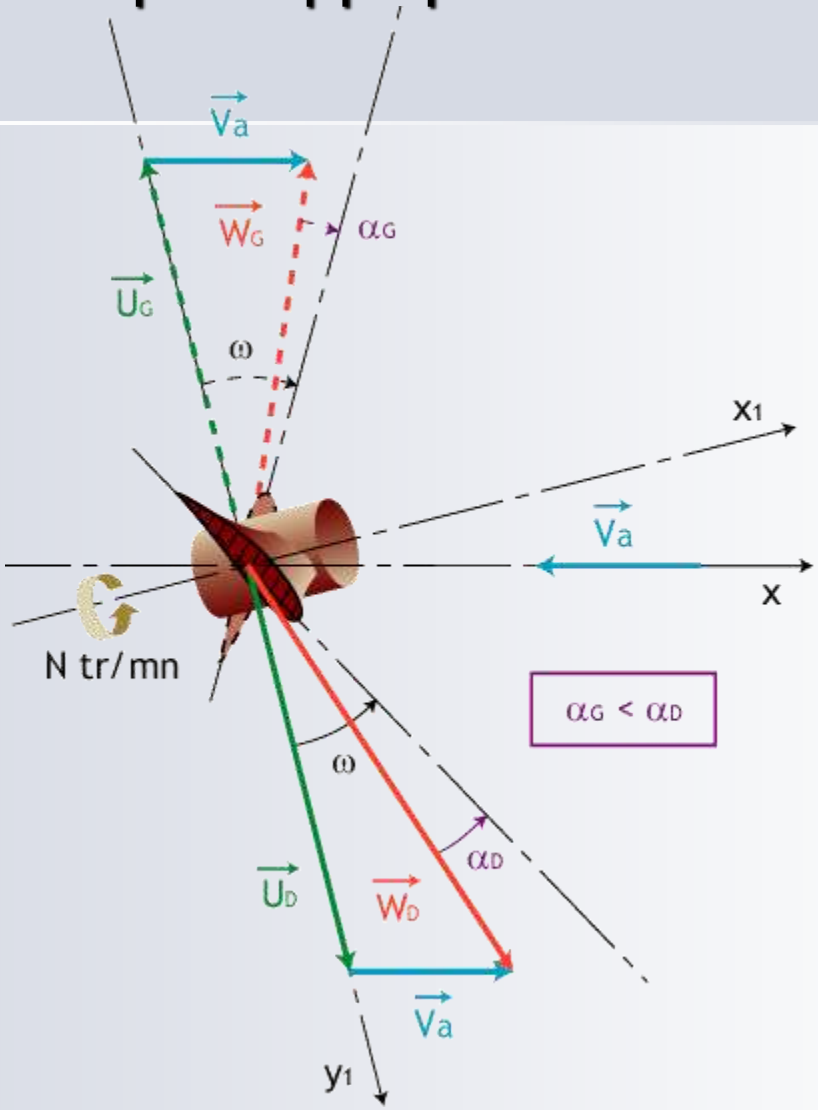
Effets dus à une traction assymétrique

- **Mise en évidence**

Une hélice, dont l'axe de rotation est confondu avec la direction du vent relatif, présente forcément une force de traction appliquée en son centre .



Dans le cas où l'axe de rotation de l'hélice présente un angle avec la direction du vent relatif, la force de traction n'est plus appliquée au centre de l'hélice.

