



Bien entraîné, Greg Blondeau, ne risque rien qui serait dû aux G avec un seul renversement paisible.

**Que se produit-il lorsque vous envoyez "grave" ? Quels sont les effets des "G" que vous ressentez ou que vous faites subir à votre passager en biplace ? Quels risques ? Réfléchissez bien avant de vous coller des "G", surtout si vous manquez d'entraînement !**

### Rappel

On emploie ici "Homme" ce qui inclut évidemment la Femme au lieu de "pilote" car les passagers des biplaces sont aussi concernés. Peut-être encore plus pour la partie "inconfort", vomissements, malaises, puisqu'ils n'anticipent pas les manœuvres. Tout le monde s'est déjà rendu compte qu'il est plus agréable de tenir le volant en voiture plutôt que d'en être passager.

### ACCÉLÉRATION ?

Si un corps accélère, c'est qu'il est soumis à une force proportionnelle à l'accélération subie. L'accélération peut être de 2 formes : accélération tangentielle ou accélération normale.

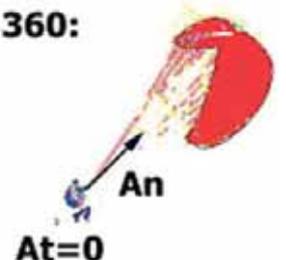
- Accélération tangentielle : correspond à des variations de vitesse en restant dans une même direction (ex : on accélère en voiture) ;
- Accélération normale : correspond à des changements de direction à vitesse constante (ex : rotation, virages).

La combinaison de la gravité, constante, et des accélérations, dépendantes des manœuvres, fait que le pilote subit des sollicitations qui ont des conséquences plus ou moins graves.

### CENTRIFUGE/CENTRIPÈTE ?

Il est difficile de saisir pourquoi on a l'impression d'être soumis à une force OPPOSEE à l'accélération subie. Ex : j'accélère en voiture => j'ai la sensation que mon corps est projeté en arrière. Sans rentrer dans la théorie des référentiels galiléens et autres, on peut schématiser ainsi : quand on appuie sur la pédale, c'est la voiture qui accélère, et non pas votre corps. Et quand la voiture accélère, le siège "pousse" sur votre dos pour vous amener avec elle. Le reste du corps en revanche, n'est pas directement "poussé" et veut donc rester en arrière, à vitesse constante.

360:



D'où la sensation d'être "projeté" en arrière.  
Même chose en rotation : la sellette vous pousse pour que vous tourniez avec elle (force centripète) mais votre corps ne veut pas suivre. Il "s'écrase" contre la sellette, les membres "pèsent". On a donc l'impression de ressentir une accélération opposée appelée centrifuge.  
L'accélération "centrifuge" n'est donc pas une accélération "réelle", directe. Elle est liée à l'inertie du corps qui ne veut pas suivre le mouvement.  
C'est cette accélération que l'on utilise pour déterminer le nombre de G subis.  
Ces simplifications suffisent à bien comprendre la suite.

## NOMBRE DE G ?

Il s'agit du rapport entre l'accélération subie par un corps et l'accélération gravitationnelle (constante :  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).  
Lorsque nous sommes sur terre, au repos, nous subissons 1 G en permanence.  
Le nombre de G sert donc à "sentir" la grandeur d'une accélération en la comparant à une autre que nous connaissons bien, la gravité.  
Sous 2G le pilote pèse deux fois son poids, sous 3 G trois fois et ainsi de suite.

Pour comprendre les effets sur l'homme, on décompose ce nombre de "G" :  
Les  $G_x$  : représentant les accélérations frontales ;  
Les  $G_y$  : représentant les accélérations latérales ;  
Les  $G_z$  : représentant les accélérations verticales (dans l'axe du corps avec les  $G_{z+}$  de la tête vers les pieds).

## LES G : OÙ ÇA UN PROBLÈME ?

L'être humain est un animal terrestre, conçu pour vivre dans un environnement d'1 G avec des variations rapides occasionnelles (course, saut, chute). Nous ne sommes pas conçus pour supporter un nombre de G élevé de manière prolongée, par exemple lors de manœuvres aériennes.

La sensation principale du pilote avec l'augmentation du nombre de G est celle d'une augmentation de son poids. Les mouvements de la tête et des bras sont incertains et maladroits à cause de cette augmentation du poids.

