Avertissement !
Ce support pédagogique est la propriété intellectuelle de son concepteur, Air Evasion.

air évasion
donnez-vous des ailes !

Aucune duplication n'est autorisée.

Ce cours ne peut être utilisé que dans le cadre de la formation des élèves pilote d'Air Evasion.

Objectif de la leçon:

A l'issue de la leçon, vous pourrez:

- ✈**Définir le facteur de charge**
- ✈**Comprendre les influences sur l'ULM en vol**
- ✈**Comprendre les variations du facteur de charge**

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Dans ce chapitre aérodynamique, nous allons aborder:

- Définition du facteur de charge;
- Les effets du facteur de charge;
- La résistance de l'air sur un objet;
- Facteurs de charge limites pour un ULM.

Peter Gielkens– V1/2012 ©

✈ Définition du facteur de charge

- ✈ Les valeurs du facteur de charge;
- ✈ Les effets du facteur de charge ;
- ✈ Les facteurs de charge limites pour un ULM;
- ✈ Fiches pédagogiques .

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - définition

Le facteur de charge (ou n) exprime le rapport du poids apparent (portance à un moment donné) sur le poids (portance en vol en palier).

Il traduit l'effort appliqué à l'aile : plus il est grand, plus l'aile supporte un effort important.

La plupart des avions légers peuvent supporter des facteurs de charge allant de **+4** à **-2**.

Les valeurs limites sont indiquées dans le manuel de vol.

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge

Soit P le vecteur poids

et Pa le vecteur poids apparent,

nous obtenons :

Facteur de charge:

Portance /Poids de l'avion

$n = Pa / P = Rz / mg$

Peter Gielkens– V1/2012 ©

- Définition du facteur de charge
- **Les valeurs du facteur de charge**
- Les effets du facteur de charge ;
- Les facteurs de charge limites pour un ULM;
- Fiches pédagogiques .

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Valeurs

Quelques valeurs du facteur de charge en fonction de l'inclinaison

$$n = 1/\cos(\text{inclinaison})$$

Dans le cas d'un virage à 60°, le facteur de charge est égal à:

1 / cos(60) =1 / 0.5 =2

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Valeurs

Inclinaison	Facteur de charge	Rapport Portance/Poids	Augmentation de la Portance	Exemple
0°	1	Portance égale au poids, inclinaison nulle	0 %	ULM de masse de 300 kg Portance = 300 (kg) * 10 (3/s/s) = 30 N (Newton) Portance = masse * accélération de la pesanteur
30°	1,15		15 %	
45 °	1,4		40 %	
60°	2	La portance vaut 2 fois le poids de l'avion. Les efforts subis par la structure de l'avion sont deux fois plus importants qu'a inclinaison nulle. Le pilote à la sensation de peser 2 fois plus lourd	100 %	ULM de masse de 300 kg Portance = 3000 N * 2 = 6000 N (Newton) En virage à 60°, les masses portantes doivent supporter les efforts que nécessiterait le vol en ligne droite d'un ULM de poids égal à 6 000 N, soit une masse de 600 kg !

Lorsque l'inclinaison augmente, le facteur de charge augmente

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Valeurs

En ligne droite

Dans le cas d'un vol en ligne droite, les variations du facteur de charge pour le passager sont généralement imperceptibles.

En palier, la portance est égale au poids (n = 1).
en montée ou en decente, on estime que "n" est à peu près égal à 1 (du fait des faibles pentes de montée ou de descente des avions civils).

Peter Gielkens– V1/2012 ©

AERODYNAMIQUE

- Définition du facteur de charge
- Les valeurs du facteur de charge;
- **Les effets du facteur de charge**
- Les facteurs de charge limites pour un ULM;
- Fiches pédagogiques .

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Effets

Sensations ressenties par le pilote et ses passagers

Facteur de charge	Sensations
> 1	Sensation d'être lourd
proche de 0	Sensation d'apesanteur
< 0	Sensation d'être projeté vers le haut

Lorsque l'appareil pique, un afflux de sang dans le cerveau fait involontairement baisser les paupières : c'est le "voile rouge". Au contraire, lors du "voile noir", le sang ne peut plus circuler vers le haut du corps et irriguer le cerveau mais va s'accumuler dans les pieds.

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Effets

En virage ou en évolution

Le pilote peut parfois ressentir une impression de léger "tassement".

Elle est due à l'apparition d'une accélération qui s'ajoute à l'accélération de la pesanteur.

Le poids du pilote n'augmente pas, il y a apparition d'une force, dite "force d'inertie". Cette force va s'ajouter au poids pour donner une force dirigée vers le bas de l'avion, plus importante que le poids.