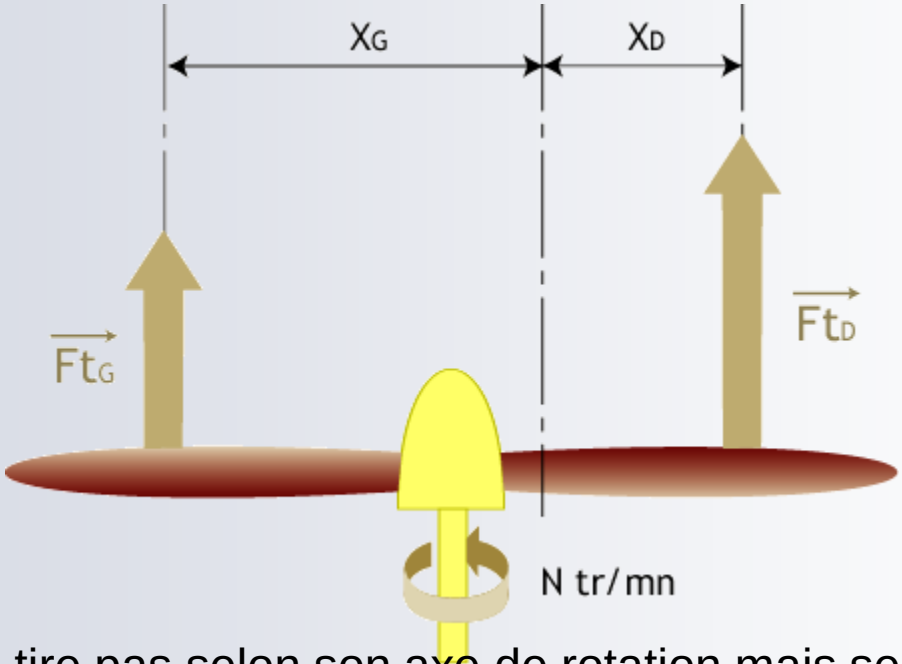


QCM

Les pales de l'hélice vont engendrer des forces de traction différentes.

Dans notre cas, on Ft droite > Ft gauche.

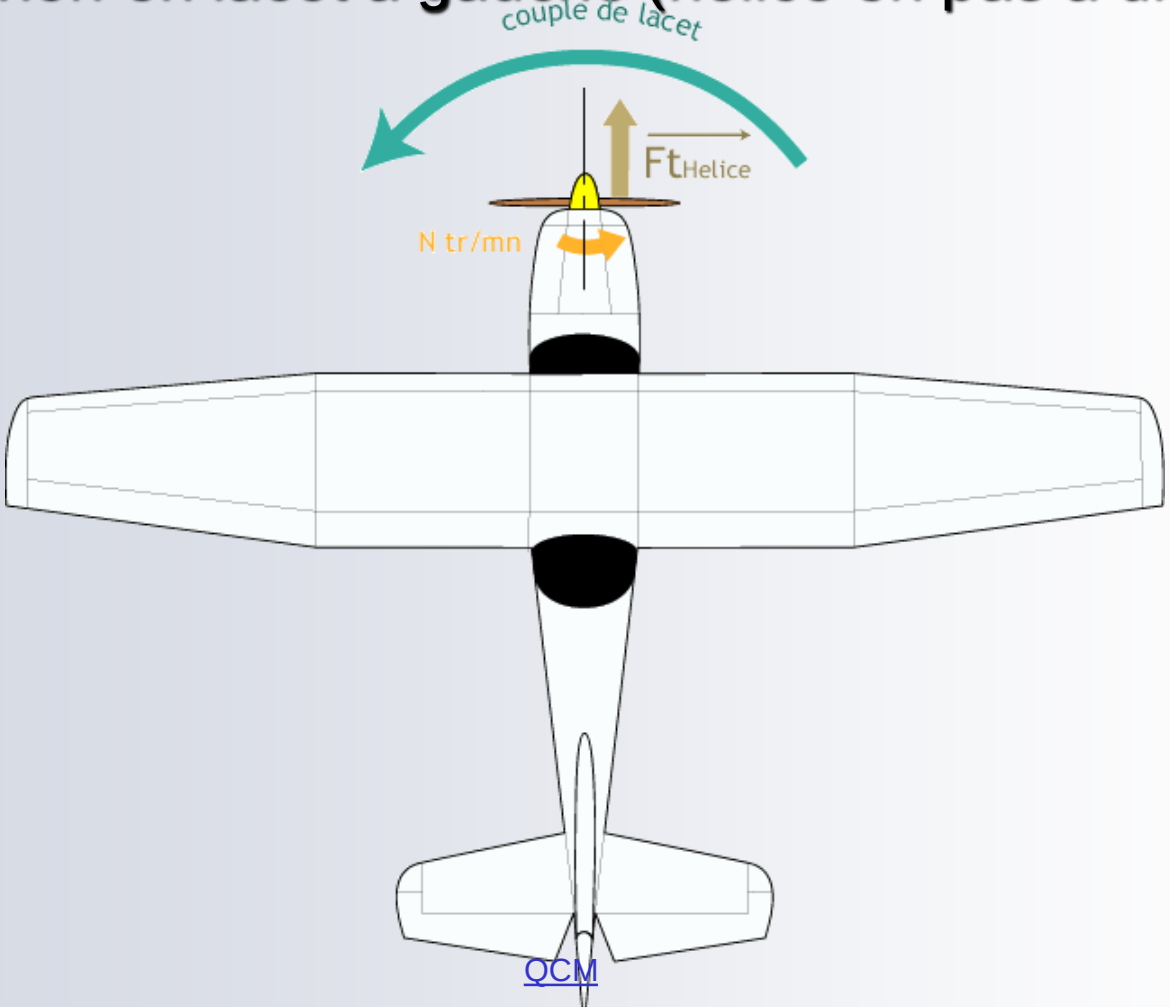
La traction totale de l'hélice sera égale à la somme des forces tractives engendrées par chacune des pales. Son point d'application sera défini comme suit : $Ft_G \cdot x_G = Ft_D \cdot x_D$