Même avec un entraînement poussé, nous n'arrivons à repousser nos limites que faiblement.

## PAS MOI...

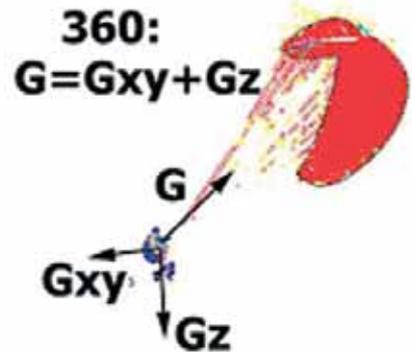
Eh si, tout le monde y est sensible !  
Tout le monde subissant des G peut ressentir des troubles, voire perdre connaissance.  
Tout le monde perdant connaissance perd le contrôle de son aéronef.

Tout le monde perdant le contrôle peut se crasher.

Vous n'êtes pas immunisé ! Personne n'est assez bon ou entraîné pour se moquer des G.

Même les pilotes de voltige avec des années d'expérience restent sensibles. C'est seulement leur exposition à de courtes périodes qui les protège.

Le voile noir et la perte de connaissance ne sont pas des signes de faiblesse du pilote mais la réaction parfaitement normale du corps face à un environnement anormal.



Contrairement à ce que croit le spectateur, une boucle bien faite sur l'élan ne charge que très peu le pilote et l'aile. Ici, Franck Pagliero, relax, avec une seule main !

Note : cette égalité devant les G peut être nuancée sur un point : Comme vous allez le voir ci-dessous, la sensibilité aux Gz est intimement liée à la distance cœur-tête.

C'est pourquoi les pilotes de chasse sont choisis "petits" (revanche!).

## Les différents "G"

### Gx

Les Gx sont ceux que l'homme encaisse le mieux d'une manière générale.

Deux risques cependant :

- Dysfonctionnements momentanés de l'oreille interne pouvant provoquer des sensations de "chute en avant", voire des haut-le-cœur ;
- Rupture des cervicales en cas de Gx très élevés (chocs,...).

### Gy

Risques :

- Inconfortables, même à Gy très faibles : "mal de l'air" ;
- Dysfonctionnements momentanés de l'oreille interne pouvant provoquer des pertes d'équilibre ;
- Rupture des cervicales en cas de Gy très élevés (chocs,...).

### Gz

Malgré ce que l'on peut penser, ce sont les plus dangereux. On ne peut pas s'y habituer. Ils sont souvent les plus élevés en vol libre (Gz+). En effet, même si la structure du corps résiste bien car on est dans l'axe de la colonne, c'est le fait que notre corps ne soit pas un solide homogène (sang, organes,...) qui rend les Gz si dangereux, notamment la circulation du sang du cœur vers la tête.

## SYMPTÔMES

4 étapes :

1. Viscosité mentale due à l'hypoxie (pas assez d'oxygène dans le sang) ;
2. Troubles puis perte de la vision ;
3. Perte de connaissance ;
4. Mort.

Pourquoi ? Le cerveau et les yeux ont besoin d'oxygène et de sucre (glucose) pour fonctionner correctement. Leur stock de sucre est minime et leur stock d'oxygène quasi nul. Ils ont donc besoin d'un apport constant de ces deux éléments nutritifs. Cet apport est assuré par le sang qui est envoyé dans la tête grâce au cœur qui se bat contre la gravité.

Le problème est que le cœur sait lutter contre 1Gz, mais guère plus.

Si le nombre de Gz est important pendant un certain temps, le sang n'est plus propulsé jusqu'à la tête. Le cerveau et les yeux consomment tout le sucre et l'oxygène à leur disposition puis cessent progressivement de fonctionner.

On retrouve le schéma : viscosité mentale => trouble visuel => perte de connaissance => mort.

Cette explication est suffisante pour sentir les conséquences de l'exposition à un grand nombre de G.

## EN DÉTAIL

Lorsque le nombre de G dépasse 1, l'homme ressent immédiatement une augmentation de son poids : ses mouvements en sont altérés.



Rentrer en spirale engagée après deux ou trois renversements radicaux peut conduire illico à des symptômes graves pour la sécurité. Sans entraînement régulier, on se calme !

