

Dis, comment ça vole ?

Le dossier ne concerne que les objets plus lourds que l'air comme l'oiseau, le planeur (mais également cerf-volant, boomerang, etc.). Pour qu'ils volent, il faut faire apparaître une force capable de s'opposer à son propre poids. Pour comprendre l'origine de cette force, installez-vous dans une automobile un jour où le vent ne souffle pas. La voiture est à l'arrêt, si vous sortez la main par la fenêtre, elle a naturellement tendance à retomber, et vous ne ressentirez rien de spécial.

Lorsque la voiture commence à rouler, vous ressentez, dû à la vitesse du véhicule un courant d'air sur la main. Vous ressentirez exactement la même chose si la voiture était arrêtée et s'il soufflait un vent de face assez fort. Les deux cas sont parfaitement similaires : l'effet ressenti sera le même. La vitesse par rapport à l'air est donc une notion relative. Ce mouvement relatif de l'air par rapport à l'objet, s'appelle vent relatif.

Anecdote : stage "Objets volants, jouets du vent" février 1994.

F - Peut-on comparer le vol d'un planeur en polystyrène et le vol d'un cerf-volant ?

A - Bien sûr que non !! L'un est en mouvement, le planeur; et l'autre est immobile, le cerf-volant ! ...

F - Attention ! Le cerf-volant est immobile par rapport au sol mais il est en mouvement par rapport à l'air. Cerf-volant et planeur sont donc tous les deux en mouvement par rapport à l'air et l'étude de leur vol est similaire.

F - Au fait, un planeur décolle-t-il face au vent ou dos au vent ?

A - Face au vent, bien-sûr ... pour être porté par l'air.

F - Le planeur (et même l'avion) décolle toujours face au vent pour accroître leur vitesse par rapport à l'air.

Revenons à notre exemple. Par la fenêtre de la voiture, placez la main perpendiculairement au vent relatif. Au fur et à mesure que la vitesse augmente vous ressentez une force de plus en plus grande qui tire votre bras en arrière. Pivotez la main, la paume vers le sol, l'avant légèrement relevé. Vous ressentez alors une force qui non seulement vous tire vers l'arrière, mais tend également à le soulever. En créant avec la main un angle d'incidence assez faible avec le vent relatif, vous avez modifié l'orientation de la résultante aérodynamique.

On peut décomposer la résultante aérodynamique en deux composantes : la traînée et la portance.

Expérimentons

Prenons un planeur d'une masse arbitraire de 100 grammes. L'accélération de la pesanteur crée sur le planeur une force verticale dirigée vers le bas : le poids (1Newton).

Lorsqu'il est en équilibre, nous supposons qu'une autre force s'exerce sur le planeur. Elle devrait être égale, de sens opposé et de même direction que le poids. Le planeur est dans votre main, la force qui lui permet de rester en équilibre est celle appliquée par votre main sur le planeur. Il s'agit d'un équilibre statique.

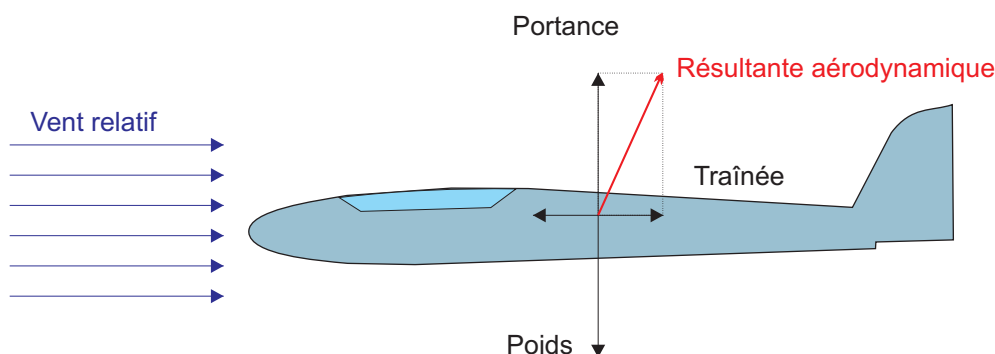
Le planeur est en vol, la force qui lui permet de rester en équilibre se nomme la résultante aérodynamique. Ce n'est pas l'air "qui porte l'avion". Lâchez le planeur sans lui donner une vitesse initiale, il tombe : "l'air ne le porte pas". La résultante aérodynamique est donc une force qui n'apparaît que lorsqu'il y a mouvement (vent relatif). Il s'agit d'un équilibre dynamique.

