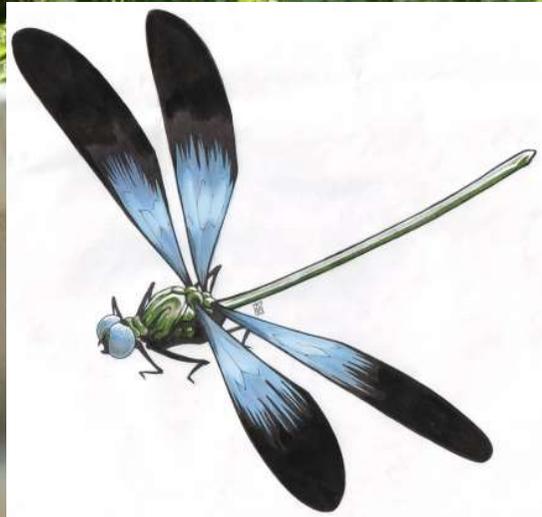


MECANIQUE DU VOL PLANE



Philippe THOUZEAU
Moniteur Instructeur d'Etat
Parapente
Deltaplane
ULM
Paramoteur

Toute reproduction et diffusion sans l'accord de l'auteur est interdite

Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
- flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
- (-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, traînée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
- (-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
- (-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

- schéma des forces
- (-Applications au pilotage)

8-ON VOLE!

- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
- (-Applications au pilotage)

POURQUOI QUE CA VOLE?



Copyright Philippe THOUZEAU Moniteur
d'Etat Parapente Delta ULM Paramoteur

UN PEU D'HISTOIRE



LES HYPOTHESES

On ricoche sur l'air?
On glisse sur l'air?
On se fait aspirer?
Il faut battre des ailes?
L'air ça colle?
Qu'est-ce qu'on mange ce
soir?



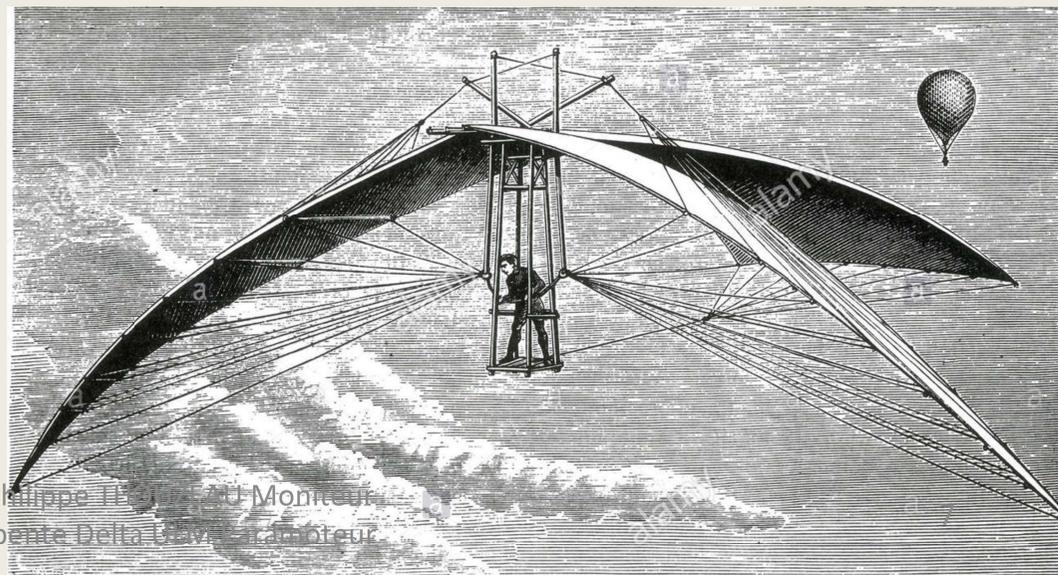
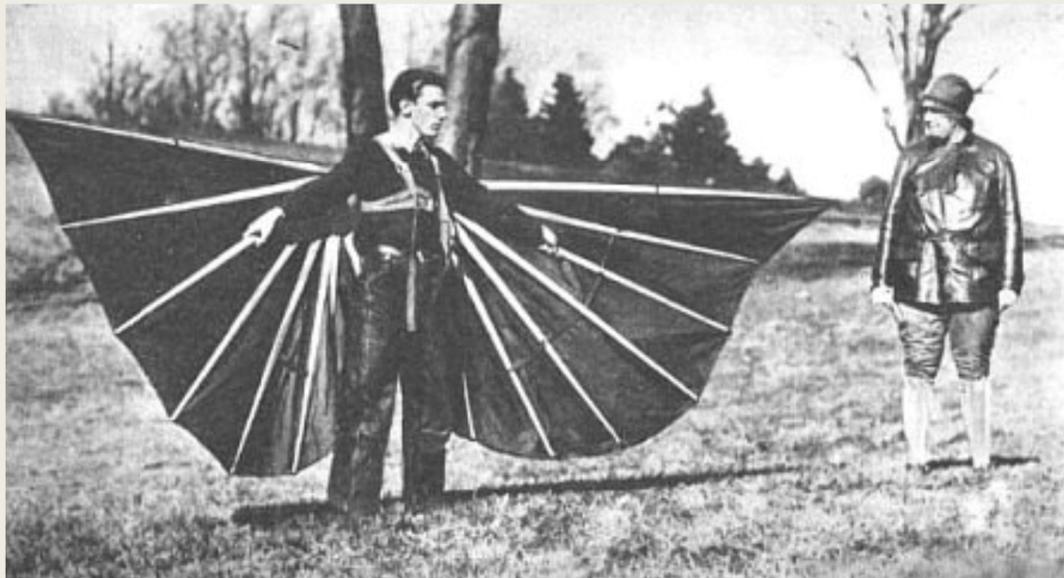
EFFET RICOCHET (Newton)

L'aile occasionne un déplacement du fluide (le plus souvent vers le bas), du fait de sa forme et de son incidence (angle formé par l'aile et direction). Comme à toute action existe une réaction, le plan porteur serait par conséquent aspiré en sens inverse.



Isaac Newton
1643-1727

LE VOL DE L'OISEAU (Icare)

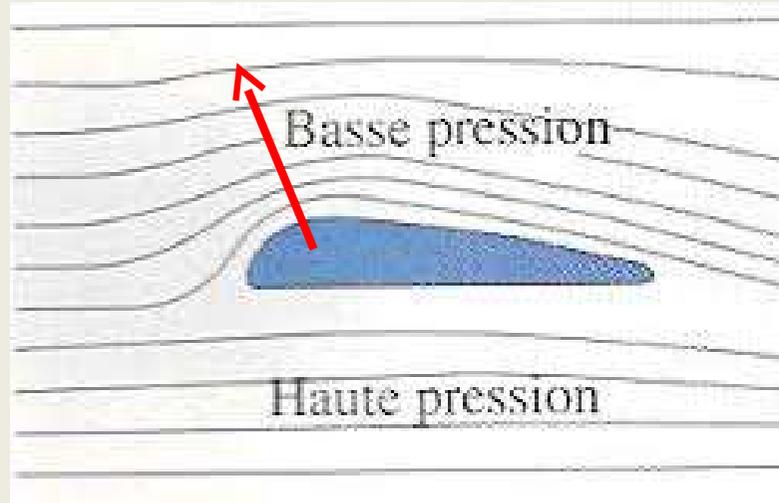
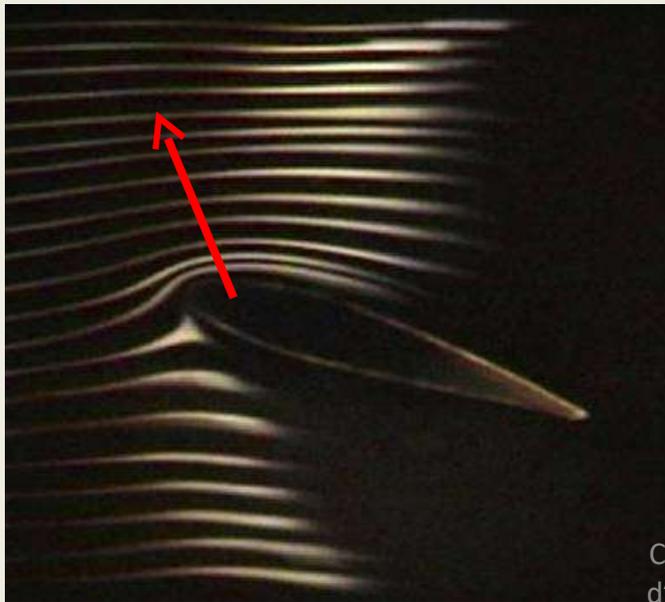


right Philippe Lebon, Le Moniteur
t Parapente Delta Université de Montréal

UNE FORCE VERS LE HAUT?

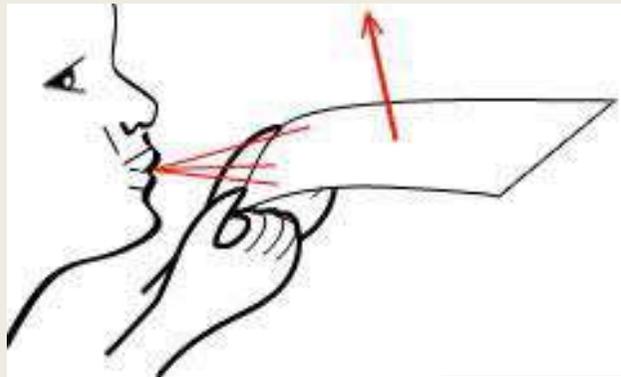
(Bernouilli)

Dans la majorité des cas, la face supérieure d'une aile a une longueur supérieure à la face inférieure. La molécule qui passe au dessus de l'aile, va parcourir plus de distance qu'une seconde qui passe sous le profil. Celle dirigée vers la voie supérieure (extrados), devrait voir sa vitesse augmenter. Suivant le théorème de Bernouilli la vitesse augmentant, la pression diminue, d'où création d'une portance (et inversement sur l'intrados).



Daniel Bernoulli (1700-1782)

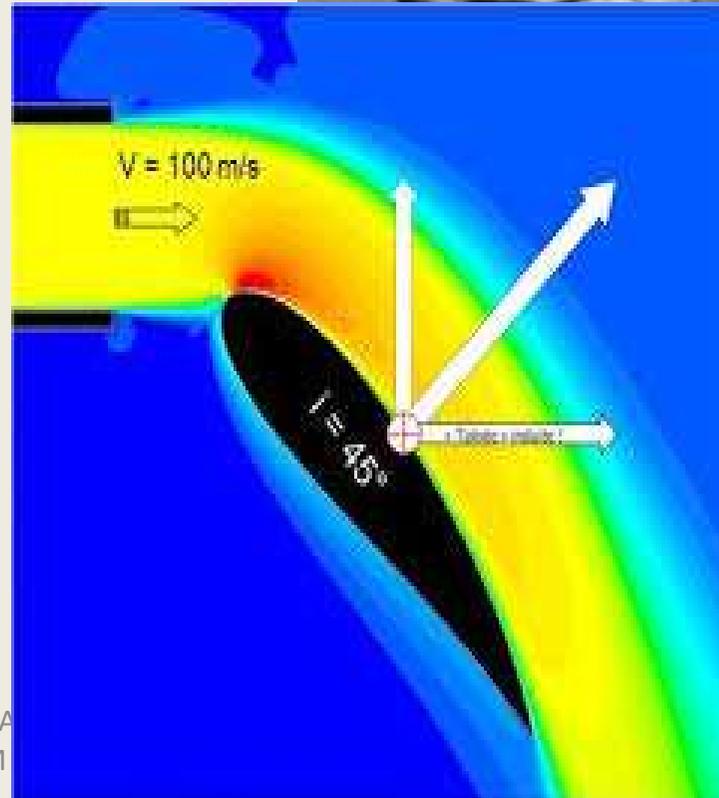
L'AIR CA COLLE? (Coanda)



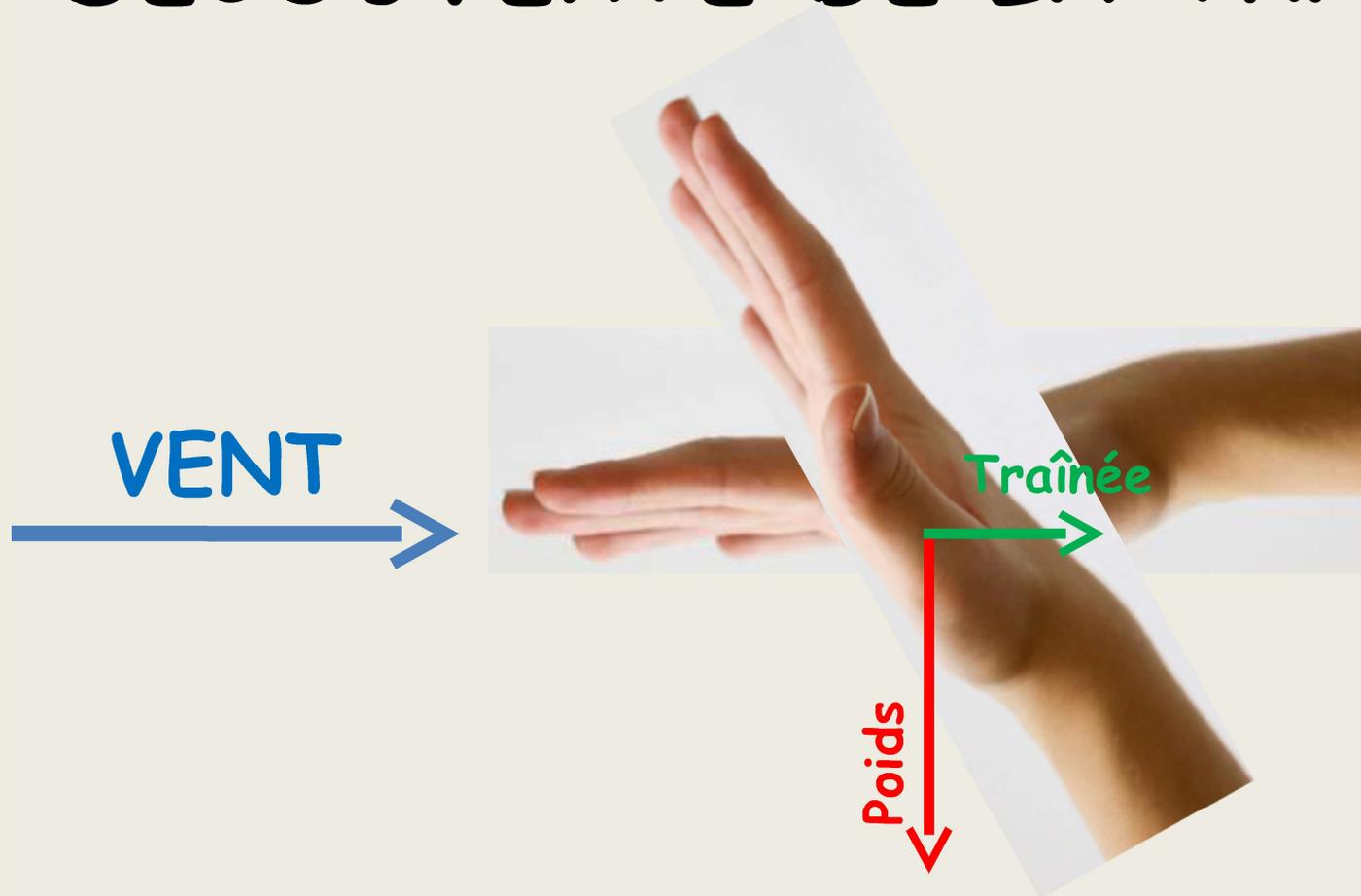
L'effet Coanda est l'attraction d'un jet de fluide visqueux sur laquelle il s'écoule sur la surface et subit une déviation. Il ne se détache avec une trajectoire parabolique celle qu'il avait en amont.

