

The background of the cover is a blurred, high-angle photograph of a helicopter's rotor assembly and tail boom. The rotor blades are light blue and white, with yellow and red markings. The tail boom is white with a red stripe. The overall image is out of focus, creating a sense of motion and depth.

SPÉCIFICITÉS HÉLICOPTÈRES

Cyril DELATTRE

Avant propos

Les hélicoptères sont des aéronefs dotés de capacités extraordinaires. Ils sont capables de rester en stationnaire, de se déplacer dans toutes les directions, de se poser sur des surfaces de dimensions très réduite.

Les problèmes de motorisation et de stabilité ont rendu leur développement beaucoup plus difficile et plus tardif que celui des avions. Certains composants en rotation sont soumis à des forces centrifuges et des forces de cisaillement alternées colossales. Les constructeurs ont également dû faire preuve d'une grande ingéniosité pour développer des systèmes indispensables tels que le plateau cyclique, qui transmet les ordres des commandes de vol à un rotor en constante rotation !!

Faute de connaissance des particularités des voilures tournantes, les hélicoptères sont souvent considérés comme des aéronefs comme les autres. La réglementation et beaucoup de procédures ont été calquées sur celles des avions. En Europe, à part quelques adaptations à la marge, le législateur a très peu tenu compte des spécificités des hélicoptères.

Aux Etats-Unis, une plus grande souplesse est laissée aux pilotes d'hélicoptères, à conditions de ne pas interférer avec les avions. Et les hélicoptères sont utilisés beaucoup plus près de leurs capacités réelles. Il est par exemple possible :

- de décoller et d'atterrir directement sur le parking (le pilote est responsable des effets de souffle) ;
- de décoller directement depuis le parking en prenant son cap départ, en coupant les pistes, si le trafic le permet (« take-off on course ») ;
- d'effectuer une translation haute (« air-taxi »), d'un point à l'autre de l'aérodrome, à une hauteur < 100 ft et une vitesse > 20 kt ;
- généralement les pilotes d'hélicoptères ne contactent pas la fréquence sol, même pour translater ;
- ...

Toujours aux Etats-Unis, en dehors des zones densément peuplées, il n'existe pas non plus de hauteur minimale de survol pour les hélicoptères. La seule contrainte est de ne pas mettre les personnes au sol en danger (Code of Federal Regulations, Section 91.119).

En Europe, les spécificités du pilotage et des trajectoires des hélicoptères sont très peu connues des pilotes d'avions et des contrôleurs aériens. Or dans l'aviation comme dans beaucoup de domaines, la connaissance des procédures et des contraintes des différents acteurs de la sécurité permet :

- l'adoption d'un langage commun ;
- de nettement améliorer le niveau de communication et de compréhension réciproque ;
- d'améliorer la synergie entre les différents acteurs.

Le but de ce petit livret est donc de présenter les spécificités des hélicoptères, de la façon la plus claire possible, si possible par comparaison avec les avions, mais sans trop entrer dans des considérations trop techniques ou fastidieuses. Il s'adresse à des personnes ayant déjà une connaissance de l'avion. Il ne se veut ni exhaustif ni un manuel de formation. Certaines notions sont volontairement simplifiées pour faciliter la compréhension. In fine, le partage de ces quelques notions et spécificités avec les contrôleurs aériens, les pilotes avions (instructeurs et élèves-pilotes) ne peut qu'augmenter le niveau de sécurité.

Les portes des ATO et DTO hélicoptères sont également grandes ouvertes à ceux qui souhaitent de plus amples renseignements techniques ou qui souhaitent apprendre à voler sur ces merveilleuses machines.

Quelques mots sur l'auteur

Formation ENAC pilote en 1988, pilote de ligne avion depuis 1993, initialement Officier Pilote de Ligne sur A320, B747-200, B747-400, puis Commandant de Bord sur A320, A340, A330 puis A350.

Pilote hélicoptère depuis 2014, pilote professionnel hélicoptère depuis 2021.

Remerciements

Un énorme merci à Philippe SABATER, instructeur et examinateur hélicoptère, pour toutes les connaissances transmises, sa gentillesse, sa patience, sa disponibilité, son envie de transmettre et de partager, son sens de la pédagogie. Philippe est un véritable puits de science aussi bien sur la technique, la réglementation, le pilotage, ...

Merci à Philippe pour son aide, son travail de lecture et de correction des erreurs.

Merci également à Lucas THOMAS, instructeur, pour son briefing sur les effets primaires et secondaires des commandes de vol et sa relecture du chapitre correspondant.

Mise en garde

Les informations contenues dans ce document sont données sous toutes réserves, ne constituent pas une référence fiable et n'ont aucunement vocation à remplacer la documentation officielle.

Toutes les erreurs et suggestions d'amélioration sont les bienvenues et peuvent être transmises à l'auteur : cydelattre@gmail.com

Sommaire

1. PETIT GLOSSAIRE FRANÇAIS-ANGLAIS
2. PREMIERES PETITES DIFFERENCES
3. L'INSTABILITE
4. LES COMMANDES DE VOL
5. LES EFFETS SECONDAIRES DES COMMANDES DE VOL
6. LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX PROPRES AUX HÉLICOPTÈRES
7. NOTIONS IMPORTANTES
 - 6.1 L'accrochage
 - 6.2 Les 3 réserves d'énergie
 - 6.3 L'autorotation
 - 6.4 Le diagramme hauteur-vitesse
 - 6.5 L'effet de sol
 - 6.6 Le stationnaire en effet de sol et le stationnaire hors effet de sol
8. LES DIFFÉRENTES TRAJECTOIRES DE DÉCOLLAGE
9. LES DIFFÉRENTES TRAJECTOIRES D'ATTERRISSAGE
10. LA TURBULENCE DE SILLAGE
11. LES EXERCICES LES PLUS COURAMMENT PRATIQUÉS
12. RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES

Les nombres en exposant (*) renvoient aux références documentaires citées à la fin du livret



Ce petit symbole renvoie à des vidéos Youtube

1. PETIT GLOSSAIRE FRANÇAIS-ANGLAIS

France	Etats-Unis ³	signification
accrochage	effective translational lift	Augmentation de l'efficacité du rotor principal lorsque la vitesse air augmente de 15 à 30 kt environ.
atterrissage en dévers	slope landing	Atterrissage sur une surface en pente.
atterrissage de précision	normal landing	Atterrissage avec une finale décélérée, utilisé lorsque l'espace disponible ne permet pas une décélération en effet de sol.
autorotation	autorotation	Atterrissage moteur totalement réduit.
autorotation complète	touchdown autorotation fulldown autorotation	Autorotation avec arrêt au sol.
autorotation en stationnaire	hover auto	Autorotation effectuée depuis la hauteur du stationnaire.
décollage oblique	maximum performance takeoff	Décollage réalisé hors effet de sol, selon un angle de montée plus ou moins fort.
diagramme hauteur-vitesse	height-velocity diagram	Diagramme défini par le constructeur et indiquant les domaines de hauteur et de vitesse dans lesquels l'hélicoptère ne pourra pas se poser en sécurité en cas de panne moteur.
drop zone	landing zone	Zone d'atterrissage en campagne, non préparée et non sécurisée.
effet de sol	ground effect	Surpression générée par le rotor, entre le rotor et le sol, lorsque l'hélicoptère se trouve très près du sol. Cette surpression crée un coussin d'air et augmente la portance du rotor.
effet girouette	weathercock effect weather vane effect	Tendance de l'hélicoptère à pivoter face au vent, comme une girouette.
enfouissement en puissance	settling with power	Enfoncement de l'hélicoptère vers le bas par inertie, lorsque l'arrêt de la descente n'a pas été suffisamment anticipé.
finale à Vi constante	(non pratiqué)	Finale réalisée en conservant une vitesse constante d'environ 50-60 kt jusque près du sol, pour décélérer ensuite en effet de sol.
manche cyclique	cyclic control	Manche tenu avec la main droite et servant à orienter le plan de rotation du rotor. Sur un hélicoptère sans pilote automatique, le manche de pas cyclique ne peut jamais être lâché.
manche de pas général	collective control	Manche tenu avec la main gauche et servant à faire varier le pas de toutes les pales en même temps et donc à faire monter ou descendre l'hélicoptère. A proximité du sol, il ne peut pas être lâché et les 2 mains sont utilisées.
mise en stationnaire	pick up	Phase de vol entre le poser au sol et le stationnaire.
obscurcissement dû à la neige	whiteout	Perte de références visuelles extérieures due à la neige.
obscurcissement dû à la poussière	brownout	Perte de références visuelles extérieures due à la poussière.
palonniers	pedals	- Au sol et près du sol, servent à contrôler l'orientation de l'hélicoptère. - En vol, servent à contrôler la symétrie du vol.
perte d'efficacité du rotor anti-couple	loss of tail rotor effectiveness	Phénomène aérodynamique qui engendre un mouvement rapide en lacet pouvant amener à une perte de contrôle totale de l'hélicoptère.
poser (au sol)	settling	Phase de vol entre le stationnaire et le moment où l'hélicoptère est au sol.
renversement dynamique	dynamic rollover	Basculement de l'hélicoptère au sol sous l'effet de l'inclinaison de la portance. Le renversement dynamique peut être facilité par la poussée du rotor anti-couple (RAC).
renversement statique	static rollover	Basculement de l'hélicoptère au sol sous l'effet de son inclinaison et de son propre poids.
souffle du rotor	downwash	Souffle du rotor vers le bas, plus ou moins fort en fonction de la masse de l'hélicoptère.
stationnaire	hover	Trajectoire immobile de l'hélicoptère par rapport au sol.
talonnage	mast bumping	Rupture du mat rotor par inclinaison du fuselage dans une direction opposée à celle du rotor principal, sous facteur de charge négatif.
translation	hover-taxi ou taxi	Déplacement en effet de sol.
translation haute	air-taxi ^{1,3}	Déplacement d'un point à l'autre d'un aérodrome, en s'affranchissant des taxiways, à une hauteur inférieure à 100 ft et à une vitesse supérieure à 20 kt. ^{1,3}
travail sol	hover work	Exercices de maniabilité et d'entraînement réalisés proche de la surface.
vortex	vortex ring state	Enfoncement de l'hélicoptère dans son propre souffle rotor.
zone exigüe	confined area	Zone de poser hélicoptère située hors agglomération, non nécessairement aménagée.
zone hostile	hostile environment	Zone au-dessus de laquelle une autorotation ne pourrait pas s'effectuer en sécurité (zone habitée, boisée, ...).

2. PREMIERES PETITES DIFFERENCES

- Décompte du temps de vol

Le temps de vol officiel est décompté différemment en avion et en hélicoptère (définitions OACI¹¹) :

- en avion : depuis le moment où l'avion commence à se déplacer en vue du décollage jusqu'au moment où il s'immobilise en dernier lieu à la fin du vol ;
- en hélicoptère : depuis le moment où les pales de rotor de l'hélicoptère commencent à tourner jusqu'au moment où l'hélicoptère s'immobilise en dernier lieu à la fin du vol et où les pales de rotor sont arrêtées.

- Essais systèmes

Sur hélicoptère, tous les essais systèmes (moteur, alternateur, embrayage rotor, magnétos, roue libre, hydraulique si équipé, alarmes, ...) sont réalisés au parking, avant de translater. Une fois les essais terminés, l'hélicoptère est totalement prêt à décoller.

- Manipulations à proximité du sol

En raison de l'instabilité de l'hélicoptère et de la très grande sensibilité des commandes de vol, un pilote d'hélicoptère en translation près du sol, en montée initiale ou en approche finale ne peut ni passer tête basse pour consulter un document, ni lâcher les commandes de vol (2 mains, 2 pieds) pour modifier un affichage, même brièvement. La seule exception est le transfert de fréquence VHF, si l'hélicoptère est équipé d'un bouton de transfert de fréquence de fréquence sur le manche cyclique et si la fréquence suivante a été préaffichée en attente.

Il est donc souhaitable :

- pour le pilote : d'anticiper l'affichage des fréquences en attente sur la VHF ;
- pour les contrôleurs : d'anticiper les changements de code transpondeur, lorsque cela est possible.