L'hélice ne tire pas selon son axe de rotation mais selon un axe décalé du côté de la pale descendante (celle qui tire le plus).
Ce phénomène se nomme "traction assymétrique de l'hélice".

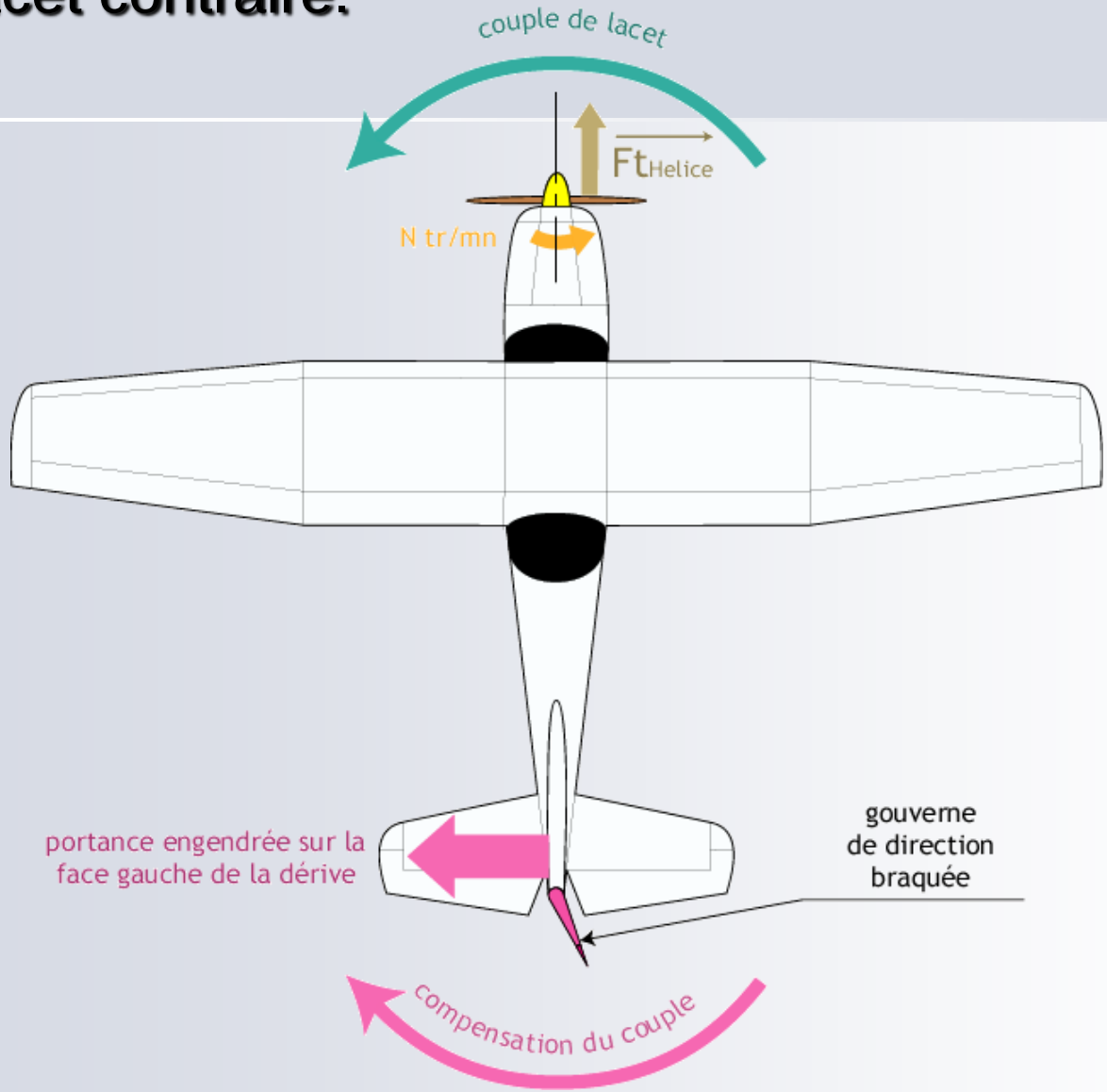
Effets en vol et remèdes

Dans le cas d'un vol aux grandes incidences, ou du décollage avec un avion à train d'atterrissage classique, l'effet de traction assymétrique amène l'avion en lacet à gauche (hélice en pas à droite).



QCM

La correction consiste, simplement, à agir sur la gouverne de direction pour générer un couple en lacet contraire.



Moteur critique sur bimoteur

Définition :

- Le moteur critique, sur un bimoteur, correspond au moteur qui, s'il tombe en panne affecte le plus les qualités de vol de l'avion.

Remarque :

- On parle bien des qualités de vol et non des équipements entraînés par le moteur. Sur Piper Aztec, seul le moteur gauche entraîne une pompe hydraulique. Ce n'est pas pour cela qu'il est dit "critique".

