

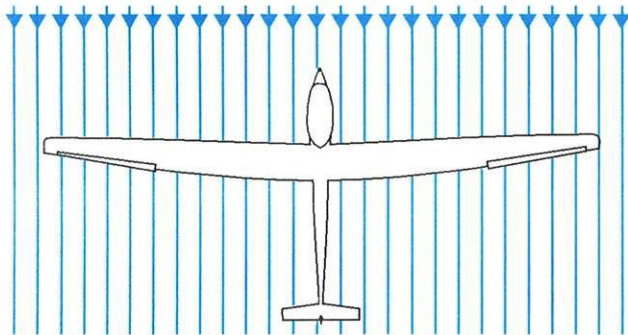
# VI - LA SYMETRIE

Afin de préserver les performances de sa machine et de garantir la sécurité de certaines manoeuvres, le pilote d'un planeur doit veiller à maintenir la symétrie de son vol.

## 1. VOL SYMETRIQUE ET DERAPE

### 1.1. Définitions

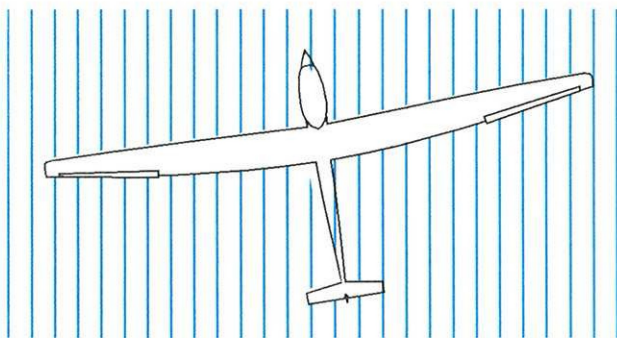
Le vol d'un planeur est symétrique lorsque l'écoulement aérodynamique est parallèle à son plan de symétrie. Dans le cas contraire, on dit qu'il est dérapé.



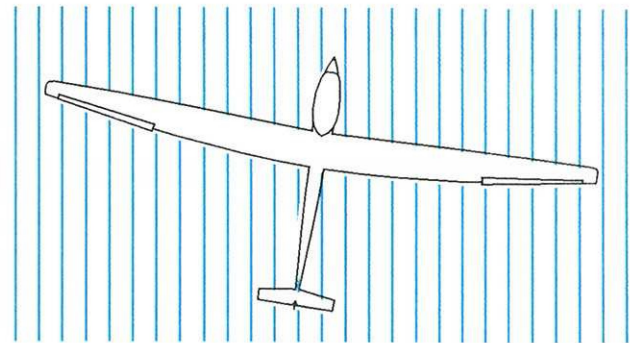
Vol symétrique

#### 1.1.1. Dérapage en ligne droite

Un dérapage en ligne droite sera qualifié de "dérapage à droite" si le vent relatif vient de la droite par rapport à l'axe de symétrie du planeur. Inversement on parlera de "dérapage à gauche" si le vent relatif vient de la gauche.



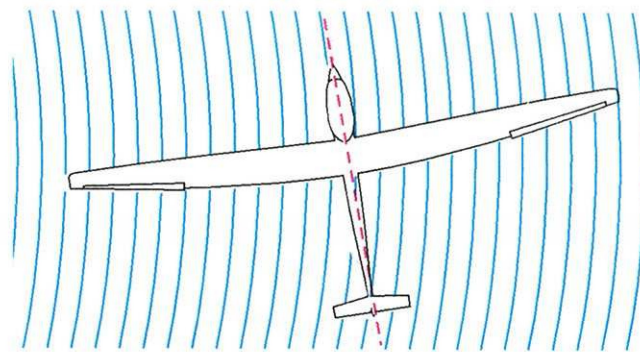
Vol dérapé à droite



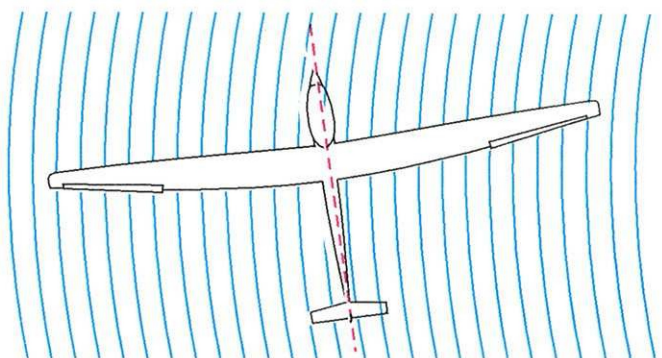
Vol dérapé à gauche

#### 1.1.2. Dérapage en virage

Compte tenu du risque de confusion qui existe entre sens du virage et sens du dérapage on parlera de "dérapage intérieur" quand, par rapport à l'axe de symétrie du planeur, le vent relatif vient de l'intérieur du virage et de "dérapage extérieur" quand il vient de l'extérieur du virage.



Virage à gauche dérapé extérieur

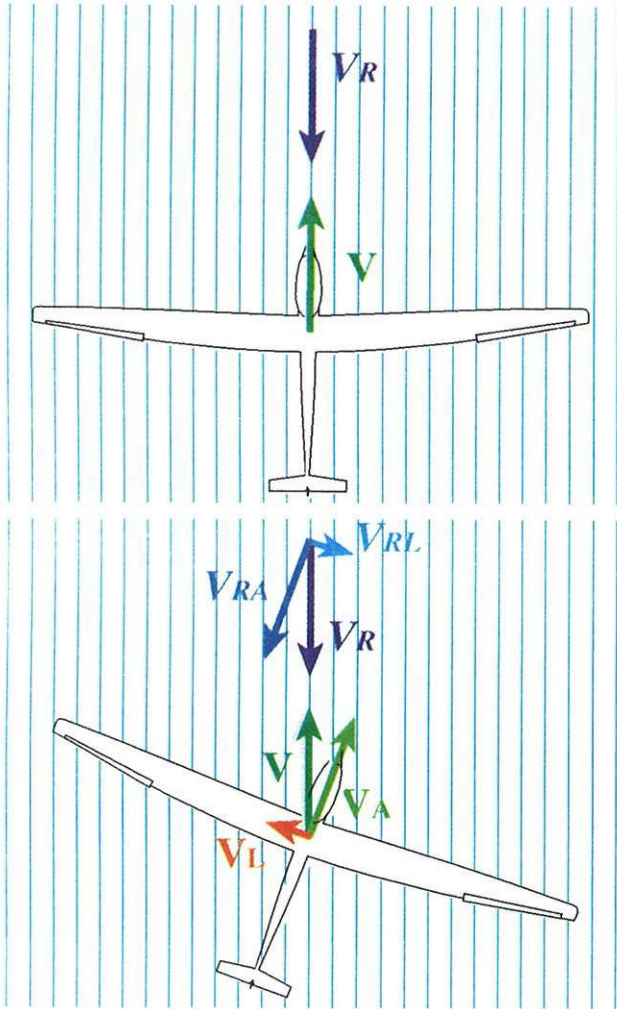


Virage à droite dérapé intérieur

## 1.2. Mécanique du vol dérapé

### 1.2.1. Orientation de la vitesse et de la trajectoire

Quand le planeur vole symétriquement, son "vecteur vitesse", égal et opposé au vecteur "vent relatif" est compris dans le plan de symétrie du planeur.



Par contre, quand il dérape, le vecteur vitesse, toujours égal et opposé au vent relatif, n'est plus compris dans le plan de symétrie. La vitesse admet alors deux composantes :

- une composante axiale  $V_A$
- une composante latérale  $V_L$ .

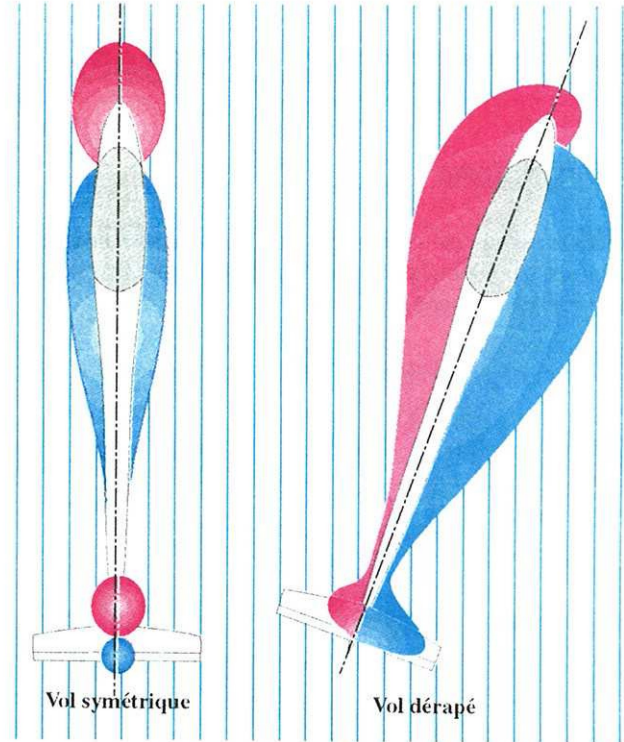
Par analogie, toutes ces définitions sont valables pour la trajectoire puisque le vecteur vitesse exprime la direction et le sens du déplacement.

