

LA PASSION VERTICALE

Jean-Pierre Petit



C'est une idée originale de passer par Voltaire pour écrire une théorie du vol de l'hélicoptère. Il en résulte un ouvrage plaisant, et attirant par son tour humoristique.

En même temps, le sérieux du point de vue technique et théorique fait de cet ouvrage un livre de base pour les futurs pilotes

L'hélicoptère, merveilleuse machine, a encore un bel avenir !

Jean Boulet

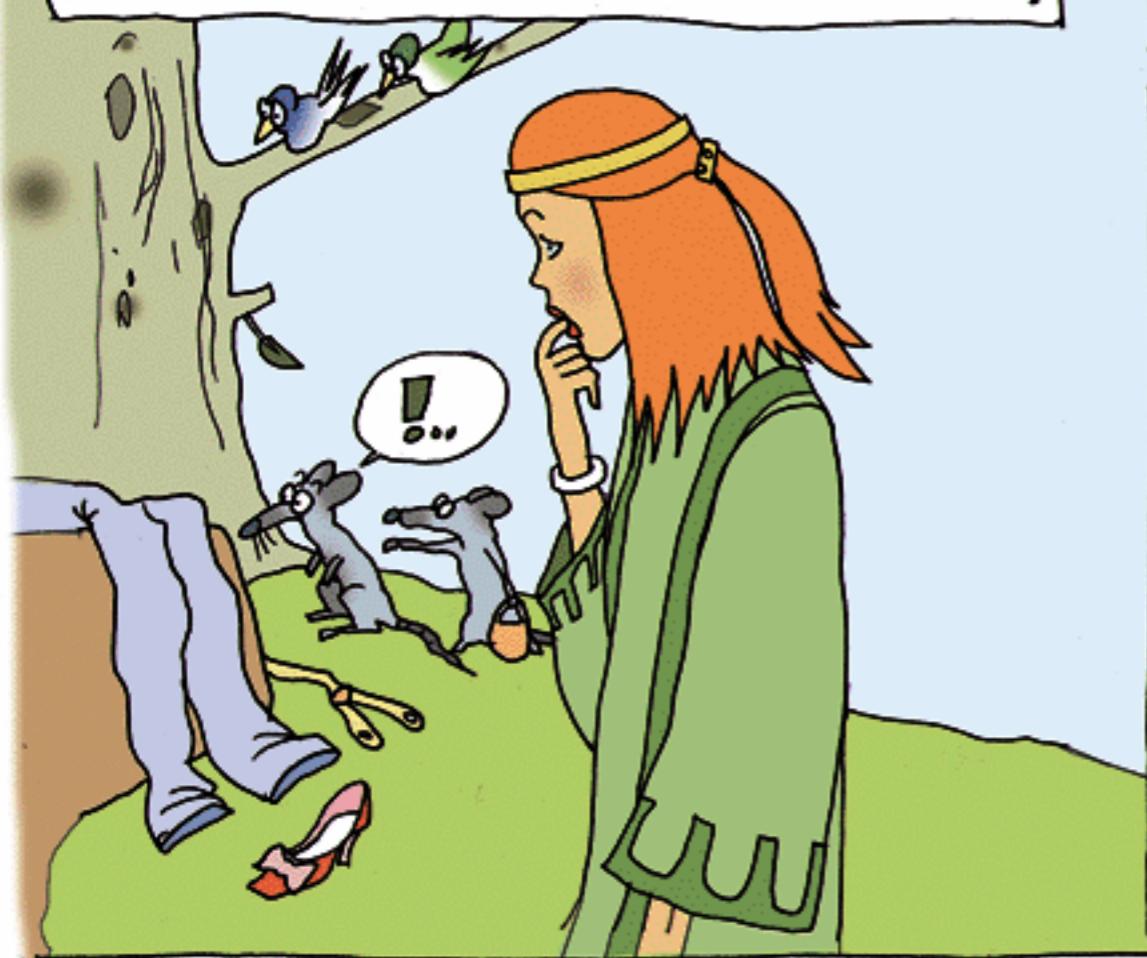
A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jean Boulet". The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke on the left and more vertical and curved strokes on the right.

T

Il y avait une fois en Westphalie un château qui appartenait au baron de Thunder-ten-Tronckh. Il y vivait avec sa femme et sa fille Cunégonde. Un jeune garçon nommé Candide vivait également au château. C'était le fils d'une parente de Monsieur le Baron et, paraît-il, de quatre-vingts chasseurs. Vivait également au château un philosophe, maître Pangloss, grand amateur des écrits de Leibniz, qui prouvait admirablement qu'il n'y avait point d'effet sans cause et que, dans le meilleur des mondes possibles, le château de monseigneur le baron était le plus beau des châteaux et madame la baronne la meilleure des baronnes possibles.



Un jour la jeune Cunégonde, âgée de 17 ans, aperçut dans un bois proche du château le professeur Pangloss qui donnait une leçon de physique expérimentale à la femme de chambre de madame la baronne. Ayant beaucoup de dispositions pour les sciences, elle observa les expériences réitérées dont elle fut témoin. (*)



Elle vit clairement la raison suffisante du docteur, les effets et les causes et s'en retourna toute agitée, toute pensive, en grand désir d'être instruite (*)



(*) Reproduction à l'identique du texte de Voltaire, extrait de son ouvrage "Candide" (1694-1778)



Cunégonde fit tomber son mouchoir. Candide se baissa pour le ramasser. Elle fit de même. Leurs mains se touchèrent, leurs genoux tremblèrent. (*)



Leurs lèvres se touchèrent, leurs mains s'égarterent. Monsieur le baron, qui passait par là, vit cette scène, ses effets et ses causes. (*)



Monsieur le baron chassa Candide à coups de pied dans le derrière. (*)



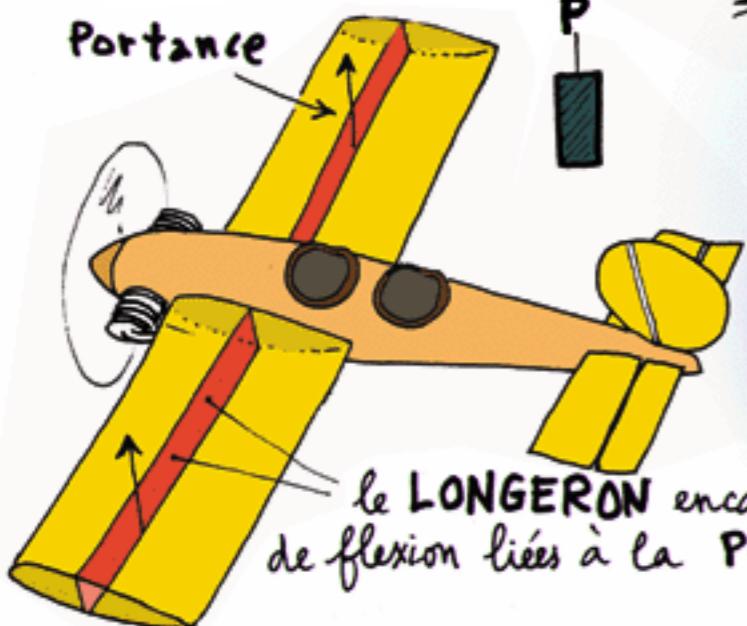
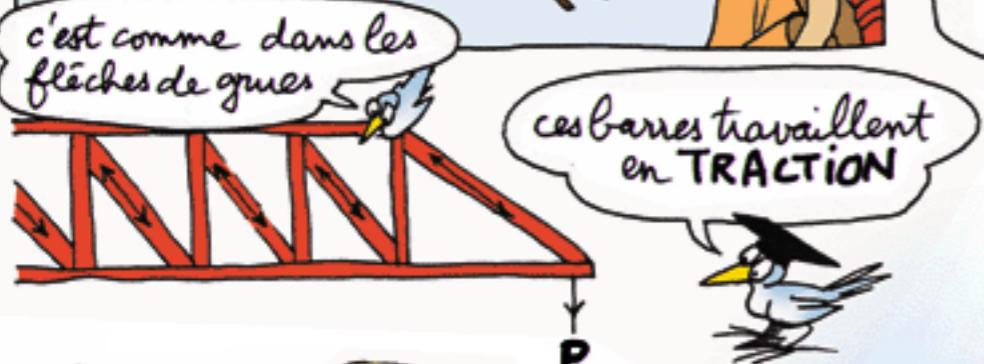
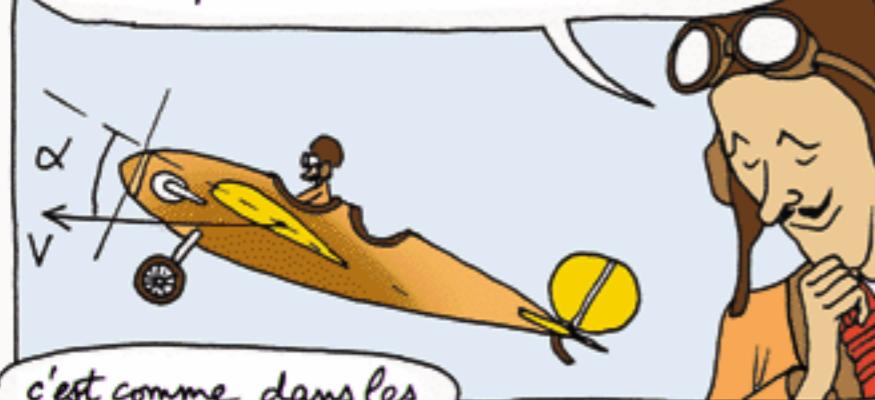
Madame la baronne souffla Cunégonde et l'enferma dans une pièce située tout en haut de la tour de guet du château

et tout fut consterné dans le plus beau des châteaux possibles... (*)

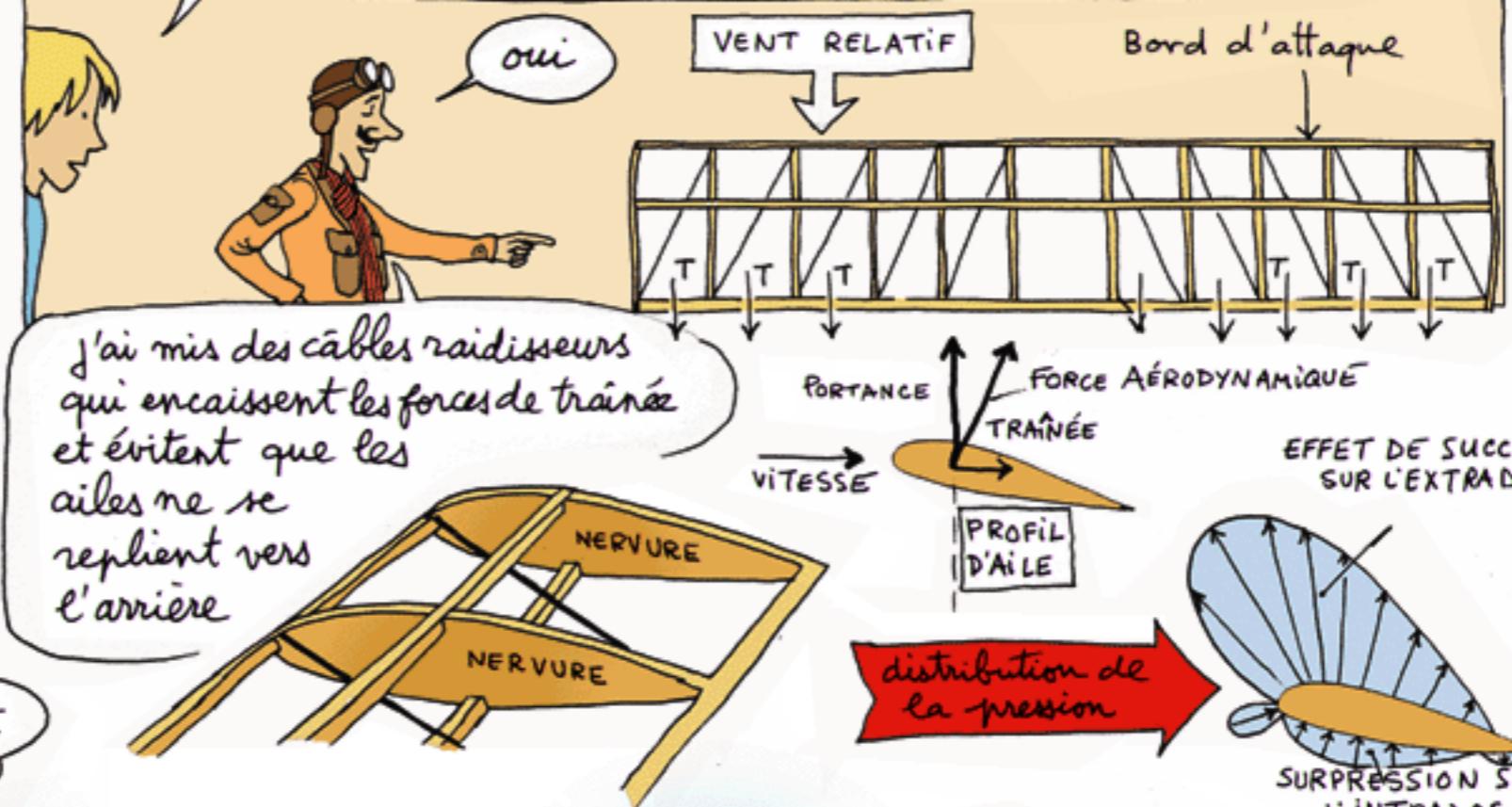
(*) Reproduction à l'identique du texte du roman "Candide", de Voltaire (1694-1778)



je dois pouvoir réduire la longueur d'atterrissement en effectuant une approche à plus faible vitesse . La **PORTANCE** de l'aile est proportionnelle à son **INCIDENCE** α . En cabrant l'avion je devrais pouvoir voler beaucoup plus lentement



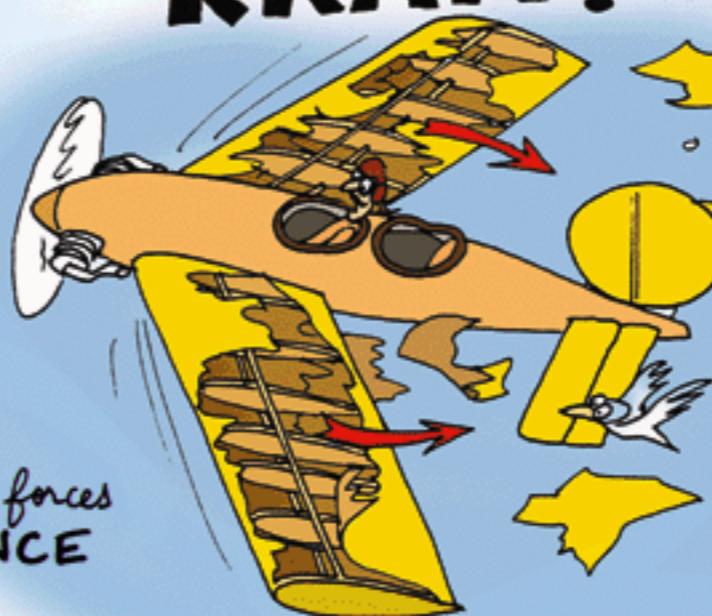
c'est donc cette aile qui vous permet de vous maintenir en l'air



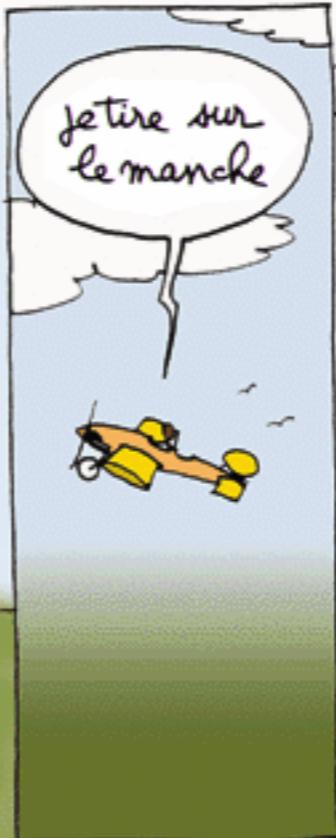
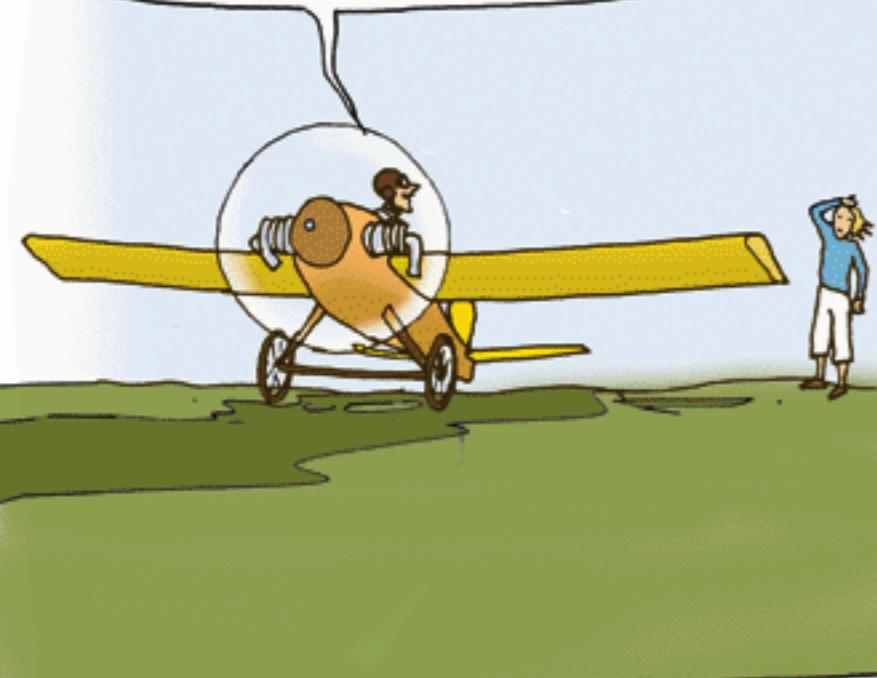
KRAK !

messieurs, sans ces précieux raidisseurs les ailes se briseraient

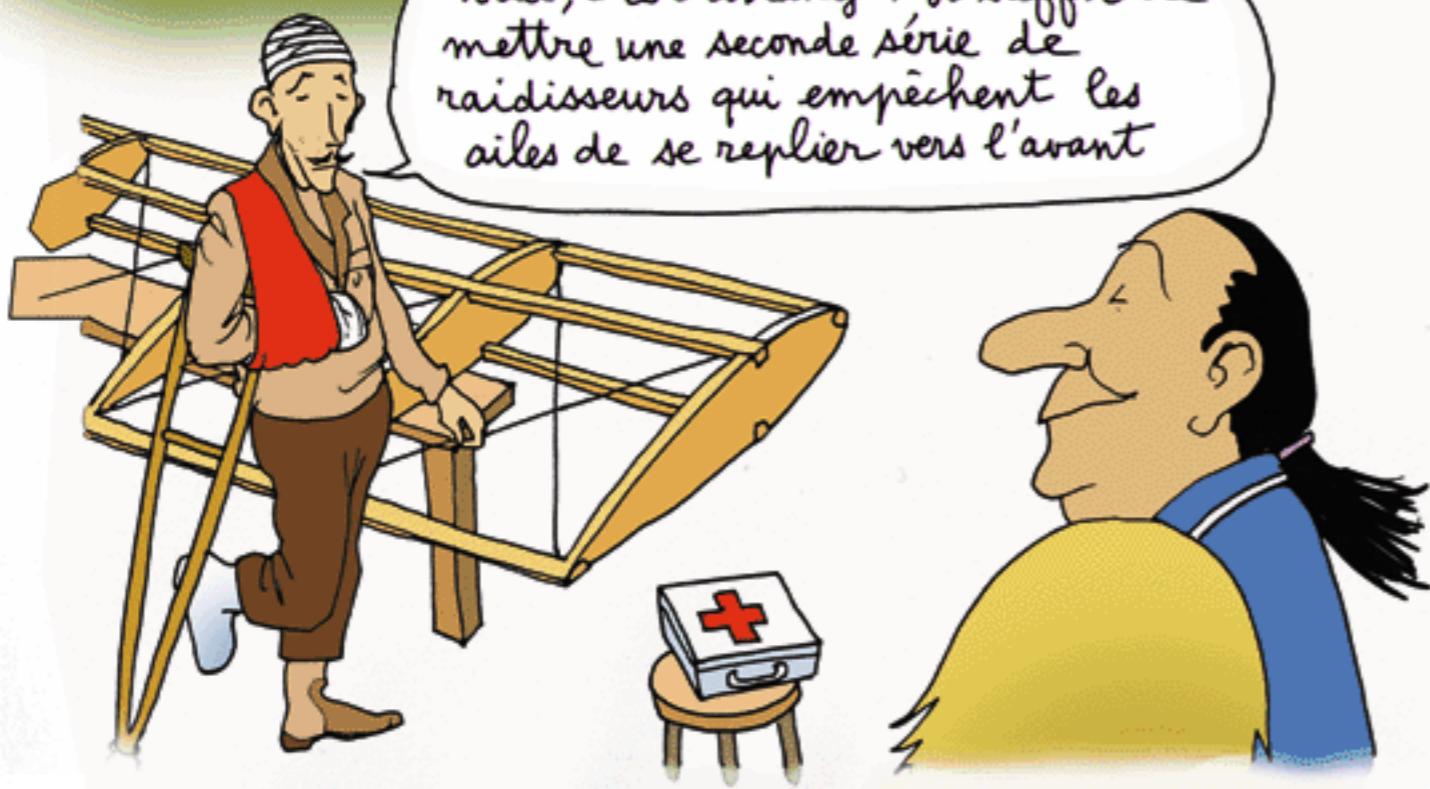
une sage précaution

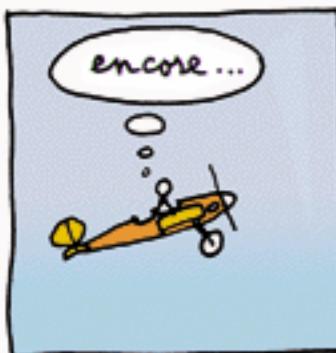


Bien, allons voir comment nous pouvons réduire la vitesse en cabrant l'appareil



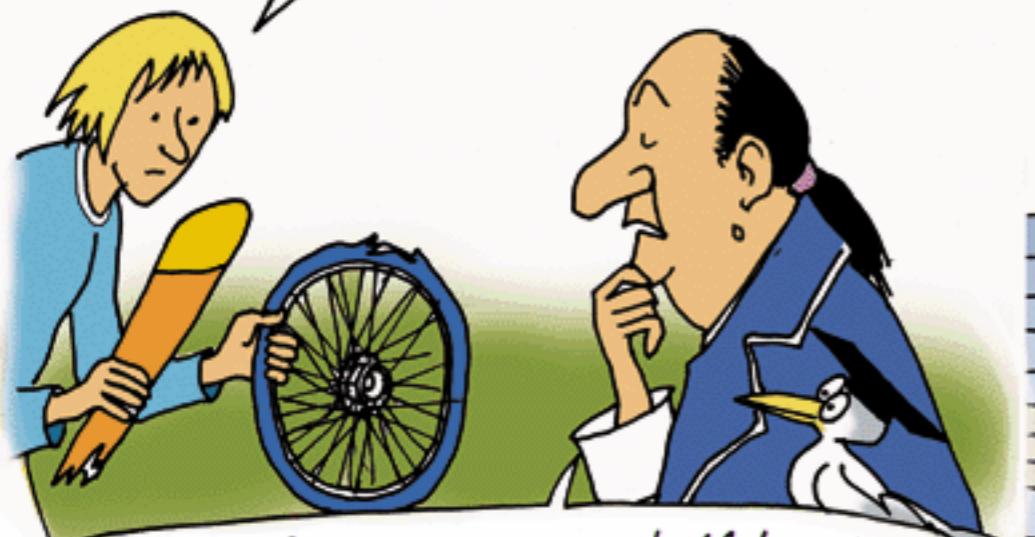
voilà, c'est arrangé. Il suffit de mettre une seconde série de raidisseurs qui empêchent les ailes de se replier vers l'avant



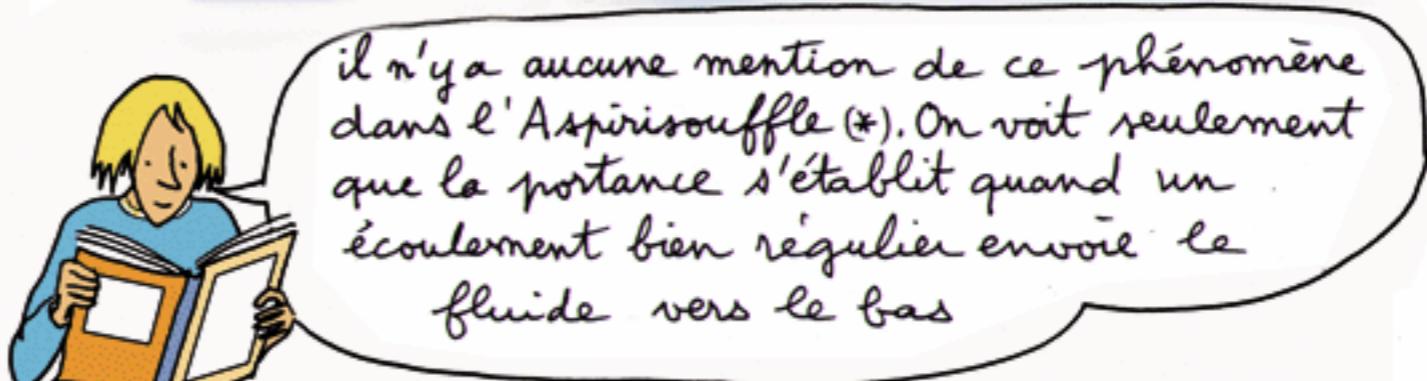


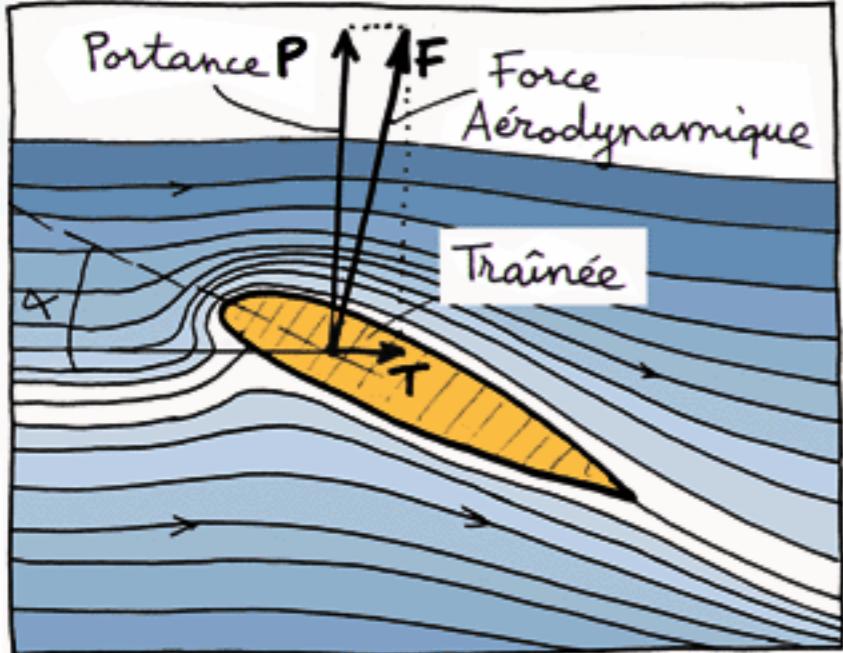
LE DÉCROCHAGE

Le n'est pas avec cette machine que je pourrai délivrer Cunégonde. Te me demande franchement si cet engin a un avenir quelconque



Comme il n'y a point d'effet sans cause il nous faut découvrir la raison suffisante de cette brutale disparition de la portance





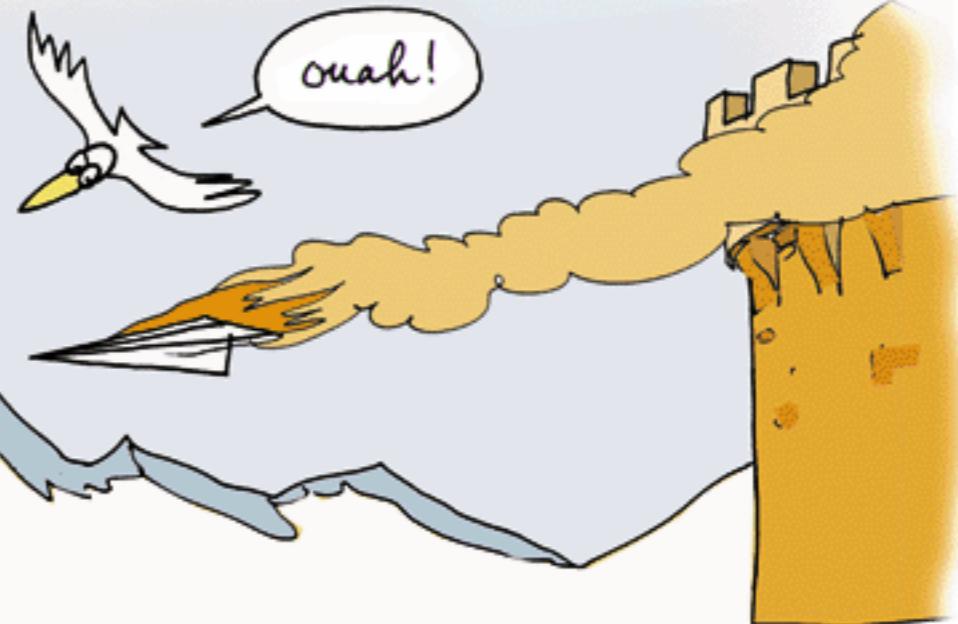
Quand je regarde le schéma de l'écoulement correspondant à une forte incidence, je remarque quelque chose



Pendant ce temps-là, Cunégonde écrivait lettre sur lettre à Candide



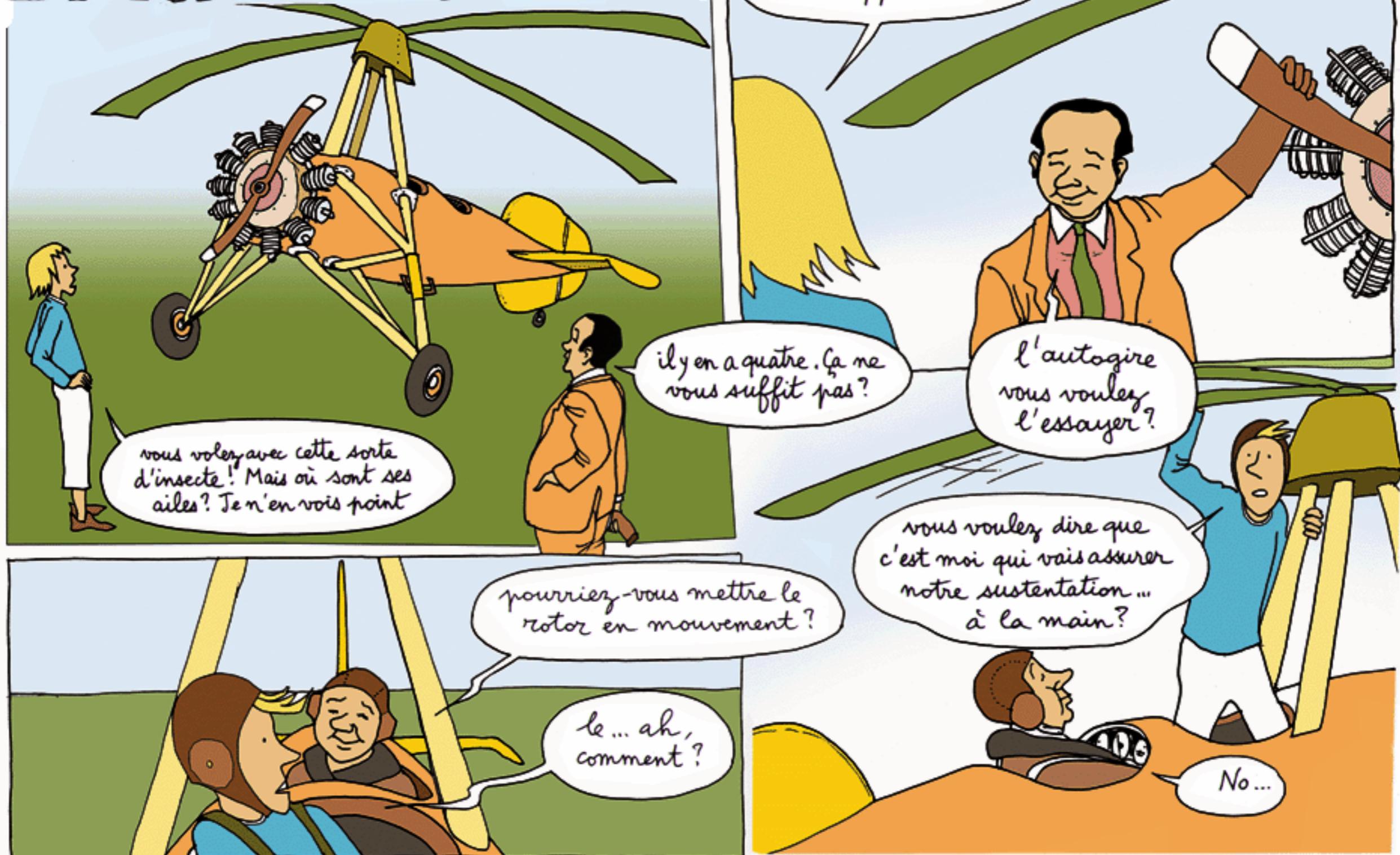
mais ses paroles étaient si enflammées que ses missives se consumaient avant de toucher le sol



Un ballon ? Ça ne peut pas marcher. J'aurais toutes les chances de rater la tour

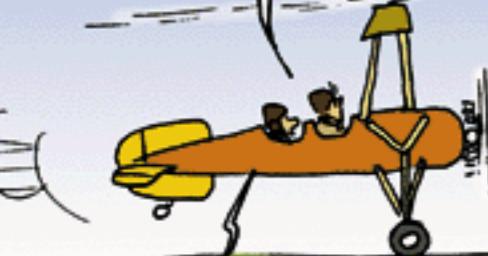


L'AUTOGIRE



ma parole, ce rotor
tourne tout seul,
maintenant, pourquoi

et maintenant nous
volons. Mais par
quel miracle ?!?



autorotaciòn

ma chère Cunégonde, qui
doit être là, en bas !

au château, vite
s'il vous plaît !

pourriez-vous
vous poser sur cette
terrasse ?

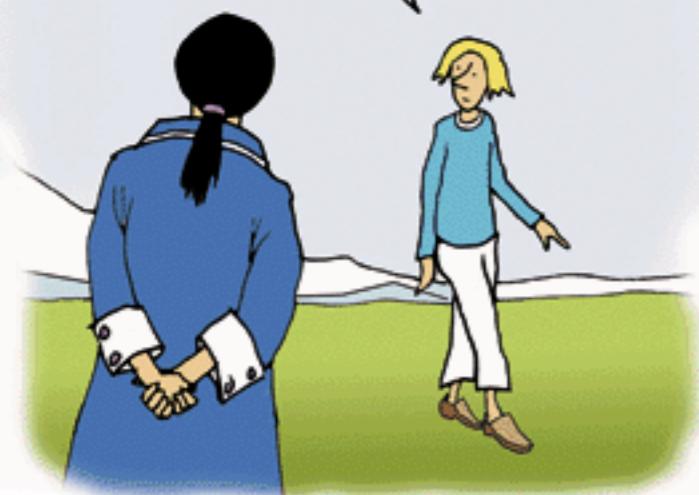
l'autogire peut se poser très
court, mais cette terrasse-là est
vraiment trop petite !



Ah, maître Pangloss, j'ai survolé le château et la tour où Cunégonde est retenue prisonnière. Et cela à bord de la fantastique machine volante de monsieur de la Cierva



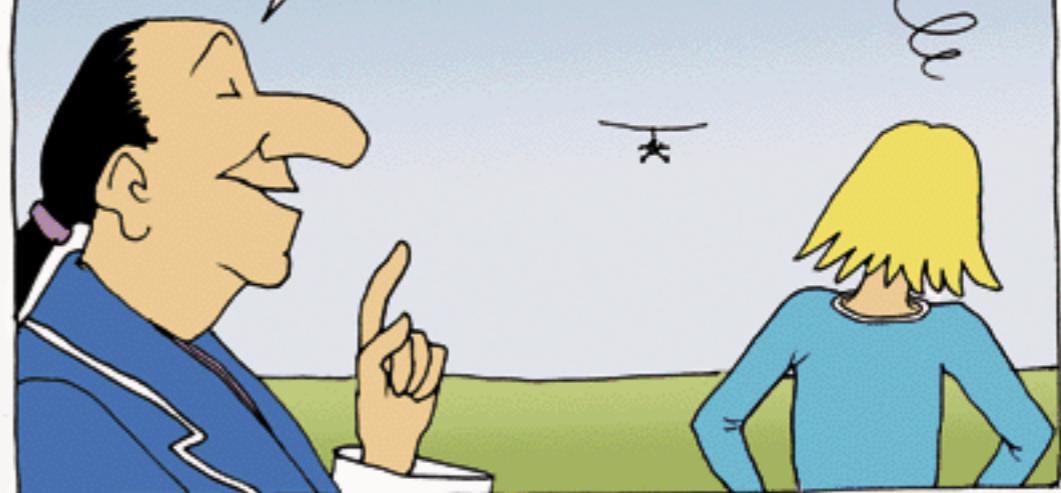
votre raisonnement est imparable, mon maître, mais j'aimerais bien en savoir plus...



