

COURS n° 3

FINESSE

LA FINESSE

Elle rend compte de la « capacité à planer » d'un aéronef.

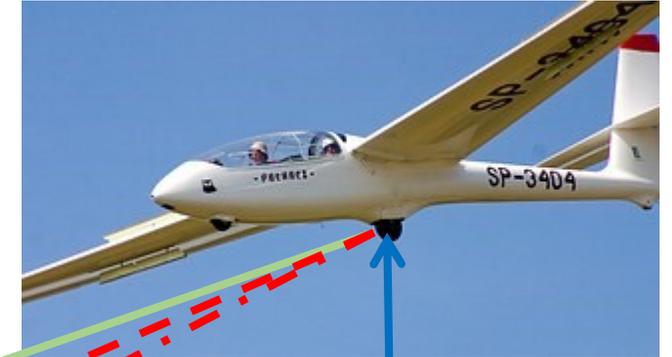
$$\text{Finesse} = \frac{\text{Distance horizontale parcourue en vol plané}}{\text{Perte de hauteur}}$$

Mais aussi ...

$$\text{Finesse} = \frac{\overset{[\text{Horizontal distance}]}{\text{Distance horizontale}}}{\underset{[\text{Loss of height}]}{\text{Perte de hauteur}}} = \frac{\overset{[\text{Horizontal speed}]}{\text{Vitesse horizontale}}}{\underset{[\text{Vertical speed}]}{\text{Vitesse verticale}}} = \frac{\overset{[\text{Lift}]}{\text{Portance}}}{\underset{[\text{Drag}]}{\text{Traînée}}} = \frac{C_z}{C_x}$$

LA FINESSE MAX.

Pour une incidence plus forte, la traînée est plus élevée = frein
→ le planeur ira moins loin !



Pente de finesse max.

1000 m

Pour une incidence plus faible, la portance est plus faible = pente plus forte → le planeur ira moins loin !

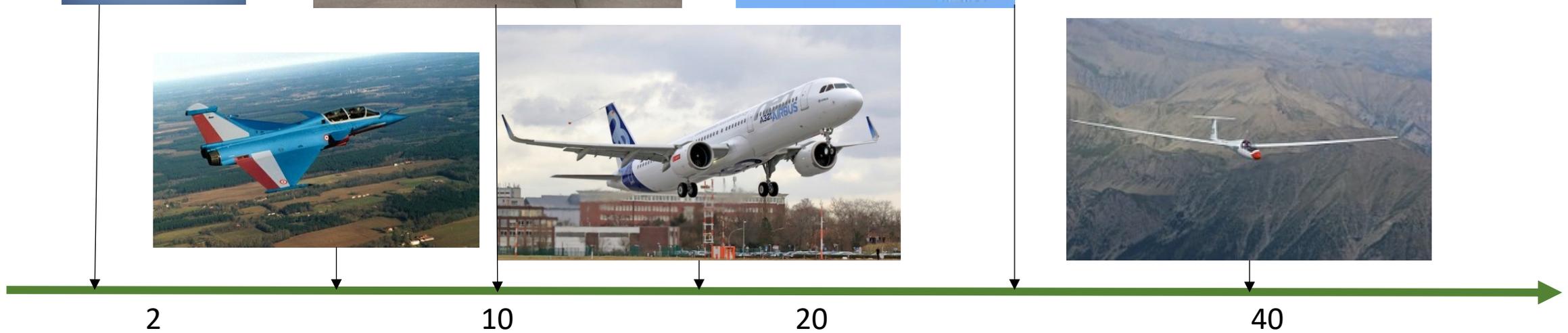
10 000 m

7 000 m

6 000 m

C'est celle qui permet de parcourir la distance la plus longue. Elle est unique pour chaque aéronef.

LA FINESSE MAX.



Comparaison des finesses en vol plané

ASSIETTE – PENTE - INCIDENCE

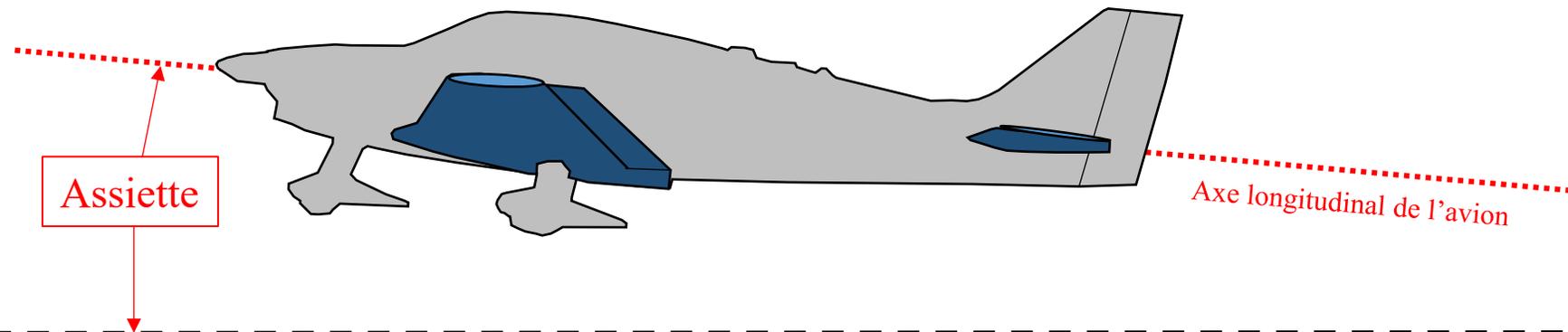
[Aircraft attitude]

[Slope]

[Angle of attack]

L'ASSIETTE

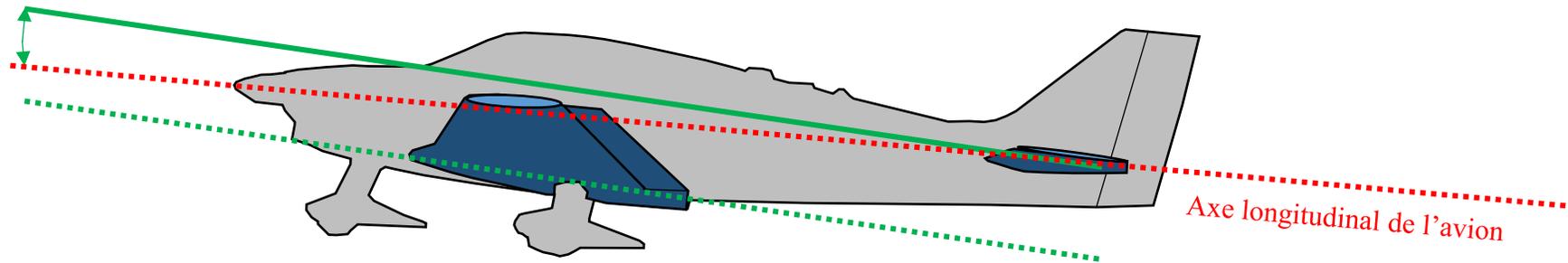
C'est l'angle formé **entre l'horizontale et l'axe longitudinal** de l'avion.



L'ANGLE DE CALAGE DE L'AILE

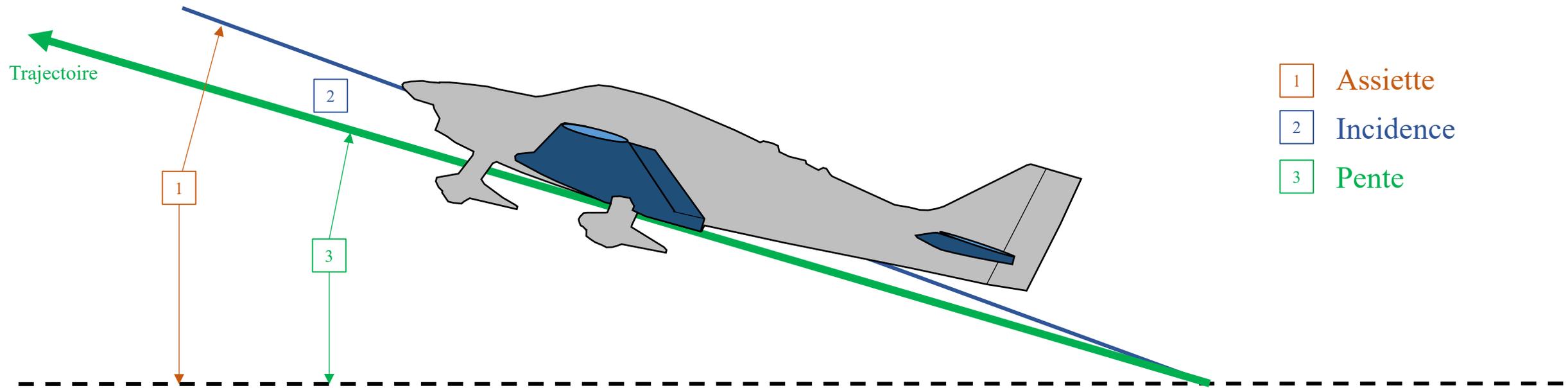
Par construction, c'est l'angle formé **entre la corde et l'axe longitudinal** de l'avion.
(généralement entre 0° et 4°)

Angle de calage de l'aile [Wing stalling]



LA PENTE

La **pente** est l'angle formé entre **la trajectoire de l'avion et l'horizontale**.