A défaut, le pilote doit se poser au sol, baisser le pas général, voire réduire complètement la puissance, effectuer les modifications d'affichage, remettre la puissance et repasser en stationnaire.

- Prise en compte du vent

A faible vitesse, les hélicoptères sont très sensibles au vent. Il n'existe pas une position neutre du manche cyclique ; le manche cyclique doit constamment être décalé du côté du vent. Le pilote doit donc en permanence avoir à l'esprit la direction du vent. C'est le cas par exemple en stationnaire ou en translation près du sol.

- Niveau sonore

En hélicoptère, le niveau sonore est extrêmement élevé, même avec un casque avec réduction de bruit active.

3. L'INSTABILITÉ

Par construction, un avion possède une stabilité naturelle. Par exemple :

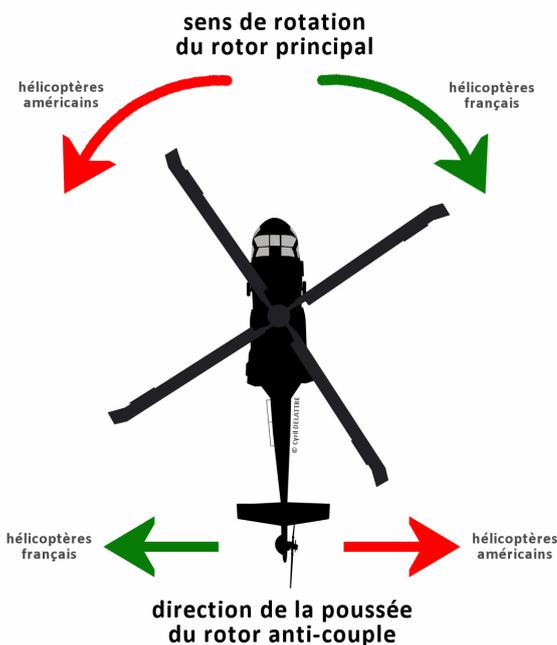
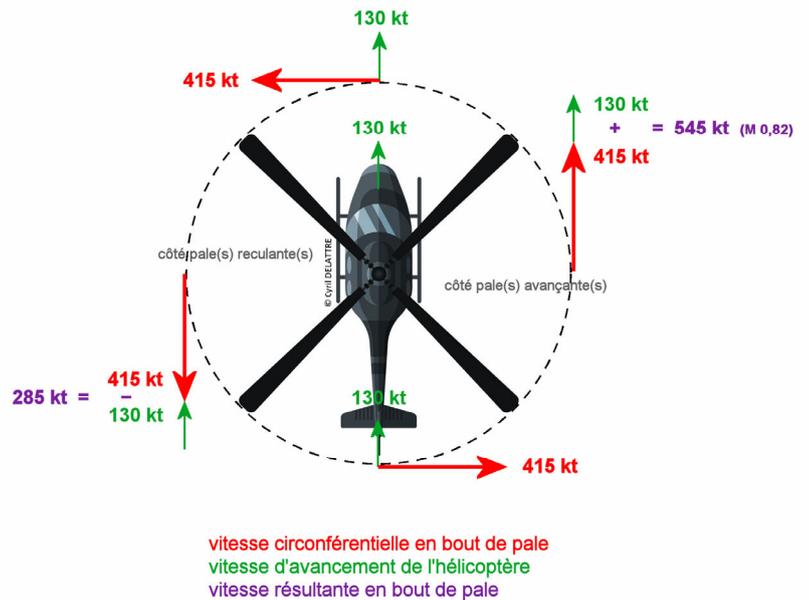
- le dièdre des ailes lui confère une stabilité en roulis ;
- son plan fixe vertical lui confère une stabilité en lacet et son plan fixe horizontal une stabilité en tangage ;
- un avion dont la vitesse augmente se met à monter, sa vitesse et sa portance diminuent, il redescend naturellement.

Un avion bien « trimé » est donc très stable en tangage et il est possible de lâcher le manche pendant un temps assez long.

Rien de tout cela sur un petit hélicoptère ! Au contraire, l'hélicoptère est naturellement instable.

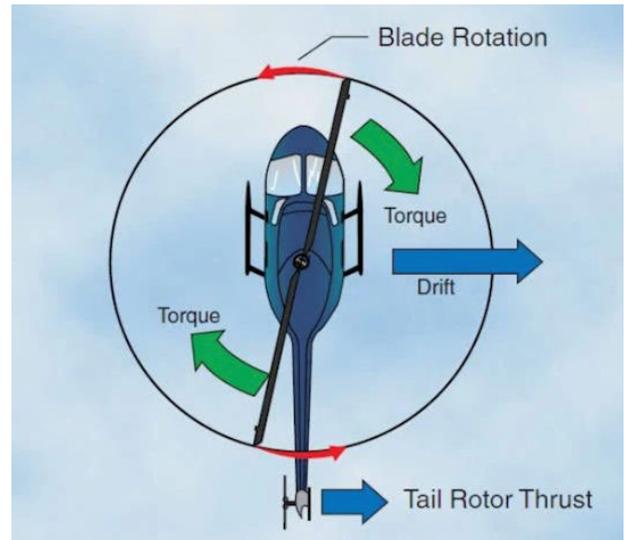
En vol de croisière, le bout de pale d'un côté de l'hélicoptère atteint des vitesses transsoniques tandis que sur une grande partie de la pale opposée les filets d'air attaquent la pale par le bord de fuite ! Cette partie de pale est donc aérodynamiquement décrochée et ne fournit pas du tout de portance.

- La VNE d'un hélicoptère est définie par ces 2 phénomènes : effets transsoniques sur la pale avançante par températures froides et décrochage de la pale reculante par températures chaudes. D'où des vitesses de croisière plus faibles que celles d'un avion.
- Il devrait donc exister une très forte dissymétrie de portance entre la pale avançante et la pale reculante. Cette dissymétrie est corrigée par divers artifices.

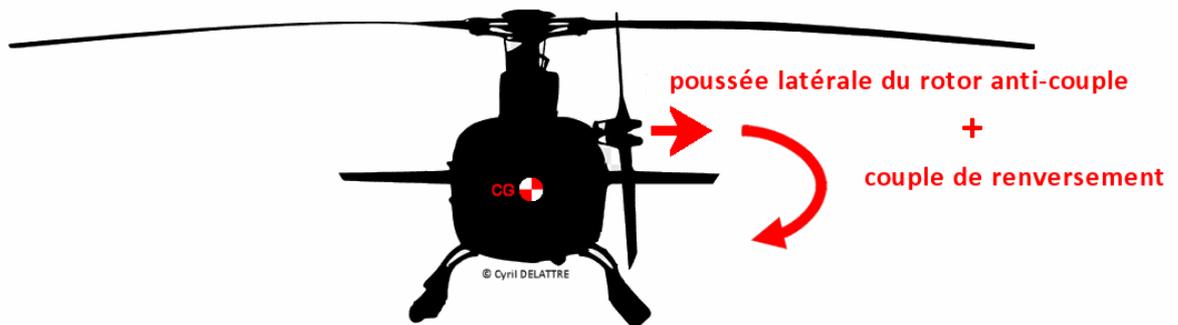


Sur les hélicoptères équipés d'un seul rotor principal, la présence d'un dispositif anti-couple est indispensable pour empêcher le fuselage de tourner en permanence en sens inverse du rotor (action-réaction ou 3è loi de Newton).

Le rotor anti-couple fournit un couple en lacet contraire au couple du rotor principal. Mais il fournit également une force latérale non désirée qui pousse l'hélicoptère sur le côté et le fait dériver.



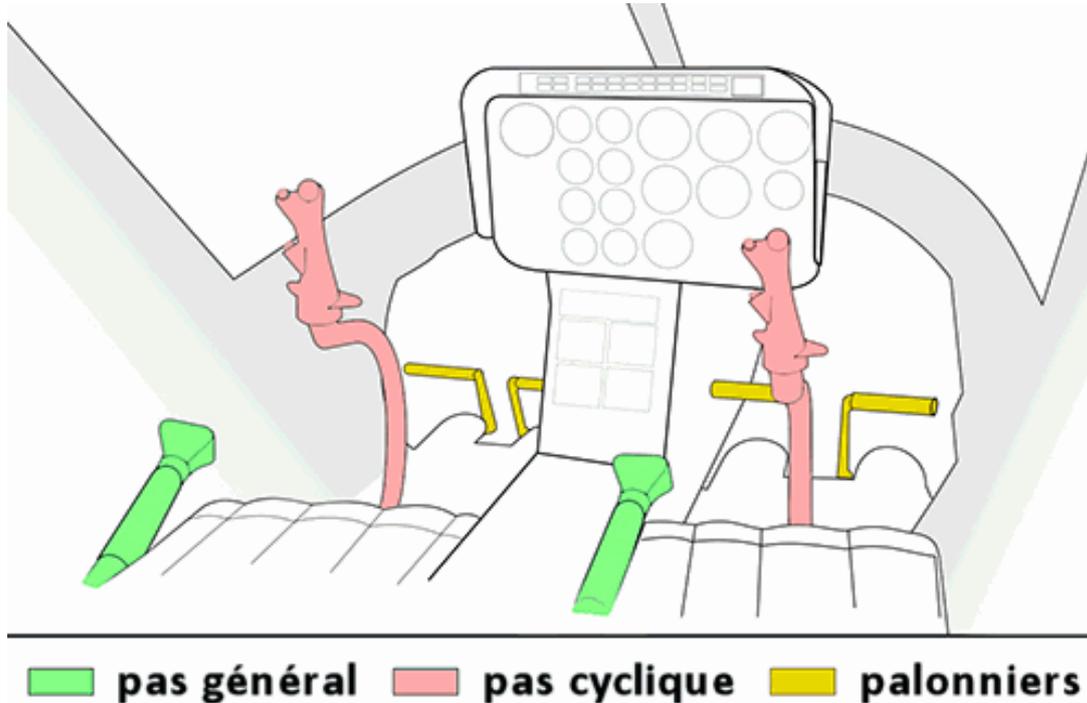
Et même un couple de renversement qui induit un moment de roulis du même côté.



Un hélicoptère ne vole donc pas droit. Par construction, le rotor principal est légèrement incliné, pour compenser la poussée latérale et le couple de renversement du rotor anti-couple.

Autre complication : une action sur un des 3 axes ou sur la puissance requiert une correction sur les autres axes ou sur la puissance. La seule stabilité naturelle de l'hélicoptère est sa tendance à pivoter face au vent relatif (effet girouette) grâce au plan fixe vertical.

4. LES COMMANDES DE VOL



- La commande de pas général

Elle est toujours située à gauche du pilote et donc tenue de la main gauche. Elle ressemble un peu à un frein à main et peut être levée ou baissée.

Les rotors d'un hélicoptère ont une vitesse de rotation constante. La commande de pas général permet de faire varier l'incidence de toutes les pales du rotor principal en même temps, donc de faire monter ou descendre l'hélicoptère, comme on fait monter ou descendre un avion en modifiant l'incidence de l'aile.

Si elle n'est pas tenue, cette commande peut souvent monter ou descendre librement, parfois très rapidement. A proximité du sol, elle ne peut pas être lâchée. Le pilote doit donc se poser et baisser le pas général avant de changer de code transpondeur ou de changer de fréquence radio, sauf sur les hélicoptères équipés d'un bouton de transfert de fréquence radio sur la commande de pas cyclique.

- La commande de pas cyclique

C'est l'équivalent du manche sur un avion. Elle est située devant le pilote et est tenue de la main droite. Elle permet de faire varier le pas des pales du rotor principal en fonction de leur azimut, donc de faire pivoter le plan de rotation du rotor. Cela permet de diriger l'hélicoptère pour aller dans toutes les directions.

Le pas cyclique doit être tenu en permanence, dès que le rotor tourne. Il ne peut jamais être lâché. A défaut :

- au sol le rotor peut entrer en contact avec ses butées mécaniques et être endommagé ;
- en vol l'hélicoptère se retourne rapidement.

Le neutre du cyclique varie énormément en fonction du centrage longitudinal et latéral de l'hélicoptère.