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Effets

En virage ou en évolution

Pour que le vol soit possible, la portance doit être "égale et opposée" à cette force :

Facteur de charge : portance en virage / poids

En palier, la portance est égale au poids (n = 1). En montée ou en decente, on estime que n est à peu près égal à 1 (du fait des faibles pentes de montée ou de descente des avions civils).

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Effets

En virage ou en évolution

Dans un **virage en palier** (sans monter ni descendre) et **vitesse constante**, le facteur de charge augmentera avec l'**inclinaison** du virage. Par exemple, une inclinaison de 60° correspond à un facteur de charge égal à 2G autrement dit, on a l'impression de peser 2 fois son poids).

Dans le cas d'un changement rapide de trajectoire dans le plan vertical (ressource), le facteur de charge est d'autant plus important que la vitesse de l'avion est grande et que le rayon de courbure de la trajectoire est petit.

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Effets

En virage ou en évolution

La vitesse de décrochage augmente avec le facteur de charge.

Par convention, un avion subit un facteur de charge positif quand la portance est orientée dans le sens intrados-extrados, et négatif dans le sens contraire.

Par exemple, en vol rectiligne stabilisé sur le dos, le facteur de charge vaut -1.

Peter Gielkens– V1/2012 ©

AERODYNAMIQUE

- Définition du facteur de charge;
- Les valeurs du facteur de charge;
- Les effets du facteur de charge;
- **Les facteurs de charge limites pour un ULM**
- Fiches pédagogiques .

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Limites

Facteurs de charges limites de l'ULM

La plupart des avions légers peuvent supporter des facteurs de charge allant de +3,8 à -1,5. Les avions de voltige sont certifiés pour des facteurs de charge allant de +6 à -4.

Le pilote peut connaître les facteurs de charge limites de son avion dans le manuel de vol, dans le paragraphe limitations.

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Limites

Facteur de charge et vitesse de décrochage

Lorsque le facteur de charge augmente, la portance et la vitesse de décrochage augmentent également. Par exemple, lorsque l'inclinaison augmente, le facteur de charge augmente donc la vitesse de décrochage également.

$$Vsn = Vs \sqrt{n}$$

La vitesse de décrochage évolue selon la racine carrée du facteur de charge.

Vs: vitesse de décrochage dans la configuration d'avion étudiée

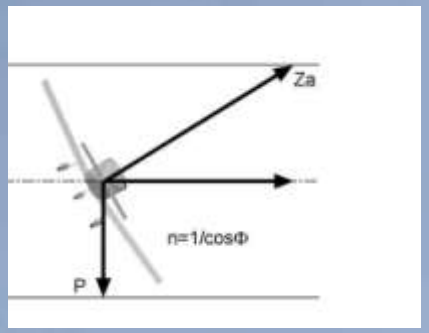
n: facteur de charge

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Facteur de charge et vitesse de décrochage

Par exemple, un avion qui décroche à 100 km/h sous 1g, décrochera vers 200 km/h c'est-à-dire à sa vitesse de croisière s'il est soumis à un facteur de charge de 4g (ce facteur de charge peut être obtenu en effectuant un un virage serré à 75° d'inclinaison ou en faisant une bonne ressource après un piqué)

Eviter le virage serré au-dessus de la maison des amis !