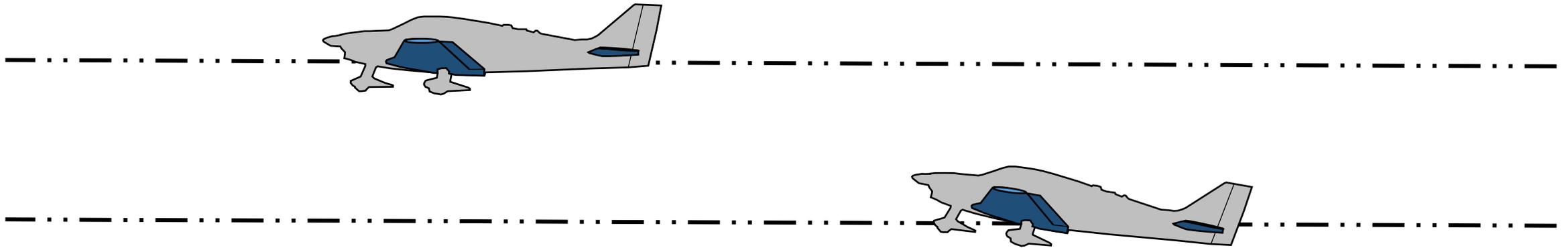
$$\text{Assiette} = \text{Angle d'incidence} + \text{Pente}$$

LA PENTE

[Steady level of flight]

Si la **pente est nulle**, la trajectoire est un

PALIER



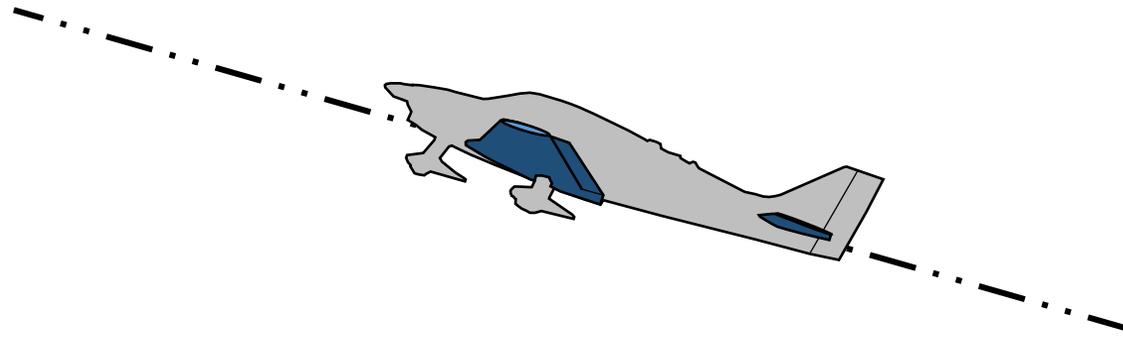
L'assiette de l'avion lent est plus cabrée, il a plus d'incidence

[Nose up]

LA PENTE

Si la **pente est positive**, la trajectoire est une MONTEE.

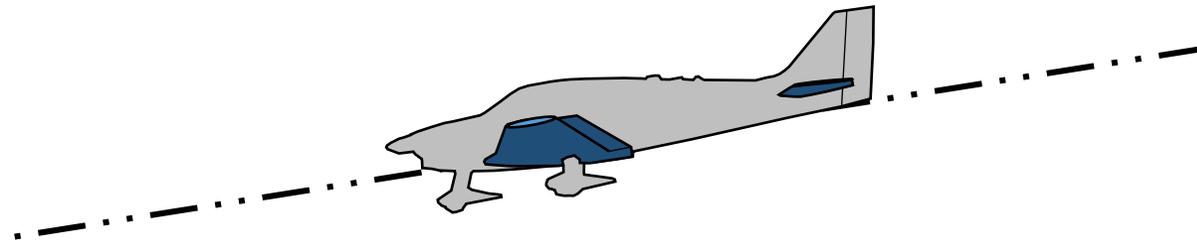
[Climb]



LA PENTE

Si la **pente est négative**, la trajectoire est une DESCENTE

[Descent]



[Nose down]

LA PENTE [Slope]

C'est aussi le rapport entre la distance horizontale et la hauteur perdue.

En aéronautique, elle peut s'exprimer de plusieurs façons :

- En mètres / seconde ou en pieds / minutes : par exemple, 2 m / s ou 500 ft / min.
- En pourcentage : 5% C'est la pente habituelle d'un avion en finale à l'atterrissage.

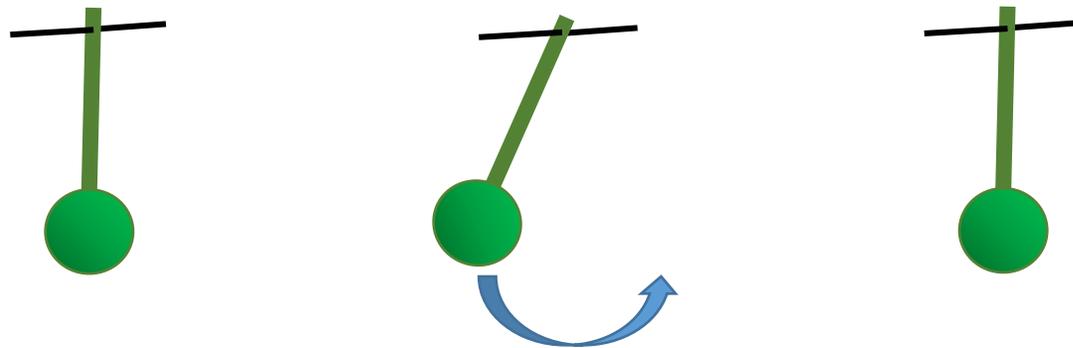
**EQUILIBRE – STABILITE
MANIABILITE**

EQUILIBRE : Stable et Instable

[Balance]

Quand il est « en équilibre », un objet reste stable dans l'espace.

Si on le déplace un peu de sa position d'équilibre ...

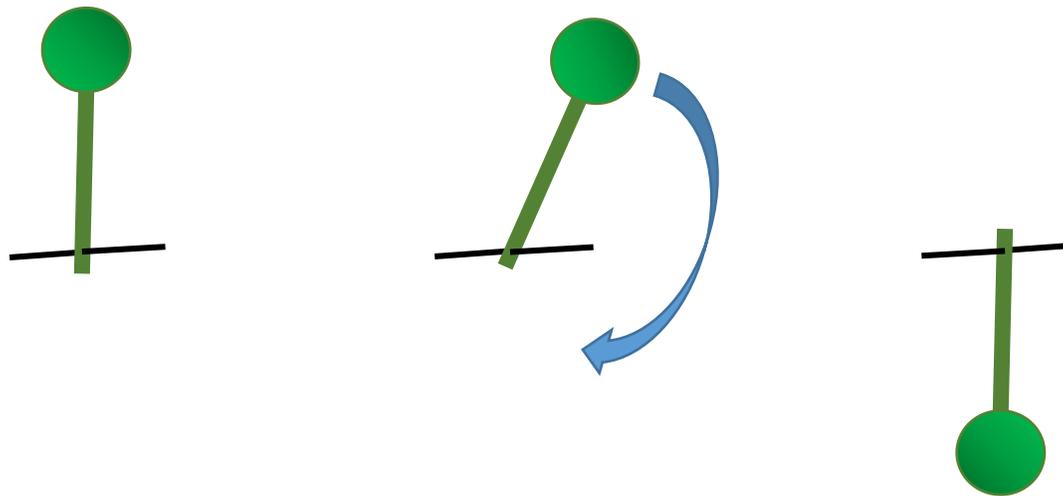


S'il revient à sa position initiale : **son équilibre est STABLE**

EQUILIBRE : Stable et Instable

Si on place le pendule en équilibre vers le haut.

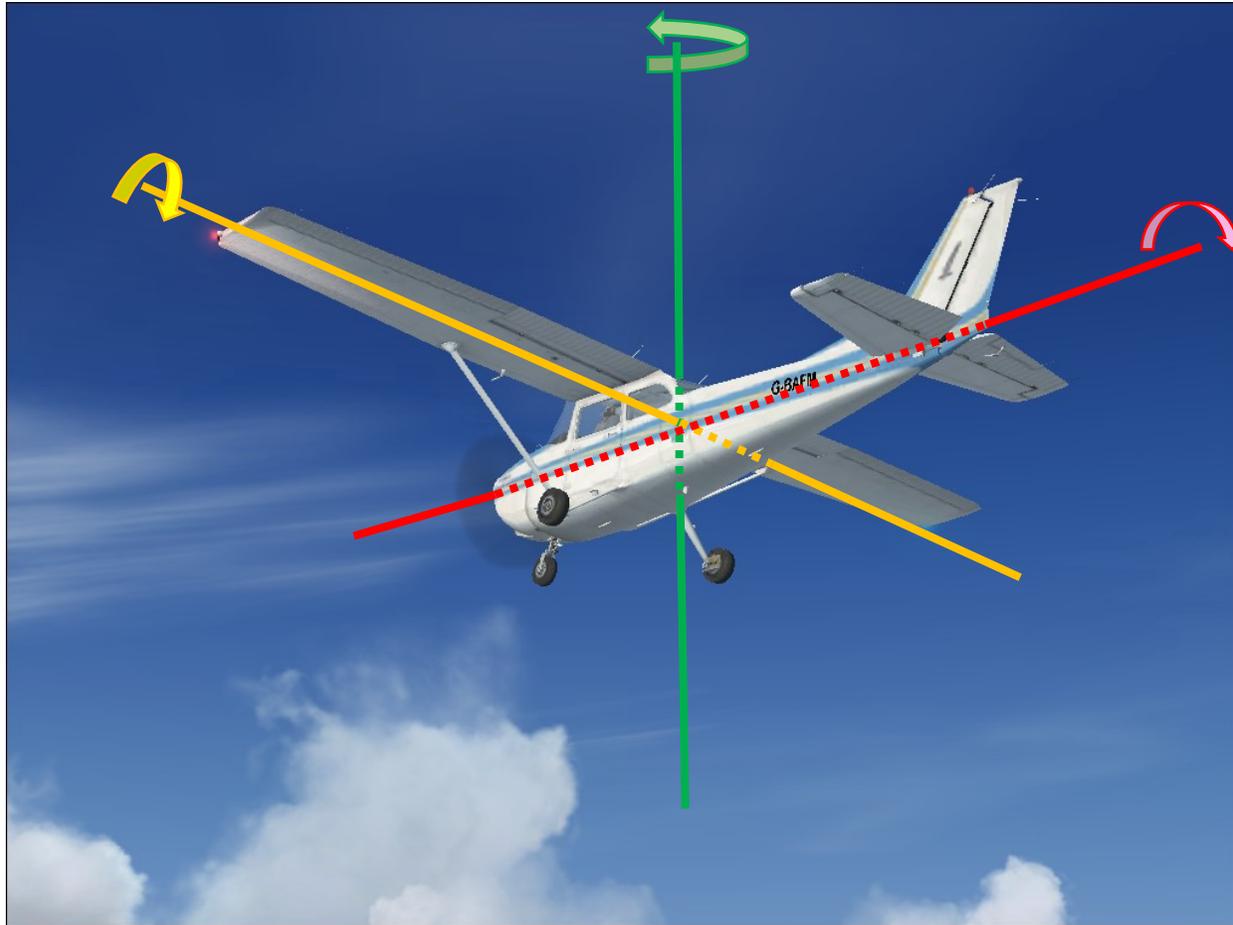
Et qu'on le déplace un peu de sa position d'équilibre ...