Les hélicoptères légers sont très sensibles au vent et, en stationnaire ou en translation près du sol, le pilote doit constamment décaler le cyclique du côté du vent.

- Les palonniers

3^e loi de Newton : « pour toute action engendrée sur un objet, il en résulte une réaction de force opposée mais égale en norme. »

⇒ si le rotor tourne dans un sens, le fuselage tourne dans le sens contraire.

Sans système anti-couple, le fuselage de l'hélicoptère tournerait en sens inverse du sens de rotation du rotor principal.

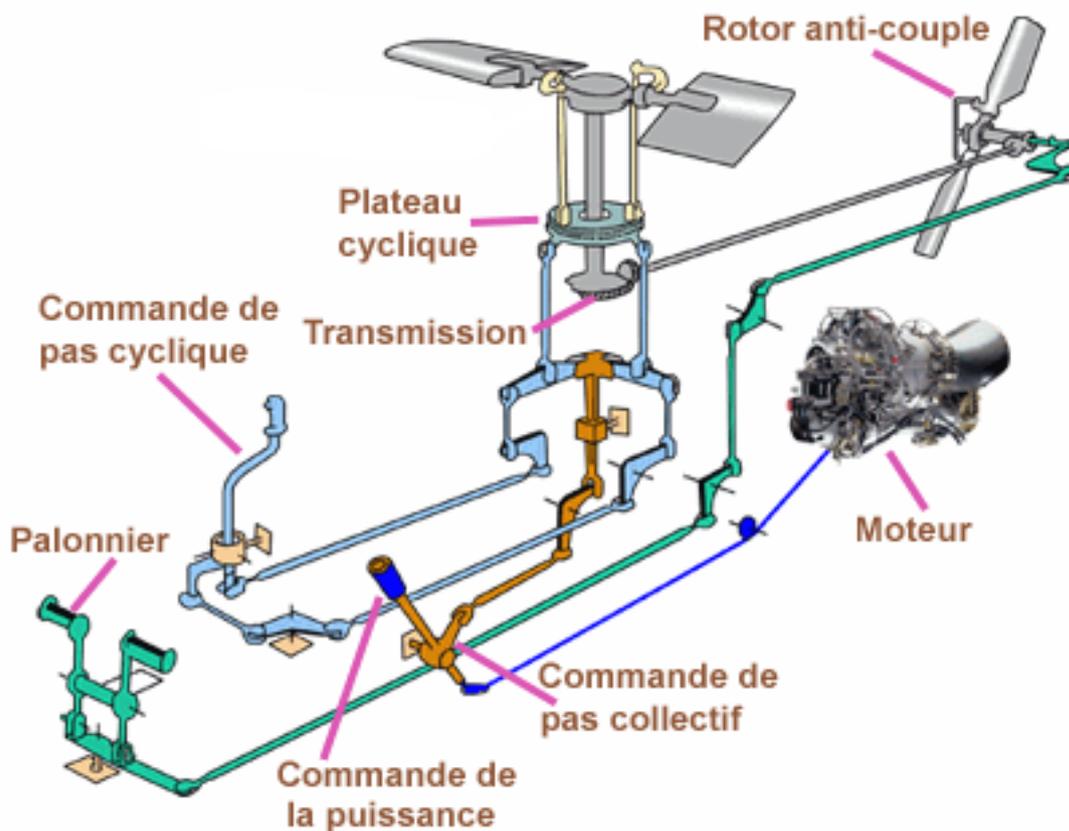
Les palonniers agissent sur le pas des pales du rotor anti-couple (RAC).

- patins au sol, ils servent à éviter que l'hélicoptère ne parte en toupie ;
- en stationnaire ou en translation près du sol et à faible vitesse, ils servent à orienter le nez de l'hélicoptère ;
- en vol, ils servent à conserver la symétrie du vol.

En hélicoptère on ne met pas de pied en virage (pas de lacet inverse).

- La commande des gaz

Il s'agit d'une poignée tournante située au bout de la commande de pas général. Le maintien de la vitesse de rotation rotor étant primordial, les hélicoptères récents (Robinson, Guimbal, Eurocopter, Airbus, ...) sont équipés d'un régulateur qui agit sur le régime moteur pour maintenir les tours rotor, quelle que soit la phase de vol. Le pilote peut facilement surpasser le régulateur.



L'avionnaire, hélicoptère, commandes de vol : <https://www.lavionnaire.fr/HelicoCommandes.php>

5. LES EFFETS SECONDAIRES DES COMMANDES DE VOL

En avion aussi, il existe des effets secondaires des commandes de vol. Par exemple le roulis induit et le lacet inverse (d'où la nécessité de mettre du pied dans les virages en avion).

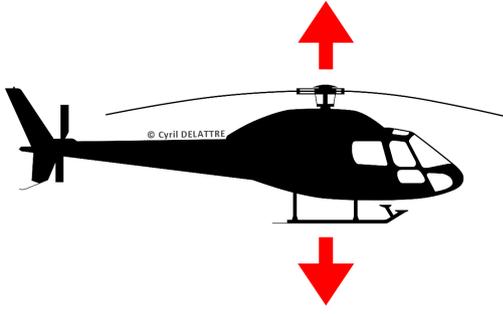
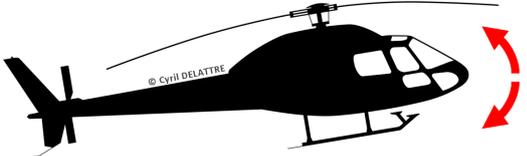
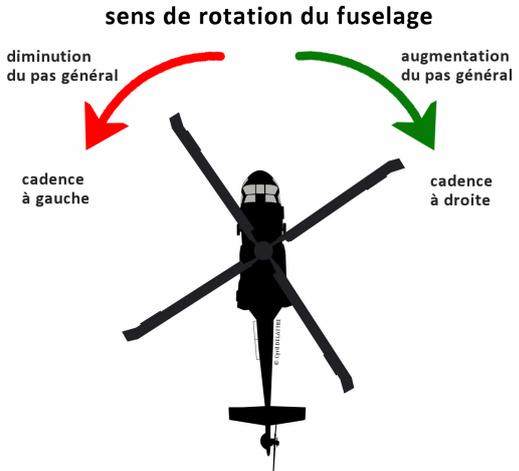
Mais en avion les effets secondaires sont peu nombreux, chacun a un impact sur un seul axe et est donc beaucoup plus facile à anticiper et à gérer.

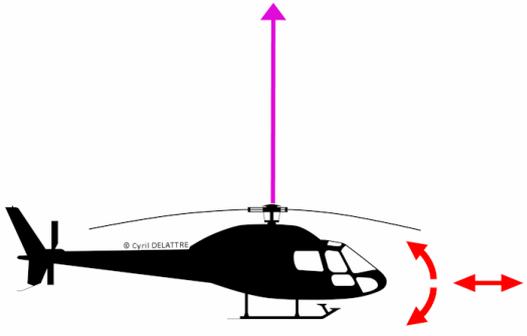
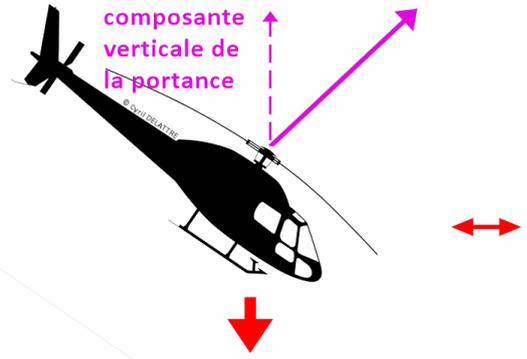
En hélicoptère les effets secondaires des commandes de vol sont beaucoup plus nombreux. Et un effet secondaire a parfois un impact sur plusieurs axes à la fois. En revanche le pilote peut parfois utiliser ces effets secondaires à son profit.

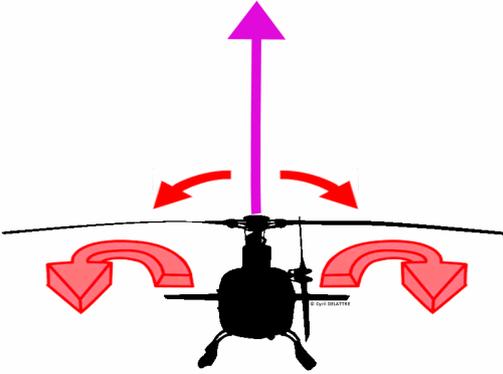
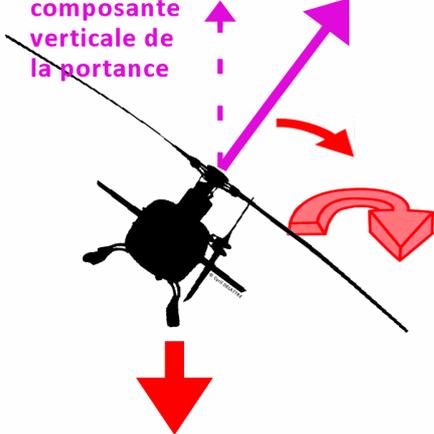
L'effet conjugué des effets secondaires des commandes de vol et de l'instabilité inhérente aux hélicoptères rend leur pilotage beaucoup plus difficile que celui des avions.

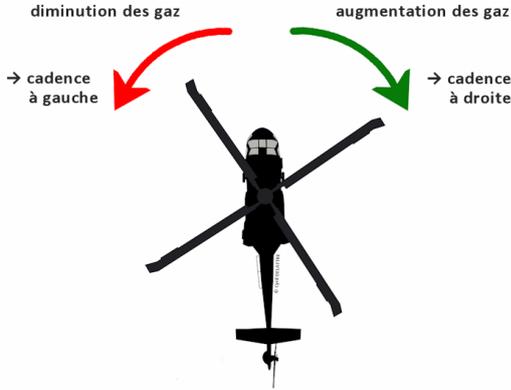
Voici une présentation des effets secondaires des commandes de vol en hélicoptère. Afin de simplifier, on considère ici seulement le cas d'un hélicoptère avec un rotor principal tournant dans le sens anti-horaire vu du dessus.

commande	réaction	effet primaire recherché	effet secondaire parasite
palonniers	Augmente ou diminue le pas des pales du RAC.	<p>Orienté le nez de l'hélicoptère vers la gauche ou vers la droite (cadence selon l'axe de lacet).</p>	<p>La répartition de puissance entre le rotor principal et le RAC est d'environ 75% (rotor principal) et 25% (RAC). Un appui sur la pédale de palonnier gauche/droite augmente/diminue le pas des pales du RAC et requiert/libère de la puissance. La puissance disponible pour le rotor principal diminue/augmente et l'hélicoptère descend/monte.</p> <p>-> Il faut compenser avec le pas général.</p>

commande	réaction	effet primaire recherché	effets secondaires (parasites)
pas général	Augmente ou diminue le pas de toutes les pales du rotor principal en même temps.	Fait monter ou descendre l'hélicoptère. 	<p>1) Une augmentation/diminution du pas général fait cabrer/piquer l'hélicoptère -> la vitesse diminue/augmente.</p>  <p>-> Si on souhaite conserver une vitesse constante, il faut compenser avec le manche cyclique.</p> <p>2) Le couple exercé par le rotor principal sur le fuselage augmente/diminue et le nez de l'hélicoptère part à droite/gauche.</p> <p>sens de rotation du fuselage</p>  <p>-> Il faut augmenter/diminuer la force exercée par le RAC en mettant appuyant sur la pédale de palonnier gauche/droite.</p>

commande	réaction	effet primaire recherché	effet secondaire parasite
cyclique longitudinal	Incline le disque rotor dans la direction donnée par le cyclique.	<p>1) Modification de l'assiette selon l'axe de tangage.</p> <p>2) L'hélicoptère accélère dans la direction donnée par le cyclique.</p> 	<p>Comme on incline la portance, sa composante verticale est plus faible et l'hélicoptère descend.</p>  <p>-> Si on ne souhaite pas descendre, il faut compenser avec le pas général.</p>

commande	réaction	effet primaire recherché	effet secondaire parasite
cyclique latéral	Incline le disque rotor dans la direction donnée par le cyclique.	<p>1) Modification de l'inclinaison selon l'axe de roulis. 2) L'hélicoptère tourne dans la direction donnée par le cyclique.</p> 	<p>Comme on incline la portance, sa composante verticale est plus faible et l'hélicoptère descend.</p>  <p>-> Il faut compenser avec le pas général.</p>

commande	réaction	effet primaire recherché	effet secondaire parasite
poignée des gaz	Modifie la pression d'admission.	Modifie le régime moteur et le régime rotor.	<p>Si on augmente/diminue le couple exercé par le rotor principal sur le fuselage, le nez de l'hélicoptère part à droite/gauche.</p>  <p>-> Il faut augmenter/diminuer la force exercée par le RAC en appuyant sur la pédale de palonnier gauche/droite.</p>

