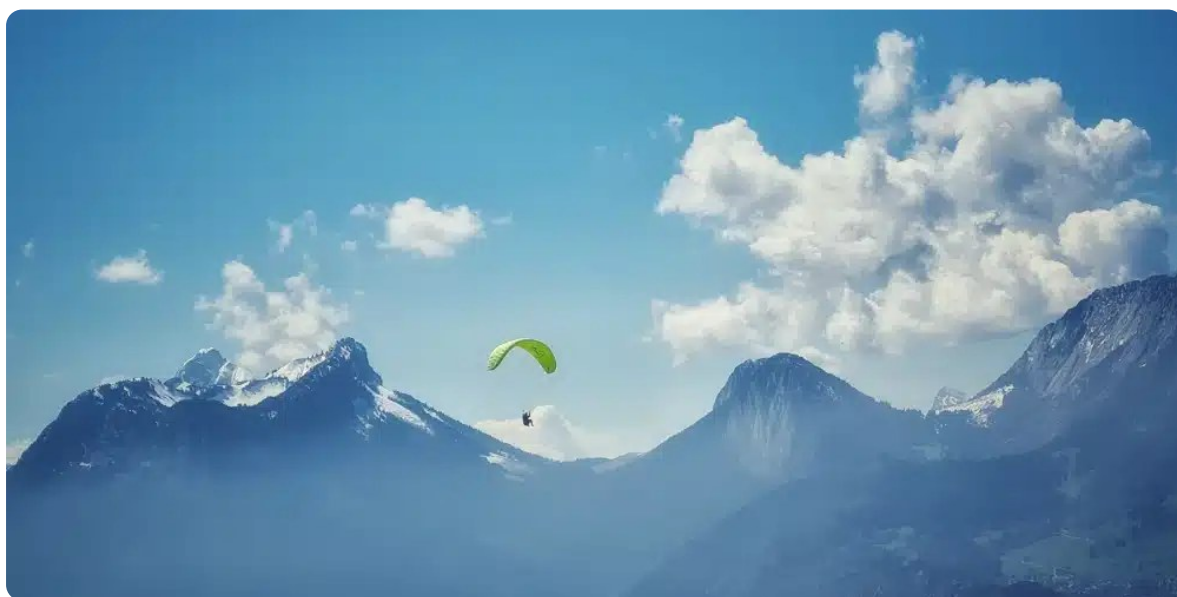


# Météo & aérodynamique du parapente

## Lire le ciel, comprendre pourquoi ça vole

Deux chapitres pour comprendre l'air et l'aile : la météo du parapentiste (fronts, brises et nuages, avec ce que chacun annonce pour le vol), puis la mécanique et l'aérodynamique du vol (portance, incidence, équilibre, tangage, virage et vol perturbé).

Retrouvez ces articles et leurs mises à jour sur [annecyminivoiles.com](https://annecyminivoiles.com) (page Théorie).



# Sommaire

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| <b>1.</b> Comprendre la météo pour voler    | 3  |
| <b>2.</b> Mécanique et aérodynamique du vol | 11 |

## Comprendre la météo pour voler



Voler, c'est avant tout lire le ciel. Un parapentiste n'a pas besoin d'être météorologue, mais il doit comprendre les grands mécanismes qui font le temps : ce sont eux qui décident si la journée sera volable, agréable, ou dangereuse. Cet article pose les bases — la circulation de l'air, les fronts, les brises — puis passe en revue tous les nuages, avec pour chacun ce qu'il raconte au pilote. Un cours de météo pensé pour le vol libre, par les **moniteurs diplômés d'État d'AnnecyMiniVoiles**, au-dessus du **lac d'Annecy** depuis **35 ans**.



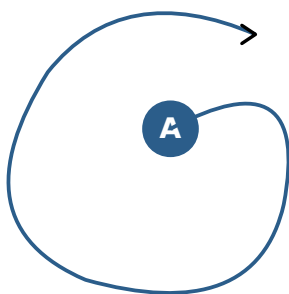
Lire le ciel, c'est le premier réflexe du parapentiste — avant même de décoller de Planfait.

## Les bases : pression, masses d'air et vent

Tout part des différences de pression. Le soleil chauffe la Terre de façon inégale : l'air chaud se dilate et monte, laissant une **basse pression** (dépression) ; ailleurs, l'air froid plus dense descend et forme une **haute pression** (anticyclone). L'air se déplace toujours des hautes vers les basses pressions — c'est le vent. Mais à cause de la rotation de la Terre (force de Coriolis), il ne va pas tout droit : il tourne autour des centres de pression.

### ANTICYCLONE (A)

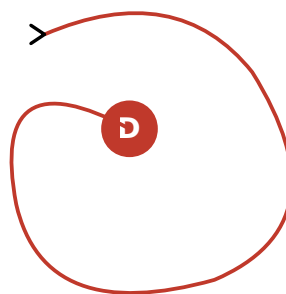
hautes pressions — beau temps



l'air descend, tourne dans le sens horaire

### DÉPRESSION (D)

basses pressions — temps perturbé



l'air monte, tourne dans le sens anti-horaire

Dans l'hémisphère nord : autour de l'anticyclone le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, autour de la dépression dans le sens inverse.

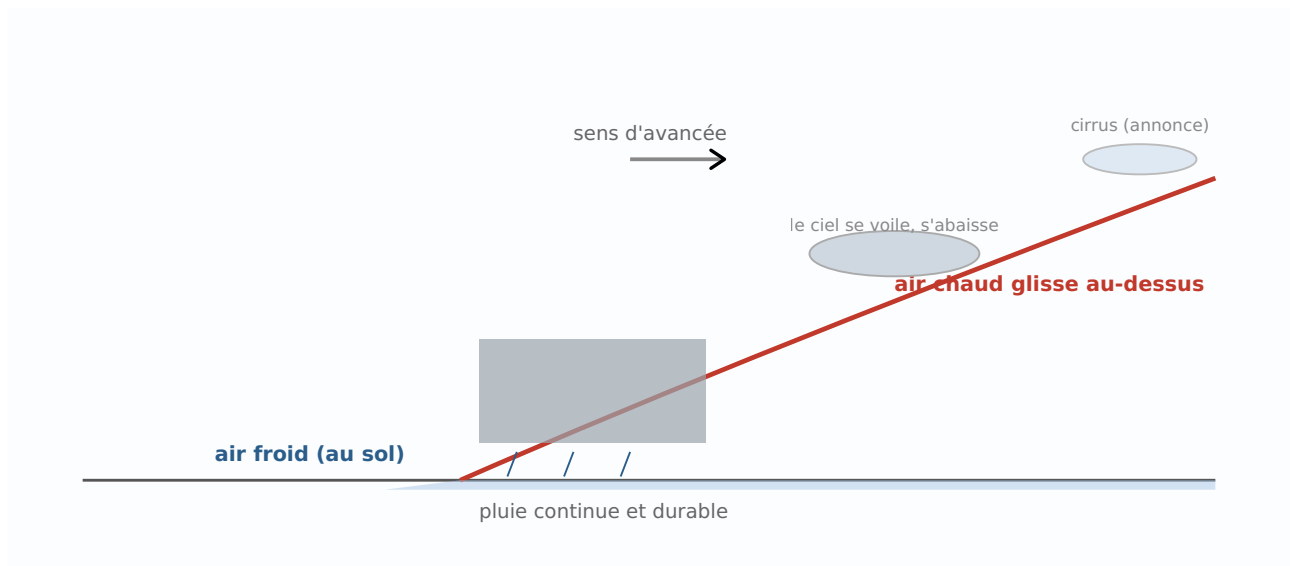
Pour le parapentiste, la règle grossière est simple : **anticyclone = air stable et beau temps** (mais parfois trop calme, ou bouché sous une inversion) ; **dépression = air instable, vent et perturbations**. Ces perturbations arrivent le plus souvent sous forme de **fronts**.

## Les fronts : quand deux masses d'air se rencontrent

Une masse d'air est un immense volume d'atmosphère aux caractéristiques homogènes (température, humidité). Quand deux masses différentes se rencontrent, elles ne se mélangent pas : elles se poussent, et la surface de contact s'appelle un **front**. C'est là que se joue l'essentiel du mauvais temps.