Pensez à la feuille de papier « en tuile » qu'on laisse tomber avec le ventre en haut au départ ... son ventre passe d'abord en bas et la feuille descend en oscillant.

S'il s'immobilise dans une autre position : **son équilibre était INSTABLE**

LES 3 AXES D'UN AVION



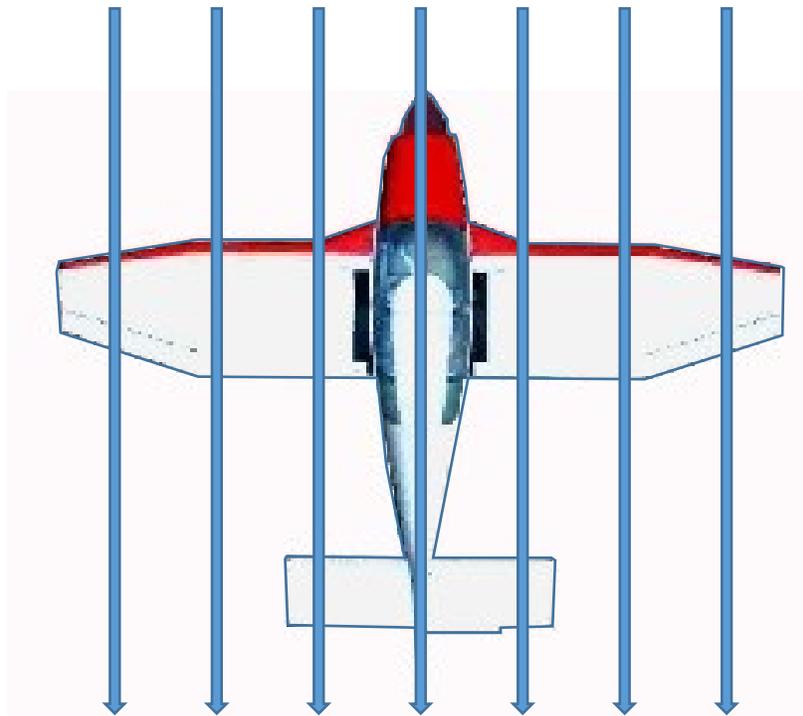
1. Axe de lacet
2. Axe de tangage
3. Axe de roulis

STABILITE LONGITUDINALE

(axe de lacet)

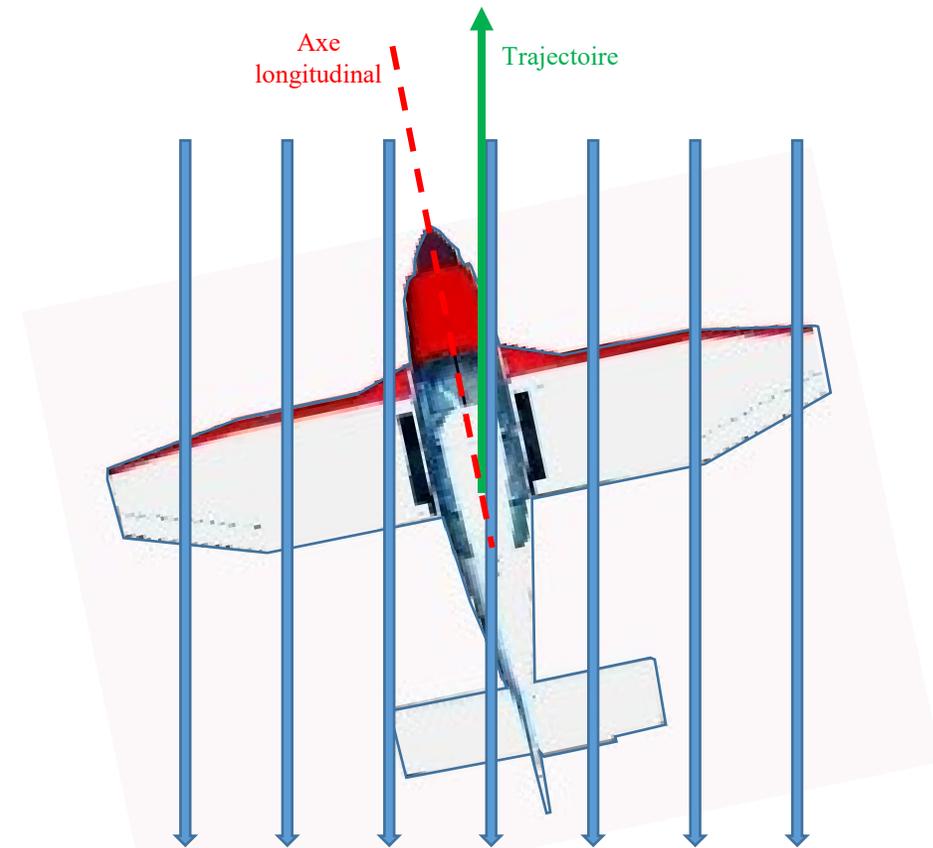
On l'appelle aussi « stabilité de route ».

L'écoulement de l'air est symétrique par rapport à l'axe du fuselage



Vol symétrique

Angle d'attaque oblique de l'avion dans le vent relatif



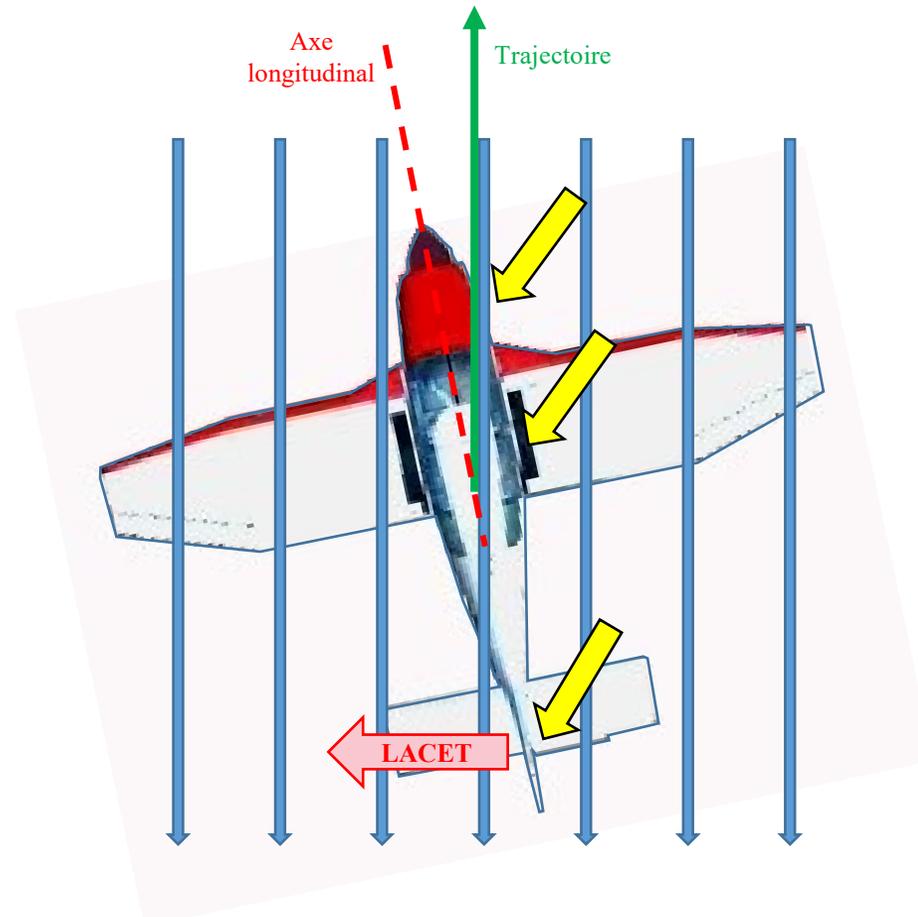
Vol dissymétrique = DERAPAGE

STABILITE LONGITUDINALE

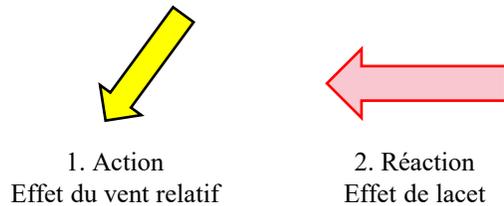
(axe de lacet)

Par « effet gyrouette » l'avion va revenir en vol symétrique.