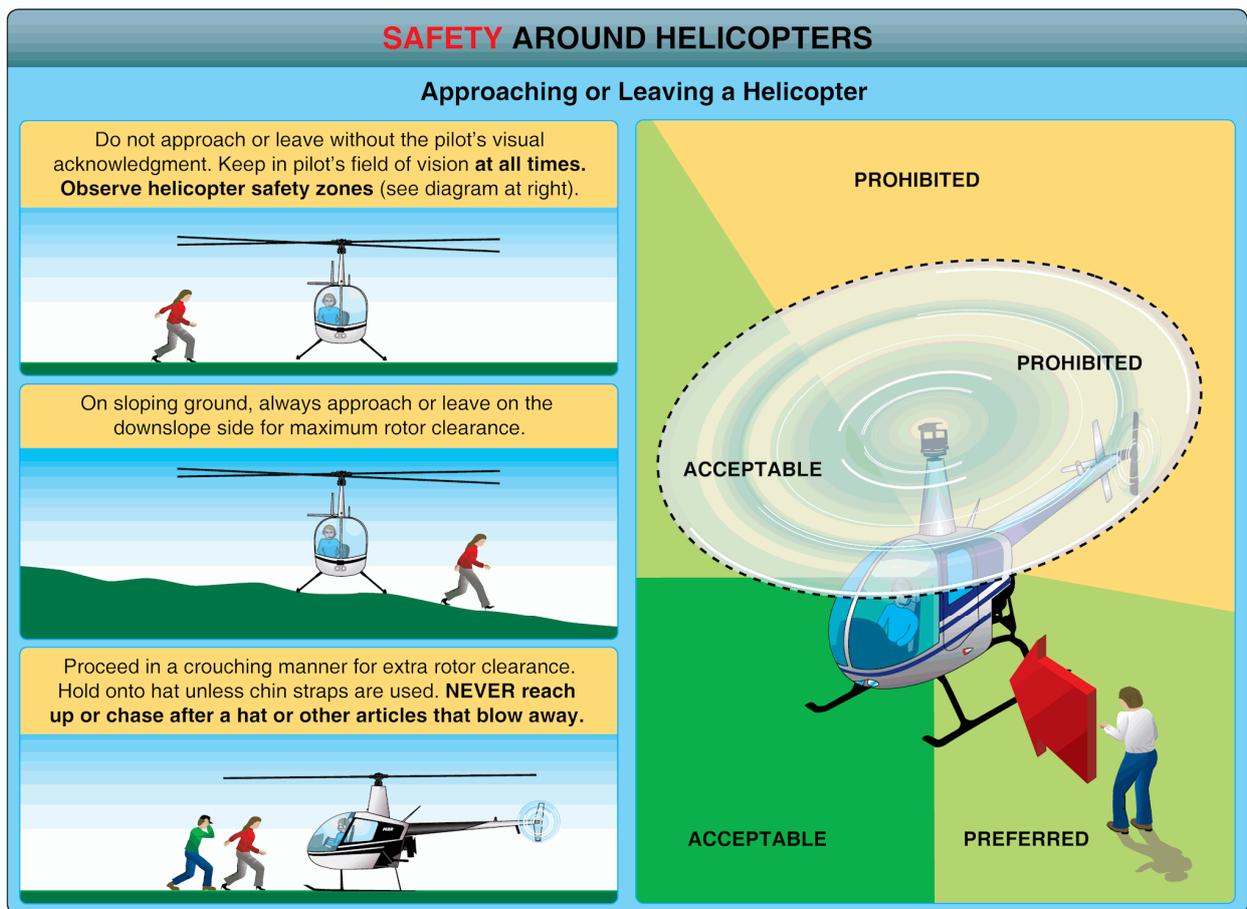
6. LES PHÉNOMÈNES DANGEREUX PROPRES AUX HÉLICOPTÈRES

Il y en a beaucoup !

- Dommages corporels occasionnés par le rotor de queue

Lorsqu'il est en rotation, le rotor de queue est très peu visible. La plupart des personnes ont le réflexe de baisser la tête sous le rotor principal mais il est fréquent d'oublier la présence du rotor de queue.

Pour cette raison, il ne faut jamais approcher un hélicoptère par l'arrière ; toujours par l'avant ou par le côté, en vue du pilote.



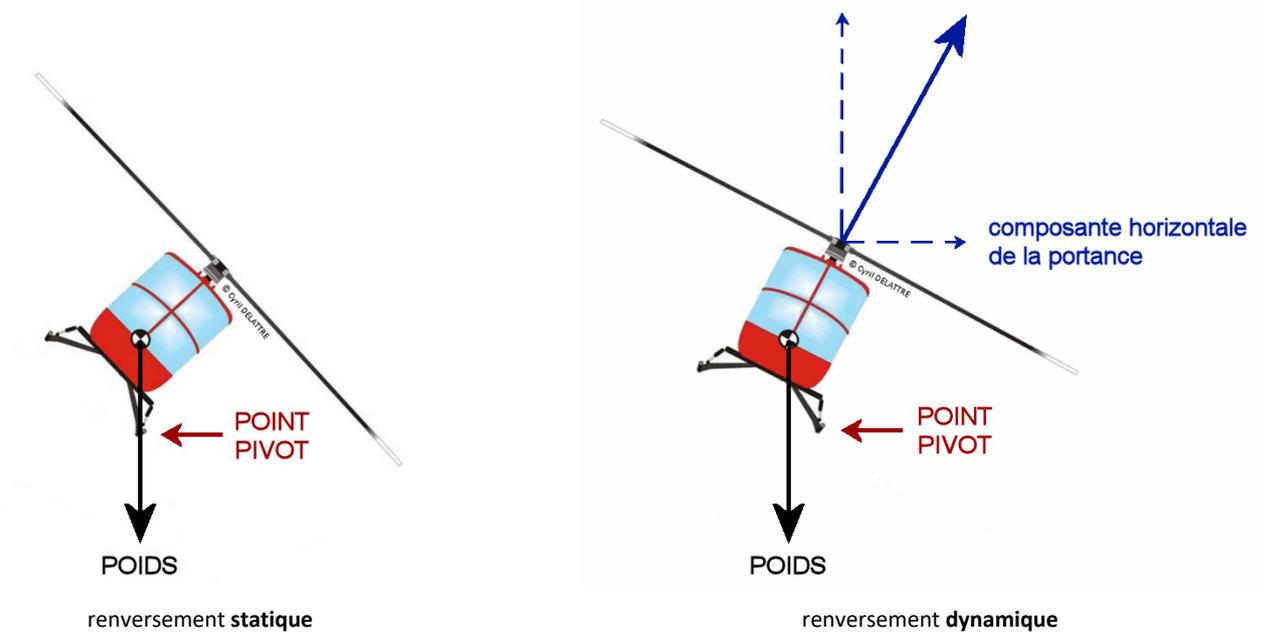
FAA Helicopter Flying Handbook 8-5¹

- Collision du rotor de queue avec un obstacle au sol

Lors des manœuvres au sol, il est très difficile d'évaluer les marges entre les obstacles et les bouts des pales du rotor principal et/ou du rotor de queue. Pour le rotor principal, parce qu'il est très peu visible quand il tourne et que les yeux du pilote sont peu écartés du plan de rotation du rotor. Pour le rotor de queue, parce qu'il est totalement hors de la vue du pilote.

- Le renversement dynamique

Il peut se produire lors de la mise en stationnaire si un des patins est bloqué ou lors d'une translation latérale si un des patins vient buter contre un obstacle. L'hélicoptère commence à pivoter latéralement. Le vecteur portance est alors incliné et sa composante horizontale augmente le basculement. Au-delà d'une certaine inclinaison de l'hélicoptère, le renversement total est inéluctable, même en baissant complètement le pas général.



En l'absence de portance, le renversement se produit à une forte inclinaison : le poids doit passer au-delà du point pivot.

La composante horizontale de la portance accroît le basculement : le renversement se produit à une inclinaison beaucoup plus faible.

La poussée latérale du RAC peut également aggraver le phénomène, si elle pousse du même côté.

▶ Alex Quesnel, Dynamic rollover : <https://www.youtube.com/watch?v=84RScbcF1XI>

- Renversement de l'hélicoptère au sol

De nombreux autres facteurs peuvent entraîner un renversement de l'hélicoptère au sol : démarrage moteur avec les gaz plein ouverts et avec une position des palonniers asymétrique, passage en stationnaire non maîtrisé (trop rapide, mauvaise position du manche cyclique ou des palonniers), départ avec de la buée sur la verrière, ...

- La résonance sol

C'est exactement le même phénomène que l'entrée en résonance d'un pont et sa possible destruction, avec le vent et/ou le pas des soldats. Ce phénomène peut se produire sur les hélicoptères dotés de 3 pales ou plus, surtout sur un sol irrégulier ou si les patins ne reposent pas entièrement au sol ou en cas de défaut d'amortissement sur la tête rotor. Les harmoniques des fréquences du rotor, du fuselage et des patins entrent alors en résonance, le phénomène s'amplifie, l'hélicoptère se met à vibrer de plus en plus fort, ce qui peut entraîner de graves dommages. Le remède consiste soit à mettre le moteur au ralenti soit à quitter le sol.

▶ DontSmoke, Ground resonance helicopter : <https://www.youtube.com/watch?v=0GEj69NANc8>

▶ AVweb, Explained: AS350 Eurocopter Helicopter Self-Destructs : <https://www.youtube.com/watch?v=0FeXjhUEXlc>

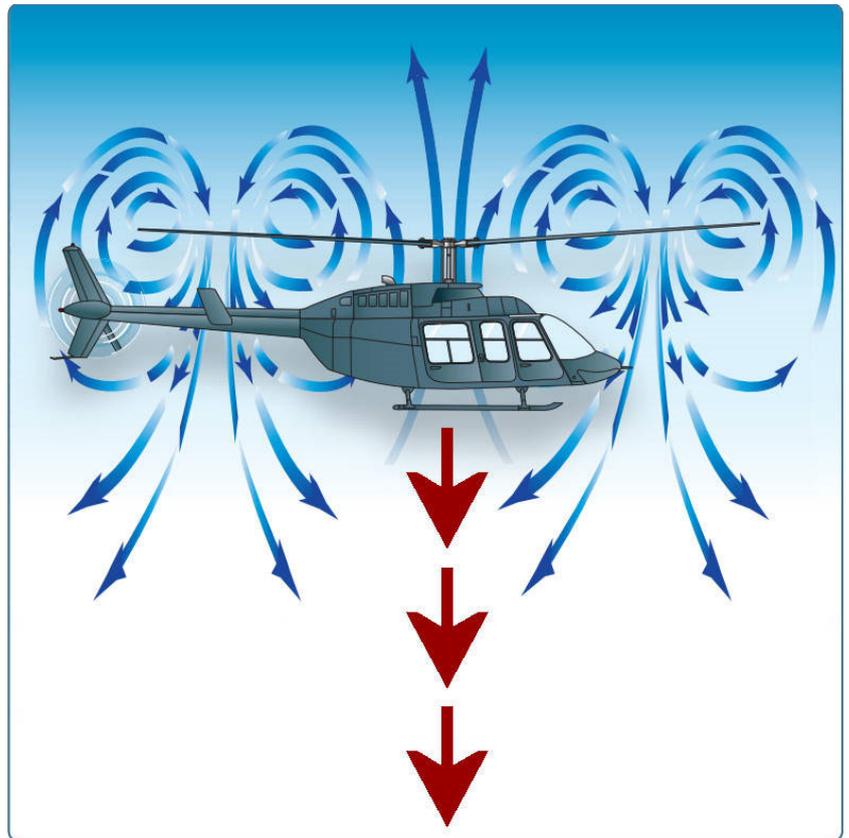
- Le vortex

Ce phénomène se produit lorsque l'hélicoptère descend dans son propre souffle. Il peut alors s'enfoncer avec un taux de chute très fort. Pour entrer en vortex, 2 conditions sont nécessaires :

- 1 Une vitesse horizontale inférieure à 30 kt. A une vitesse plus élevée, les filets d'air passés dans le flux rotor ne sont pas ré-injectés dans le rotor principal.
- 2 Une vitesse de descente moyenne, ni trop faible ni trop forte.
 - Si la vitesse verticale de descente est trop faible, l'air passe dans le flux rotor, est chassé vers le bas et n'est pas recyclé.
 - Si la vitesse verticale de descente est trop forte, comme en autorotation, le flux d'air au travers du rotor est inversé : l'air circule au travers du rotor du bas vers le haut.