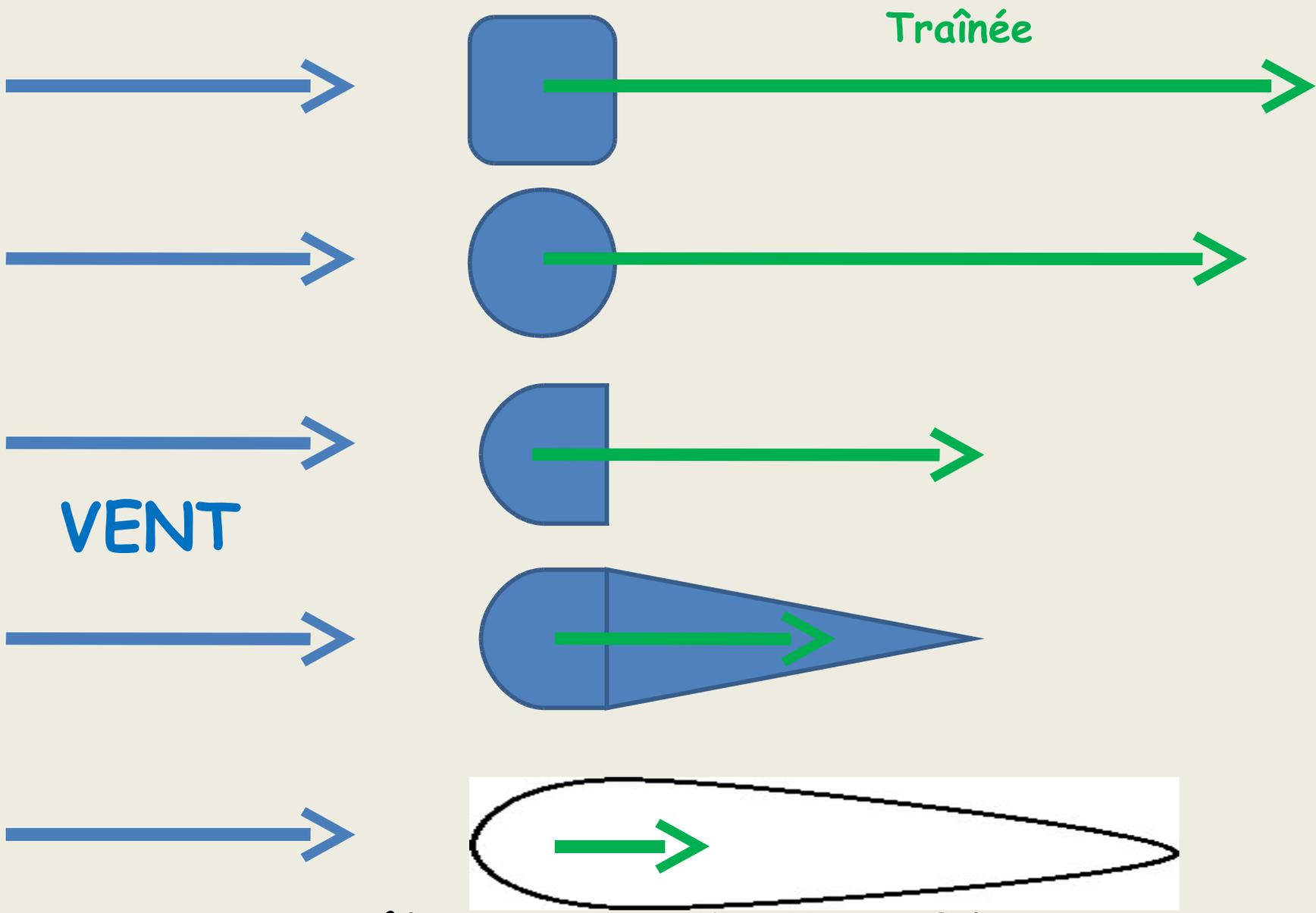


Copyright Philippe THOUZEAU
d'Etat Parapente Delta ULM



DECOUVERTE DE LA TRAINÉE





Amélioration des profils

Copyright Philippe THOUZEAU Moniteur d'Etat Parapente Delta ULM Paramoteur

Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
- flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
- (-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, traînée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
- (-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
- (-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

- schéma des forces
- (-Applications au pilotage)

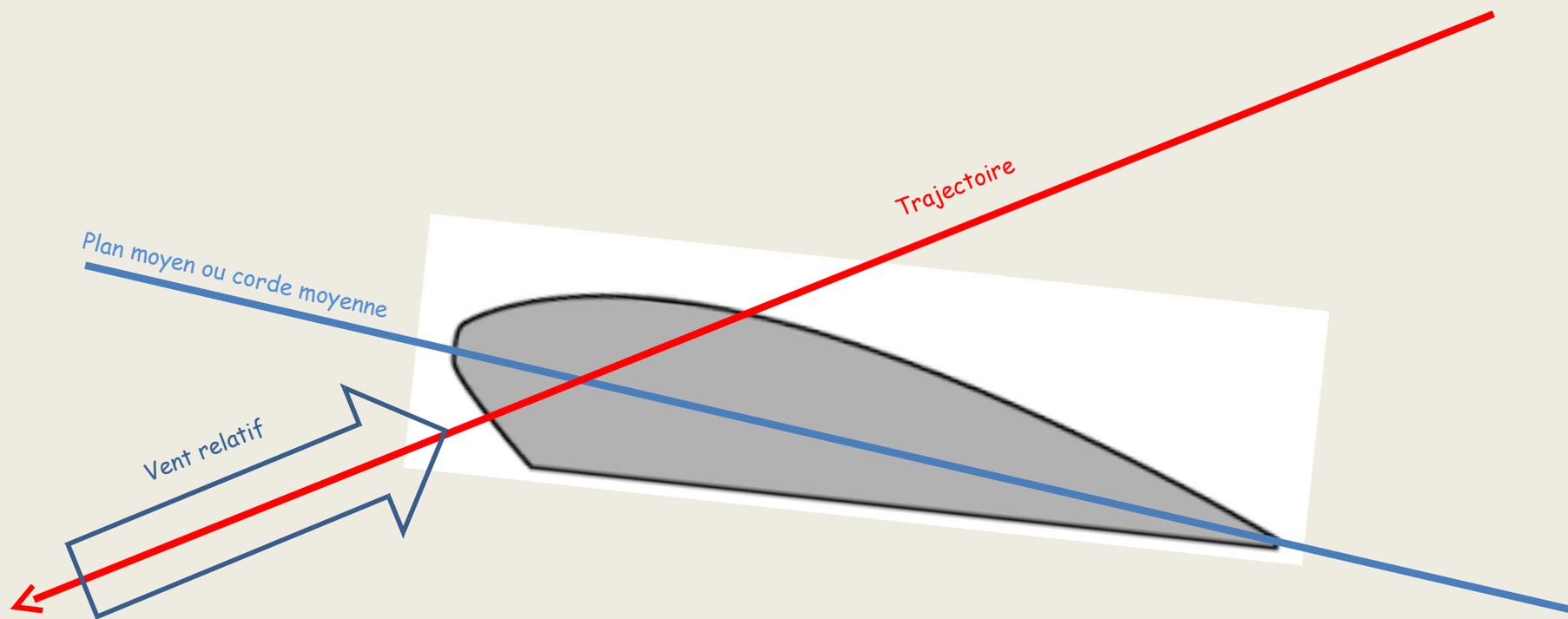
8-ON VOLE!

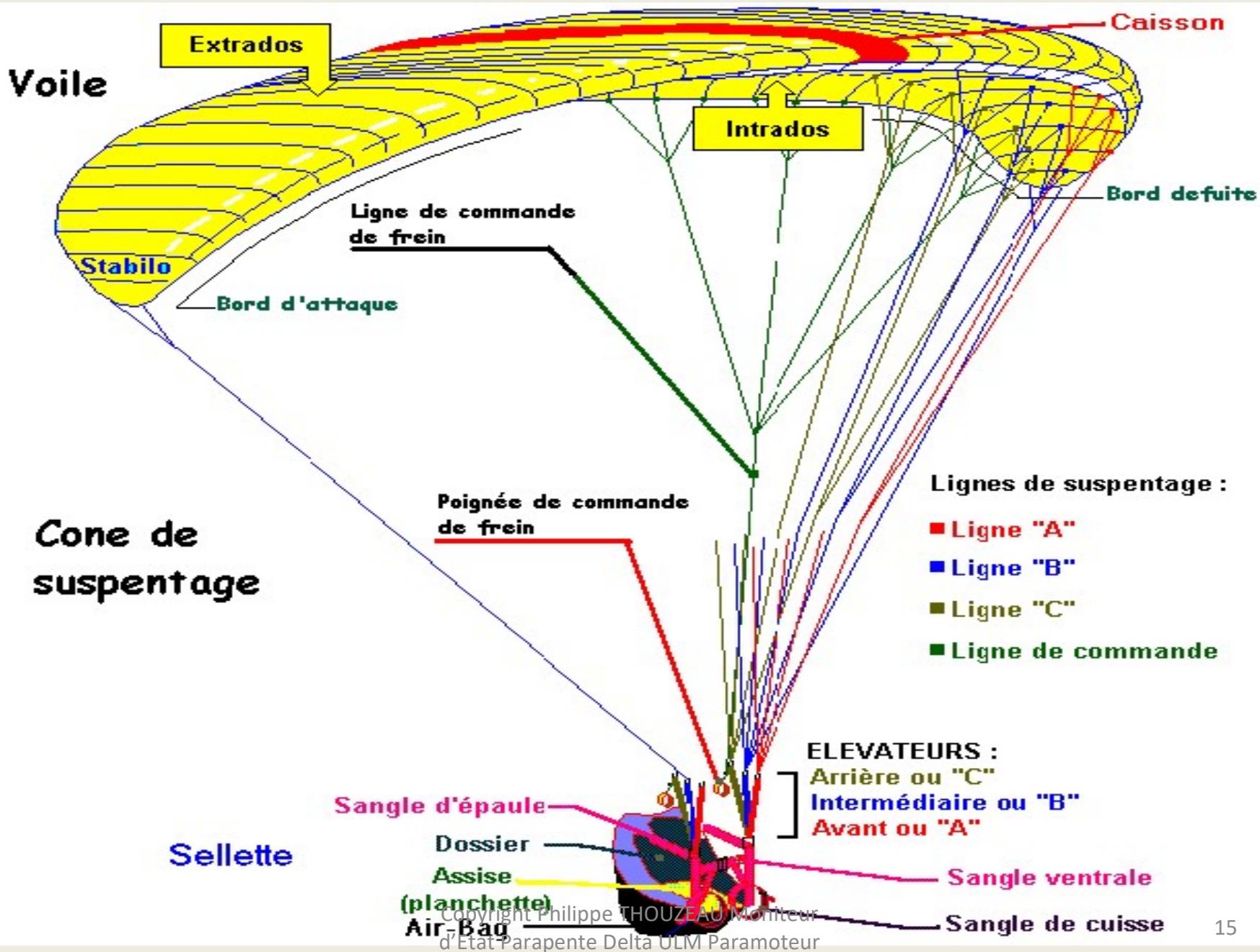
- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
- (-Applications au pilotage)

VOCABULAIRE

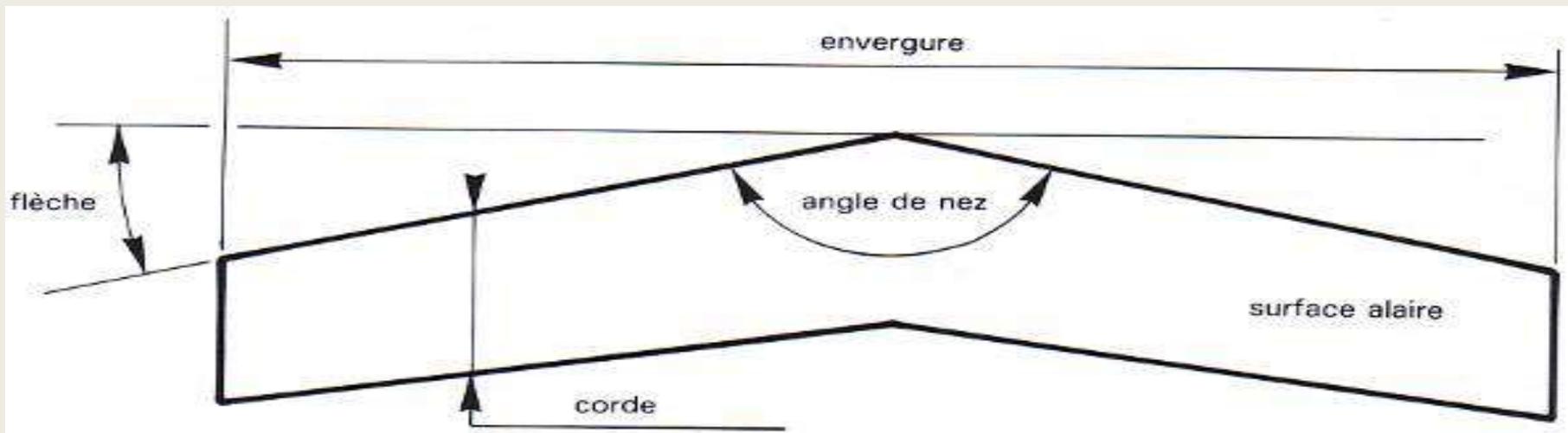


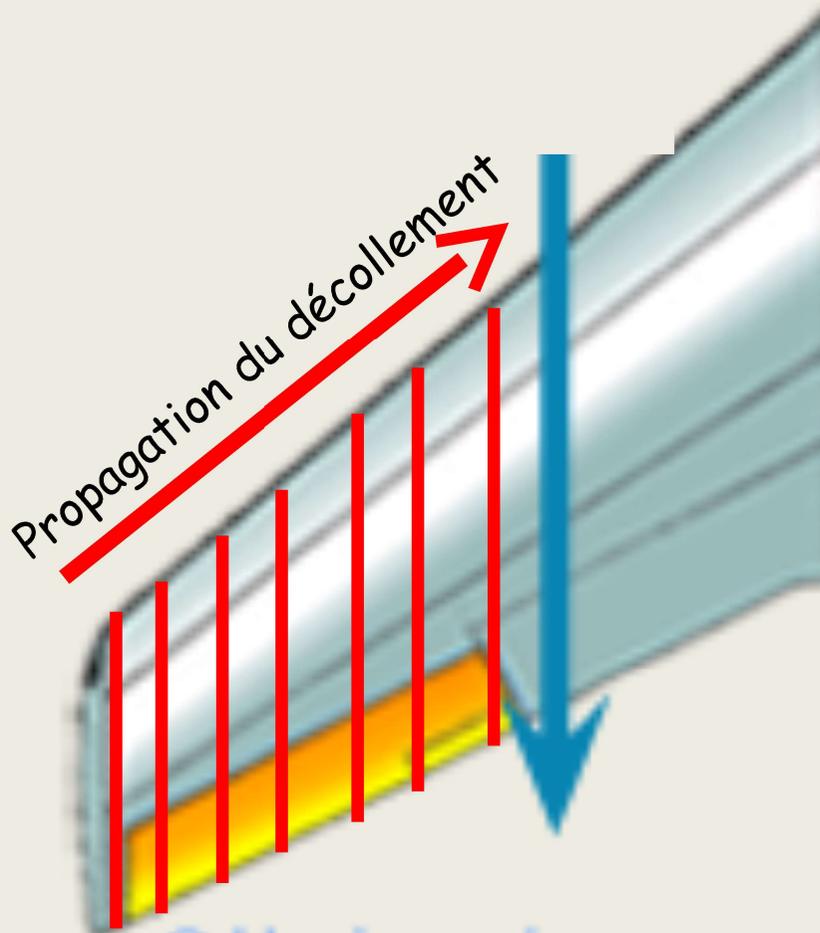
Copyright Philippe THOUZEAU Moniteur
d'Etat Parapente Delta ULM Paramoteur



