

CALCUL DES PARAMETRES GEOMETRIQUES D'UNE COMMANDE PROGRESSIVE

Par Jean-Michel Yvé

1/ Pourquoi ?

L'expérience des avions Mignet, et les expérimentations premières d'Henri Mignet sur les prototypes du Pou (HM-11, HM-14 n°1), nous ont appris que la formule "Pou du Ciel" produit des avions généralement assez vif et sensibles autour du neutre pour l'axe de "lacet-roulis" (avion deux axes). Caractéristique aux conséquences bénignes pour un pilote expérimenté, elle peut surprendre un pilote néophyte et l'amener à sur-corriger ses trajectoires.

C'est pourquoi depuis les débuts de cette formule, plusieurs personnes ont cherché à améliorer le système de la commande de dérive afin de la rendre plus douce autour du neutre. Je pense ici en particulier au travail de monsieur Frank Easton.

Frank Easton fut un employé d'Henri Mignet en 1937-38 aux Etats-Unis dans "l'American Mignet Corporation". Outre les trois prototypes HM-19, 20, et 21 construit par l'AMC, Frank Easton s'était construit son propre HM-20, renommé ME-2Y car plusieurs modifications avaient été apportées. La plus intéressante était une commande progressive de la dérive qui prouva son efficacité en rendant le Pou du Ciel encore plus facile et accessible aux néophytes. Malheureusement ce système n'a pas connu la célébrité. Redécouvert en 1997 sur le ME-2Y toujours existant (et désormais exposé à Oshkosh), certain se sont intéressés à cette mécanique en cherchant à comprendre et à vulgariser le système.

2/ But :

Le but de cette feuille de calcul excel est donc de permettre à tous d'adapter une commande progressive sur son Pou du Ciel, mais aussi sur n'importe quel avion léger disposant de commandes par câbles manipulées par un volant.

Cette feuille va permettre de dimensionner les pièces géométriquement afin d'obtenir l'amortissement voulu sans détensions ou surtensions des câbles exagérées. Cette feuille de calcul est fournie à titre d'aide à la conception et ne peut remplacer un maquetage réel sur un banc d'essai ou l'avion pour vérifier sa fonctionnalité.

3/ Principe de la commande :

Je ne peux que vous renvoyer vers le site web qui m'a poussé à cet exercice de calcul, et qui décrit l'historique de cette commande et quelques expérimentations.

<http://www.pouguide.org/index.php?page=commande-progressive-easton>

~~http://pou.guide.free.fr/construire/commande_direction/commande_direction.htm~~

Pour résumer, on peut dire que dans le cas d'une commande conçue dans les règles, un déplacement de X° du manche-volant va produire un déplacement de X° de la gouverne, ou alors une proportion fixe du déplacement du manche.

Dans le cas d'une commande progressive, un déplacement faible du volant (quelques degrés) provoque un déplacement très faible de la gouverne, mais un déplacement fort du volant permet d'atteindre de grands débattements.

L'idée est d'avoir autour du neutre une commande à faibles débattements donc douce et précise, tout en conservant les grands débattements proches des butées du volant afin de conserver la maniabilité de l'avion.

Comme nous parlons ici d'aviation légère et en particulier d'aviation d'amateur, le système final doit être un système purement mécanique, simple à réaliser, simple à entretenir. Il est en effet très facile électroniquement de réaliser ce genre de commande, c'est ce qui est fait sur n'importe quel avion de ligne ou avion de chasse moderne... Mais alors un ordinateur s'occupe de cela et pilote en position le vérin de commande... Nous n'avons qu'un manche, des câbles, et pas d'ordinateur...

Frank Easton a inventé ce système simple, mais sans pouvoir connaître à l'avance l'amortissement (ou progressivité) de commande qu'il allait obtenir. Voilà le but de cette feuille Excel.

Mécaniquement il n'est pas possible d'obtenir une commande qui conserverait exactement la tension initiale de nos câbles de commandes. Mais l'expérience montre que ces câbles, en particulier sur la dérive, ne sont jamais très tendus, voire juste tendus. L'expérience montre aussi que nous pouvons accepter que la tension des câbles de commande varie disons jusqu'à 3% ou 4%, justement parce que nos câbles ne sont pas tendus et que nous avons de la marge. C'est ce que nous allons vérifier dans nos calculs.

4/ Comment ça marche ? Mode d'emploi :

Consultons maintenant notre tableau Excel. **Seuls les paramètres sur fond vert sont modifiables.** Ils correspondent aux paramètres physique de notre chaîne de commande : cotes des pièces usinées, longueurs de câbles de commande, longueur des bras de commande...

Pour comprendre ces paramètres, il vous faut consulter la page web citée plus haut pour comprendre la géométrie de cette commande, et le schéma intégré dans la feuille de calcul pour savoir quel nom j'ai affecté à tel point ou tel paramètre de longueur.

Le reste, c'est de la géométrie et des calculs obscurs dans lesquels l'âge du capitaine n'intervient pas...Ce qui est intéressant, ce sont **les résultats intermédiaires sur fond jaune, et le résultat final**, le déplacement de la gouverne, **sur fond rouge**.

