

## Perte de l'efficacité du rotor de queue

La perte d'efficacité du rotor de queue (Loss of Tail Rotor Effectiveness = LTE) représente une caractéristique aérodynamique critique du vol à basse vitesse, qui peut provoquer un taux de lacet rapide qui ne diminue pas de lui-même, et qui s'il n'est pas corrigé, peut résulter en une perte de contrôle de l'appareil.

La LTE n'est pas due à un défaut d'entretien et peut se produire à des degrés variables avec tous les hélicoptères mono-rotor à des vitesses inférieures à 30 knts. La LTE n'est pas nécessairement le résultat d'une déficience des commandes aux limites d'utilisation.

La plage de contrôle du rotor anti-couple établie lors des essais de la FAA est précise et a été déterminée afin de produire en adéquation à des vitesses de vent latéral/arrière, une neutralisation des rafales de vent à des valeurs raisonnables. Cette expérience repose sur l'affirmation que le pilote est averti de la direction du vent critique pour l'appareil, et qu'il maintient l'hélicoptère en n'autorisant pas le développement de forts taux de lacet.



**Méfiez-vous du lacet imprévu**



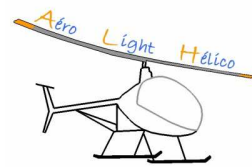
La LTE a été identifiée comme facteur contributif de plusieurs accidents d'hélicoptères conduisant à une perte de contrôle.

Les 3 exemples suivants décrivent ce type d'accident :

- Un hélicoptère est entré en collision avec le sol, suite à une perte de contrôle durant une approche d'atterrissage. Le pilote a rapporté qu'il était en approche sur une zone de posé sur une ligne de crête, lorsqu'à 70 pieds AGL à une vitesse de 20 knts, une rafale de vent a provoqué une perte de contrôle en direction. L'hélicoptère a commencé à tourner rapidement sur la droite autour du mât. Le pilote a été incapable de retrouver le contrôle directionnel avant le contact avec le sol.

- Un hélicoptère a percuté le sommet de Pike's Peak à 14.100 ft AMSL. Le pilote a déclaré qu'il avait fait un passage bas au-dessus du sommet à 40 knts vent de face avant de perdre le contrôle du rotor de queue. Il a perdu ensuite le contrôle de direction et a frappé le sol.

- Un hélicoptère est entré dans une rotation incontrôlée sur la droite et a touché le sol. Le pilote manœuvrait à 300 pieds AGL lorsque l'appareil entra dans une rotation incontrôlée à droite. Incapable de reprendre le contrôle, il baissa les gaz et tenta un atterrissage d'urgence dans un parc de la ville.



## Comprendre le phénomène de LTE

Pour comprendre la LTE, il faut reprendre l'explication du système anti-couple. Sur les hélicoptères américains mono rotor, le rotor principal tourne en sens anti horaire vu du dessus. Le couple résultant provoque une rotation du fuselage dans le sens opposé (nez à droite). Le système anti-couple produit une poussée qui contre ce couple et fournit le contrôle en direction lors du stationnaire.

Sur certains hélicoptères européens et Russes, le rotor tourne en sens horaire vu du dessus et dans ce cas les réactions du couple sont inversées le nez tournant à gauche. La présente démonstration est valable pour les hélicoptères américains.

La poussée du rotor de queue résulte de la pression du pilote sur le palonnier. Si le rotor de queue génère plus de poussée que nécessaire afin de contrer le couple du rotor principal, l'hélicoptère tournera sur la gauche autour de l'axe vertical. Si moins de poussée est produite, il effectuera un mouvement de lacet ou tournera sur la droite. En faisant varier la poussée générée par le rotor de queue le pilote contrôle le cap en stationnaire.

En l'absence de vent, pour un réglage donné du rotor principal, il existe une quantité exacte de poussée rotor nécessaire afin d'éviter à l'hélicoptère de partir en lacet à droite ou à gauche

Elle est connue comme compensation de poussée rotor. Afin de maintenir un cap constant lors du stationnaire, le pilote doit maintenir la poussée rotor égale à la compensation.