Si l'on s'intéresse à l'écoulement aérodynamique, on constate qu'en vol dérapé le planeur subit un vent relatif axial  $V_{RA}$  et un vent relatif latéral  $V_{RL}$ .

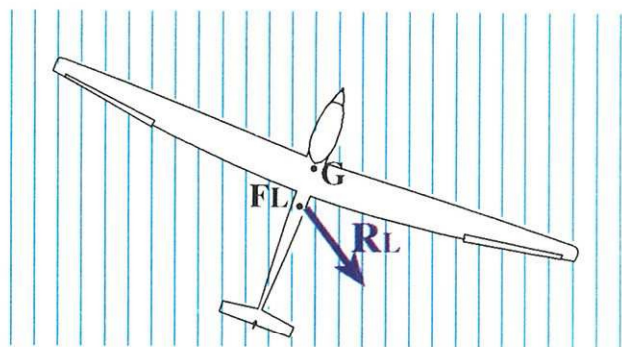
### 1.2.2. Réactions aérodynamiques

Quand le vol est symétrique, le champ de pression qui naît de l'écoulement est également réparti de part et d'autre de l'axe longitudinal du planeur.

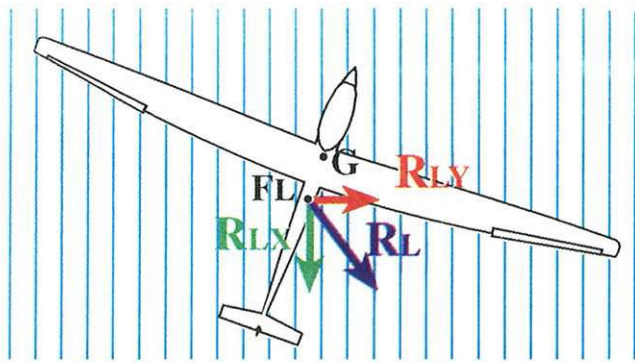
Par contre, si un dérapage existe, des zones de surpressions et de dépressions relatives apparaissent dissymétriquement.



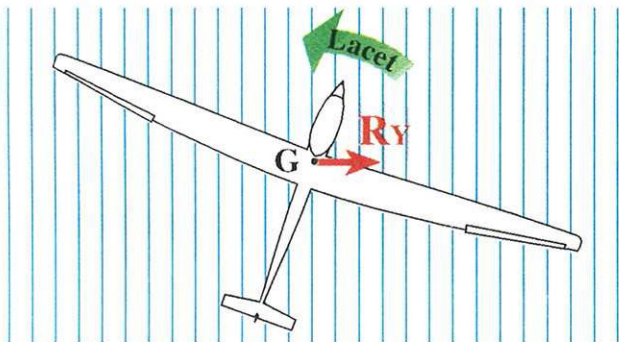
Il se manifeste alors une résultante aérodynamique latérale  $R_L$ . Cette force apparaît sur un point particulier du planeur  $F_L$ , appelé foyer latéral et dont la position dépend de la répartition et de la dimension des surfaces verticales.



La résultante aérodynamique latérale peut être décomposée en une force parallèle au vent relatif  $R_{LX}$  qui se manifeste comme une traînée supplémentaire et une force perpendiculaire à l'écoulement  $R_{LY}$ .



La force  $R_{LY}$  peut être réduite au centre de gravité  $G$  du planeur ; cette opération nous donne une force perpendiculaire à l'écoulement  $R_Y$  appelé "portance de fuselage" et un moment de lacet par rapport à  $G$  qui tend à résorber le dérapage sans l'intervention du pilote et contribue ainsi à créer la "stabilité de route" du planeur.

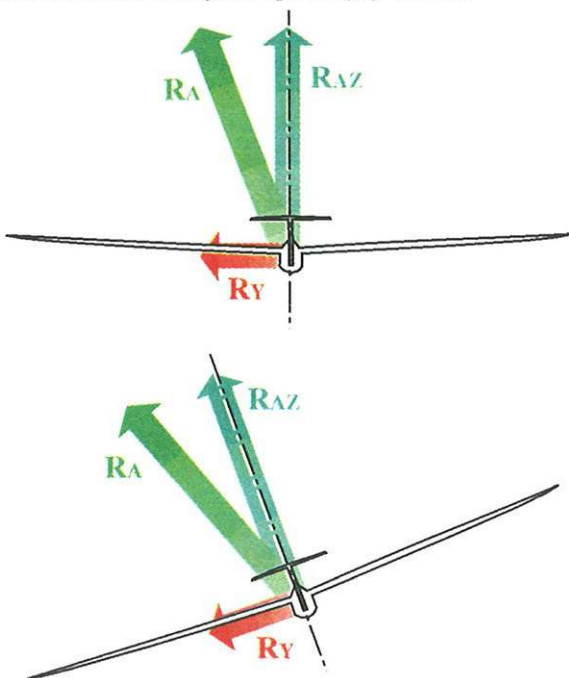


La portance du fuselage  $R_Y$  est à l'origine des différences fondamentales qui existent entre le vol symétrique et le vol dérapé. Elle sera seule représentée dans la suite de cette étude.

**1.3. Effet du dérapage sur l'équilibre des forces**

**1.3.1. Effet du dérapage sur la résultante aérodynamique**

La portance de fuselage  $R_Y$  est une force aérodynamique qui s'ajoute aux forces aérodynamiques déjà présentes.



En vol dérapé, la résultante aérodynamique globale  $R_A$  n'est plus contenue dans le plan de symétrie du planeur.

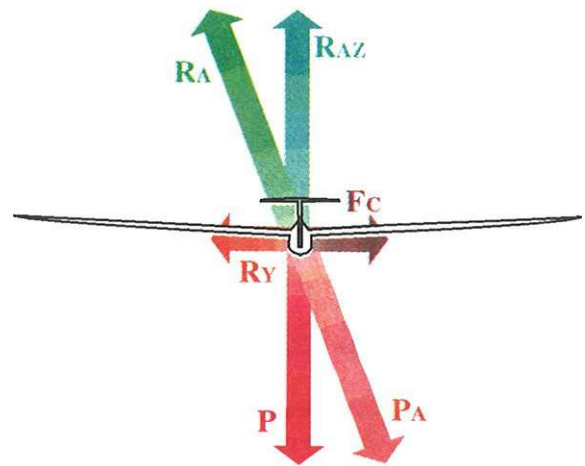
**1.3.2. Effet du dérapage sur l'équilibre des forces**

La portance de fuselage  $R_Y$  provoque une déviation de la trajectoire du planeur :

- si le planeur a les ailes horizontales, elle incurve la trajectoire qui, à l'origine, est rectiligne.
- si le planeur est incliné, elle s'ajoute ou se retranche à la force déviatrice et modifie la courbure du virage.

a) Dérapage à inclinaison nulle

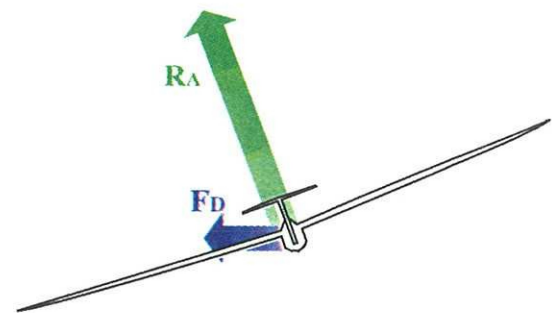
$R_Y$  apparaît comme une force déviatrice qui courbe la trajectoire. Elle laisse donc apparaître une force centrifuge  $F_C$  à laquelle elle est égale et opposée.