### Le front chaud

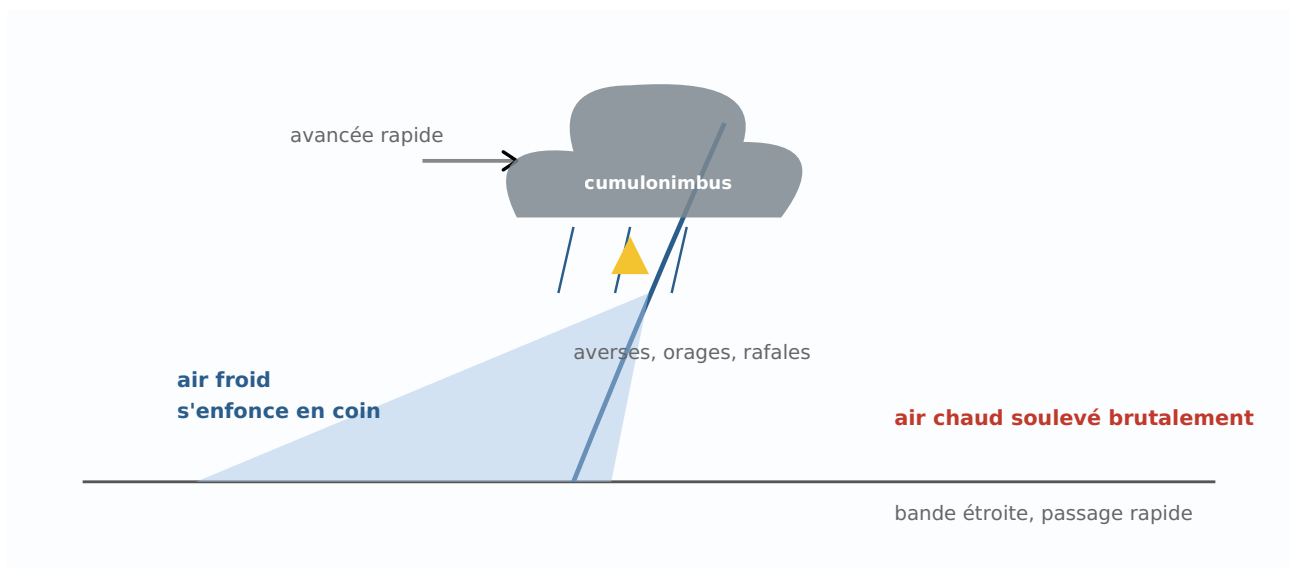
De l'air chaud arrive et vient glisser **par-dessus** l'air froid, plus dense, qui reste au sol. La pente est douce, l'ascension lente et étalée : les nuages s'étirent sur des centaines de kilomètres, en une longue descente progressive du ciel. On voit d'abord arriver de très hauts cirrus, puis le ciel se voile, s'abaisse et s'épaissit, jusqu'à des pluies continues et durables. Le front chaud **s'annonce longtemps à l'avance** — c'est le fameux « ciel de laine » qui se dégrade sur un jour ou deux.



Le front chaud : une longue pente douce, des nuages qui s'abaissent lentement, une pluie qui s'installe.

## Le front froid

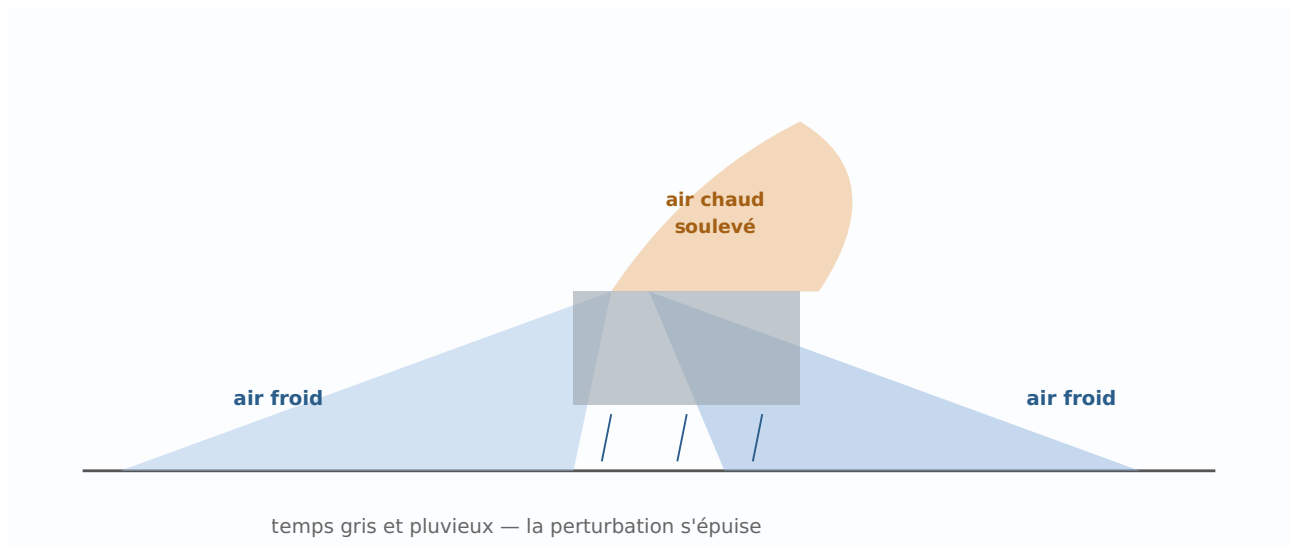
Ici, c'est l'air froid qui arrive et s'enfonce **sous** l'air chaud, le soulevant brutalement comme un coin. La pente est raide, l'ascension violente : d'énormes cumulonimbus se forment, avec averses intenses, orages, grains de vent et rafales. Mais tout va vite — le front froid **passé en quelques heures**, et derrière lui l'air froid instable donne souvent un beau ciel de traîne, lavé, avec de gros cumulus. C'est le front le plus dangereux à l'approche, mais le plus bref.



Le front froid : une pente raide, un cumulonimbus, des orages violents mais brefs, puis un ciel de traîne lavé.

## Le front occlus

Le front froid avance plus vite que le front chaud : il finit par le rattraper et le **soulever complètement** du sol. C'est l'occlusion — le stade final d'une perturbation. L'air chaud est décollé du sol, coincé en altitude entre deux masses froides. Le temps est maussade, gris, pluvieux, mais l'énergie est en train de s'épuiser : l'occlusion, c'est la perturbation qui meurt.



Le front occlus : l'air chaud entièrement soulevé, la perturbation en fin de vie.

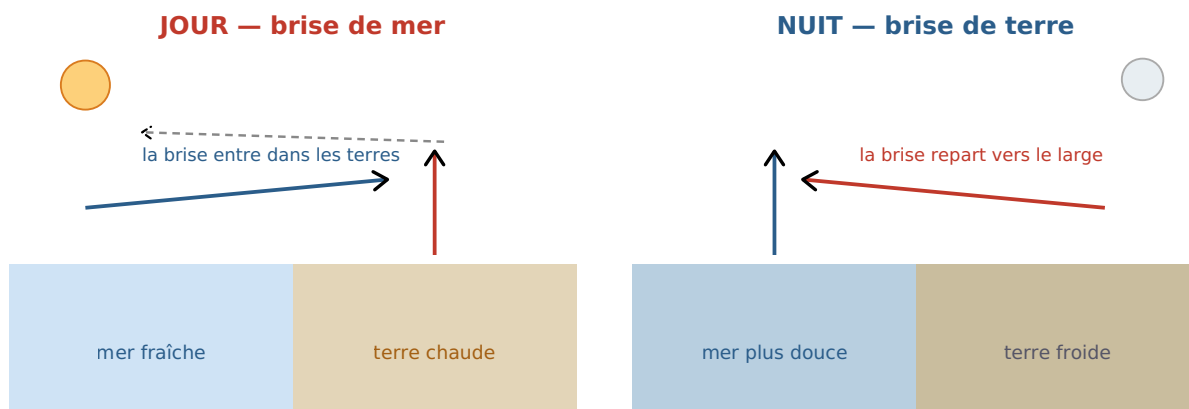
**Pour le vol :** aucun front n'est volable en lui-même. Le front chaud interdit le vol par son plafond bas et sa pluie ; le front froid est dangereux par ses orages et ses rafales — on ne vole jamais à l'approche d'un cumulonimbus. La bonne nouvelle : le vrai plaisir est souvent **juste après le front froid**, dans la traîne, quand l'air lavé et instable offre de beaux cumulus bien dessinés — à condition que le vent soit retombé.