L'environnement dans lequel évoluent les hélicoptères, n'est cependant pas contrôlé. Les hélicoptères sont sujets à des variations constantes de direction et vitesse du vent. La poussée du rotor de queue nécessaire au vol est modifiée par les effets du vent. Si une rotation non commandée sur la droite survient pendant le vol, elle peut être due au vent qui réduit la poussée efficace du rotor.

Le vent peut aussi s'ajouter à la poussée du système anti-couple. Dans ce cas, l'hélicoptère réagira par une rotation non commandée sur la gauche. Le vent peut et provoquera des variations du système anti-couple. Certaines directions du vent relatif provoqueront plus probablement des variations que d'autres. Ces directions relatives ou les zones forment un environnement propice à la LTE.

## Conditions de survenue de la LTE

***Toute manœuvre qui nécessite un fonctionnement à haute puissance, à de faibles vitesses air avec un vent latéral de la gauche, ou arrière crée un environnement dans lequel un lacet non prévu peut se produire.***

**Il existe une plus grande susceptibilité de survenue de la LTE lors des rotations à droite.** Ceci se révèle particulièrement vrai lors des vols à faible vitesse-air, lorsque le pilote est incapable de stopper la rotation.

L'hélicoptère essaiera de tourner sur la droite. La réponse correcte et opportune du pilote à une rotation non commandée sur la droite est primordiale. La rotation est habituellement corrigible si une poussée immédiate sur la pédale de gauche est appliquée rapidement.

Si la réponse est incorrecte ou trop lente, le taux de lacet peut rapidement augmenter, jusqu'au point où la récupération s'avèrera impossible.

Les simulations informatiques ont montré que si le pilote retarde l'application de commande sur la pédale de gauche à partir d'une situation de vent latéral (dans laquelle une application de pédale de droite est nécessaire en raison du dérapage) en vent arrière, le contrôle sera perdu et l'appareil tournera de plus de 360° avant l'arrêt.

Le pilote doit anticiper ces variations, se concentrer sur le vol de l'appareil, et interdire la rotation de se produire ; une attention particulière doit s'exercer en exécutant des rotations sur la droite conduisant à la LTE.

### Caractéristiques des vols conduisant à la LTE

Des vols approfondis et des essais en soufflerie ont été menés par les fabricants d'appareils. Ces essais ont identifié quatre régions d'azimut de vent relatif et des caractéristiques résultant des appareils qui peuvent, soit par elles-mêmes ou en association, créer un environnement favorable à la LTE et affecter défavorablement la contrôlabilité de l'appareil. Un des effets directs de ces essais, montre que lors des évolutions à faible vitesse, la charge de travail du pilote s'en trouve énormément accrue.

Bien que les azimuts spécifiques soient identifiés pour chaque région, le pilote doit être averti que les décalages d'azimut dépendent des conditions locales. Les régions se recoupent. Les variations de poussée les plus importantes se produisent dans les zones se chevauchant.

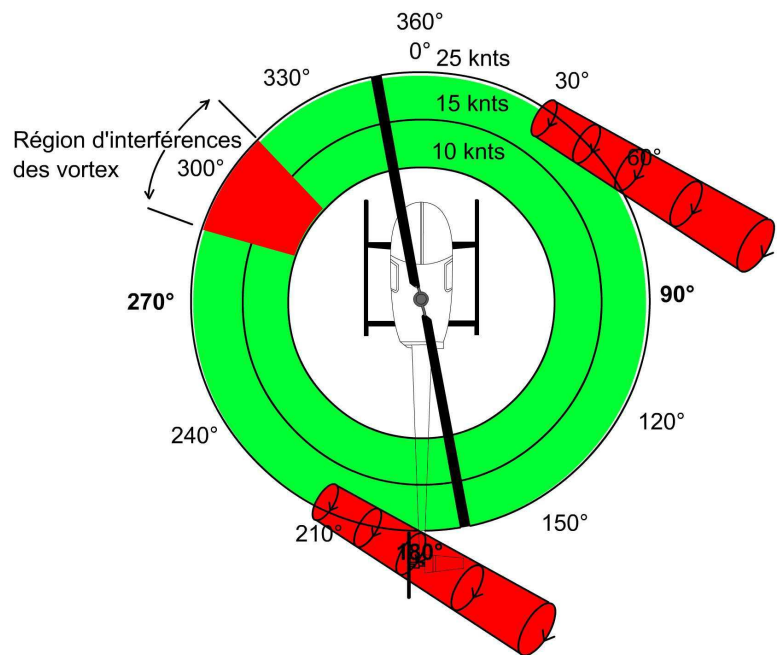
Ces caractéristiques sont seulement présentes à des vitesses inférieures à 30 knts et s'appliquent à tous les hélicoptères mono rotor. **Les essais en vol ont vérifié que le rotor de queue ne décroche pas durant cette période.**

