



| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  | AÉRO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE |  |
| | CISOA-Commission Interne pour la Sécurité des Opérations Aériennes | |
| 02/2016 | Conseil Sécurité | Page 1/6 |

Rédacteurs : B.Guaus, J.Loury, supervisés par J.L.Rabilloud

Publié le 25 juin 2016
Révisé le 27 juin 2016

Le second régime : un passage obligé et délicat !

Dans les discussions entre pilotes, le « second régime » est souvent évoqué comme dangereux alors que tout vol commence et se termine dans cette partie spécifique du domaine de vol !

En réalité le risque est de perdre le contrôle de l'avion aux fortes incidences et d'avoir des performances très dégradées, notamment en décollant prématurément, en tardant à remettre les gaz, en adoptant une vitesse trop faible en finale ou une assiette trop cabrée un peu avant le touché des roues !

Ce conseil apporte quelques éléments de compréhension et de maîtrise de ce risque !

Sur la base du graphe des puissances mises en jeu en fonction de la vitesse de l'avion, le second régime est défini et ses caractéristiques sont interprétées d'un point de vue pratique.

La sortie de la « zone critique » lors de la course au décollage ou d'une remise de gaz puis la maîtrise de l'arrondi et de la décélération à l'atterrissage sont abordées.

Enfin le graphe de la vitesse verticale en descente en fonction de la vitesse de l'avion met en évidence la nécessité d'appliquer, sur la courte finale d'un atterrissage de précaution, de plus amples variations de puissance et d'assiette pour corriger les écarts de vitesse et de pente.

Références documentaires :

- a. Cépaduès éditions : La mécanique du vol de l'avion léger (Serge Bonnet et Jacques Verrière)
- b. ENAC-[Guide l'instructeur VFR édition juin 2014](#)
- c. IASA Nov.2008/1 : [Le second régime de vol au décollage](#)
- d. Vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=gD88Rp7Cx00>
- e. Editions ALTIPRESSE : Manuel de pilotage Avancé (Barry Schiff)
[Le vol au second régime](#) (extraits des pages 34 à 41)
- f. INFO PILOTE Mars 2012 – Rubrique SECURITE (Michel Barry)
[Contrôle de la trajectoire après l'envol](#)
[Rotation prématurée, absence de palier = danger](#)
- g. ISAL (Instance de Sécurité de l'Aviation de Loisir) Campagne Avion 2015 n°3
[Transition Approche stabilisée-Toucher](#)

Définition du second régime

Le graphe ci-dessous, qui représente l'évolution des puissances en fonction de la vitesse et donc de l'incidence, illustre les principales caractéristiques du premier et du second régime de vol.

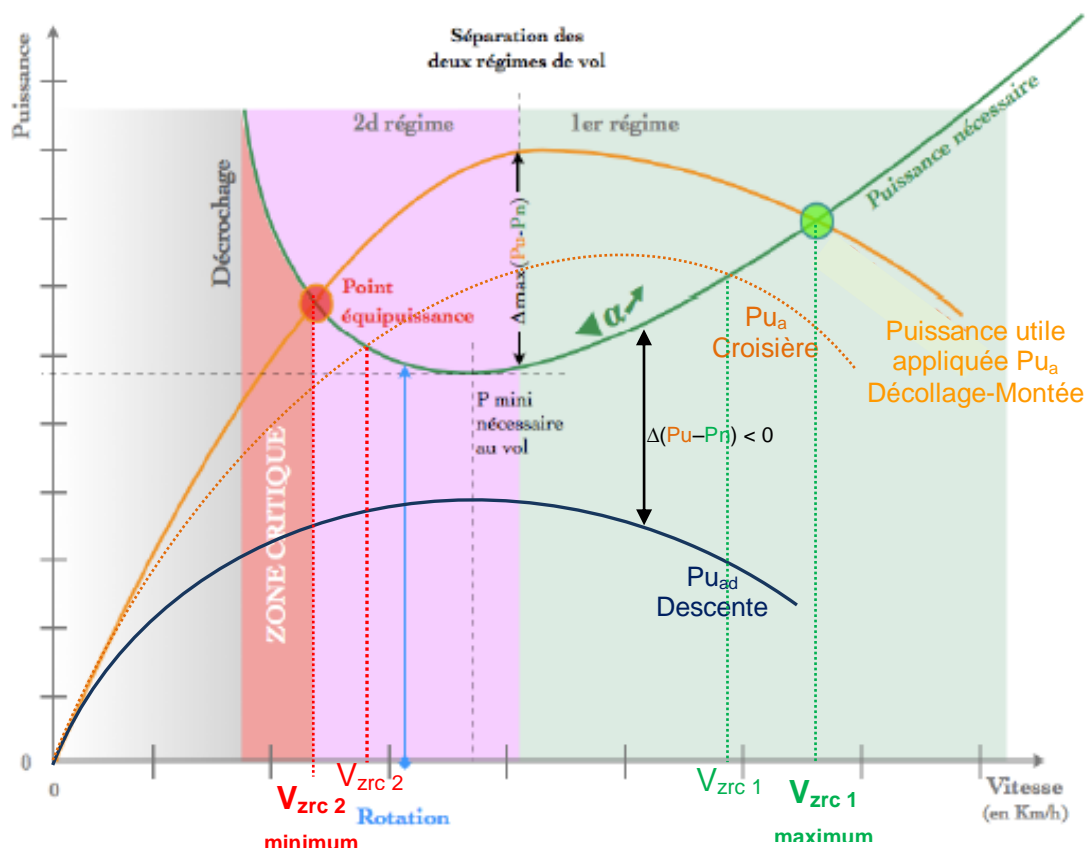
Selon les ouvrages, deux séries de critères définissent leur séparation, à savoir [pour une altitude et une température données ainsi que pour une masse et une configuration de l'avion définies] la vitesse (V_i) et l'incidence (α) où :