Ah, malheur ! Il emporte avec lui tous ses secrets. Quelle est la force mystérieuse qui fait tourner son rotor ?



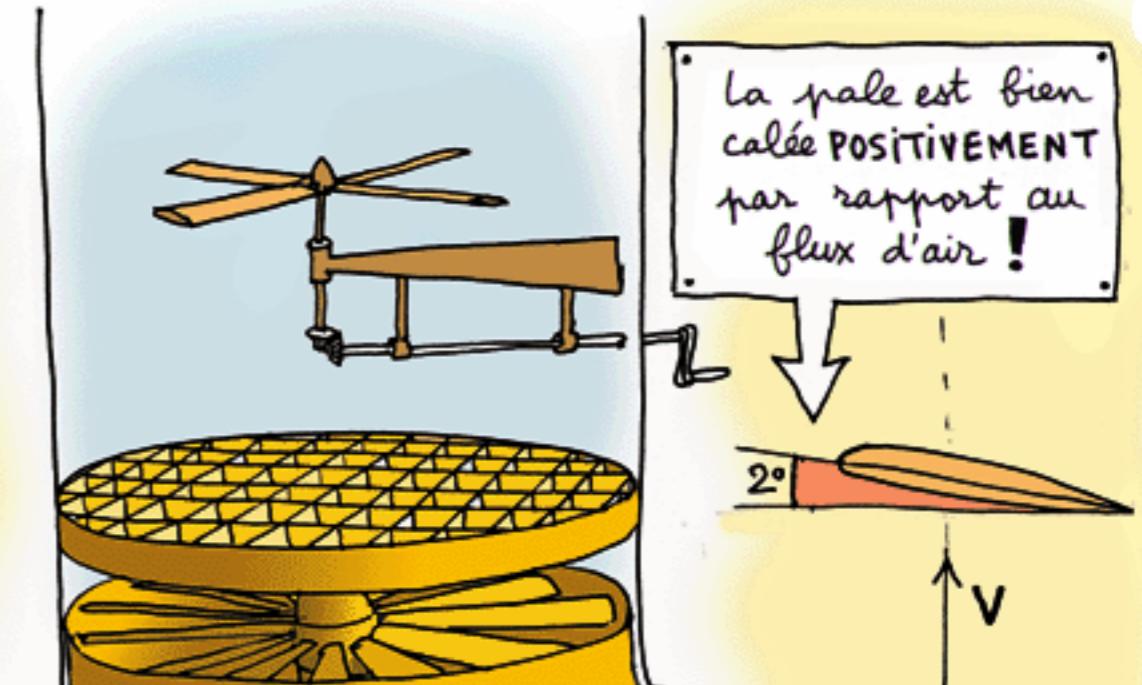
l'explication est pourtant simple : un rotor est fait pour tourner. Donc il est doué d'une vertu rotative et il tourne ; Il n'y a point d'effet sans cause



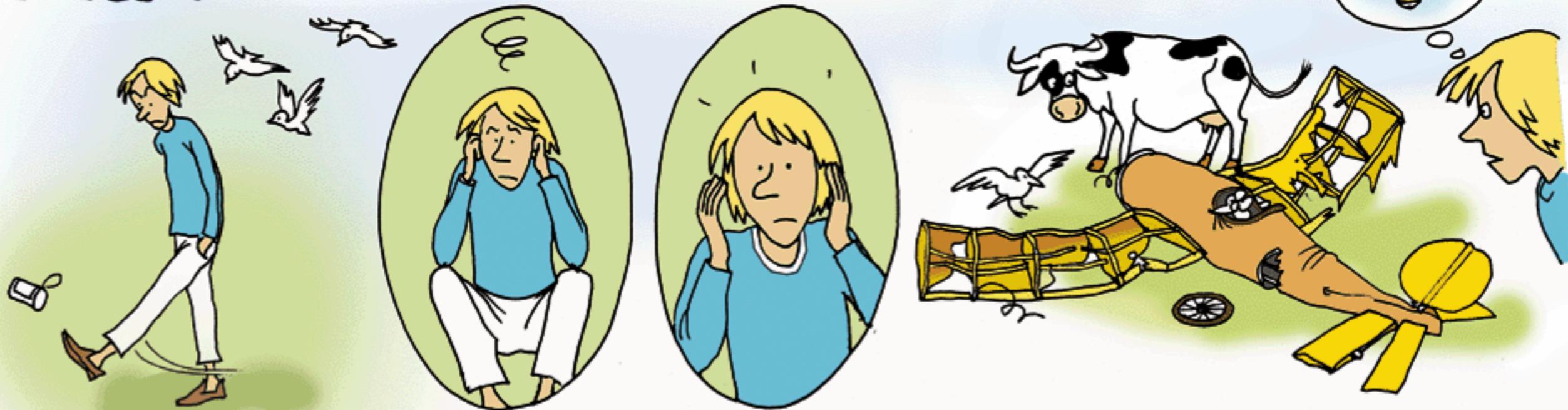
que fait Candide ?



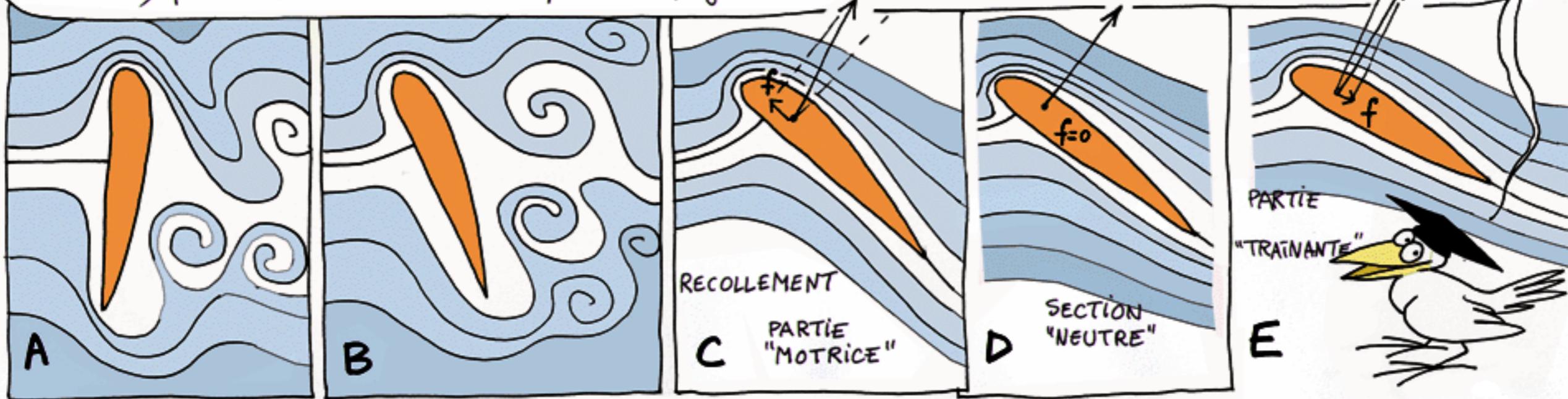
je crois qu'il va reconstituer la soufflerie avec laquelle monsieur de la Cierva a découvert la raison suffisante de cet étonnant phénomène



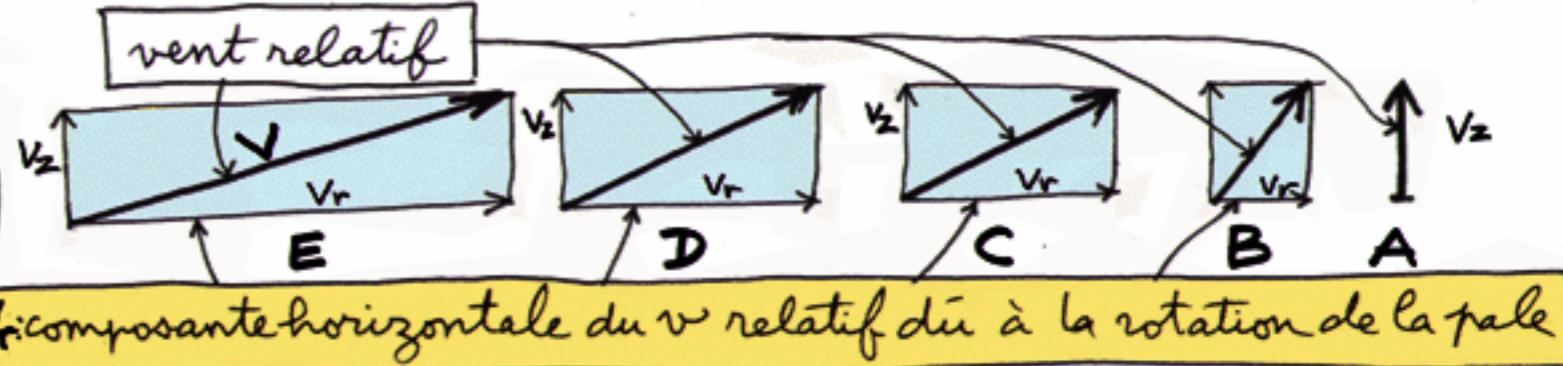
AUTOROTATION



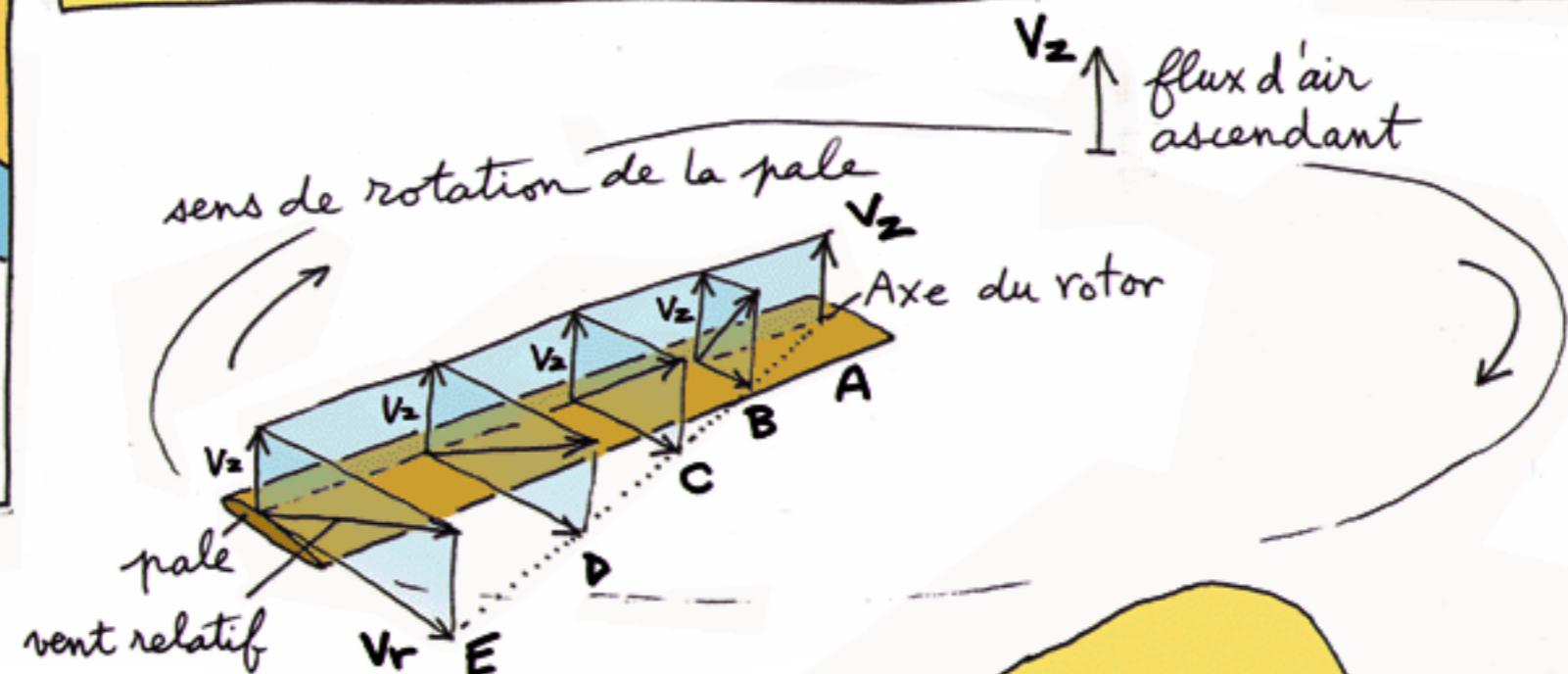
Quand l'incidence de la pale diminue, par rapport à la direction du **VENT RELATIF**, l'écoulement recolle (figure C). La force aérodynamique (composante f) tend à entraîner la pale. En D cette force s'annule, puis s'inverse en E. La composante f freine alors le mouvement de la pale



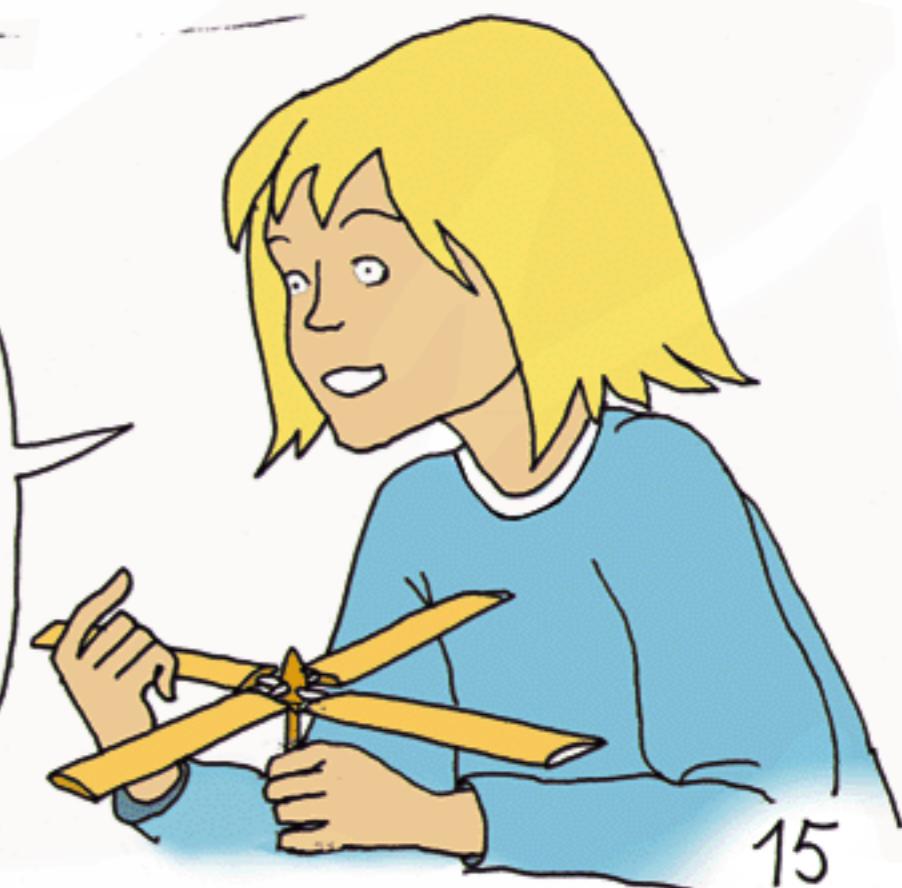
J'entends bien, mon cher Candide.
Mais d'où vient ce changement
de direction de ce que vous
appelez le **VENT RELATIF**?



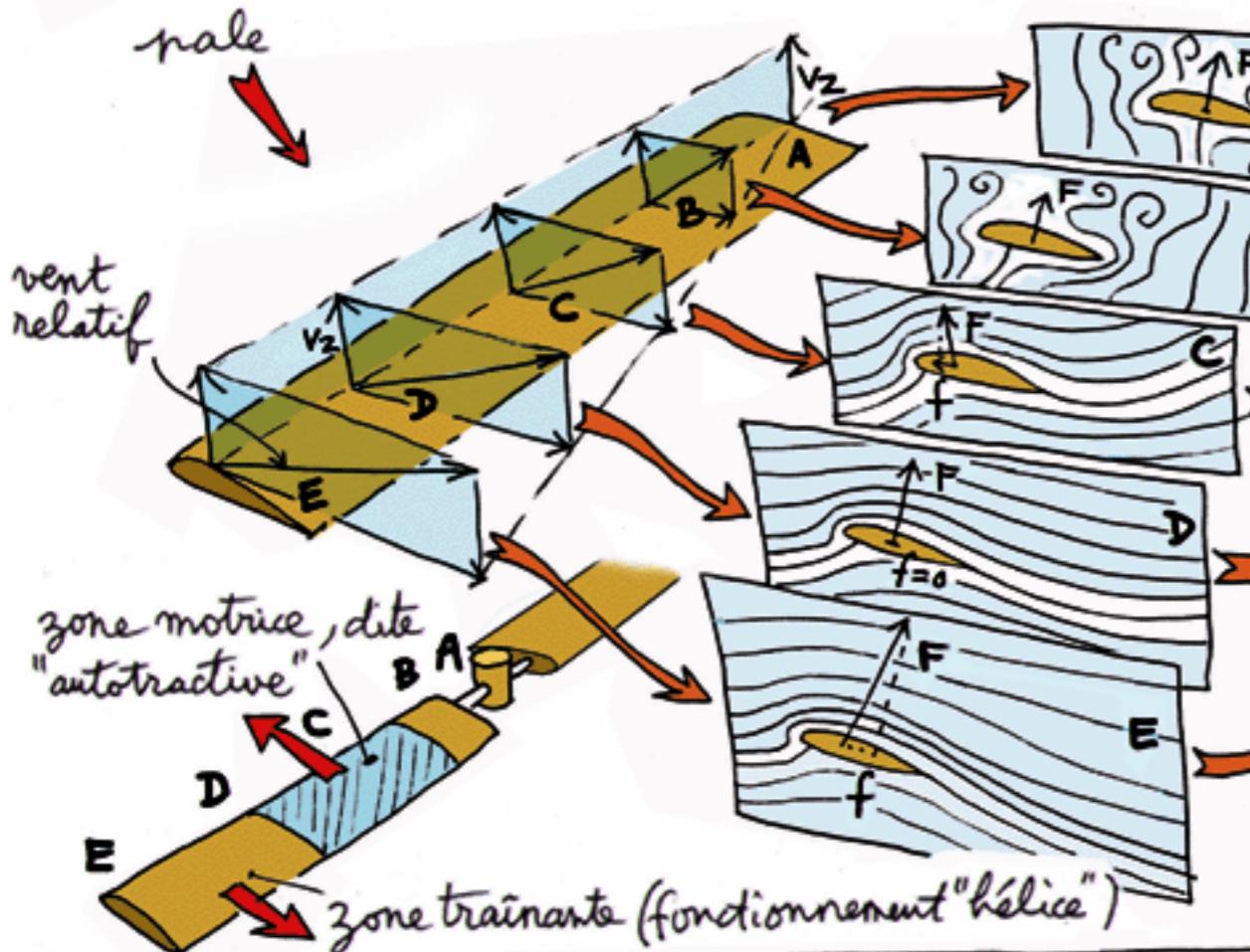
v_r : composante horizontale du vr relatif dû à la rotation de la pale



le rotor est immergé dans un flux d'air ascendant
qui correspond à une vitesse V_z . celle-ci se combine à
la vitesse induite par le mouvement de rotation de la
pale V_r , vitesse qui est proportionnelle à la distance à
l'axe. La résultante donne le **VENT RELATIF**, qui se
couche de plus en plus sur la pale au fur et à mesure
que l'on s'éloigne de l'axe. En même temps le module
de cette vitesse s'accroît, de l'axe à la périphérie



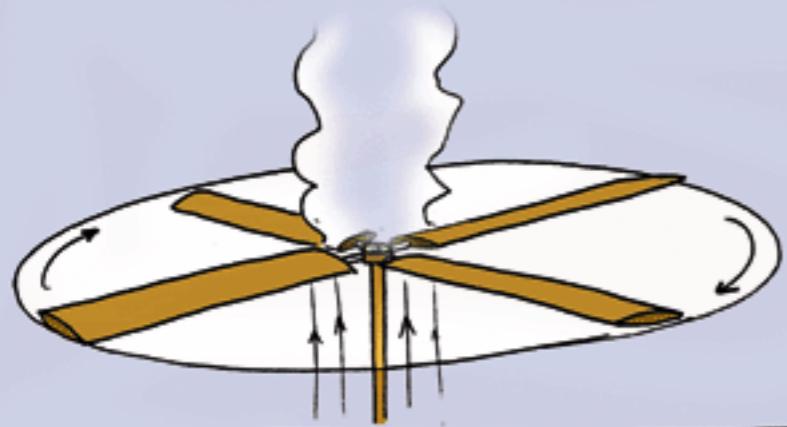
Selon la façon dont ce VENT RELATIF attaque la pale on obtient des écoulements très différents. Pour les visualiser j'ai adapté un fin tube qui émet de la fumée, en étant solidaire de la pale en rotation. Et voilà les différents résultats que j'ai pu obtenir



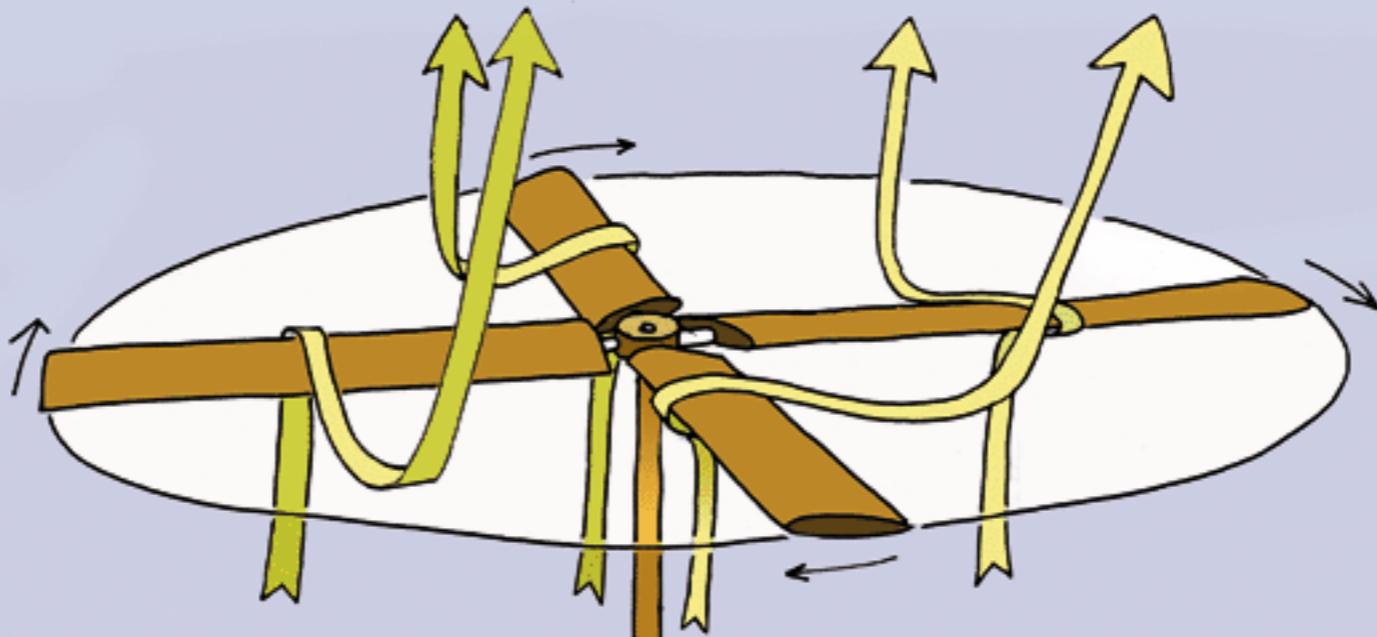
En **E** la force aérodynamique, toujours dirigée vers le haut, tend à freiner le mouvement de la pale. La figure **D** représente la situation-limite ($f=0$). Dans ce régime d'**AUTOROTATION** la portion hachurée de la pale est motrice, alors que le bout de pale "se fait traîner". Un régime **AUTOSTABLE** s'établit

en **A** et **B** l'écoulement est "décroché"
La pale crée une forte turbulence.
En **C** l'écoulement recolle au profil. la force aérodynamique tend à entraîner la pale vers l'avant (zone motrice, "autorotative", grise)

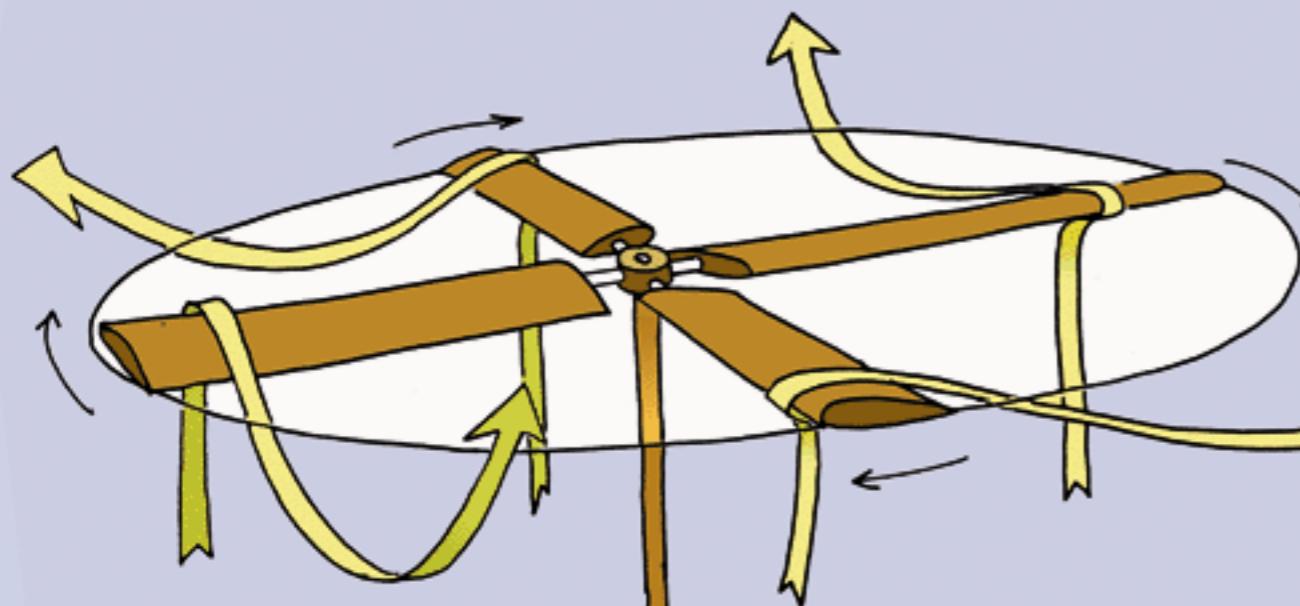
tout cela ayant été essayé en soufflerie par Juan de la Cierva



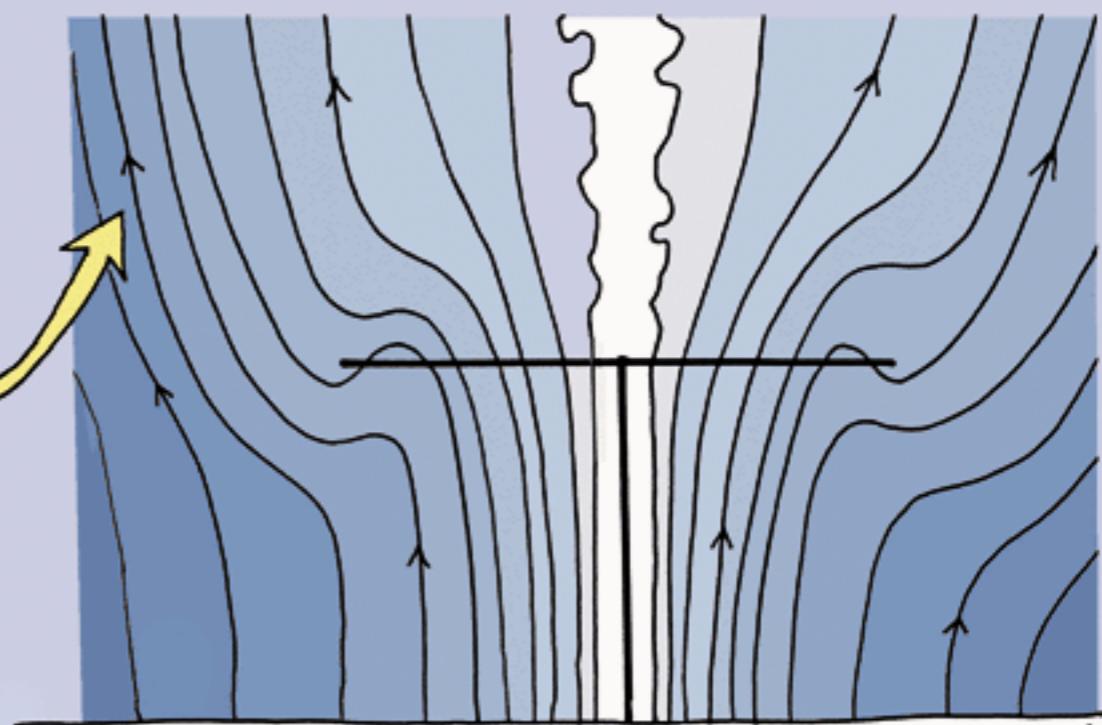
au dessus de la partie centrale
(écoulement "décroché", un
sillage fortement turbulent)



Tci, l'écoulement recolle au profil de la pale



A la périphérie, l'impulsion communiquée à la
masse d'air, dirigée vers le bas (**VITESSE INDUIITE**)
est suffisante pour que cet air ressorte en
dehors du disque balayé par le rotor

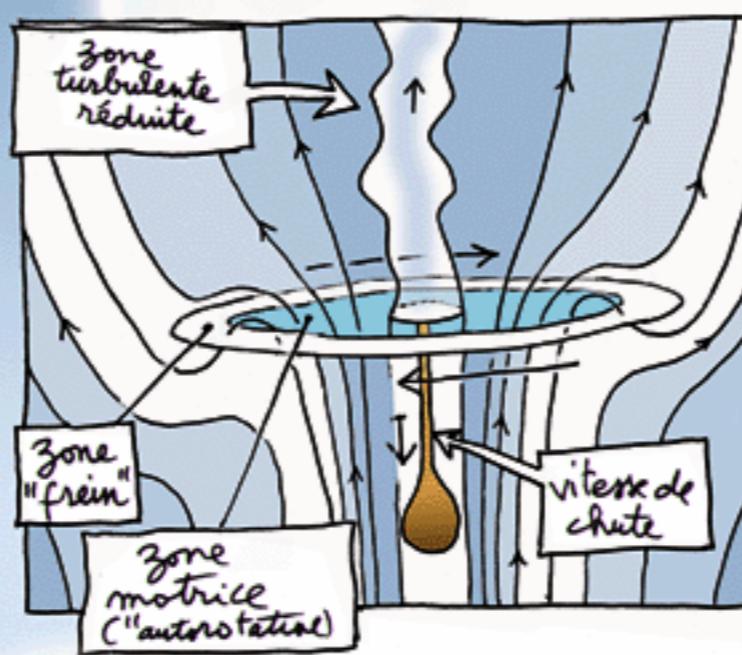
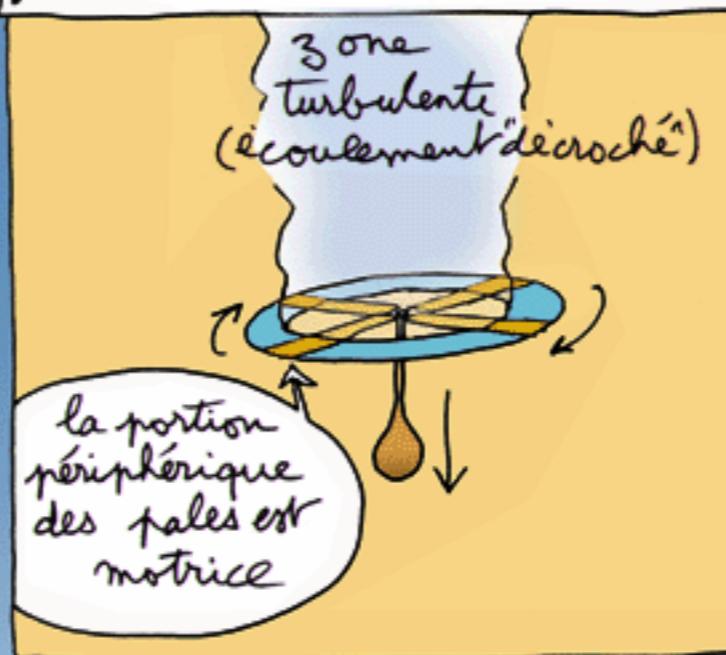


ce qui donne à l'écoulement global
l'allure étrange ci-dessus

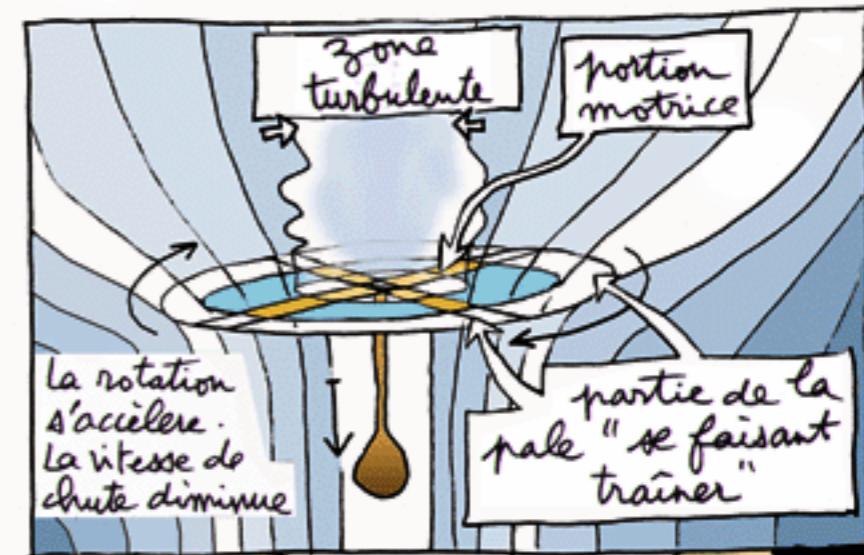
Regardez, maître Pangloss, je lâche cette petite maquette par cette fenêtre après lui avoir communiqué une impulsion minimale



pour faire en sorte que la partie périphérique du rotor tourne assez vite pour que l'écoulement "recolle". Elle devient alors motrice et la rotation s'accélère

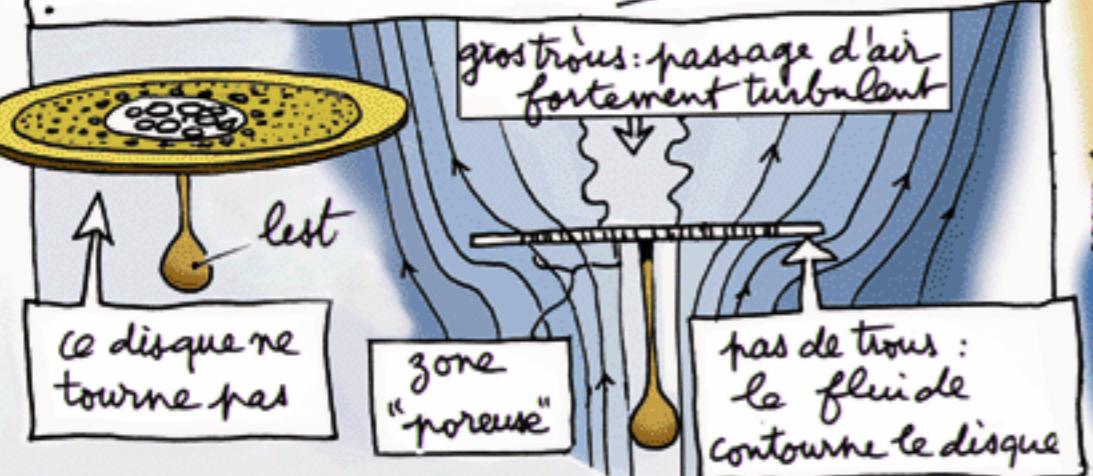


la portion d'écoulement turbulent ("trainante") se réduit au fur et à mesure que la rotation devient de plus en plus rapide. Apparaît alors en bout de pale une portion "traînée".



On obtiendrait un écoulement similaire si on lâchait un disque qui ne tourne pas, doté de perforations dont le diamètre décroît du centre à la périphérie, ce qui crée des zones de porosités différentes.

La Direction



que se serait-il passé si vous n'aviez pas donné une impulsion en rotation suffisante au départ?



la vitesse au bout des pales n'aurait pas été suffisante pour que l'écoulement "recolle" sur le profil. Donc pas de force motrice. Pas d'établissement du régime d'autorotation : la maquette tombe comme un caillou!

j'avais pensé un instant que ce dispositif aurait pu permettre à mademoiselle Cunégonde de négocier son évasion. Mais je crois que c'est une affaire à se rompre les os

et l'autogire?

et pourtant il tourne^(*)!