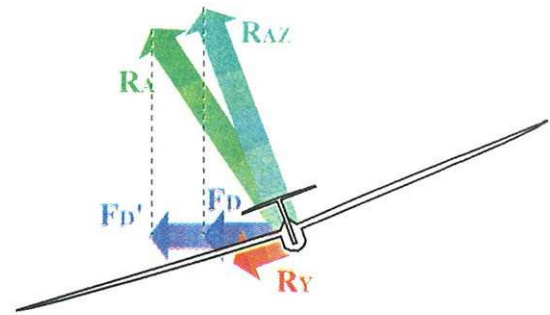
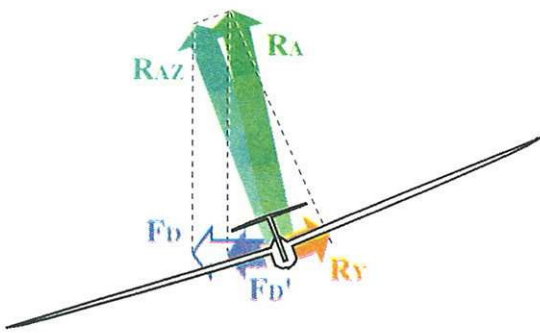
Le poids apparent  $P_A$  est la résultante du poids  $P$  et de la force centrifuge  $F_C$ . Il est équilibré par  $R_A$  qui, à son tour, n'est plus contenue dans le plan de symétrie du planeur.

b) Virage dérapé intérieur

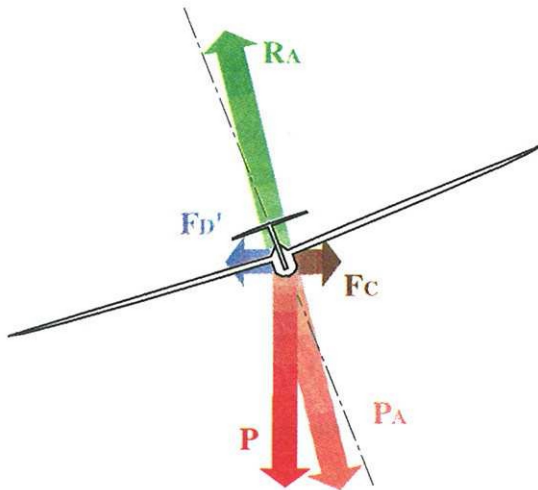
Le dérapage provoque une portance de fuselage  $R_Y$  qui contribue à redresser la résultante aérodynamique globale.



Virage symétrique



Le rayon de virage résulte de l'application d'une force déviatrice  $F_{D'} > F_D$ . Sa courbure s'accroît. La force centrifuge augmente aussi ( $F_C = F_{D'}$ ). Le poids apparent, aligné avec  $R_A$  est déporté vers l'extérieur du virage.

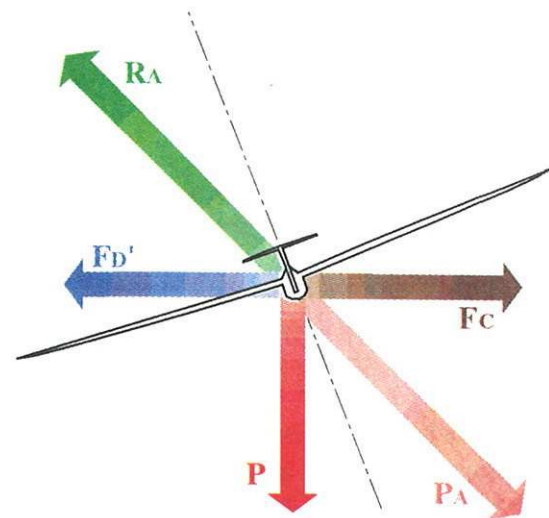


Virage dérapé intérieur

Le rayon du virage résulte de l'application d'une force déviatrice  $F_{D'} < F_D$ . Sa courbure diminue. La force centrifuge diminue aussi ( $F_C = F_{D'}$ ). Le poids apparent, aligné avec  $R_A$ , est déporté vers l'intérieur du virage.

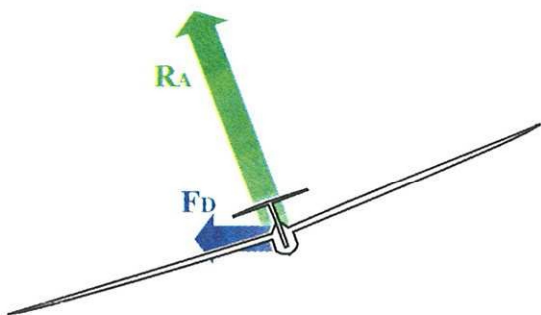
c) Virage dérapé extérieur

Le dérapage provoque une portance de fuselage  $R_Y$  qui contribue à incurver davantage la résultante aérodynamique globale.

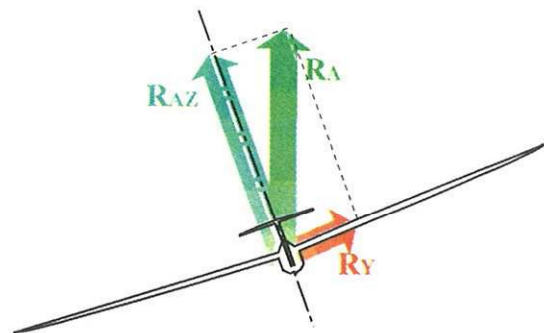


d) Cas particulier : la ligne droite dérapée

On a étudié précédemment que, si le dérapage existe alors que le planeur a les ailes horizontales,  $R_Y$  apparaît comme une force déviatrice qui courbe la trajectoire. Pour que la trajectoire reste rectiligne il faut qu'aucune force déviatrice ne se manifeste. Il est donc nécessaire que la résultante aérodynamique globale soit verticale et par conséquent que le planeur soit incliné.



Virage symétrique



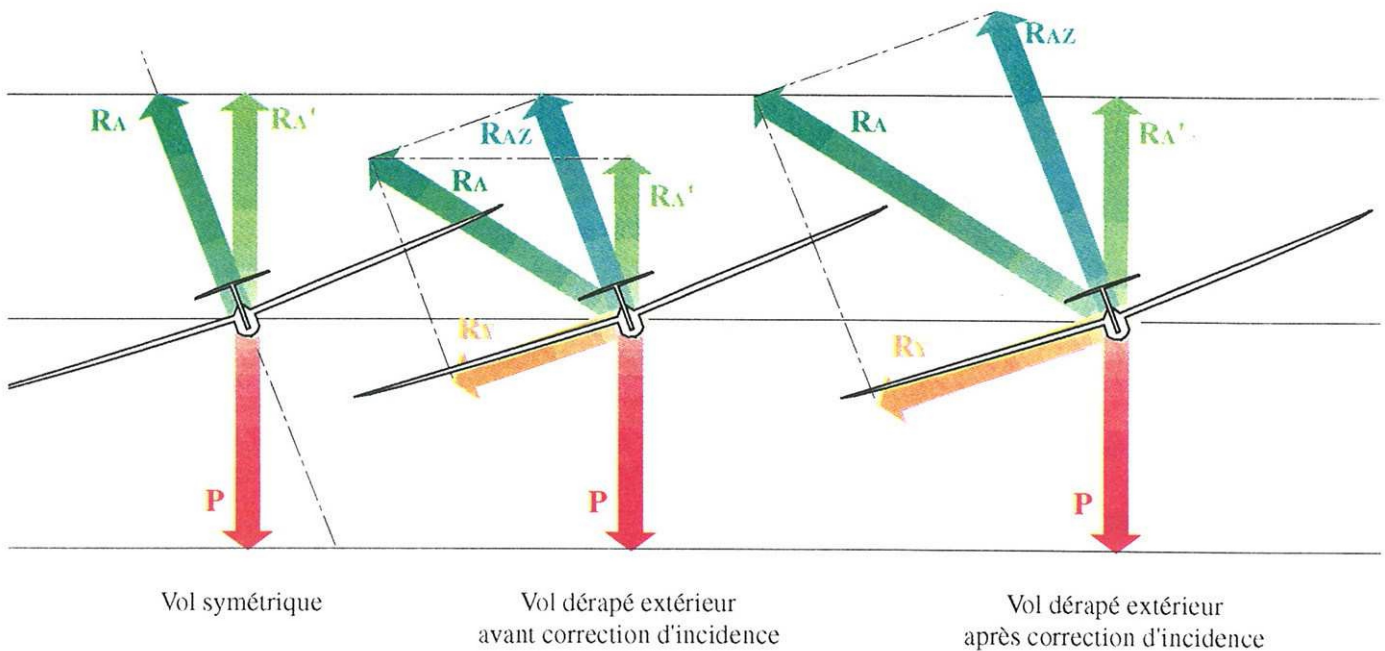
La ligne droite dérapée est donc un cas particulier de virage dérapé intérieur où la portance de fuselage a un effet "redresseur" de la résultante aérodynamique tel que  $R_A$  devient verticale et qu'aucune force déviatrice n'apparaît.

### 1.3.3. Effet du dérapage sur l'incidence en virage

On a vu dans la leçon sur le virage qu'il était nécessaire d'augmenter l'incidence afin d'obtenir une composante verticale de la résultante aérodynamique égale et opposée au poids.