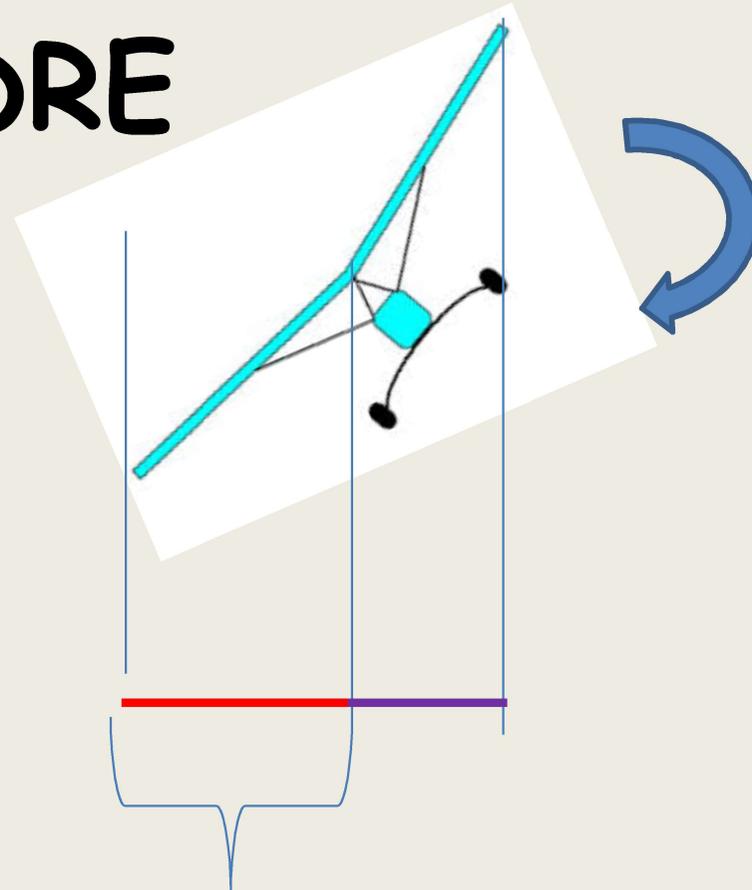
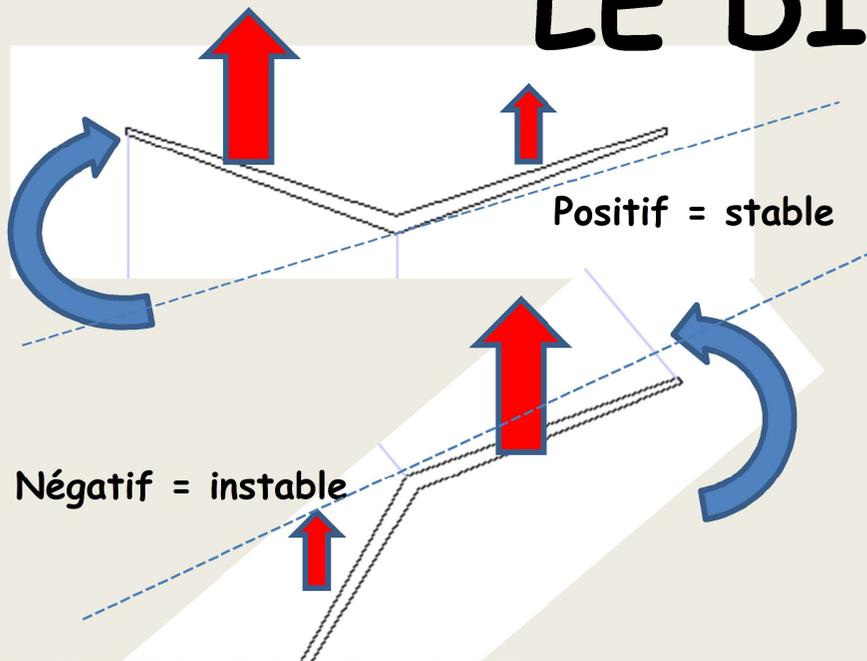


LA FLECHE





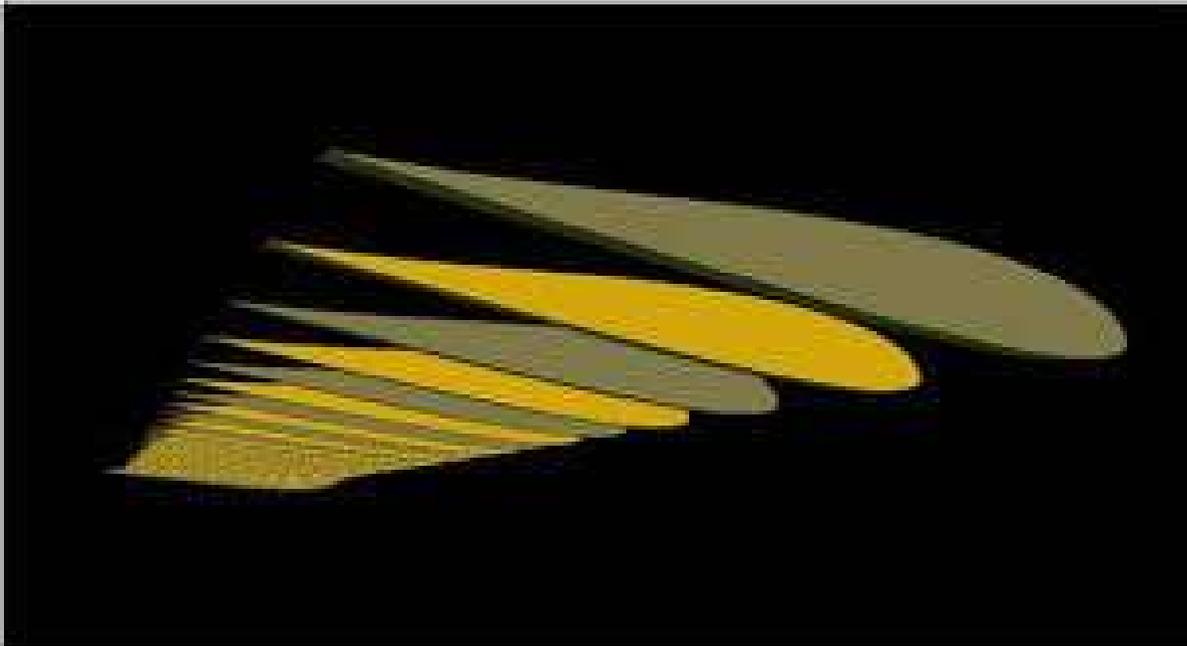
LE DIEDRE



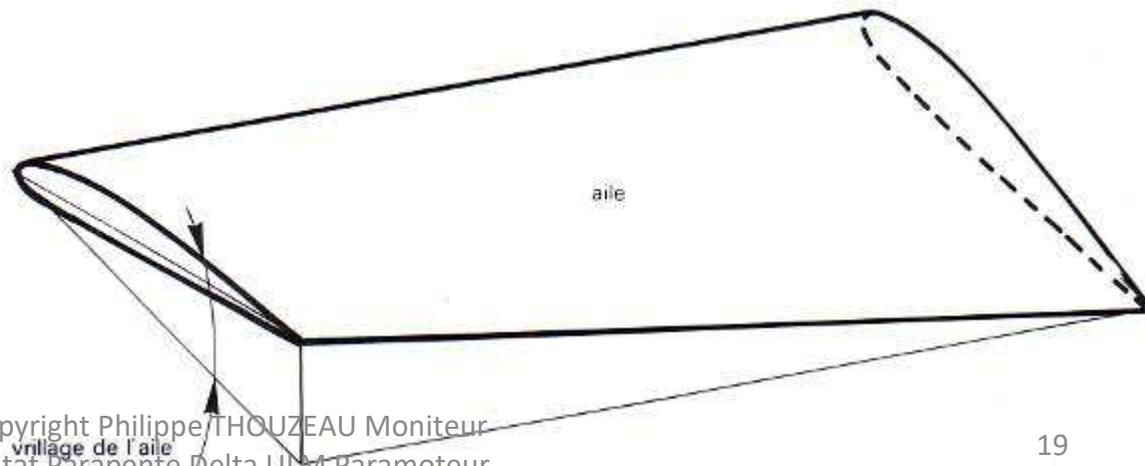
Surface projetée plus importante à gauche: (portance plus forte=l'appareil se remet à plat=autostabilité)



LE VRILLAGE

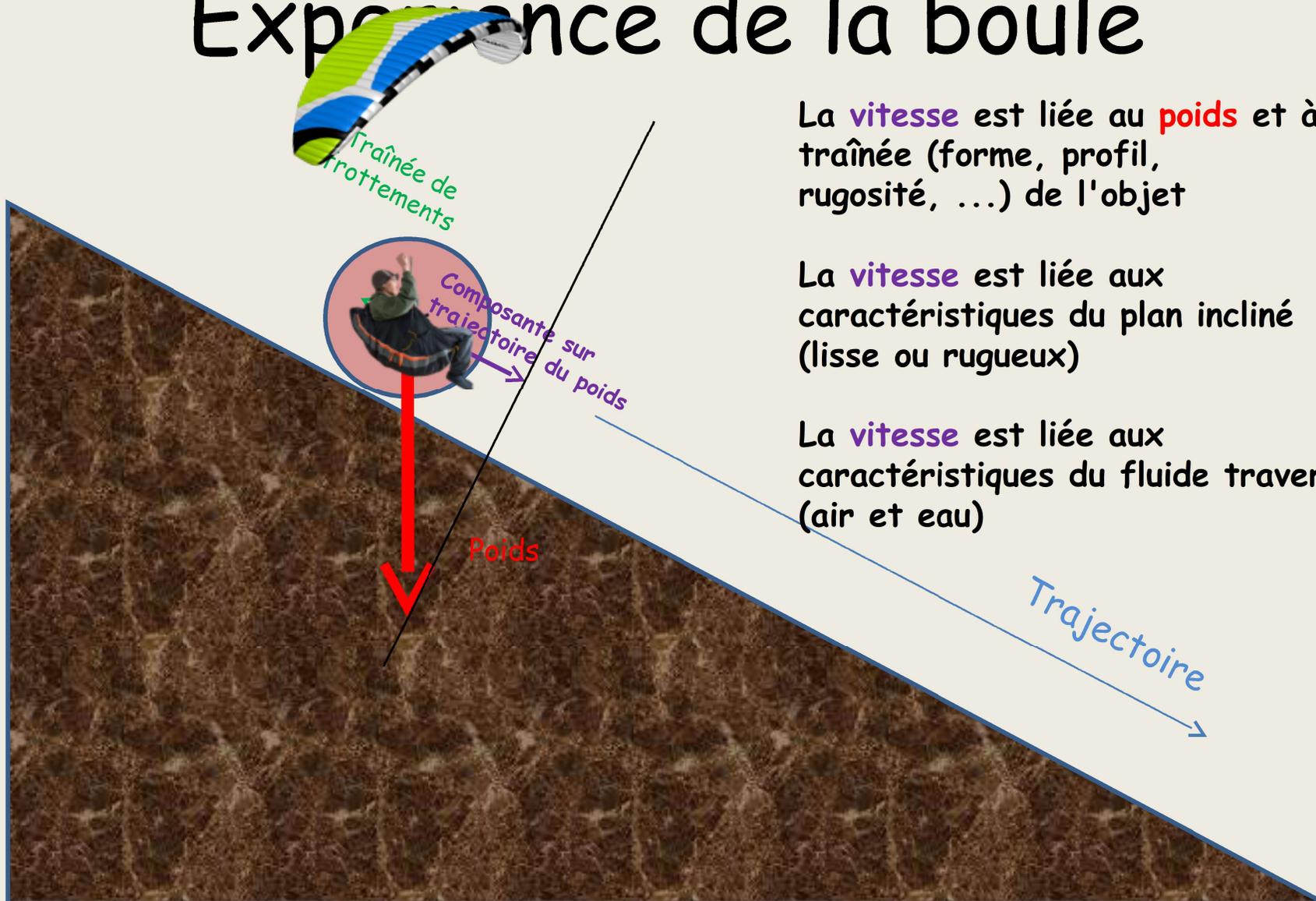


L'incidence varie le long de l'aile = l'aile décroche d'abord au bout de plume.



Copyright Philippe THOUZEAU Moniteur
d'Etat Parapente Delta ULM Paramoteur

Expérience de la boule



La **vitesse** est liée au **poids** et à la traînée (forme, profil, rugosité, ...) de l'objet

La **vitesse** est liée aux caractéristiques du plan incliné (lisse ou rugueux)

La **vitesse** est liée aux caractéristiques du fluide traversé (air et eau)

Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
- flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
- (-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, trainée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
- (-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
- (-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

- schéma des forces
- (-Applications au pilotage)

8-ON VOLE!