## Les brises : la respiration quotidienne du relief et des côtes

À côté des grands systèmes, il existe des vents locaux, nés du soleil et du relief : les **brises**. Elles sont thermiques (créées par les différences de température entre deux surfaces voisines) et suivent un cycle quotidien très régulier. Pour le parapentiste de plaine comme de montagne, ce sont elles qui rythment la journée.

### Brise de mer et brise de terre

Le jour, la terre chauffe plus vite que la mer. L'air y monte, et l'air frais du large vient combler le vide : c'est la **brise de mer**, qui souffle de la mer vers la terre l'après-midi. La nuit, tout s'inverse : la terre se refroidit plus vite que la mer, l'air descend et s'écoule vers le large — c'est la **brise de terre**, plus faible, qui souffle de la terre vers la mer.



La brise suit le soleil : elle entre dans les terres l'après-midi, repart vers la mer la nuit. En montagne, le même mécanisme donne les brises de vallée (montantes le jour) et de pente.

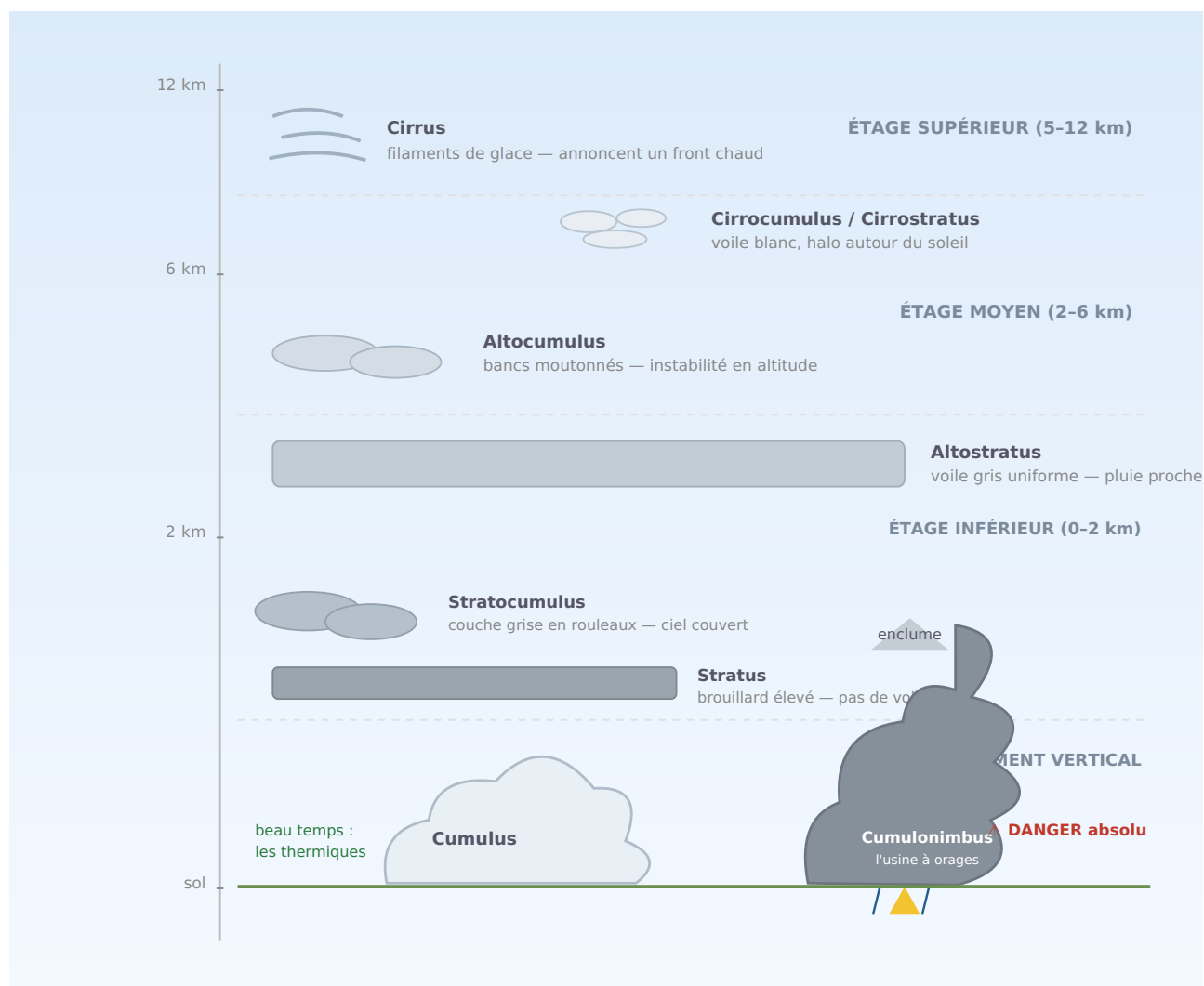
En montagne, le mécanisme est identique mais adapté au relief : le jour, les pentes chauffées créent des **brises montantes** (de la vallée vers les sommets) ; la nuit, l'air refroidi redescend en **brises catabatiques**. C'est le moteur de nos vols au-dessus du lac d'Annecy — nous le détaillons dans notre article [Vent météo et brises](#). La règle d'or du pilote : toujours comparer la force de la brise attendue à celle du vent météo, car c'est leur rapport qui décide de la journée.

## Les nuages : lire le ciel étage par étage



Chaque nuage raconte une histoire : ici des cirrus, sentinelles d'un possible changement de temps.

Les nuages sont le tableau de bord du parapentiste : chacun raconte ce qui se passe dans l'atmosphère à son altitude. On les classe en trois étages — **haute, moyenne et basse altitude** — plus une catégorie à fort développement vertical. Voici le ciel de haut en bas, avec pour chacun ce qu'il signifie pour le vol.



Le ciel de haut en bas : chaque nuage à son étage, et ce qu'il annonce. Les deux nuages à droite s'étirent verticalement sur plusieurs étages.

### L'étage supérieur (5 à 12 km) : les cirrus

Faits de cristaux de glace, fins et blancs. Les **cirrus** en filaments (« queues de jument ») isolés ne sont pas inquiétants, mais s'ils **envahissent le ciel et s'épaississent**, ils annoncent l'arrivée d'un front chaud sous 12 à 24 h. Le **cirrostratus** forme un voile qui donne un halo autour du soleil — signe que la dégradation est en marche. **Pour le vol** : pas de danger direct, mais un signal d'alerte à surveiller.

### L'étage moyen (2 à 6 km) : les « alto »

L'**altocumulus** forme des bancs de flocons réguliers. En version « altocumulus castellanus » (petites tourelles bourgeonnantes le matin), il trahit une **instabilité en altitude** : la journée risque d'être orageuse. L'**altostratus** est un voile gris uniforme qui masque le soleil : la pluie

est proche. **Pour le vol** : l'altocumulus castellanus du matin est un avertissement classique — méfiance sur les développements de l'après-midi.

### L'étage inférieur (0 à 2 km) : stratus et stratocumulus

Le **stratus** est un brouillard qui ne touche pas le sol : plafond bas, gris, humide — vol impossible. Le **stratocumulus** forme une couche grise en rouleaux ou galets, souvent un ciel couvert sans pluie. **Pour le vol** : ces nuages signent un air stable et bouché ; sans soleil au sol, pas de thermique, la journée est généralement à oublier.