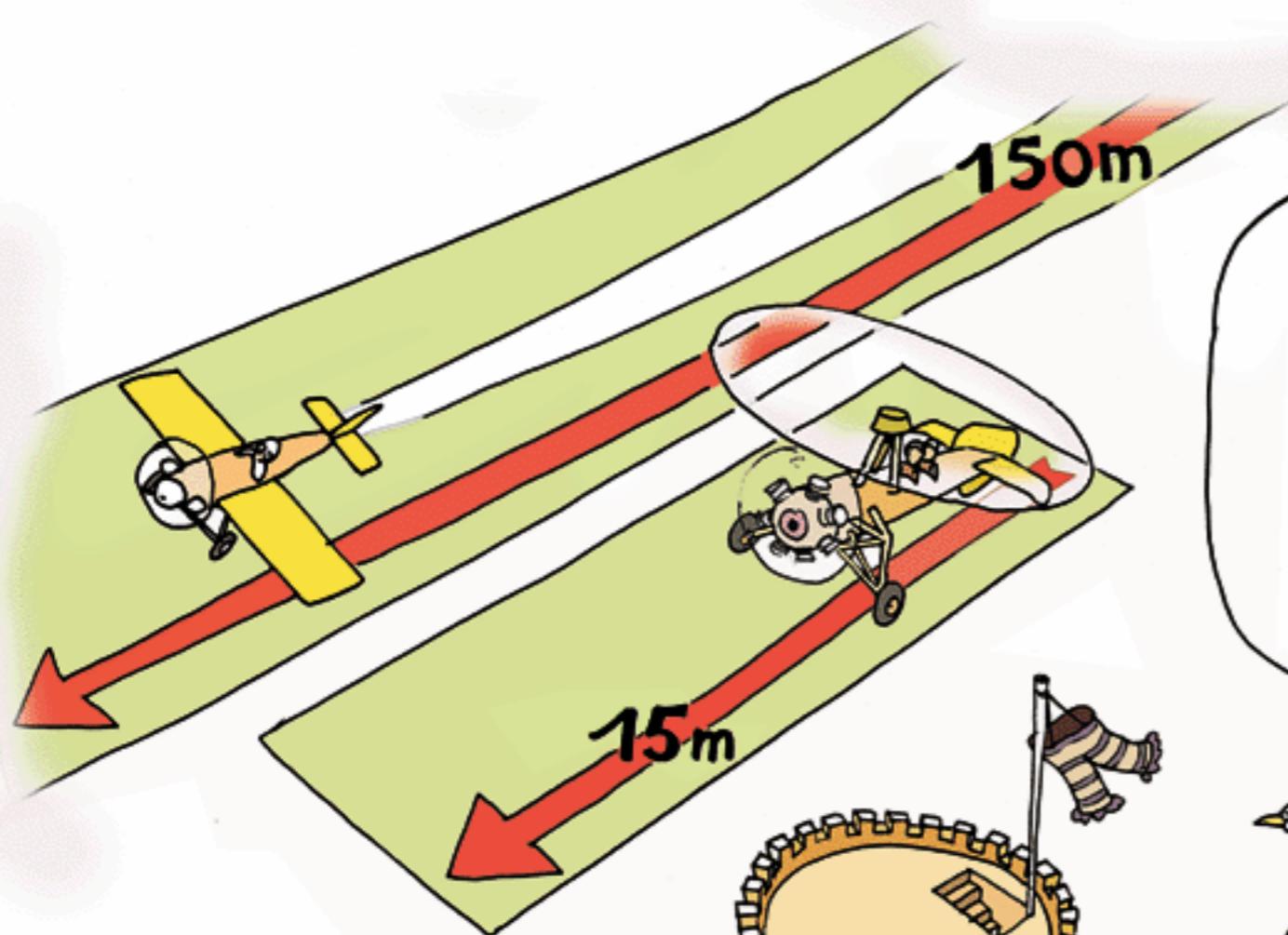


maintenant que le mystère de l'autorotation de son rotor est élucidé il reste à ajouter à tout cela un zeste d'obliété. Le rotor se comporte alors comme un disque à porosité décroissante, du centre vers sa périphérie

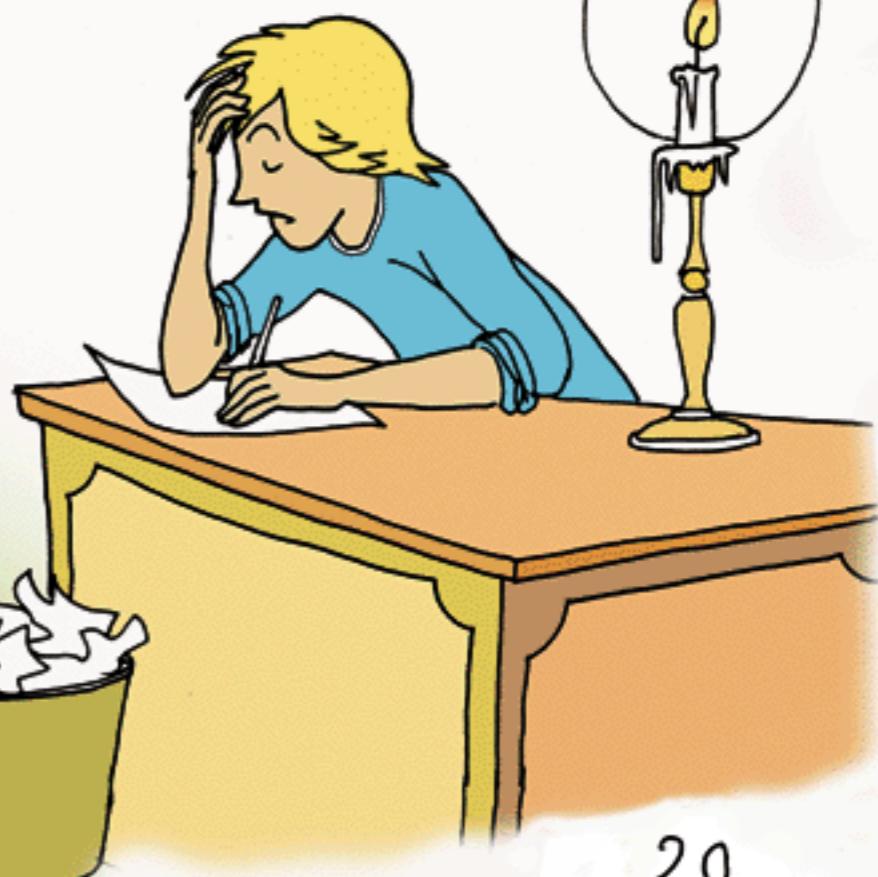
En somme l'autogire a un air de parenté avec un cerf-volant dont la toile aurait une porosité décroissante, du centre au bord, avec un gros trou au centre, par lequel passe de l'air turbulent

(*) et pour se mouve (Galilée)

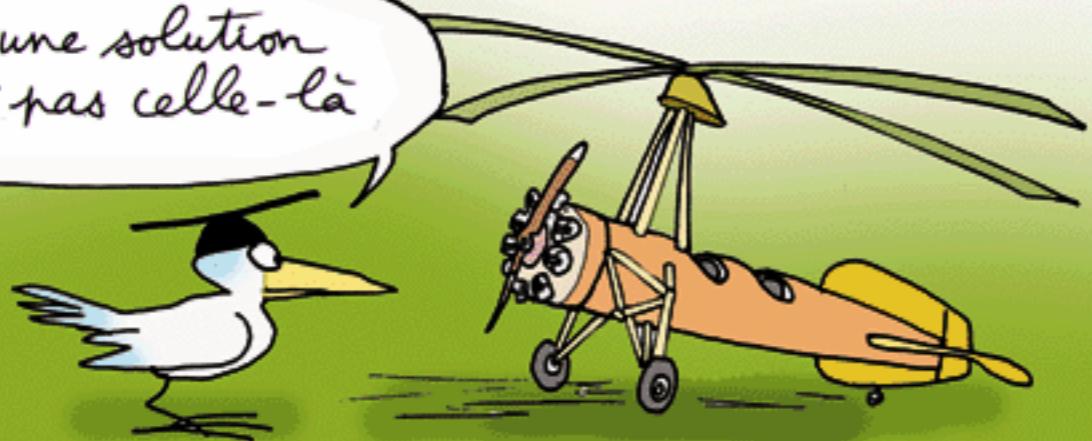




Résumons : l'avion a besoin de 150 mètres pour se poser. L'autogire peut se contenter de 15 mètres. Mais la terrasse de la tour est si étroite que, pour s'y poser, il faut vraiment opérer une descente verticale. Quelle machine volante peut faire une pareille chose ?



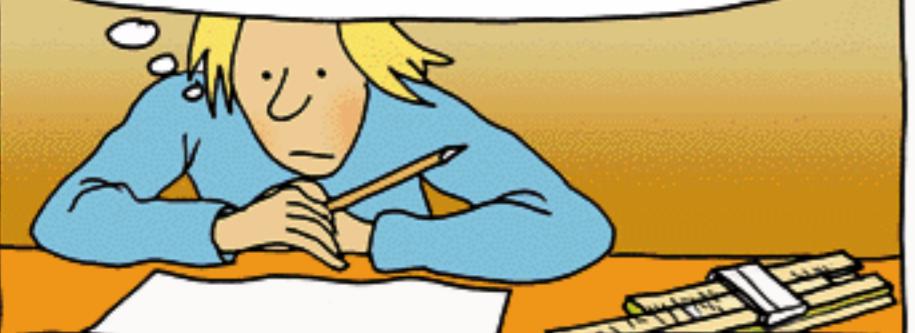
S'il y a une solution
ça n'est pas celle-là



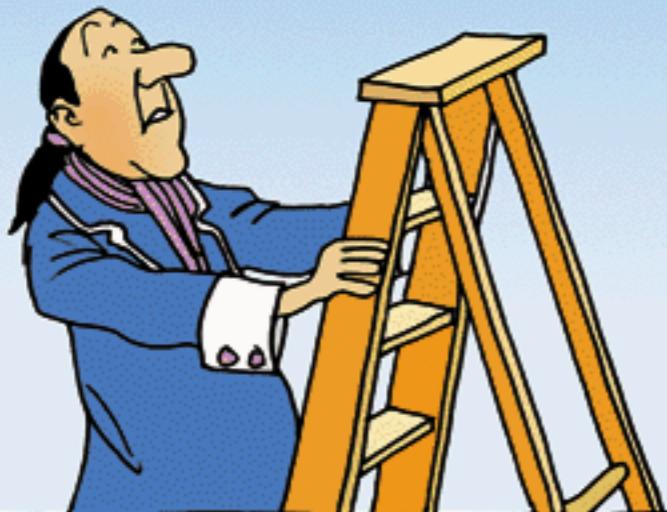




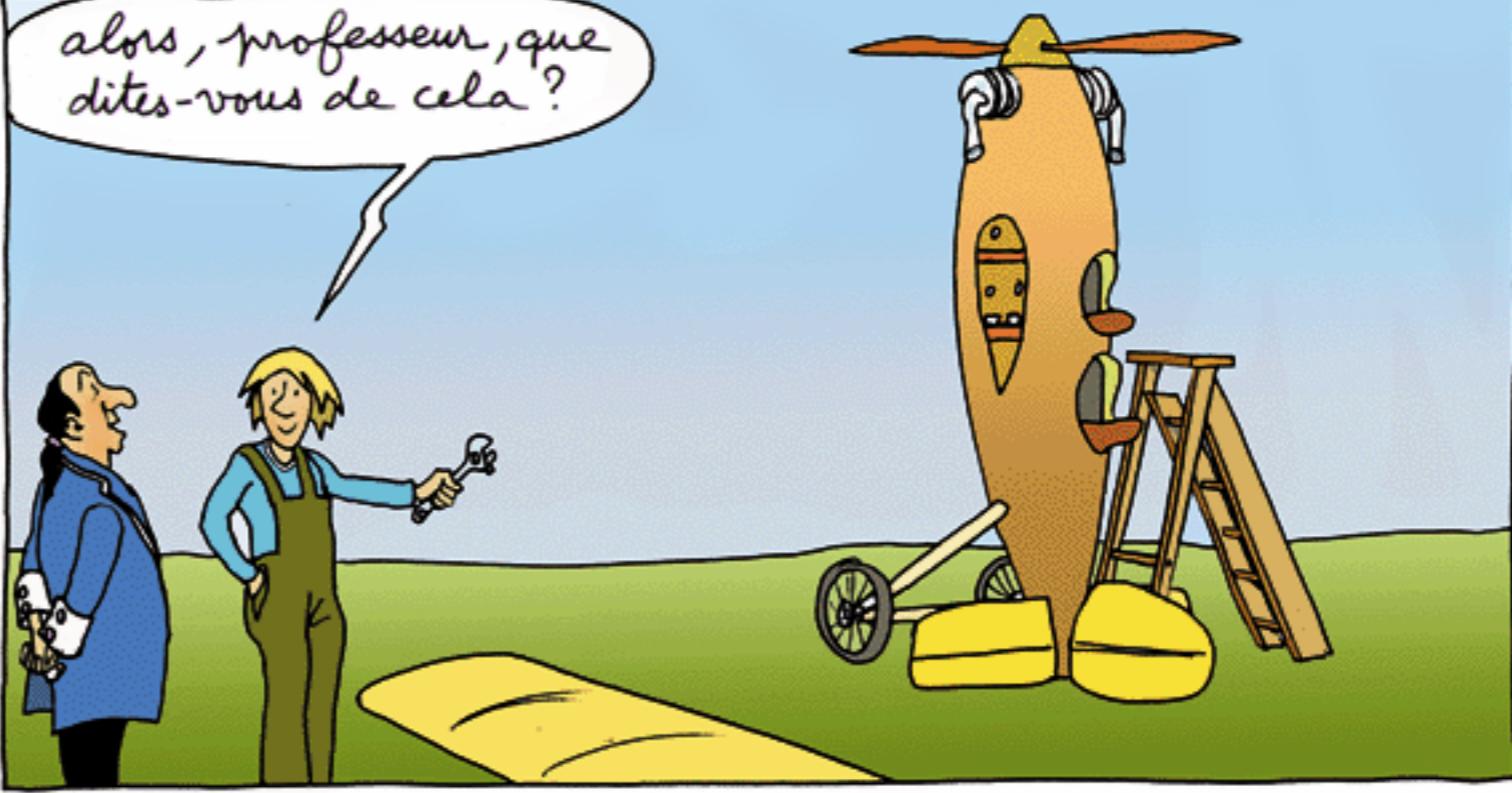
Finalement, ce pilote d'aéroplane n'avait pas tort en voulant cabrer son appareil. Le mieux serait de transformer son hélice tractive en dispositif de sustentation. Et alors, tant qu'à faire, autant enlever carrément les ailes



vous pouvez enlever l'échelle
je vais mettre les gaz à fond



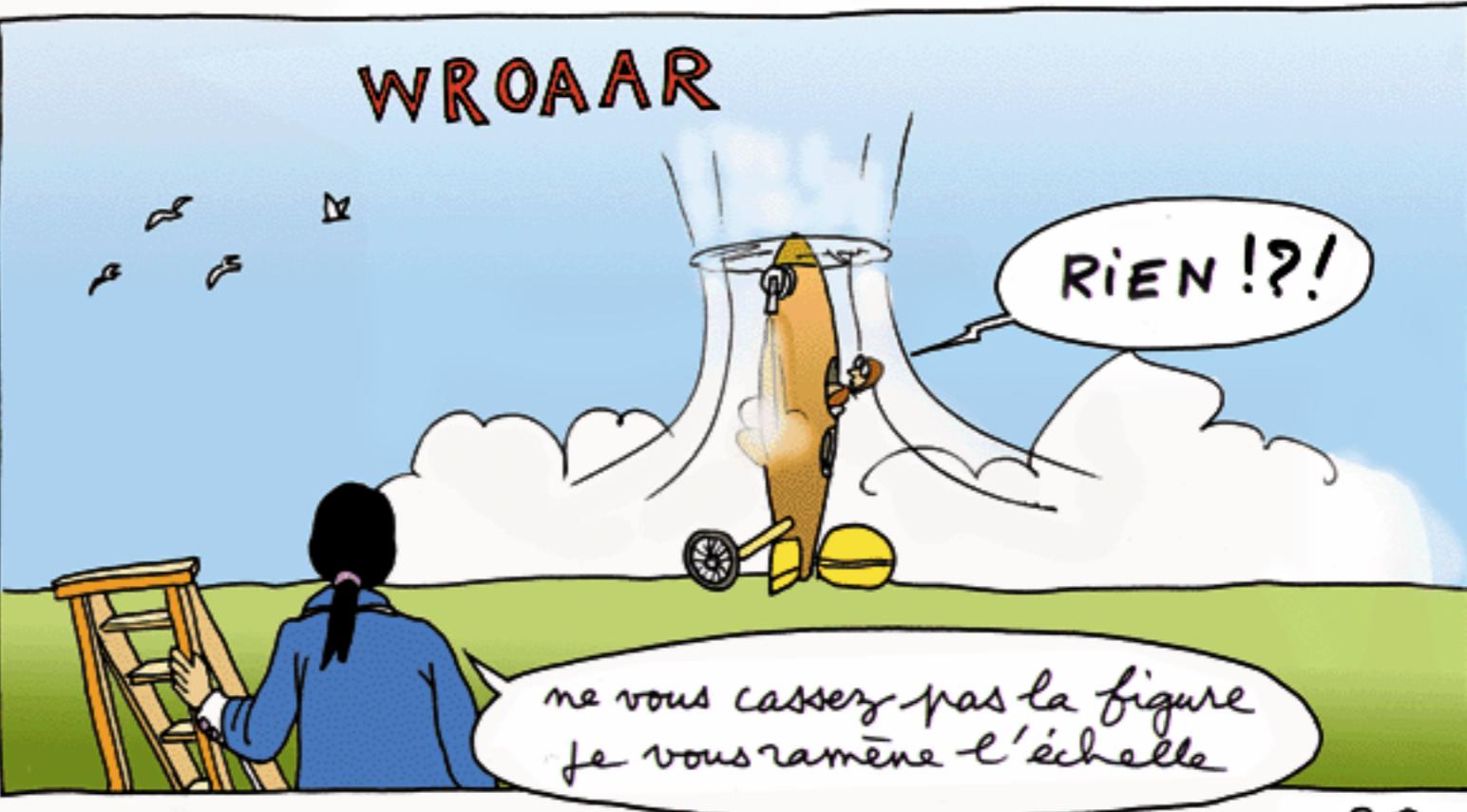
alors, professeur, que dites-vous de cela ?



WROAAR

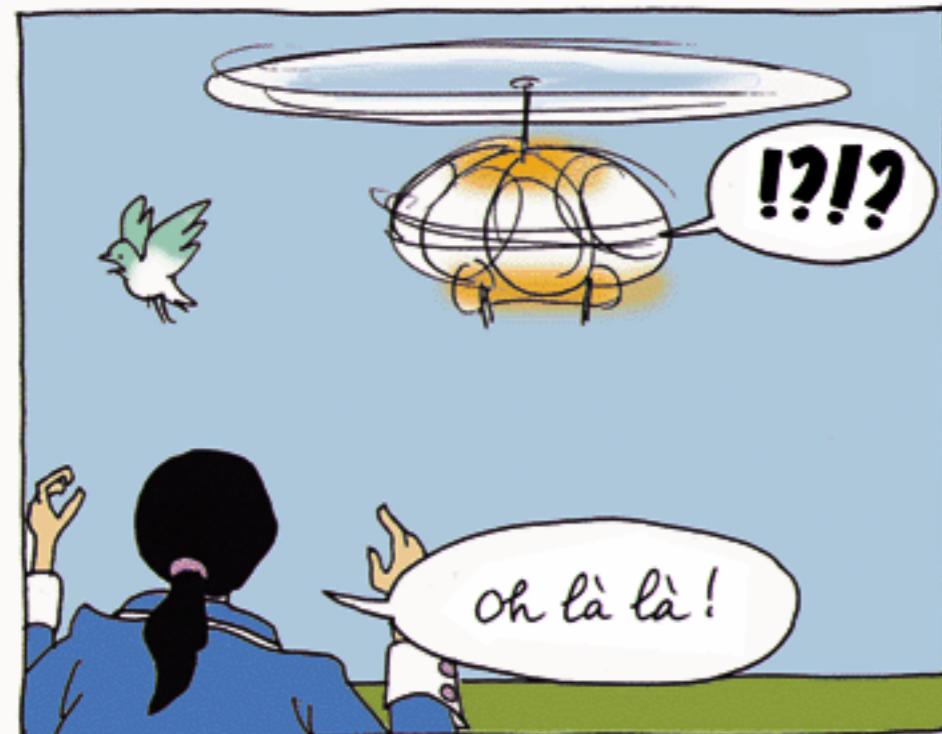
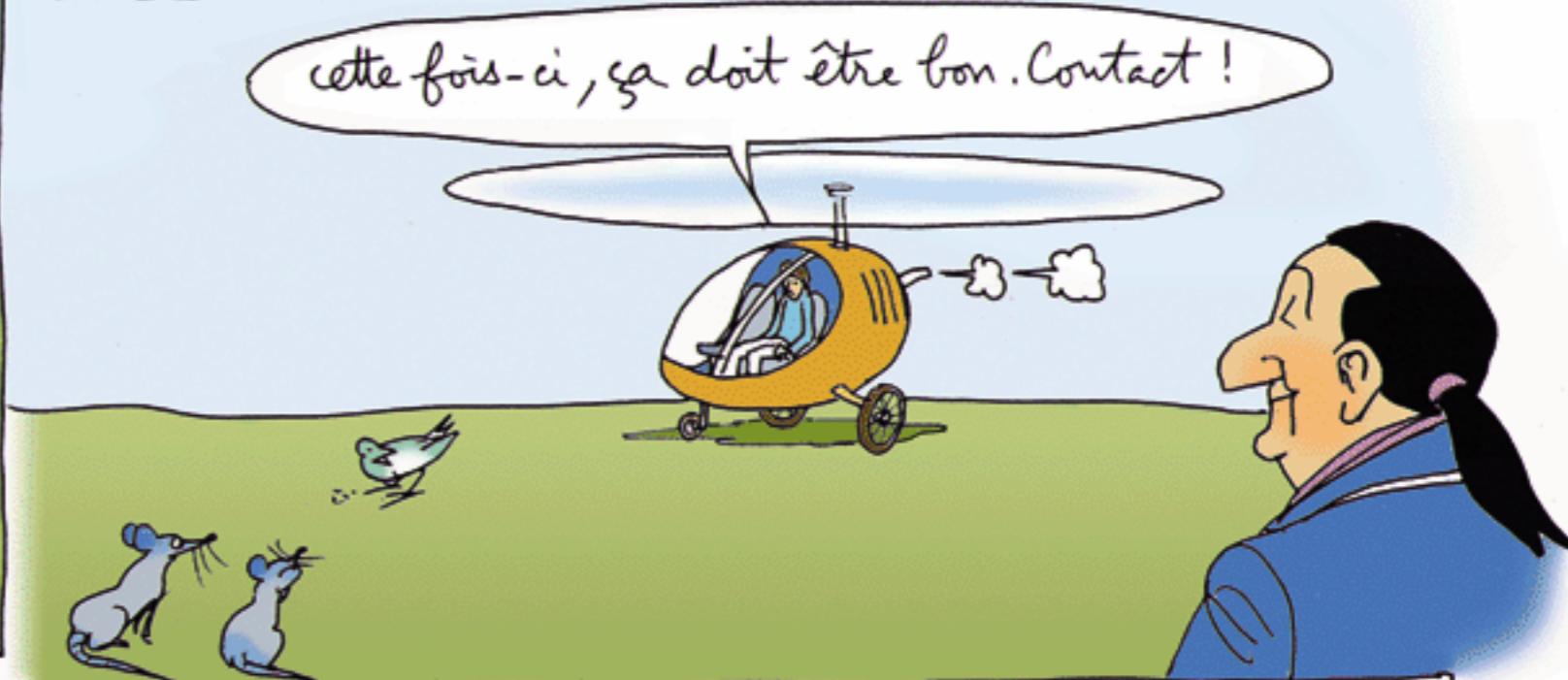
RIEN !?!

ne vous cassez pas la figure
je vous ramène l'échelle





LE COUPLE



(*) mais tout ce qui suit vaut pour 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8... pales

quelle pénible expérience, mon maître. J'ai eu l'impression que ma cervelle tournait à l'intérieur de ma pauvre tête !



voici un hélicoptère autostable, doté de deux rotors contrarotatifs dont l'un est solidaire du fuselage tournant

feuille de bristol
dérive montée "folle"
corde à piano, acier 5/10°

billes rondelles

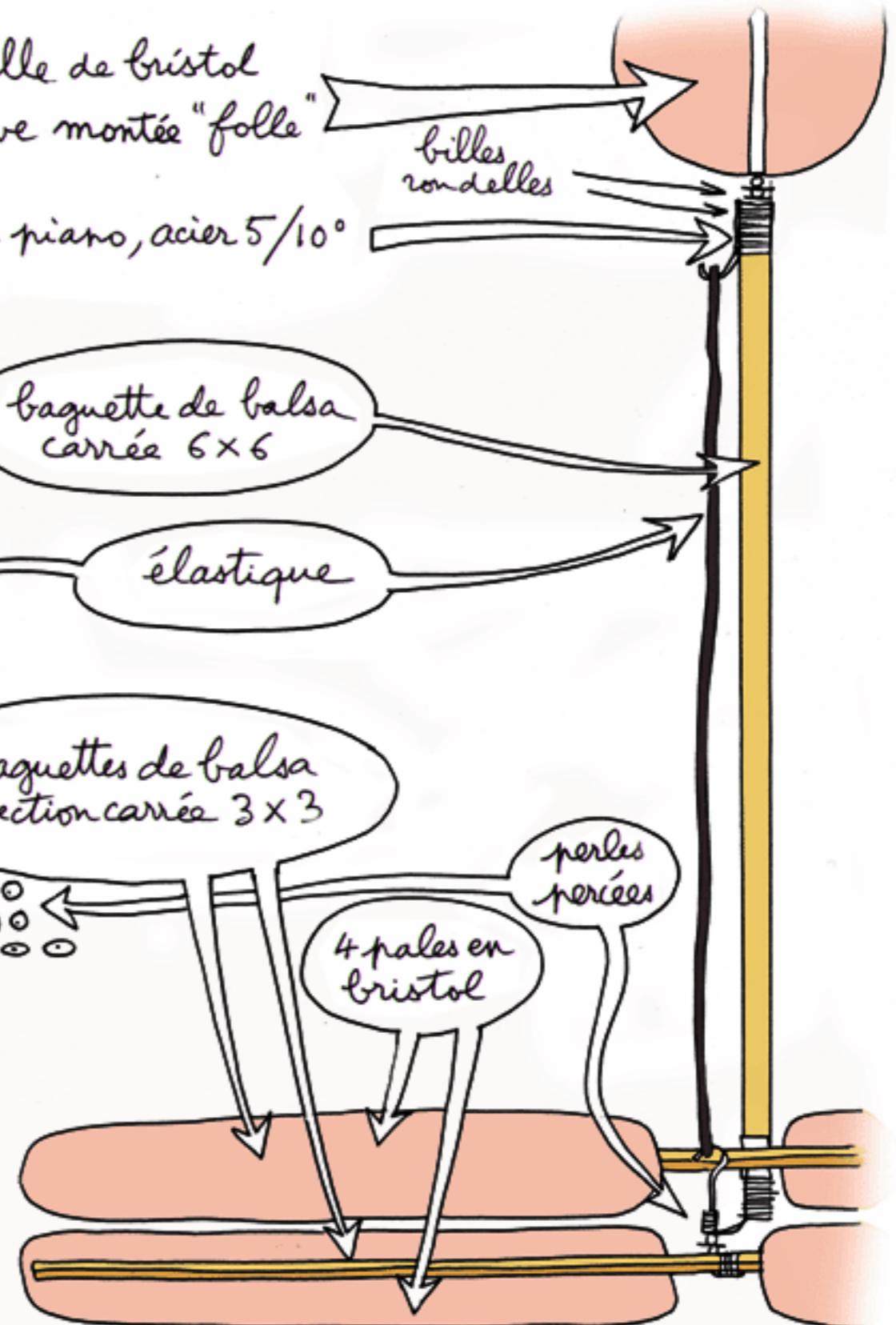
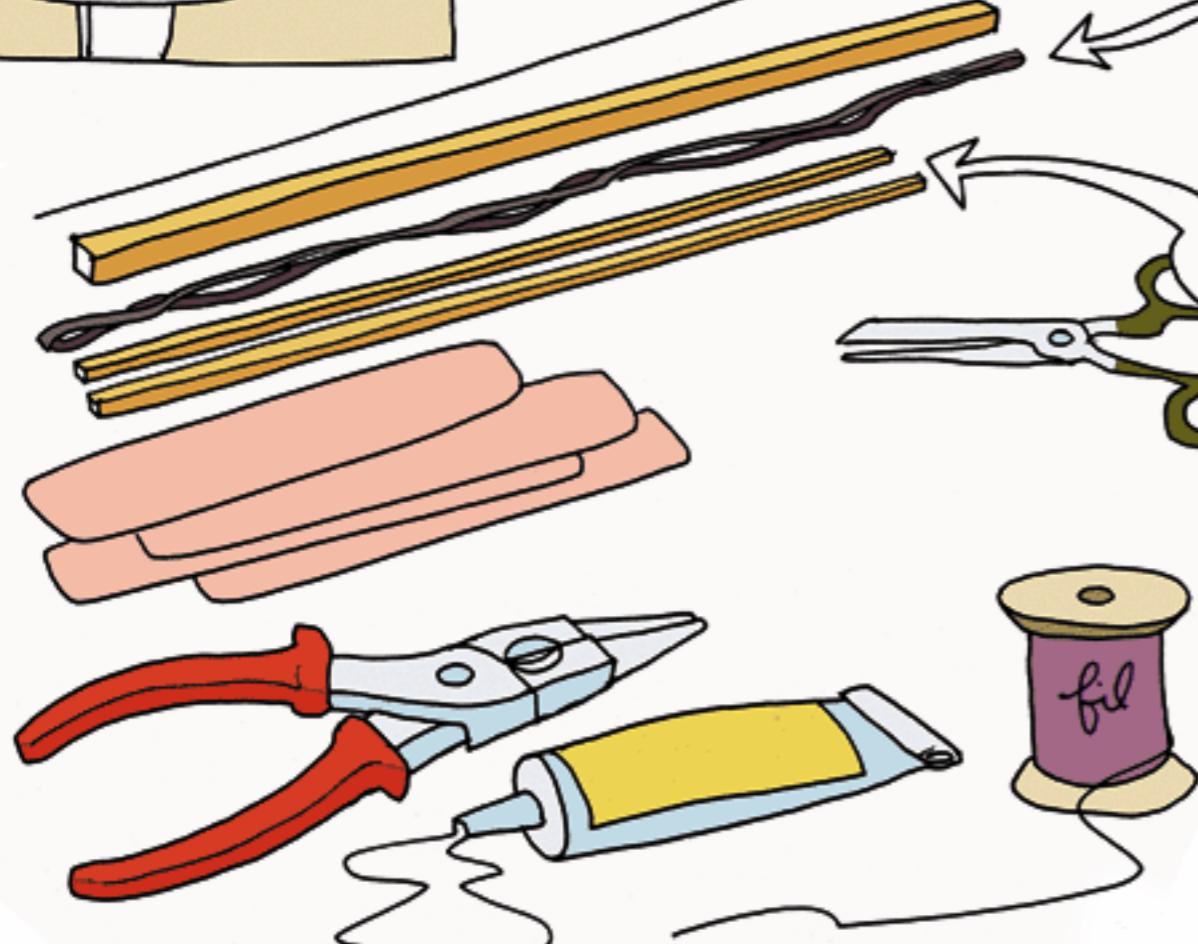
baguette de balsa
carree 6x6

élastique

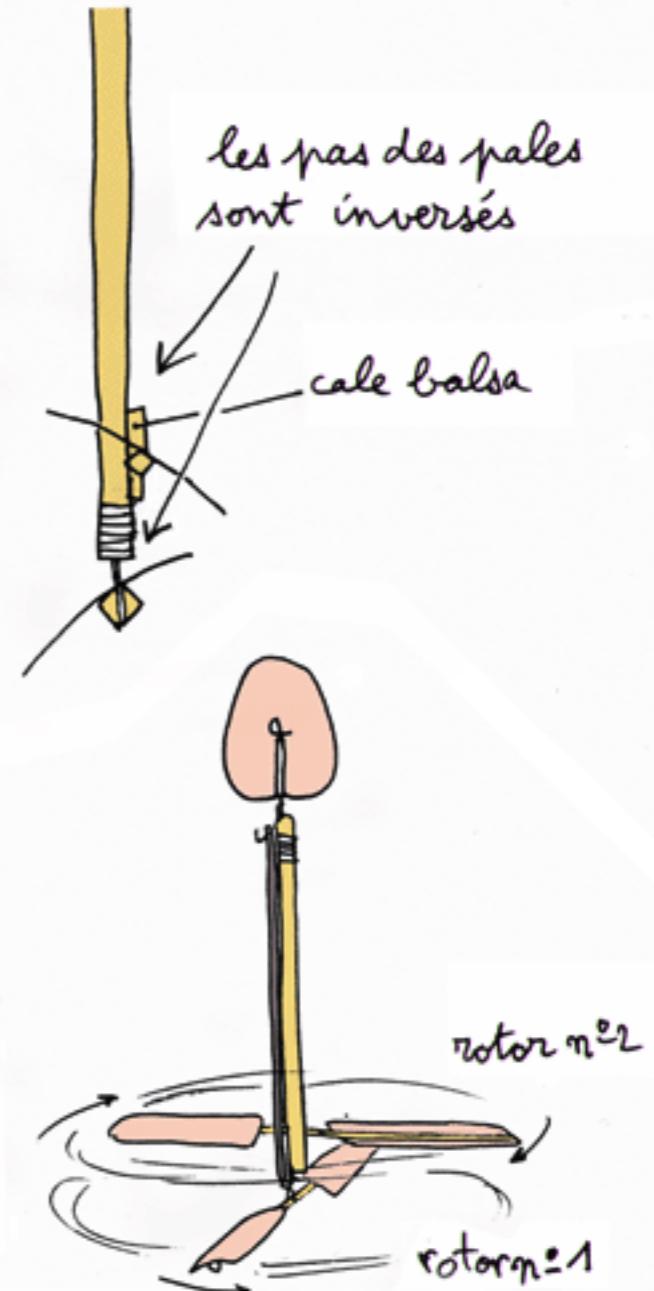
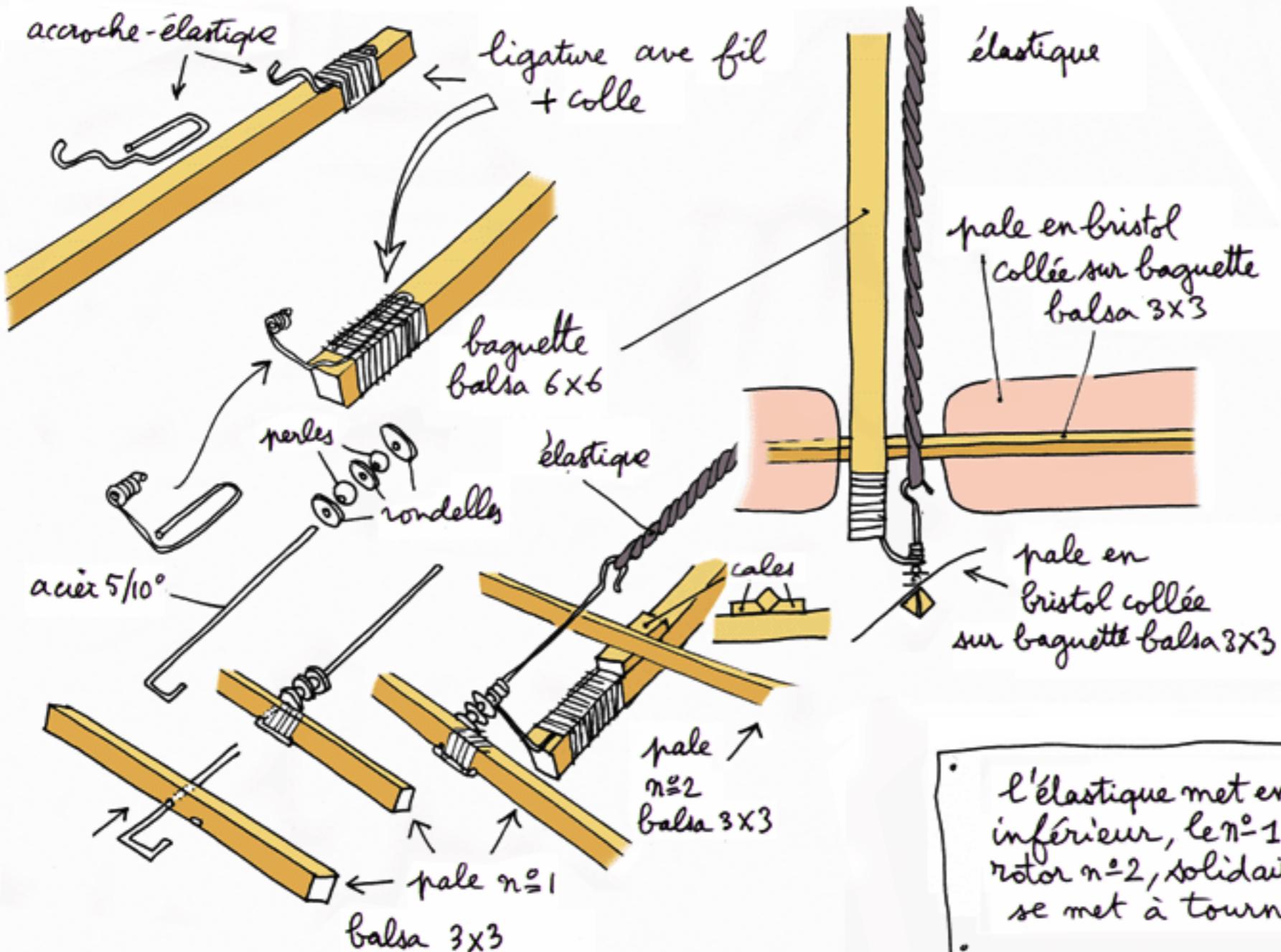
2 baguettes de balsa
de section carree 3x3

perles perées

4 pales en
bristol

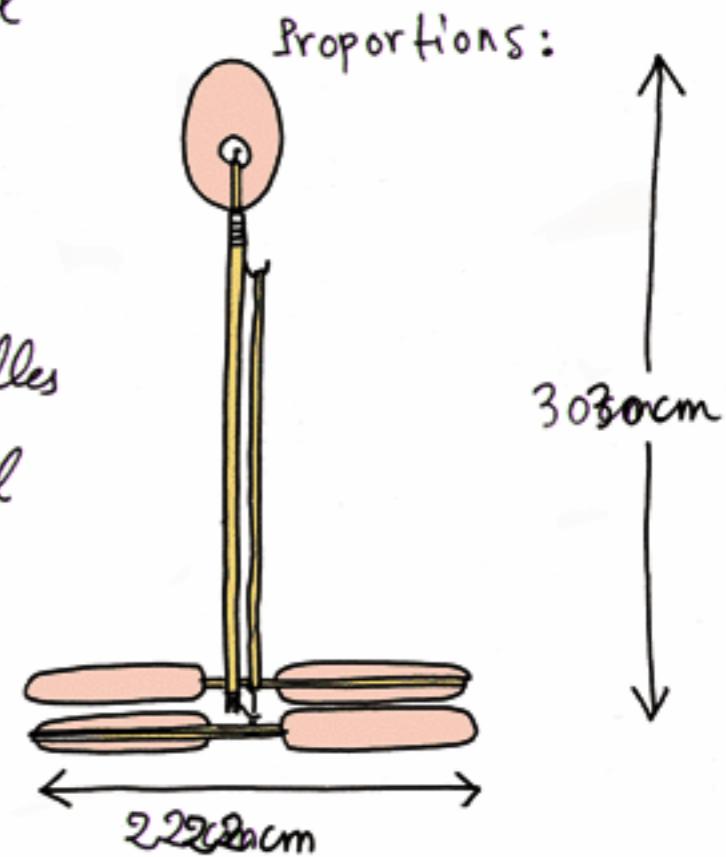
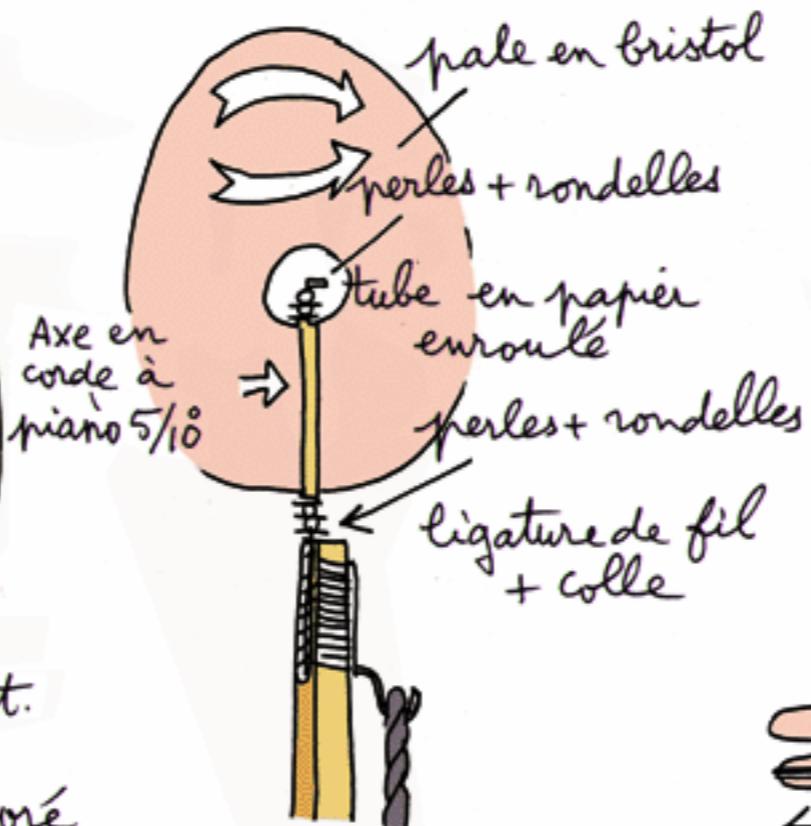