- Si la vitesse verticale de descente est « moyenne » (entre environ 500 et 1200 ft/min), une partie de l'air turbulent chassé sous le rotor principal part en périphérie du rotor et est à nouveau aspiré sur le dessus du rotor donc recircule au travers du rotor. **Le rotor descend dans son propre flux descendant** et le phénomène s'amplifie.

Ainsi, sur tous les hélicoptères, le taux de descente doit être impérativement limité à 300 ft/min lorsque la vitesse indiquée est inférieure à 30 kt.

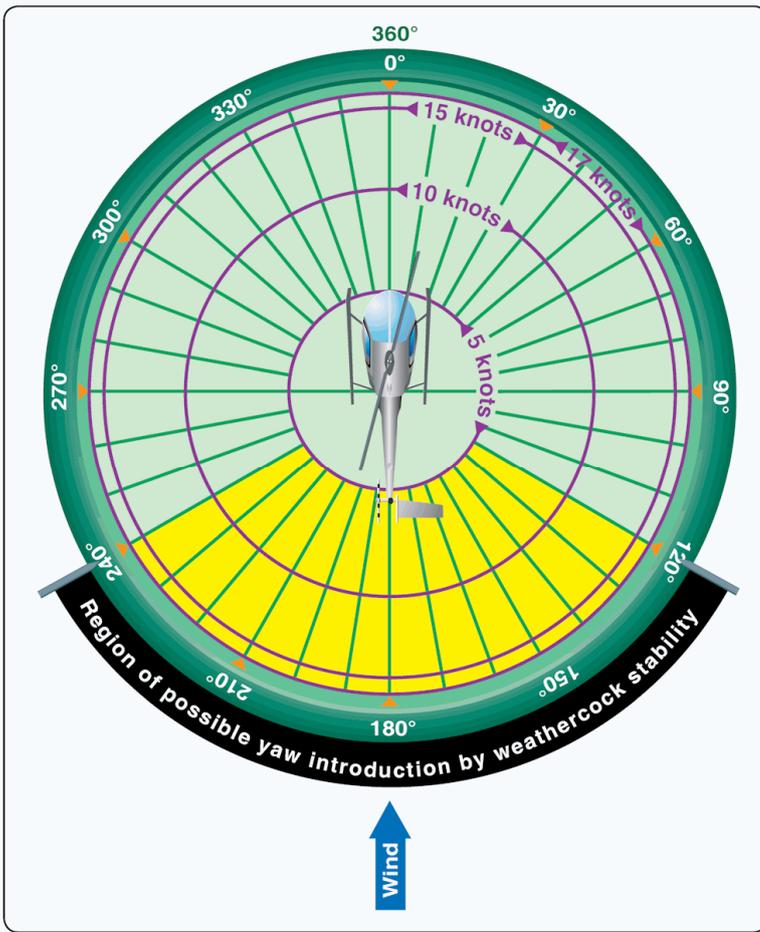


Helicopter Training Videos, Helicopter Vortex Ring State : <https://www.youtube.com/watch?v=YCywzDN9IA8>

- La perte d'efficacité du rotor anti-couple

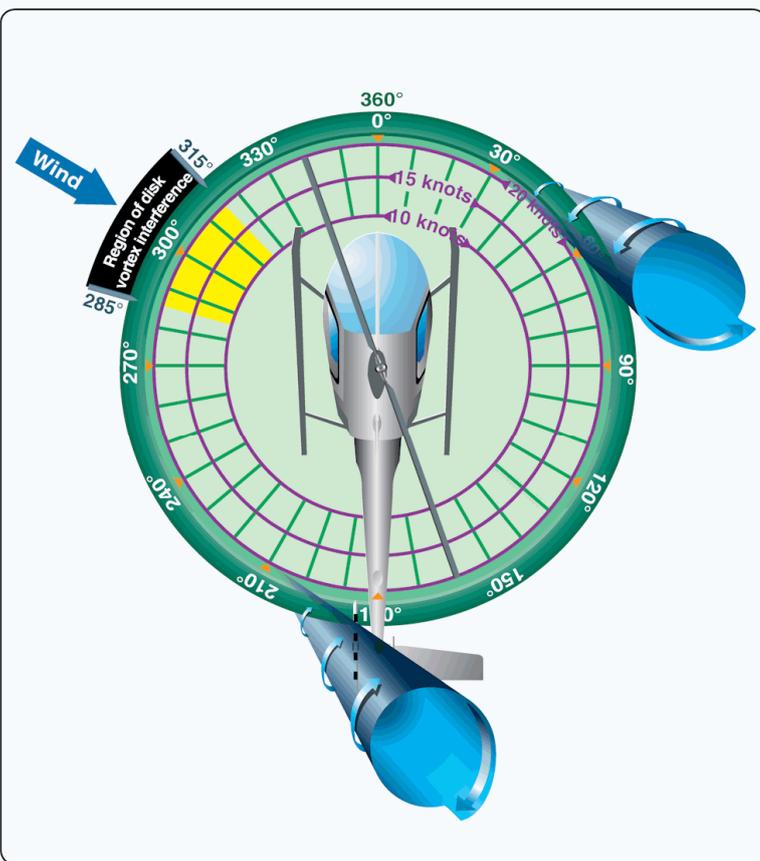
Avec sa longue poutre de queue, son rotor arrière et son plan fixe vertical, l'hélicoptère se comporte comme une girouette : il veut s'orienter face au vent relatif. Par fort vent de travers et/ou en limite de puissance, le plein débattement du palonnier peut ne pas suffire à contrôler le lacet de l'hélicoptère et son orientation et il est possible de perdre le contrôle.

Ce phénomène est aggravé dans certaines conditions de vent :



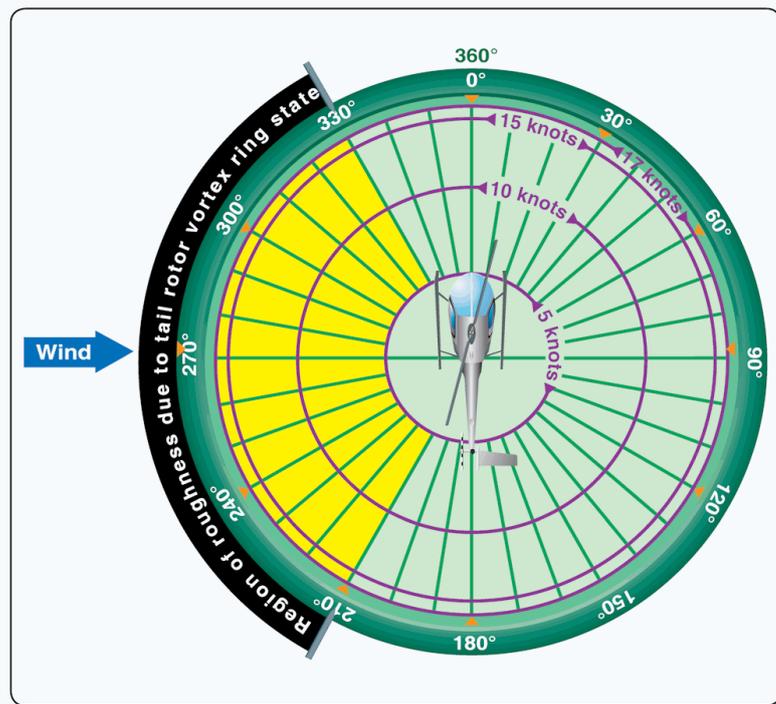
Vent de secteur arrière

Perte d'efficacité du rotor anti-couple par effet girouette :
l'hélicoptère veut se placer face au vent



Vent du secteur avant gauche sur les hélicoptères américains
(rotor principal avec rotation anti-horaire vu du dessus)
ou vent du secteur avant droit sur les hélicoptères français

Les filets d'air qui arrivent sur le rotor anti-couple sont
passés au travers du flux du rotor principal qui les a rendus
turbulents. L'efficacité du rotor de queue est alors réduite.



Vent du secteur gauche sur les hélicoptères américains ou du secteur droit sur les hélicoptères français

Perte d'efficacité du rotor anti-couple par effet vortex sur le rotor anti-couple

FAA Helicopter Flying Handbook 11-19 & 11-20¹

- ▶ Helicopter Online Ground School : LTE Loss Of Tail Rotor Effectiveness : <https://www.youtube.com/watch?v=-9rJPvJScho>
- ▶ Mushatrusha, Helicopter crash due to LTE : <https://www.youtube.com/watch?v=olWk88Gn9NM&t=53s>

- La chute de vitesse de rotation du rotor et le décrochage aérodynamique des pales

Sur la plupart des hélicoptères, le rotor tourne à une vitesse constante pendant tout le vol. Si en avion la vitesse indiquée est LE paramètre le plus important à surveiller (avec l'assiette), en hélicoptère c'est la vitesse de rotation rotor. En cas de panne moteur, il est vital que la vitesse de rotation rotor ne décroisse pas en-dessous d'environ 80% de la vitesse de rotation nominale. En-dessous, même avec le pas général en butée basse, et donc le pas des pales rotor au minimum, la traînée des pales est trop forte, la vitesse de rotation rotor continue de chuter, le rotor ne produit plus de portance et l'hélicoptère tombe comme une pierre.

- L'enfoncement en puissance

Il s'agit d'un enfoncement de l'hélicoptère vers le bas par inertie, lorsque le taux de descente est fort, que l'arrêt de la descente n'a pas été suffisamment anticipé et/ou que la puissance maximale ne suffit pas à réduire suffisamment le taux de descente.