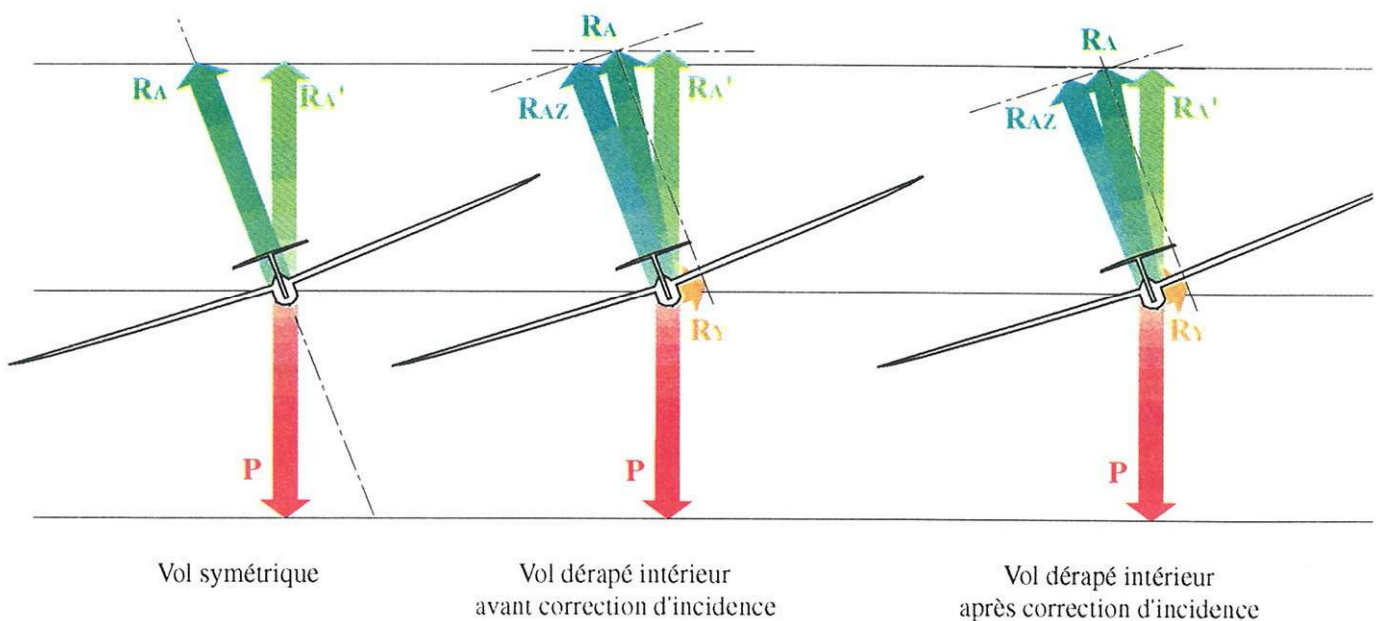
#### a) Cas du dérapage extérieur

En augmentant l'inclinaison de la résultante aérodynamique, le dérapage provoque un déficit de la composante verticale opposée au poids. L'équilibre vertical ne peut être rétabli que si le pilote augmente sensiblement son incidence. Cette caractéristique du vol dérapé extérieur contribue à le rendre dangereux dans la plage des fortes incidences (voir le chapitre consacré au décrochage).



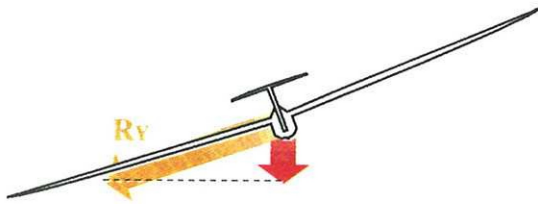
#### b) Cas du dérapage intérieur

En redressant l'inclinaison de la résultante aérodynamique, le dérapage provoque un excédent de la composante verticale opposée au poids. L'équilibre vertical ne peut être rétabli que si le pilote diminue son incidence.

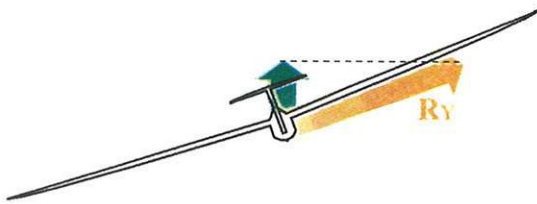


**Remarque :**

Ces phénomènes sont dus à la composante verticale de la portance de fuselage qui, en virage, est inclinée.



Dérage extérieur : effet piqueur



Dérage intérieur : effet cabreur

**1.3. Causes du dérapage**

On distingue deux sortes de causes de dérapage :

- des causes "accidentelles" ou "fortuites" qui provoquent brièvement un dérapage qui tend à se résorber de lui-même plus ou moins rapidement ;
- des causes "fondamentales" liées à des cas particuliers de vol ou à l'action du pilote et capables d'entretenir le vol dérapé.

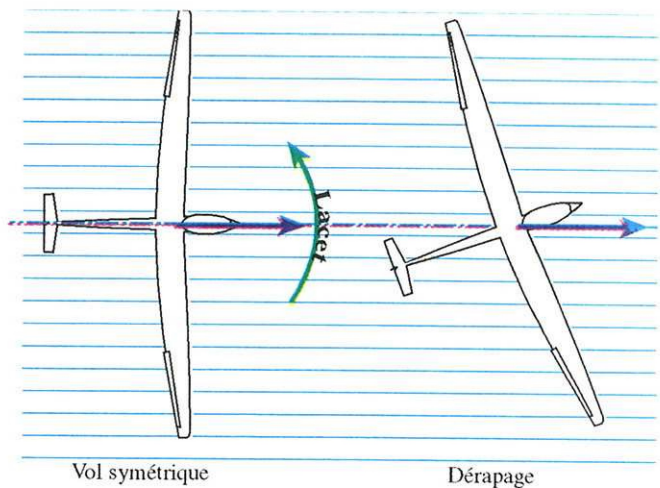
**1.3.1. Dérapages "fortuits"**

Ces dérapages sont la conséquence de rotations intempestives et brèves du planeur autour de son axe de lacet, ou le résultat d'un changement instantané de la direction du vent relatif.

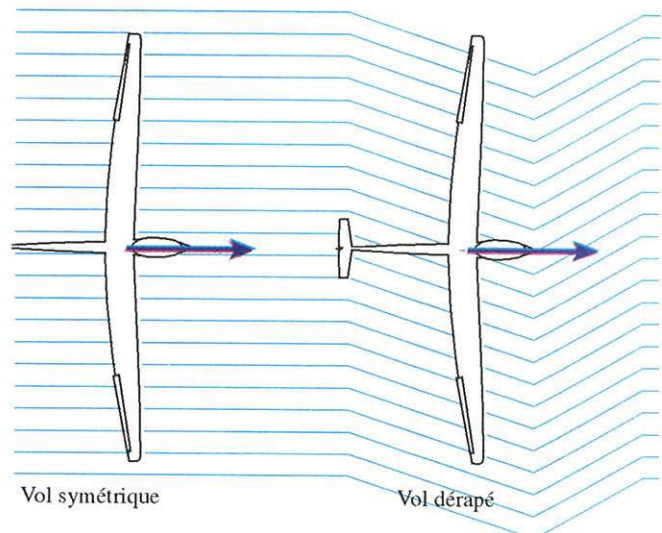
**a) Rotations autour de l'axe de lacet**

Le dérapage intervient lorsque le planeur, initialement en vol symétrique, subit une rotation en lacet qui peut avoir pour origine :

- une action intempestive du pilote sur le palonnier (action non soutenue) ;
- le lacet inverse produit lors d'une action sur la commande de roulis ;
- une oscillation en lacet due à un manque de stabilité de route.



b) Modification instantanée de la direction du vent relatif  
Stabilisé en vol symétrique sur une trajectoire, le planeur subit un changement instantané de la direction du vent relatif en traversant, par exemple, une forte turbulence.

**c) Analyse du phénomène rencontré**

Dans les deux cas, le dérapage apparaît car, à l'instant où intervient la perturbation (rotation en lacet, turbulence...), le planeur maintient sa trajectoire par inertie, sa vitesse demeurant à peu près constante en direction. L'écoulement d'air n'est momentanément plus alignée avec l'axe de symétrie du planeur qui de ce fait dérape.

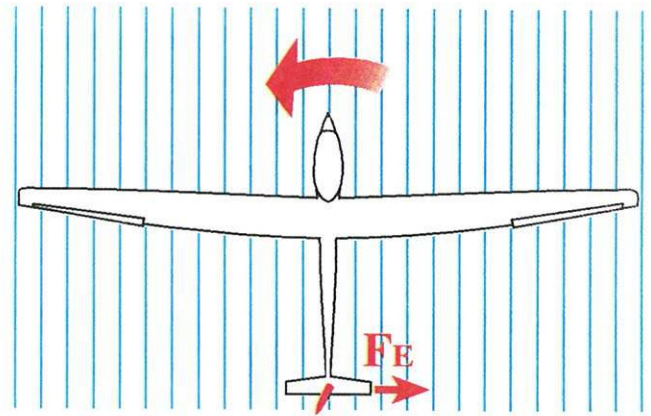
En principe, le dérapage cesse lorsque la cause de la perturbation disparaît (stabilité de route). Il justifie parfois une brève action du pilote (conjugaison).