La partie délicate consiste à tordre la corde à piano en se servant de DEUX pinces, de manière à fabriquer ces éléments :

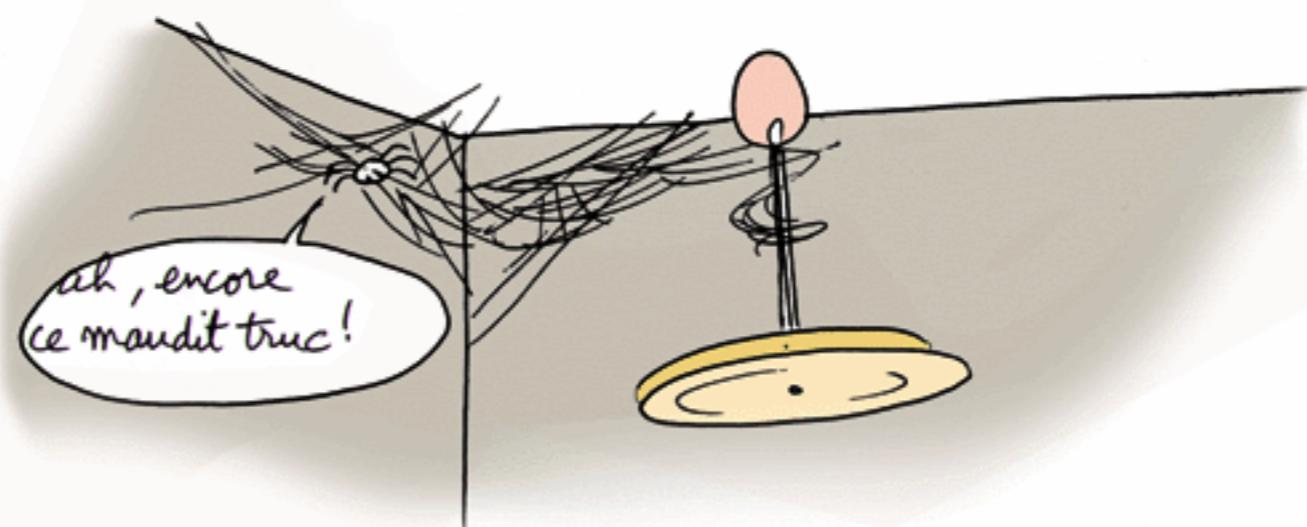
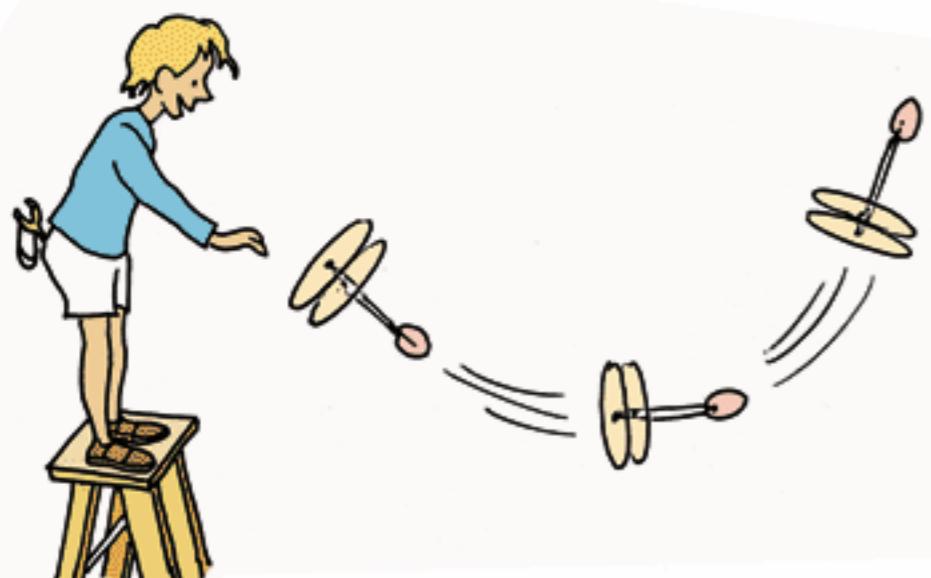


l'élastique met en mouvement le rotor inférieur, le n°1. Du fait du couple, le rotor n°2, solidaire de la baguette-fuselage, se met à tourner en sens inverse

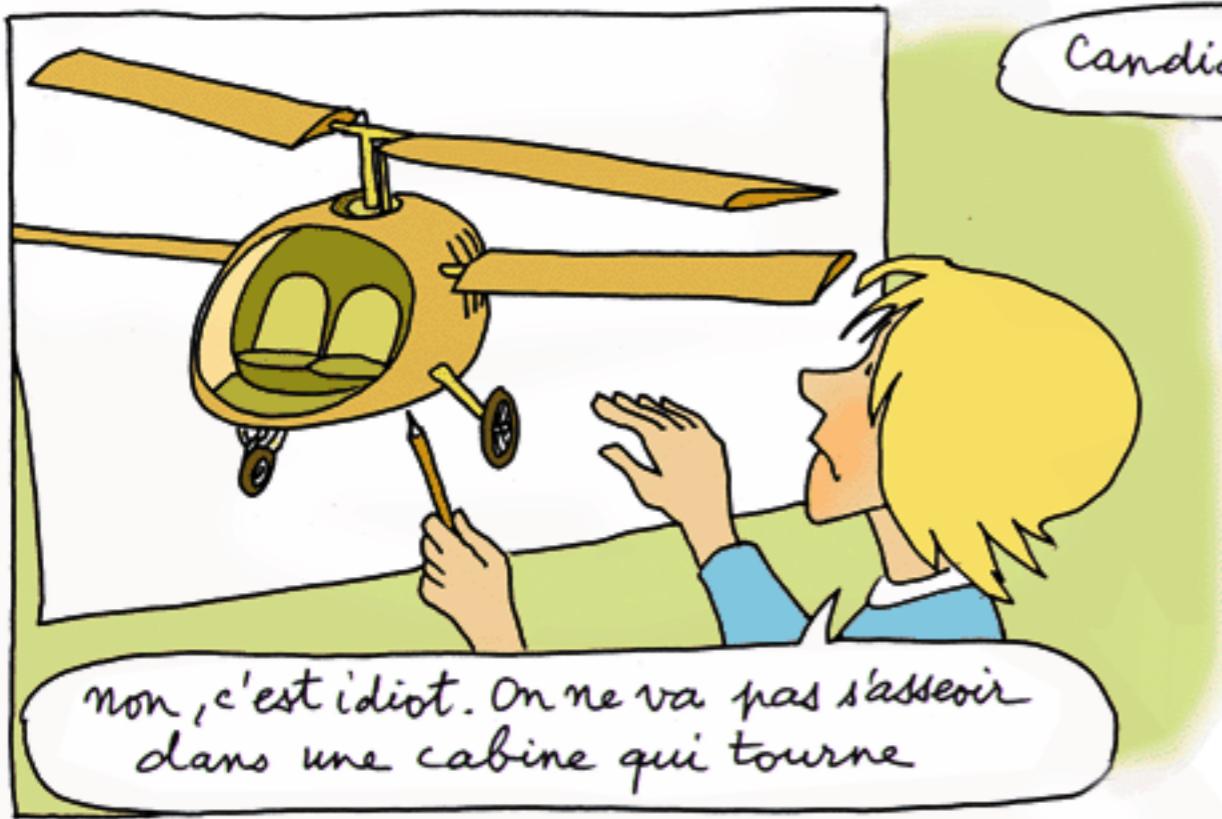
Montage de la pale supérieure,
qui rend l'engin autostable



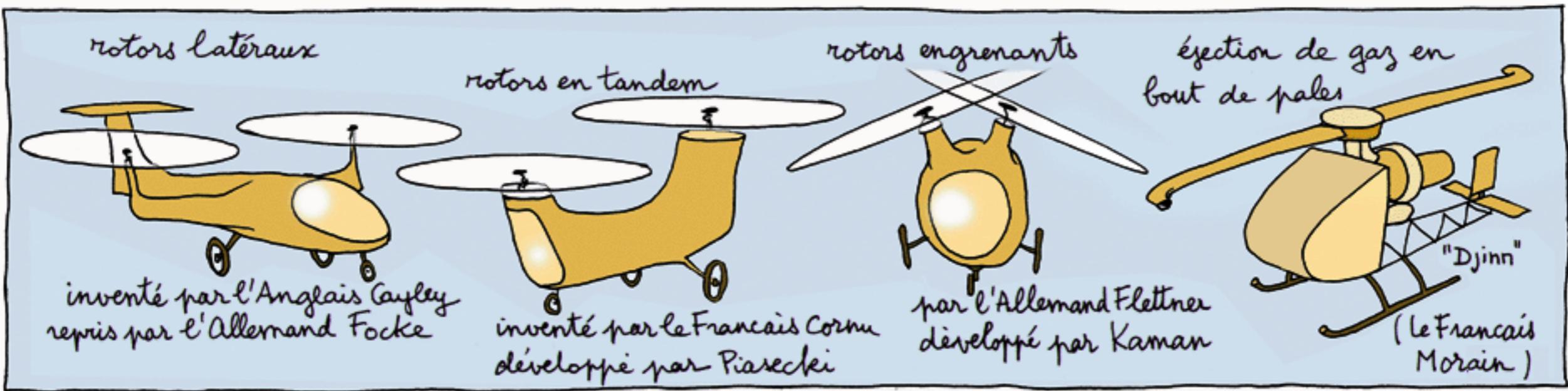
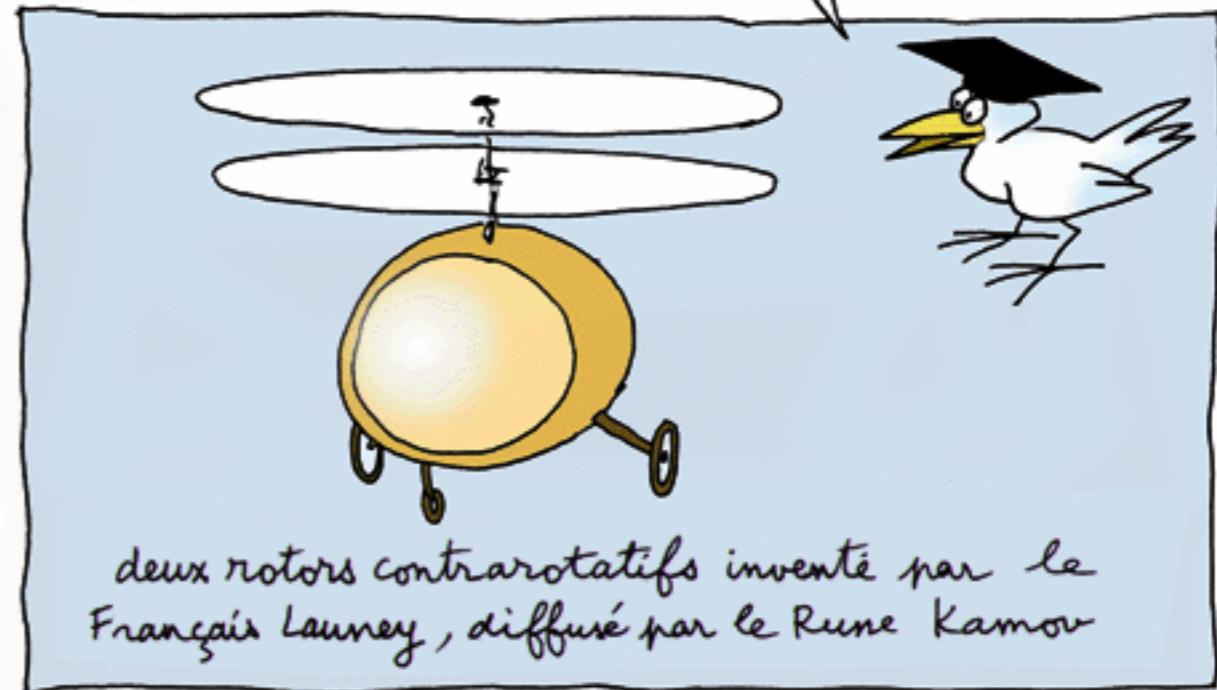
quand l'hélicoptère s'incline, il part sur le côté. L'effort sur la pale supérieure le redresse aussitôt. Lioré à lui-même, il monte en se dandinant (*)



(*) Quand j'étais enfant, j'utilisais cet engin pour enlever les toiles d'araignées accrochées aux hauts plafonds du château de Thiols, dans les deux-Sèvres (France)

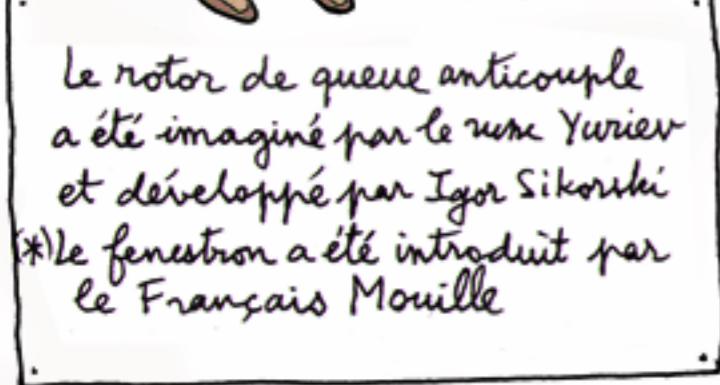
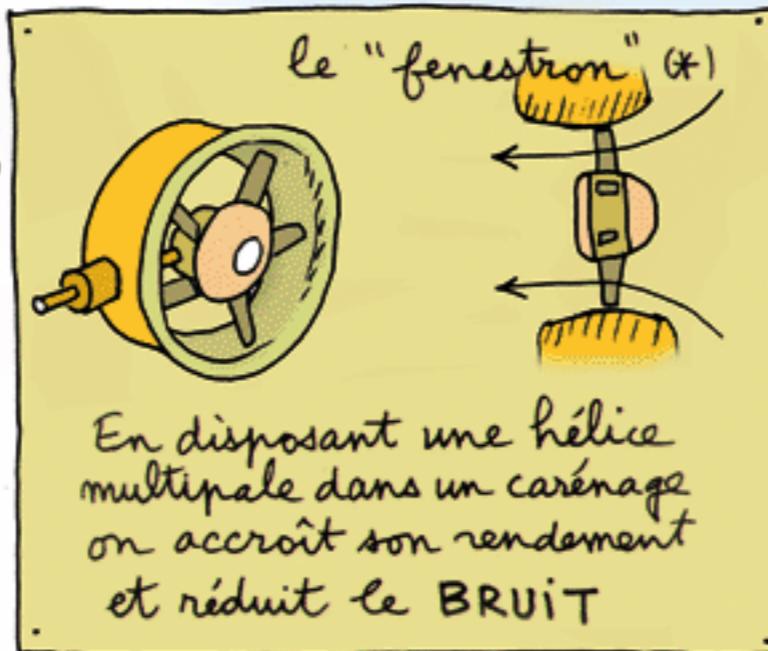


Candide envisage différentes solutions



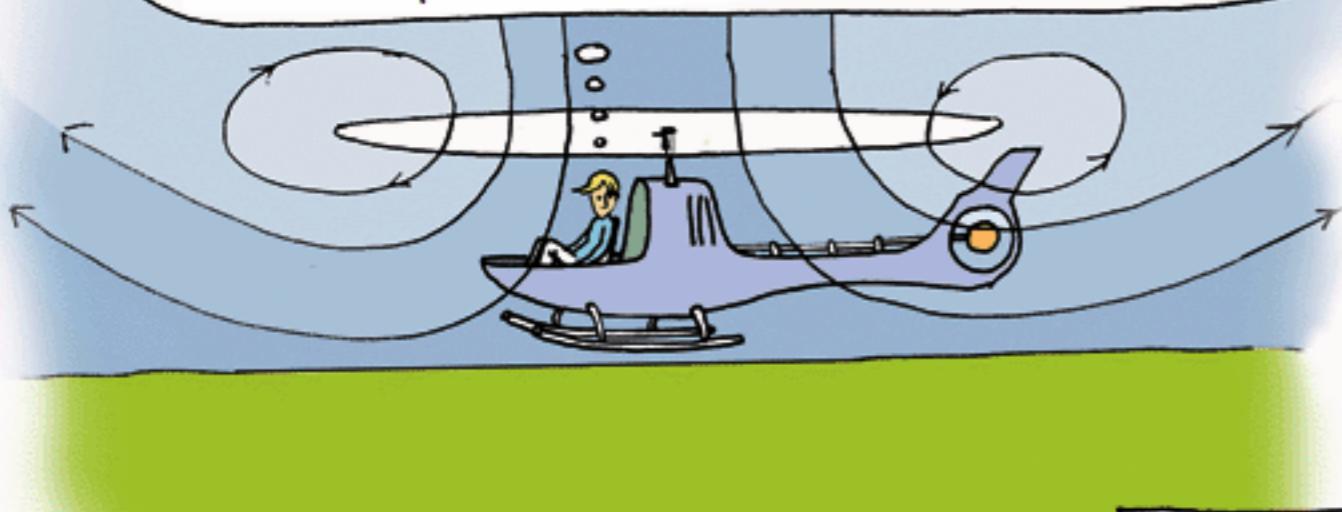
Yves le Bec a écrit, en l'illustrant d'excellents dessins, un ouvrage intitulé "La véritable histoire de l'hélicoptère, de 1486 à 2005, publié aux éditions Ducret SA, CH-1022 Chavannes-près-Renens ISBN 2-8399-0100-5. Vous y trouverez tous les modèles d'hélicoptères imaginés par les hommes.

je vais mettre un rotor anticouple au bout d'un empennage. En le couplant mécaniquement au rotor principal cela devrait marcher. Quand j'augmenterai le régime du moteur, le rotor de queue suivra et la compensation du couple sera assurée automatiquement

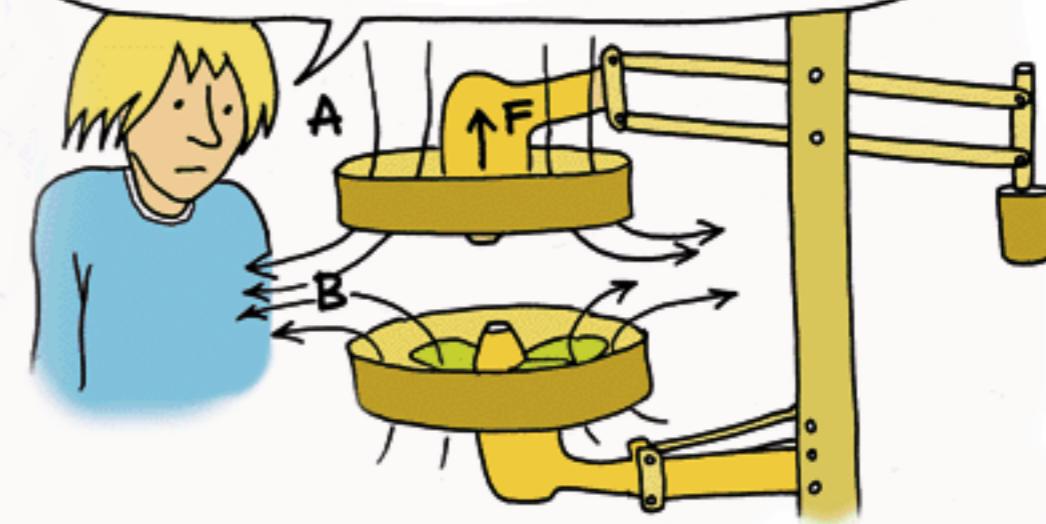


EFFET DE SOL

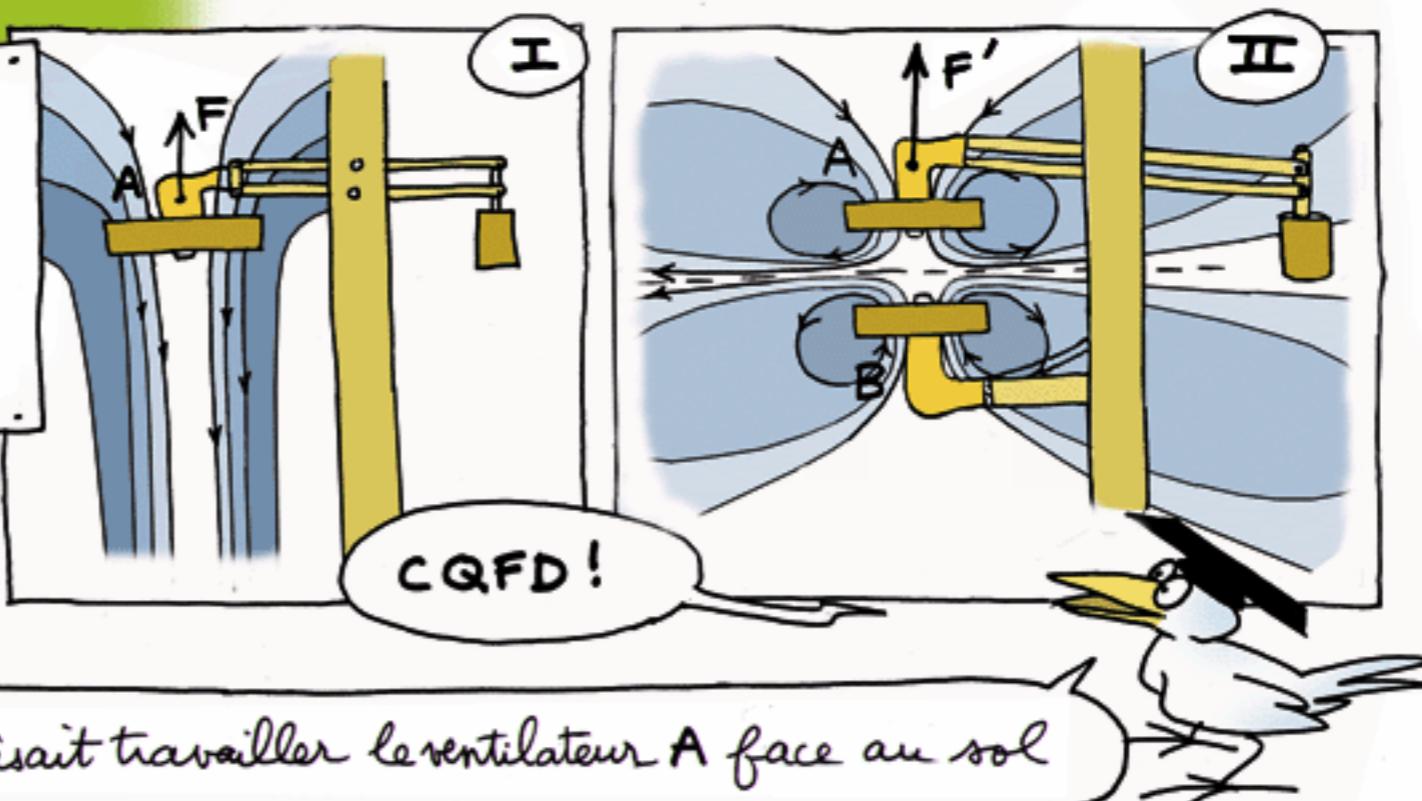
c'est curieux. Près du sol j'arrive à me maintenir avec une puissance sensiblement plus faible (*)



cette machine n'est rien d'autre qu'un bon gros ventilateur. Je vais en faire travailler deux en les mettant face à face



À régime égal la force ascensionnelle qui s'exerce sur le ventilateur A est plus importante quand il travaille face au ventilateur B, qui pousse l'air dans l'autre sens que si le ventilo A est seul



l'écoulement II est le même que si on faisait travailler le ventilateur A face au sol

(*) L'effet de sol devient important quand le rotor est à une distance du sol égale ou inférieure à la moitié de son diamètre

"PRENDRE DES TOURS"

Mon rotor a un pas fixe. Mais quelle valeur choisir ? Plus le pas, l'incidence des pale est élevée plus la **TRAINÉE** qui freine la rotation de la pale est importante



Si mon moteur, pour une raison quelconque, subit une perte de puissance, la trainée va ralentir sa rotation(*) Si la vitesse correspondant au **VENT RELATIF** diminue, le décrochage va s'étendre à tout le profil. Et si cela se produit, adieu baraque. Il faudrait immédiatement réduire le pas en mettant les gaz à fond, pour maintenir à tout prix le régime du rotor, pour regagner des tours



qui'est ce qu'il dit?



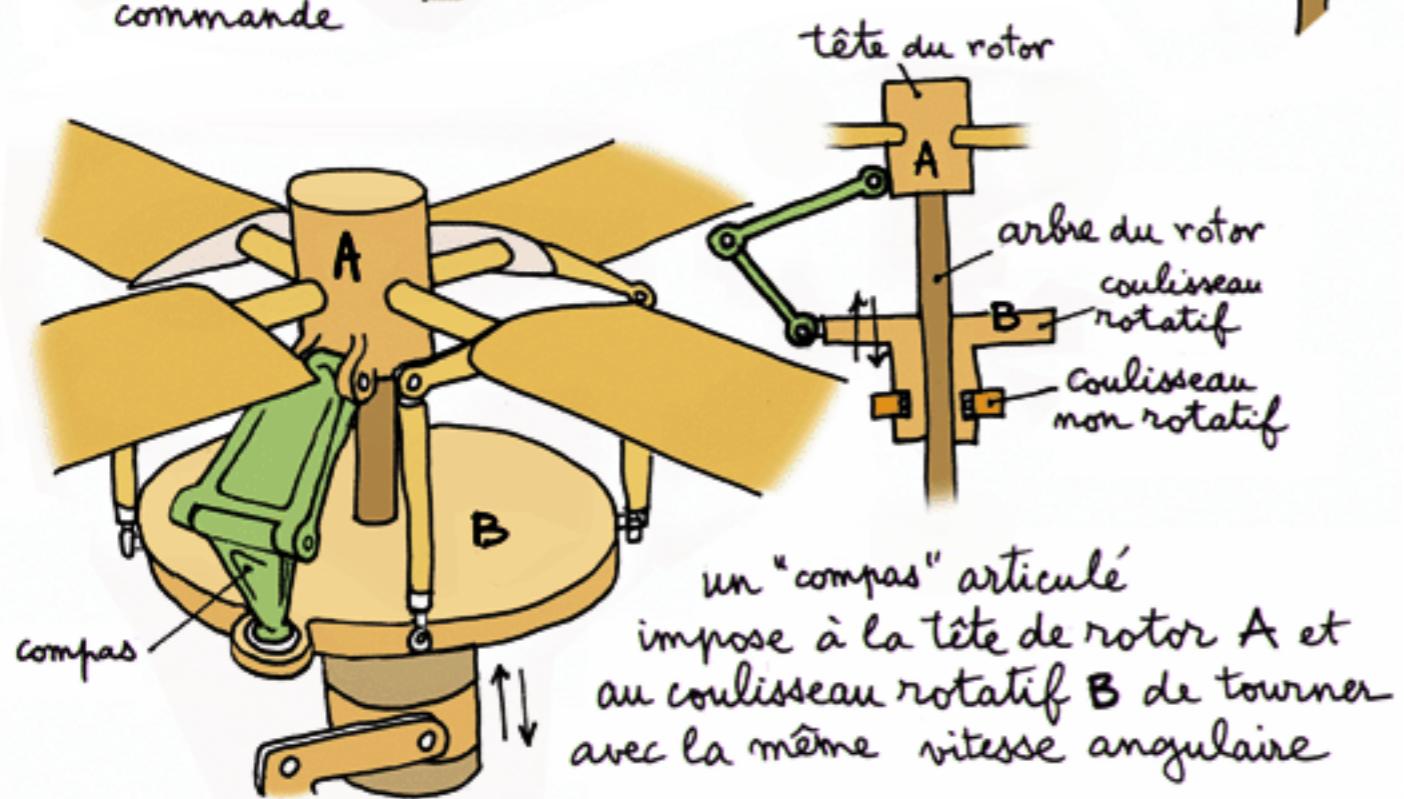
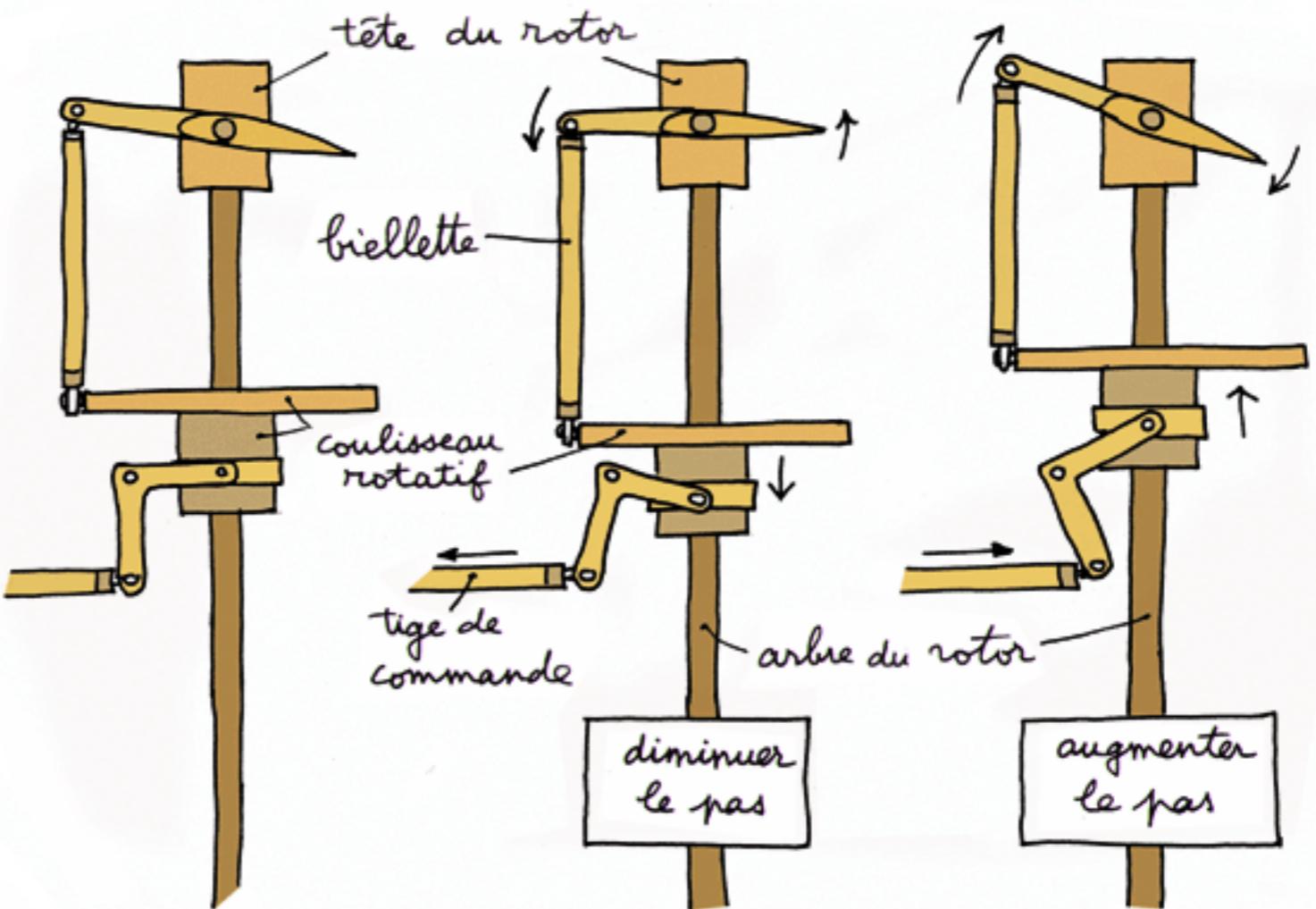
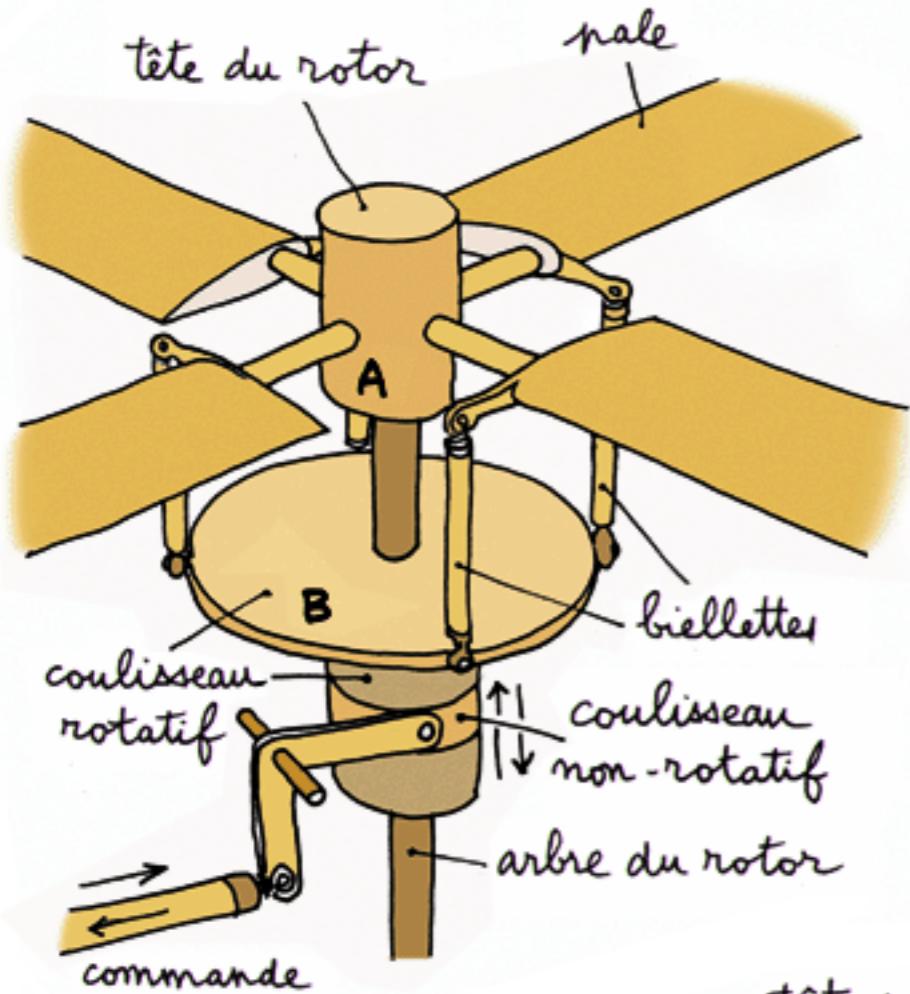
Ça ne te concerne pas.
Tu n'as pas une voilure
tournante, que je sache ?