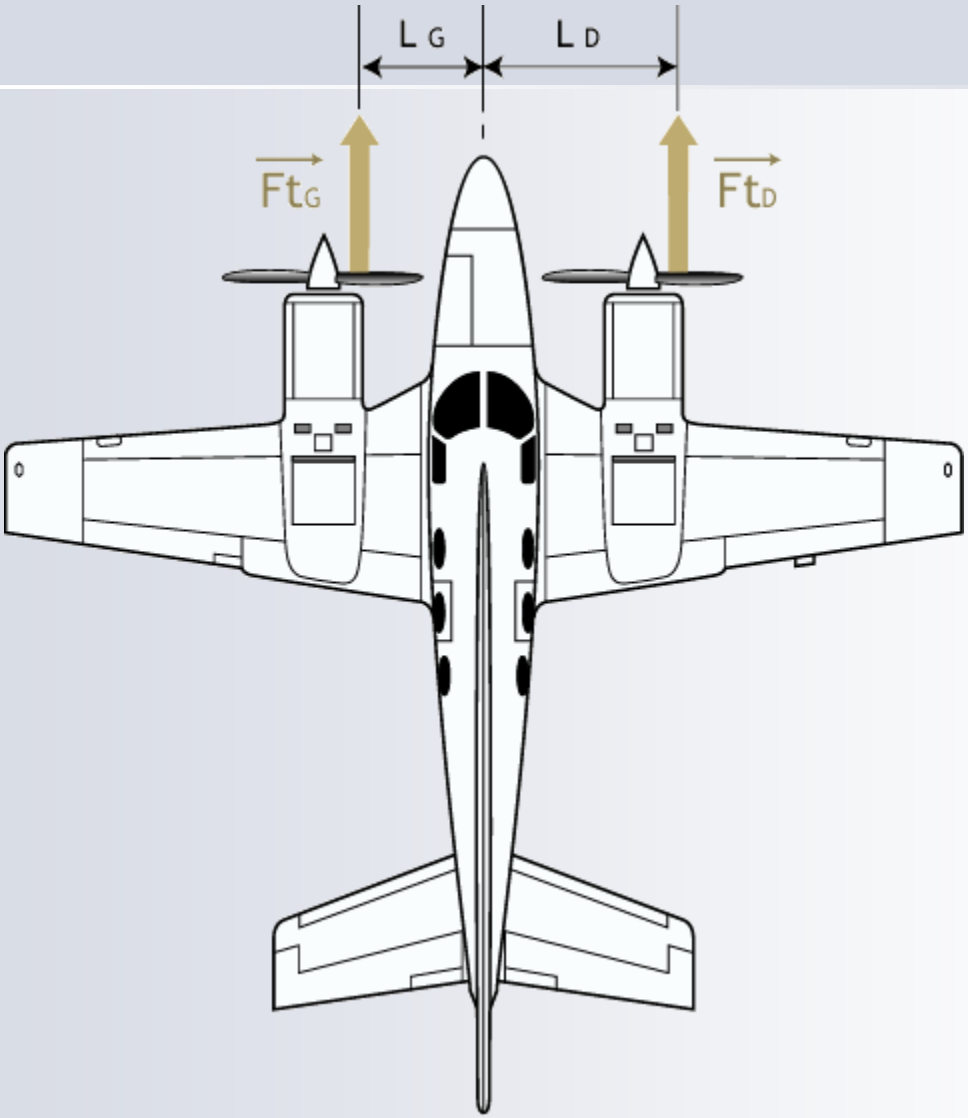
Mise en évidence

- Lors des phases de vol à forte incidence, la traction des hélices se décale vers la pale descendante.
  Si on conserve le cas d'hélices en pas à droite, l'axe de traction des hélices se déplace vers la droite.

- En cas de panne d'un des moteurs, l'avion part en lacet du côté du moteur mort.
  Seulement, avec la traction assymétrique, l'effet sera plus violent si c'est le moteur gauche qui tombe en panne.