Les caractéristiques des appareils et les régions d'azimut relatifs sont :

### Interférences du disque rotor principal en vortex (285° à 315°) :

-Le vent pour des vitesses de 10 à 30 knts de l'avant gauche, soufflera les vortex du rotor principal vers le rotor de queue en raison du vent relatif. L'effet de ces vortex du disque rotor conduit le rotor de queue à opérer dans un environnement extrêmement turbulent.

-Lors d'une rotation sur la droite, le rotor de queue subira une réduction de poussée lorsqu'il pénétrera dans le vortex du disque rotor principal. La réduction de poussée provient des changements de flux d'air subis lorsque le vortex du disque rotor principal se déplace à travers le disque du rotor de queue. L'effet du vortex du disque principal augmente l'angle d'attaque des pales du rotor de queue et augmente la poussée.



Interférences des vortex du disque rotor principal

-L'augmentation de l'angle d'attaque nécessite de la part du pilote qu'il ajoute de la pédale droite (réduction de poussée) afin de maintenir le même taux de rotation.

-Lorsque le vortex du rotor principal passe sur le rotor de queue, l'angle d'attaque du rotor de queue est diminué. La réduction de l'angle d'attaque provoque une réduction de poussée et une accélération de la rotation sur la droite commence. Cette accélération peut être surprenante si le pilote n'a pas anticipé en ajoutant de la pédale de droite afin de maintenir le taux de rotation sur la droite.

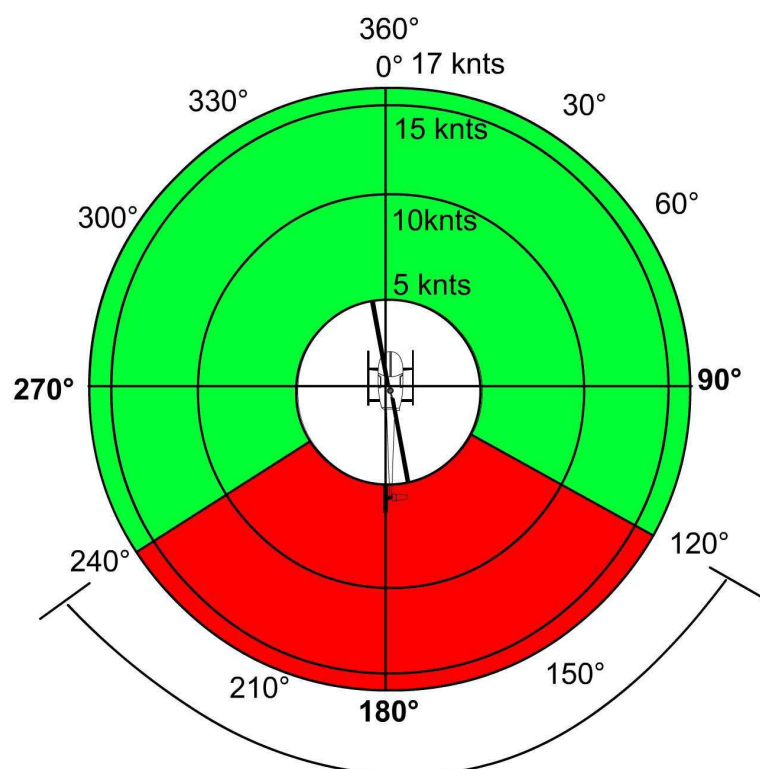
-Cette réduction de poussée surviendra brutalement et, si elle n'est pas corrigée, entraînera une rapide et incontrôlable rotation autour du mât. En évoluant dans cette région, le pilote doit être averti que la réduction de la poussée du rotor de queue peut survenir brutalement et le pilote doit être préparé à réagir rapidement afin de contrer la réduction avec la poussée additionnelle sur la pédale de gauche.