L'effet du vent relatif sur la surface exposée du fuselage et de la dérive (partie verticale de la queue) ramène l'avion dans l'axe du vent relatif par rotation autour de l'axe de lacet.

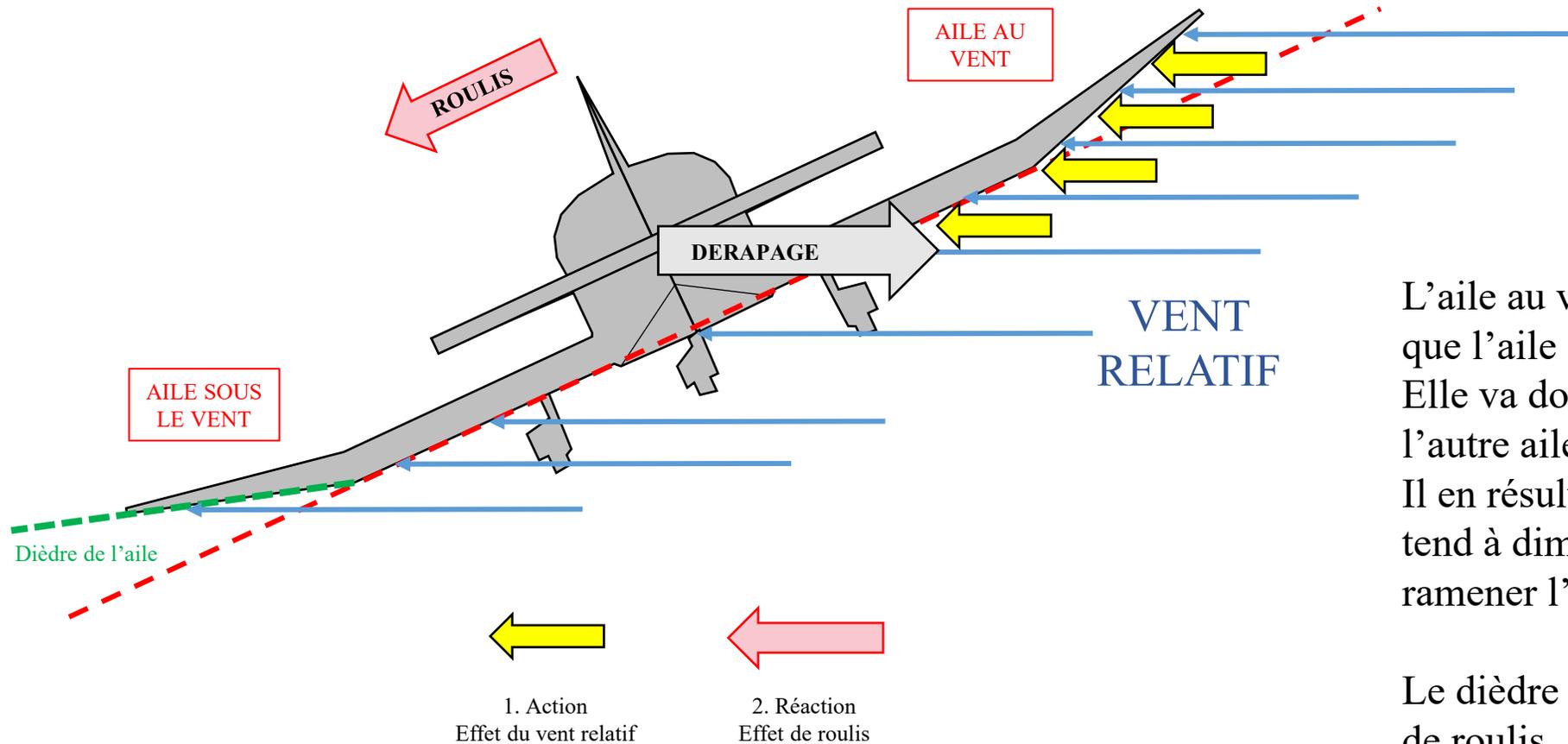


L'aile la plus en avant attaque le vent relatif avec un angle moins oblique que l'autre aile. Sa portance est plus forte ... donc sa traînée aussi : freinage de l'aile qui provoque un effet de lacet et tend à ramener l'avion dans l'axe du vent relatif.



STABILITE LATERALE

(axe de roulis)

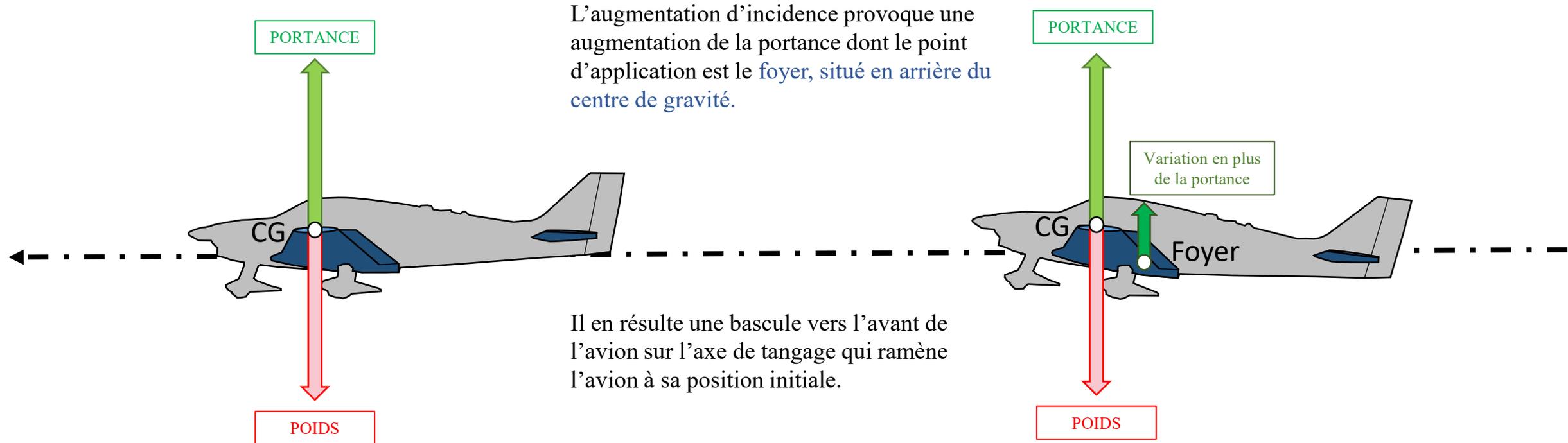


L'aile au vent a plus de portance que l'aile sous le vent. Elle va donc monter par rapport à l'autre aile. Il en résulte un **effet de roulis** qui tend à diminuer le dérapage et ramener l'avion en vol symétrique.

Le dièdre de l'aile augmente l'effet de roulis.

STABILITE EN TANGAGE

Si on provoque une petite augmentation de l'incidence et qu'on laisse l'avion réagir seul ...



Plus le foyer est situé en arrière du centre de gravité, plus la réaction de l'avion est rapide, et plus l'avion est stable.

MANIABILITE

Plus un avion est stable, plus il est faut des actions importantes pour l'écartier de sa position d'équilibre : il est peu maniable.



Stabilité et maniabilité sont donc des qualités qui évoluent dans des sens contraires.
Le compromis est fixé par les ingénieurs en fonction de l'utilisation prévue de l'avion.

MASSE et CENTRAGE [Weight and balance]

Avant chaque vol, le pilote doit s'assurer que la masse de l'avion ne dépasse pas la valeur autorisée dans le manuel de vol de l'avion **ET** que la répartition des masses place le centre de gravité de l'avion dans la zone autorisée.

Pour cela, à partir de la masse à vide de l'avion, il doit prendre en compte :

- La masse du pilote et des passagers
- La masse du carburant embarqué
- La masse des bagages embarqués

MASSE et CENTRAGE [Weight and balance]

Le pilote peut disposer de plusieurs applications qui lui permettent de faire les calculs (tableur Excel, applications sur tablette ou smartphone, ...)