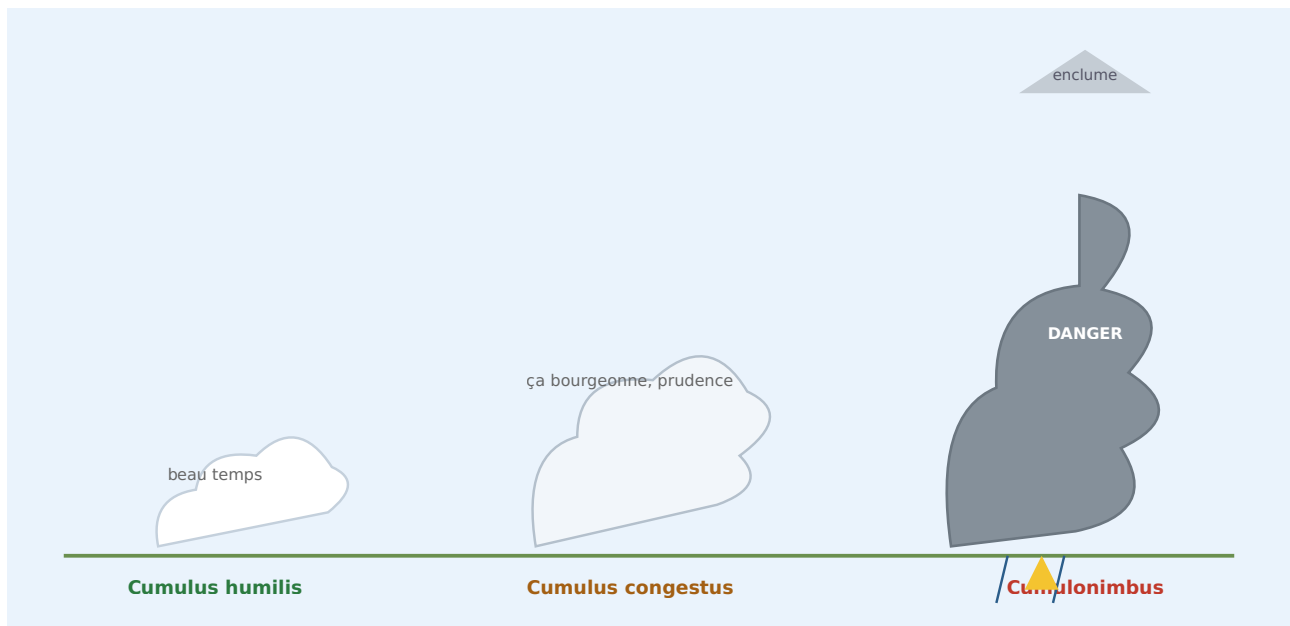
### À développement vertical : cumulus et cumulonimbus

Ce sont les nuages du parapentiste — pour le meilleur et pour le pire. Le **cumulus** de beau temps (« cumulus humilis ») est notre meilleur ami : chaque cumulus marque le sommet d'un thermique actif. Un ciel de cumulus bien espacés et à base plate, c'est une belle journée de vol. Mais si les cumulus **grossissent, s'étirent en hauteur** et bourgeonnent en chou-fleur (« cumulus congestus »), l'atmosphère devient instable et la prudence s'impose.

Le stade ultime est le **cumulonimbus** : une tour énorme montant jusqu'à la tropopause, coiffée d'une enclume caractéristique. C'est l'usine à orages — foudre, grêle, rafales descendantes, et surtout de puissantes aspirations d'air qui peuvent **littéralement avaler un parapente**. Le cumulonimbus est le danger absolu du vol libre. **Règle sans exception : on ne décolle pas si un Cb menace, et en vol on s'en éloigne le plus vite possible** — même à des kilomètres, son influence se fait sentir.



Le cumulus de beau temps : l'ami du parapentiste, qui signale l'ascendance sous sa base.



La même famille, trois stades : l'ami du matin peut devenir le pire ennemi de l'après-midi. Surveiller le bourgeonnement est vital.

## En résumé : le ciel du parapentiste

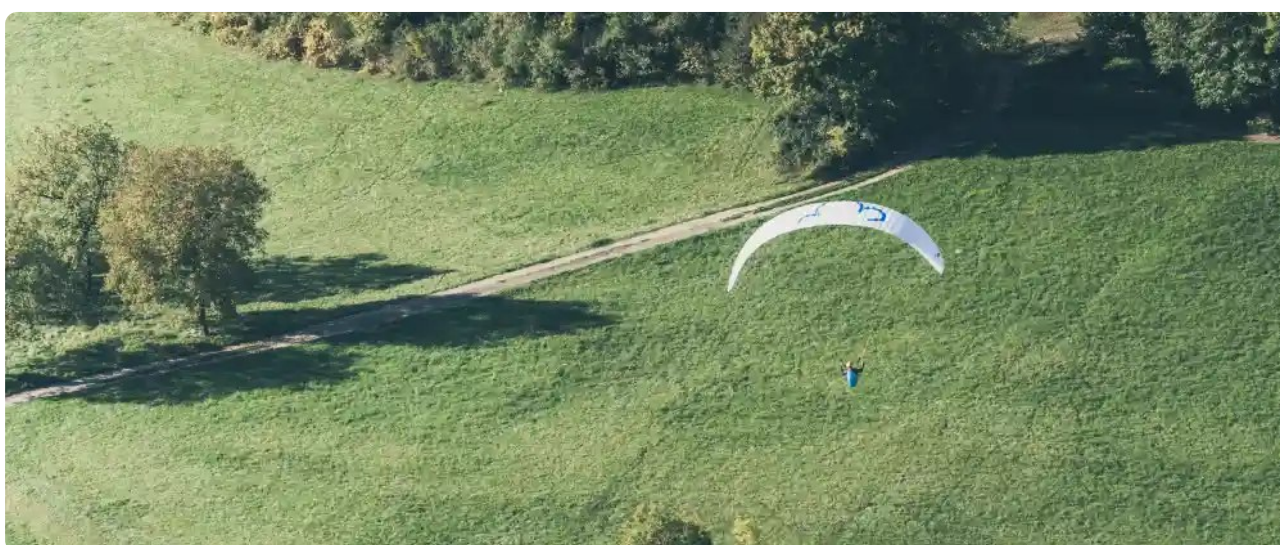
Lire la météo, c'est croiser trois lectures. La **grande échelle** (anticyclone ou dépression, fronts en approche) donne le cadre de la journée. Les **vents locaux** (brises contre vent météo) décident du « où » et du « quand ». Et les **nuages**, en temps réel, confirment ou corrigent la prévision : cumulus bien rangés pour se réjouir, cirrus qui envahissent ou cumulus qui bourgeonnent pour lever le pied. Aucune application ne remplace ce coup d'œil au ciel — c'est la première compétence que nous transmettons en stage.

Cet article pose les fondations ; pour les approfondir, explorez notre série météo complète sur la [page théorie](#), de l'émagramme aux orages en passant par le foehn et la check-list d'avant-vol.

## Mécanique et aérodynamique du vol



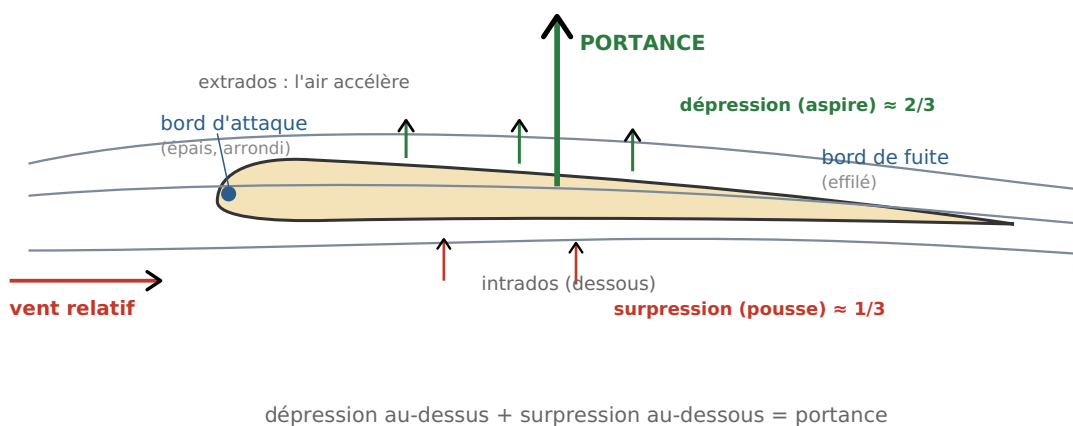
Une aile de parapente, ce n'est qu'une toile souple, sans moteur, sans structure rigide. Et pourtant elle vole, elle avance, elle tient en l'air un pilote pendant des heures. Comment ? La réponse tient dans quatre notions simples — la portance, la traînée, l'incidence et l'équilibre des forces — qui, une fois comprises, changent radicalement la façon de piloter. Cet article vous explique **pourquoi ça vole**, sans équations, avec des schémas. Un cours d'aérodynamique pensé pour le pilote, par les **moniteurs diplômés d'État d'AnnecyMiniVoiles**, au-dessus du **lac d'Annecy** depuis **35 ans**.