### La stabilité en girouette (120° à 240°)

-Le vent arrière de 120° à 240°, comme les vents latéraux de la gauche, provoqueront une charge de travail importante pour le pilote. La caractéristique la plus significative du vent arrière réside dans une accélération du taux de rotation.

Les vents dans cette région agiront comme sur une girouette maintenant le nez de l'appareil dans le vent relatif. Cette caractéristique provient du fuselage et de la dérive verticale.

-L'hélicoptère effectuera une rotation lente non contrôlée sur la droite ou sur la gauche en fonction de la direction exacte du vent, à moins qu'une action correctrice sur le palonnier soit effectuée. Si un taux de rotation est établi dans une direction, il sera accéléré dans cette même direction lorsque le vent relatif entrera dans la région entre 120° et 240° à moins d'une action correctrice ne soit effectuée sur le palonnier.



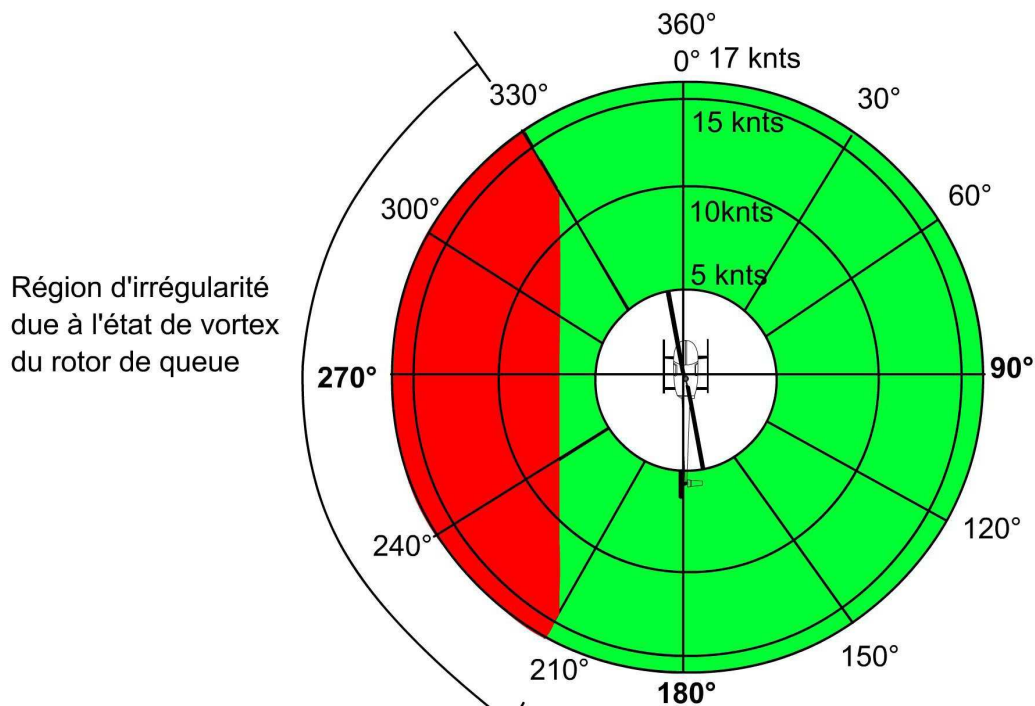
Région où la stabilité en girouette peut provoquer de forts taux de lacet

### STABILITE EN GIROUETTE

-Si le pilote autorise le développement d'un taux de lacet sur la droite et que la queue de l'hélicoptère pénètre dans cette région, le taux de rotation augmentera rapidement. Il est impératif que le pilote maintienne un contrôle positif du taux de rotation et porte toute son attention au vol en évoluant dans des conditions de vent arrière.