Euh, je ne crois pas...

il faut que je puisse modifier le
pas, c'est-à-dire l'angle d'attaque des
pales quand je serai en vol



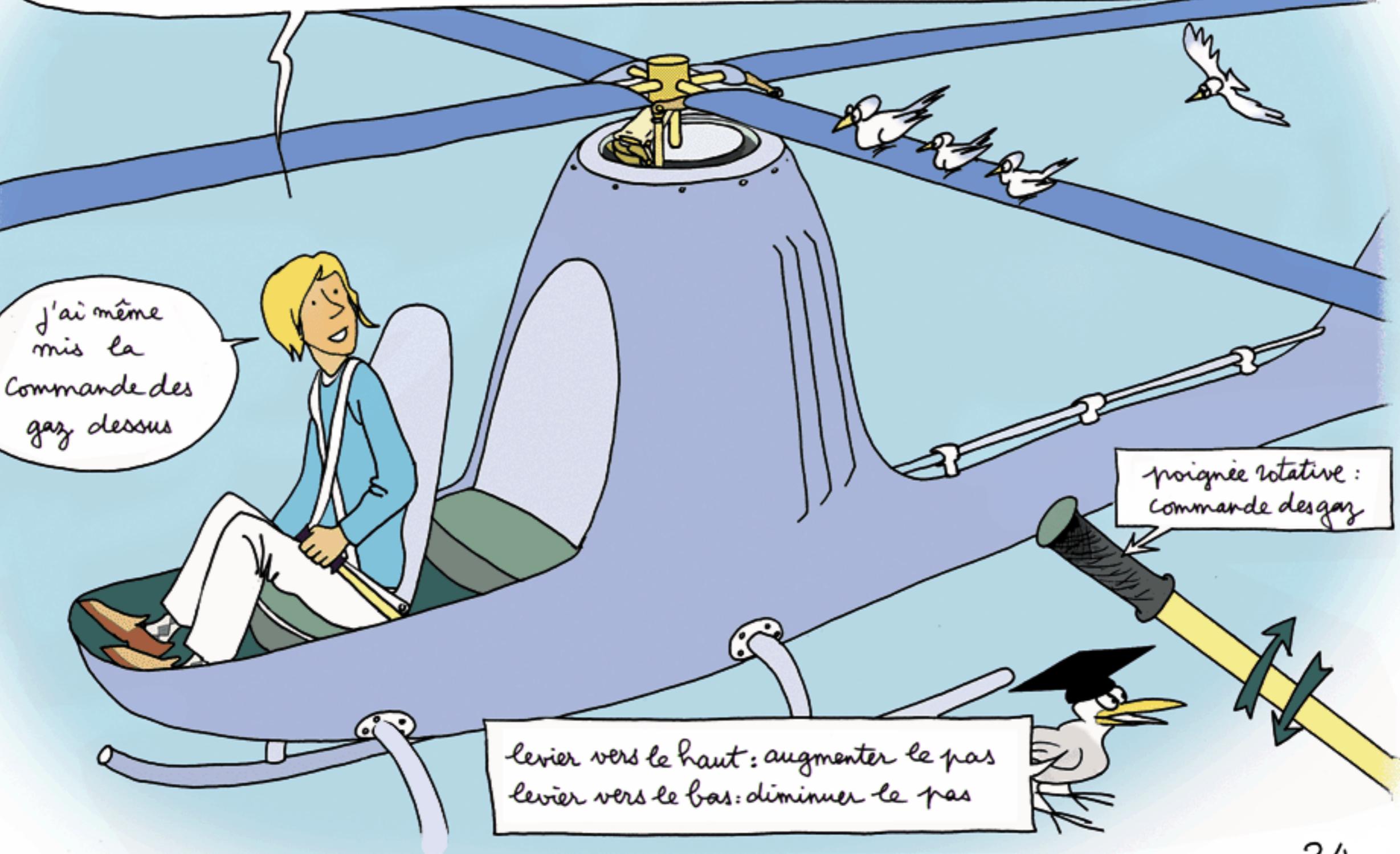
(*) un rotor dont le moteur cesserait brutalement de fonctionner serait dangereusement ralenti en... une seconde !

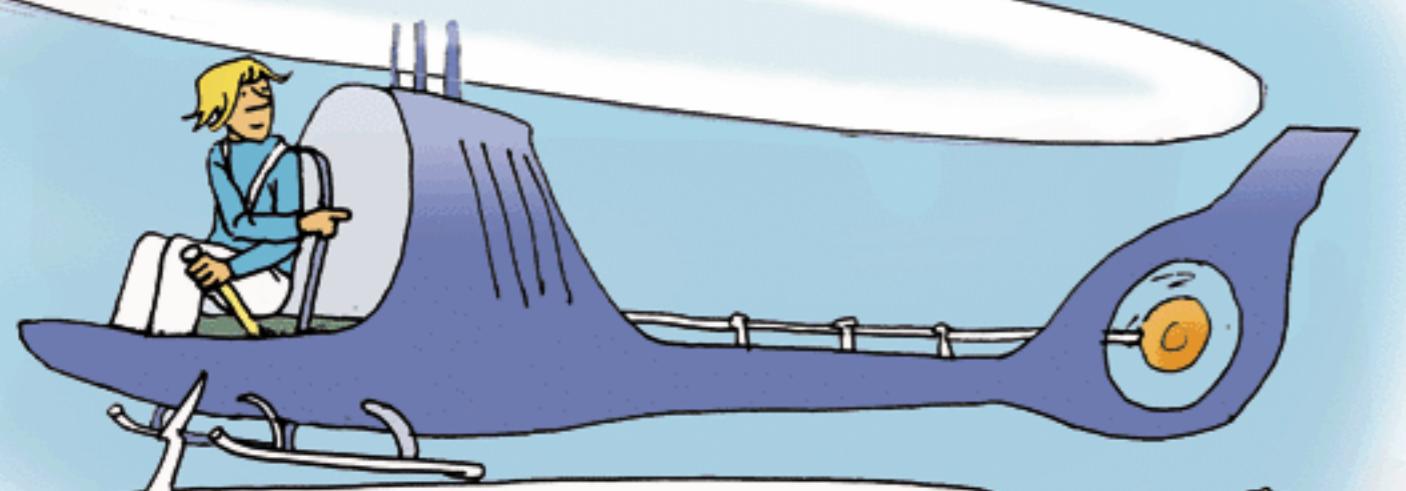


avec un système de ce genre on peut faire varier collectivement le pas des pales d'un rotor en agissant sur un coulisseau non rotatif B, lié par un palier à billes à un coulisseau rotatif A, lequel retransmet l'ordre aux pales par l'intermédiaire de biellettes

La Direction

j'ai adapté une tringlerie de commande qui me permet de faire varier à volonté le pas général à l'aide d'un levier, à partir de mon cockpit





j'ai adapté le même système sur le rotor de queue, anticouple, pour éviter de faire des embardées quand je modifie le pas général. Et j'ai adjoint une commande aux pieds, par palonnier, qui me permet de tourner sur place

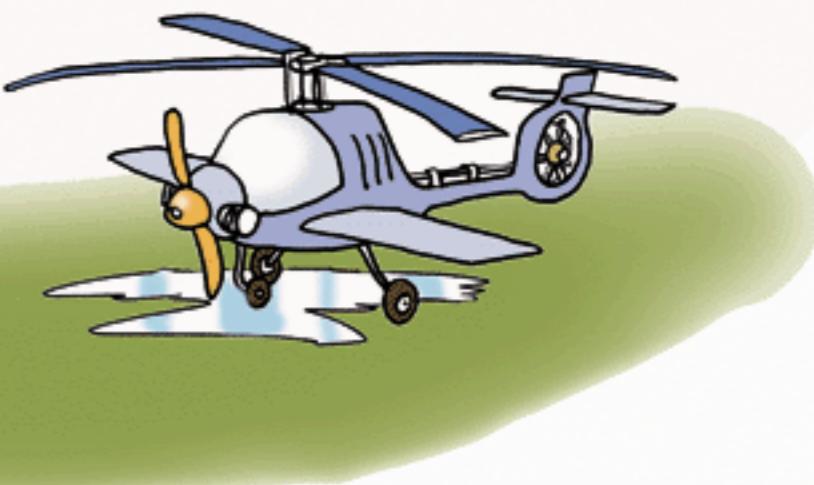
quoi ?
J'entends rien ...

Bien. J'ai conçu cette machine volante capable de nous emporter, Cunégonde et moi. Je peux monter, descendre, tourner sur moi-même à volonté. Reste une question = Comment avancer ?

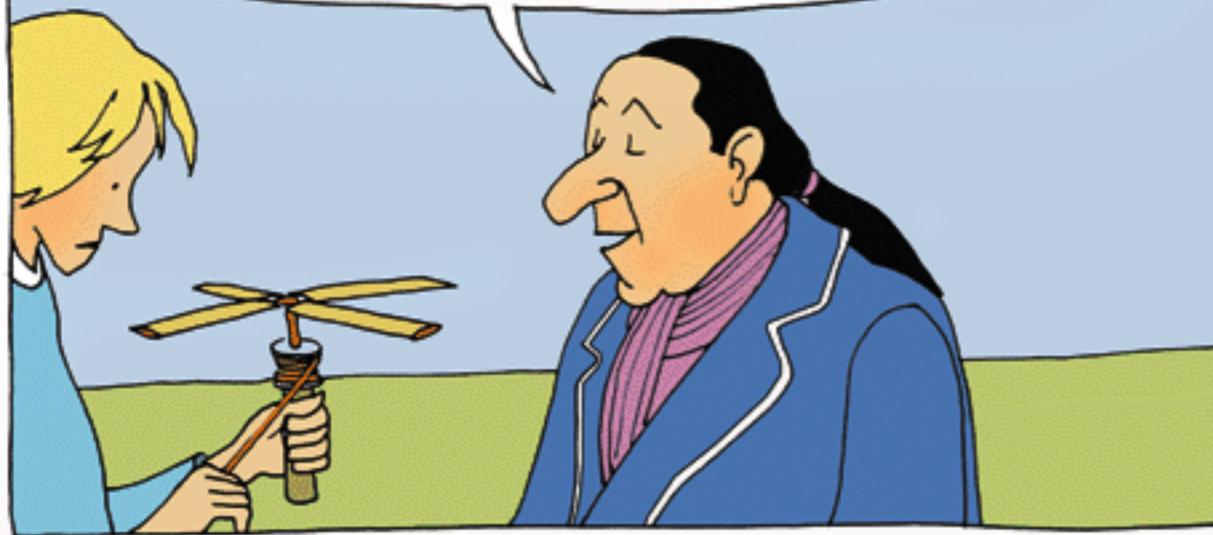


Pourquoi ne pas ajouter une hélice, des gouvernes ?

tout cela me paraît bien compliqué



ça, c'est la toupie volante, inventée par l'Anglais Georges Cayley en 1796



oh, regardez !

Si je pouvais incliner le rotor la machine se déplacerait toute seule horizontalement

vous pourriez peut-être vous déplacer dans la cabine. Cela modifierait la position du centre de gravité

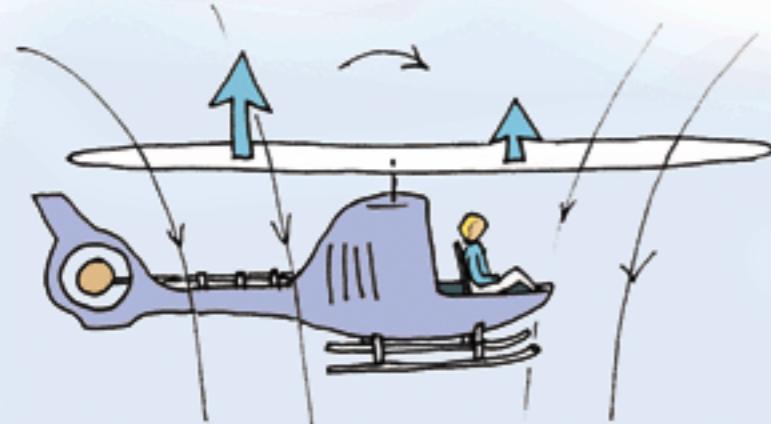


et quand Cunégonde monterait à bord, comment équilibrer tout cela ! ?!

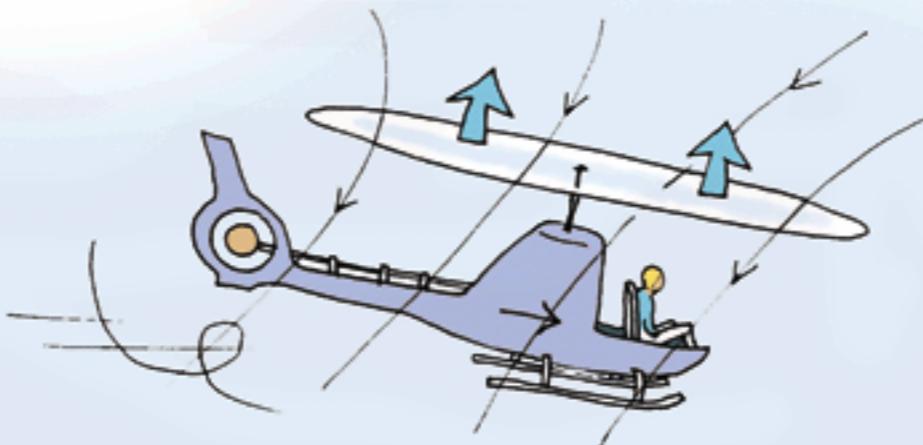
je pense à une autre solution



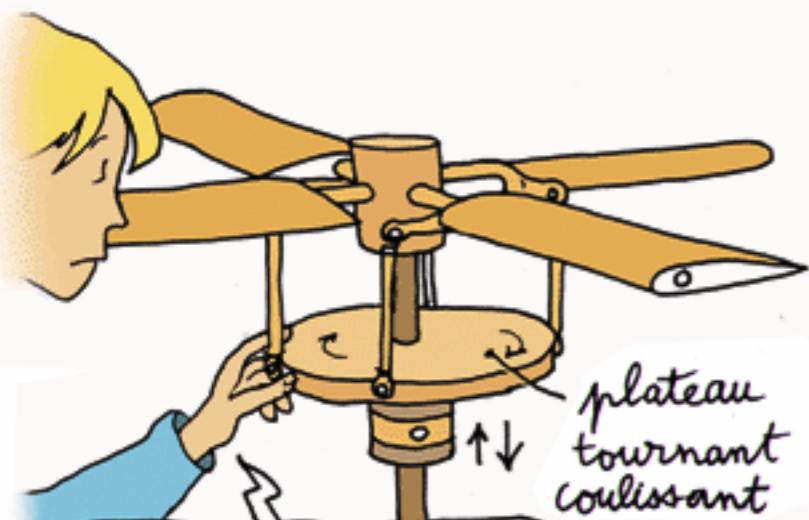
STATIONNAIRE



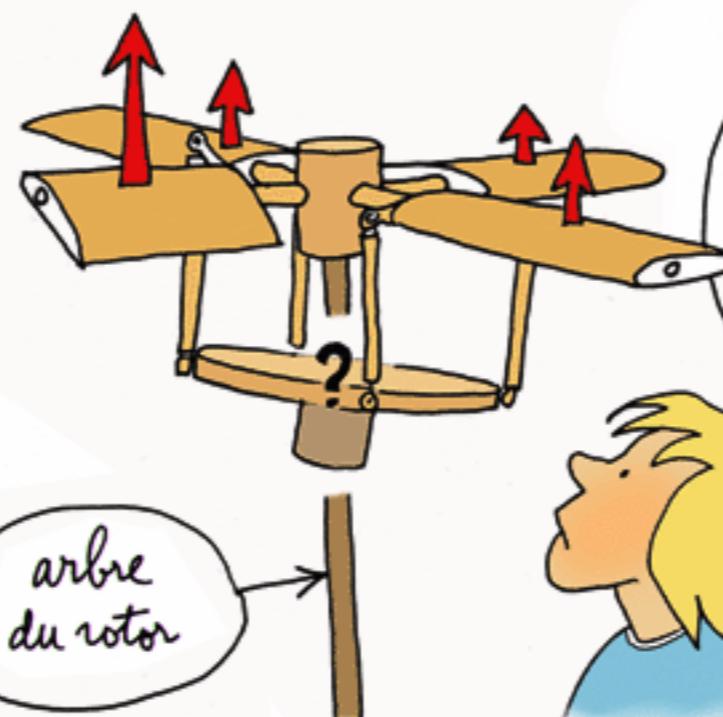
TRANSLATION



Si je pouvais accroître la portance des pales de mon rotor quand celles-ci sont vers l'arrière et la diminuer quand elles sont vers l'avant, à l'aide d'une **VARIATION CYCLIQUE DU PAS** je pourrais provoquer le basculement de ma machine et l'engager dans un mouvement de **TRANSLATION**



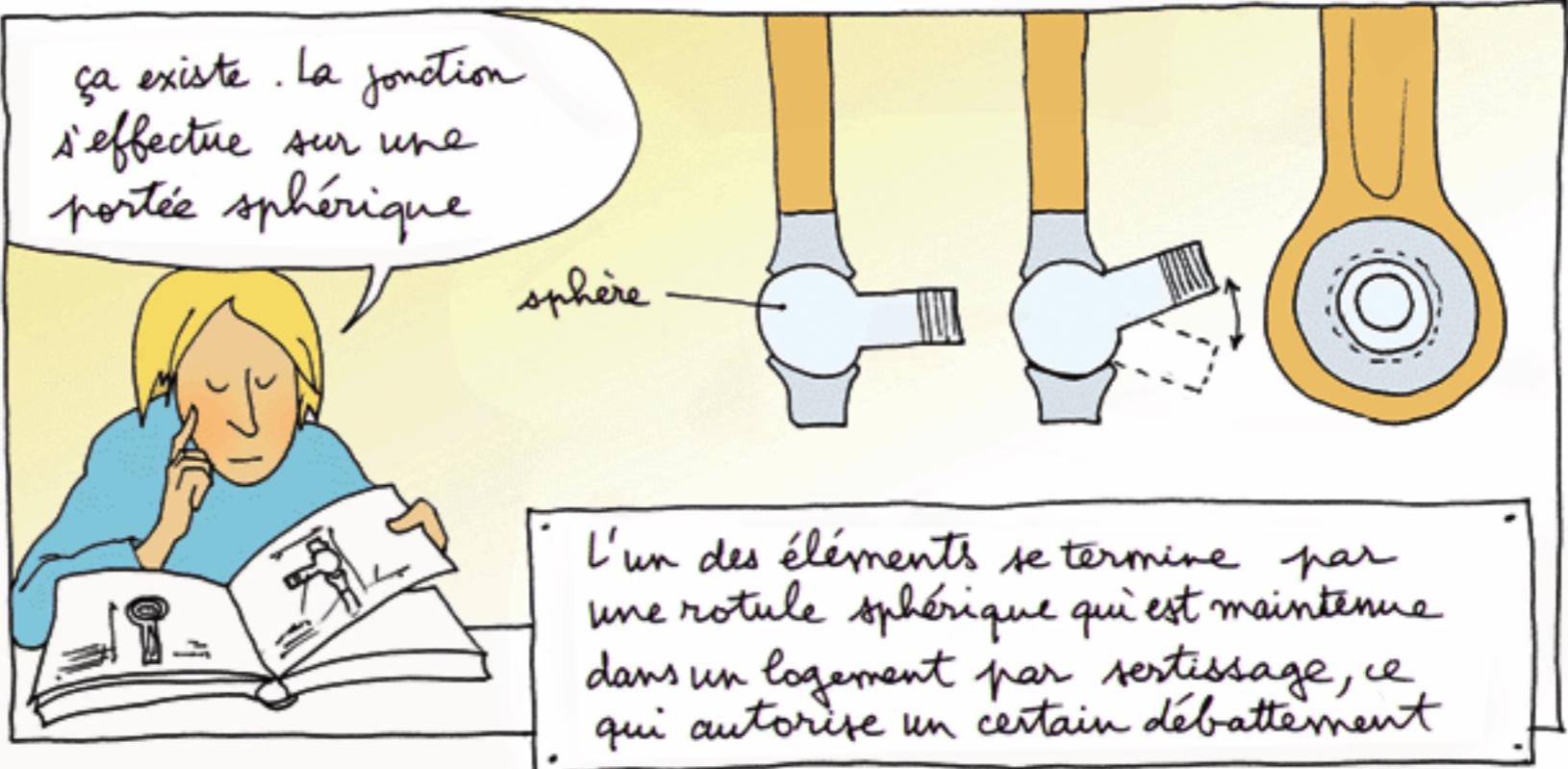
le pas de mes pales est donné par la position d'un plateau rotatif coulissant sur l'arbre du rotor



arbre
du rotor

Si je pouvais faire en sorte que ce plateau présente une inclinaison, tout en tournant, je pourrais créer cette variation cyclique du pas(*) des pales - Mais comment articuler et commander tout ce bazar !?!

(*) inventée par l'Espagnol PESCARA qui introduit le concept d'AUTOROTATION



La vie d'un pilote d'hélicoptère est accrochée à une mécanique complexe, mettant en jeu des bielles de ce genre, des engrenages, des roulements, tous ces éléments devant être usinés avec la plus grande précision, puis surveillés et périodiquement changés. Les coûts de fabrication et de maintenance sont plus importants que pour un avion. Depuis les années soixante dix le recours à de nouveaux matériaux : composites, élastomères, composants à auto-lubrification a permis de réduire la complexité, le poids, les coûts de fabrication, le rythme de la maintenance, tout en gagnant en fiabilité, mais ceci sort du cadre du présent ouvrage.



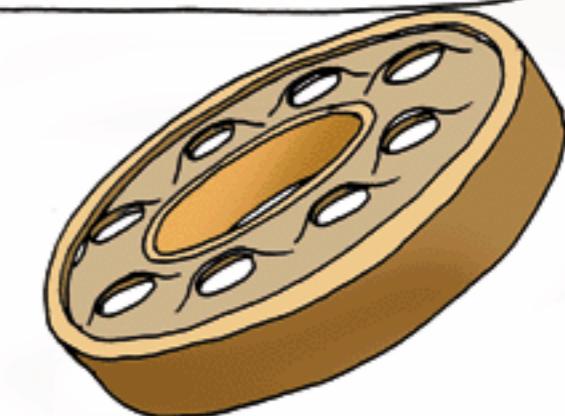
un élément important est le roulement à billes



mais, comment fait-on
rentrer ces fichues billes ?

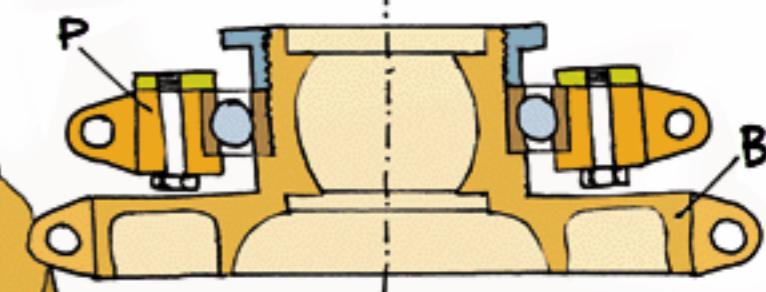
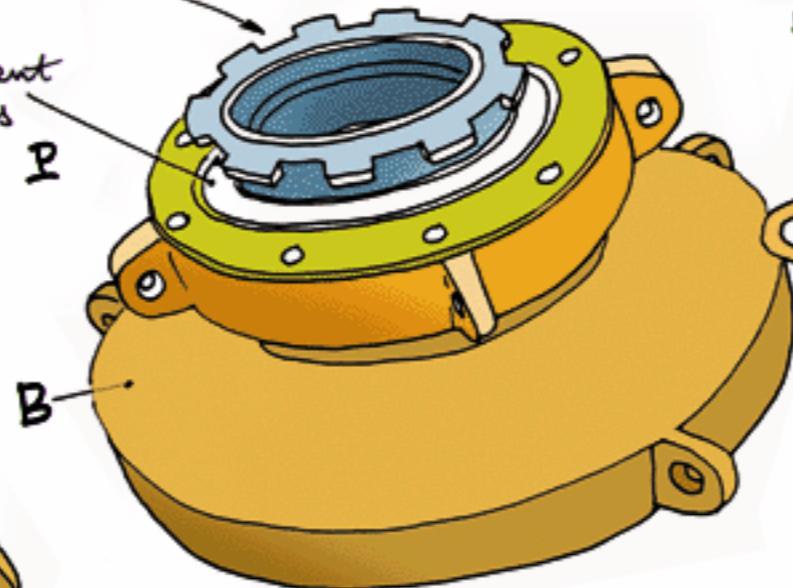
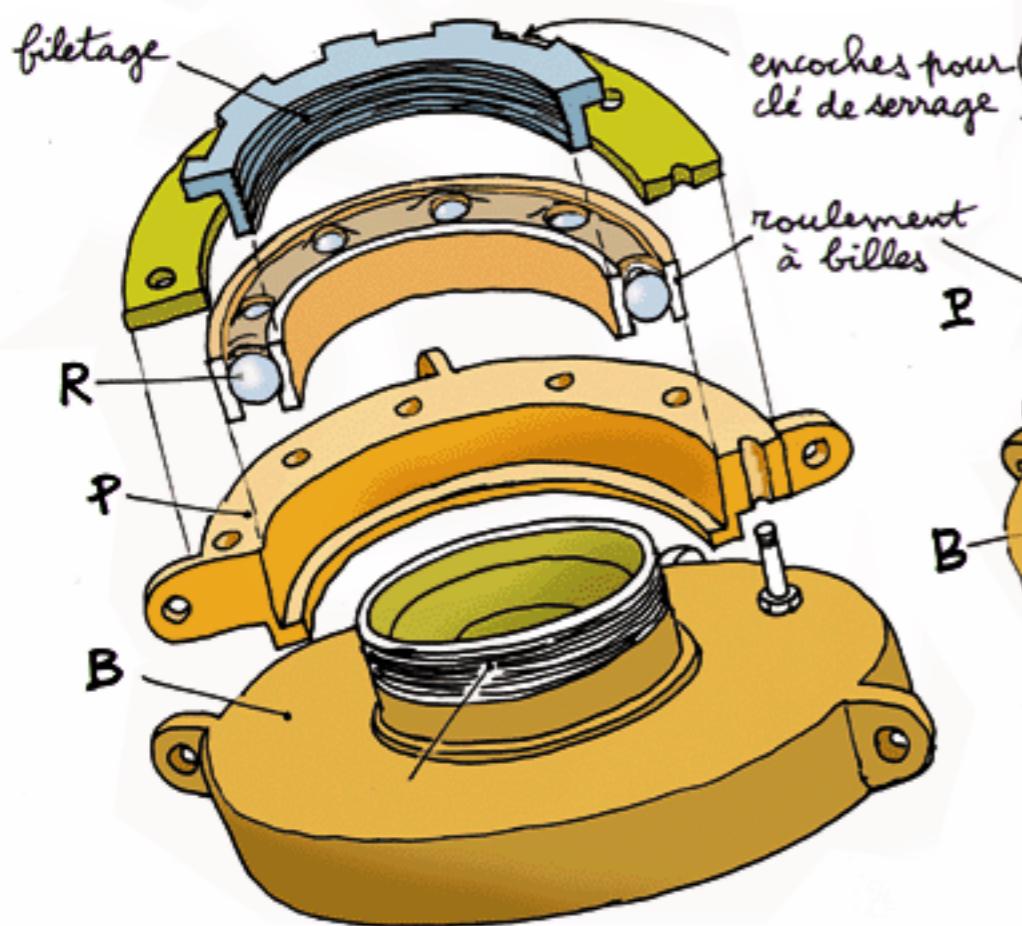


quand on décentre les bagues
on peut introduire un
certain nombre de billes



celles-ci sont ensuite maintenues

en place par une cage constituée par deux
éléments qui sont soudés, vissés ou collés



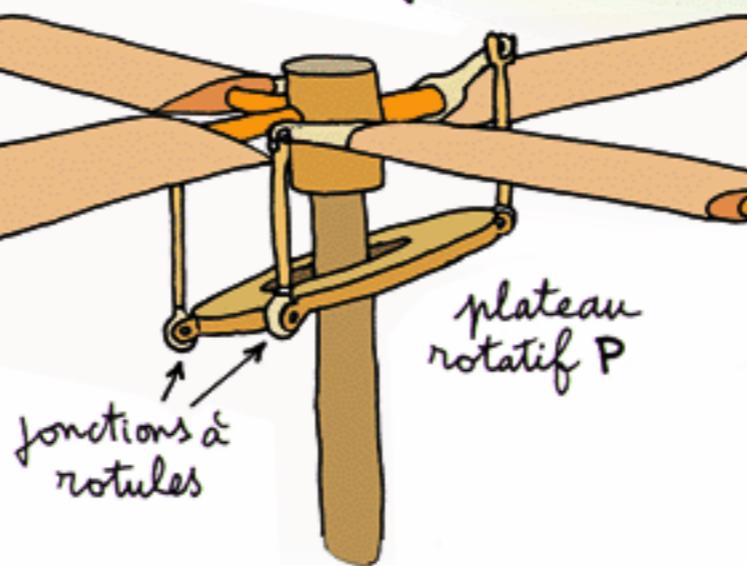
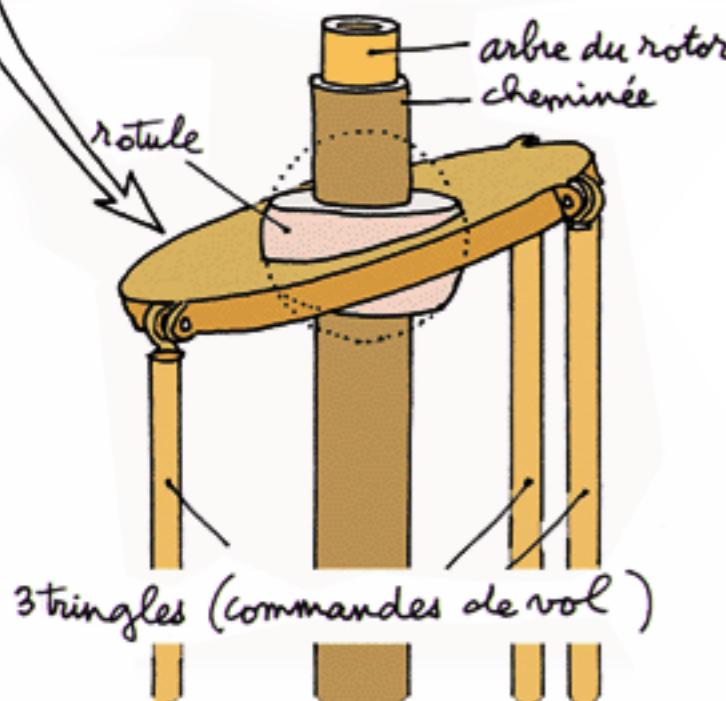
ce roulement permet à deux
plateaux, l'un rotatif P
l'autre non-rotatif B
de se mouvoir l'un par rapport
à l'autre en restant coaxiaux

je ne voudrais pas vous faire de peine, mon vieux, mais votre avion sur le plan mécanique , à côté c'est de la rigolade



Sur cette rotule pivotera un plateau B, non rotatif, dont l'orientation sera fixée par la triangulation des commandes de vol

une rotule qui coulissera sur une CHEMINÉE à l'intérieur de laquelle tournera l'ARBRE DU ROTOR



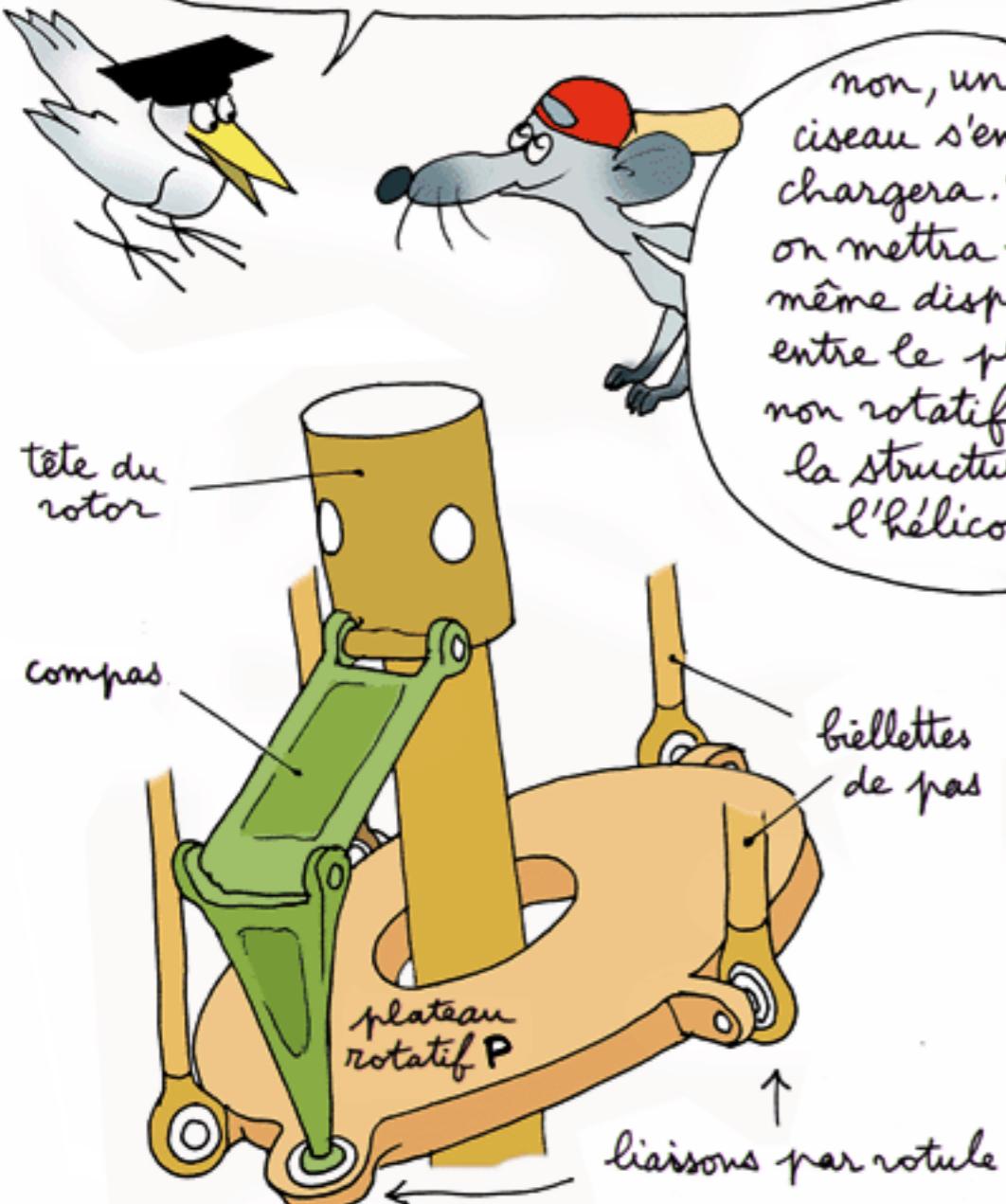
pour faire tourner droit un truc qui est de travers, la solution, c'est la ROTULE



le plateau non-rotatif B sera solidaire d'un plateau rotatif P par l'intermédiaire d'un roulement à billes (voir page précédente)
le plateau rotatif commandera l'inclinaison des pales par l'intermédiaire de bielles de pas

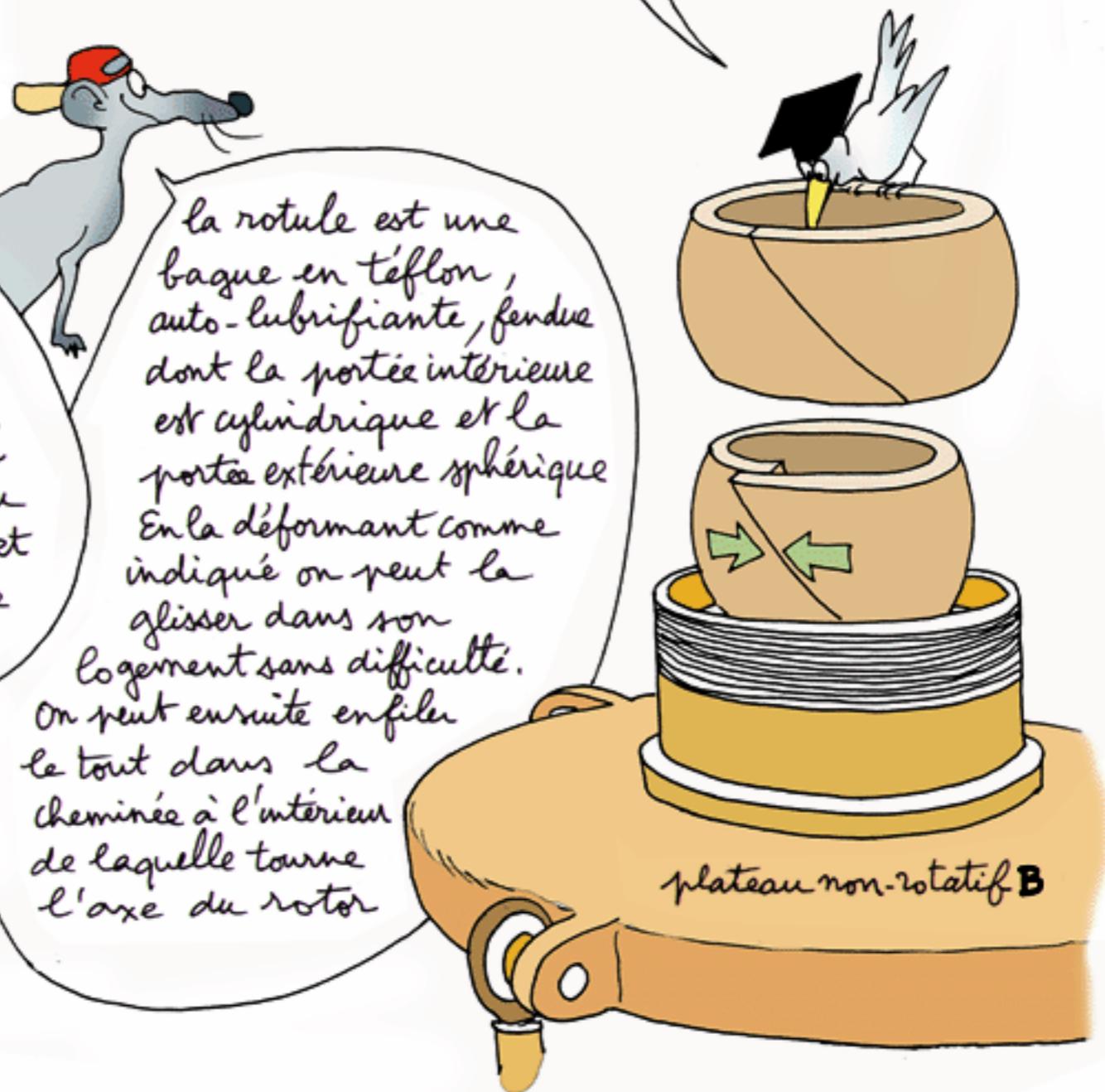
avant de conclure cette étude de plateau cyclique il reste quelques problèmes. Primo, comment solidariser le plateau rotatif P de la tête du rotor. On ne va pas confier cette tâche aux fragiles biellettes ?