1. l'écart $\Delta (P_u - P_n)$ entre la puissance utile appliquée (P_{u_a}) et la puissance nécessaire au vol en palier (P_n) est maximum [cf. document de référence a)] ;
2. la puissance nécessaire (P_n) est minimum [cf. document de référence b)].

avec :

- Puissance nécessaire = travail « résistant » de la force de Traînée lorsque l'avion se déplace pendant une unité de temps ($P_n = \text{Traînée} \times \text{Vitesse}$) ;
- Puissance utile appliquée¹ = travail « moteur » de la Traction exercée sur l'avion lors de son déplacement pendant une unité de temps ($P_{u_a} = \text{Traction} \times \text{Vitesse}$)

Nota : (P_{u_a}) augmente avec (V_i) mais en s'infléchissant à cause de la diminution progressive de la force de traction exercée par l'hélice dont le rendement décroît.



Aux points « équipuissance », la vitesse est désignée **Velocity for Zero Rate of Climb V_{ZRC}** , i.e. la vitesse en palier à une certaine puissance utile appliquée (P_{u_a}).
 Au second régime, **$V_{ZRC 2 \text{ minimum}}$** est la vitesse minimum que peut prendre l'avion en palier lorsque la puissance délivrée par le moteur est à son maximum possible.

¹(P_{u_a}) correspond à la puissance délivrée par le moteur pour un nombre donné de tours/minutes (RPM) s'il est équipé d'une hélice à calage fixe ou pour un (RPM) donné et une certaine pression d'admission (P_a) s'il est équipé d'une hélice à calage variable.

Interprétation du graphe des puissances d'un point de vue pratique

- la vitesse (V_i) varie en sens inverse de l'incidence (α) et au second régime la puissance nécessaire (P_n) varie dans le même sens que l'incidence (α).
- à une vitesse (V_i) et donc à une incidence (α) définies, l'écart $\Delta (P_u - P_n)$ représente [au Poids (mg) près] la vitesse verticale (V_z) : si cet écart est positif (excédent de puissance) l'avion monte et s'il est négatif (déficit de puissance) l'avion descend !