-L'hélicoptère peut évoluer en sécurité dans les conditions de vent relatives décrites ci-dessus si une attention particulière est donnée au maintien du contrôle. Si le pilote est inattentif pour certaines raisons et qu'une rotation sur la droite s'initie dans une des régions de vent relatif ci-dessus, le taux de rotation peut augmenter.

## L'état de vortex du rotor de queue (210° à 330°)



Etat de vortex du rotor de queue  
Données calculées

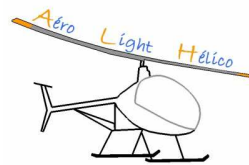
-Les vents à l'intérieur de cette région provoqueront le développement de l'état de vortex du rotor de queue. Lorsque le flux d'air passe au travers du rotor de queue, il crée une poussée du rotor de queue sur la gauche. Un vent de gauche s'opposera à cette poussée du rotor de queue. Ceci provoquera un flux turbulent et instable dans le rotor de queue. L'état de vortex induit des variations de poussée du rotor de queue, qui entraîne des variations de lacet. La résultante de ce flux instable est une oscillation de poussée du rotor de queue. C'est pourquoi des mouvements rapides et continus sur le palonnier sont nécessaires lors du stationnaire par vent traversier de gauche.

-Au présent, le pilote essaie de compenser les changements rapides de poussée du rotor de queue. Maintenir un cap précis dans cette région est difficile et la LTE peut survenir si le pilote surcontrôle l'appareil.

-La charge de travail importante sur le palonnier dans l'état de vortex du rotor de queue, est bien connue et les hélicoptères évoluent couramment dans cette région. Cette caractéristique ne présente pas de problème significatif à moins qu'une action correctrice ne soit retardée.

-Lorsque la poussée générée reste inférieure à la poussée nécessaire, l'hélicoptère tournera sur la droite. Lors du stationnaire par vent traversier de gauche, le pilote doit se concentrer sur une douce coordination des pédales et interdire le développement d'une rotation à droite.

-Si un taux de rotation à droite est autorisé, l'hélicoptère peut tourner dans l'azimut du vent de la région dans laquelle la stabilité en girouette s'établit, puis accélérer ensuite le taux de rotation sur la droite. La charge de travail du pilote durant cet état de vortex sera élevée. Le taux de rotation sur la droite ne doit pas être autorisé à augmenter.



## **Perte de la portance en translation (Tous azimuts)**

-La perte de la portance en translation résulte de l'accroissement de la demande de puissance et du supplément nécessaire à l'anti-couple.

-Cette caractéristique est plus significative lors des évolutions proches de la puissance maximale, et se trouve associée à la LTE pour 2 raisons. En premier, si l'attention du pilote est détournée par une augmentation du taux de virage sur la droite, le pilote peut ne pas s'apercevoir que le vent relatif de face est perdu et en conséquence, que la portance translationnelle est réduite. En second lieu, si le pilote ne maintient pas la vitesse-air en effectuant un virage sur la droite en vent arrière, l'appareil peut subir une accélération du taux de lacet sur la droite en même temps que la demande de puissance augmente et que l'enfoncement se développe. Une attention insuffisante de la part du pilote concernant la vitesse et la direction du vent, peut conduire à une perte inattendue de puissance translationnelle. Lors des opérations à, ou proches de la puissance maximale, cette augmentation de puissance peut provoquer une diminution du régime rotor.

-Le pilote doit continuellement considérer, le cap de l'appareil, le trajet sol, et la vitesse-sol apparente, tous ces facteurs contribuant à la dérive du vent et à la sensation de vitesse-air. Autoriser l'hélicoptère à glisser au-dessus du sol avec le vent, conduit à une perte de vitesse du vent relatif et à une diminution correspondante de la portance translationnelle. Toute réduction de la portance translationnelle provoquera une augmentation de la demande de puissance et des besoins de l'anti-couple.