Seconde question = comment placer la rotule dans son logement, situé dans le plateau B ?



non, un ciseau s'en chargera. Et on mettra le même dispositif entre le plateau non rotatif B et la structure de l'hélicoptère

la rotule est une bague en téflon, auto-lubrifiante, fendue dont la portée intérieure est cylindrique et la portée extérieure sphérique. En la déformant comme indiqué on peut la glisser dans son logement sans difficulté. On peut ensuite enfiler le tout dans la cheminée à l'intérieur de laquelle tourne l'axe du rotor

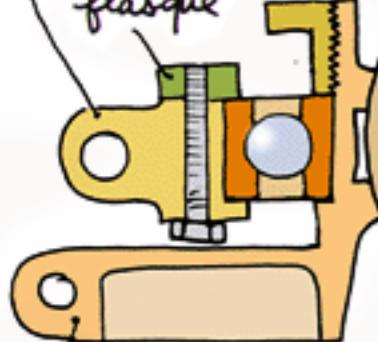


SYNTHÈSE PAGE SUIVANTE →

PLATEAU CYCLIQUE

attache de biellette

flasque



attache de tringlerie de commande

arbre du rotor

cheminée

arbre rotor

collier de fixation

fletage

compas II

bague de serrage

flasque boulonnée

plateau rotatif

plateau non-rotatif

compas I

attache du compas II

bague en téflon, fendue pour permettre le montage avec portée sphérique (rotule)

encoches permettant l'adaptation d'un outil de serrage

portée sphérique

filetage sur lequel s'engage la bague de serrage

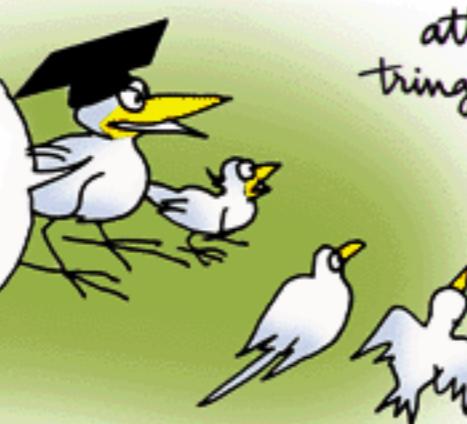
attaches des bielles de pas

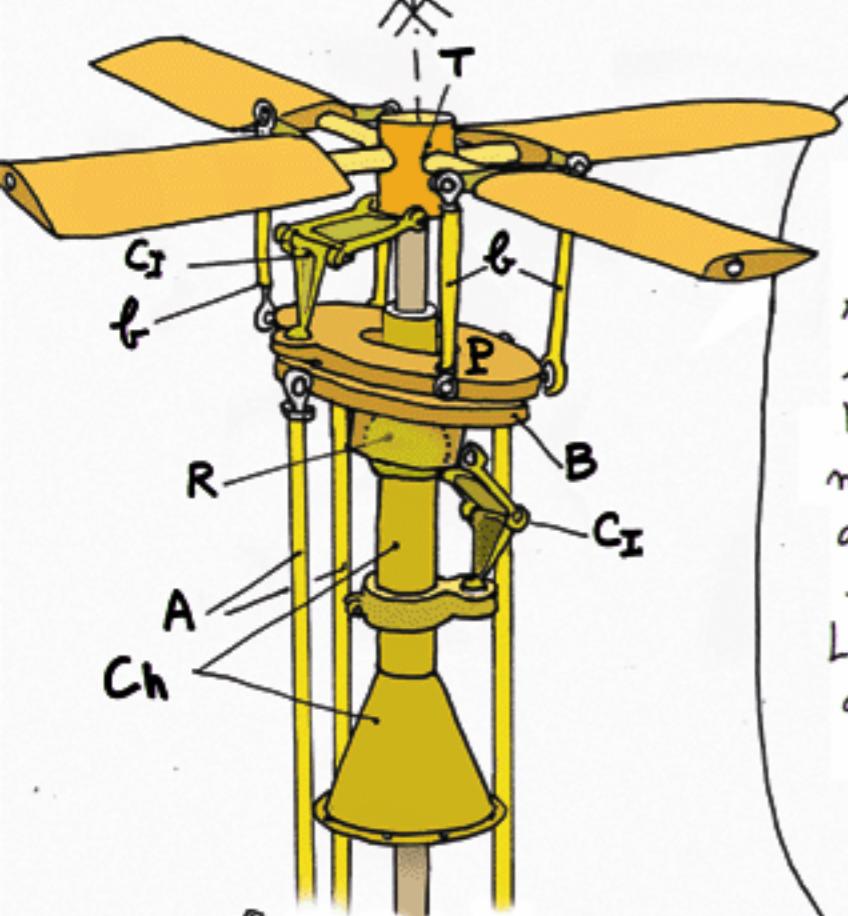
attaches de tringlerie de commande

attache compas I

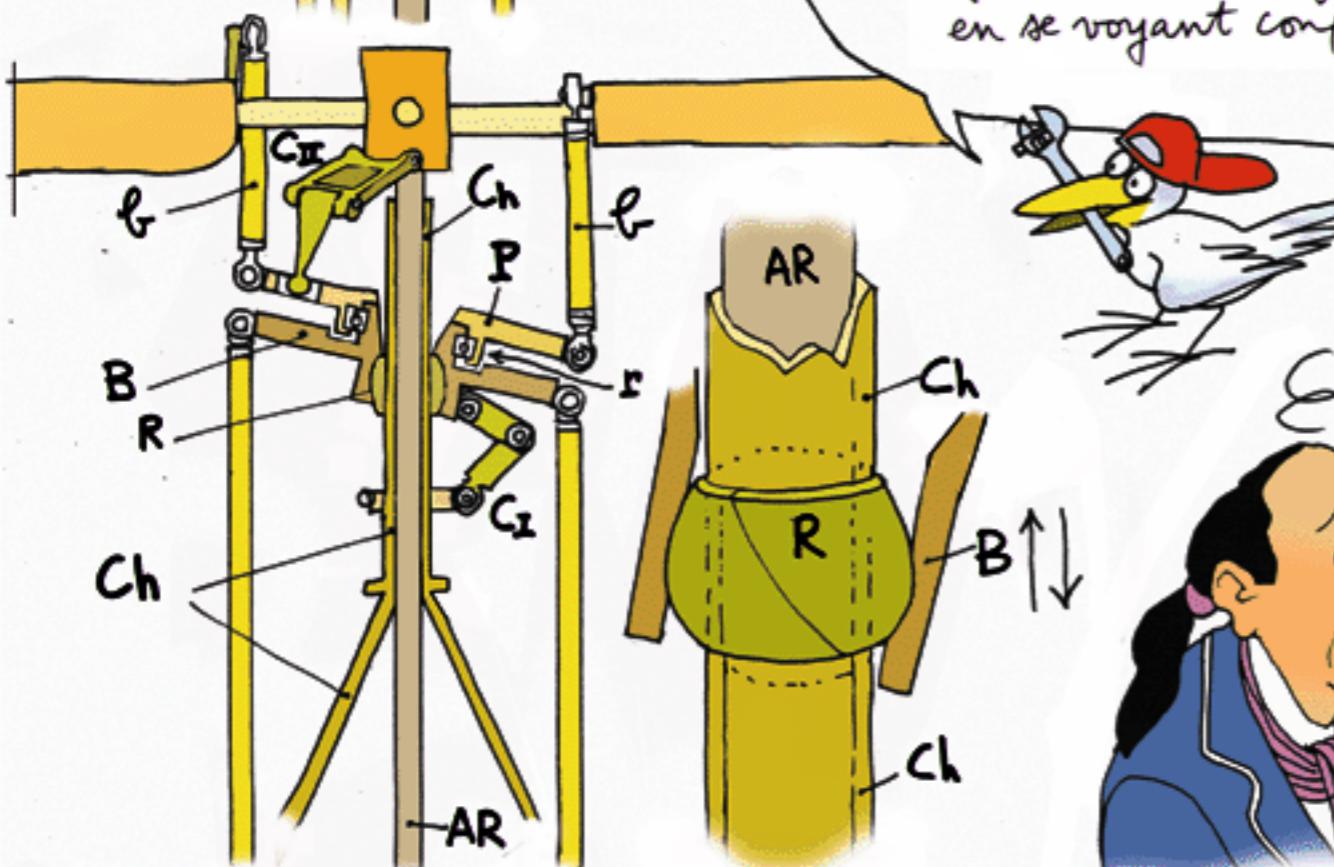
cheminée

la mécanique hélico requiert des trésors d'astuce pour déboucher sur des montages simples, solides, légers, résistants, ne comportant qu'un nombre minimal de pièces





Revenons à une description schématique, plus lisible.
Une tringlerie de commande A, constituée de trois barres, fait monter, descendre et basculer en tous sens un plateau non-rotatif B, guidé par la rotule R, laquelle couisse librement sur la cheminée Ch, solidaire de la structure de l'hélicoptère. Un premier COMPAS C_I, fixé sur la cheminée Ch s'oppose à tout mouvement de rotation du plateau B par rapport à la structure de l'hélicoptère (cheminée Ch). Le plateau cyclique rotatif P est lié par un roulement à billes r au plateau non-rotatif B. L'altitude du plateau B est fixée par le pilote par l'intermédiaire de la tringlerie de commande A. Le plateau P répercute cet ordre aux pales par l'intermédiaire des bielles f. Un second compas C_{II} rend solidaires la tête de rotor T et le plateau cyclique rotatif P faute de quoi les bielles de pas f en se voyant confier ce rôle se briseraient immédiatement.

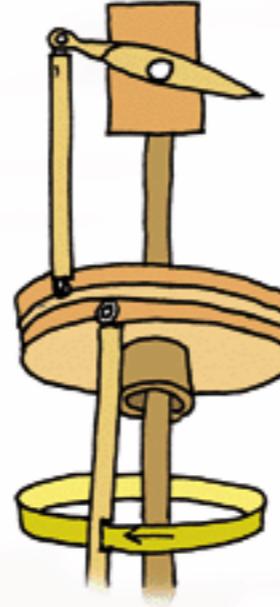
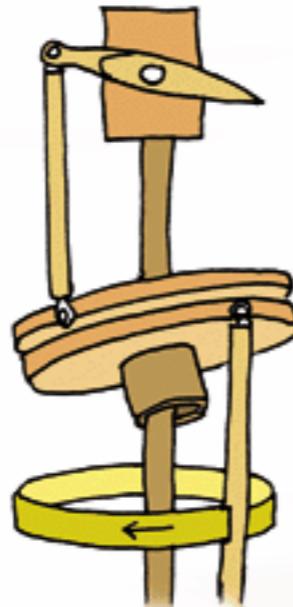
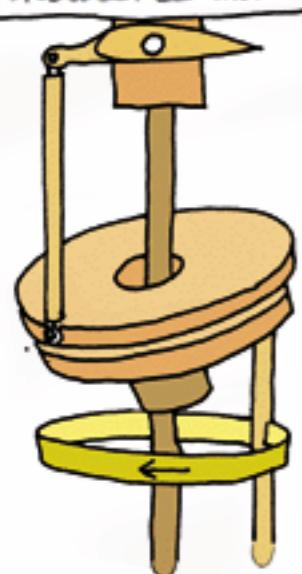


Il me faut maintenant concevoir des COMMANDES DE VOL me permettant d'actionner mes trois barres verticales

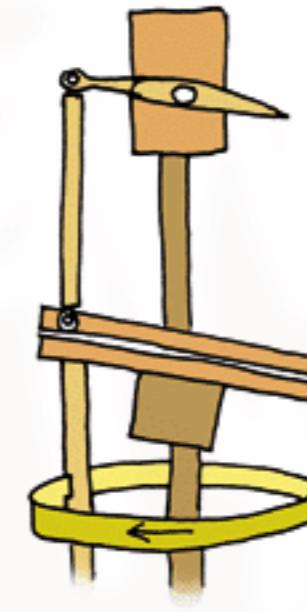


et le tour sera joué

incidence min

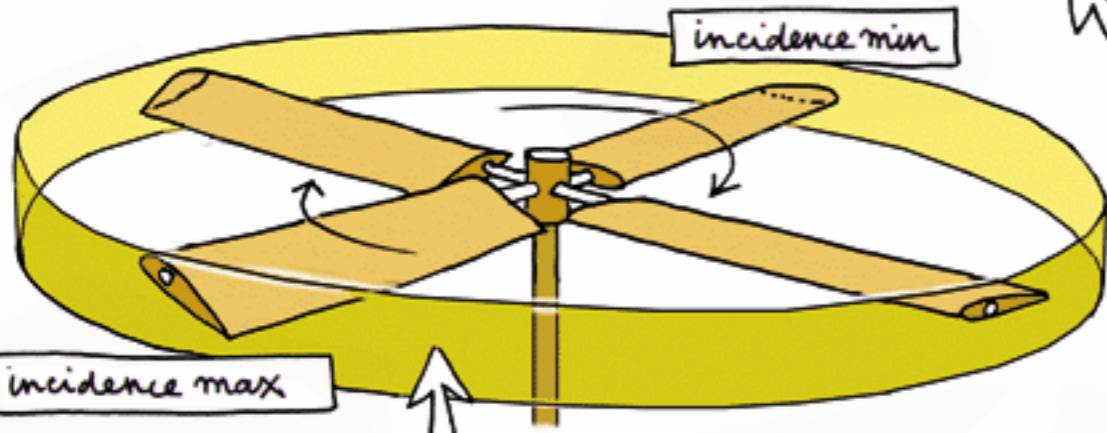


incidence max



etc...
en bas, le
mouvement
apparent d'une
des tringles de
commande

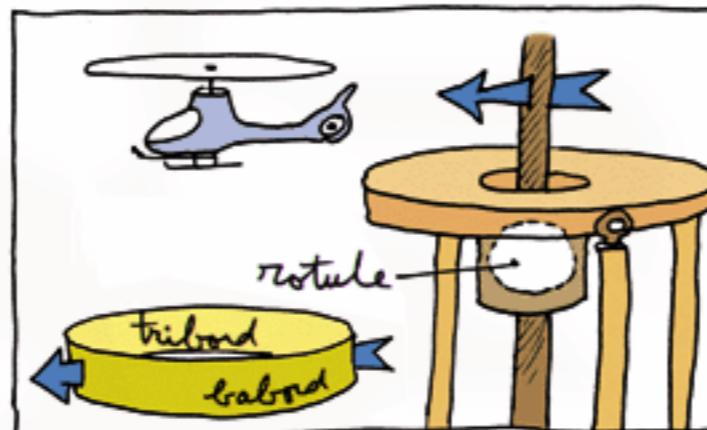
incidence min



incidence max

Ici, les pales occupent quatre positions différentes dans le plan de rotation

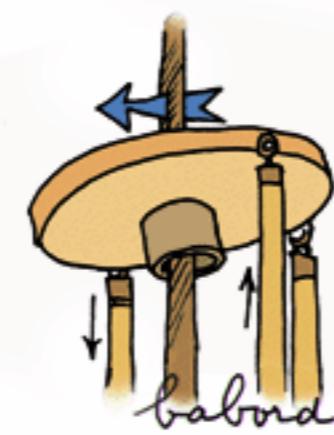
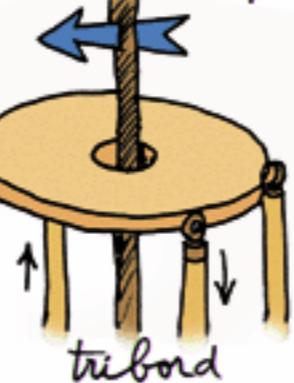
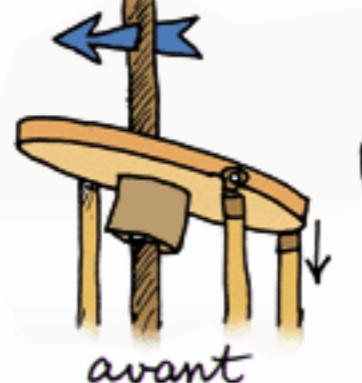
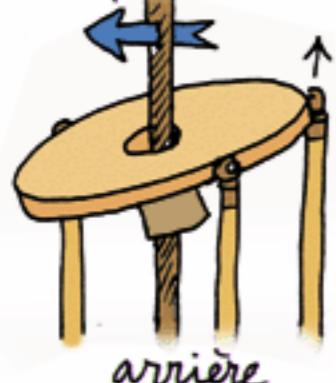
en haut on accompagne une pale dans son mouvement.
Son incidence varie périodiquement entre une valeur
minimale et une valeur maximale.

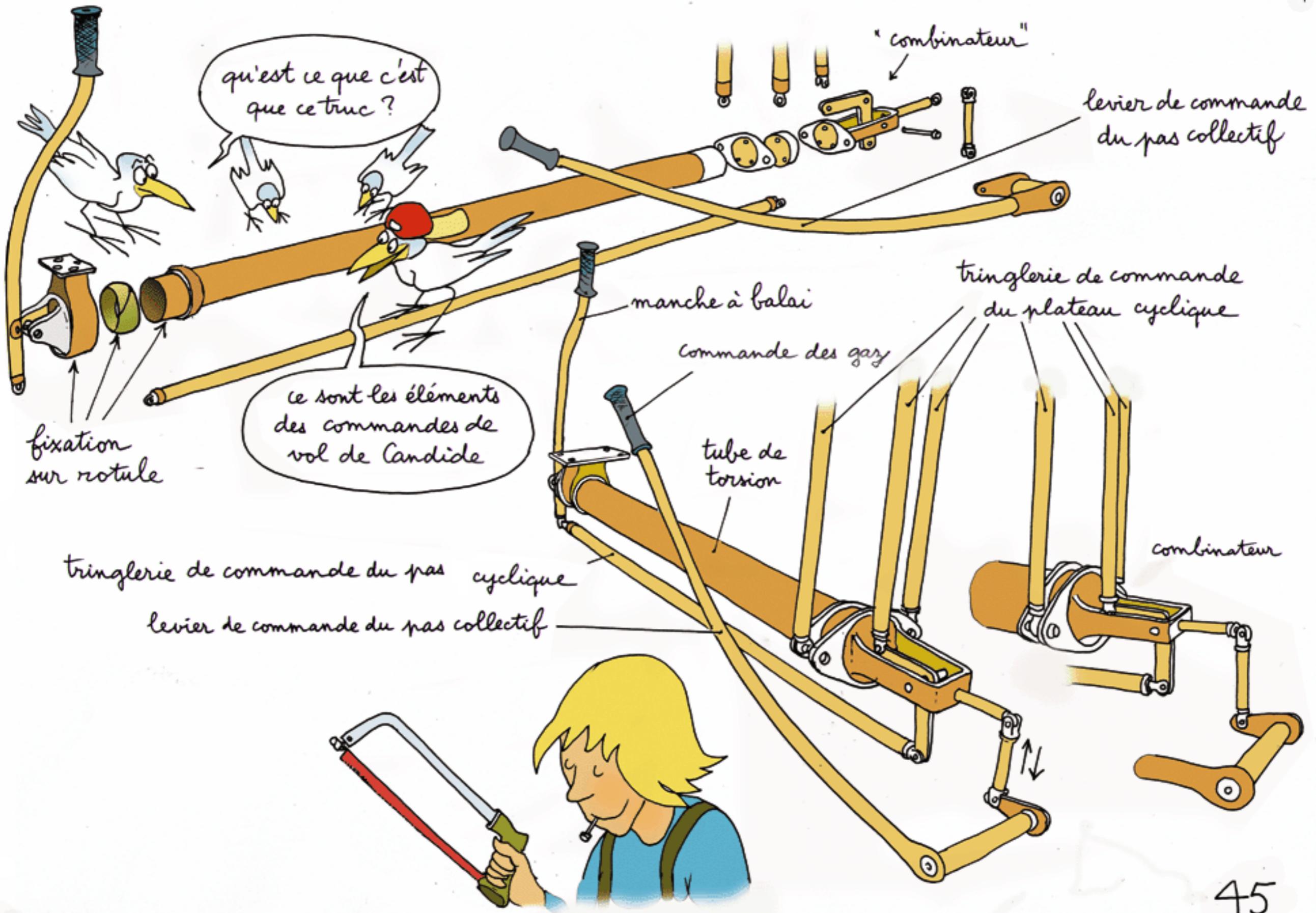


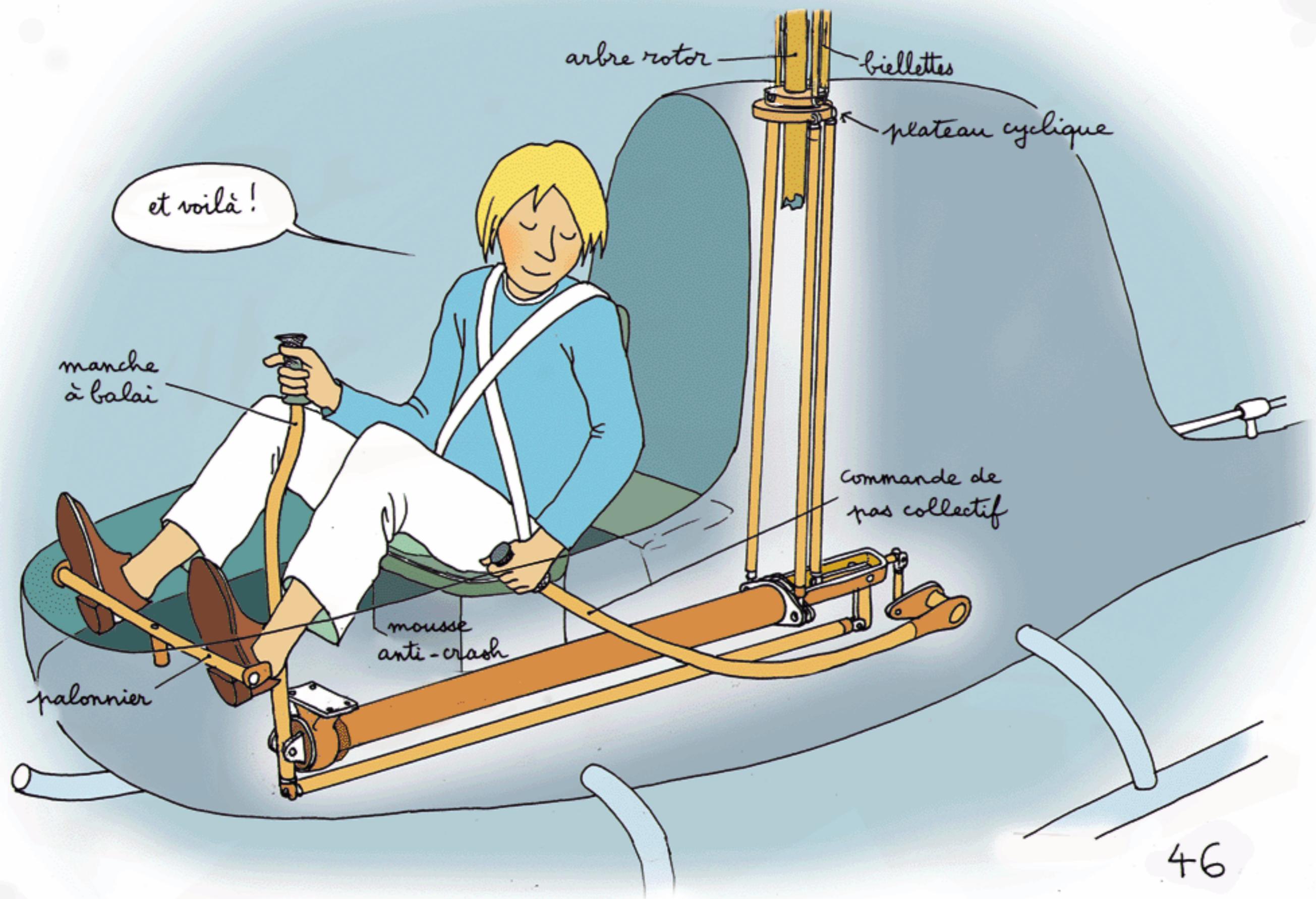
la flèche pointe vers
l'avant de l'appareil

trois tringles suffisent
à contrôler l'attitude
du plateau non-rotatif

Piloter l'hélicoptère en accroissant l'incidence de la pale =





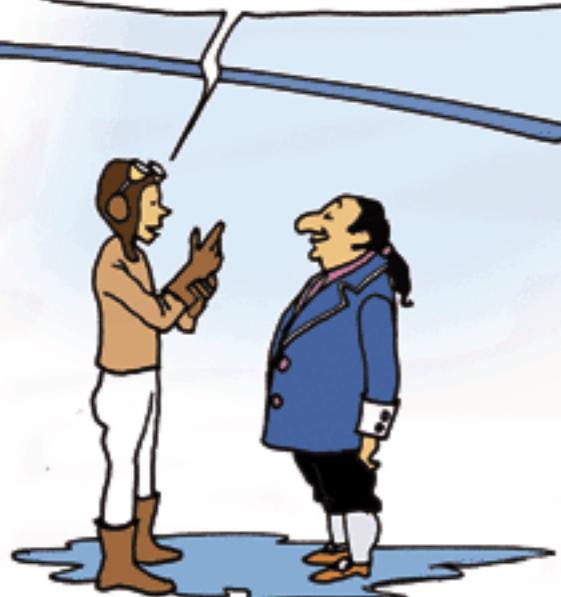


cette fois, Pangloss, tout est prêt
Je vais de ce pas délivrer
mademoiselle Cunégonde

En avant !

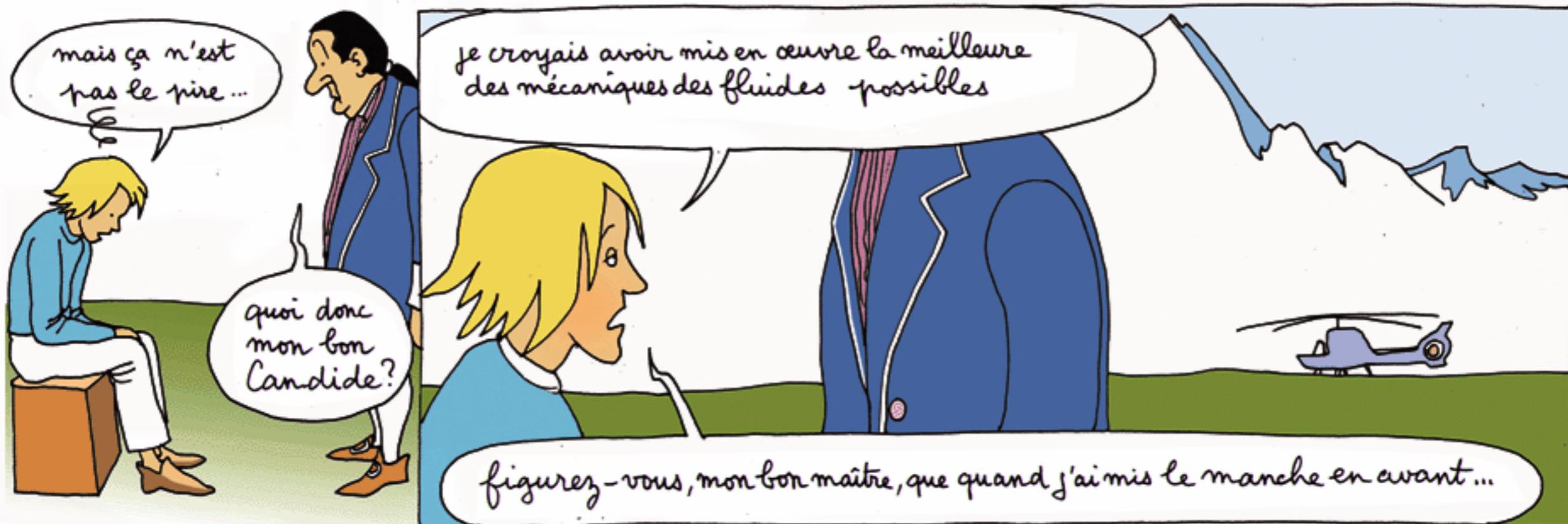
PATAKLONK
PATAKLONK
PAT

maître, c'est terrible. Il y
avait tellement de vibrations
que j'ai craint que ma machine
ne se brise en mille morceaux



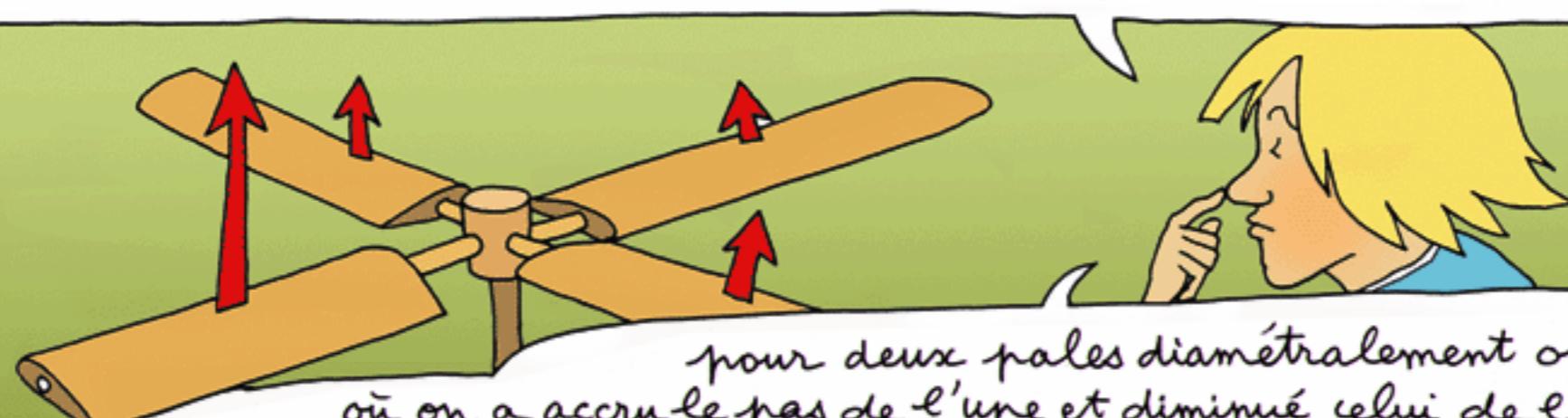
mais ça n'est
pas le pire ...

je croyais avoir mis en œuvre la meilleure
des mécaniques des fluides possibles



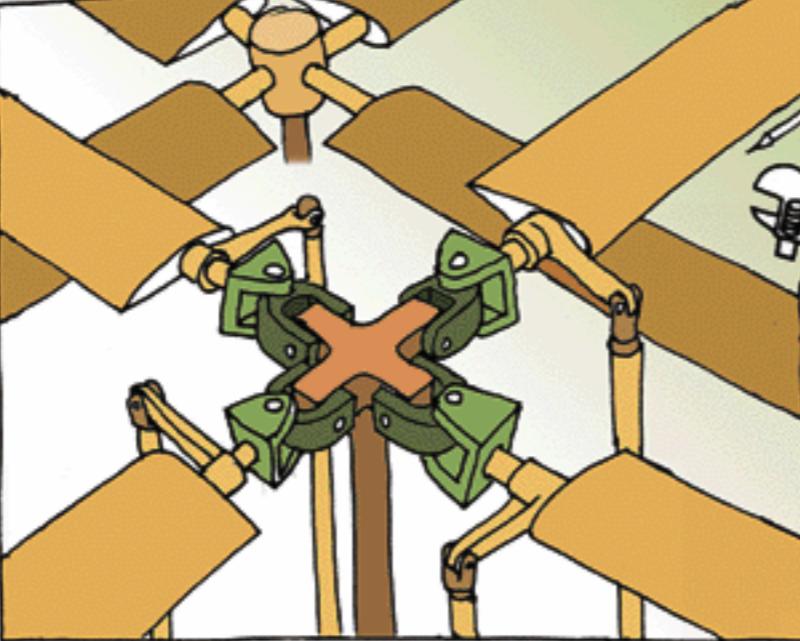
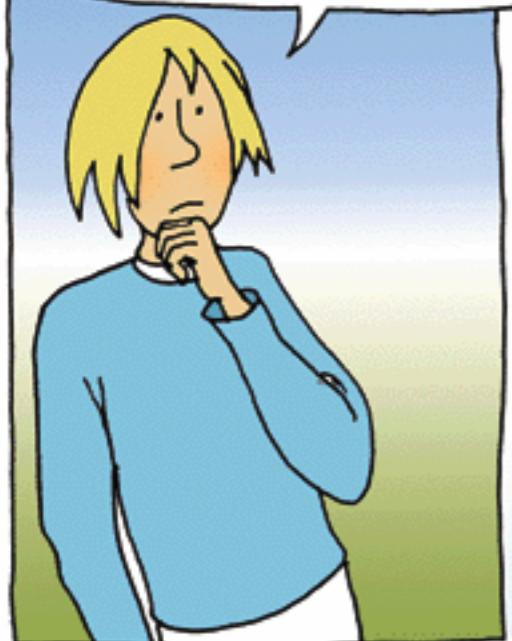


J'ai bien senti que la machine était secouée dès que j'ai mis en œuvre la variation cyclique du pas. C'était comme si une main invisible avait saisi le moyeu du rotor. Mais, à y regarder de plus près il me semble deviner la raison suffisante de ce phénomène



pour deux pales diamétralement opposées où on a accru le pas de l'une et diminué celui de l'autre les forces aérodynamiques diffèrent en intensité et en direction ce qui explique ces vibrations à tout casser

j'ai bien senti que si j'insistais
mon rotor pourrait se briser



ces pales, pourquoi ne pas leur donner le moyen de s'ébattre tout à loisir, vers le haut, vers le bas et d'avant en arrière, en laissant à la force centrifuge le soin de les tenir avec fermeté

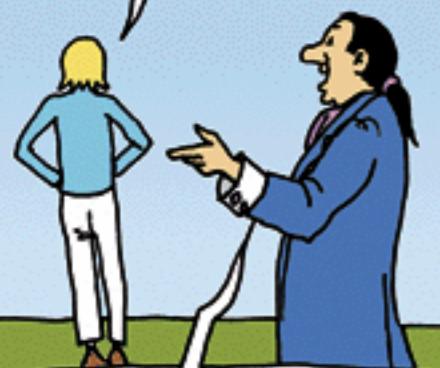
Ça marche, Pangloss, ça marche !
La machine s'ébroue toujours
mais pas de façon intolérable.
Par contre sa réponse au manche
reste toujours incompréhensible.
Manche en avant : elle embarque
sur sa droite. Manche à droite :
elle se cabre et part à reculon.
Manche à gauche, elle pique du
nez et se déplace vers l'avant.
Manche en arrière, elle
embarque sur sa gauche



ce qui veut dire que votre machine obéit à vos ordres, mais en exerçant les effets à ... 90°

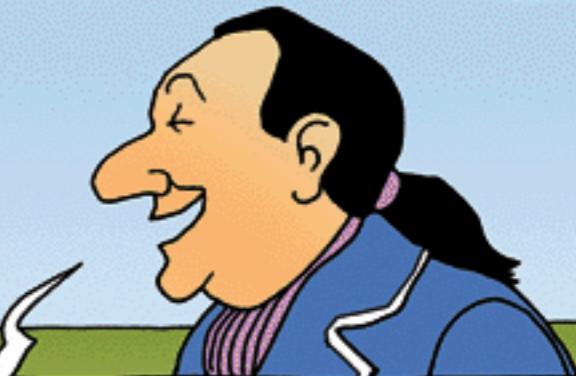


c'est incompréhensible mais
c'est tout à fait exact



Eh bien, la solution,
vous l'avez. Modifiez
vos commandes en
conséquence !