$$V_z = \frac{\Delta (P_u - P_n)}{mg}$$

- lors d'un vol en descente stabilisée, l'écart $\Delta (P_u - P_n)$ est négatif quelles que soient les valeurs [V_i ; α] : l'amplitude de cet écart est minimum à la séparation entre les deux régimes puis croît inexorablement jusqu'au décrochage.
- à la séparation des deux régimes, les valeurs [V_i ; α] correspondent :
 - (critères 1) au meilleur taux de montée ($V_{z_{max}}$) [par exemple, « volets rentrés » 145 km/h sur Robin DR42, 160 km/h sur DR44, 75 kt sur Diamond DA20] ;
 - (critères 2) à l'autonomie maximum ;
- les valeurs [V_i ; α] aux points équipissance peuvent varier selon les fluctuations des puissances utile et nécessaire.
Ces fluctuations sont liées à plusieurs facteurs pouvant se combiner, tels que les variations d'altitude et de température, de la puissance délivrée par le groupe motopropulseur [par exemple, perte de puissance due à un dysfonctionnement (hélice, allumage, alimentation, carburation, etc.)], du facteur de charge (en virage, lors d'une ressource) ainsi qu'en présence de gradient de vent, d'effet de sol, etc.
- dans la **zone critique**, délimitée par l'incidence au point équipissance du 2ème régime² et l'incidence du décrochage (à laquelle intervient la perte de contrôle), il est impossible d'augmenter la vitesse (V_i) sans perdre de hauteur.
- au 1^{er} régime et à une certaine puissance utile appliquée (P_{u_a}) qui, selon les valeurs [V_i ; α] peut être supérieure ou inférieure à la puissance nécessaire (P_n), une diminution de vitesse (i.e. une augmentation d'incidence) fait croître le taux de montée ou décroître le taux de descente alors qu'au 2^{ème} régime elle fait décroître à la fois le taux de montée et le taux de descente ;
- aux petites incidences (voisinage du point équipissance du 1er régime) une légère variation de l'incidence et/ou de la puissance utile induiront une faible variation de la vitesse verticale et une forte variation de la vitesse (donc une faible variation de la pente Θ de la trajectoire) ;
- aux grandes incidences (voisinage du point équipissance du 2ème régime et en zone critique), une légère variation de l'incidence et/ou de la puissance utile induiront une forte variation de la vitesse verticale et une faible variation de la vitesse (donc une forte variation de la pente Θ de la trajectoire) ;
- pour une certaine puissance utile appliquée (P_{u_a}), la vitesse $V_{zrc 2}$ est supérieure à la vitesse de décrochage (i.e. vitesse de perte de contrôle) et varie à l'inverse de la (P_{u_a}) et dans le même sens que la (P_n) :

Puissance utile appliquée + élevée => V_i en palier au 2nd régime + faible

Puissance nécessaire + élevée => V_i en palier au 2nd régime + élevée

²Parfois, à la puissance délivrée maximum, ce point n'existe pas, notamment sur des avions « sur motorisés »

| | | |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------|
| Conseil Sécurité 02/2016 | AÉRO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE | Page 4/6 |
| | Le second régime : un passage obligé et délicat ! | |

Décollage et montée initiale

La puissance utile appliquée au décollage puis en montée est celle qui correspond à la puissance maximum que peut délivrer le moteur (à RPM_{max} et Pa_{max}). Le graphe des puissances montre clairement que la course au décollage, la rotation d'assiette puis le décollage et la montée initiale s'opèrent au second régime.

Si les limites de masse et de centrage sont respectées, si la rotation d'assiette est débutée à la vitesse (V_r) définie dans le manuel de vol et si cette rotation cesse quand l'assiette de décollage est affichée, l'avion sort très tôt de la zone critique : il pourra quitter le sol grâce à l'excédent de puissance [$\Delta (P_u - P_n) > 0$ et en croissance] et accélérer facilement à cause d'une part de la disparition de l'adhérence des roues et d'autre part d'une diminution de la traînée liée à la diminution de l'incidence (α) [et donc du C_x] consécutive à l'orientation vers le haut du vecteur vitesse ($V_z > 0$).

Un vrai problème se posera au décollage si la rotation d'assiette est effectuée trop tôt et/ou avec une assiette inadaptée. En effet :

1. **avant $V_{ZRC2\ minimum}$** : l'avion est dans la zone critique et ne peut pas quitter le sol à moins qu'il ne le fasse lors d'une rafale de vent frontale à forte composante horizontale (apport d'énergie cinétique, augmentation momentanée du vent relatif et donc portance accrue), mais dans ce cas si l'assiette est maintenue cabrée (la traînée sera très forte et donc pénalisante pour l'accélération) et/ou si la rafale s'atténue ou disparaît (perte de portance), il redescendra aussitôt.
2. **après $V_{ZRC2\ minimum}$ et avant V_r** : bien que l'excédent de puissance soit encore relativement faible, l'avion quittera le sol mais il accélérera très difficilement à cause encore une fois de la forte traînée et à la moindre augmentation de l'incidence (rafale de vent à forte composante verticale, action inopinée sur le manche à cabrer) il sera de nouveau en zone critique et reviendra au sol !

Pour se sortir de ces situations :

- **dans le cas 1**, maintenir une action sur le manche à cabrer, réduire les gaz et dès que l'avion est revenu au sol (après l'avoir quitté lors d'une rafale) :
 - interrompre le décollage si la longueur de piste restante est insuffisante ;
 - ou s'il reste suffisamment de longueur de piste, mettre le manche secteur avant, appliquer la puissance de décollage et attendre d'avoir atteint la vitesse de rotation pour afficher progressivement l'assiette de décollage ;
- **dans le cas 2**, continuer d'appliquer la puissance de décollage et faire évoluer progressivement l'assiette à piquer afin d'exécuter à proximité du sol un palier d'accélération jusqu'à la vitesse de rotation, puis afficher de façon souple l'assiette de décollage puis de montée initiale.