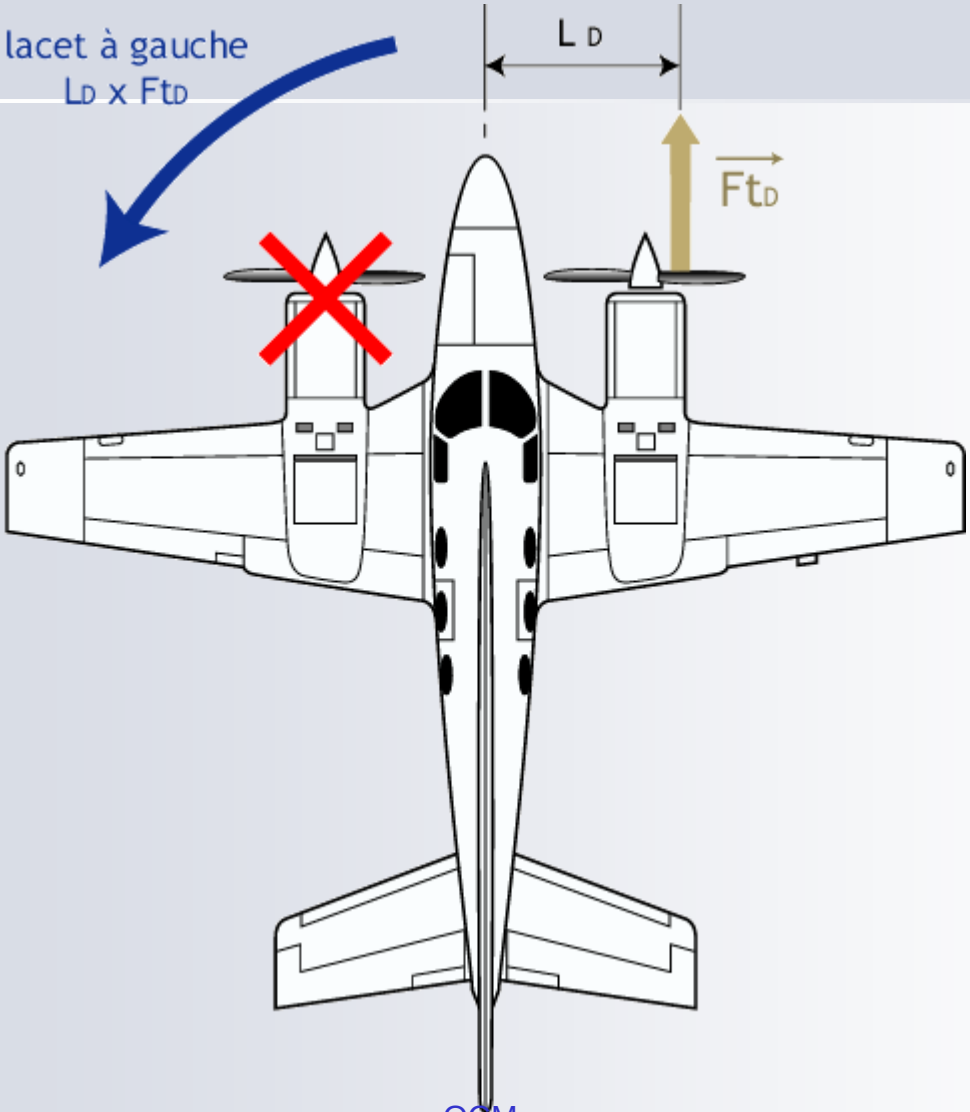
Moteur critique sur bimoteur

- Dissymétrie de la traction



Moteur critique sur bimoteur

Dissymétrie de la traction



QCM

Remèdes :

- Utiliser des hélices qui tournent en sens inverse :
  Hélice droite avec pas à gauche et hélice gauche avec pas à droite.

- Le problème qu'amène cette solution concerne la maintenance.
  Il faut les pièces détachées spécifiques pour chaque moteur, ce qui augmente les stocks et les coûts inhérents.

- Une autre solution consiste à utiliser deux hélices contrarotatives sur le même axe moteur. L'effet de traction assymétrique est alors annulée pour les mono et multimoteurs.

RECUEIL DE QCM SUR LES EFFETS AERO DUS AUX HELICES

- +080-03-00
  Laquelle des propositions suivantes modifiera l'effet gyroscopique d'une hélice ?
  - a) roulis et tangage ;
  - b) tangage et roulis ;
  - c) augmentation du régime de rotation ;
  - d) diminution de l'angle de calage ;

  - *Réponse : C*

- *080-12-00
  La précession gyroscopique de l'hélice est induite par :
  - a) une augmentation de régime et le roulis ;
  - b) une augmentation de régime et le lacet ;
  - c) le tangage et le roulis ;
  - d) le tangage et le lacet.

  - *Réponse : D*

- +080-03-00
  Lors de la phase de roulage au décollage, quel effet engendre le couple moteur sur un avion équipé d'une hélice qui tourne dans le sens horaire vu de la place pilote :
  - a) l'effort sur la roue gauche diminue et celui sur la roue droite augmente ;
  - b) l'effort sur la roue gauche augmente et celui sur la roue droite reste constant ;
  - c) l'effort sur la roue gauche augmente et celui sur la roue droite diminue ;
  - d) l'effort sur la roue droite augmente et celui sur la roue gauche diminue.