La traînée

C'est une composante de la résultante aérodynamique dirigée vers l'arrière, parallèle au vent relatif et qui s'oppose au mouvement. Elle est une force qui aura pour conséquence de diminuer les performances du planeur. On peut la réduire en profilant le planeur (fuselage et ailes) et en modifiant la surface des matériaux. Pour information, sachez que la traînée augmente avec la vitesse (le carré de la vitesse). Les mathématiciens en herbe se reporteront aux lois de Bernouilli.

La portance dynamique

C'est une composante de la résultante aérodynamique perpendiculaire au vent relatif, dirigée vers le haut. Tout comme la traînée, la portance est fonction des caractéristiques de l'aile, du fuselage (forme, taille, profil et inclinaison) et de la vitesse relative du planeur.



Expérimentons

Prenez une planche d'aquaplane, posez la sur l'eau. Installez-vous dessus...

La planche ne se maintient pas en surface.

Amarrez votre planche à un bateau. Dès la phase d'accélération du bateau, la planche émerge. Sa position par rapport au niveau de l'eau sera proportionnelle à la vitesse de l'engin.

La force qui permet à la planche d'émerger se définit par le principe de l'action et de la réaction qui ne peut se concevoir en dehors du mouvement. Les particules d'eau qui subissent la pression de l'aquaplane sont refoulées vers le fond provoquant ainsi une force de réaction qui s'oppose au poids de l'aquaplane.

La poussée qu'exerce l'air sur des surfaces portantes en mouvement convenablement orientées et qui permet le vol des «plus lourds que l'air» est une portance dynamique.

Au cours du vol, la traînée et la portance s'opposent à deux forces contraires :

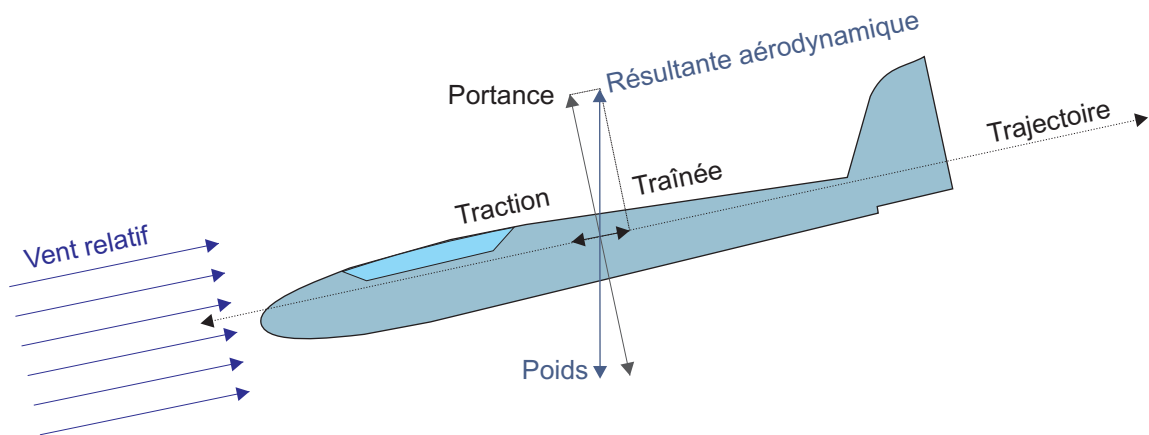
- Le poids, force qui tend à ramener tous les corps vers le centre de la terre.
- La traction, force qui tend à faire avancer l'engin (hélice ou réacteur de l'avion, câble du planeur tracté). Le lancer peut être apparenté à une forme de traction.

Le vol plané

Vous avez tous vu des oiseaux ou des planeurs en l'air. Ils volent à une certaine vitesse, «ils ne tombent pas». Pourtant ils ne disposent pas d'une force de traction... Leur vol est particulier, il ressemble à une longue glissade silencieuse, une descente lente et régulière. Ils planent. Comment cela peut-il s'expliquer ?

Au moment du largage du câble, à la fin du lancer pour nos planeurs, l'appareil quitte une trajectoire horizontale pour une trajectoire descendante mais pas n'importe comment.

La résultante aérodynamique dont l'orientation est liée à celle du vent relatif pivote et devient verticale. Elle vient directement s'opposer au poids. Les deux seules forces qui restaient en présence sont maintenant en équilibre. On vient de définir le principe du plané rectiligne uniforme.



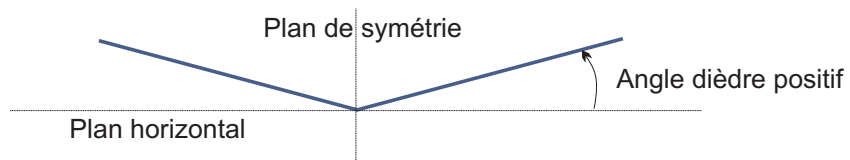
Maintenant que nous en savons un peu plus...