- ▶ ViralHog, Medivac Helicopter Has Rough Landing : https://www.youtube.com/watch?v=r48_uT_OmTc

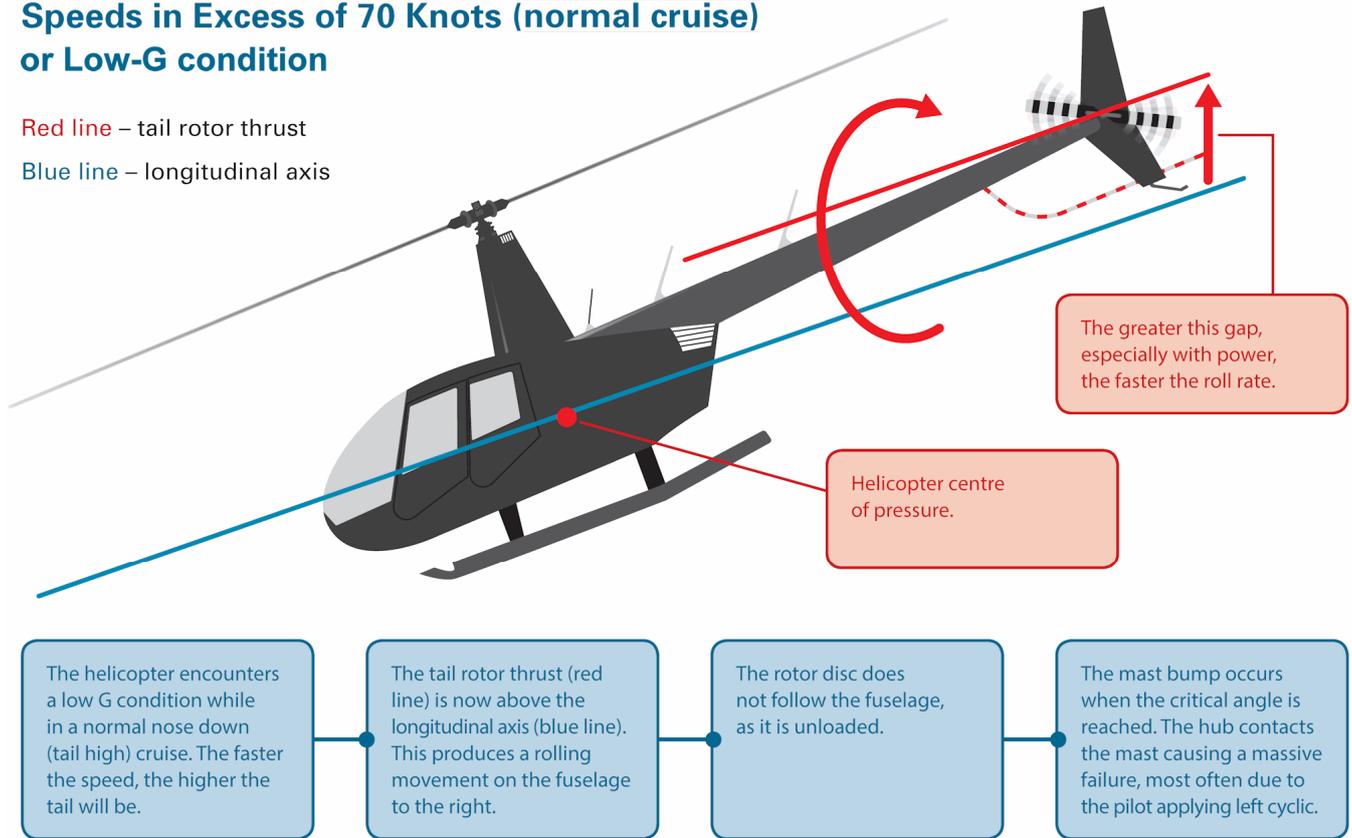
- Le talonnage (mast bumping)

Ce phénomène ne peut se produire que sur les hélicoptères bipales. Il se produit lorsque le facteur de charge est proche de zéro ou négatif. Cela peut être le cas par forte turbulence, avec une vitesse élevée, ou si le pilote pousse fortement sur le manche cyclique.

Le poids apparent du fuselage devient nul, le rotor et le fuselage peuvent évoluer librement l'un par rapport à l'autre. La poussée latérale du rotor de queue induit alors un fort taux de roulis (pouvant aller jusqu'à 90 degrés par seconde). Le rotor et fuselage se retrouvent en butée l'un par rapport à l'autre. Ce phénomène est accéléré si le réflexe du pilote est d'essayer de contrer le roulis. Son action réflexe par application de cyclique à gauche augmente l'angle entre le rotor et le mât rotor, jusqu'à la butée mécanique et la désintégration du rotor.

Speeds in Excess of 70 Knots (normal cruise) or Low-G condition

Red line – tail rotor thrust
Blue line – longitudinal axis



CAA vector May/June 2015

▶ Helicopter Lessons In 10 Minutes or Less, Mast Bumping in Helicopters : <https://www.youtube.com/watch?v=jDg1G2y8ZX4>

- L'obscurcissement

Ce phénomène peut se produire lors du décollage ou de l'atterrissage sur de la neige poudreuse ou sur de la poussière. Le pilote perd tout repère visuel extérieur et peut perdre le contrôle de l'hélicoptère.

▶ helicopter crash, Berlin Police Helicopter crash : <https://www.youtube.com/watch?v=yeajJFZmFM>

▶ Helicopter Crash Tv, Brown out helicopter : https://www.youtube.com/watch?v=qBV_Rbxomul

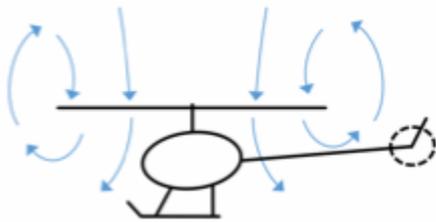
7. NOTIONS IMPORTANTES

7.1 L'accrochage

L'accrochage est une augmentation de portance lorsque l'hélicoptère gagne de la vitesse.

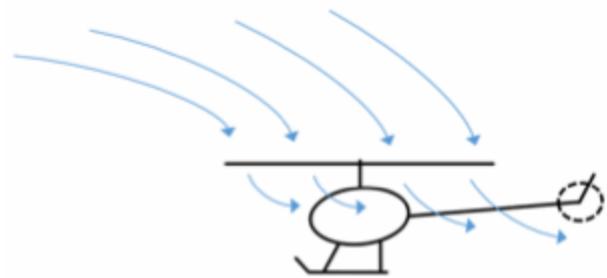
À faible vitesse et près du sol, une partie de l'air turbulent chassé sous le rotor principal est à nouveau aspiré sur le dessus du rotor donc recircule au travers du rotor. Cet air étant turbulent, le rendement du rotor est moins bon. Plus l'hélicoptère avance, plus ces filets d'air turbulent sont laissés en arrière et plus le rotor devient efficace.

Au-delà d'une vitesse air d'environ 25-30 kt, plus aucun filet d'air turbulent n'est recyclé et l'efficacité du rotor principal s'accroît. On parle d'« accrochage » rotor. Selon l'action du pilote au manche cyclique, l'hélicoptère monte ou accélère.



stationnaire :

l'air turbulent recircule à travers le rotor



à une vitesse \geq environ 25-30 kt :

l'air turbulent ne recircule plus à travers le rotor

Le phénomène inverse se produit à l'atterrissage : vers une vitesse air d'environ 25-30 kt, le rotor perd une petite partie de son efficacité. On parle de « perte d'accrochage ». Attention : le terme peut prêter à confusion mais ni le rotor ni les pales rotor ne décrochent aérodynamiquement ; il s'agit seulement d'une légère diminution de portance, qui ne présente aucun danger.

7.2 Les 3 réserves d'énergie

Un hélicoptère dispose de 3 réserves d'énergie :

- 1) l'énergie emmagasinée dans le rotor principal, en raison de son inertie (fonction de la vitesse de rotation et de la masse du rotor) ;
- 2) son énergie cinétique, liée à sa vitesse de déplacement dans la masse d'air ;
- 3) son énergie potentielle, liée à sa hauteur ;

Ces 3 énergies peuvent être transférées de l'une à l'autre, dans certaines conditions.

7.3 L'autorotation

En cas de panne moteur, un hélicoptère peut planer. La finesse est cependant très faible comparée à celle d'un avion :

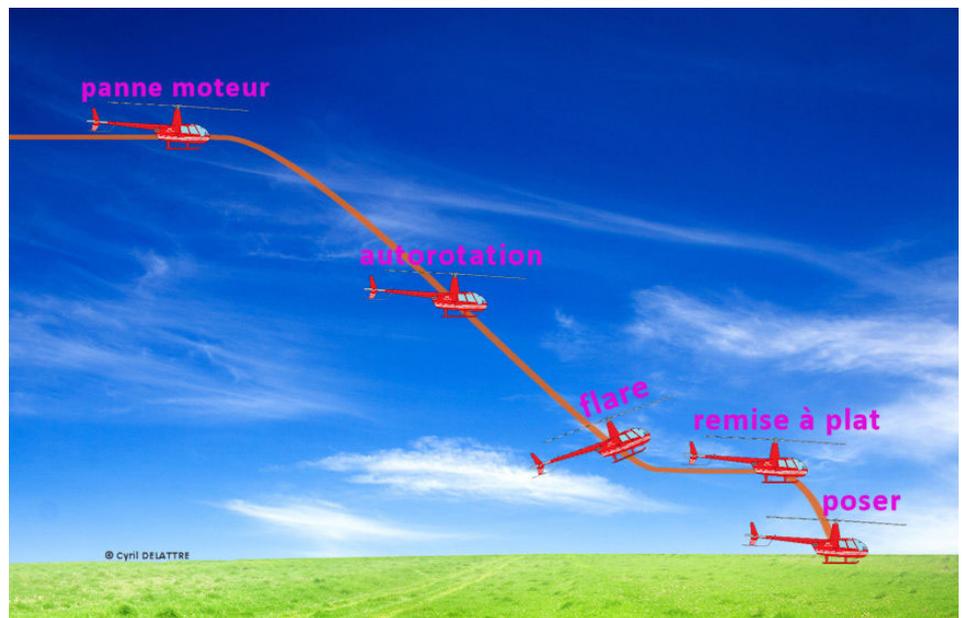
		hélicoptère	avion de chasse	avion d'aéroclub	avion de ligne	planeur
finesse (ordre de grandeur)		3 à 5	4 à 6	10 à 15	15 à 20	40 à 60
distance <u>horizontale</u> moyenne pouvant être parcourue depuis une hauteur de 1 000 ft	en pieds	4 000 ft	5 000 ft	12 500 ft	17 500 ft	50 000 ft
	en mètres	1 200 m	1 500 m	3 800 m	5 300 m	15 000 m
	en miles nautiques	0,7 NM	0,8 NM	2 NM	3 NM	8 NM

Durant la descente en autorotation, le rotor n'est plus entraîné par le moteur ; il tourne en moulinet (comme les samares des érables) et c'est l'air qui s'engouffre sous le rotor qui permet au rotor de continuer à tourner et à fournir de la portance.

Il est vital que la vitesse de rotation du rotor ne chute pas en-dessous d'une valeur critique, de l'ordre de 80% de la vitesse de rotation normale du rotor. En-dessous de cette valeur critique, les pales du rotor décrochent aérodynamiquement, et cela n'est pas récupérable, contrairement au décrochage en avion (si l'on dispose de suffisamment de hauteur). En effet, même avec le pas des pales en butée basse, l'incidence de décrochage des pales est atteinte, la trainée des pales est trop forte, le régime rotor continue à décroître et l'hélicoptère tombe.

En cas de panne moteur sur un hélicoptère monomoteur, le premier réflexe du pilote est donc de baisser immédiatement le pas général pour empêcher la chute des tours rotor. Dans les cas les plus critiques, le temps de réaction nécessaire est de l'ordre de 1,6 seconde : c'est le cas du Robinson 22 (faible inertie rotor) à la puissance décollage.

Durant la descente en autorotation, le pilote conserve une vitesse minimale qui lui sert de réserve d'énergie. Vers une hauteur de 40 ft, le pilote cabre l'hélicoptère. C'est le « flare ». Le premier but du flare est de réduire la V_i et la V_z . Le deuxième effet est de transformer une partie de l'énergie cinétique en énergie de rotation rotor. Le pilote remet ensuite l'hélicoptère à plat. Si l'hélicoptère n'est pas à plat et bien dans l'axe, il peut basculer longitudinalement ou latéralement. Enfin le pilote laisse l'hélicoptère s'enfoncer vers le sol et utilise l'énergie emmagasinée dans le rotor pour amortir le poser. L'atterrissage se fait en glissade ou parfois même avec une vitesse horizontale nulle si le vent est suffisant.



▶ SUU Aviation, How to Perform a Helicopter Autorotation Step by Step : <https://www.youtube.com/watch?v=X5vA3OqnVuc>

En raison :

- du taux de chute très fort ;
 - de l'importance de conserver la vitesse air et le régime rotor appropriés durant la descente ;
 - de l'importance de bien doser le flare, de bien remettre l'hélicoptère à plat, de le poser sans aucun dérapage latéral, de ne pas augmenter le pas général trop tôt ou trop rapidement,
- c'est une manœuvre difficile et exigeante. Et après un tel exercice le temps de re-concentration de l'équipage et de remise en puissance de l'ensemble moteur-rotor peut prendre une bonne minute. Le temps d'occupation de la piste n'est donc pas négligeable.