Comprendre pourquoi l'aile vole, c'est piloter avec la mécanique plutôt que contre elle.

## Le profil d'aile : le secret est dans la forme

Gonflée par le vent relatif, la voile prend la forme d'un **profil d'aile** : bord d'attaque arrondi à l'avant, bord de fuite effilé à l'arrière, face supérieure (l'extrados) plus bombée que la face inférieure (l'intrados). Cette forme n'a rien d'anodin : c'est elle qui fabrique la portance. En contournant le profil, l'air accélère sur l'extrados bombé, ce qui y fait **baissier la pression** (une dépression) ; sous l'intrados, au contraire, il ralentit et la pression augmente légèrement (une surpression). L'aile est donc **aspirée par le dessus et poussée par le dessous** — et c'est la dépression d'extrados qui fait le gros du travail, environ les deux tiers de la portance, contre un tiers pour la surpression d'intrados. C'est le principe de toute aile, du planeur à l'Airbus — le parapente ne fait pas exception, il le réalise juste avec une toile maintenue en forme par la pression de l'air qui l'emplit.

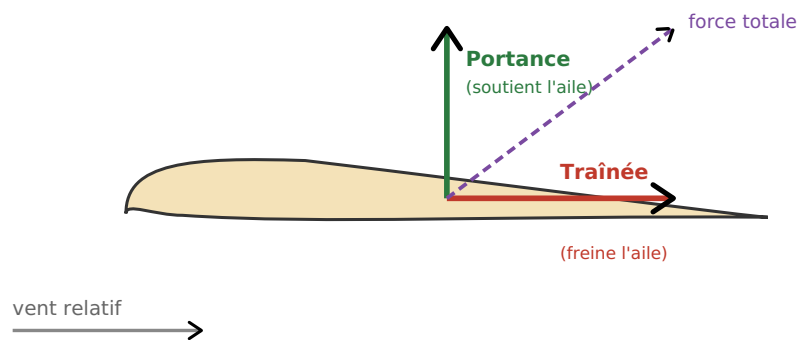


Dépression sur l'extrados ( $\approx 2/3$ ) et surpression sous l'intrados ( $\approx 1/3$ ) : leur somme, c'est la portance.

## Les deux forces aérodynamiques : portance et traînée

Quand l'aile fend l'air, chaque point de sa surface subit une petite force ; leur somme est une force unique, la **résultante des forces aérodynamiques** (la RFA), appliquée en un point appelé **centre de poussée**. C'est cette RFA qui, en s'opposant au poids, permet le vol. Pour la comprendre, on la décompose en deux : la **portance**, perpendiculaire au vent relatif, qui soutient l'aile ; et la **traînée**, parallèle au vent relatif, qui la freine. Toute l'aérodynamique du parapente est une affaire de rapport entre ces deux forces. Ce rapport porte un nom que vous connaissez : c'est la **finesse**. Une finesse de 9 signifie que la portance est neuf fois plus grande que la traînée — et que l'aile avance de 9 mètres pour 1 mètre de descente.

La traînée d'un parapente est importante — bien plus que celle d'un planeur — pour une raison simple : le pilote pend sous l'aile, dans le vent, relié par des dizaines de suspentes qui brassent l'air. C'est le prix de la simplicité et de la sécurité. Un parapente moderne plafonne autour d'une finesse de 9 à 11, là où un planeur dépasse 50. Mais cette traînée a un avantage : elle rend l'aile lente, stable et tolérante.



le rapport portance / traînée, c'est la finesse de l'aile

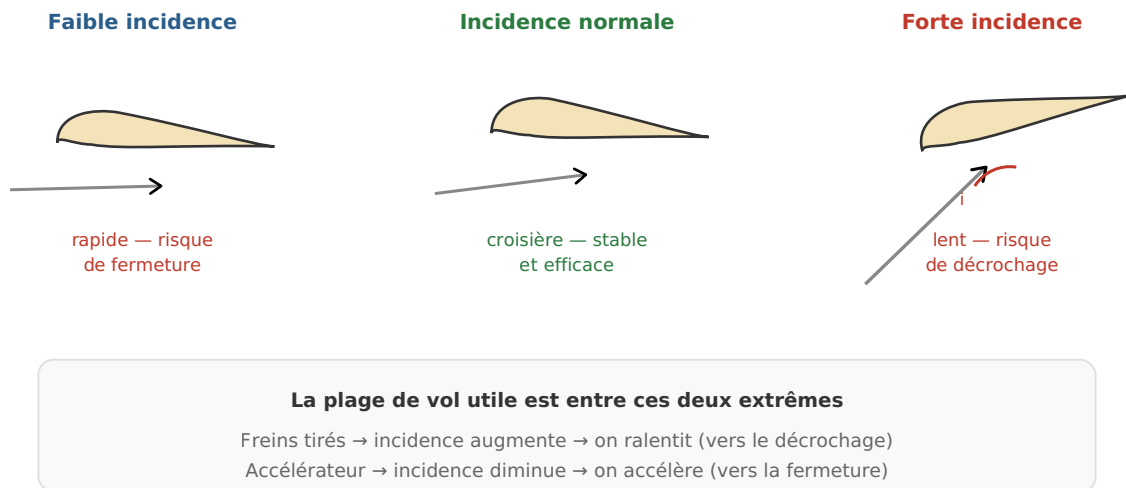
Portance vers le haut, traînée vers l'arrière : leur rapport définit la finesse, donc la distance parcourue par mètre de descente.

## L'incidence : l'angle qui décide de tout

L'**incidence** (ou angle d'attaque) est l'angle entre le profil de l'aile et le vent relatif. C'est le paramètre le plus important du vol, car c'est lui que vous pilotez en permanence, souvent sans le savoir. Tirer sur les freins augmente l'incidence ; pousser à l'accélérateur la diminue. Et chaque valeur d'incidence correspond à un comportement de l'aile.

À incidence **normale**, l'aile vole à sa vitesse de croisière, efficace et stable. Quand on **augmente l'incidence** (freins tirés), l'aile ralentit et la portance augmente... jusqu'à un point critique : au-delà, l'écoulement de l'air décroche brutalement de l'extrados, la portance s'effondre, c'est le **décrochage**. À l'inverse, si on **diminue trop l'incidence** (forte accélération ou turbulence), l'angle devient si faible que le vent relatif peut passer **par-dessus** le bord d'attaque, sur l'extrados : l'aile n'est plus alimentée par l'avant et se replie — c'est la **fermeture** (frontale ou asymétrique).

Un détail invisible mais capital accompagne ces changements d'incidence : le **centre de poussée se déplace**. Quand vous freinez (incidence qui augmente), il avance ; quand vous accélérez, il recule. C'est ce déplacement qui fait basculer le profil et modifie l'équilibre du pendule — et c'est pour cela que « piloter en vitesse » et « piloter le tangage » sont en réalité les deux faces d'une même action sur l'incidence.



L'incidence est le curseur central du pilotage : trop faible on ferme, trop forte on décroche. Le vol se joue entre les deux.

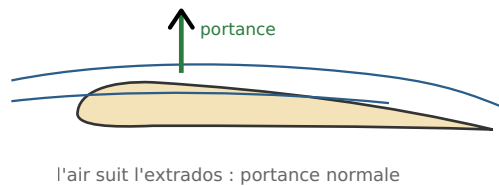
## Ne pas confondre incidence et assiette

Attention à une confusion fréquente. L'**assiette**, c'est la position de l'aile par rapport à l'horizontale — inclinée vers l'avant, à plat, cabrée. L'**incidence**, c'est l'angle entre l'aile et le *vent relatif*, c'est-à-dire l'air tel qu'il arrive réellement sur le profil. Les deux ne coïncident pas : dans une forte descente, l'aile peut sembler « à plat » (assiette neutre) tout en ayant une incidence élevée, parce que le vent relatif monte vers elle. C'est l'incidence, jamais l'assiette, qui décide si l'aile porte, ferme ou décroche — d'où l'importance de piloter aux sensations plutôt qu'à ce que l'œil croit voir.