Je ne saurais m'asseoir dans une machine dont le comportement
échappe à ce point à mon entendement, mon bon maître



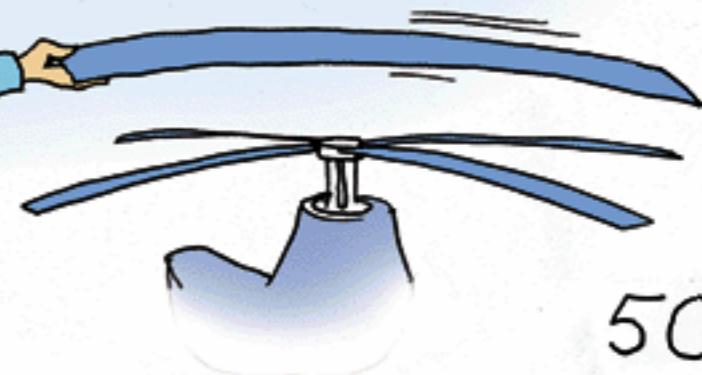
Candide, Candide, combien de choses ont pour nous des apparences familières alors que leur essence nous reste étrangère. Voyez : Le Soleil tourne autour de la Terre et nous ne savons pas pourquoi. Nous n'avons point percé la nature de cette horreur du vide qui fait monter le mercure dans les baromètres. La raison suffisante de cette énergie noire qui provoque la réaccélération de notre Cosmos nous reste étrangère. Devons-nous pour cela nous abstenir d'observer et de mesurer tous ces phénomènes que la Nature nous offre ?



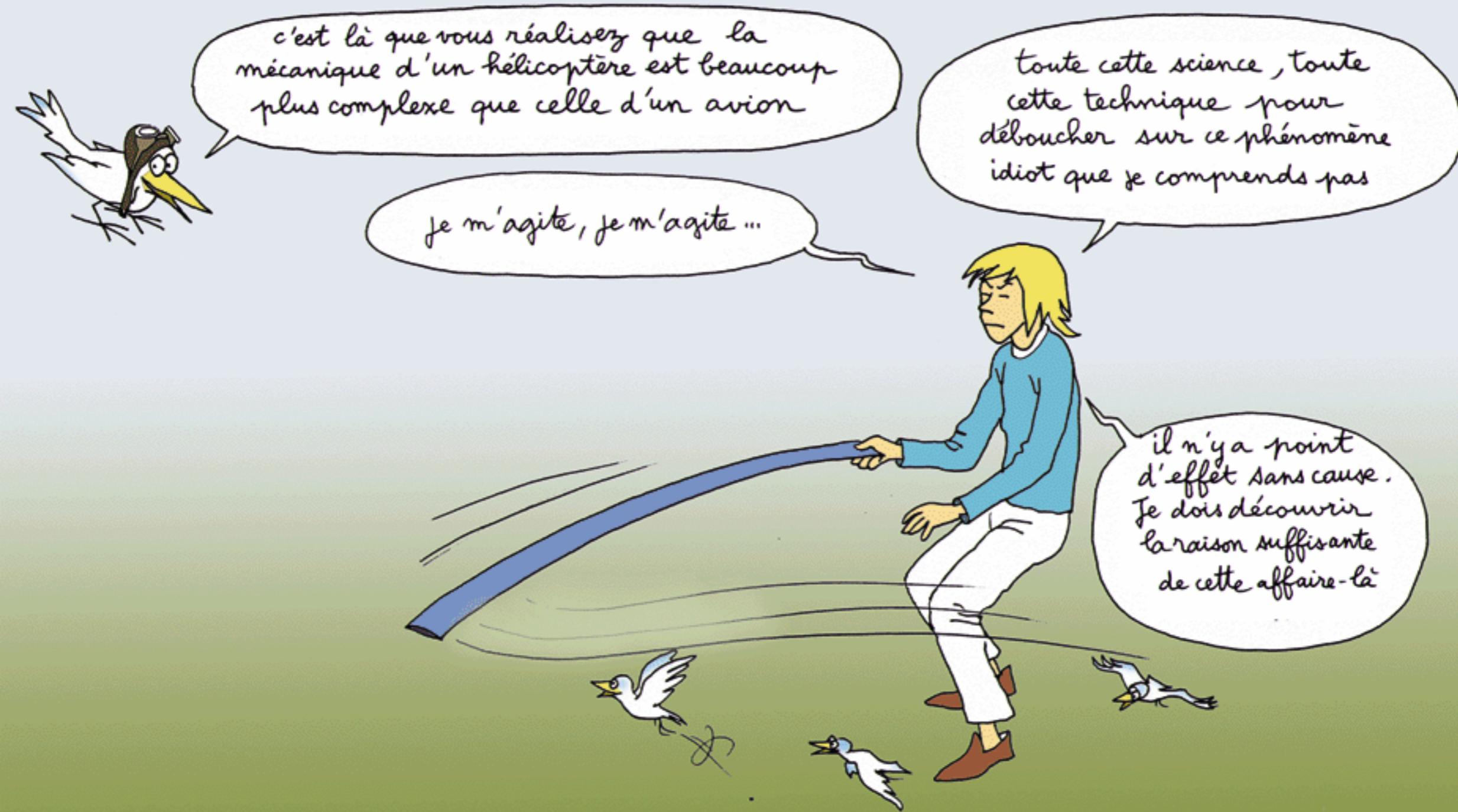
et l'amour, Candide, les tendres sentiments
que vous portez à mademoiselle Cunégonde ?



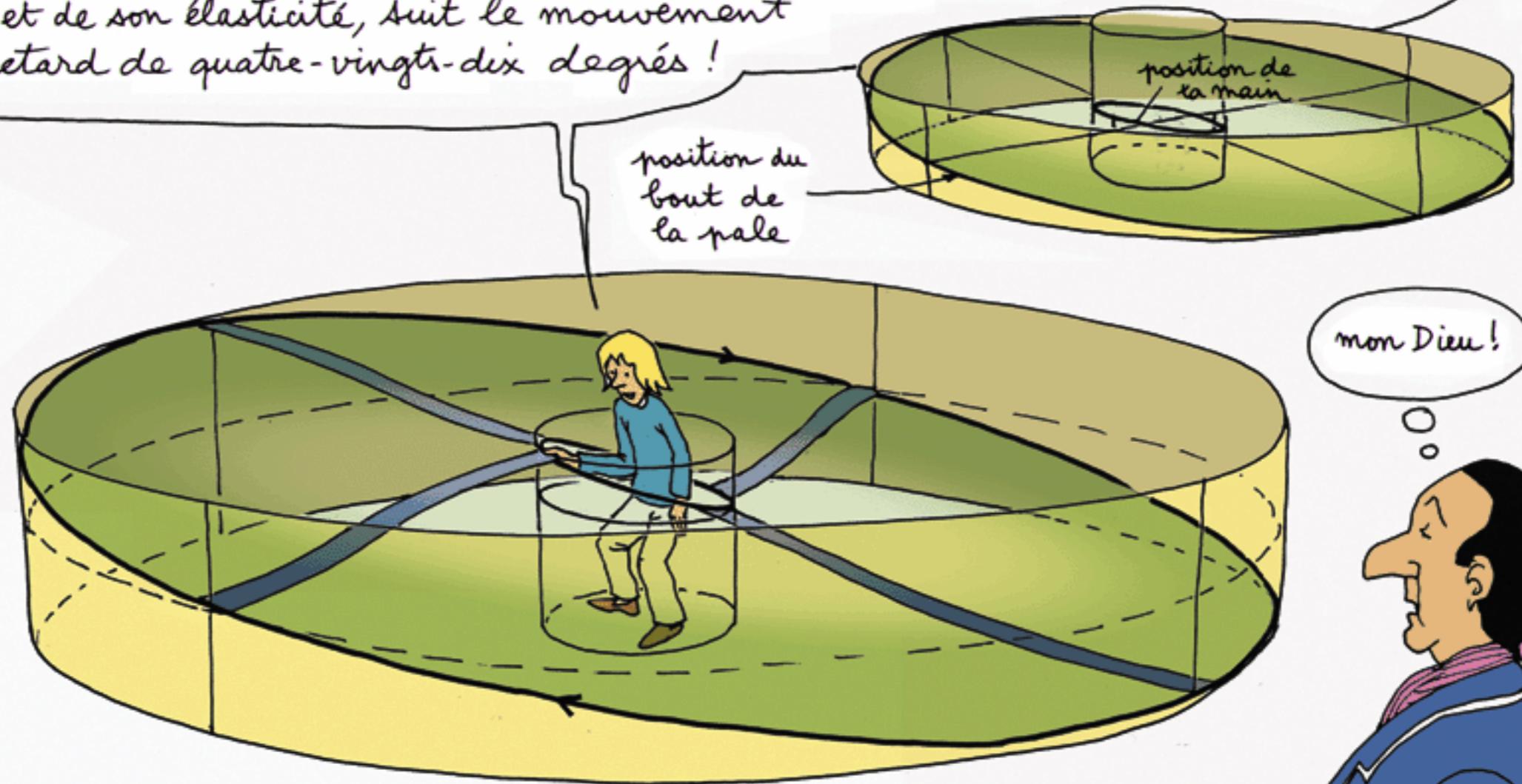
si cette mécanique du vol est la meilleure des mécaniques du vol possibles, que sont donc les autres...



DÉCALAGE DU CYCLIQUE

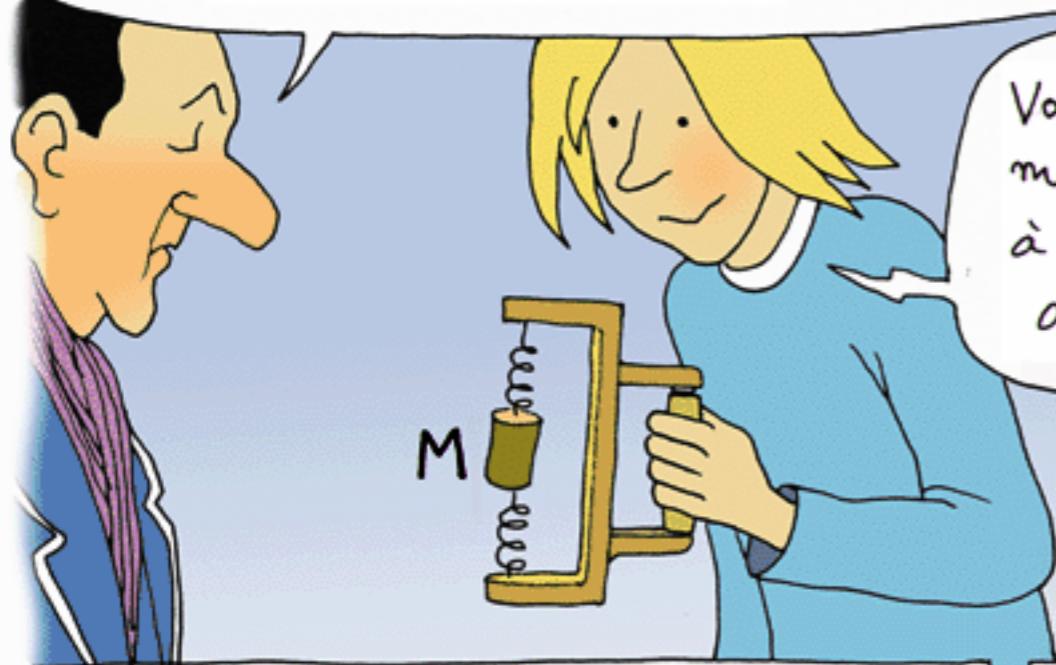


Pangloss, je crois que j'ai compris. Quand j'agite cette pale de haut en bas, tout en tournant sur moi-même et que je m'arrange pour que la période d'oscillation que j'impose à celle-ci est la même que ma période de rotation, du fait de la combinaison de son inertie et de son élasticité, suit le mouvement avec un retard de quatre-vingt-dix degrés !



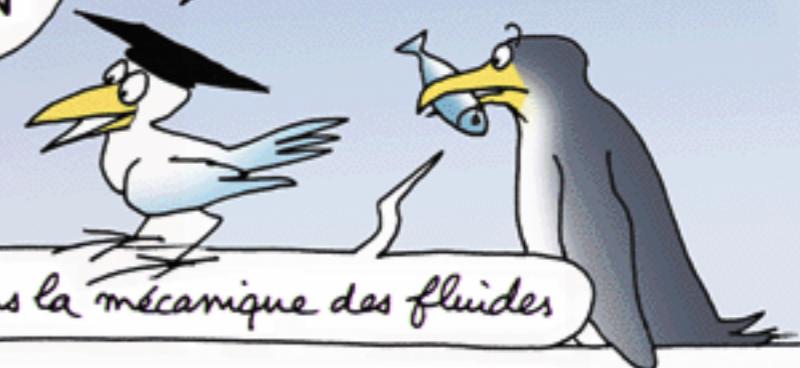
en termes savants ceci traduit le comportement
d'un **SYSTÈME DU SECOND ORDRE**

cette raison suffisante me semble se situer, j'avoue, au delà de mon entendement



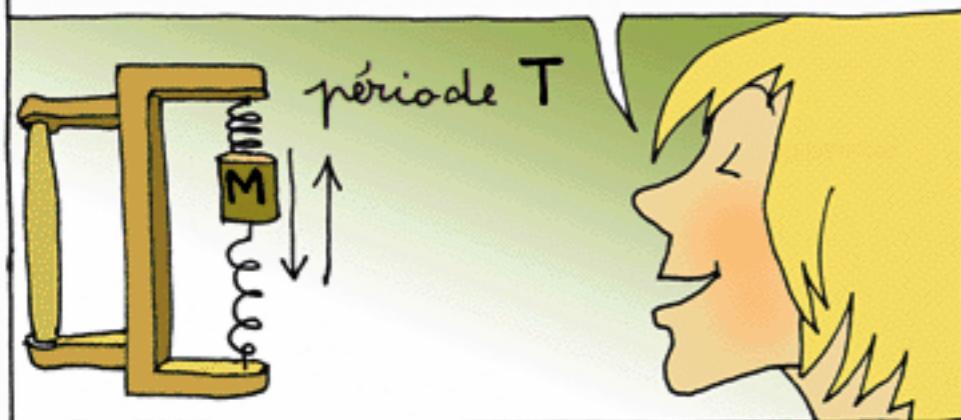
Vous allez comprendre, mon maître, grâce à cet appareil qu'on appelle un **ELASTOTRON**

ne cherchez pas l'usage pratique de cet appareil dont la seule fonction est d'expliquer le comportement singulier des pales des hélicoptères



je croyais qu'on était dans la mécanique des fluides

j'explique : si j'écarte la masse M de sa position d'équilibre, elle va osciller avec une certaine période qu'on appelle la **PÉRIODE PROPRE DU SYSTÈME**



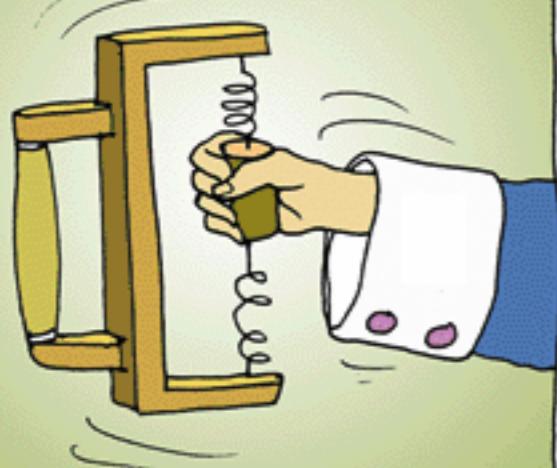
si je sollicite l'appareil en le secouant de haut en bas avec la même période T la masselotte M va "répondre" À **CONTRE-TEMPS**



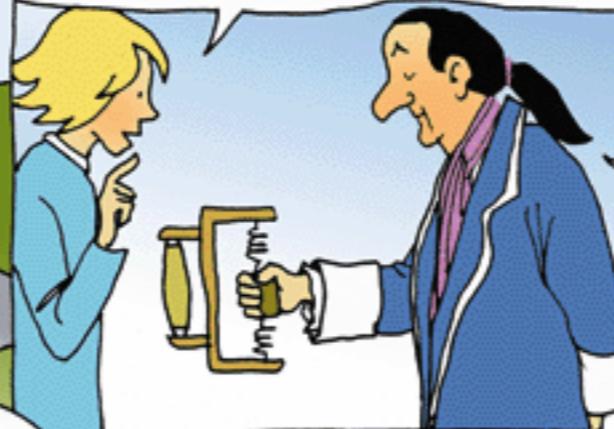
je suis sûr que vous devez nager comme un pied !



le bâti répond alors, lui aussi à **CONTRE - TEMPS**



prenez l'Elastotron par sa masselotte et secouez-le selon sa période propre T



Bon, je le saisais comme cela et je le secoue selon sa période propre

laisse, chéri. On ne va pas se créer des conflit avec ce pingouin le livre est déjà assez compliqué !

transposez à l'hélicoptère. Tout à l'heure je secouais les pales **EN PHASE** avec mon mouvement de rotation sur moi-même. En vol ce sont les pales qui "secouent" la machine. D'où cette nécessité de disposer sur chacune une **ARTICULATION DE BATTEMENT**





(*) dès ses premiers essais d'AUTOGIRE, l'espagnol DE LA CIERVA dut au plus vite introduire ce système "pales articulées plus amortisseurs" sous peine de voir son rotor se briser net

je me demande ce que fait Candide. Cela fait un moment qu'on est sans nouvelles de lui. Ça m'inquiète

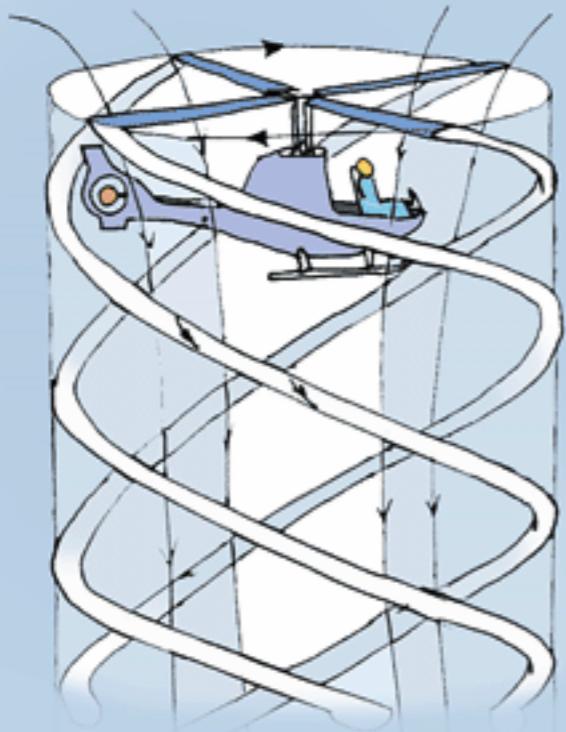
tu te demandes ce qu'il a encore pu inventer

il n'a jamais été en peine d'idées subversives, ce garçon

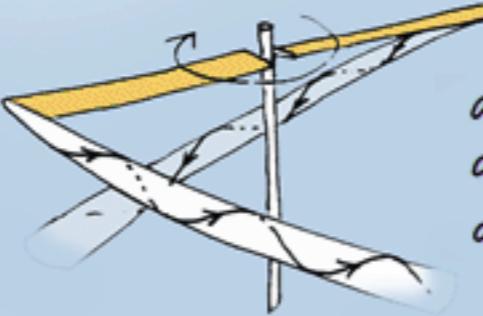
mais je n'aime pas du tout ses idées concernant ces... voyages interstellaires

de toute façon, jamais ma fille n'épousera un roturier, fut-il docteur ès-sciences

TRANSITION



cette turbulence inutile représente une perte d'énergie



les pales de l'hélicoptère sont des ailes de très grand allongement qui laissent dans leur sillage des TOURBILLONS MARGINAUX



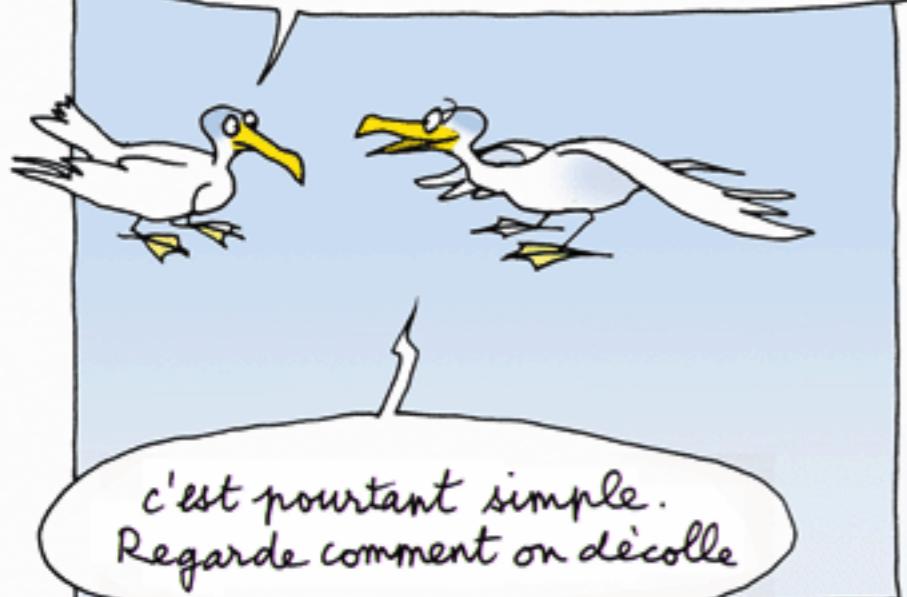
ce sont ces tourbillons qui se créent en bout d'aile qui provoquent en haute altitude des condensations de vapeur d'eau (traînées de condensation)

Lorsque l'hélicoptère entre en translation l'allure de l'écoulement en vient à se trouver totalement modifiée. Les tourbillons perdent de leur importance et, de ce fait la machine peut se sustenter au prix d'une moindre dépense d'énergie.

La Direction



j'avoue que je ne comprends rien
à cette histoire de TRANSITION



en translation l'air file avec moins de turbulence,
entre les plumes. On brasse toujours de l'air vers le bas,
mais en dépensant moins d'énergie

et dans la transition inverse ?

c'est pas dur. Tu vois un truc intéressant en bas, un poisson ...



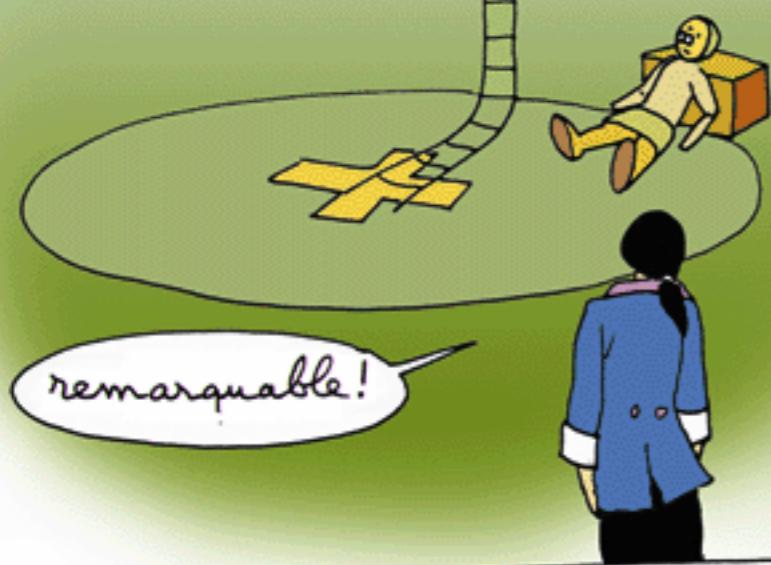
tu cabres pour casser ta vitesse et t'immobiliser en l'air



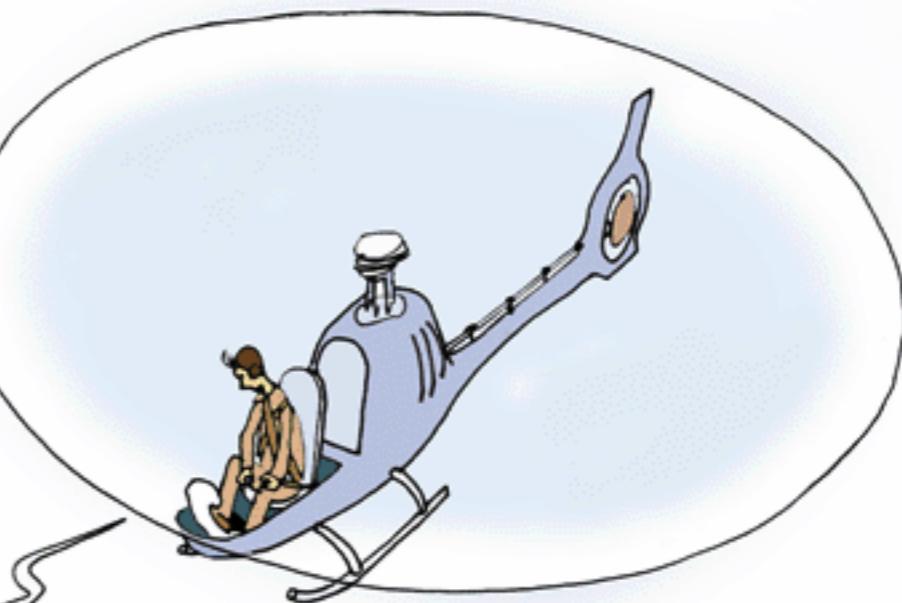
et là tu reviens en régime de vol stationnaire, en créant une forte turbulence, donc en consommant plus d'énergie



Tangloss, maintenant je suis fin prêt. Cette machine est extraordinairement stable et maniable. Dès que Cunégonde sera montée, je dégagerai au plus vite pour nous mettre hors de portée des archers du baron



je n'aurai qu'à m'approcher, assez haut.
les gens ne regardent jamais en l'air. Puis
je descendrai vers la terrasse à vive allure

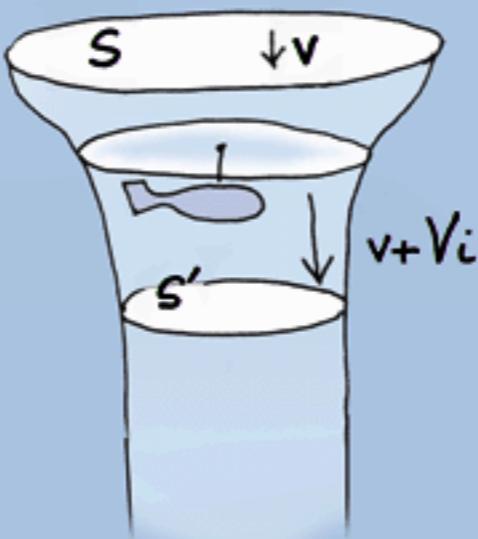
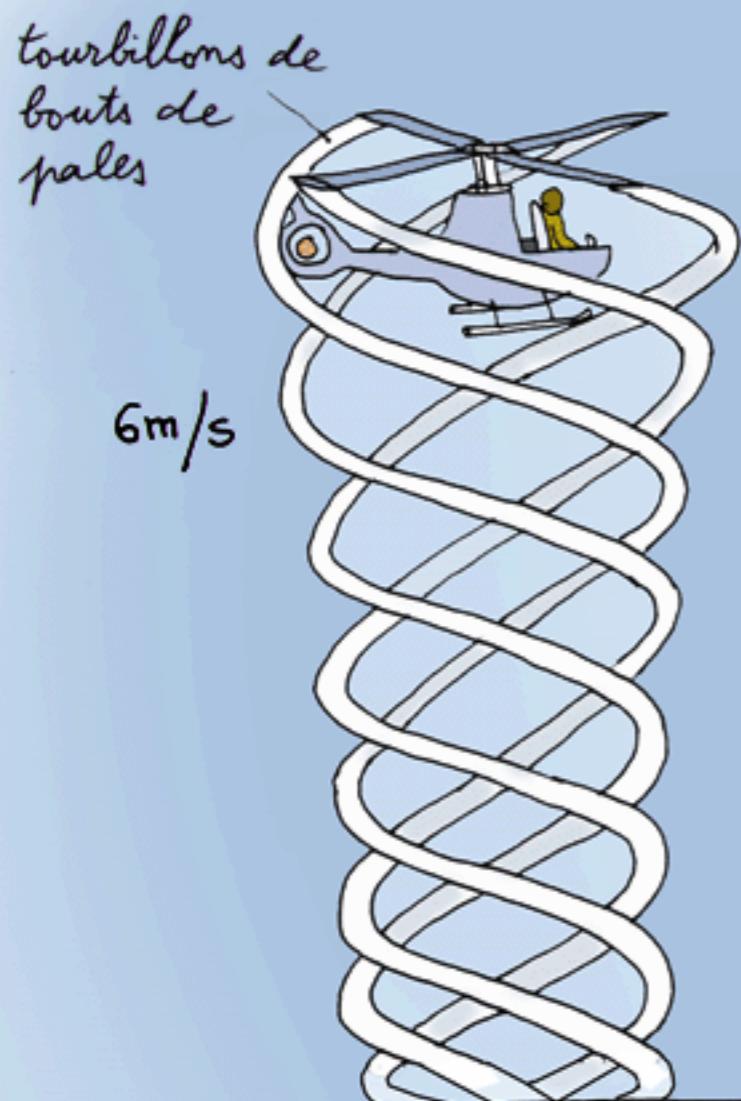




J'ai l'impression que mon hélicoptère s'appuie sur une sorte de masse informe, complètement instable. Il me faut sortir de là au plus vite. Décidément, la descente verticale rapide, ça n'est pas bon du tout !



VITESSE iNDUiTE



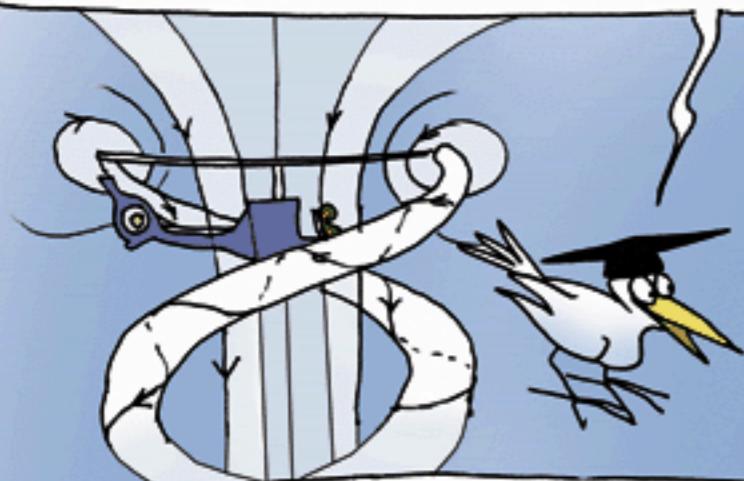
$$\rho \cdot S = \rho (v + V_i) S' (*)$$

le fait qu'un hélicoptère se sustente en "brassant de l'air vers le bas" implique de lui communiquer une **VITESSE iNDUiTE** V_i qui est de l'ordre de 6 mètres par seconde. En émettant de la fumée en bout de pales on verrait se matérialiser ce phénomène



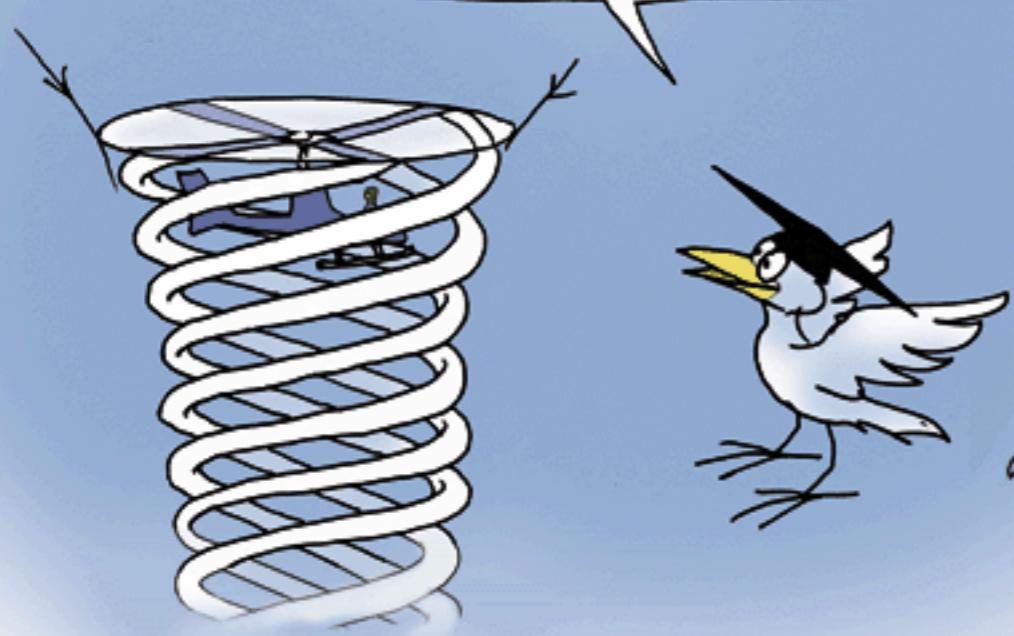
(*) cette relation exprime la conservation du flux d'air à masse volumique ρ constante. Ceci implique que la section S' soit plus petite que la section S

tout ce qui est **TOURBILLONNAIRE** représente une perte d'énergie. Le vol en translation contrarie l'établissement du régime tourbillonnaire. Cette façon de se maintenir à altitude constante est donc moins consommatrice en énergie



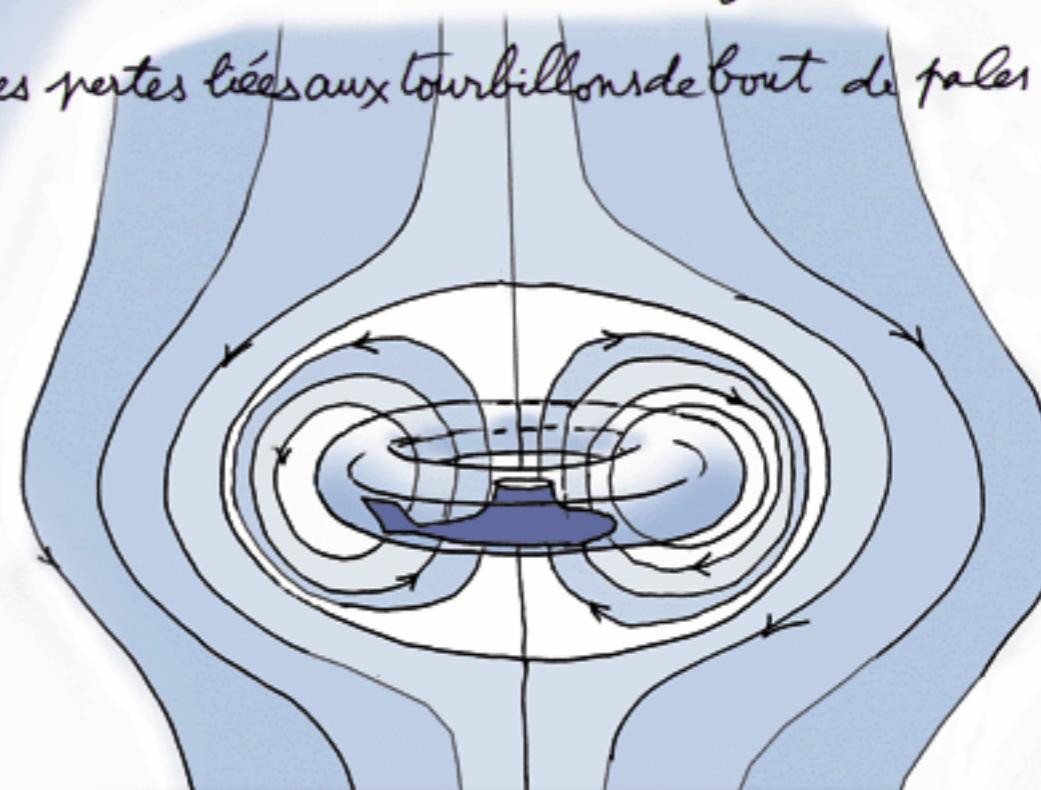
moindre importance des pertes liées aux tourbillons de bout de pale

lorsque l'hélicoptère amorce une descente verticale les tourbillons marginaux interagissent quand la vitesse verticale atteint $\frac{1}{4}V_i$