Décollage après un touché (touch and go !)

Une vitesse un peu trop élevée en courte finale, une décélération qui se prolonge, la recherche d'un kiss landing... l'extrémité de la piste se rapprochant, le manche est tiré trop tôt et/ou trop fort (effet du stress !) et l'avion peut se retrouver en « zone critique » !

Approche du décrochage (vol très lent) et décrochage (perte de contrôle)

L'approche du décrochage correspond à un vol très lent où l'incidence est voisine de l'incidence au point équipuissance du second régime puis à celles de la zone critique juste avant la perte de contrôle (qui intervient à l'incidence de décrochage).

L'avertisseur de décrochage se déclenche lorsque la vitesse (V_i) est supérieure d'environ 15 kt à la vitesse de décrochage (V_s) [nominalement à $V_i \leq 1.2 V_s$].

Nota : en toute rigueur V_s est (en l'absence de Puissance utile appliquée) la Vitesse minimum de sustentation obtenue à l'incidence du $C_z\ max$ légèrement inférieure à celle du décrochage.

| | | |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------|
| Conseil Sécurité 02/2016 | AÉRO-CLUB DU CE AIRBUS-FRANCE TOULOUSE | Page 5/6 |
| | Le second régime : un passage obligé et délicat ! | |

Le vol très lent à l'approche du décrochage puis le décrochage lui-même sont généralement réalisés volontairement en formation pratique mais peuvent parfois se produire involontairement par suite de variations inattendues et défavorables de la puissance utile ou de la puissance nécessaire (notamment sous facteur de charge, en cas de turbulence avec ou sans cisaillement et en présence d'un fort gradient de vent).

En altitude, quand il y a suffisamment « d'eau sous la quille », la sortie d'un décrochage n'est pas un problème : il suffit de diminuer l'incidence par une action sur le manche à piquer puis d'effectuer une ressource en souplesse pour reprendre le vol en palier à la vitesse de sécurité, en appliquant la puissance utile permettant de s'y maintenir.

Evoluer avec de fortes incidences alors que l'avertisseur de décrochage sonne en permanence ou se trouver en « zone critique » à basse hauteur est très dangereux car :

- d'une part les « commandes sont molles », ce qui rend le contrôle de l'avion plus difficile, notamment en roulis, et accroît le risque d'un décrochage en cas de variations défavorables des puissances ;
- d'autre part la diminution d'incidence nécessaire pour en sortir est obligatoirement associée à une perte de hauteur, plus ou moins grande selon la puissance utile pouvant être appliquée ! (cf. [Séminaire 2014 « Le décrochage, revenir aux incidences de vol »](#)).

Remise de gaz

Lors d'une remise de gaz il est primordial de ne pas entrer en zone critique et d'évoluer à des incidences où la puissance utile appliquée est excédentaire, l'objectif de la manœuvre étant de passer d'une trajectoire descendante à une trajectoire montante.

Point d'attention : pendant cette manœuvre la courbure de la trajectoire induit un facteur de charge qui fait croître la puissance nécessaire (P_n) et donc la V_{ZRC2} . En cas de mouvement en tangage à cabrer trop rapide, l'incidence peut prendre une très forte valeur du fait que le vecteur vitesse tend à rester orienté vers le bas.

Il convient par conséquent d'effectuer la rotation d'assiette de façon souple, jusqu'à l'assiette de palier et immédiatement après d'appliquer la puissance de montée afin de diminuer la V_{ZRC2} tout en veillant à maîtriser les effets « moteur » et en continuant la rotation jusqu'à l'assiette de montée.

Atterrissage

Lors d'un atterrissage normal, au passage du seuil de piste, la Puissance utile appliquée en descente ($P_{u_{ad}}$) est progressivement diminuée [en réduisant les gaz] jusqu'à son annulation totale. Simultanément l'arrondi est débuté puis poursuivi afin d'amener l'avion près du sol sur une trajectoire quasi horizontale.

Pendant l'arrondi l'incidence augmente et la vitesse diminue progressivement [la Traînée augmente avec l'incidence]. Après l'arrondi lorsqu'aucune puissance utile est appliquée, la diminution de la vitesse fait décroître la Portance jusqu'à la rupture de l'équilibre en sustentation [Portance = Poids], ce qui oblige l'avion à suivre une trajectoire très légèrement descendante jusqu'au touché des roues.