7.4 Le diagramme hauteur-vitesse

Dans certaines configurations de hauteur et/ou de vitesse, la réserve totale d'énergie de l'hélicoptère n'est pas suffisante. En cas de panne moteur, le pilote ne peut pas réaliser une autorotation et l'issue peut être fatale.

**ROBINSON
MODEL R44 II**

**SECTION 5
PERFORMANCE**

HEIGHT - VELOCITY DIAGRAM

AVOID OPERATION IN SHADED AREAS

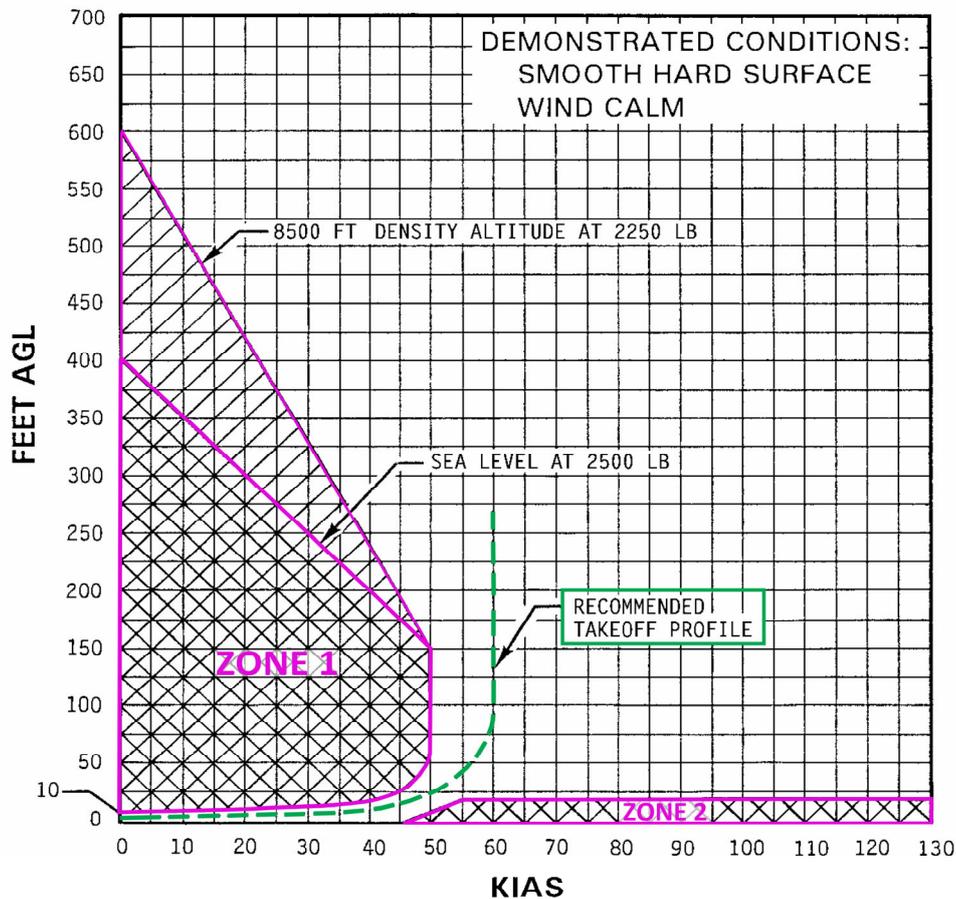


diagramme hauteur-vitesse du Robinson 44⁶

- zones hachurées : zones d'insécurité
- tirets verts : profil recommandé pour le décollage et l'atterrissage

Zone 1 : Vitesse faible (inférieure à environ 60 kt) et hauteur faible, comprise entre 10 ft et 300/500 ft.

- 1) En cas de panne moteur, le pilote doit de toute façon baisser complètement le pas général. Même en piquant vers le sol, le pilote ne pourra accélérer suffisamment pour exécuter un flare.
- 2) Voler à faible vitesse demande beaucoup plus de puissance moteur : l'hélicoptère peut s'enfoncer et se retrouver en situation de vortex.
- 3) A faible vitesse, le contrôle en lacet est plus difficile : en l'absence de vent relatif, il ne bénéficie pas de l'effet girouette. L'hélicoptère est donc très instable. Conjugué à une puissance moteur disponible plus faible, cela peut entraîner une perte d'efficacité du rotor anti-couple et une perte de contrôle de l'hélicoptère.

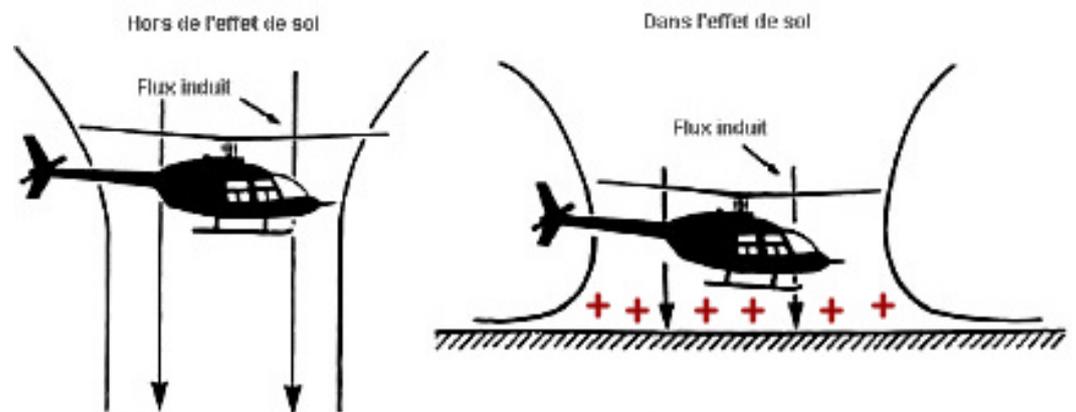
Zone 2 (sur certains hélicoptères) : Hauteur inférieure à environ 10 ft et vitesse supérieure à environ 50 kt. En cas de panne moteur, le pilote n'aura pas le temps de réagir et l'hélicoptère entrera en collision avec le sol.

C'est pourquoi le constructeur définit un diagramme hauteur-vitesse, avec une ou plusieurs zones d'insécurité, à éviter autant que possible. Il ne s'agit pas d'une limitation. Dans certains cas (travail aérien, utilisation d'une hélisurface exigüe), faute d'alternative possible, le pilote peut choisir de voler dans la ou les zones non recommandées. Mais, pour se ralentir, un pilote pourra choisir d'orbiter plutôt que de réduire sa vitesse.

7.5 L'effet de sol

Lorsqu'il tourne, le rotor principal comprime l'air entre le rotor et le sol. Cela crée en quelque sorte une surpression, un coussin d'air sous le rotor.

La portance augmente. En termes de puissance moteur, le gain peut aller jusqu'à environ 15%, ce qui est très conséquent.



Transport Canada, Manuel de pilotage des hélicoptères⁴, figure 8-1

Plus l'hélicoptère est près du sol, plus l'effet de sol est marqué. A une hauteur de rotor supérieure à 2 diamètres rotor, l'effet de sol n'est plus que de 4%.

Facteurs qui réduisent l'intensité de l'effet de sol :

- une vitesse hélicoptère élevée (mais cela est compensé par l'accrochage, cf plus haut) ;
- le vent ;
- un sol irrégulier, des herbes hautes ;
- des obstacles à proximité (augmentation du recyclage de l'air).

7.6 Le stationnaire en effet de sol et le stationnaire hors effet de sol

Grâce à l'effet de sol, un hélicoptère a besoin de beaucoup moins de puissance pour tenir le stationnaire lorsqu'il est très près du sol. A contrario, un hélicoptère hors effet de sol peut ne pas pouvoir tenir le stationnaire, en fonction de sa masse et de l'altitude-densité.

Pour chaque hélicoptère, des abaques permettent au pilote de déterminer l'altitude maximale ou la température à laquelle il est possible de tenir le stationnaire hors effet de sol en fonction de la masse de l'hélicoptère ; ou inversement de calculer la masse maximale. Comme toutes les valeurs données par un constructeur, il s'agit de données brutes, avec un hélicoptère et un moteur neuf, un pilote d'essai, etc. Il convient donc de prendre des marges.

Le stationnaire **hors** effet de sol présente plusieurs risques :

- il demande beaucoup de puissance et il est possible d'atteindre les limites de puissance du moteur ;
 - si la limite de puissance est atteinte et si le pilote n'y prend garde, l'hélicoptère peut se mettre en descente et entrer en vortex ;
 - comme l'hélicoptère a une vitesse nulle, son contrôle en lacet peut s'avérer délicat ;
- ➔ la puissance moteur restante peut ne pas suffire à assurer le contrôle en lacet et le pilote peut perdre le contrôle de l'hélicoptère. De plus, si le stationnaire hors effet de sol est effectué dans la zone d'insécurité du diagramme hauteur-vitesse, en cas de panne moteur le pilote ne pourra pas réaliser d'autorotation.

8 LES DIFFÉRENTES TRAJECTOIRES DE DÉCOLLAGE

A. Le décollage en effet de sol

Lorsque l'espace disponible est suffisant, le décollage peut s'effectuer en effet de sol. C'est le type de décollage à privilégier au maximum par les pilotes car il présente 3 gros avantages :

- 1) Le décollage est réalisé hors de la zone d'insécurité du diagramme hauteur-vitesse.
- 2) La puissance moteur nécessaire est bien plus faible, grâce à l'effet de sol. Le pilote a le choix d'utiliser toute la puissance moteur autorisée pour le décollage ou alors de décoller avec une puissance plus faible. Une puissance moteur plus faible :
 - Sollicite moins le moteur et donc réduit le risque de panne moteur (en contrepartie en cas de panne moteur l'hélicoptère est plus bas).
 - Est associée à un angle d'incidence des pales du rotor principal plus faible. En cas de panne moteur, la décroissance de la vitesse de rotation du rotor est plus lente, ce qui laisse plus de temps au pilote pour réagir.
 - Réduit la vitesse verticale de montée, ce qui est plus confortable pour les passagers (peur du vide, variations de pression ressenties).
- 3) Le contrôle en lacet est facilité (Vi plus forte, puissance moteur disponible plus élevée) et en conséquence le risque de perte d'efficacité du rotor anti-couple est plus faible.

B. Le décollage oblique

Lorsque le décollage en effet de sol n'est pas possible faute d'espace suffisant, le décollage est réalisé avec une trajectoire « oblique » (oblique faible, oblique forte), voire avec une trajectoire verticale si les performances de l'hélicoptère le permettent.

En décollage oblique, le pilote doit trouver le meilleur compromis entre la montée et l'augmentation de vitesse.

- L'angle de montée est choisi pour passer juste au-dessus des obstacles.
- Tout gain de vitesse génère à la fois une meilleure efficacité du rotor principal (effet de l'« accrochage ») et une meilleure stabilité en lacet (effet girouette du plan fixe vertical).

Une fois les obstacles passés, le pilote continue d'accélérer en montée, pour sortir de la zone d'insécurité du diagramme hauteur-vitesse.

C'est aussi le type de décollage préconisé de nuit.

C. Le décollage vertical

Dans certains cas extrêmes, si la zone de poser est très exigüe, il peut être nécessaire de décoller verticalement. Cela n'est possible que si l'hélicoptère n'est pas trop chargé et/ou si l'altitude-densité est faible.

D. Le « back-up »

Les hélicoptères bimoteurs exploités en transport public depuis une hélistation « en terrasse » décollent en reculant, de façon à pouvoir revenir se poser sur l'hélistation en cas de panne d'un des deux moteurs (comme pour les avions, un hélicoptère bimoteur ne tient pas forcément le palier sur un seul moteur, en fonction de sa masse et de l'altitude-densité).



Helicopters Ltd, Helicopter takeoff profiles : <https://www.youtube.com/watch?v=3foODSEe1VA>

9 LES DIFFÉRENTES TRAJECTOIRES D'ATTERRISSAGE

C'est exactement l'inverse.