Le planeur que l'on lance est soumis à une résultante aérodynamique mais pour autant il ne vole pas à tous les coups ! Pourquoi ?

Simplement, car d'autres facteurs interviennent ! La stabilité en vol du planeur est dépendante du dièdre, du centrage, de la forme.

Le dièdre

L'angle dièdre (ou cambrure pour les cerfs-volants) est l'angle orienté formé par le plan horizontal et le plan des ailes.



Le dièdre peut être :

- nul, cas de l'aile droite,
- simple (en V) cas le plus général,
- en M, cas des planeurs de performances,
- en W, de certains bombardiers en piqué,
- enfin citons à titre d'information que certains avions supersoniques ont des ailes à dièdre négatif.

Expérimentons.

Découpons une plaque de polystyrène de 30 cm sur 20.

Lâchons cette plaque d'une hauteur de 2 m environ. Nous observons qu'elle rejoint le sol en suivant un mouvement d'oscillation latérale.

Découpons la plaque de polystyrène en deux parties identiques. Assemblons les deux morceaux en formant un angle dièdre.

Lorsque nous lâchons la forme dièdre, elle rejoint le sol sans osciller.

Le dièdre a un rôle stabilisateur. Il augmente la stabilité latérale de l'appareil.

Pour vérifier cette affirmation : expérimentons...

Reprenons la forme dièdre.

En position négative (pointe vers le haut), nous observons que le dièdre reprend sa position positive (pointe vers le bas) avant d'atteindre le sol.

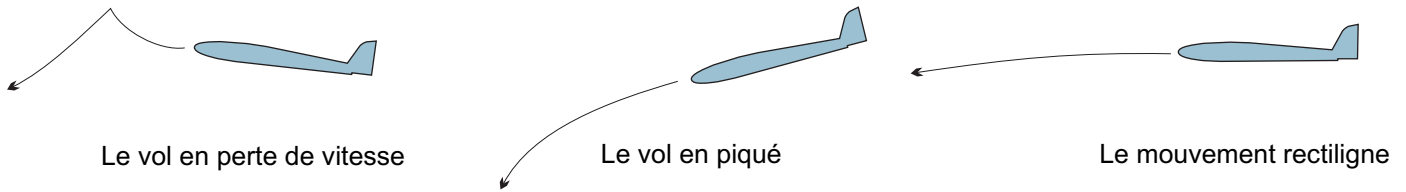
En position positive, pointe décalée vers la droite, nous observons que le dièdre se replace en position normale avant d'atteindre le sol.

Malgré tout, les dièdres négatifs existent sur les avions supersoniques équipés d'une logistique informatique importante pour résoudre tous leurs problèmes de stabilité latérale.

Attention, sur les planeurs en polystyrène, l'angle dièdre s'observe au vol. En effet, certains modèles semblent ne présenter aucun dièdre. Pourtant, lorsqu'on les lance, la flexibilité des matériaux fait qu'un angle dièdre positif se forme. Aussi, ne faites aucune conclusion hâtive.

Le centrage

Le centrage est lui aussi un paramètre de la stabilité du vol. Bien souvent, au cours de nos premiers essais, nos planeurs ont des trajectoires inattendues. Il est facile de les caractériser en trois groupes.



Expérimentons à partir d'avions en papier

Construisons un avion en papier (le plus commode est sans doute l'avion «flèche»), puis lançons-le. Si celui-ci est correctement construit (pliages respectés), nous observons un mouvement rectiligne. Plaçons ensuite un trombone (peut-être plusieurs) sous le fuselage et relançons l'engin. Selon la position de la masse, nous observons soit un vol en piqué, soit un vol en perte de vitesse.

Pourquoi modifions-nous la stabilité du vol lorsque nous déplaçons une masse le long du fuselage ?

Le vol du planeur se fait au travers d'un grand nombre de perturbations inévitables (déplacement de masses d'air, courants d'air, etc.). Ces courants ascendants ou descendants ont pour effet d'augmenter ou de diminuer la portance du planeur. Ce sont ces variations de portance qui altèrent la stabilité du vol.

Les variations de portance s'appliquent en un lieu géométrique fixe déterminé par la forme du planeur : il s'agit du foyer.

Dans notre dernière expérience, lorsque nous déplaçons le trombone, nous modifions la position du centre de gravité. Par contre la position du foyer reste inchangée puisque nous n'avons pas transformé la géométrie de l'avion.

Le déplacement de la masse le long du fuselage semble montrer que la stabilité du vol dépend de la position du centre de gravité par rapport à celle du foyer.