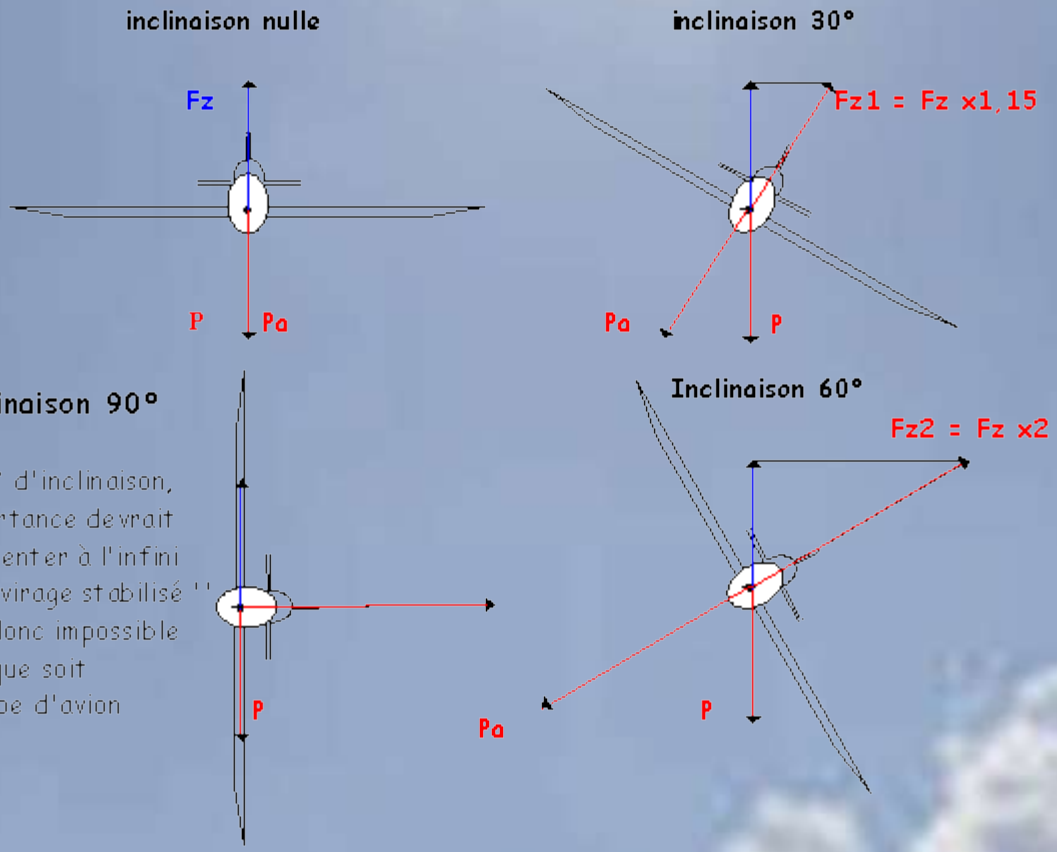


Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Limites

Facteur de charge et vitesse de décrochage

Exemple (à adapter avec votre propre manuel de vol !!!!!)



Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Limites

Facteur de charge et vitesse de décrochage

Exemple (à adapter avec votre propre manuel de vol !!!!!)

			Vitesse de décrochage		
Facteur de charge	Inclinaison	↗ vitesse de décrochage	Volets rentrés	Volets en position de décollage	Volets en position d'atterrissage
1	0°	+ 0 %	58 Kt	54 Kt	50 Kt
1,15	30°	+ 10 %	62 Kt	58 Kt	54 Kt
1,4	45°	+ 20 %	69 Kt	65 Kt	59 Kt
2	60°	+ 40 %	81 Kt	76 Kt	70 Kt

Peter Gielkens– V1/2012 ©

AERODYNAMIQUE

- Définition du facteur de charge;
- Les valeurs du facteur de charge;
- Les effets du facteur de charge;
- Les facteurs de charge limites pour un ULM;

- Fiches pédagogiques

Peter Gielkens– V1/2012 ©

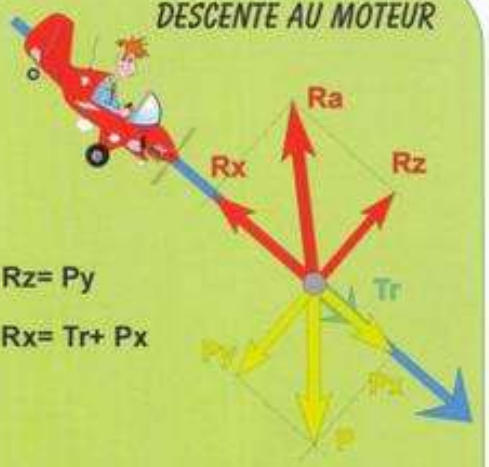
Le facteur de charge - Fiches

RESSOURCE ET FACTEUR DE CHARGE

Analysons tout d'abord le facteur de charge des trois configurations de vol qui suivent:

Ra = Résultante aérodynamique
Rz = Portance
Rx = Traînée
P = Poids
R = Rayon de la ressource
Tr = Traction moteur
Fc = Force centripète

DESCENTE AU MOTEUR



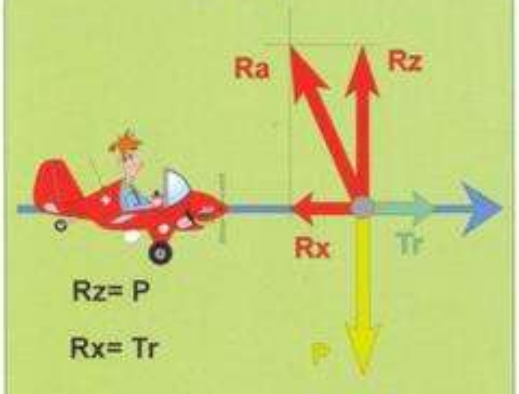
Rz= Py

Rx= Tr+ Px

En décomposant, le Poids P, et la Résultante Aérodynamique Ra, on constate, que la Portance Rz prend en charge uniquement une partie du poids, c'est à dire Py.
Ceci signifie que : Rz<P DONC:

$$n = \frac{Rz}{P} < 1$$

PALIER



Rz= P

Rx= Tr

En palier....c'est facile!
La Portance Rz prend en charge tout le poids..... et on a :
Rz= P
DONC:

$$n = \frac{Rz}{P} = 1$$

RESSOURCE

Pour simplifier le dessin: Ra,Rx,Tr ne sont pas représentées

Au début de la ressource, la Portance Rz doit :
- d'une part prendre en charge le poids P
- d'autre part créer la force centripète Fc (voir fiche virage)