### 1.3.2. Dérapages : "chroniques" et "stabilisés"

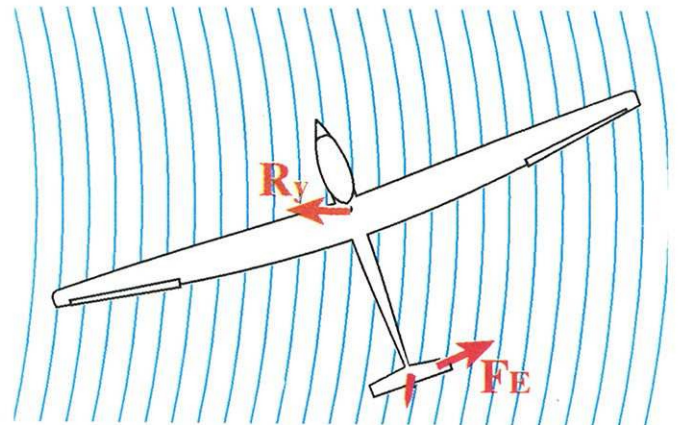
Au cours de certaines évolutions, le planeur montre des "dispositions naturelles" pour se mettre en dérapage et s'y auto-main-tenir. Le pilote peut aussi, délibérément ou par inadvertance agir de manière à faire apparaître un dérapage et le conserver.

#### a) virage "à plat"

Le pilote maintient l'inclinaison nulle mais entretient sur son palonnier une pression qui est à l'origine d'une force  $F_E$  sur l'empennage vertical. Le moment qui en résulte provoque le dérapage.



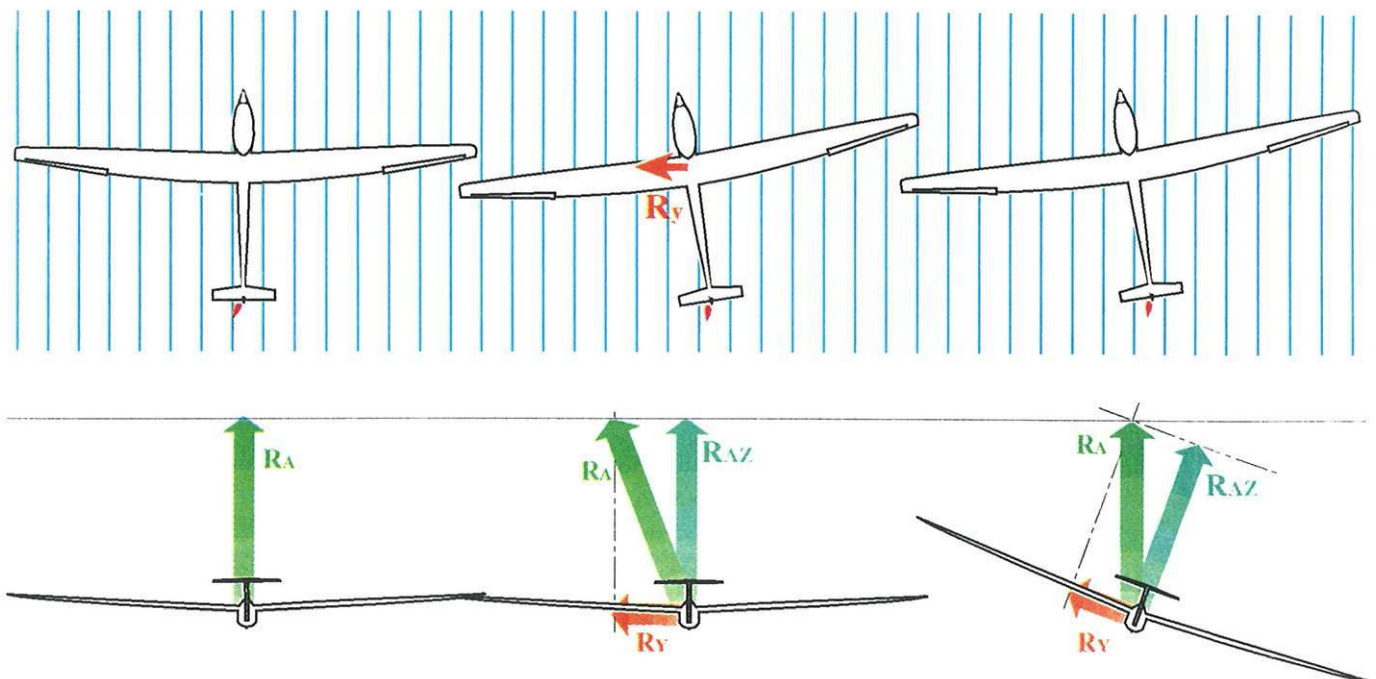
Avec  $R_F$ , force "déviatrice" la trajectoire devient curviligne. L'action continue du pilote sur son palonnier entretient le dérapage qui est un dérapage extérieur.



#### b) ligne droite dérapée

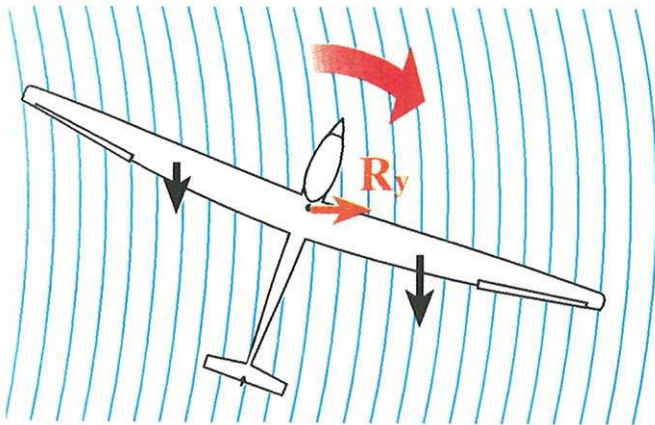
Le dérapage est entretenu mais une trajectoire rectiligne est conservée.

La création du dérapage est identique au cas précédent. Pour maintenir la trajectoire rectiligne il est nécessaire d'incliner légèrement le planeur de manière à rendre verticale la résultante aérodynamique et à faire disparaître ainsi toute force déviatrice.



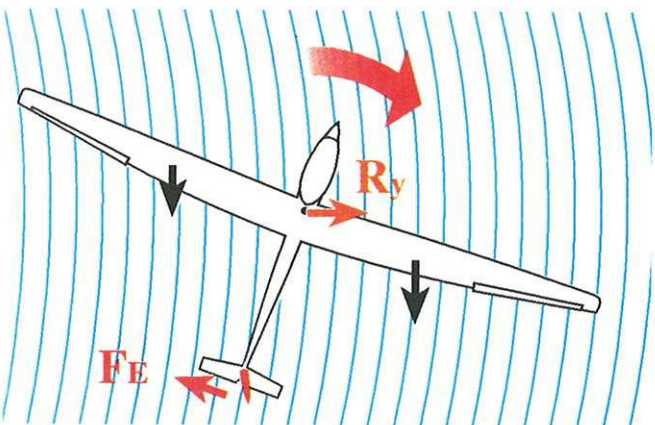
## c) dérapage dû au lacet induit

Au cours du virage, la trajectoire décrite par l'aile extérieure est plus longue que celle parcourue par l'aile intérieure. Ce phénomène, déjà identifié comme étant à l'origine du roulis induit, confère à l'aile extérieure une traînée supérieure à celle de l'aile intérieure. Le planeur subit ainsi un moment de lacet qui provoque le dérapage et l'entretient.



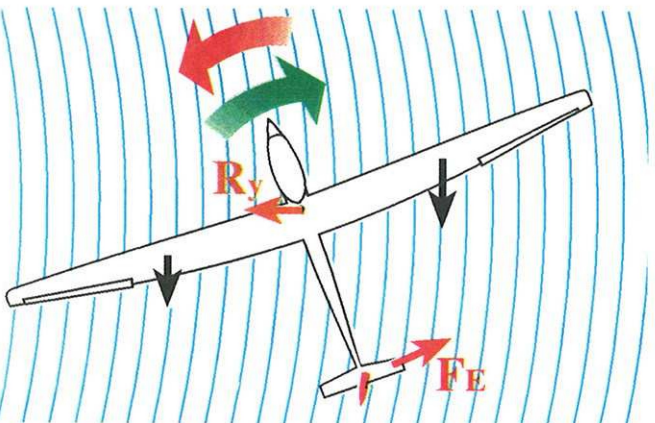
## d) dérapage intérieur "piloté"

Le dérapage intérieur est provoqué par une action sur le palonnier extérieur. Les effets de l'empennage s'additionnent au moment dû au lacet induit.



## e) dérapage extérieur "piloté"

Le dérapage extérieur est provoqué par une action sur le palonnier intérieur. Les effets de l'empennage sont, en principe, légèrement atténués par le lacet induit.