Prenons l'exemple d'un avion léger (< 2T) de 4 places : Robin DR 400/140B



MASSE et CENTRAGE

		Masse (kg)		Bras de levier		Moment
1	Roue TPD	217,50	→	0,828	→	180,090
2	Roue TPG	219,50	→	0,828	→	181,746
3	Roue AV	179,50	→	-0,819	→	-147,011
4	Essence comprise lors de la pesée		→	1,120	→	
	Avion vide	616,50	→	0,350	→	215,775
	Essence inutilisable (1 l) et huile inclus					

Devis de masse et centrage

Poids de l'équipage et des PAX		Calcul de la masse de l'essence	
Pilote	73 kg	Principal (-1 l)	109 l
Co-pilote	80 kg		78,48 kg
PAX n° 1 arrière	55 kg		
PAX n° 2 arrière	55 kg	Consommation horaire	32 l
Bagage fixe (caisse + huile + barre roulage)	5 kg		
Bagage pilote et PAX			

	Masse (kg)		Bras de levier		Moment	
1	Avion vide	616,50	→	0,350	→	215,775
2	Pilote(s) avant	153,00	→	0,410	→	62,730
3	Passager(s) arrière	110,00	→	1,190	→	130,900
4	Essence principal	78,48	→	1,120	→	87,898
5	Essence sup. Ailes		→	0,100	→	
6	Bagages	5,00	→	1,800	→	9,500
	Avion en charge	962,98	→	0,526	→	506,803
		< 1000	→	< 0,564	←	

DANGER ---> REVOIR LE CHARGEMENT

	Masse (kg)		Bras de levier		Moment	
2	Roue TPG	219,50	→	0,828	→	181,746
3	Roue AV	179,50	→	-0,819	→	-147,011
4	Essence comprise lors de la pesée		→	1,120	→	
	Avion vide	616,50	→	0,350	→	215,775
	Essence inutilisable (1 l) et huile inclus					

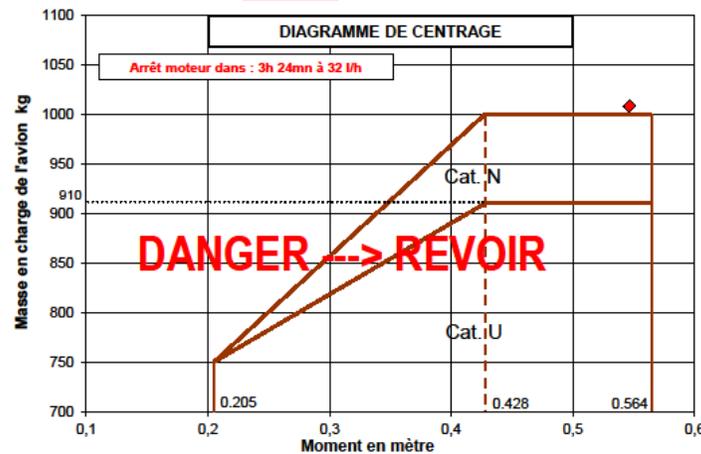
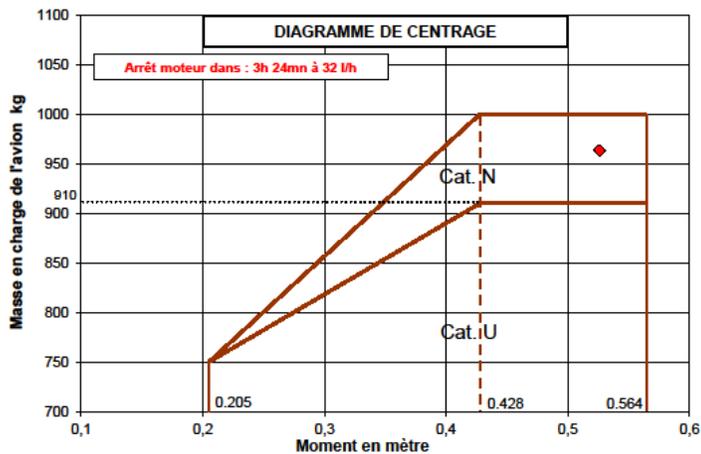
Devis de masse et centrage

DANGER ---> REVOIR LE CHARGEMENT

Poids de l'équipage et des PAX		Calcul de la masse de l'essence	
Pilote	85 kg	Principal (-1 l)	109 l
Co-pilote	80 kg		78,48 kg
PAX n° 1 arrière	70 kg		
PAX n° 2 arrière	73 kg	Consommation horaire	32 l
Bagage fixe (caisse + huile + barre roulage)	5 kg		
Bagage pilote et PAX			

	Masse (kg)		Bras de levier		Moment	
1	Avion vide	616,50	→	0,350	→	215,775
2	Pilote(s) avant	165,00	→	0,410	→	67,650
3	Passager(s) arrière	143,00	→	1,190	→	170,170
4	Essence principal	78,48	→	1,120	→	87,898
5	Essence sup. Ailes		→	0,100	→	
6	Bagages	5,00	→	1,800	→	9,500
	Avion en charge	1007,98	→	0,547	→	550,993
		< 1000	→	< 0,564	←	

SURCHARGE

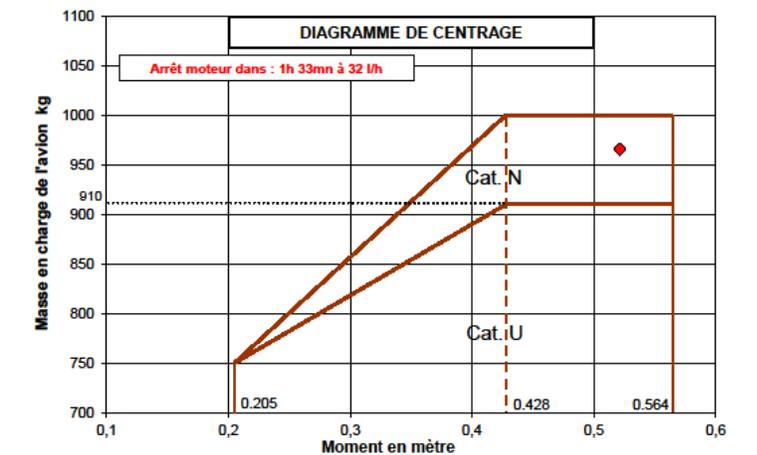


	Masse (kg)		Bras de levier		Moment	
1	Roue TPD	217,50	→	0,828	→	180,090
2	Roue TPG	219,50	→	0,828	→	181,746
3	Roue AV	179,50	→	-0,819	→	-147,011
4	Essence comprise lors de la pesée		→	1,120	→	
	Avion vide	616,50	→	0,350	→	215,775
	Essence inutilisable (1 l) et huile inclus					

Devis de masse et centrage

Poids de l'équipage et des PAX		Calcul de la masse de l'essence	
Pilote	85 kg	Principal (-1 l)	50 l
Co-pilote	80 kg		36,00 kg
PAX n° 1 arrière	70 kg		
PAX n° 2 arrière	73 kg	Consommation horaire	32 l
Bagage fixe (caisse + huile + barre roulage)	5 kg		
Bagage pilote et PAX			

	Masse (kg)		Bras de levier		Moment	
1	Avion vide	616,50	→	0,350	→	215,775
2	Pilote(s) avant	165,00	→	0,410	→	67,650
3	Passager(s) arrière	143,00	→	1,190	→	170,170
4	Essence principal	36,00	→	1,120	→	40,320
5	Essence sup. Ailes		→	0,100	→	
6	Bagages	5,00	→	1,800	→	9,500
	Avion en charge	965,50	→	0,521	→	503,415
		< 1000	→	< 0,564	←	



MASSE et CENTRAGE

Un centrage avant rend l'avion plus stable qu'un centrage arrière, il est donc plus simple à piloter et plus confortable pour les passagers.

Un centrage arrière diminue la traînée et la consommation de l'avion.

Comme souvent en aviation, tout est une question de compromis !!!

Date rédaction devis de masse et centrage le 17 octobre 2024

ACG - J.L. Benedict

Fiche de pesée et de centrage (établie à partir de la fiche de pesée du 07/04/21) F-GTZP

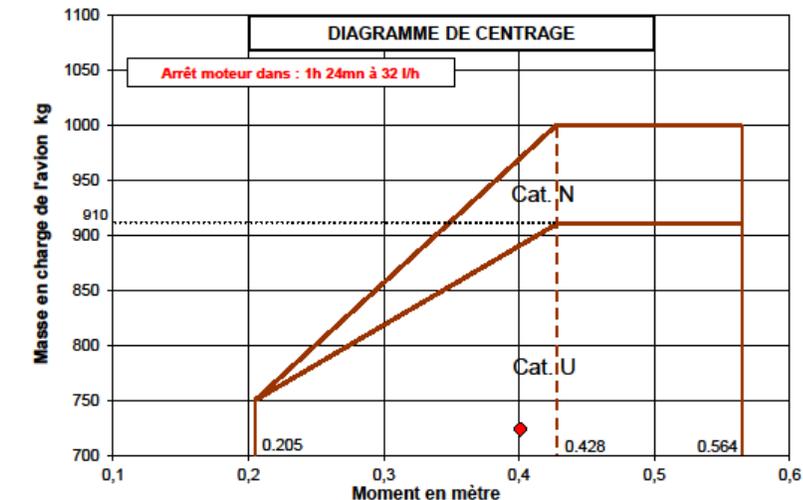
Cette fiche est une aide, ne se substitue au calcul à partir du manuel de vol et de la fiche de pesée

		Masse (kg)		Bras de levier		Moment
1	Roue TPD	217,50	->	0,828	->	180,090
2	Roue TPG	219,50	->	0,828	->	181,748
3	Roue AV	179,50	->	-0,819	->	-147,011
4	Essence comprise lors de la pesée		->	1,120	->	
	Avion vide	616,50	->	0,350	->	215,775
	Essence inutilisable (1 l) et huile inclus					

Devis de masse et centrage

Poids de l'équipage et des PAX		Calcul de la masse de l'essence	
Pilote	70 kg	Principal (-1 l)	45 l
Co-pilote		Droit	
PAX n° 1 arrière		Gauche	
PAX n° 2 arrière		Consommation horaire	32 l
Bagage fixe (caisse + huile + barre roulage)	5 kg		
Bagage pilote et PAX			