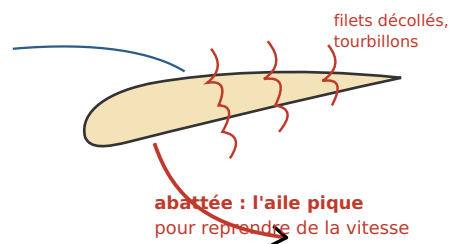
## Le décrochage vu de près

Poussons l'incidence encore un peu au-delà de la zone de vol lent. À un moment précis, brutalement, **les filets d'air se décollent de l'extrados** : ils ne peuvent plus épouser la courbure du profil. La dépression qui tenait l'aile en l'air disparaît d'un coup, la **portance s'effondre**, et un fort couple piqueur apparaît. L'aile réagit en **piquant d'elle-même** — c'est l'**abattée** — pour reprendre de la vitesse et rétablir un écoulement propre. En vol, le décrochage arrive presque toujours parce qu'on a **trop freiné** (typiquement en approche finale, mains trop basses). Il existe aussi un décrochage « dynamique », provoqué par un geste brutal aux commandes qui fait grimper l'incidence d'un coup : ses effets sont plus violents.

### Incidence normale



### Décrochage



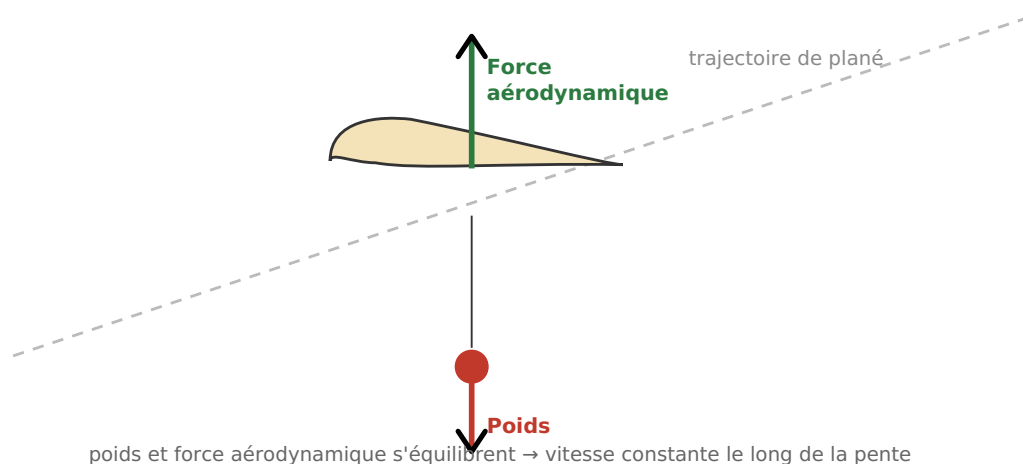
Au-delà d'une incidence critique, l'air ne peut plus suivre l'extrados : il se décolle brutalement. La portance s'effondre, un fort couple piqueur apparaît, l'aile fait une abattée. En vol, le décrochage vient presque toujours d'un excès de vitesse.

Au décrochage, les filets d'air se décollent de l'extrados et la portance disparaît : l'aile pique d'elle-même (abattée) pour retrouver de la vitesse.

## L'équilibre du vol : pourquoi on descend à vitesse constante

En vol stabilisé, le parapente n'accélère plus : il est en **équilibre**. Deux forces seulement s'affrontent. D'un côté, le **poids** (pilote + aile), qui tire vers le bas. De l'autre, la **force aérodynamique totale** (portance + traînée combinées), qui s'y oppose exactement. Quand les deux se compensent, la vitesse devient constante : l'aile descend en ligne droite, à vitesse fixe, le long de sa pente de plané.

C'est pour cela qu'un parapente **descend toujours** dans l'air : sans moteur, la seule façon d'entretenir la vitesse qui crée la portance, c'est de convertir de la hauteur. On échange en permanence de l'altitude contre de l'avancement. La pente de cette descente, c'est la finesse — et c'est seulement quand l'air lui-même monte plus vite que cette descente que le pilote gagne réellement de l'altitude (un sujet développé dans notre article sur [les ascendances](#)).



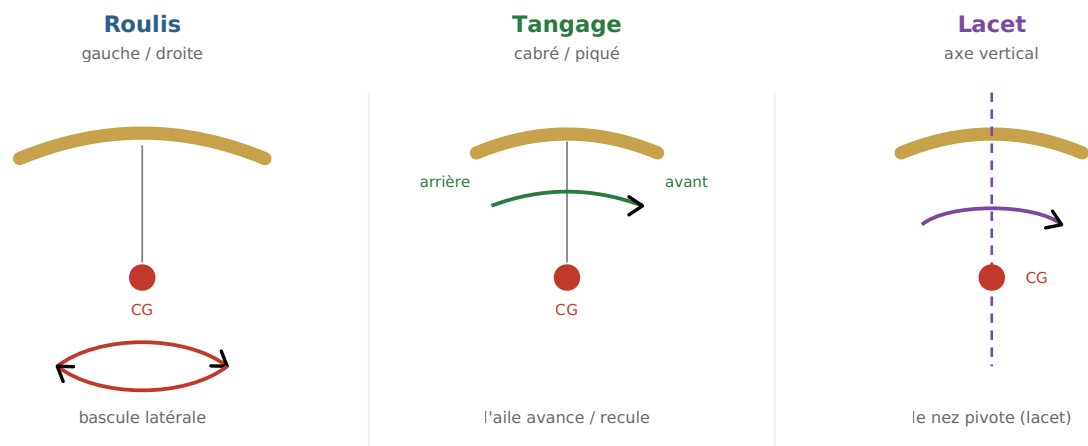
En vol stabilisé, tout s'équilibre : l'aile descend en ligne droite à vitesse constante. Descendre, c'est le carburant du parapente.

## Finesse-air et finesse-sol : le vent change la donne

La finesse dont nous avons parlé est la **finesse-air** : la distance parcourue par rapport à la masse d'air, pour une hauteur perdue. Mais ce qui vous intéresse en vol, c'est votre progression par rapport au **sol** — et là, le vent s'en mêle. Face au vent, vous avancez moins vite sur le sol pour la même descente : votre **finesse-sol** chute. Vent arrière, elle grimpe. C'est exactement ce que traduit la polaire des vitesses quand on la lit « au sol » : face au vent, on accélère pour préserver sa finesse-sol ; vent arrière, on ralentit. Deux pilotes identiques dans le même air n'ont pas la même finesse-sol s'ils volent dans des directions opposées.

## Le pendule : roulis, tangage et lacet

Contrairement à un avion rigide, le parapente est un **système pendulaire** : le pilote (la masse, l'essentiel du **poids total volant**) pend plusieurs mètres sous l'aile, relié par les suspentes. Toutes les rotations se font autour du **centre de gravité**, proche du pilote. Cette architecture donne au parapente sa sécurité passive — l'aile tend fortement à revenir au-dessus du pilote — mais aussi son comportement si particulier. On décrit ses mouvements selon trois axes.

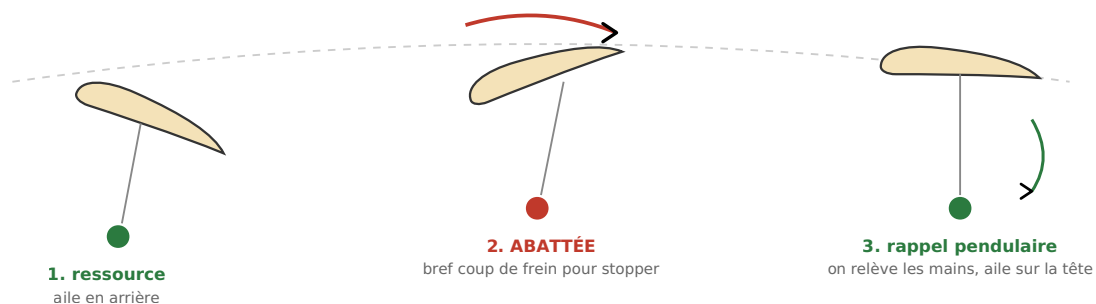


trois rotations, toutes autour du centre de gravité — proche du pilote

Les trois axes du parapente : le roulis (gauche/droite), le tangage (cabré/piqué), le lacet (le nez qui pivote). En virage, le lacet est « induit » par le roulis.