### **Les autres facteurs**

Les facteurs suivants peuvent significativement influencer la sévérité de la survenue de la LTE.

#### **-Masse à vide et altitude-densité.**

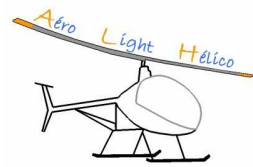
Une augmentation de l'un de ces facteurs diminuera la marge de puissance, entre la puissance maximale disponible et la puissance nécessaire au stationnaire. Le pilote doit conduire les manœuvres à faible hauteur et faible vitesse au poids minimal.

#### **-Faible vitesse-air indiquée.**

A des vitesses-air en dessous de la portance translationnelle, le rotor de queue doit produire presque 100% du contrôle de direction. Si le montant de la poussée du rotor de queue est indisponible pour n'importe quelle raison, l'appareil partira en lacet sur la droite.

#### **-Chute de puissance.**

Une augmentation rapide de puissance peut provoquer une chute transitoire de puissance. Toute diminution du régime du rotor principal provoquera une diminution de la poussée du rotor anti-couple. Le pilote doit anticiper cela et appliquer un supplément de pédale de gauche afin de contre le couple du rotor principal. Toute demande de puissance devrait se faire aussi doucement que possible afin de minimiser les effets de la chute de puissance.



## PREVENIR LA SURVENUE DE LA LTE

Afin de réduire l'apparition de la LTE, le pilote devrait :

-S'assurer que le rotor anti-couple est réglé et entretenu selon le manuel d'entretien

-Maintenir le maximum de puissance sur le régime rotor. Si le régime rotor est autorisé à diminuer, la poussée de l'anti-couple diminue proportionnellement.

### Lors des manœuvres entre stationnaire et 30 knts :

**-Eviter le vent arrière.** Si la perte de la portance translationnelle survient, elle résultera d'une augmentation de la puissance et des besoins de l'anti-couple.

**-Eviter le stationnaire hors effet de sol et les situations qui demandent de la puissance, telles que les virages vent arrière à faible vitesse.**

**-Être spécialement attentif à la direction et la vitesse du vent lors du stationnaire dans des vents de 8 à 12 knts, spécialement hors effet de sol.**

Il n'existe pas d'indicateur évident pour le pilote concernant la réduction de la portance en translation. Une perte de la portance translationnelle provoque une demande de puissance inattendue ainsi que des besoins de l'anti-couple.

## LES TECHNIQUES DE RECUPERATION

Si une rotation soudaine et non anticipée sur la droite se produit, le pilote devra accomplir les manœuvres suivantes :

**-Appuyer à fond sur la pédale de gauche, et simultanément incliner le cyclique vers l'avant afin d'augmenter la vitesse, et si l'altitude le permet, réduire la puissance.**

-Lorsque la récupération est effectuée, ajuster les commandes pour reprendre le vol normal.

-La réduction du collectif aidera à ralentir le taux de rotation et augmentera le taux de descente. Toute augmentation rapide et importante du collectif afin d'éviter le contact avec le sol ou un obstacle pourra ensuite augmenter le taux de rotation et diminuer le régime rotor.

-La réduction du collectif doit se baser sur la hauteur des obstacles ou de la surface, de la masse de l'appareil et des conditions atmosphériques.

-Si la rotation ne peut être arrêtée et que le contact avec le sol est imminent, une autorotation peut être la meilleure action. Le pilote doit maintenir l'appui à fond sur la pédale de gauche jusqu'à ce que la rotation cesse, puis maintenir ensuite le cap.

Les différents changements de direction du vent peuvent produire des taux différents de rotation pour une position de pédale donnée.

**Le principe le plus important à se souvenir pour le pilote est que le rotor de queue ne décroche pas.**

L'action correctrice consiste à appliquer du palonnier en sens inverse de la rotation.

Prévenir la LTE sera mieux perçu par les pilotes avertis des conditions conduisant à sa survenue. Une réponse appropriée à temps reste essentielle et critique.

En portant une attention aiguë au vent ainsi qu'à ses effets sur l'appareil, le pilote réduira significativement le risque d'exposition à la LTE.