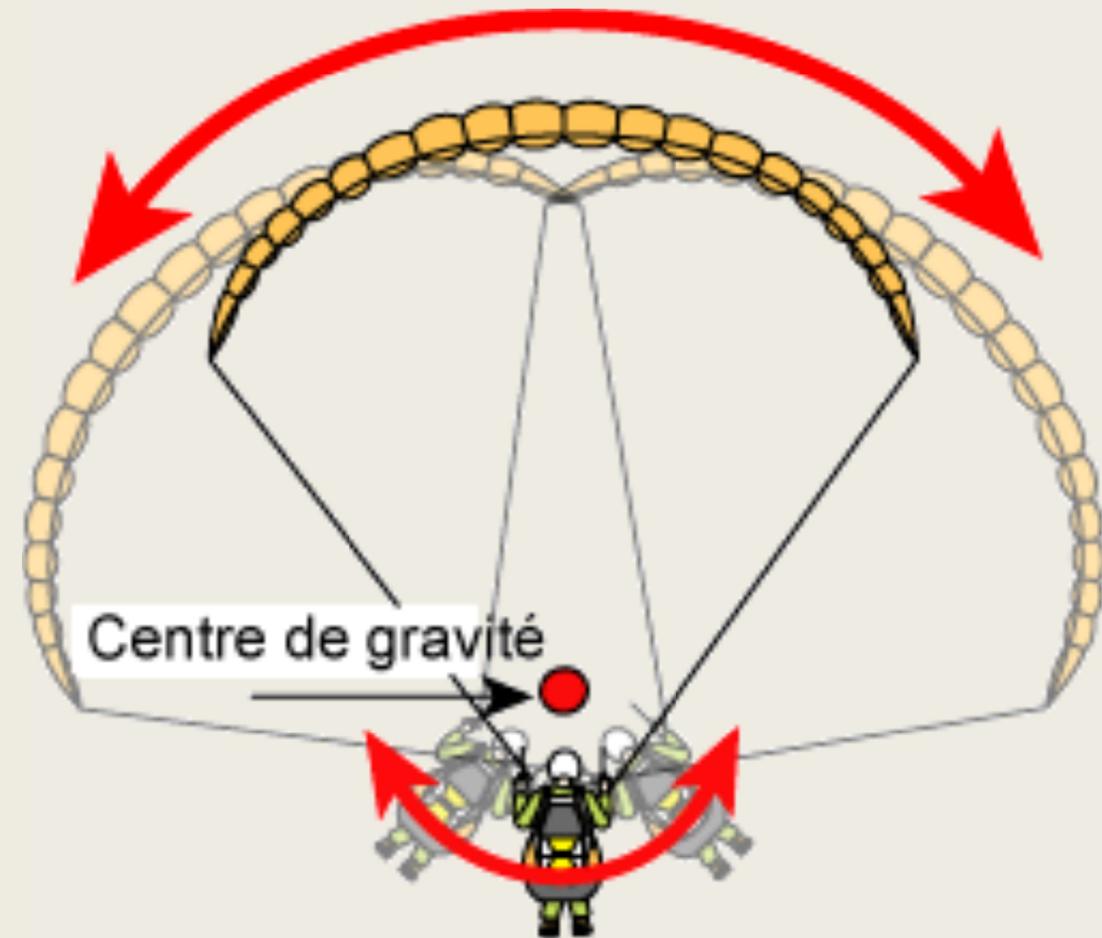
- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
- (-Applications au pilotage)

LES AXES DE VOL

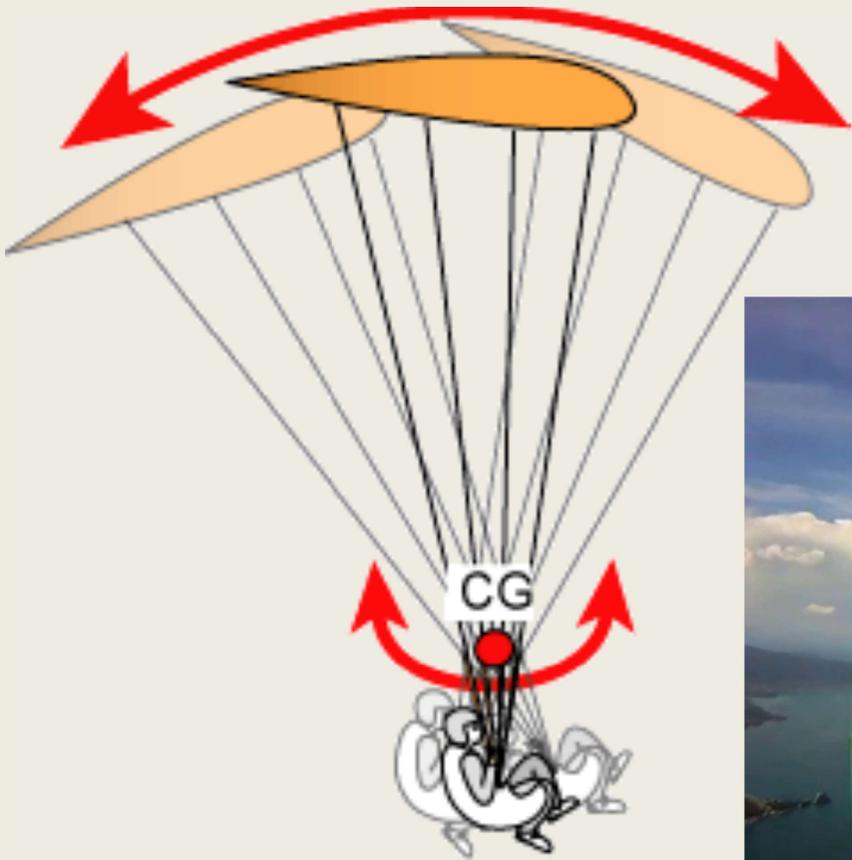


Copyright Philippe THOUZEAU Moniteur
d'Etat Parapente Delta ULM Paramoteur

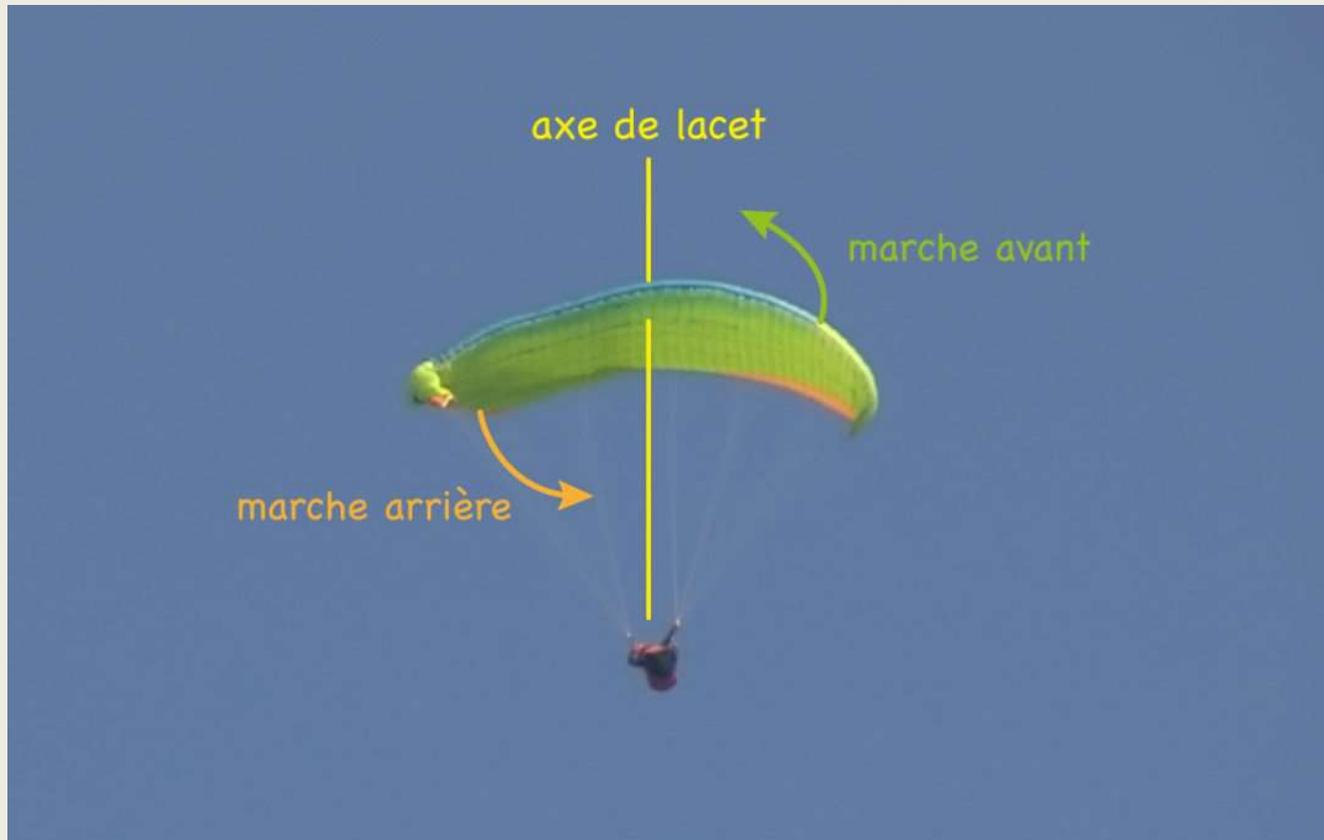
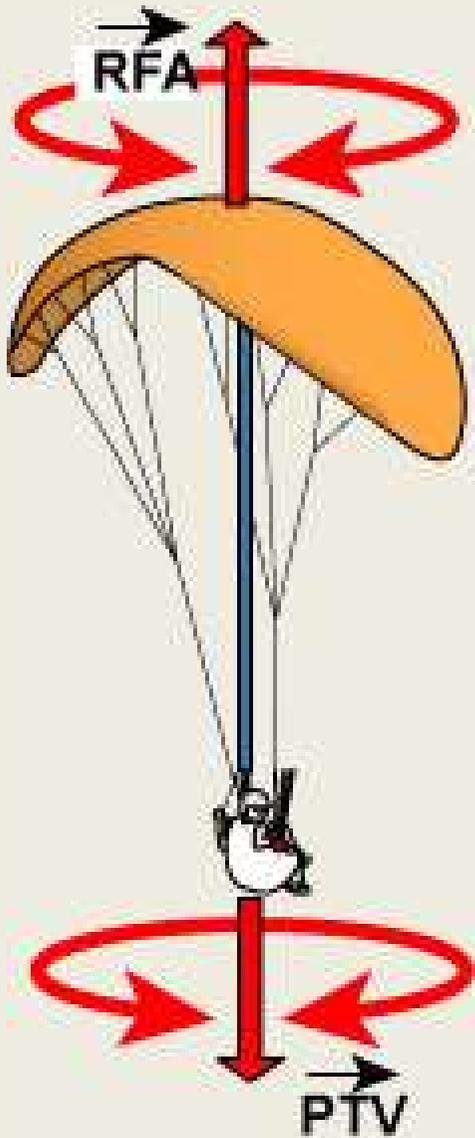
LE ROULIS



LE TANGAGE



LE LACET



Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
-flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
(-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, trainée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
(-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
(-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

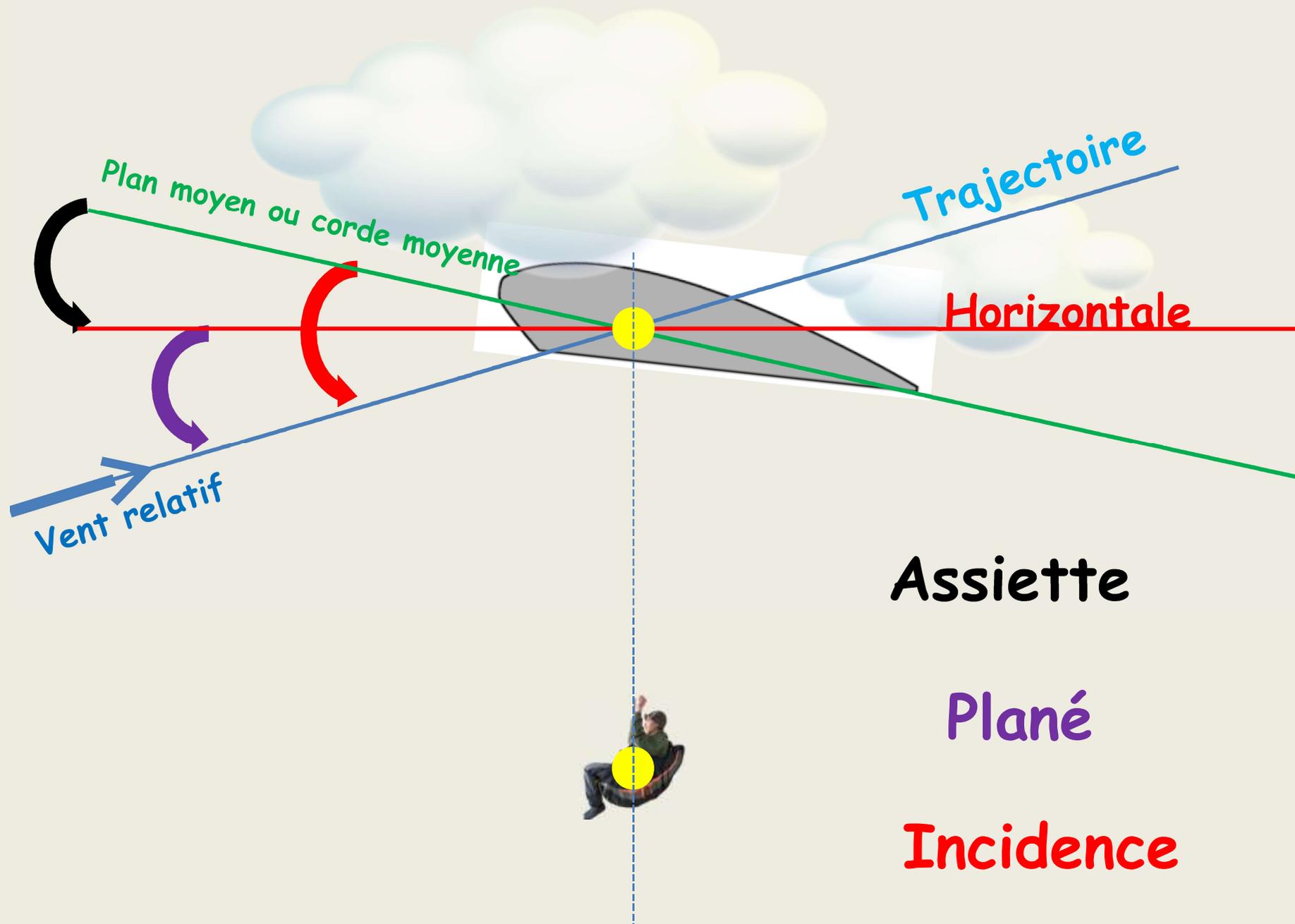
- schéma des forces
(-Applications au pilotage)

8-ON VOLE!

- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
(-Applications au pilotage)

LES ANGLES





Assiette

Plané

Incidence

Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
- flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
- (-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, traînée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
- (-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
- (-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

- schéma des forces
- (-Applications au pilotage)

8-ON VOLE!