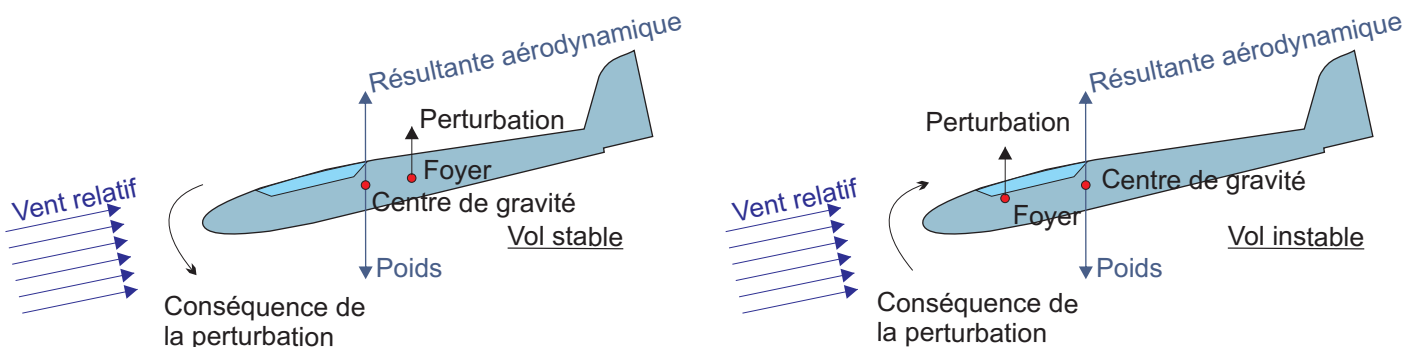
Rappel des conditions d'équilibre d'un planeur.

La résultante aérodynamique et le poids doivent avoir même direction, intensité mais de sens opposé.

Pourquoi mon avion en équilibre n'est pas toujours stable ?

Un courant ascendant crée une augmentation de portance qui s'applique au foyer. Elle a pour effet de porter le planeur. Selon la position relative du foyer, notre avion peut réagir de deux façons. Il est :

- En équilibre stable. Le foyer se situe en arrière du centre de gravité. L'augmentation de portance crée un mouvement de rotation vers le bas qui annule la perturbation initiale.
- En équilibre instable. Le foyer se situe en avant du centre de gravité. L'augmentation de portance crée un mouvement de rotation vers le haut qui amplifie la perturbation initiale.



Que pourraient nous dire les enfants sur le centrage ?

Que pourrait-on faire pour régler le planeur ?

-«Mon avion suit une trajectoire «vol en piqué», il est trop lourd à l'avant. Pour corriger sa trajectoire, je dois lui retirer du poids sur l'avant.»

-«Mon avion suit une trajectoire «vol en perte de vitesse», il est trop léger à l'avant. Pour corriger sa trajectoire, je dois ajouter du poids sur l'avant.»

A ce niveau de verbalisation, les enfants en savent assez pour régler les trajectoires de vol de leurs différents planeurs (lestage). Alors n'insistons pas davantage...

Expérimentons

Essayons de trouver le centre de gravité d'une plaque de polystyrène (ou d'un planeur).

En stage, nous avons souvent utilisé cette technique pour montrer aux animateurs que le centre de gravité se déplace lorsque nous lestons le planeur.

La forme

Il suffit d'un peu de pratique ou d'observation pour s'apercevoir que nos avions n'ont pas tous les mêmes caractéristiques. L'un ira plus loin, l'autre plus vite... Quels facteurs influent sur la résultante aérodynamique ? Le premier venant à l'esprit serait la forme de l'aile. En effet, le barrage au milieu d'un torrent, la pierre, la baleine ou le dauphin n'oppose pas la même résistance à l'eau. L'expérience peut nous montrer rapidement que la résistance à la pénétration d'un fluide varie selon la forme du corps. A ce stade, nous pouvons dire que la forme et l'envergure des ailes prédéterminent les caractéristiques de vol de l'avion. Un planeur d'une grande envergure (envergure : la plus grande dimension d'aile mesurée selon une direction perpendiculaire à l'axe de l'avion) sera plus lent et plus stable qu'un avion fusiforme (avion de chasse). Cela nous amène à définir le critère de performance d'un planeur : la finesse.

La finesse

C'est un nombre représentatif de l'angle de plané qui s'exprime par le rapport de la distance parcourue sur la hauteur de départ.

$$f=D/H$$

La finesse maximale est une donnée principale caractérisant un planeur. Par exemple, si elle est égale à 35 l'appareil, en air calme, peut parcourir une distance de 35 km avant de toucher le sol s'il dispose d'une hauteur de 1000 m.