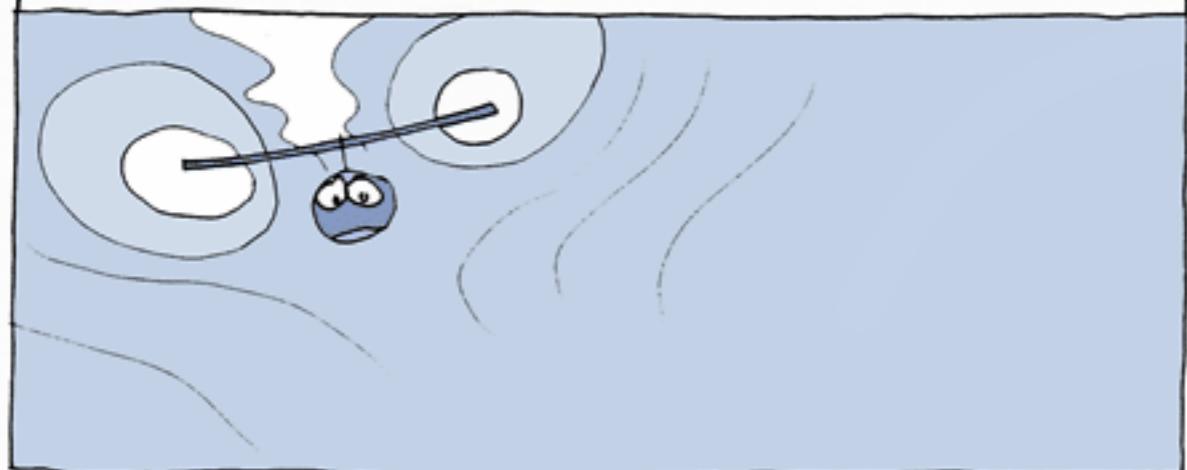


quand la vitesse de descente atteint les trois-quarts de la vitesse induite V_i les tourbillons se fondent en donnant naissance à un gros **VORTEX** de forme torique

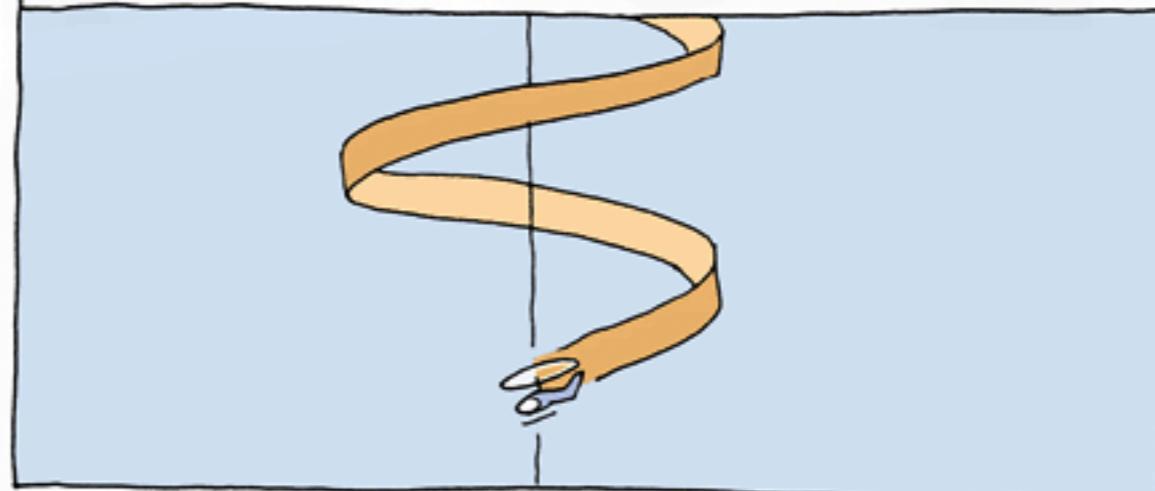
Puissance nécessaire au vol



chaque pale prend en relai le tourbillon marginal de la précédente et l'amplifie. Les pertes s'accroissent. De plus cette géométrie aérodynamique est très instable



aussi, pour plonger vers un site d'atterrissement, les pilotes préféreront adopter une approche en spirale en conservant un régime de translation



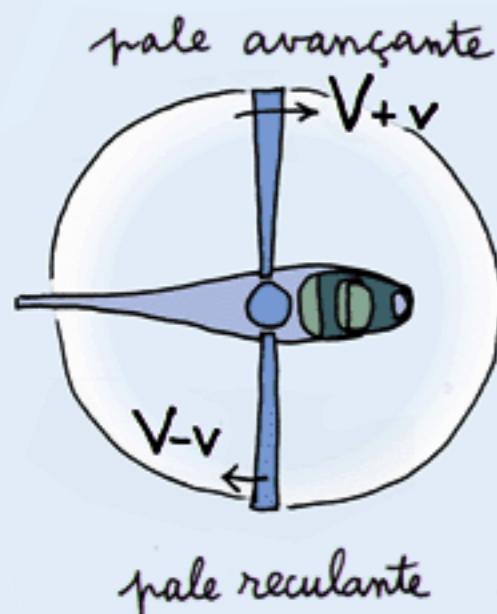
moralité = j'approcherai le haut de la tour en vol horizontal. Je casserai ma vitesse au dernier moment, en passant en vol stationnaire et en effectuant une dernière descente à vitesse verticale modérée, disons à un mètre par seconde



pour éviter ce dangereux passage en
RÉGIME TOURBILLONNAIRE

maintenant, reprendons
nos essais en vol

DÉCROCHAGE SUR PALE REÇULANTE



soit V la vitesse de la pale à sa périphérie. Soit v la vitesse de vol de l'hélicoptère. Le VENT RELATiF auquel est soumise la PALE AVANCANTE est $V+v$. Celui auquel est soumise la PALE REÇULANTE est $V-v$. Les forces de pression qui s'exercent sur les deux pales sont donc différentes.



on serait tenté de penser qu'à grande vitesse l'hélicoptère devrait avoir tendance à basculer sur le côté. Mais, du fait du retard de 90° de la "réponse" de l'engin ceci tend à le faire se cabrer



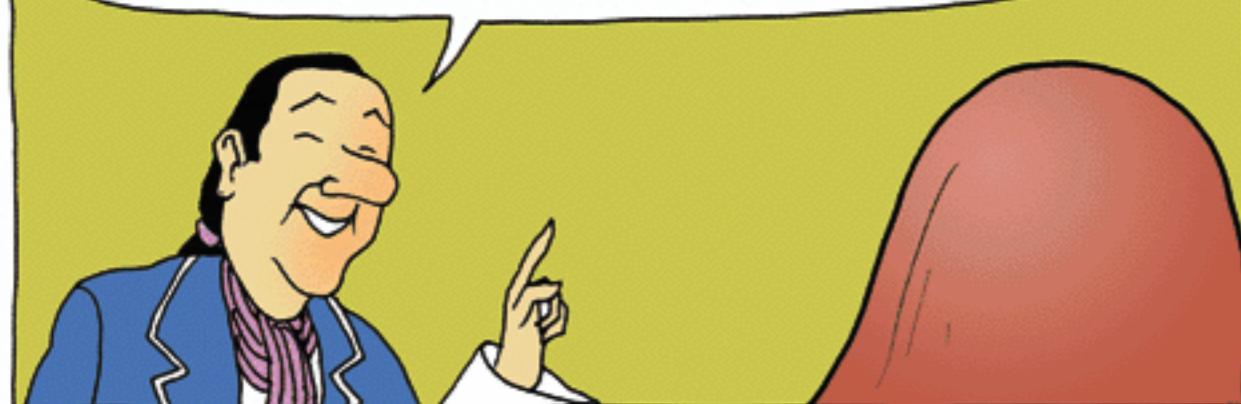
les sens de rotation des rotors diffèrent selon les pays - Ainsi, pour les hélicoptères français la pale avançante est à gauche alors qu'elle est à droite sur les machines américaines. Mais cela ne change rien à tout ce qui a été dit ici.

La Direction

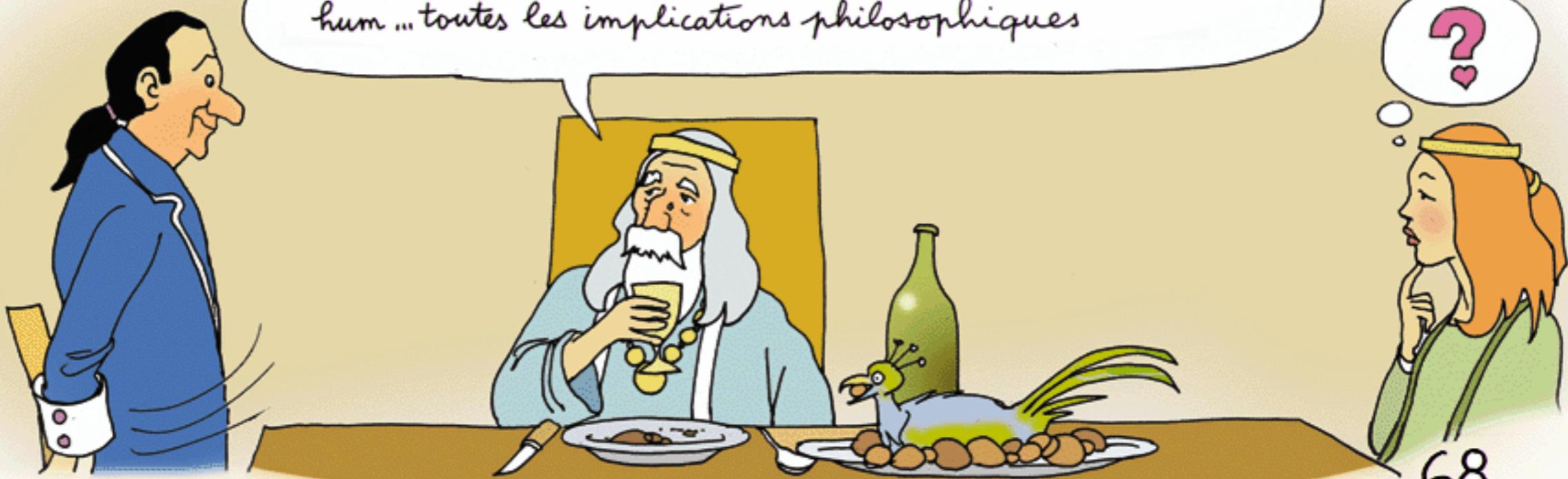




...et alors le prince, à l'heure où sonnaient au beffroy les douze coups de midi, monta sur son tapis volant et s'en vint délivrer la princesse, qui l'attendait en haut de la plus haute tour de son castel

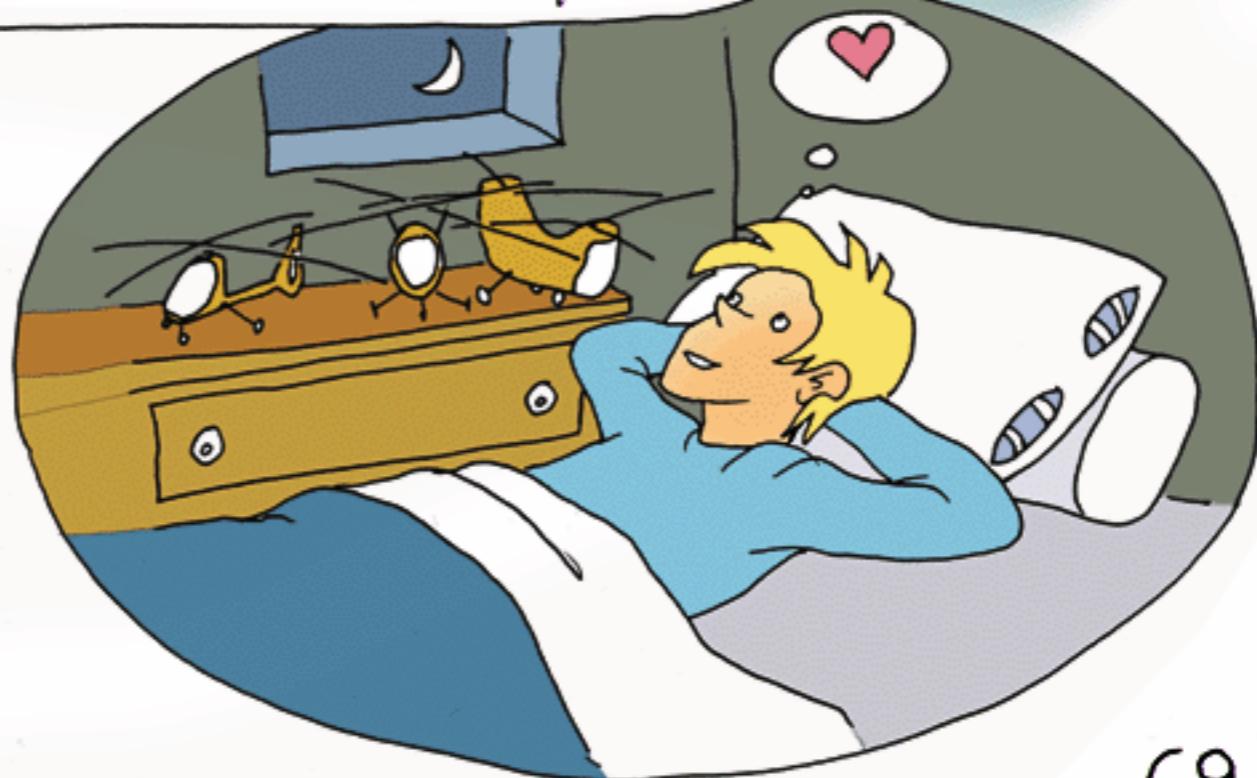


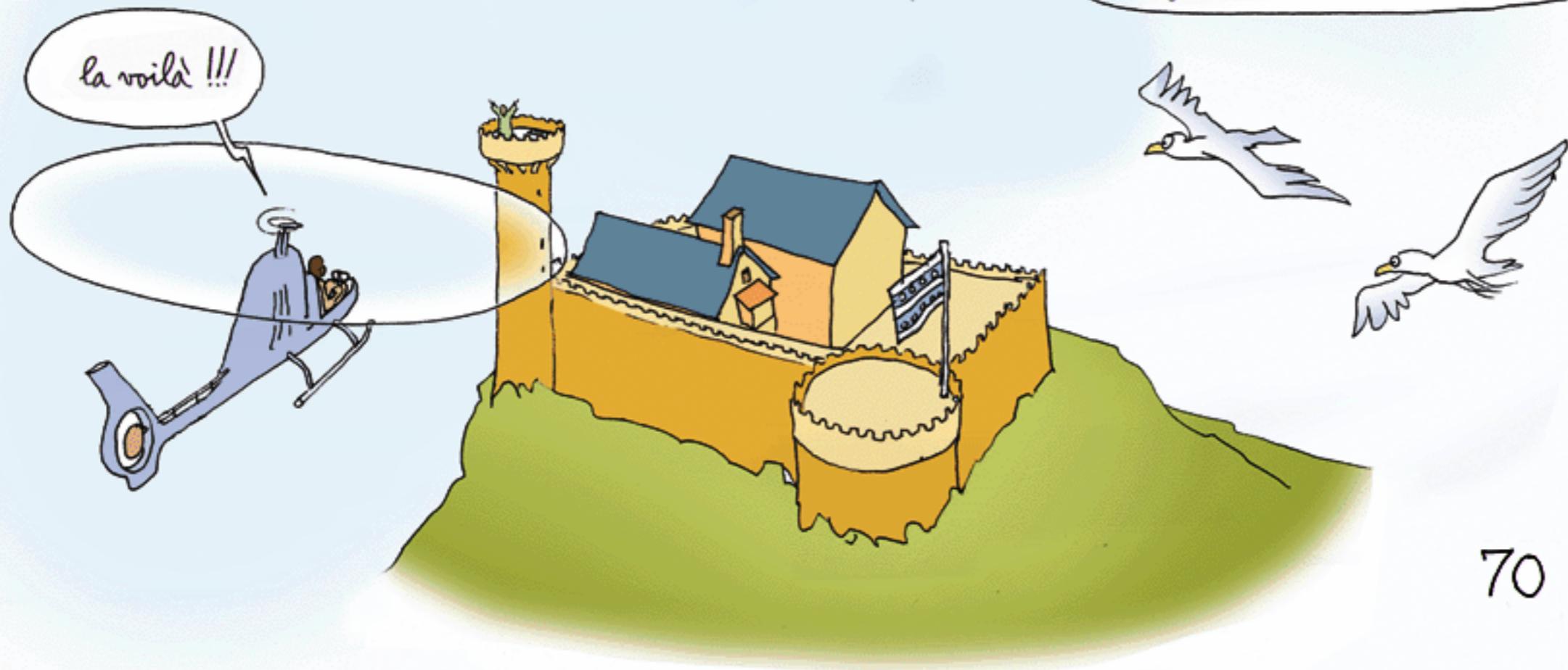
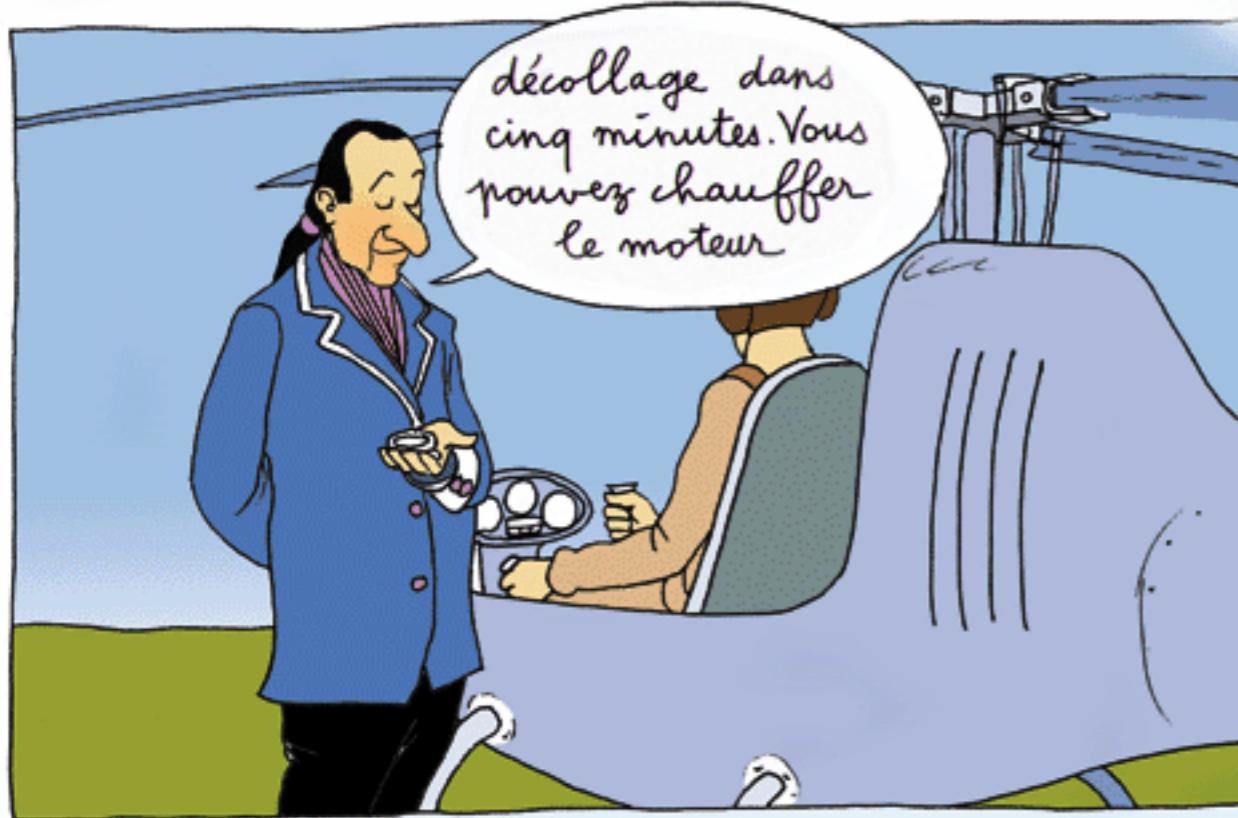
c'était une belle histoire, Pangloss, bien que je n'aie pas saisi...
hum ... toutes les implications philosophiques



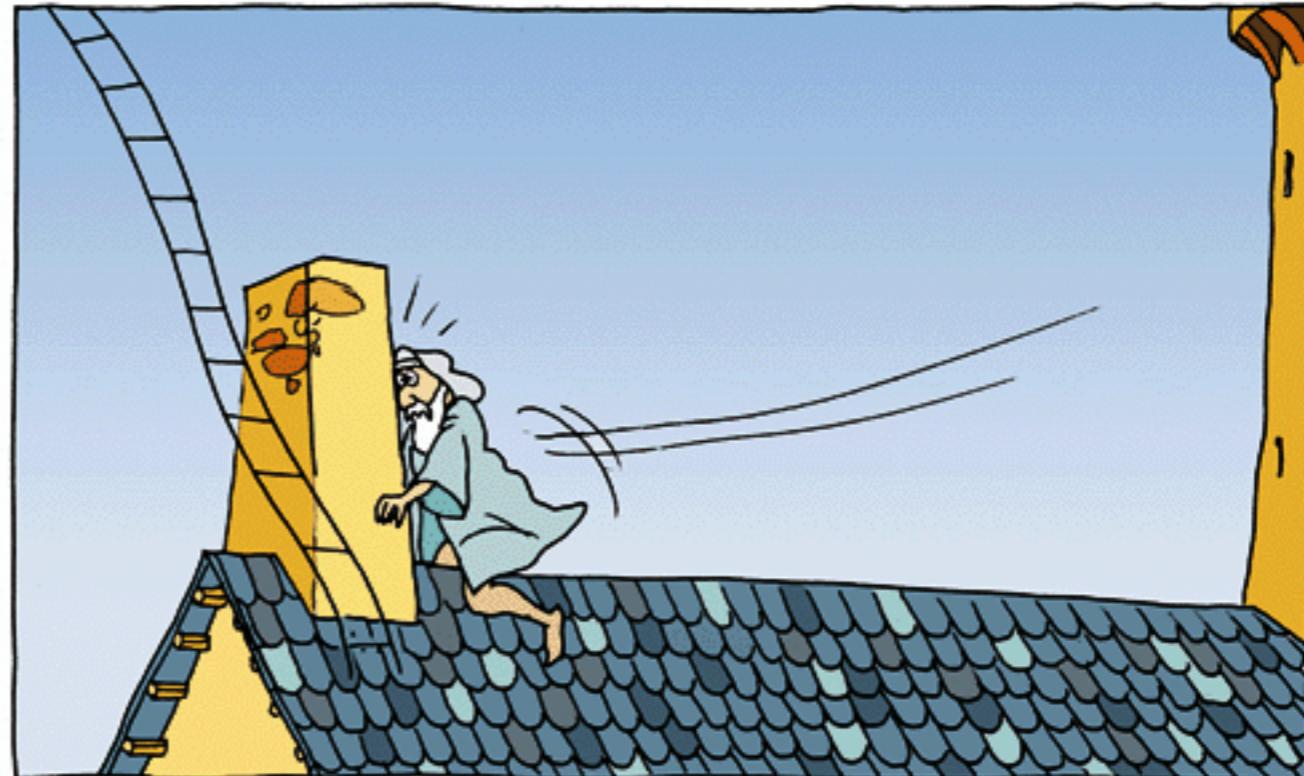


des princes qui viennent avec des tapis
volants ! C'est contre les lois de la physique !!





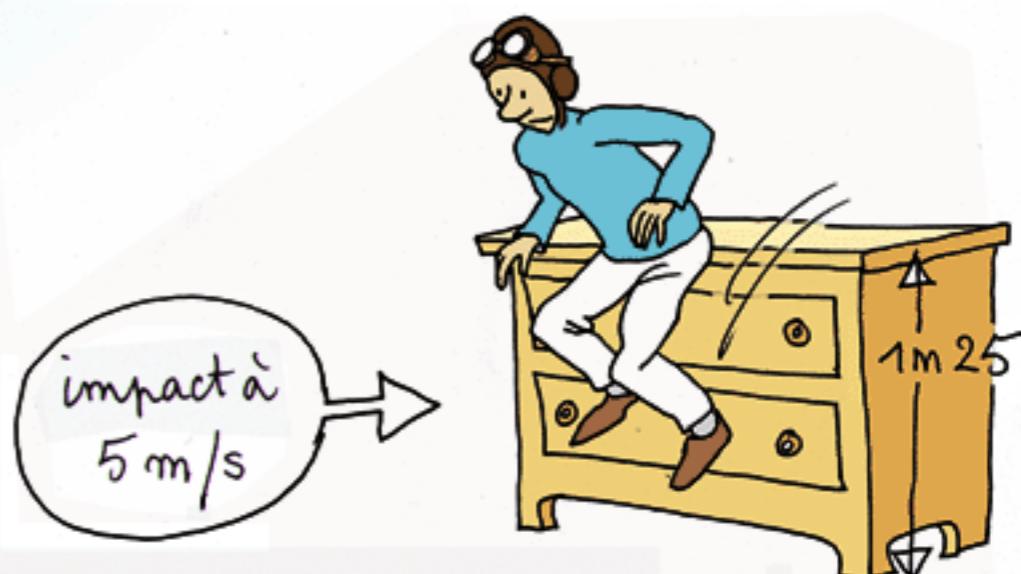






En régime d'autorotation un hélicoptère a une vitesse de 100 km/h, ce qui correspond à une **FINESSE de 3**. En autorotation verticale la vitesse de chute serait de 20m/s et l'impact à cette vitesse tuerait les passagers. Pour fixer les idées, un homme peut encaisser un impact à 5m/s ce qui équivaut à sauter d'un buffet (*). Un impact à 10m/s correspond à un saut d'une hauteur de 5 mètres.

DIRECTIONS

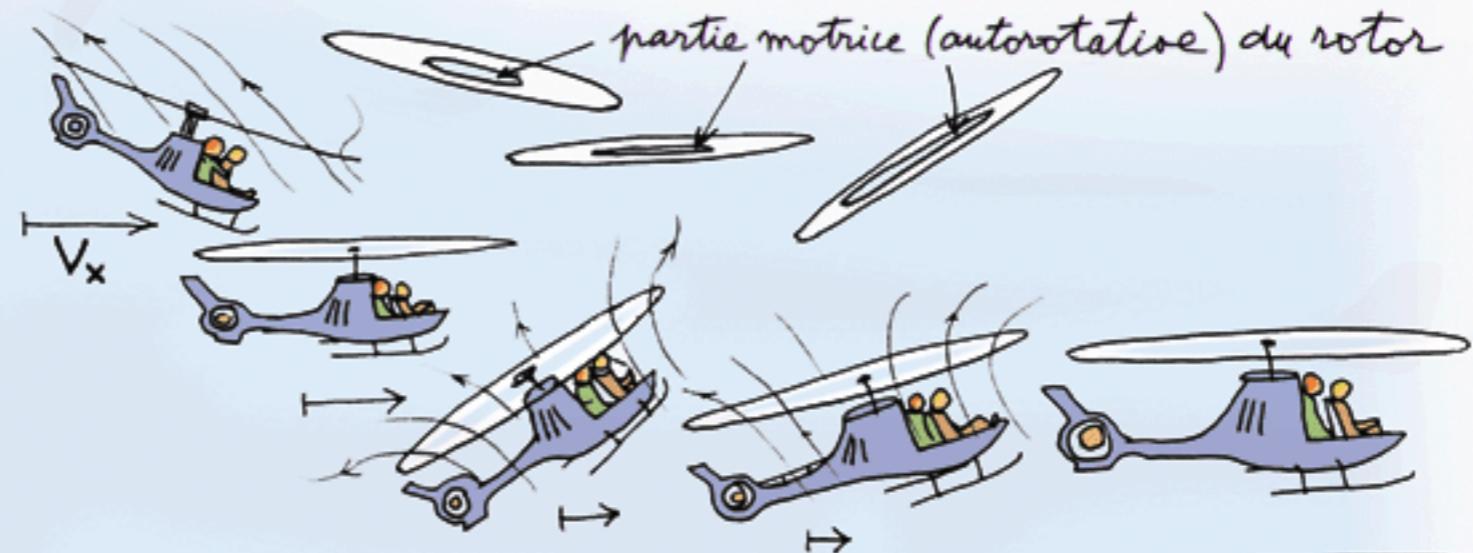


$$(*) V_{(m/s)} = \sqrt{2gz} = \sqrt{20z \text{ (mètres)}}$$

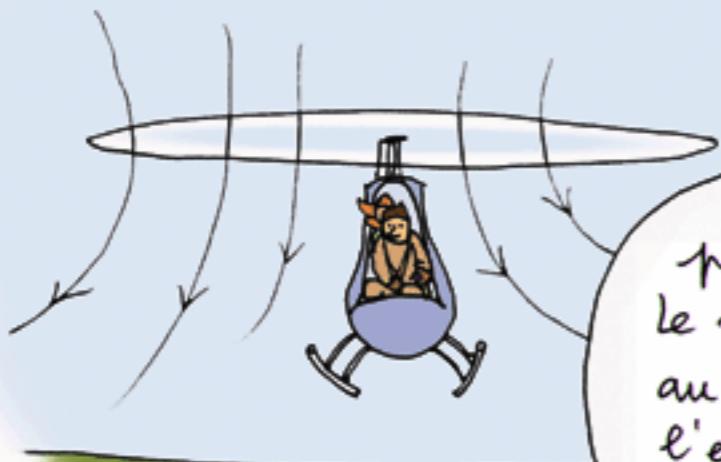


LE FLARE

il va falloir que j'improvise une manœuvre de dernier moment



A dix mètres de hauteur Candide tire franchement sur son manche en maintenant le pas collectif au minimum. La machine se cabre et les pales sont attaquées avec une incidence de vent relatif plus forte, ce qui accroît la partie du rotor qui est "motrice" autorotative le faisant il convertit l'énergie cinétique de translation $\frac{1}{2} M V_x^2$ en énergie de rotation. Puis il pousse sur le manche



il tire alors sur le levier de pas collectif. le flux d'air s'inverse. le rotor passe alors du régime "autogire" au régime "hélicoptère". Profitant de l'effet de sol il utilise l'énergie cinétique emmagasinée par le rotor (*)



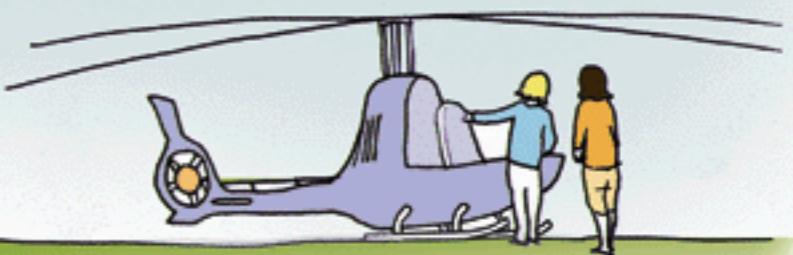
(*) Cette manœuvre est fortement consommatrice d'adrénaline



Comme ce baron est ennuyeux.
Pour une fois qu' apparaît
quelque chose d'un peu amusant
il veut mettre l'inventeur sous
les verrous. Nous allons arranger
cela. Plissonneau, passez-moi
mon épée, je vous prie

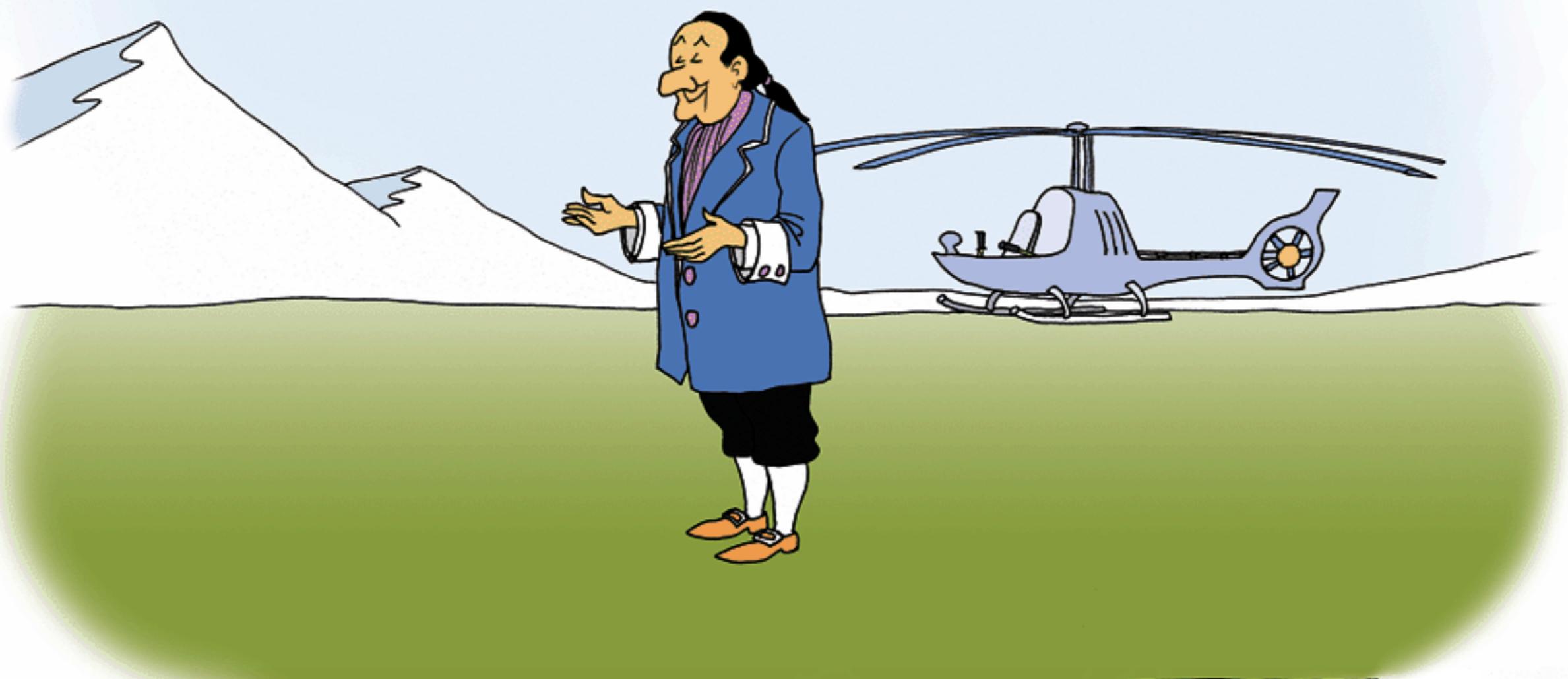


et marquis, c'est beaucoup mieux que baron. Alors maintenant papa, tu nous lâche un peu



FIN

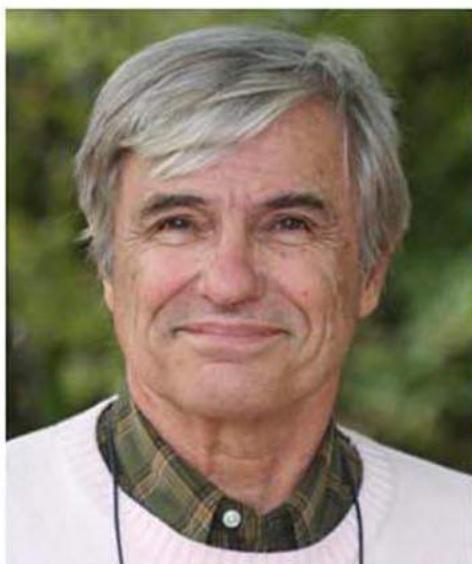
vous voyez donc, mon cher Candide, que tout est pour le mieux dans le meilleur des mondes possibles. Car, si vous n'aviez pas été jeté à la porte du château par monsieur le baron à grands coups de pied dans le derrière vous n'auriez pas inventé l'hélicoptère



Un grand merci à Pascal Chrétien pour ses précieux conseils techniques

Savoir sans Frontières

Association à but non lucratif créée en 2005 et gérée par deux scientifiques français. But : diffuser des connaissances scientifiques en utilisant la bande dessinée à travers des pdf gratuitement téléchargeables. En 2020 : 565 traductions en 40 langues avaient ainsi été réalisées. avec plus de 500.000 téléchargements.



Jean-Pierre Petit



Gilles d'Agostini

L'association est totalement bénévole. L'argent des dons est intégralement reversé aux traducteurs.

Pour faire un don, utilisez
le bouton Paypal sur la page
d'accueil du site Internet

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



Coordinnées bancaires France ➔ Relevé d'Identité Bancaire (RIB) :

Etablissement	Quichet	N° de Compte	Cle RIB
20041	01008	1822226V029	88

Domiciliation : La banque postale
Centre de Marseille
13900 Marseille CEDEX 20
France

For other countries ➔ International Bank Account Number (IBAN) :

IBAN
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

and ➔ Bank Identifier Code (BIC) :

BIC
PSSTFRPPMAR

Les statuts de l'association (en français) sont accessibles sur son site. La comptabilité y est accessible en ligne, en temps réel. L'association ne prélève sur ces dons aucune somme, en dehors des frais de transfert bancaire, de manière que les sommes versées aux traducteurs soient nettes.

L'association ne paie aucun de ses membres, qui sont tous des bénévoles. Ceux-ci assument eux-mêmes les frais de fonctionnement, en particulier de gestion du site, qui ne sont pas supportés par l'association.

Ainsi, vous pourrez être assurés, dans cette sorte « d'œuvre humanitaire culturelle » que quelle que soit la somme que vous donnez, elle sera *intégralement* consacrée à rétribuer les traducteurs.

Nous mettons en ligne en moyenne une dizaine de nouvelles traductions par mois.