En général l'angle de descente est beaucoup plus fort que celui des avions mais rien n'est imposé. La seule contrainte est de ne jamais avoir un vario en descente plus fort que - 300 ft/min lorsque la Vi est inférieure à 30 kt, pour ne pas entrer en vortex (cf plus haut).

A. La « finale à Vi constante »

Lorsque l'espace disponible est suffisant et que la zone d'atterrissage est connue, l'atterrissage le plus sûr est l'atterrissage dit avec « finale à Vi constante » (Vi = vitesse indiquée). Il ressemble beaucoup à l'atterrissage d'un avion et consiste à conserver une vitesse de l'ordre de 60 kt (la même qu'en autorotation) jusqu'à arriver en effet de sol. Le pilote cabre ensuite doucement l'hélicoptère, plus ou moins en fonction du taux de décélération souhaité et de la marge entre la queue de l'hélicoptère et le sol.

L'hélicoptère ne vole pas dans la zone d'insécurité du diagramme hauteur-vitesse donc en cas de panne moteur l'hélicoptère a suffisamment d'énergie pour que le pilote puisse exécuter un flare.

L'atterrissage est également plus rapide, génère moins de bruit de claquement rotor et induit un temps d'exposition au bruit plus court.

B. L' « atterrissage de précision »

Lorsque l'espace disponible est réduit (hélisurface en campagne, FATO ponctuelle), le pilote réalise une finale décélérée, avec un plan le plus faible possible, pour éviter le phénomène de vortex.

Avant d'atterrir en campagne, le pilote s'assure que la zone est dégagée d'obstacles et qu'il dispose de suffisamment de puissance pour repartir.

Toute la finale est réalisée avec une vitesse en diminution. Cela permet :

- d'éviter de grosses variations d'assiette ;
- de disposer de plus de temps pour voir les obstacles.

Tout l'espace disponible au sol est utilisé, afin d'avoir un plan le plus faible possible.

C'est aussi le type d'atterrissage préconisé de nuit.

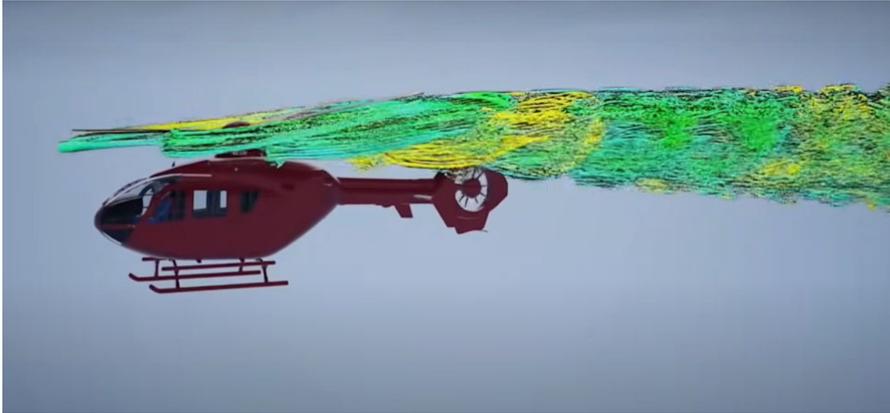
Cet atterrissage prend plus de temps que l'atterrissage avec finale à Vi constante.

 Helicopter Online Ground School, Robinson R-44 Normal Approach : <https://www.youtube.com/watch?v=Kko1ZzW-H1o>

C. L'atterrissage vertical

Dans certains cas extrêmes, si la zone de poser est très exiguë, il peut être nécessaire d'atterrir verticalement. C'est l'atterrissage qui requiert le plus de puissance. Il n'est possible que si l'hélicoptère n'est pas trop chargé et/ou si l'altitude-densité est faible.

10 LA TURBULENCE DE SILLAGE



Les hélicoptères génèrent des turbulences de sillage d'intensité plus importante que celles des avions de même masse. La turbulence de sillage d'un hélicoptère est d'autant plus forte que sa vitesse est faible.

En revanche, contrairement à une idée reçue, la turbulence de sillage d'un hélicoptère en vol d'avancement n'est pas verticale mais a une trajectoire similaire à celle de la turbulence de sillage d'un avion : horizontale et légèrement descendante.

 BEA, Turbulences de sillage hélicoptère : un phénomène dangereux négligé » : https://www.youtube.com/watch?v=56_HRDUpSlc

11 LES EXERCICES LES PLUS COURAMMENT PRATIQUÉS

L'autorotation dans l'axe

Lorsqu'il arrive à distance de plané de la zone de poser choisie, le pilote baisse le pas général. L'instructeur réduit les gaz. Le pilote va chercher la vitesse d'autorotation (60-70 kt). A l'aide du pas général, le pilote régule la vitesse de rotation rotor : lever le pas général augmente le pas des pales donc augmente leur trainée et diminue la vitesse de rotation du rotor ; et inversement. A une hauteur d'environ 30-40 ft, le pilote exécute un « flare » : il cabre l'hélicoptère pour réduire la V_i et la V_z et augmenter les tours rotor, puis remet l'hélicoptère à plat. Les tours rotor chutent et l'hélicoptère commence à s'enfoncer. Après une très brève temporisation, le pilote tire doucement le pas général vers le haut pour réduire le taux de chute et poser l'hélicoptère. Le poser se fait souvent en glissade. Il est donc extrêmement important de poser l'hélicoptère bien à plat et dans l'axe, afin d'éviter tout basculement longitudinal ou latéral.

La plupart du temps, les autorotations ne sont pas « complètes » : l'instructeur ouvre les gaz pendant le flare et le pilote termine l'autorotation à quelques pieds de hauteur.

L'autorotation avec des évolutions

En cas de panne moteur réelle, le pilote sera amené à évoluer pour se poser à l'endroit choisi et si possible face au vent. Le pilote peut jouer sur sa vitesse, sur les tours rotor et effectuer des virages. Les virages augmentent temporairement le facteur de charge et les tours rotor. Avant d'entamer un virage, le pilote lève légèrement le pas général afin de ne pas passer en surrégime rotor. Et inversement avant de sortir de virage.

Tout cela avec un taux de chute très fort et en regardant dehors. Il va sans dire que cela nécessite des réactions rapides et une bonne coordination psychomotrice.

L'autorotation en stationnaire

L'exercice est effectué à une hauteur de quelques pieds, en effet de sol. Le pilote contre le fort couple de lacet, garde l'hélicoptère bien à plat et amortit la descente à l'aide du pas général.

Le "quick stop"

Il s'agit d'un exercice de coordination pas général – pas cyclique – lacet. Le pilote prend de la vitesse comme pour un décollage en effet de sol. Vers 40-60 kt, il simule la nécessité de s'arrêter rapidement (problème technique, annulation du décollage, obstacle ou aéronef juste devant). Le pilote cabre fortement l'hélicoptère, baisse le pas général pour ne pas monter. Lorsque l'hélicoptère ralentit jusqu'à la perte d'accrochage, il le remet à plat, augmente le pas général et descend lentement vers le sol.

Le poser en dévers

C'est un exercice de coordination pas général – pas cyclique – lacet. C'est également un entraînement au poser et au décollage sur des surfaces en pente.

Le poser en dévers peut être réalisé face à la pente ou pente sur le côté.

Pour un poser face à la pente par exemple, le pilote pose l'avant des patins puis baisse lentement le pas général en mettant du cyclique en avant pour empêcher l'hélicoptère de glisser. Lorsque le pas général est complètement baissé, l'hélicoptère est plaqué au sol et le pilote ramène le cyclique au neutre. Le pilote effectue la manœuvre inverse pour repartir.

 Helicopter Online Ground School, Helicopter Slope Landing Basic Elements : <https://www.youtube.com/watch?v=GISK8ZgO2u0>

La reconnaissance DZ

Avant d'atterrir en campagne, le pilote effectue d'abord une reconnaissance de l'aire de poser. Il effectue des cercles autour de la zone, à une hauteur d'environ 500 ft, afin de repérer les obstacles (arbres, lignes électriques, clôtures, ...), de déterminer un point de poser, une trajectoire d'arrivée et une trajectoire de départ, de prendre un repère de début de finale, ...

La translation latérale, la translation arrière

Le rotor n'a pas de sens préférentiel de translation. Il est aussi efficace en déplacement vers l'arrière ou sur les côtés qu'en déplacement vers l'avant. En revanche, nous en avons déjà parlé, le fuselage de l'hélicoptère est clairement dessiné pour un déplacement vers l'avant. Et par effet girouette, l'hélicoptère a une tendance naturelle à pivoter face au vent relatif. La translation latérale ou arrière requiert donc un bon contrôle en lacet à l'aide des palonniers.

Les cercles autour d'un point au sol (« la chèvre »)

C'est également un exercice qui requiert une bonne coordination pas cyclique - pas général - palonniers.

L'atterrissage avec panne de régulateur de tours rotor

Le maintien de la vitesse de rotation rotor étant primordial, les hélicoptères récents (Robinson, Guimbal, Eurocopter, Airbus, ...) sont équipés d'un régulateur qui agit sur le régime moteur pour maintenir les tours rotor, quelle que soit la phase de vol. Il est interdit de décoller avec le régulateur inopérant mais le pilote doit savoir atterrir avec le régulateur en panne.

Le pilote réalise un atterrissage de précision avec une réduction de vitesse anticipée (occupation accrue de la piste/FATO).

L'atterrissage avec panne d'assistance hydraulique (sur les hélicoptères équipés)

Certains hélicoptères sont équipés de vérins hydrauliques d'assistance au pilotage, pour limiter les efforts du pilote :

- soit sur le manche cyclique et le manche de pas général : Robinson 44, Robinson 66, EC120, EC130, ...
- soit sur le manche cyclique, le manche de pas général et les palonniers : Ecureuil, EC135, EC145, ...

Le pilote doit être capable de poser l'hélicoptère en cas de panne hydraulique.

Le pilote réalise un atterrissage de précision qui entraîne une occupation accrue de la piste/FATO.

Et l'atterrissage est effectué en glissade, afin :

- de limiter les actions sur le cyclique, le pas général et les palonniers ;
- de bénéficier le plus possible de la stabilité générée par le plan fixe vertical.

C'est un exercice très physique et éprouvant pour le pilote. Après un exercice simulé, une fois l'hélicoptère posé, il faudra une bonne minute au pilote pour souffler, se reconcentrer, renormaliser tous les systèmes et redécoller prudemment, en s'habituant de nouveau à la présence de l'assistance hydraulique.

En cas de panne réelle, l'hélicoptère ne pourra pas translater, il ne pourra être déplacé qu'à la main ou avec un tracteur. Il ne faut en aucun cas demander au pilote de dégager la piste ou la FATO.

12 RÉFÉRENCES DOCUMENTAIRES

1. Helicopter Flying Handbook
U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, FAA-H-8083-21B
https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/helicopter_flying_handbook
(téléchargement gratuit)
2. Aeronautical Information Manual, Official Guide to Basic Flight Information and ATC Procedures
U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration
https://www.faa.gov/air_traffic/publications/#manuals
(téléchargement gratuit)
3. PILOT/CONTROLLER GLOSSARY
U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration
https://www.faa.gov/air_traffic/publications/#manuals
(téléchargement gratuit)
4. Manuel de pilotage des hélicoptères
Transport Canada
<https://tc.canada.ca/fr/aviation/publications/manuel-pilotage-helicopteres-tp-9982>
(téléchargement gratuit)
5. Manuel de vol Robinson 22
<https://robinsonheli.com/r22-pilots-operating-handbook>
(téléchargement gratuit)
6. Manuel de vol Robinson 44
<https://robinsonheli.com/r44-pilots-operating-handbook>
<https://robinsonheli.com/r44-ii-pilots-operating-handbook>
(téléchargement gratuit)
7. Manuel de vol Robinson 66
<https://robinsonheli.com/r66-pilots-operating-handbook>
(téléchargement gratuit)
8. Manuel de vol EC135
9. Manuel de vol EC145
10. Principes de vol hélicoptères, édition numéro 1 et édition numéro 2
Institut Mermoz
<https://www.institut-mermoz.com>
11. OACI Annexe 6, Exploitation technique des aéronefs