    - *Réponse : C*

- *080-09-00
  Vue de la place pilote, une hélice tourne à droite. L'effet de la traction asymétrique en montée provoquera un mouvement :
  - a) de lacet de l'avion vers la gauche ;
  - b) de lacet de l'avion vers la droite ;
  - c) de roulis de l'avion vers la droite ;
  - d) de roulis de l'avion vers la gauche.

    - *Réponse : A*

- *080-03-01
  Vue de l'arrière, une hélice tourne à droite. Le phénomène de poussée (traction) dissymétrique est essentiellement induit par :
  - a) des angles de montée importants ;
  - b) des angles d'incidence importants ;
  - c) une vitesse élevée ;
  - d) des angles de lacet importants.
    - *Réponse : B*

- 080-06-00
  Une hélice qui tourne dans le sens anti horaire lorsqu'on la regarde face à l'avion, produira lors de la phase de roulage au décollage :
  - a) une augmentation de la charge appliquée sur la roue droite à cause de l'effet de couple moteur ;
  - b) une augmentation de la charge appliquée sur la roue droite à cause de l'effet gyroscopique hélice ;
  - c) une augmentation de la charge appliquée sur la roue gauche à cause de l'effet de couple moteur ;
  - d) une augmentation de la charge appliquée sur la roue gauche à cause de l'effet gyroscopique hélice.
    - *Réponse : C*

- +080-03-00
  Lorsque le moteur critique d'un bimoteur tombe en panne, on assiste à :
  - a) une augmentation de la puissance nécessaire et une diminution de la traînée totale du fait de l'entraînement aérodynamique du moteur ;
  - b) une diminution de la puissance nécessaire et une augmentation de la traînée totale due à l'addition des traînées résistantes du moteur en panne et de la compensation des effets de lacet ;
  - c) n'affecte pas les performances parce que celles-ci sont indépendantes de la motorisation ;
  - d) une augmentation de la puissance nécessaire et une augmentation de la traînée totale due à l'addition des traînées résistantes du moteur en panne et de la compensation des effets de lacet

    - ***Réponse : D***

- *080-09-00
  Si vous tirez vers l'arrière le levier de régime d'une hélice régulée à vitesse constante lors d'un vol plané au ralenti, le calage hélice :
  - a) augmentera et le taux de descente augmentera ;
  - b) diminuera et le taux de descente augmentera ;
  - c) diminuera et le taux de descente diminuera ;
  - d) augmentera et le taux de descente diminuera.
    - *Réponse : D (que devient la vitesse avion donc l'incidence de vol) ?*

- *080-12-00
  Si vous poussez vers l'avant le levier de régime d'une hélice régulée à vitesse constante lors d'un vol plané au ralenti, le calage hélice :
  - a) augmentera et le taux de descente augmentera ;
  - b) diminuera et le taux de descente augmentera ;
  - c) diminuera et le taux de descente diminuera ;
  - d) augmentera et le taux de descente diminuera.
    - *Réponse : B (que devient la vitesse avion donc l'incidence de vol) ?*

- +080-03-00
  Un avion, équipé avec une hélice régulée à vitesse constante, est en phase descente avec la manette des gaz et le moteur sur ralenti, quel sera l'effet si la manette hélice est ramenée vers grand pas :
  - a) le taux de descente augmentera et le régime de rotation augmentera ;
  - b) le taux de descente diminuera et le régime de rotation diminuera ;
  - c) le taux de descente restera constant et le régime de rotation augmentera ;
  - d) le taux de descente restera constant et le régime de rotation diminuera ;
    - *Réponse : B (que devient la vitesse avion donc l'incidence de vol) ?*

ANDRÉ PARIS