C'est le **tangage** qui est au cœur du pilotage actif. En turbulence, ou en entrée et sortie d'ascendance, l'aile avance ou recule par rapport au pilote et le système oscille comme un balancier. Une aile qui **part en avant** survitesse puis risque de fermer ; une aile qui **recule** derrière le pilote ralentit et se rapproche du décrochage. Le bon pilote sent ces mouvements et les amortit au frein — il « garde l'aile sur la tête ».

Le geste type, celui qu'on travaille en stage : quand l'aile plonge en avant (l'**abattée** après une ressource), on donne un bref coup de frein pour la stopper, puis on relève les mains le temps du **rappel pendulaire**, au moment où l'on repasse sous la voile. Ce dialogue permanent entre la masse et la voilure, invisible pour le passager, est le cœur du métier de pilote.



amortir le tangage : stopper l'abattée au frein, puis accompagner le rappel

Le tangage en action : l'aile plonge en abattée, on la stoppe d'un bref appui, puis on accompagne le rappel pendulaire pour la garder sur la tête.

## Le vol perturbé : rafales et déséquilibres

---

Tout ce qui précède décrit le vol stabilisé. Mais l'air réel est turbulent, et c'est là que la compréhension de l'incidence devient vitale. Une rafale, une entrée de thermique, une sortie d'ascendance : à chaque fois, le **vent relatif change instantanément**, donc l'incidence change, donc l'aile réagit. Savoir lire ces variations, c'est anticiper au lieu de subir.

### L'effet des rafales sur l'incidence

Le principe est toujours le même : la rafale s'ajoute au vent relatif du moment, et cette somme donne un **nouveau vent relatif**, sous un nouvel angle — donc une nouvelle incidence. Le phénomène est toujours **transitoire**, mais le corps le ressent instantanément, avant même que l'œil ne comprenne. Voici les quatre cas types.

**Rafale ascendante (entrée de thermique).** Le vent relatif augmente et l'**incidence augmente** : les commandes durcissent, le bruit du vent dans les oreilles s'intensifie, on ressent une sensation de lourdeur (facteur de charge positif). Après avoir contrôlé un éventuel mouvement pendulaire, le pilote peut ralentir son aile — soit pour optimiser son rendement dans l'ascendance, soit pour « tenir » l'aile et se prémunir d'éventuelles turbulences.

**Rafale descendante (sortie de thermique).** Le vent relatif diminue et l'**incidence diminue** : les commandes s'allègent, le bruit du vent faiblit, on ressent une légèreté, l'impression de « tomber » (facteur de charge inférieur à 1). Après avoir retenu une éventuelle abattée, le pilote doit laisser son aile **reprendre la vitesse-air qui lui manque** : il relève les mains, quitte à constater une dégradation nette de son plané.

**Rafale arrière.** Le vent relatif diminue mais l'**incidence augmente** : les commandes s'allègent, le bruit du vent chute, on ressent une sensation d'apesanteur (facteur de charge négatif). Après avoir subi l'enfoncement de sa trajectoire puis retenu brièvement une 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.

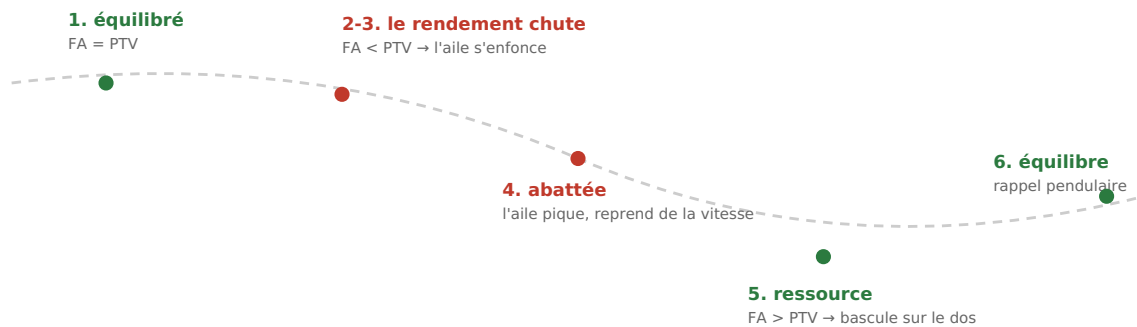
**Rafale de face.** Le vent relatif augmente et l'**incidence diminue** : les commandes peuvent s'alléger ou se durcir selon la puissance de la rafale et le nouvel angle, le bruit du vent augmente nettement, la sensation est variable, et la  **finesse-sol se dégrade momentanément**. Le pilote peut avoir à gérer un mouvement pendulaire de cabré puis de piqué.

Deux réflexes résument tout cela. Quand l'**incidence augmente** (rafale ascendante ou arrière), l'aile ralentit et se rapproche du décrochage : on temporise, on la laisse reprendre sa place. Quand l'**incidence diminue** (rafale descendante ou de face), l'aile survitesse et se rapproche de la fermeture ou de l'abattée : on accompagne, prêt à amortir.

Un cas mérite une vigilance particulière : les **rafales près du sol, en finale**. Une rafale arrière fait chuter le vent relatif au pire moment ; c'est une forme de gradient qui peut imposer d'amorcer le freinage plus tôt et plus haut. Le risque est fortement réduit si l'on aborde sa finale avec une **réserve de vitesse** (mains hautes) : sans cette marge, le décrochage peut survenir au moment de l'arrondi.

## Le cycle du déséquilibre : quand la force aérodynamique ne compense plus le poids

On peut décrire précisément ce qui se passe lors d'une perturbation, en suivant deux grandeurs : le **poids total volant** (le PTV : pilote + aile + équipement, une force constante vers le bas) et la **force aérodynamique** (la FA, somme de la portance et de la traînée). En vol équilibré, **FA = PTV** : vitesse et trajectoire constantes. Une perturbation rompt cette égalité, et l'aile enchaîne un cycle très reconnaissable.



sans pilotage, ce cycle s'amortit seul — mais un bon pilote l'écourte en agissant sur l'incidence au bon temps

Le cycle du déséquilibre : quand la FA passe sous le PTV, l'aile s'enfonce, abat, reprend de la vitesse, fait une ressource, puis le rappel pendulaire rétablit l'équilibre.

Ce cycle est **auto-amortissant** : livré à lui-même, le parapente finit par retrouver son équilibre, c'est sa stabilité pendulaire. Mais chaque phase est un moment où l'aile peut fermer (à l'abattée, incidence faible) ou reculer dangereusement (à la ressource, incidence forte). Le rôle du pilote est d'**écourter le cycle** : freiner brièvement pour tuer l'abattée, temporiser à la ressource. C'est du pilotage actif, la suite directe de ce que nous avons vu sur le tangage.