La distance d'atterrissage, du seuil jusqu'à l'arrêt complet, est conditionnée par la quantité d'énergie à perdre et donc liée à la hauteur et à la vitesse atteintes au passage du seuil.

De même, la distance de roulement (du touché des roues jusqu'à l'arrêt complet) est liée à la vitesse atteinte au touché des roues.

La difficulté du pilotage à ce stade est d'atteindre le sol à faible vitesse afin d'éviter tout rebond, d'atterrir sur le train principal puis de rouler sur une distance aussi courte que possible jusqu'à l'arrêt complet mais tout en ayant une incidence (α) qui permette de garder le contrôle de l'avion (notamment en roulis), autrement dit à une vitesse supérieure à celle du décrochage.

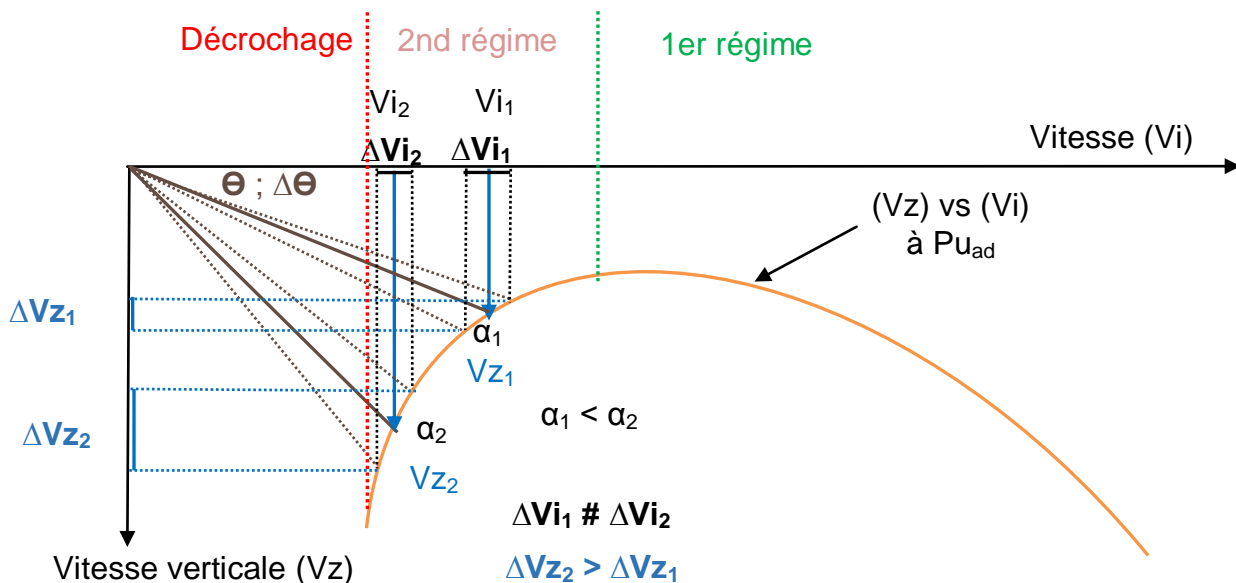
Atterrissage de précaution

Pratiqué en cas d'interruption volontaire du vol hors aérodrome, de vent très fort ou de piste limitative en distance disponible, l'atterrissage de précaution se caractérise par :

- un point de touché des roues pratiquement confondu avec le point d'aboutissement choisi ;
- une distance de roulement la plus courte possible.

Pour cela, la vitesse (V_i) adoptée en courte finale est généralement plus faible que pour un atterrissage normal (mais jamais inférieure à $1.2 V_s$).

Le graphe³ ci-après de la Vitesse verticale (V_z) en fonction de la Vitesse (V_i) établi pour une certaine Puissance utile appliquée en descente ($P_{u_{ad}}$), montre qu'aux fortes incidences le taux de chute et donc la pente Θ du plan d'approche augmentent considérablement quand la vitesse (V_i) décroît et inversement.



La correction des écarts ΔV_i et ΔV_z sur les vitesses (V_i) et (V_z), et par conséquent des écarts $\Delta \Theta$ sur la pente Θ du plan, exigera :

- ☞ une réactivité accrue ;
- ☞ de plus amples variations de puissance et d'assiette.

Conclusion

Le décollage, la montée, la finale et l'atterrissage s'effectuent au second régime sans présenter de danger dès lors que le passage de la zone critique et le vol très lent [évolution aux fortes incidences] sont maîtrisés !

³ Graphe déduit du graphe de la puissance nécessaire (P_n) et de la puissance utile appliquée en descente ($P_{u_{ad}}$)