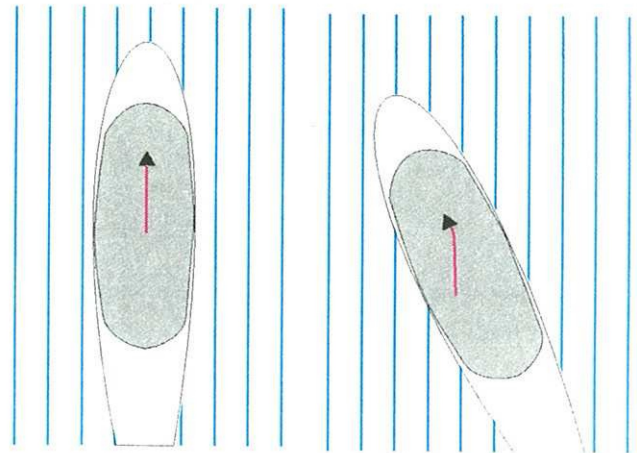


## 2. CONTROLE DE LA SYMETRIE ET DU DERAPAGE

### 2.1. Le fil de laine

Un fil de laine, exposé de manière convenable dans le vent relatif, s'aligne dans le courant de celui-ci. L'orientation du fil de laine est donc localement représentative de la direction de l'écoulement aérodynamique.

En plaçant le fil de laine d'une manière visible pour le pilote et dans l'axe de symétrie du planeur il devient un excellent moyen de contrôler la symétrie.

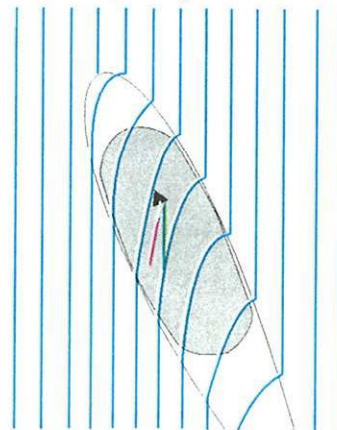


Vol symétrique

vol dérapé

Le fil de laine présente toutefois des inconvénients :

- il témoigne de la direction de l'écoulement y compris dans ses moindres irrégularités (turbulence par exemple). Il a donc un comportement "frétilant" qu'il convient de pondérer.
- Pour présenter fidèlement les angles de dérapage, il doit être dégagé des perturbations aérodynamiques engendrées par le planeur lui-même. Dans le cas général où il est simplement scotché sur la verrière il subit l'influence du champ de pression autour du fuselage. Les indications du fil de laine restent fiables quant au sens du dérapage mais très exagérés quant à sa valeur angulaire.



Malgré ces inconvénients le fil de laine est universellement utilisé. Il n'est toutefois pas réglementairement considéré comme un indicateur de dérapage car sa fiabilité peut être mise en cause.

- risque d'arrachement et de perte en vol ;

- risque de collage par la pluie, le givre etc.

- dérapage indiqué
- dérapage réel

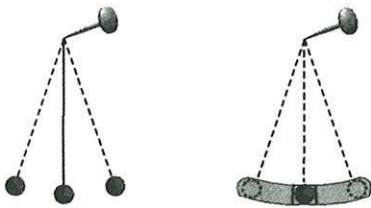


## 2.2. La bille

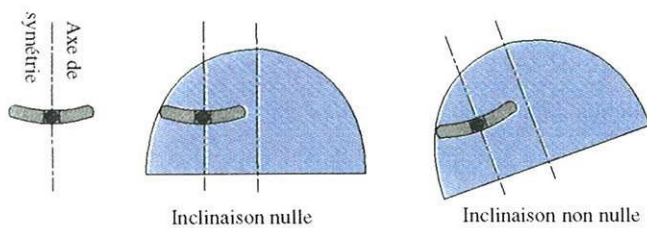
Contrairement au fil de laine, la bille n'indique pas la direction de l'écoulement aérodynamique. Par contre elle est capable de mettre en évidence le dérapage en détectant des accélérations latérales qui déplacent le poids apparent.

### 2.2.1. Principe de la bille

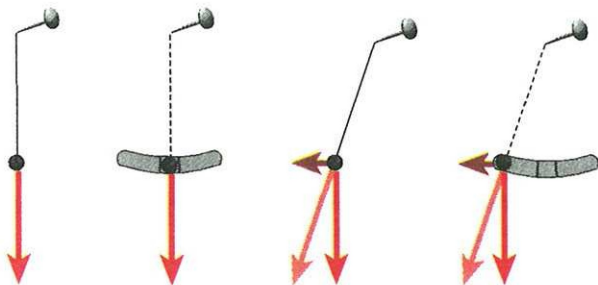
La bille est comparable à un pendule. La courbure de son tube lui permet de décrire un petit arc de cercle dont la ficelle serait le rayon. Ainsi, son encombrement est moindre et il est possible de limiter ses évolutions aux seuls déplacements latéraux.



La bille est installée dans le planeur de telle sorte que l'axe de symétrie de son tube soit positionné parallèlement à l'axe de symétrie du planeur. Evidemment cet axe n'est vertical que si l'inclinaison du planeur est nulle.



Comme dans le cas d'un pendule, la bille est "portée" par la résultante des forces auxquelles elle est soumise.

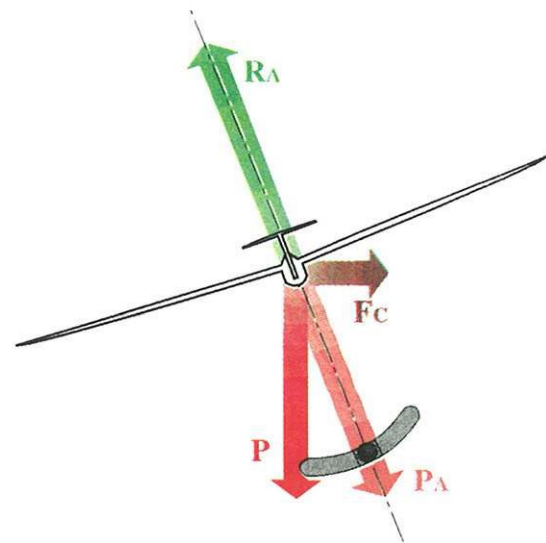


A l'abri dans son tube de verre, la bille ne subit pas de forces aérodynamiques. Les seules forces auxquelles elle est soumise sont :

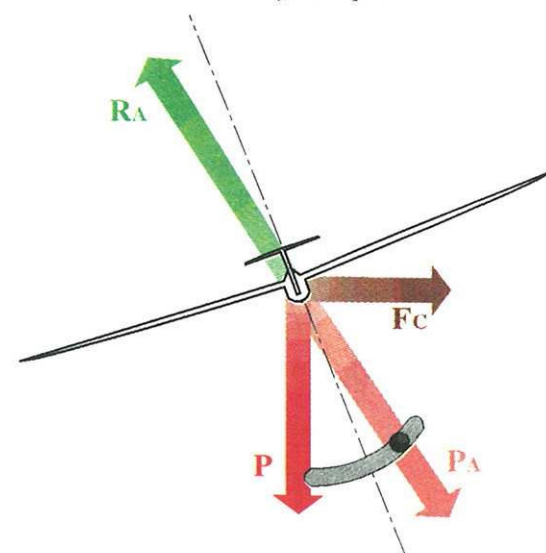
- la force de gravité due à l'accélération de la pesanteur ;
- les forces d'inertie liées aux accélérations latérales provoquées par des changements de trajectoire.

La bille réagit donc sous l'effet des forces qui constituent le poids apparent.

Elle est un "détecteur" de la direction du poids apparent qu'elle permet de visualiser par rapport au plan de symétrie du planeur.



Vol symétrique



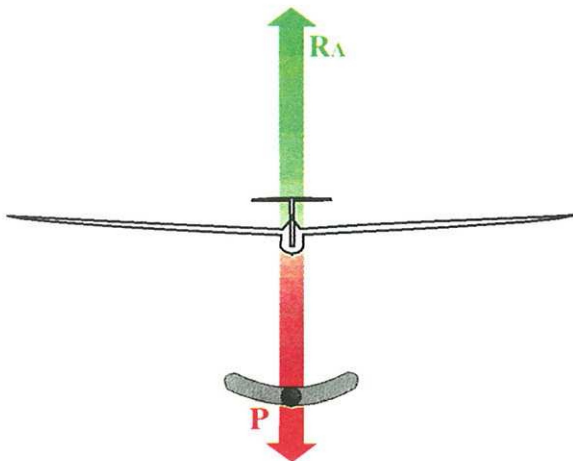
Vol dérapé (extérieur)

Lorsque le vol est symétrique, le poids apparent est parallèle au plan de symétrie du planeur : la bille est au milieu.

Si le vol est dérapé, le poids apparent n'est plus parallèle au plan de symétrie du planeur et la bille n'est pas au milieu.