## Virer : incliner l'aile et créer une différence

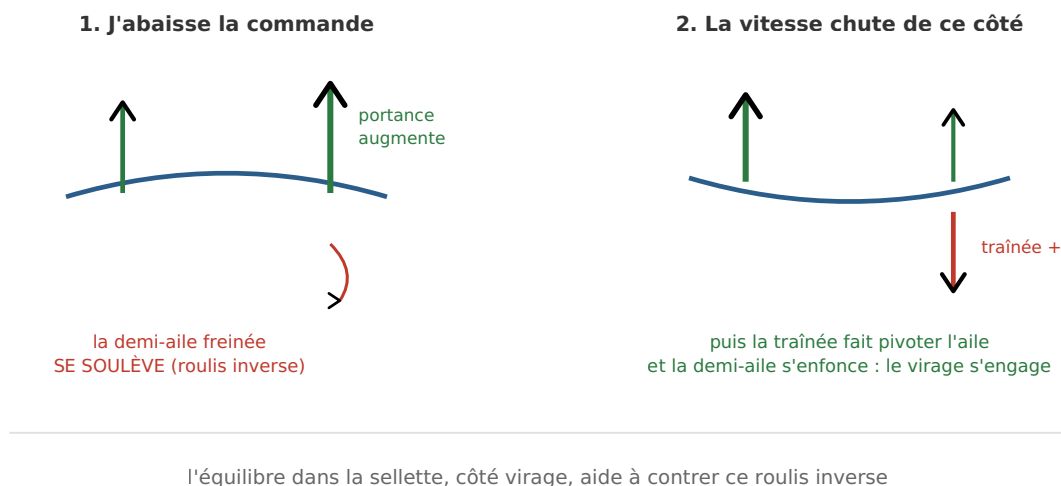
Pour tourner, on freine davantage un côté que l'autre. Ce frein augmente localement la traînée et l'incidence de ce demi-côté : l'aile pivote vers l'intérieur du virage. Mais le vrai virage efficace combine ce freinage avec une **inclinaison** (le pilote se déplace dans la sellette) : l'aile s'incline, la portance bascule et devient partiellement centripète, et le parapente s'enroule dans une courbe propre. Trop de frein intérieur sans inclinaison, et l'on part en glissade ; trop d'inclinaison sans frein, et le virage devient une spirale qui engage. Le bon virage est un dosage — celui qu'on affine sans cesse en thermique.



En virage, la portance s'incline et devient centripète : l'aile s'enroule dans la courbe.

### **Le roulis inverse : ce petit contretemps à l'amorce du virage**

Il se passe une subtilité au tout début du virage. Quand vous abaissez la commande d'un côté pour tourner, cette demi-aile voit son incidence augmenter : **momentanément, sa portance augmente** et elle se *soulève* — comme si l'aile voulait partir de l'autre côté. C'est le **roulis inverse**. Puis la vitesse de ce côté chute, la traînée du freinage fait pivoter l'aile sur son axe, la portance retombe, et la demi-aile s'enfonce enfin dans le virage voulu. En parapente ce phénomène est souvent masqué et discret, mais il se fait sentir comme une petite résistance à l'engagement. Il est plus marqué avec une sellette détendue, et se combat efficacement par un **appui sellette franc côté virage**, coordonné au freinage. C'est là que se joue la différence entre un virage qui glisse et un virage qui s'enroule proprement.



Le roulis inverse : au tout début du virage, la demi-aile freinée se soulève avant de s'enfoncer. Un bon pilote l'anticipe par son appui sellette.

## Comment le virage s'enchaîne vraiment

Une fois le roulis inverse passé, tout s'enchaîne. La traînée du côté freiné fait pivoter l'aile autour de l'axe de lacet (c'est le **lacet induit**), et le **centre de poussée recule** sur la demi-aile sollicitée. L'aile s'incline, dérape légèrement, et ce dérapage achève de l'engager dans le virage. Déséquilibrée, elle accélère alors pour compenser son inclinaison et la force centrifuge naissante. C'est pour cela qu'un virage engagé est aussi un virage qui prend de la vitesse : les trois axes — roulis, tangage, lacet — travaillent ensemble.

## Le virage « à la sellette » : tourner sans les freins

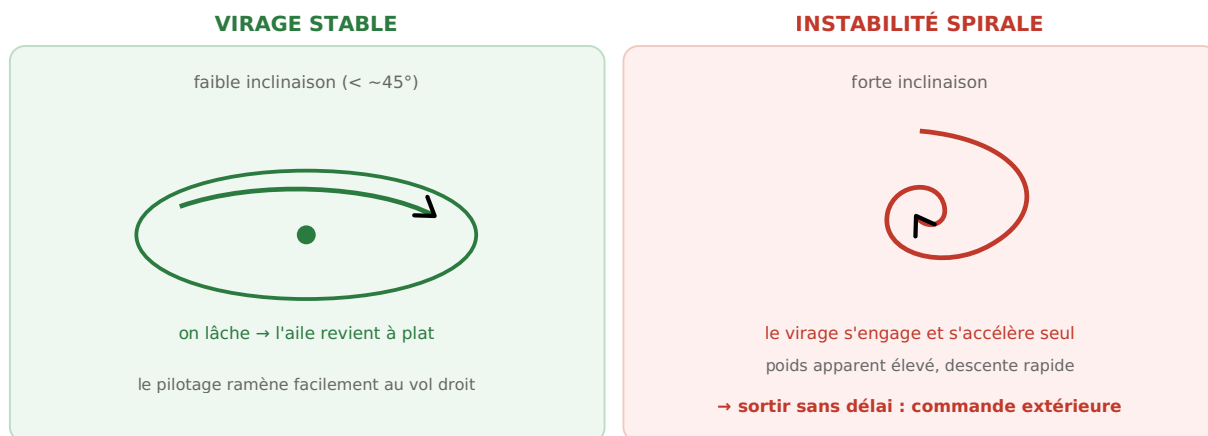
Il existe une façon de tourner qui n'utilise pas du tout les commandes : le **pilotage à la sellette**. En déplaçant son poids d'une fesse sur l'autre, le pilote déséquilibre l'ensemble, l'aile s'incline et amorce un roulis, qui s'accompagne d'une prise de vitesse et d'un lacet induit — l'aile part en virage. Le geste juste est un **transfert de poids franc** du côté voulu, coordonné au rappel pendulaire : on utilise l'inertie du retour de l'aile au-dessus de la tête pour relancer l'appui de l'autre côté. C'est un excellent exercice de coordination, qui éduque le corps à la symétrie et affine le ressenti — beaucoup de pilotes tournent trop « aux bras » et gagnent énormément en fluidité le jour où ils découvrent la sellette.

**Sécurité** : cet exercice se pratique avec une ventrale réglée assez lâche pour permettre le transfert d'appui, sur des changements de cap modérés — on veille à ne pas dépasser **45° d'inclinaison** ni **90° de changement de cap**, car au-delà le risque de fermeture (qui croît avec l'inclinaison) ou de départ en spirale augmente. Le préalable indispensable est de savoir se servir de la **commande extérieure** pour enrayer un éventuel engagement. À travailler idéalement sous l'œil d'un moniteur.

## Virage stable, virage qui s'engage : l'instabilité spirale

Tous les virages ne se valent pas. À faible inclinaison, l'aile est **stable** : si on lâche tout, elle tend à revenir à plat d'elle-même. Mais passé un certain angle d'inclinaison, on entre dans le

domaine de l'**instabilité spirale** : l'aile ne revient plus à plat toute seule, la force centrifuge et la vitesse s'auto-entretiennent, et le virage **s'engage** en spirale de plus en plus serrée et rapide. Le poids apparent (PTV + force d'inertie) grimpe, la descente devient vertigineuse.



En dessous d'un certain angle, le virage est stable ; au-delà, il s'engage en spirale et ne se corrige plus tout seul — il faut agir vite à la commande extérieure.

D'où la règle d'or : dès qu'un virage s'engage plus que voulu, on agit **sans délai** à la **commande extérieure** pour ré-ouvrir la trajectoire et remettre l'aile à plat. C'est exactement la compétence qui doit précéder tout travail de pilotage engagé — et l'une des raisons pour lesquelles ces exercices se font encadrés.

## Ce que l'aérodynamique change pour votre pilotage

Tout cela n'est pas de la théorie gratuite. Comprendre l'aérodynamique, c'est piloter **avec** l'aile au lieu de subir ses réactions. Vous savez alors pourquoi il faut accélérer face au vent (la **polaire des vitesses** le montre), pourquoi une aile trop freinée en approche finale est dangereuse (proximité du décrochage), pourquoi il faut « donner du frein » quand l'aile part en avant (amortir le tangage), et pourquoi une fermeture se gère en gardant le cap et en réalimentant l'aile. La mécanique de vol n'est pas un savoir de spécialiste : c'est le socle qui rend chaque geste de pilotage compréhensible, donc sûr.

C'est pourquoi nous consacrons toujours un temps au sol, avant le vol, à expliquer ces mécanismes — puis nous les faisons ressentir en vol, à la radio. La théorie éclaire la pratique, et la pratique ancre la théorie : c'est toute la philosophie de nos stages au-dessus du lac d'Annecy.