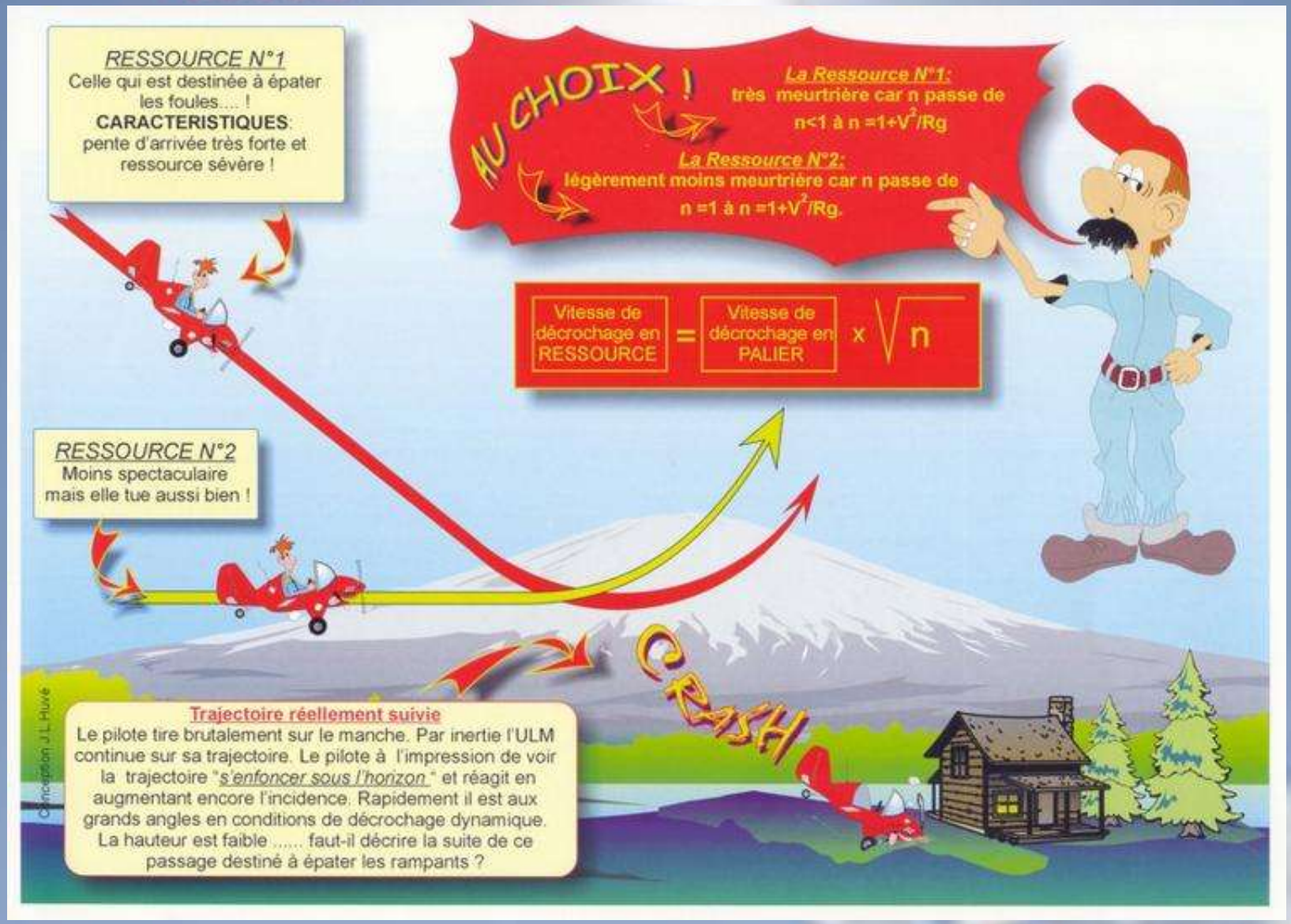
donc: Rz = P+Fc $\quad Rz = P + \frac{MV^2}{R}$

$$n = \frac{Rz}{P} = \frac{P + \frac{MV^2}{R}}{P} = 1 + \frac{V^2}{Rg}$$

$$n = 1 + \frac{V^2}{Rg}$$

Peter Gielkens– V1/2012 ©

Le facteur de charge - Fiches



Peter Gielkens– V1/2012 ©

QUESTIONS ?

Peter Gielkens– V1/2012 ©

FLIGHT SCHOOL
air évasion
donnez-vous des ailes !
www.air-evasion.be