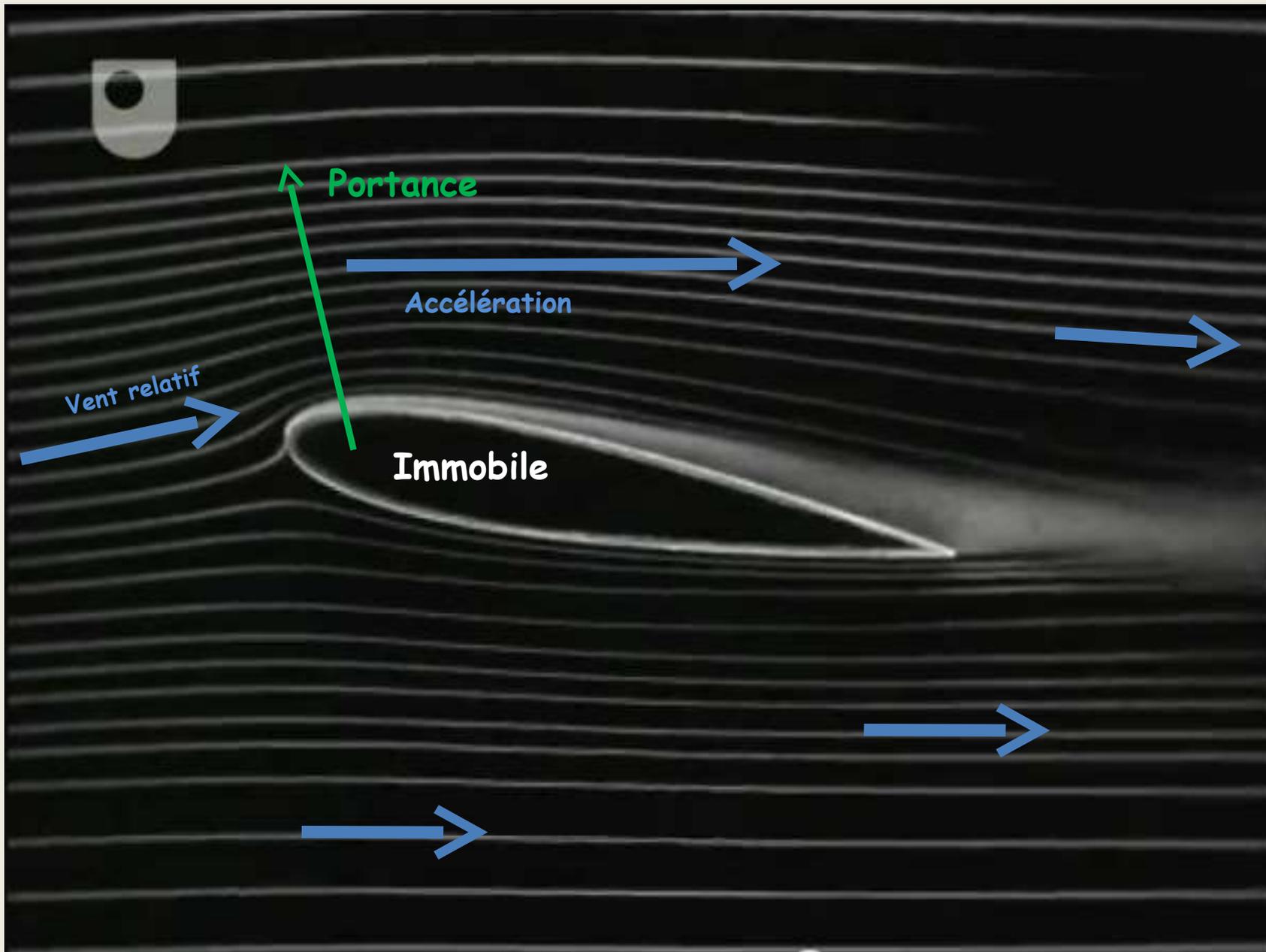
- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
- (-Applications au pilotage)

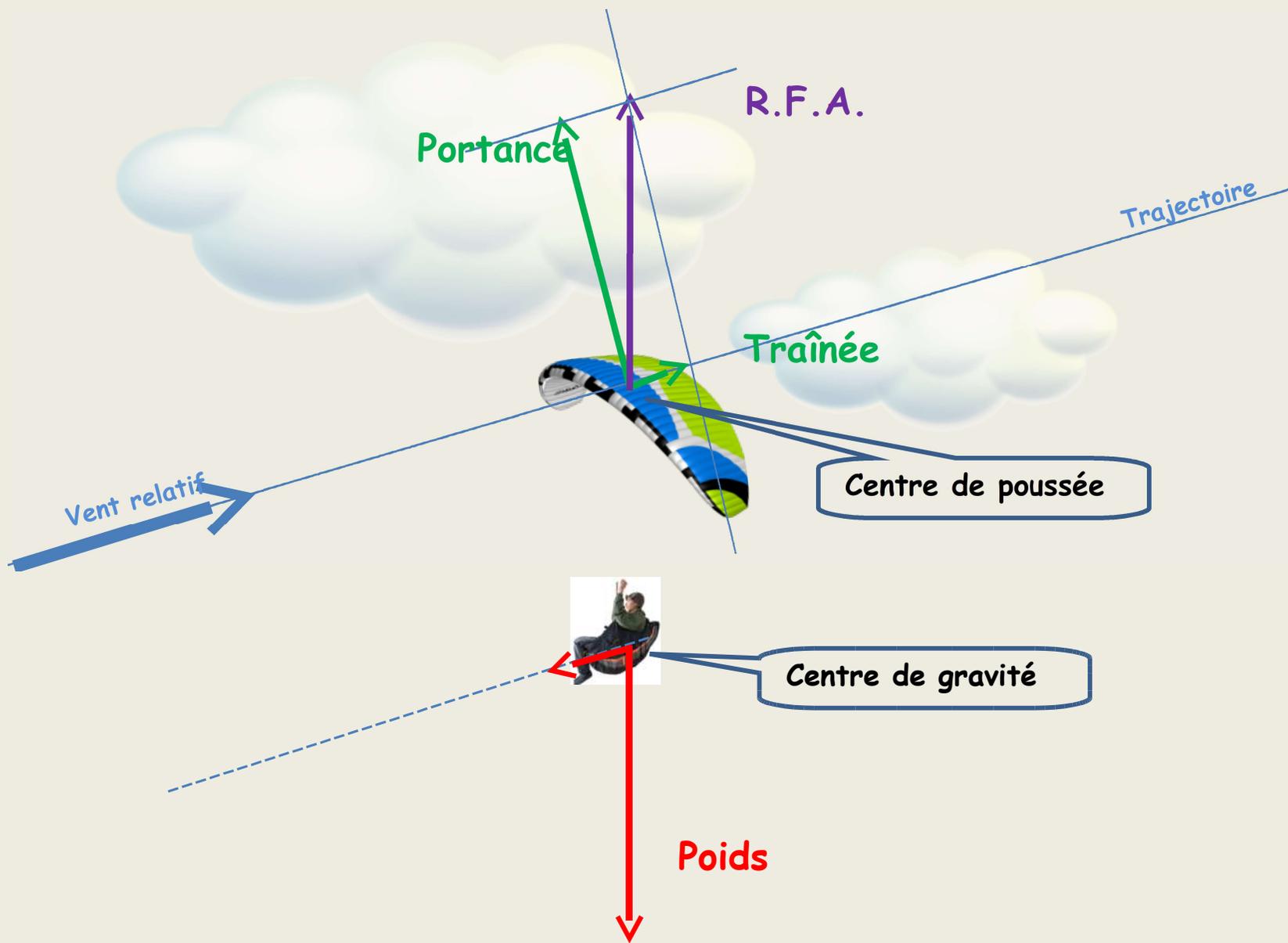
LES FORCES

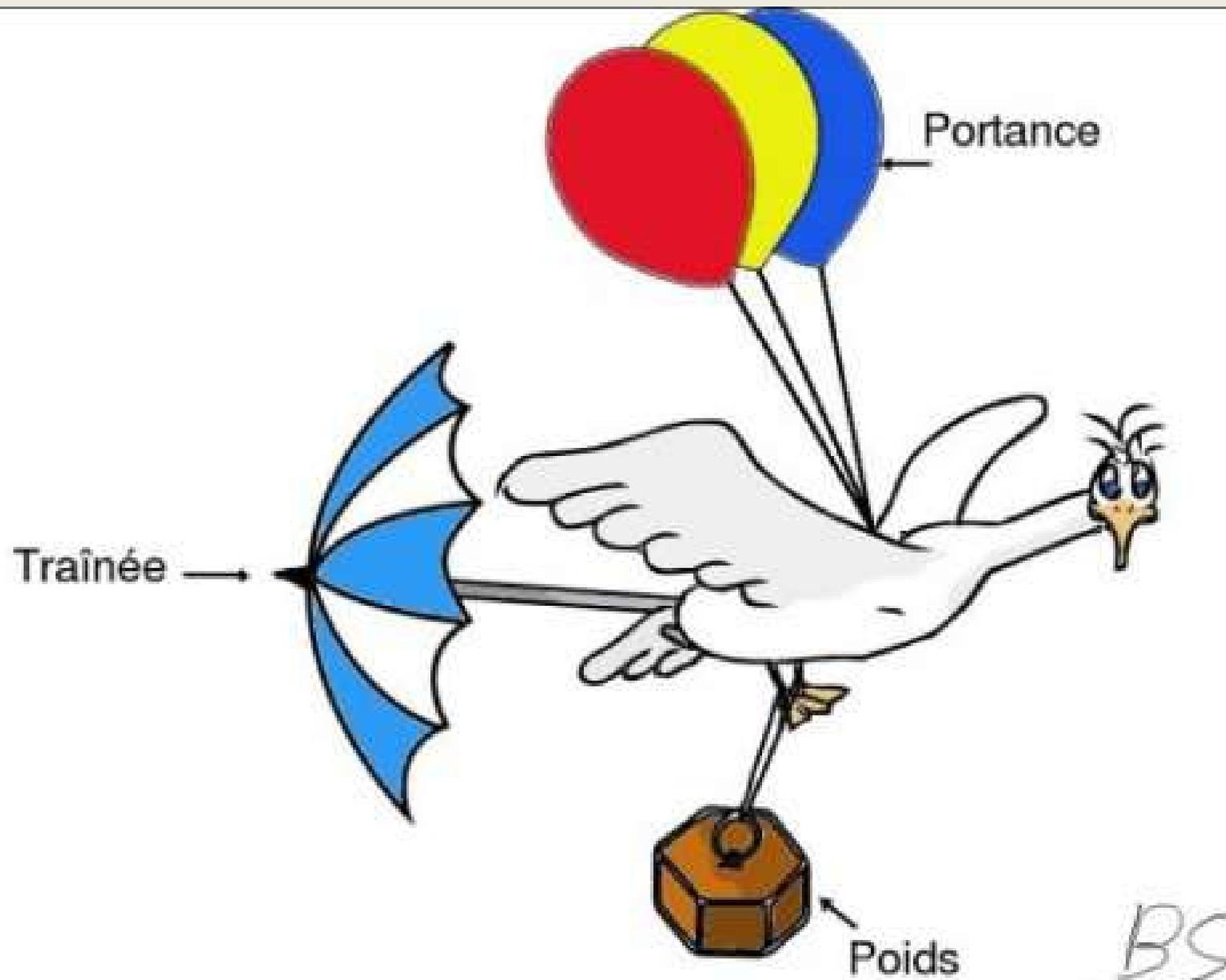


Du coté obscur
des forces tu
te méfieras!









Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
- flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
- (-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, traînée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
- (-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
- (-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

- schéma des forces
- (-Applications au pilotage)

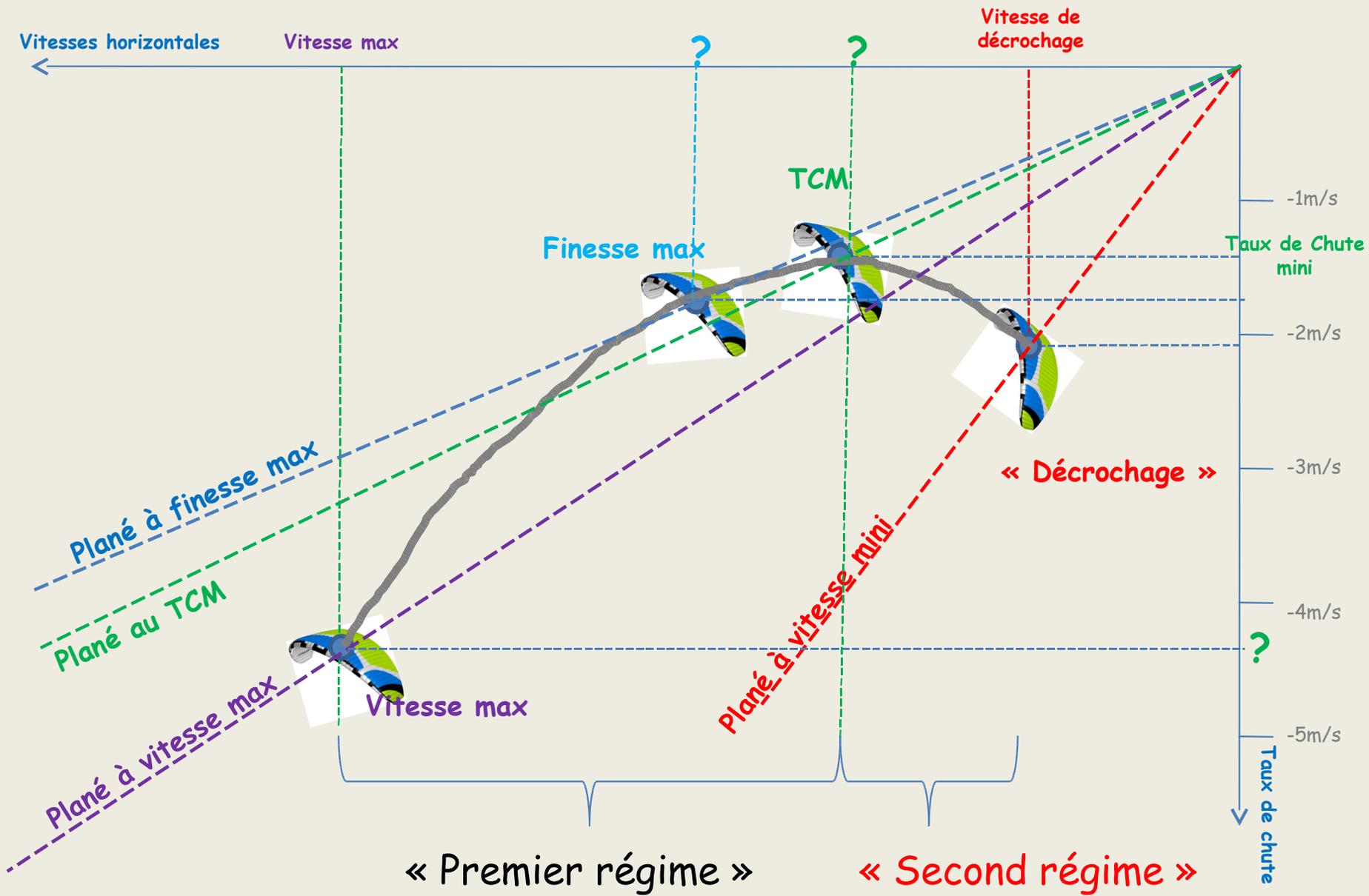
8-ON VOLE!