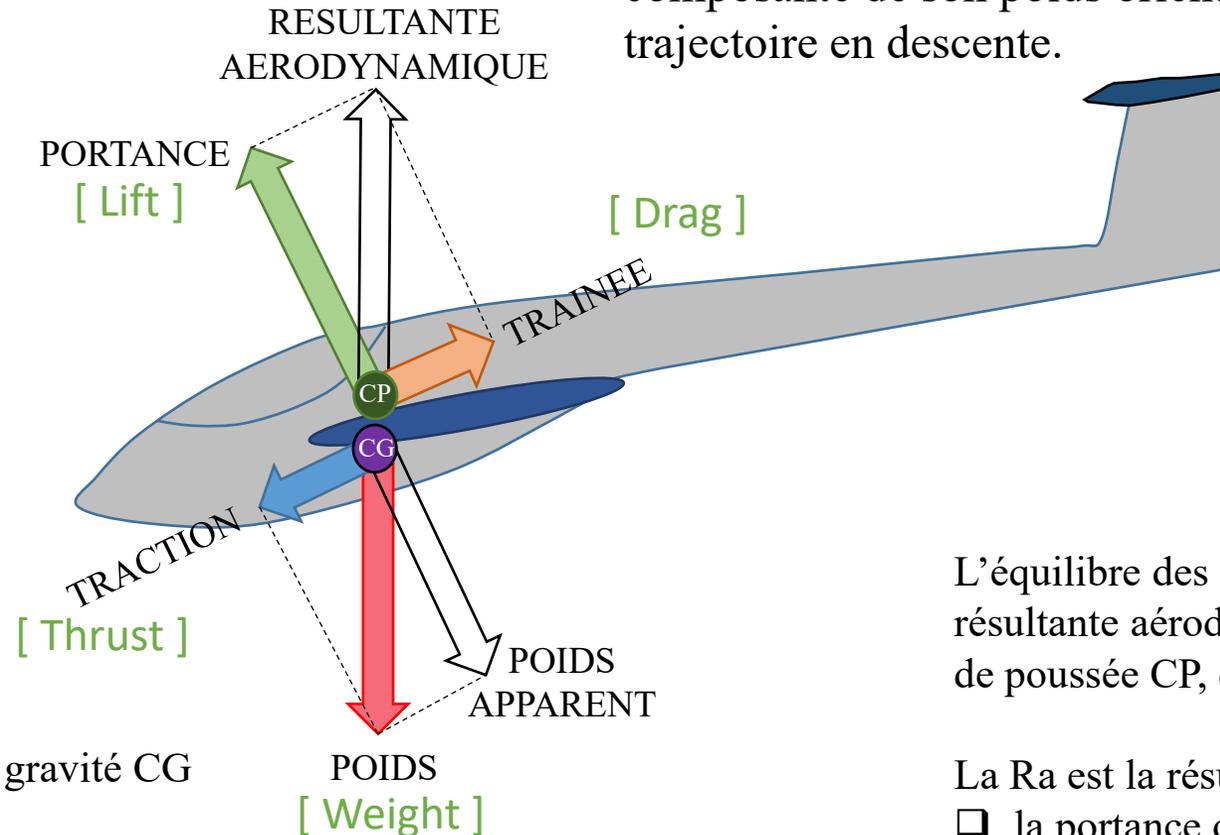
		Masse (kg)		Bras de levier		Moment
1	Avion vide	616,50	->	0,350	->	215,775
2	Pilote(s) avant	70,00	->	0,410	->	28,700
3	Passager(s) arrière		->	1,190	->	
4	Essence principal	32,40	->	1,120	->	36,288
5	Essence sup. Ailes		->	0,100	->	
6	Bagages	5,00	->	1,800	->	9,000
	Avion en charge	723,90	->	0,401	<-	290,263
		< 1000	->	< 0,564	<-	



ETUDE DU VOL PLANE

LE VOL PLANE

Un aéronef qui plane (sans moteur ni courant ascendant) obtient la vitesse nécessaire au vol uniquement par la composante de son poids orientée face au vent relatif sur une trajectoire en descente.



L'équilibre des forces est obtenu par la résultante aérodynamique appliquée au centre de poussée CP, qui s'oppose au poids.

- La Ra est la résultante de l'action de :
- la portance opposée au poids apparent
 - la traînée opposée à la traction

Le poids s'applique au centre de gravité CG et se décompose en :

- une force de traction
- une composante qui est le poids apparent.

Notez que le « poids apparent » est plus petit que le poids.

LE VOL PLANE

La vitesse de l'avion est modifiée par les **variations d'assiette** :

Une variation d'assiette à piquer augmente la vitesse.

Une variation d'assiette à cabrer diminue la vitesse.

Le rapport de la vitesse horizontale sur la vitesse verticale (pente) détermine la **finesse**.

**ETUDE DU VOL MOTORISE
STABILISE**

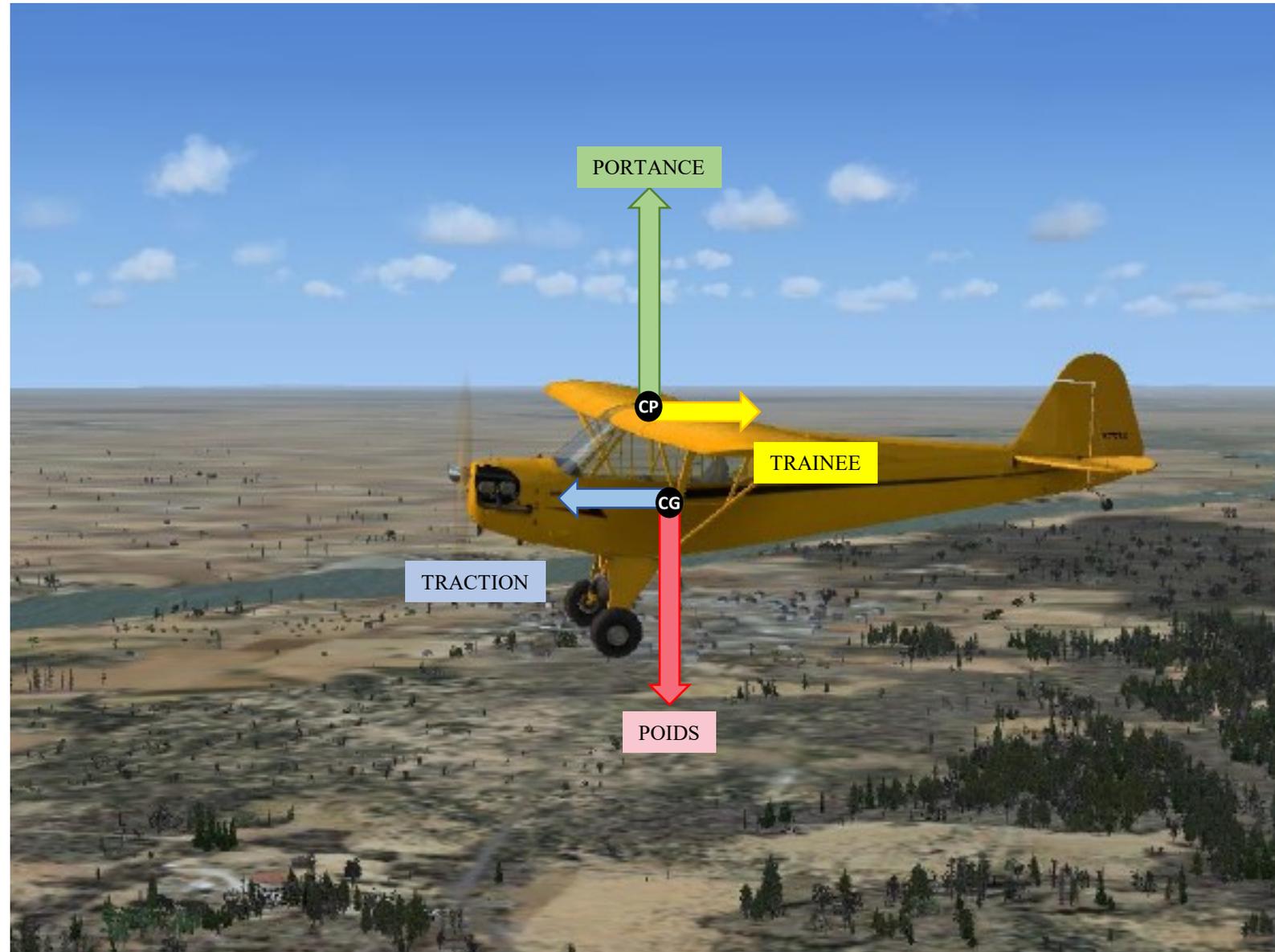
LE PALIER

(vol à altitude constante)

L'avion est en équilibre :

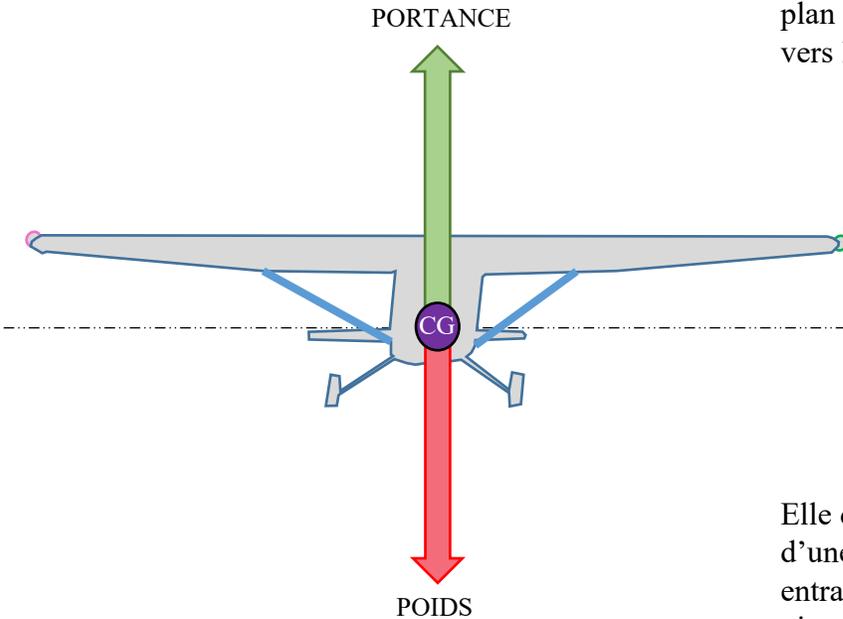
- ❑ la portance compense le poids
- ❑ la traction compense la traînée

L'avion progresse dans l'air grâce à la traction contrôlée par la manette des gaz.