### Viscosité mentale-hypoxie :

Rapidement, la quantité d'oxygène disponible pour le cerveau diminue (hypoxie). Apparaît alors le phénomène de viscosité mentale. Elle se traduit par une baisse de la réactivité, euphorie, diminution de l'attention et de la coordination, sensation de déséquilibre, perte de la sensation de haut et de bas. Dans certains cas, le pilote, interrogé après l'accident, était persuadé d'avoir jeté son secours. En fait, il a été retrouvé au sol avec le container fermé et toujours dans la main.

### Voile gris :

Si le nombre de Gz continue à augmenter progressivement, la sensation suivante est celle d'un assombrissement de la vision, plus marqué à la périphérie du champ visuel. Ce phénomène, appelé "voile gris", correspond à la chute de

la quantité de sang atteignant l'œil. Le pilote a réellement l'impression de regarder comme s'il était à l'intérieur d'un tunnel sombre. En fait, la vision périphérique commence à se détériorer dès

l'augmentation de la charge, et lorsque le pilote se rend compte de cet "effet tunnel", il a déjà perdu 75 % de son champ de vision.

### Voile noir :

Si l'augmentation du nombre Gz persiste, le "voile noir" apparaît. Ce voile noir correspond à une perte totale de la vision car l'œil ne reçoit plus de sang. Le pilote n'est pas encore inconscient et en fait les pilotes de la RAF qui s'entraînaient au trophée Schneider dans les années 20 parvenaient à rester en voile noir sans tomber inconscients et pilotaient ponctuellement leur appareil au "feeling" (!) sans voir.

## Perte de connaissance :

Si le nombre de Gz augmente encore, la tolérance du pilote est atteinte et celui-ci devient brusquement inconscient. Cette perte de connaissance s'accompagne souvent de secousses et de violents mouvements de la tête et des bras.

## Mort :

Si le nombre de Gz reste alors élevé pendant un temps, le pilote s'enfoncé dans cette inconscience et son cerveau peut "mourir".

Cependant, lorsque le nombre de Gz redescend dès le début de la perte de connaissance (Ex : la voile, au comportement stable, sort toute seule des 360°), le pilote reste inconscient un moment, environ 15 s et commence à reprendre ses esprits. Durant cette période de "réveil" qui dure 15 à 30 s de plus, le pilote est souvent dans une confusion extrême. A sa reprise de connaissance totale, il n'a aucun souvenir de ce qui s'est passé. Plusieurs sortes de troubles psychologiques peuvent alors être ressentis : désorientation, manque de fiabilité, anxiété, embarras ou même découragement, volonté d'abandonner.

Si la montée en nombre de Gz est violente et persiste, le pilote passera quasiment instantanément d'un état de conscience et de possession totale de ses moyens à l'évanouissement, sans percevoir l'avertissement des symptômes visuels.

Le problème le plus inquiétant sur cette perte de mémoire est que le pilote ne s'est pas du tout rendu compte qu'il avait été inconscient pendant un moment. Il a donc une perception erronée de sa capacité à encaisser les Gz.

## GZ POSITIFS (SENS TÊTE => TRONC)

Les expériences et les essais ont permis de connaître assez précisément la tolérance humaine au nombre de G.

Le graphique (croquis 1) donne cette tolérance aux Gz, lorsqu'on n'utilise aucun système de protection. Les différents chemins dessinés permettent d'expliquer ce qui se passe suivant le type d'exposition :

### Chemin A :

Le pilote est soumis à une accélération brutale (+8 Gz en 2 secondes et redescende immédiate à +0 Gz) : aucun trouble.

### Chemin B :

Augmentation brutale (+9 Gz en 2 secondes) et

maintient à ce niveau. Deux secondes plus tard, le pilote sombre brutalement dans l'inconscience.

### Chemin C :

Augmentation progressive du nombre de Gz (+0.7 Gz/seconde).

Début des troubles visuels perceptibles après 5 s (+3.5 Gz), perte de connaissance 1 s plus tard (à +4.2 Gz).

### Chemin D :

Augmentation lente du nombre de Gz (+0.25 Gz/seconde).

Troubles visuels perceptibles après 16 s (à 4 Gz), perte de connaissance 4 s plus tard, à +5 Gz.

La tolérance à un nombre de G est donc complètement liée à la méthode d'exposition.