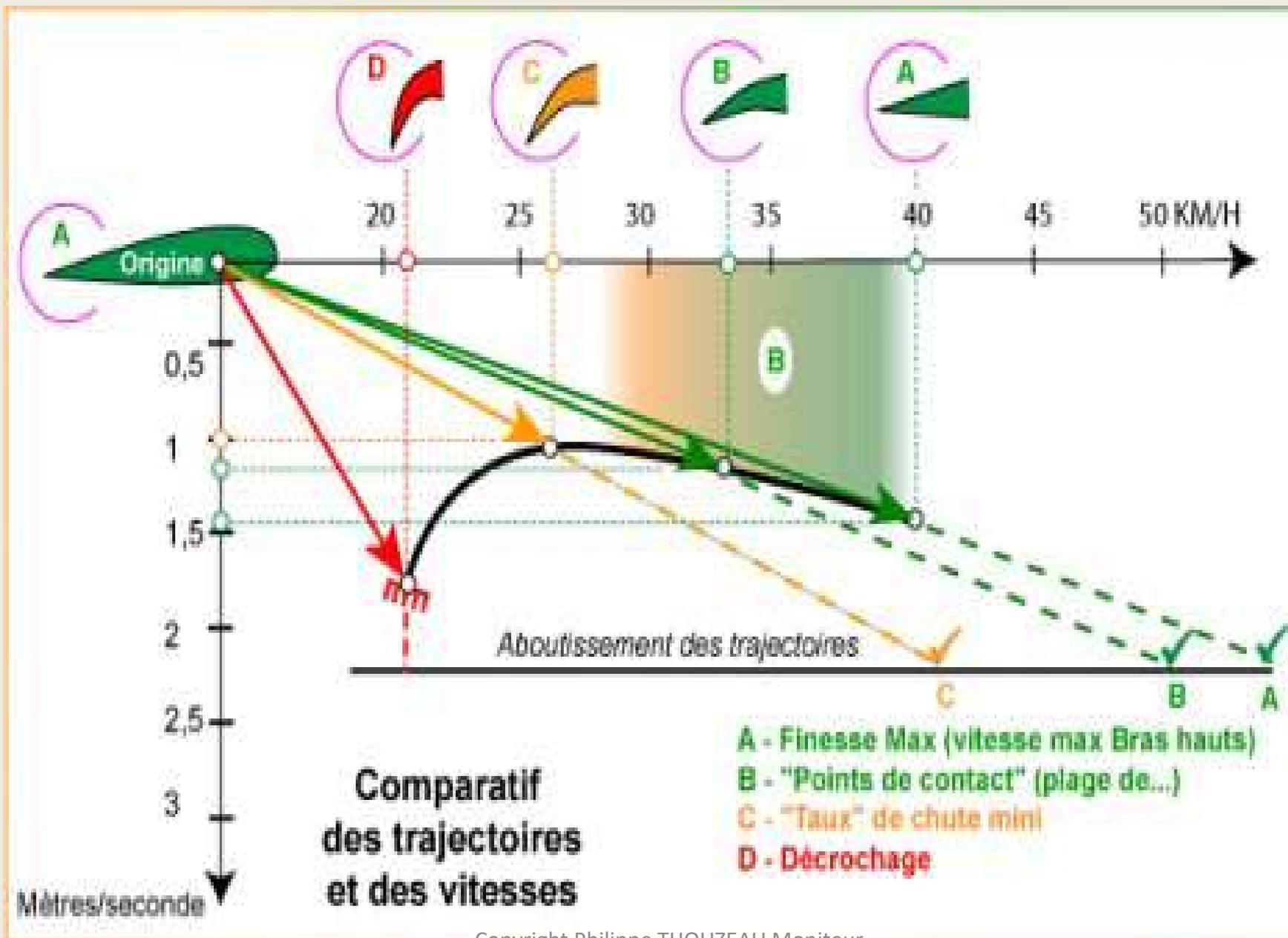
- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
- (-Applications au pilotage)

LA POLAIRE



17,50€
TTC





Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
- flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
- (-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, trainée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
- (-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
- (-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

- schéma des forces
- (-Applications au pilotage)

8-ON VOLE!

- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
- (-Applications au pilotage)

LA CHARGE ALAIRE



Copyright Philippe THOUZEAU Moniteur
d'Etat Parapente Delta ULM Paramoteur

Charge alaire= $P \cdot V / S$

Les parapentes volent avec des charges alaires comprises entre 3 et 5 kilos/m².

-Plus la charge alaire est élevée :

*plus l'aile vole vite sur trajectoire

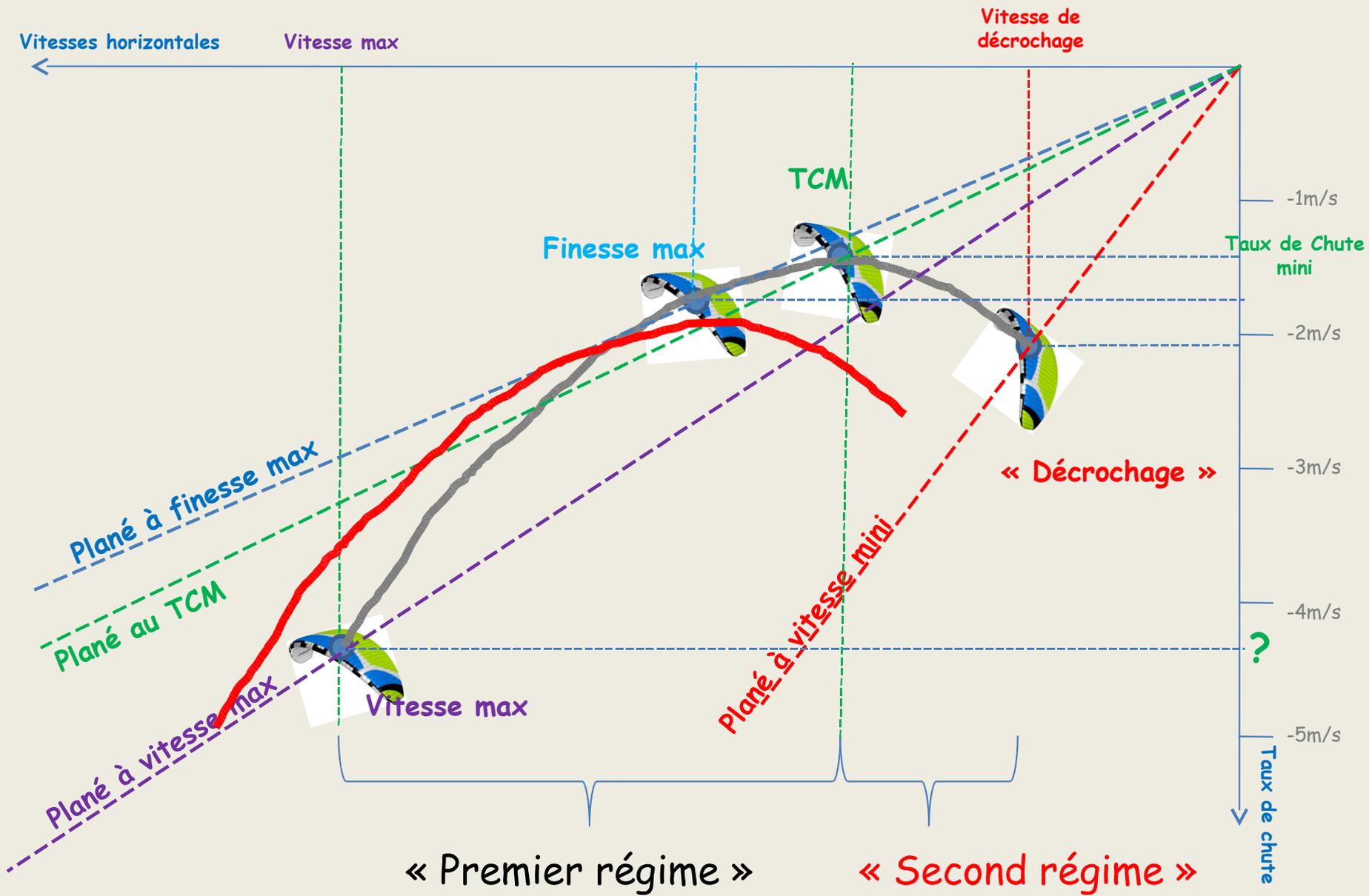
*plus l'aile possède des commandes de consistance ferme

*plus on obtient "du résultat" (sur un frein) pour une amplitude de traction identique

*plus cela fait reculer le risque de fermeture de l'aile, mais...

*...plus cela augmente de manière significative sa réactivité en cas de fermeture.

(débat: ATTENTION AU CHOIX DE LA PLAGE DE POIDS!!!)



Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
- flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
- (-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, trainée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
- (-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
- (-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

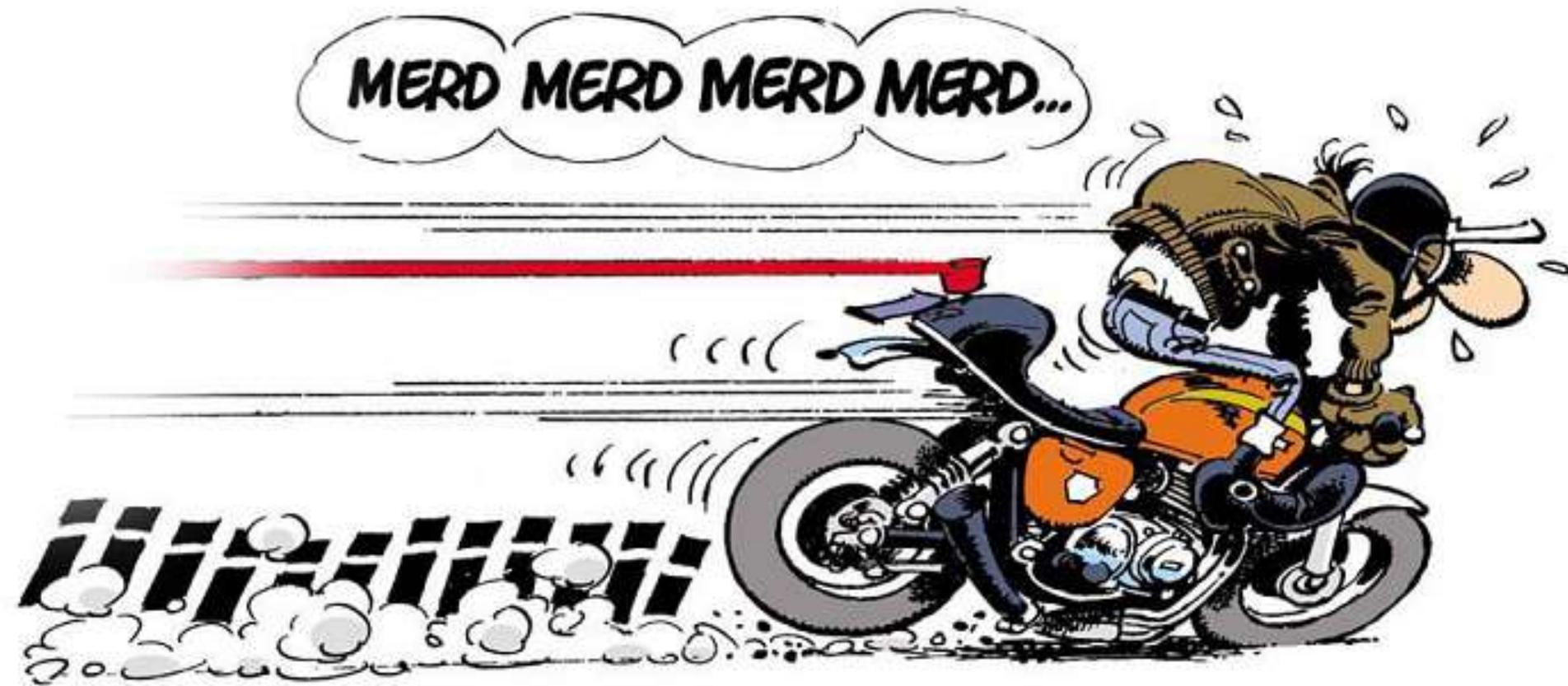
7-LE VIRAGE

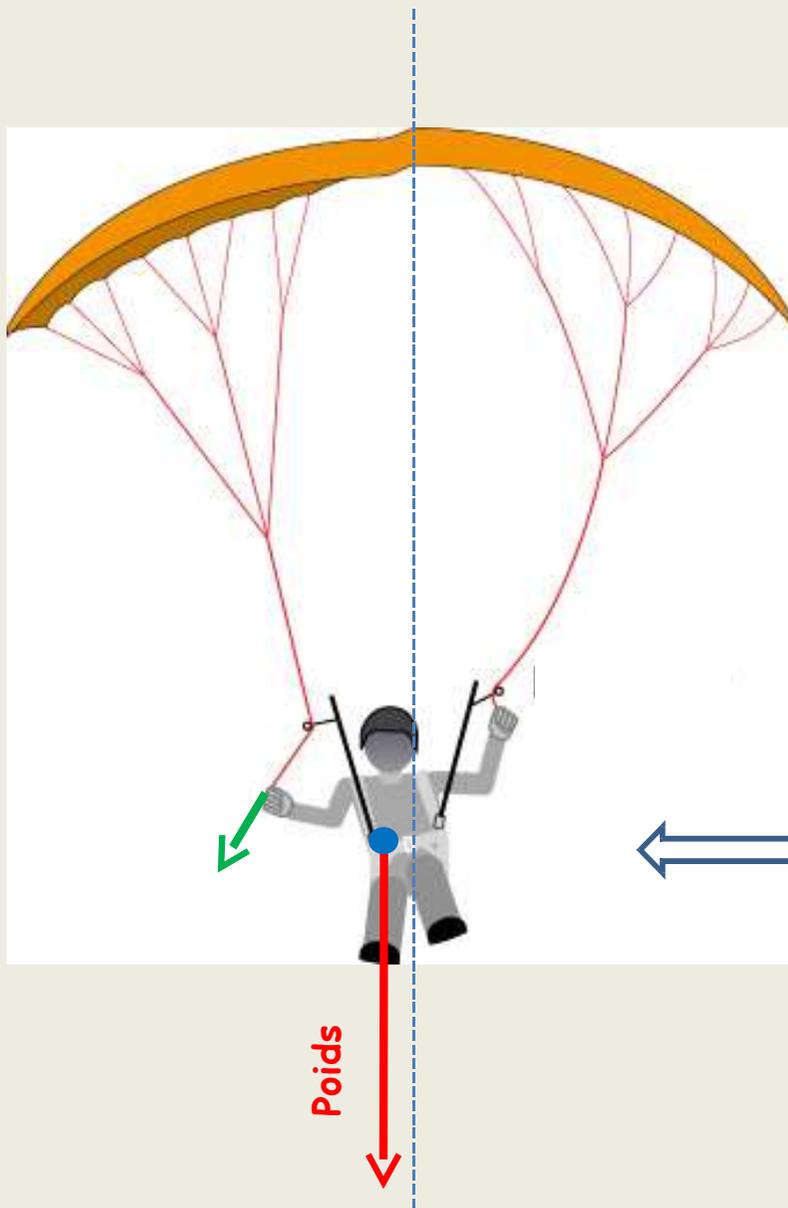
- schéma des forces
- (-Applications au pilotage)

8-ON VOLE!

- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
- (-Applications au pilotage)

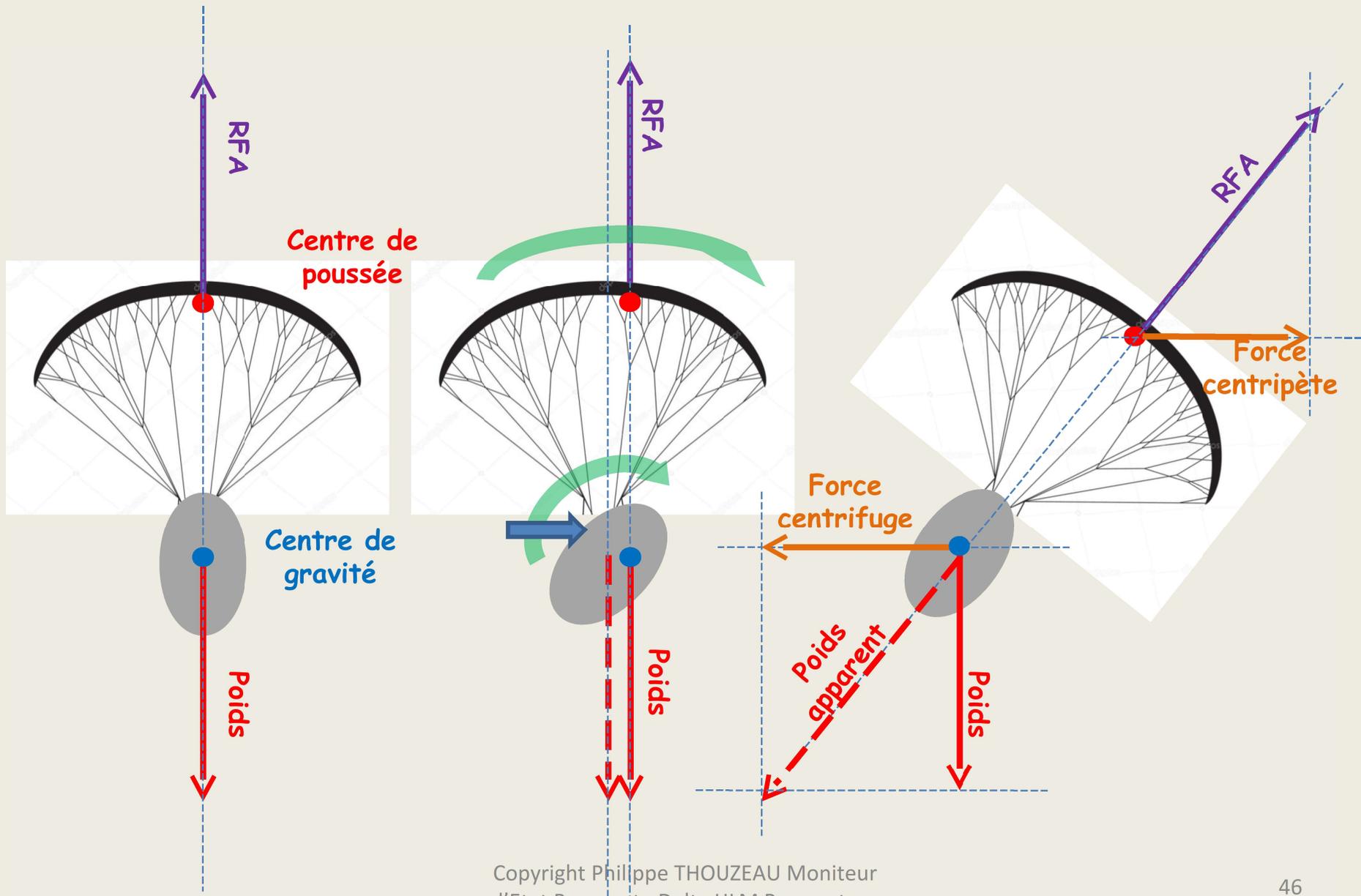
LE VIRAGE





Le centre de gravité se déplace sur le côté gauche

COMMENT QUE CA TOURNE?



Plan du cours

1-POURQUOI CA VOLE?

- Un peu d'histoire: l'aile
- La découverte de la portance

2-VOCABULAIRE DE L'AILE

- Envergure, surface, corde...plan moyen...
-flèche, dièdre, vrillage.

3-LES AXES DE VOL: roulis, tangage, lacet

4-LES ANGLES: définitions

- Incidence
- Assiette
- Angle de plané
(-Applications au pilotage)

5-LES FORCES

- Le poids du pilote+aile=une force universelle toujours présente
- Le vent relatif
- Les forces aérodynamiques: portance, trainée

- La résultante (une force qui n'existe pas)
- Schéma de synthèse (construit au fur et à mesure du cours)
(-Applications au pilotage)

5-LA POLAIRE

- Construction de la polaire
- Les régimes de vol (différentes polaires)
- L'angle de plané
- La charge alaire
(-Applications au pilotage)

6-LA CHARGE ALAIRE

7-LE VIRAGE

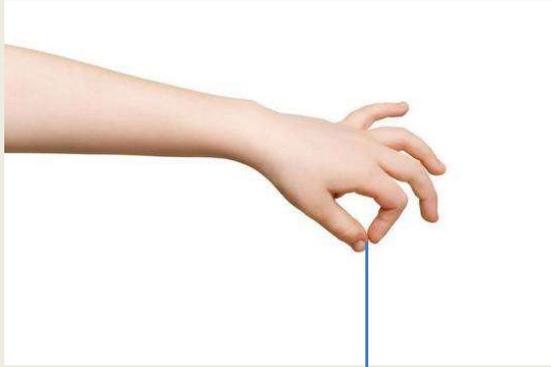
- schéma des forces
(-Applications au pilotage)

8-ON VOLE!

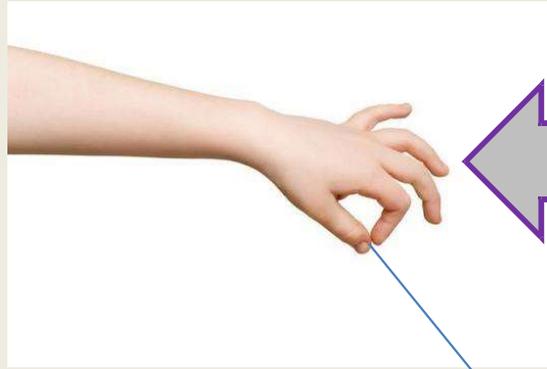
- Stabilité/instabilité/amortissement
- Le rappel pendulaire
- Les incidents: les rafales: les 4 schémas
(-Applications au pilotage)



Copyright Philippe THOUZEAU, Moniteur
d'Etat Parapente Delta ULM Paramoteur



EQUILIBRE

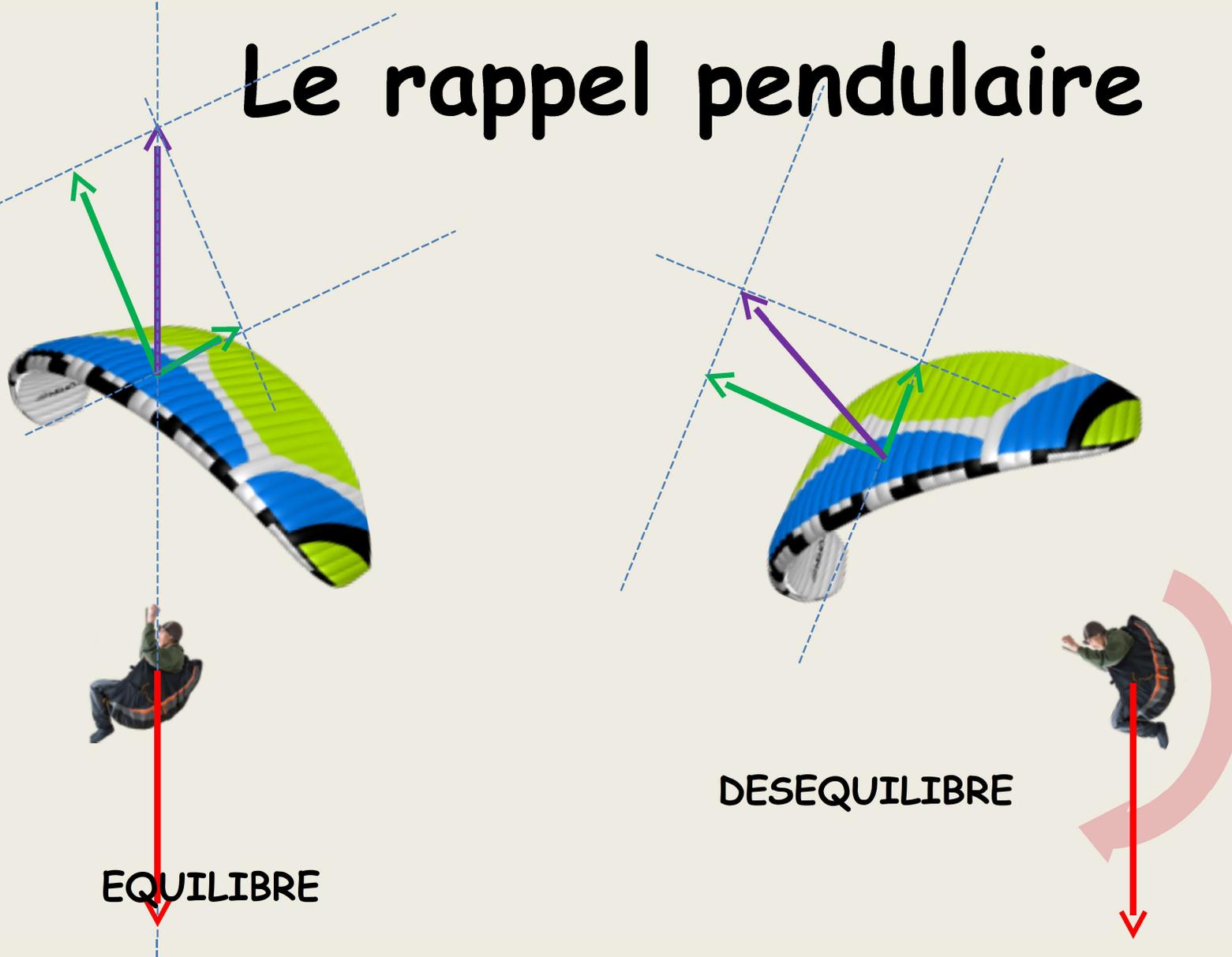


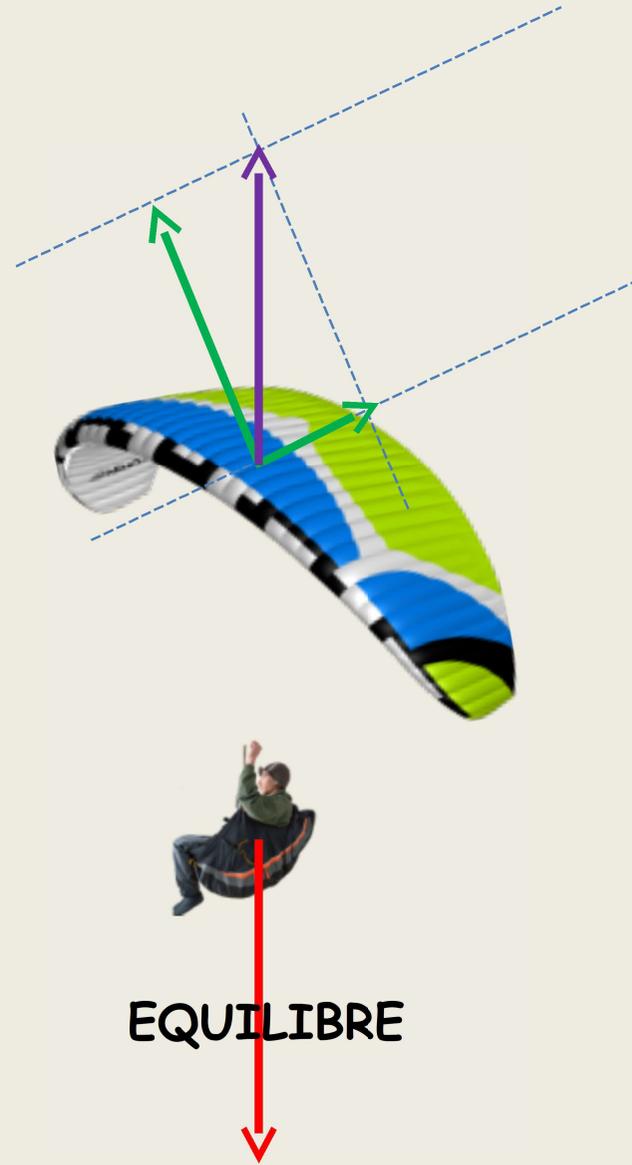
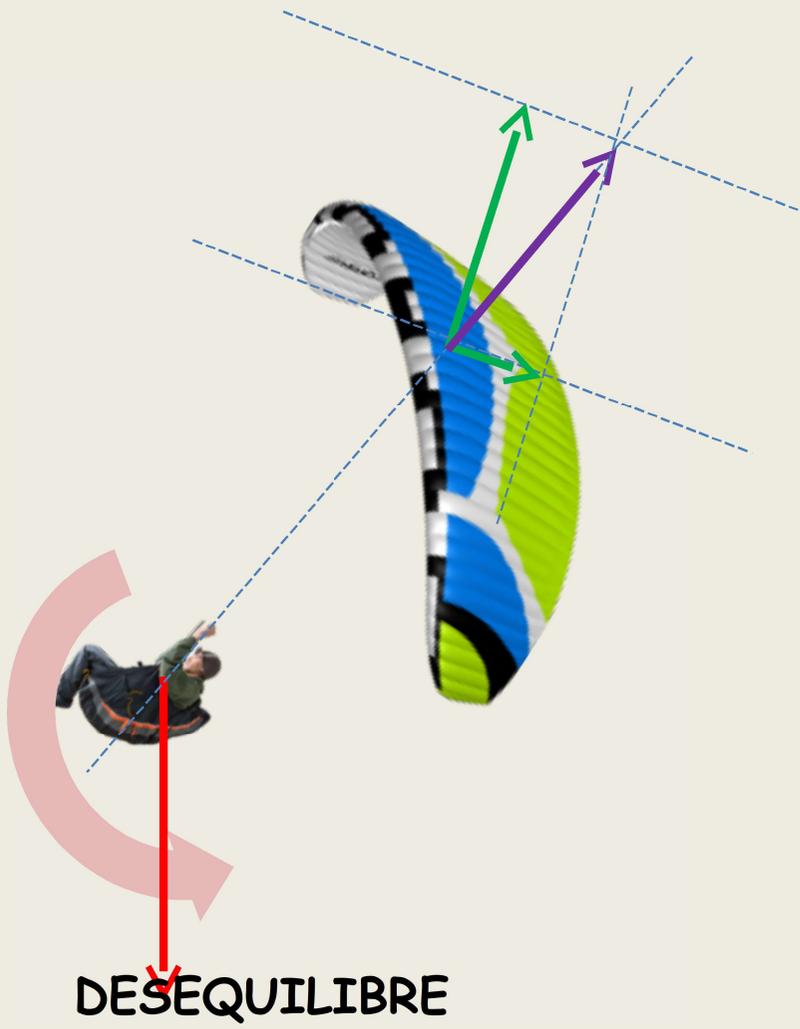
DESEQUILIBRE