LE VIRAGE EN PALIER

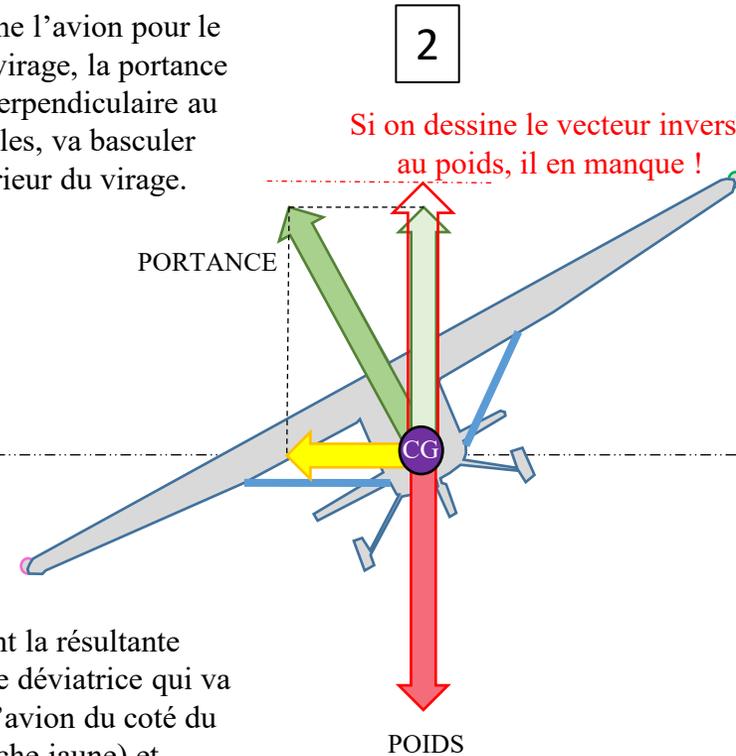
Pour comprendre le virage en palier, il faut partir d'un équilibre connu : la ligne droite en palier stabilisé (schéma 1).



La portance équilibre le poids

1

Si on incline l'avion pour le mettre en virage, la portance qui reste perpendiculaire au plan des ailes, va basculer vers l'intérieur du virage.

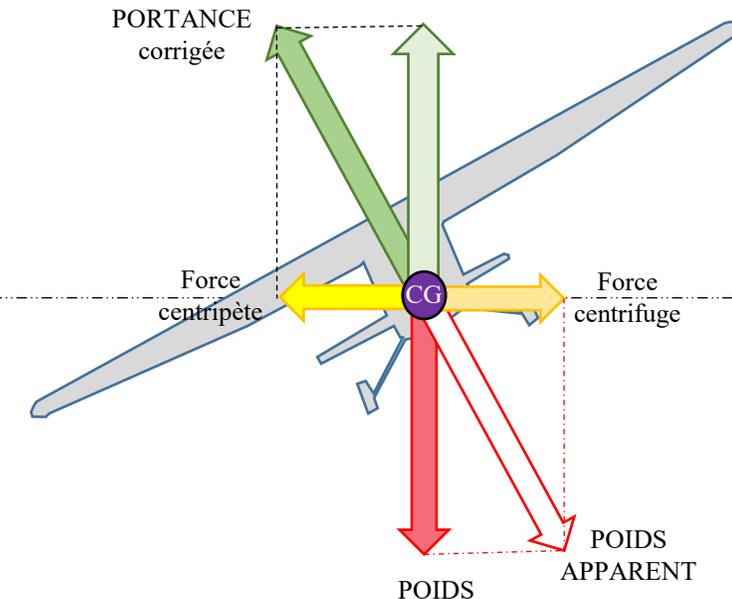


Elle devient la résultante d'une force déviatrice qui va entraîner l'avion du côté du virage (flèche jaune) et d'une composante verticale qui s'oppose au poids mais qui est plus petite.

Si aucune action correctrice n'est appliquée, l'avion descend pendant le virage.

2

Il faut donc augmenter la portance, soit par une augmentation de l'incidence, soit par une augmentation de la vitesse (manette des gaz) pour que la composante verticale de la portance compense complètement le poids



En virage stabilisé en palier, on retrouve un équilibre des forces.

Notez que le poids apparent est supérieur au poids réel (facteur de charge).

3

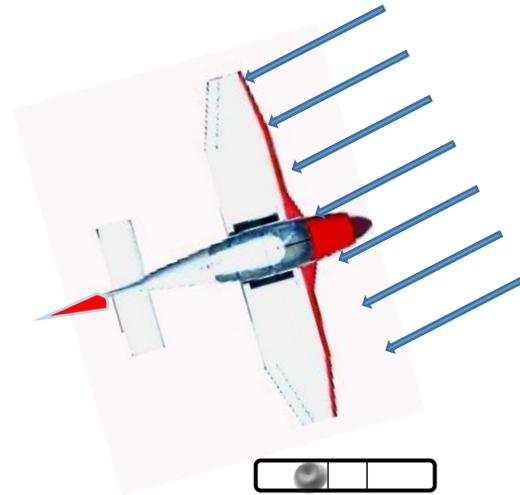
LE VIRAGE EN PALIER

En virage, l'inclinaison provoque une augmentation d'incidence de l'aile haute qui s'accompagne d'une augmentation de sa portance mais aussi de sa traînée. Il en résulte, quelques instant après l'inclinaison, un petit « recul » de l'aile haute par rapport à l'aile basse et une dissymétrie de l'avion sur l'axe longitudinal : c'est le phénomène de « lacet inverse » (plus ou moins prononcé selon le modèle d'avion).

Augmentation de la portance
et de la traînée de l'aile haute

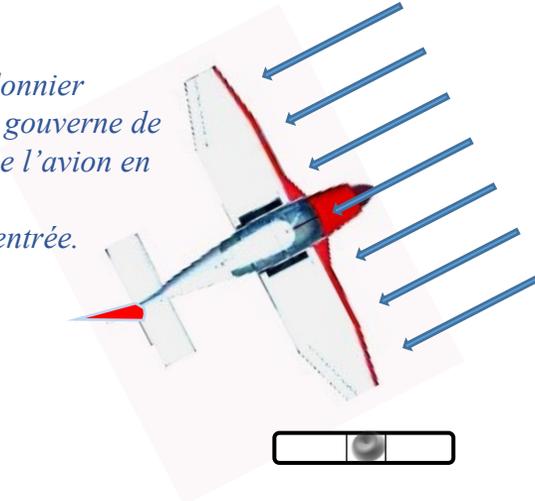


Lacet inverse : l'avion s'incline à gauche (roulis) et son nez dévie vers la droite (lacet).



L'avion est en dérapage intérieur gauche

L'action sur le palonnier gauche agit sur la gouverne de direction et ramène l'avion en vol symétrique. La bille est bien centrée.



Pour rétablir la symétrie du vol, il faut agir sur la gouverne de direction (palonnier du côté du virage) et ramener l'axe longitudinal de l'avion dans l'axe du vent relatif.

Un virage nécessite donc la coordination de l'inclinaison (axe de roulis) et de la direction (axe de lacet) du côté du virage pour que la bille reste bien centrée (symétrie du vol).

Si l'action au palonnier est exagérée, c'est l'effet inverse qui se produit. La bille part du côté opposé au virage : l'avion est en dérapage extérieur, ce qui a pour conséquence d'augmenter l'inclinaison. C'est le phénomène de « roulis induit ».