Les as de la voltige aérienne se basent sur ces résultats pour choisir les manœuvres et les enchaînements qu'ils vont pouvoir effectuer. L'ensemble des études s'accorde pour dire que l'inconscience apparaît vers +4.5 Gz, mais peut apparaître dès +2 Gz et jusqu'à +6.5 Gz.

Des pilotes ont ainsi perdu connaissance à +2 Gz, qui correspond à un virage stabilisé à 60° d'inclinaison !

Après retour à 1 Gz, la période d'inconscience dure généralement 15 s. Mais il a déjà été observé des durées de l'ordre de 3 mn !

## PARAPENTE : CAS DES 360°

De toutes les manœuvres aériennes, les 360° sont celles qui exposent le plus longtemps le corps à un nombre de Gz élevé.

En effet, en rotation le corps ressent les effets d'une accélération inertielle centrifuge pouvant atteindre plusieurs Gz, et ce de manière prolongée, d'où le danger. Si l'on reprend le graphique précédent, on peut identifier la zone où l'on peut se trouver facilement en parapente en 360° (croquis 2).

On se rend compte à quel point il est facile de passer de l'autre côté de la barrière !

Etudions les "chemins" possibles :

### Chemin E :

Mise en 360° "classique" et maintenue : après une brève sensation de troubles visuels souvent imperceptibles, on s'installe dans une spirale bien engagée, que l'on peut encaisser sans problème.

### Chemin F :

Après avoir fait 2-3 wing-overs appuyés, le pilote

se lance en 360°. La montée en charge est telle qu'il perd connaissance en 9 s. Arrivé à ce point, imaginons qu'il lâche ses commandes, que sa ventrale n'est pas trop relâchée (influence sellette moindre), là trois cas de figure :

**Chemin Fs :** la voile a un comportement stable. Elle sort toute seule des 360, et après 15 s, le pilote reprend ses esprits. S'il est assez haut, il ne se sera rendu compte de rien !

**Chemin Fn :** la voile a un comportement neutre. Elle va rester dans la spirale et le pilote ne reprend connaissance qu'environ 30 s plus tard. Espérons qu'il était plus haut que son collègue !

**Chemin Fi :** la voile a un comportement instable. Elle va engager encore plus rapidement, jusqu'au sol...

## PRÉVENIR LA PERTE DE CONNAISSANCE

La méthode parfaite, irréaliste, est de ne jamais prendre de G...

Une autre méthode est de pratiquer. En effet, il a été remarqué que les pilotes qui n'ont pas volé depuis un certain temps sont beaucoup plus sensibles.

Côté physique, un entraînement anaérobie poussé aide à mieux encaisser les G, surtout s'il est concentré sur les abdominaux et les biceps. Il a ainsi été observé une augmentation de la durée avant évanouissement de 53 % chez les pilotes très entraînés.

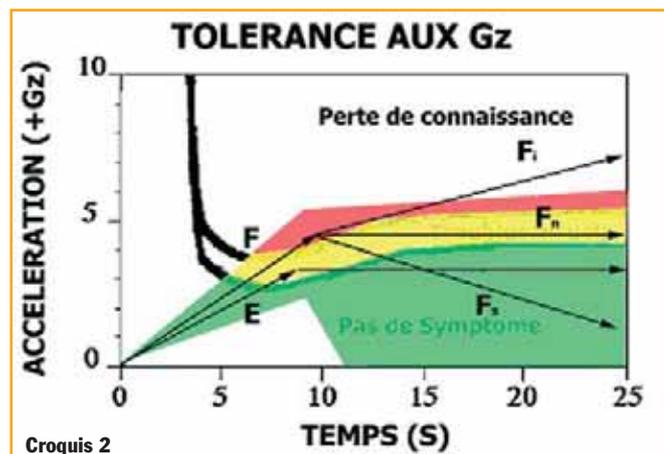
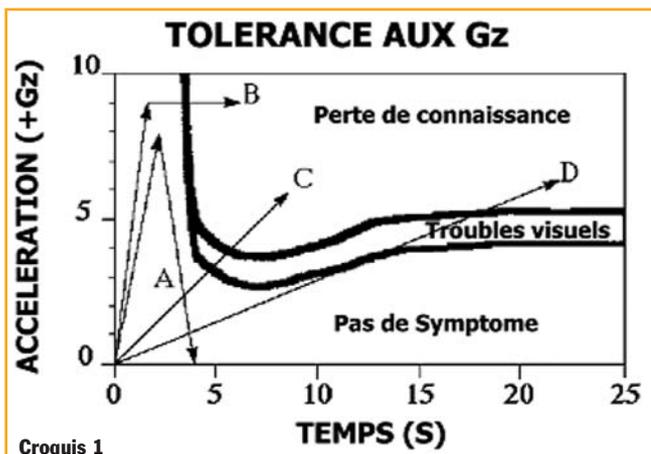
Côté matériel, peu de solutions car le vol libre ne permet pas d'avoir une combinaison anti-G (qui comprime le corps pour aider à faire monter le sang dans la tête) ou un équipement respiratoire particulier.