Le pendule

Le rappel pendulaire

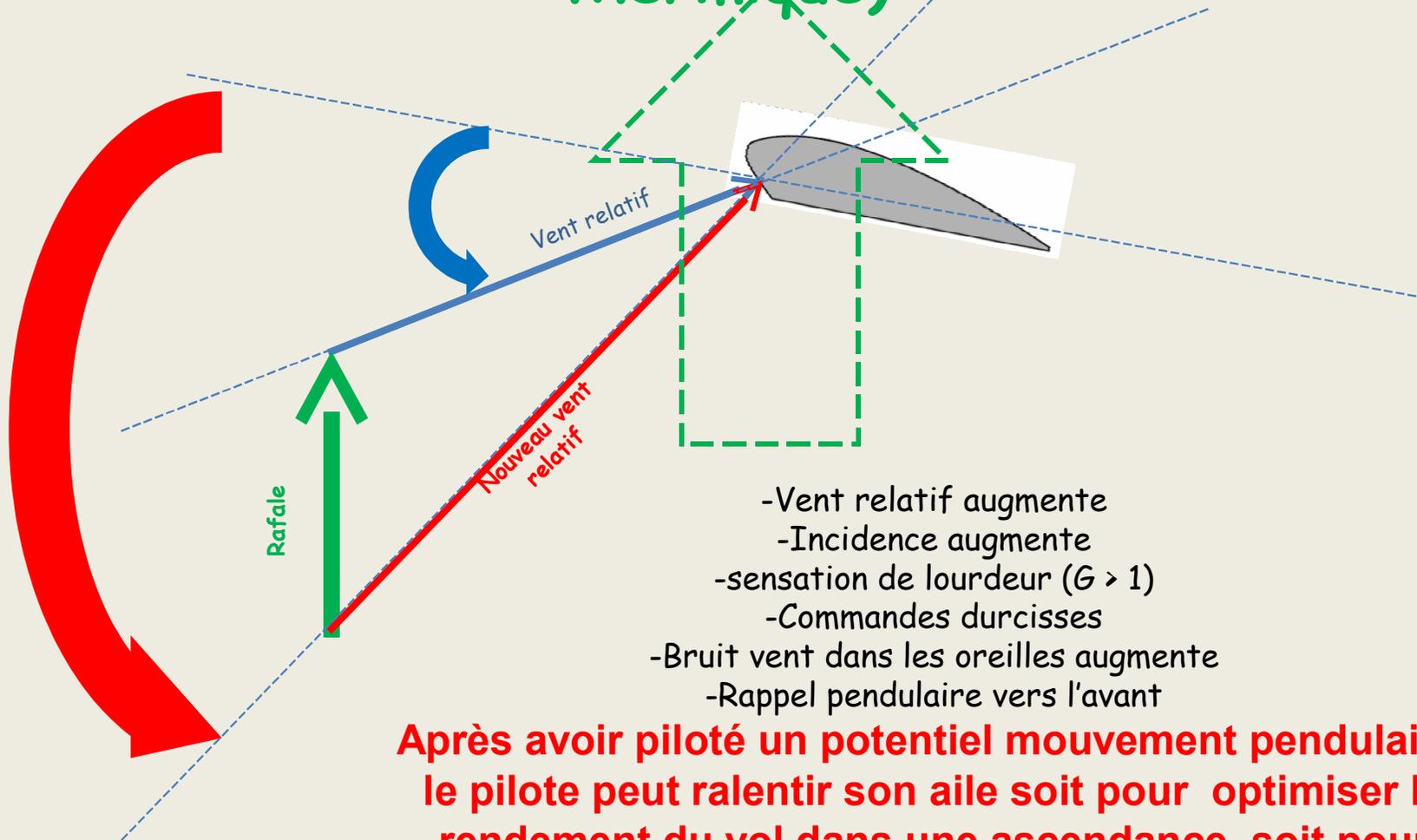




Les rafales



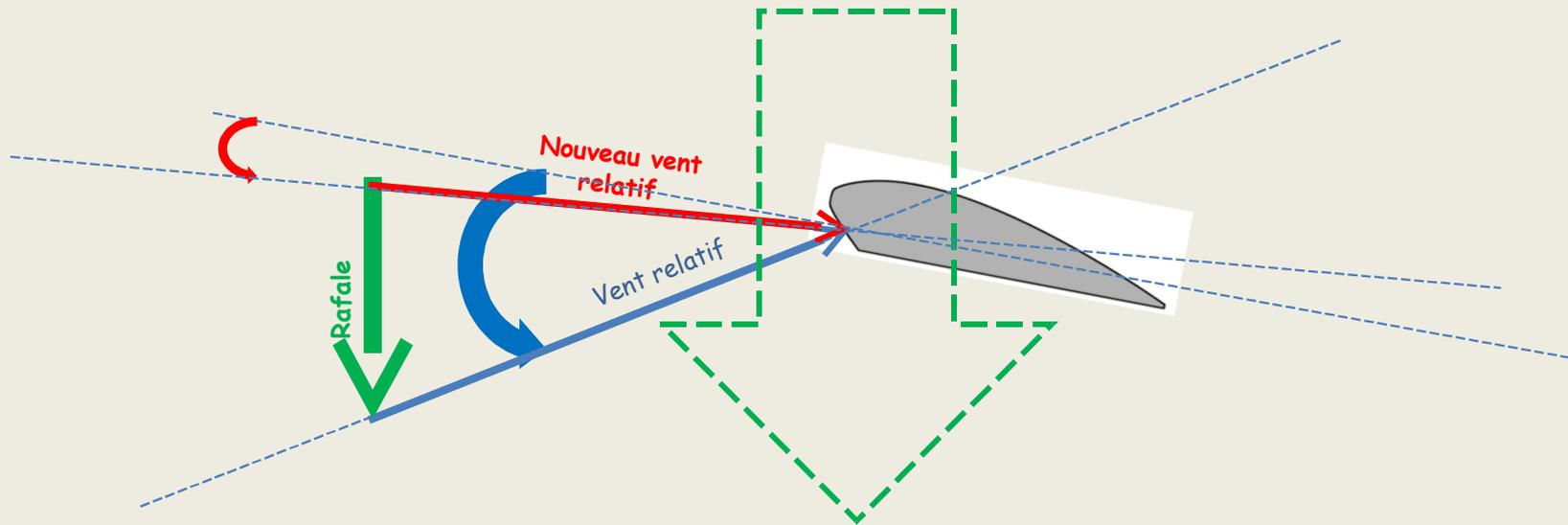
RAFALE VERTICALE ASCENDANTE (entrée thermique)



- Vent relatif augmente
- Incidence augmente
- sensation de lourdeur ($G > 1$)
- Commandes durcies
- Bruit vent dans les oreilles augmente
- Rappel pendulaire vers l'avant

Après avoir piloté un potentiel mouvement pendulaire, le pilote peut ralentir son aile soit pour optimiser le rendement du vol dans une ascendance, soit pour “tenir” son aile et se prémunir contre d'éventuelles turbulences.

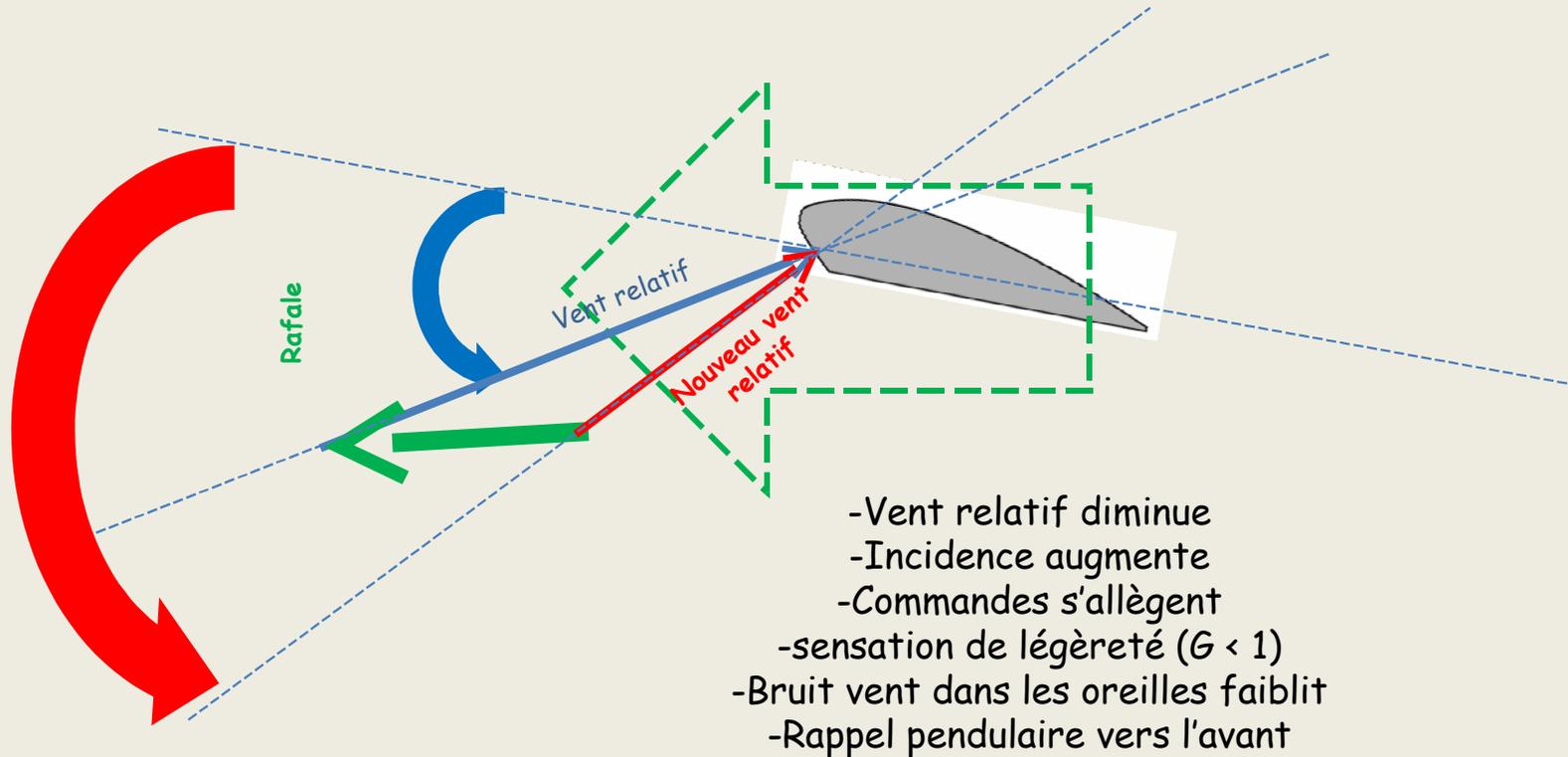
RAFALE VERTICALE DESCENDANTE



- Vent relatif diminue
- Incidence diminue
- Commandes s'allègent
- sensation de légèreté ($G < 1$)
- Bruit vent dans les oreilles faiblit
- Rappel pendulaire vers l'avant

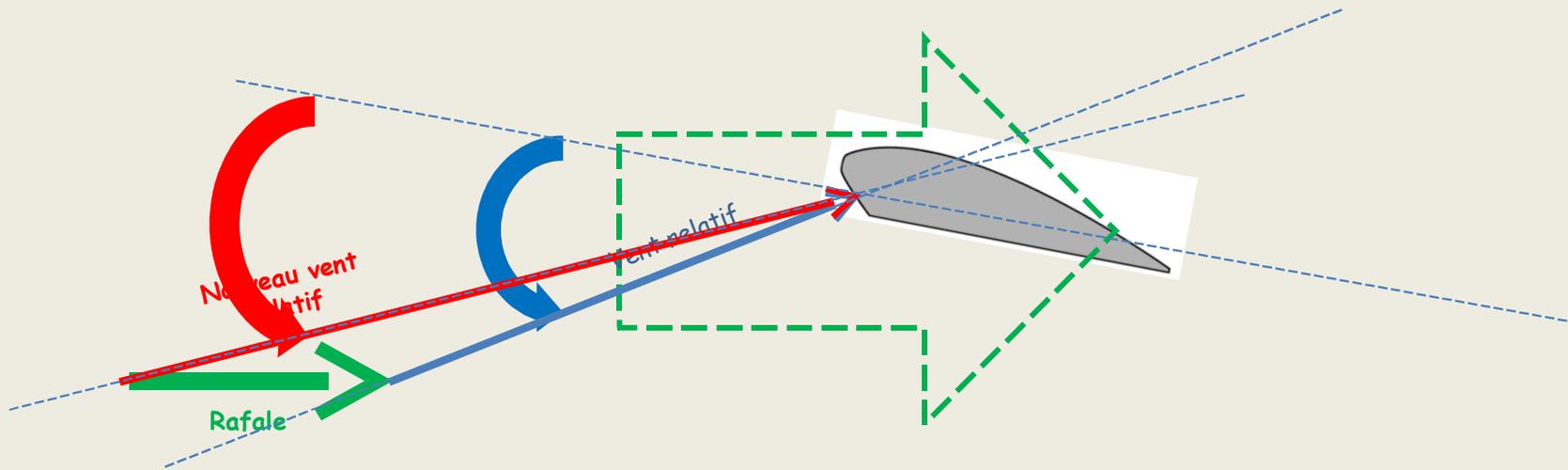
Après avoir retenu une potentielle abattée, le pilote doit permettre à son aile de reprendre la vitesse/air qui lui manque. Il lui faut relever ses mains quitte à constater une dégradation importante de son plané.

RAFALE HORIZONTALE ARRIERE



Après avoir subi l'enfoncement de sa trajectoire, puis retenu brièvement une potentielle abattée, le pilote doit accepter de reprendre de la vitesse. Près du sol, en finale, c'est une forme de gradient qui peut imposer d'amorcer le freinage plus tôt et plus haut. Le risque est sérieusement réduit si le pilote aborde sa finale avec une réserve de vitesse. Sans cette précaution, le décrochage peut survenir... d'autant plus lors de la tentative d'arrondi...

RAFALE HORIZONTALE DE FACE



- Vent relatif augmente
 - Incidence diminue
 - Commandes s'allègent en fonction de la puissance de la rafale et la nouvelle incidence.
 - sensation de légèreté ($G < 1$)
 - Bruit vent dans les oreilles augmente
 - Rappel pendulaire vers l'avant
- Le pilote peut devoir gérer un potentiel mouvement pendulaire de cabré puis piqué.**



Soyez prudent,
parce qu'en
théorie ça se
passe toujours
bien! Et on
habite pas en
Théorie...

Bienvenue dans la troisième dimension
et n'oubliez pas de vous faire plaisir!
tralala4@orange.fr