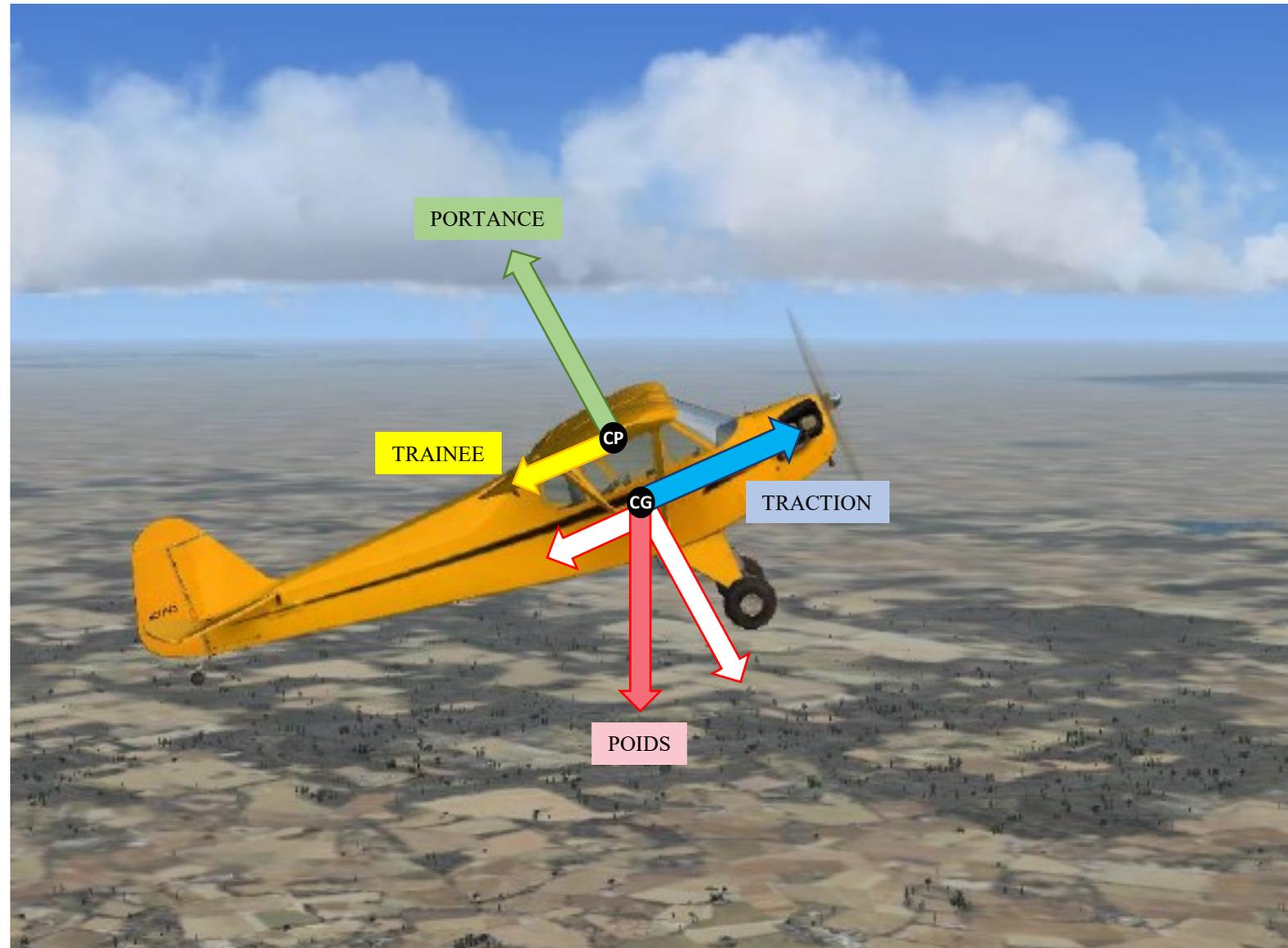
L'instrument de contrôle de la symétrie du vol (la bille) montre que l'avion est en dérapage intérieur : la bille est décalée vers l'intérieur du virage (du côté de l'aile qui « attaque » le vent relatif).

Le lacet inverse et le roulis induit sont des « effets secondaires » des gouvernes.

LA MONTEE

L'avion est en équilibre :

- ❑ la portance compense la grande composante du poids
- ❑ la traction compense la traînée et la petite composante du poids



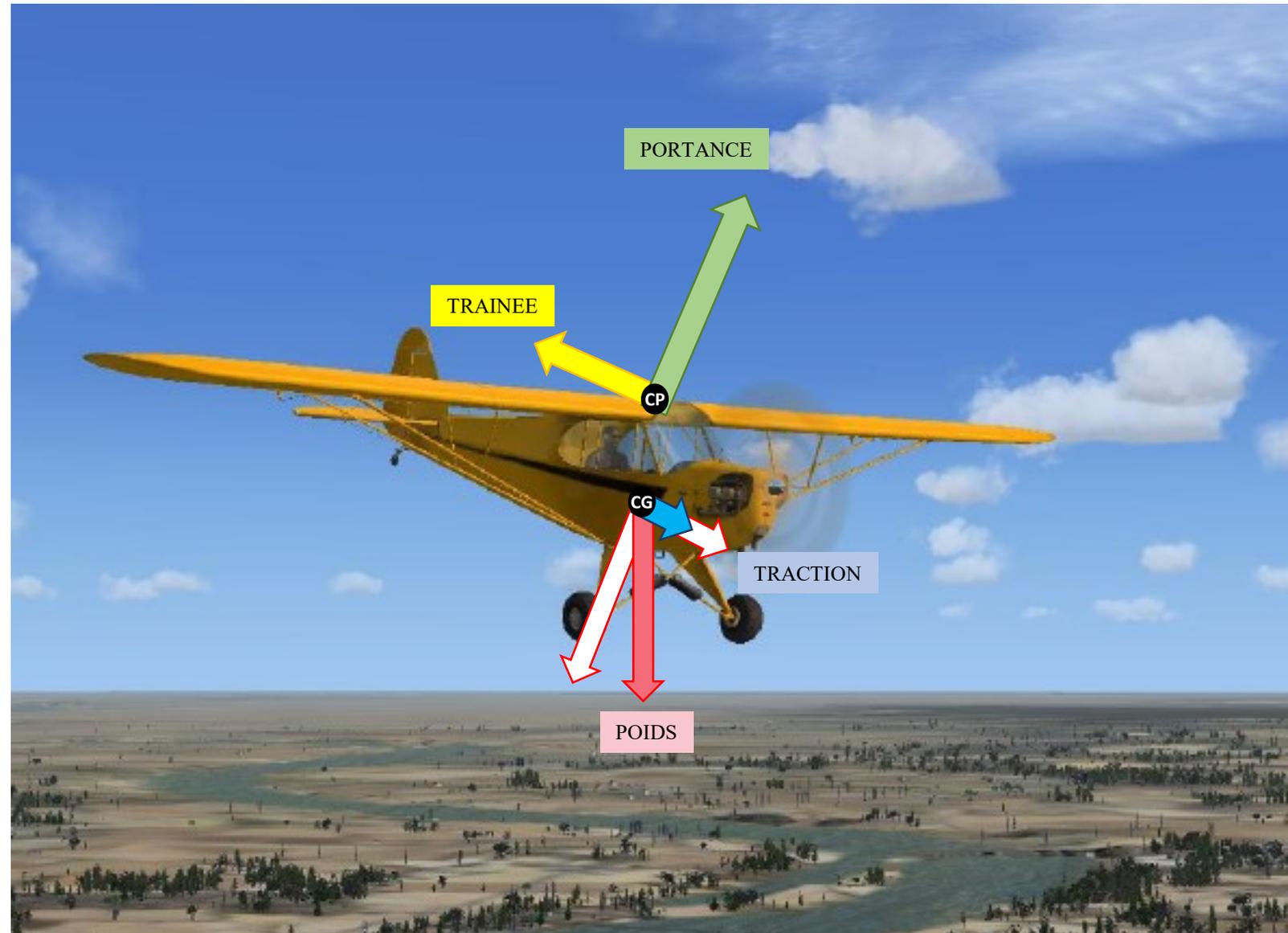
LA DESCENTE

L'avion est en équilibre :

- ❑ la portance compense la grande composante du poids
- ❑ la traction et la petite composante du poids compensent la traînée

En descente, la force de traction du moteur nécessaire au vol est plus petite que pour maintenir le palier.

Elle peut même être remplacée par la petite composante du poids qui compense à elle seule la traînée : c'est ce qui se passe pour un planeur.



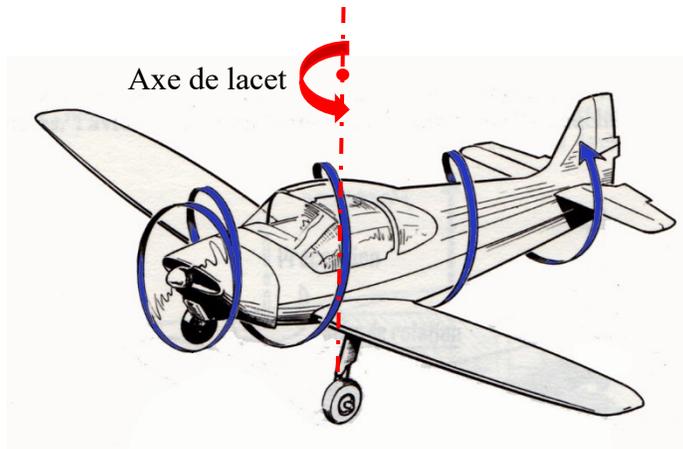
LES « EFFETS MOTEUR »

Ils concernent les avions à hélice(s).

Les variations de la puissance du moteur au cours du vol vont provoquer des perturbations de l'équilibre de l'avion sur chacun de ses 3 axes.

1. Souffle hélicoïdal

Hélice qui tourne vers la droite de la place pilote



Action

Effet

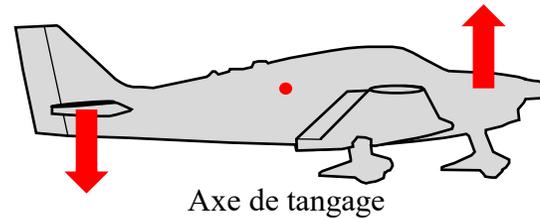
Puissance +

Lacet à gauche

Puissance -

Lacet à droite

2. Couple cabreur - piqueur



Action

Effet

Puissance +

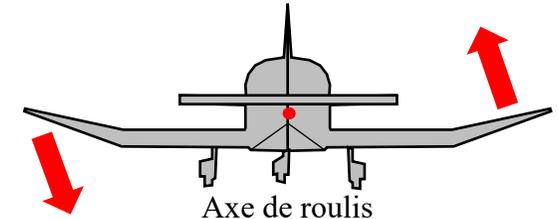
Tangage cabreur

Puissance -

Tangage piqueur

3. Couple de renversement

Hélice qui tourne vers la droite de la place pilote



Action

Effet

Puissance +

Roulis à gauche

Puissance -

Roulis à droite

Ces 3 effets sont cumulatifs. Ils se produisent simultanément.