Il n'y a peut-être que l'inclinaison de la sellette. En effet, comme c'est la composante "Gz" (axe qui provoque les risques de perte de connaissance), une sellette position couchée réduit cette part de Gz subie par le pilote.

Cependant, pour que ce gain soit vraiment significatif, il faudrait une position tellement inclinée vers l'arrière que le pilotage "croisière" serait impossible par manque de visibilité.

Autre problème : le manque de stabilité en lacet avec une position couchée, qui induit d'autres gros inconvénients.

Il ne reste donc, comme souvent, qu'à avoir un bon entraînement et une bonne condition physique pour nous permettre de mieux appréhender les G, bien que ça ne permette pas de repousser ses limites de manière drastique.





### GZ NÉGATIFS

Les manœuvres pouvant y conduire étant (a priori ?) impossibles en parapente et réellement extrêmes ou très brèves en rigide (pour l'instant...), les chiffres fournis sur le tableau récapitulatif de la conclusion le sont seulement à titre d'information.

### AUTRES PROBLÈMES LIÉS AUX G

#### Voile rouge :

Le "voile rouge" apparaît lorsque le pilote est soumis à des Gz négatifs. Le phénomène inverse en est la cause : trop de sang afflue dans la tête est les yeux. Le pilote ne voit que du rouge même s'il n'en n'a pas bu...

#### Hématomes :

L'apparition de bleus peut également provenir de l'exposition intensive à des Gz positifs ou négatifs. Le sang est poussé dans les vaisseaux si fortement que ceux-ci peuvent éclater. C'est souvent le cas sur le front et dans le blanc des yeux pour les G négatifs et sur les jambes et les fesses pour les G positifs.

#### A RETENIR :

Avant la prochaine étape, les travaux pratiques et les essais en vrai, avec mesures s'il vous plaît, il faut retenir :

- Tout le monde peut être sujet à l'évanouissement dû aux G ;
- La perte de mémoire qui s'ensuit est très dangereuse car le pilote ne s'est pas rendu compte de son évanouissement et ne connaît donc pas ses limites ;
- La compréhension du phénomène est la meilleure prévention, ainsi qu'un bon entraînement, une bonne santé (pas d'alcool, etc), comme toujours ! 🚀

Type	Niveau mini*	Symptômes	Conséquences	Prévention
<b>Gx</b>	-1/+1 G	Haut-le-cœur	Inconfort	<b>Bonne : entraînement + musculation</b>
	-10/+10 G	Rupture des cervicales	Mort	
<b>Gy</b>	-1/+1 G	Haut-le-cœur	Inconfort	
	-10/+10 G	Rupture des cervicales	Mort	
<b>Gz+</b>	+1.5 G	Viscosité mentale	Perte réflexes	<b>Faible : entraînement</b>
	+1.5 G	Voile gris	Désagrément	
	+2 G	Voile noir	<b>Incapacité à piloter</b>	
	+3 G	Perte de connaissance		
	>+4 G	Mort		
<b>Gz-</b>	-1 G	Sensation de pression dans la tête	<b>Inconfort</b>	<b>Aucune</b>
	-2 G	Mal de tête, saignements nez et peau du visage, difficulté à respirer		
	<-2 G	Voile rouge	<b>Incapacité à piloter</b>	
	<-2 G	Confusion mentale		
	<-2/-3 G	Convulsions		

(\* ) Nombre de G minimum où les symptômes peuvent apparaître suivant la mise en charge, ces minima pouvant varier suivant les facteurs décrits précédemment (vitesse de mise en G, condition physique,...).