2.2.2. Indications de la bille

a) Ligne droite symétrique



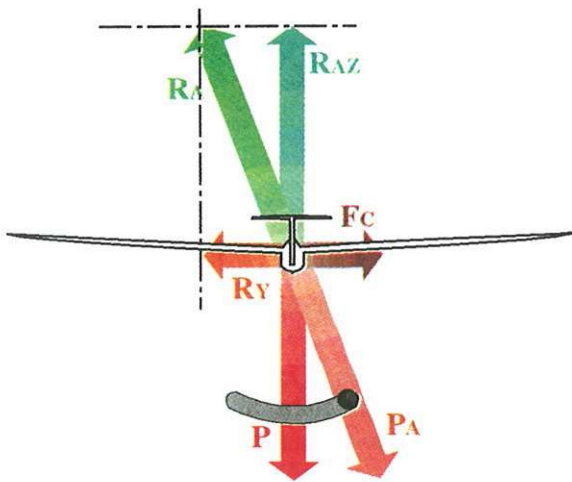
Les ailes sont horizontales. Il n'y a pas de forces déviantes donc pas d'accélération centrifuge. Le poids apparent est le poids réel P qui est dans le plan de symétrie du planeur : la bille est au milieu.

LIGNE DROITE SYMETRIQUE → BILLE AU MILIEU

b) Virage à plat

L'inclinaison est nulle.

Le dérapage provoque une portance de fuselage qui courbe la trajectoire et crée une accélération centrifuge.

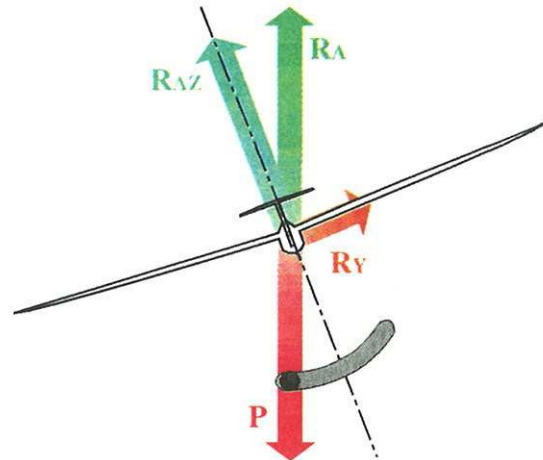


La bille s'oriente selon le poids apparent du côté extérieur de la trajectoire.

DERAPAGE EXTERIEUR → BILLE EXTERIEURE

c) Ligne droite dérapée

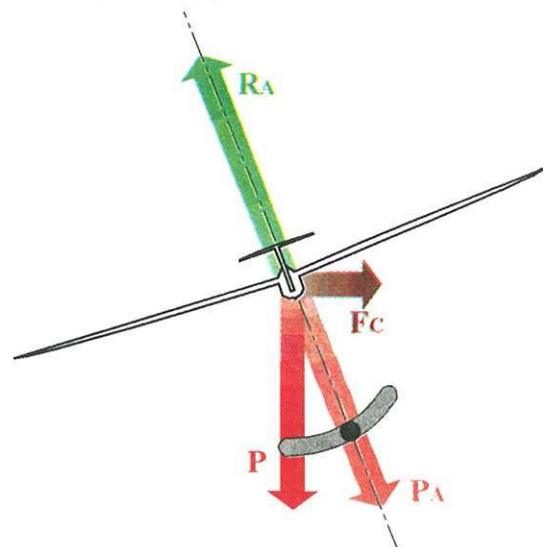
La trajectoire est rectiligne. En l'absence d'accélération centrifuge, le poids apparent PA est confondu avec le poids P ; sa direction est verticale. Par contre le planeur est légèrement incliné.



La bille n'est pas au milieu. Elle se positionne du côté de l'inclinaison et donc, du côté du dérapage.

LIGNE DROITE DERAPEE → BILLE COTE INCLINAISON

d) Virage symétrique

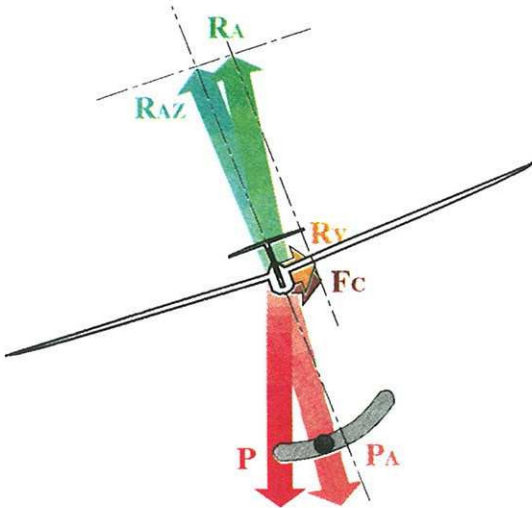


Le poids apparent est dans le plan de symétrie du planeur. La bille est au milieu.

VIRAGE SYMETRIQUE → BILLE AU MILIEU

e) Virage dérapé intérieur

Le dérapage fait apparaître une portance de fuselage qui redresse la résultante aérodynamique. Par rapport au vol symétrique, la courbure de la trajectoire diminue et la force centrifuge aussi. Le poids apparent se décale du côté de l'inclinaison

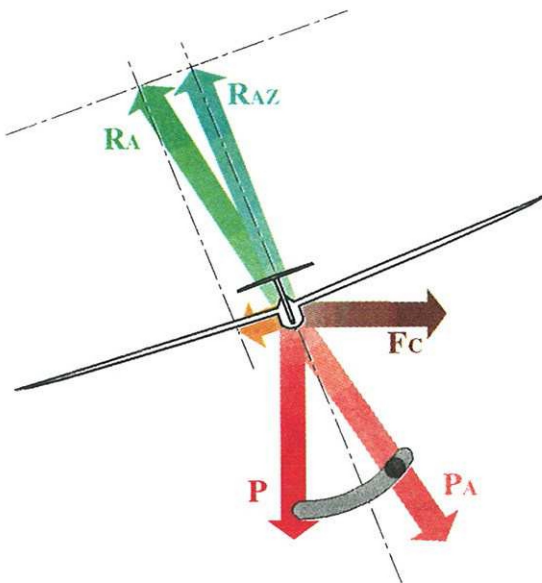


La bille roule du côté intérieur au virage.

VIRAGE DERAPE INTERIEUR → BILLE INTERIEURE

f) Virage dérapé extérieur

Le dérapage fait apparaître une portance de fuselage qui augmente l'inclinaison de la résultante aérodynamique. Par rapport au vol symétrique, la courbure de la trajectoire augmente et la force centrifuge aussi. Le poids apparent se décale à l'inverse de l'inclinaison.



Vol dérapé extérieur

La bille roule du côté extérieur au virage.

DERAPAGE EXTERIEUR → BILLE EXTERIEURE

### 3. CORRECTION DU DERAPAGE

#### 3.1. Principe des corrections

a) Point de vue "aérodynamique"

D'un point de vue "aérodynamique", la correction du dérapage consiste dans le réalignement de l'axe de symétrie du planeur avec la direction du vent relatif. Il s'agit donc d'entreprendre une rotation en lacet à l'aide de la commande de symétrie (palonnier). Le réalignement de la symétrie se traduira évidemment par la suppression de la portance du fuselage.

b) Point de vue "mécanique du vol"

D'un point de vue mécanique du vol, la correction du dérapage consiste à réaligner la résultante aérodynamique et le poids apparent dans le plan de symétrie du planeur.

c) Point de vue "trajectoire"

D'un point de vue "trajectoire" la correction du dérapage consiste, par l'intermédiaire de la suppression de la portance de fuselage à rétablir une courbure de trajectoire adaptée à l'inclinaison choisie par le pilote.

#### 3.2. Technique de correction

Selon la nature du dérapage et donc son origine, on distinguera :

- les corrections brèves qui se suffisent à elles-mêmes ;
- les corrections continues qu'il faut entretenir ;
- les corrections qui doivent être accompagnés d'autres manoeuvres.

##### 3.2.1. Corrections "brèves"

L'action du pilote se limite à un réalignement de l'axe longitudinal du planeur avec l'écoulement, puis à un retour au neutre de la commande de symétrie. Ce type de correction est adapté aux corrections du dérapage provoqué par des oscillations du fuselage, la turbulence etc. Quand le dérapage est prévisible, (correction du lacet inverse par exemple) des actions coordonnées permettent d'anticiper la correction du dérapage qui, de ce fait, ne se manifeste pas (conjugaison).

##### 3.2.2. Corrections "continues"

Le seul retour au vol symétrique peut ne pas être suffisant car la cause de dérapage persiste. Le maintien du vol symétrique nécessite l'engagement permanent de la gouverne de symétrie. La correction du lacet induit en virage en est un exemple.

##### 3.2.3. Corrections accompagnées d'autres manoeuvres

Le retour durable au vol symétrique n'est possible que s'il est accompagné de la modification d'un autre paramètre du vol qui est à l'origine du dérapage.

Par exemple, une ligne droite ne sera dérapée que s'il subsiste une inclinaison. Le seul réalignement de l'axe de symétrie du planeur avec l'écoulement placerait certes le planeur en vol symétrique mais le mettrait en virage. Le retour à la ligne droite symétrique implique donc que la rotation du planeur en lacet soit assortie d'un retour à inclinaison nulle.

### 3.3. Effets secondaires des corrections du dérapage

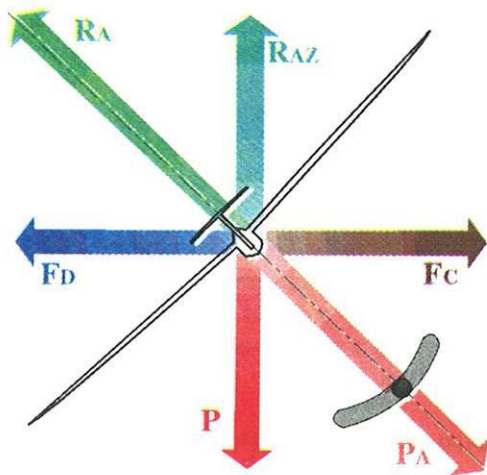
Une correction de dérapage comprend dans tous les cas une rotation du planeur autour de son axe de lacet.

Cette rotation se traduira par une variation de la vitesse relative de chacune des ailes entraînant une modification de leur portance et donc une variation d'inclinaison.

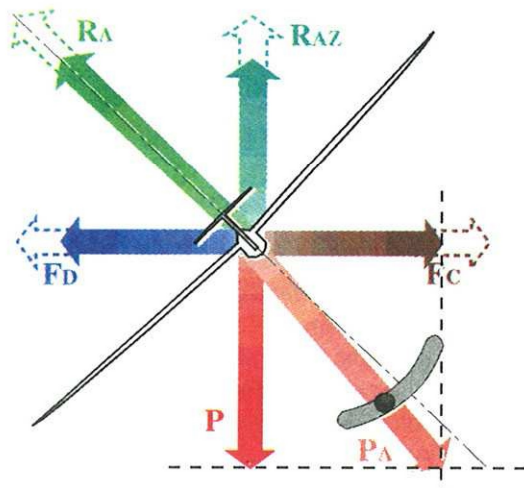
Par ailleurs, si le planeur est incliné, la rotation en lacet modifie l'assiette (voir chapitre II "Effets primaires des gouvernes"). En conclusion, une correction de symétrie doit systématiquement être accompagnée de manoeuvres destinées à contrôler l'inclinaison et l'assiette.

### 3.4. Causes "cachées" du dérapage

Examinons à nouveau les conditions d'équilibre d'un virage symétrique.



Si, pour une raison quelconque, la résultante aérodynamique  $R_A$  n'a pas la valeur convenable, on notera une rupture de l'équilibre  $R_{Az}/P$  au profit du poids entraînant une incurvation de la trajectoire vers le bas, une réduction de la force déviatrice  $F_D$ . Il s'en suit une diminution de la courbure de la trajectoire qui entraîne une diminution de  $F_C$  et place le planeur en dérapage intérieur.



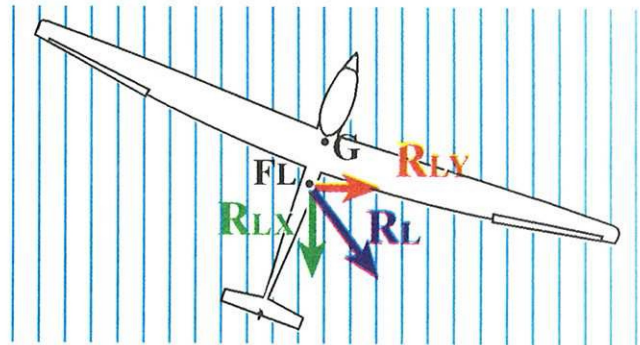
## 4. MAUVAIS EFFETS DU DERAPAGE SUR LE VOL DU PLANEUR

Les planeurs sont conçus pour voler symétriquement. C'est dans cette configuration que leurs formes sont le plus en harmonie avec l'écoulement aérodynamique. Avec le dérapage apparaissent des perturbations qui dégradent les performances et des couples qui altèrent le pilotage.

### 4.1. Augmentation de la traînée générale

L'augmentation de la traînée est une des conséquences les plus fâcheuses du dérapage. En vol non symétrique on note :

- une augmentation sensible du maître couple présenté à l'écoulement ;
- une inadéquation du dessin du planeur à l'écoulement (traînée de forme) ;
- une répartition anarchique du champ de pression à l'origine de la résultante latérale et donc d'une nouvelle source de traînées.

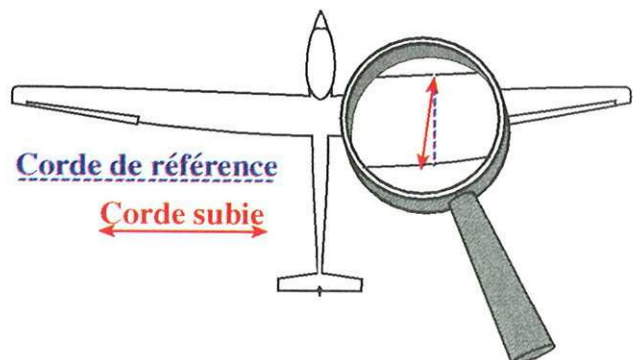


L'augmentation générale de la traînée a évidemment pour effet une diminution de la finesse et par conséquent une augmentation du taux de chute.

### 4.2. Modification du profil aérodynamique

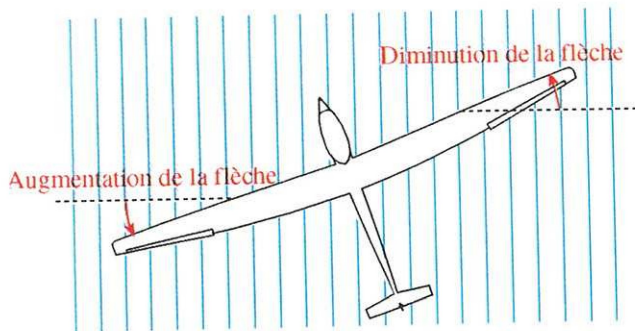
Les profils d'ailes font l'objet de recherches et d'expérimentations minutieuses. Bien sûr, le profil retenu doit être placé parallèlement à l'écoulement.

En cas de dérapage, le profil n'est pas disposé parallèlement à l'écoulement, ce qui revient, aérodynamiquement parlant, à voler avec un profil différent. Le profil subi présente une épaisseur semblable mais une corde plus longue. Il ne correspond plus au choix du constructeur.



### 4.3. Modification de la flèche

Le dérapage fait apparaître une modification différentielle de la flèche de chaque aile qui rend dissymétriques les caractéristiques aérodynamiques de chaque aile.

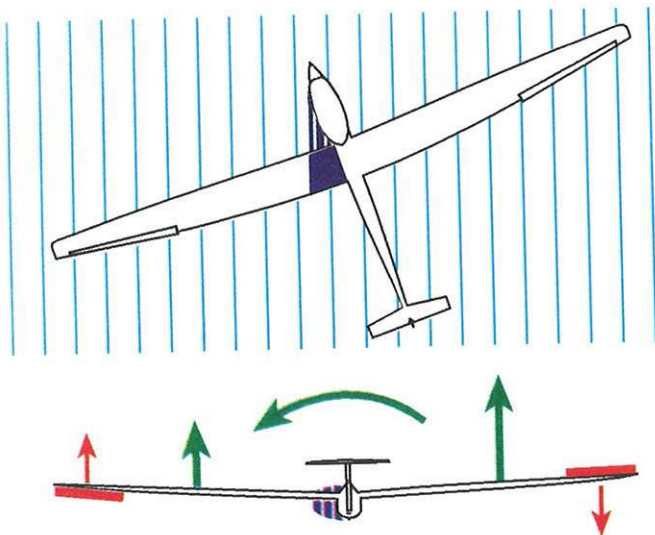


## 5. EFFETS UTILES DU DERAPAGE

Bien qu'étant globalement néfaste, le dérapage peut être exploité pour améliorer certaines caractéristiques du vol des planeurs. Ces effets seront étudiés dans le chapitre XVIII "Stabilité du planeur".

### 4.4. Masquage des ailes

Lorsque le courant aérodynamique n'est pas symétrique, le fuselage masque partiellement l'emplanture de l'aile opposée au dérapage. Le déficit de portance qui en résulte produit un couple de roulis que le pilote doit contrer aux ailerons.



**Remarque :**

Cet effet du dérapage est plus sensible sur un planeur à aile basse puisque le masquage affecte alors l'extrados de l'aile.

### 4.5. Modification des caractéristiques de décrochages

Cet aspect du phénomène sera étudié dans le chapitre consacré au décrochage.