L'amortissement exact pour le débattement d'entrée indiqué apparaît sur fond bleu.

5/ Comment on fait ?

La méthode est quelque peu empirique, mais les résultats sont justes. L'idée est de vérifier qu'en utilisant des cotes facile à usiner on obtient un amortissement et un débattement total correspondant à nos besoins. Ceci se visualise sur la "**courbe d'amortissement**".

Parallèlement à cela, il nous faut vérifier que nos câbles ne se sont pas trop détendus ou tendus. C'est ce que nous visualisons sur la "**courbe surtension câble**".

En fait il est très facile d'obtenir l'amortissement que l'on recherche, mais il est plus difficile que cela se fasse sans casser les câbles...

6/ Que doit-on obtenir ?

Pour un débattement total du volant, disons de $\pm 60^\circ$, il nous faut obtenir un débattement global sur notre gouverne de dérive identique à celui utilisé sur un Pou sans commande progressive. Cela dépend du modèle de Pou que vous montez et la maniabilité recherchée. Cela est valable aussi pour d'autres avions.

Disons que l'on veut que notre gouverne débâte au total de $\pm 50^\circ$ par exemple, ce qui est beaucoup.

Ensuite nous allons regarder quel amortissement nous avons autour du neutre en demandant en entrée 10° (volant tourné de 10° , valeur typique d'une correction ou d'une mise en virage standard) et donc en observant à la ligne inférieure rouge quel débattement on obtient à la gouverne. On peut aussi regarder les courbes, mais plus pour l'aspect global de cette courbe...

- **Pas ou très peu d'amortissement** : 10° en entrée \Rightarrow environ 10° en sortie. La courbe d'amortissement est une droite pure ET amortissement = environ 1. Votre avion est vif autour du neutre, réactif.

- **Amortissement faible** : 10° en entrée \Rightarrow 6° à 8° en sortie. Votre avion est plus doux pour les faibles débattements du volant, mais néanmoins réactif.

- **Amortissement modéré (conseillé)** : 10° en entrée \Rightarrow 2.5° à 6° en sortie. Votre avion est doux autour du neutre, permettant un pilotage en finesse, mais assez réactif pour ne pas demander de trop grosses corrections.

- **Amortissement fort (attention !)** : 10° en entrée \Rightarrow 1° à 2.5° en sortie. Votre avion est trop doux autour du neutre avec peu d'efforts au manche. Il faut de gros débattements de volant pour obtenir une réaction de l'avion, ce qui fait que vos corrections sont longues à venir et ne sont pas compatibles avec l'axe de tangage qui lui reste sensible "comme d'habitude" et qui est piloté par le même manche. Attention ! La trajectoire devient aussi aléatoire qu'avec une commande trop vive car l'avion n'est plus assez réactif...

Une fois l'amortissement désiré obtenu, il faut vérifier la courbe de surtension des câbles. La surtension maximum ne doit pas dépasser 3% à 4% comme vu plus haut, mais 2% sera une valeur honnête.

Vous constaterez que tous les paramètres ont des influences sur l'ensemble, et il faut essayer et modifier calmement chacun d'eux. A la fin, dessinez le système de commandes complet pour voir quelle tête il a en vrai grandeur, et construisez une maquette pour valider le fonctionnement.

IL EST TRES IMPORTANT DE FAIRE DES ESSAIS EN VOL TRES PRUDENTS POUR VALIDER ET OPTIMISER L'AMORTISSEMENT DE LA COMMANDE. PLUSIEURS "SAUT DE PUCES" DEVRONT ÊTRE EFFECTUES AVANT UN TOUR DE PISTE POUR TÂTER LES REACTIONS.

Conclusions :

Nous pouvons maintenant concevoir une commande amortie par calcul, sans avoir besoin de réaliser moult maquettes fonctionnelles pour savoir de combien on a amorti, et savoir si le système ne crée pas de surtension prohibitives des câbles de commandes. Cette vulgarisation va permettre d'adapter facilement ce genre de commande à plusieurs machines de tailles différentes, avec des amortissements différents. Et tout cela avec un système simple mécaniquement, comprenant peu de pièces.

A LIRE :

Ce travail est diffusé bénévolement, gratuitement. Il doit rester gratuit et ne peut être utilisé par un tiers en se faisant rétribuer pour ces calculs. Vous pouvez le diffuser largement à qui vous voulez, c'est fait pour cela, mais gratuitement...

Je décline toute responsabilité sur l'utilisation qui sera faite de ces calculs. Il est du ressort de chacun de s'assurer de sa sécurité en avion. Chacun devra faire des essais prudents et une prise en main prudente de la commande progressive. Ce travail se veut informatif et une aide aux constructeurs amateurs. Je ne pourrais en aucun cas être tenu responsable d'un accident provenu sur un avion muni d'une commande progressive calculée avec cette feuille Excel.

Merci de votre attention.

Signé : Jean-Michel Yvé le 06 novembre 2007

REMERCIEMENTS :

Un grand merci à **Paul Pontois** pour nos échanges très instructifs sur ce sujet, pour sa confiance, son écoute passionnée, et pour tout ce qu'il fait pour la formule Pou du Ciel.

Merci aussi aux amis de Paul, **Charlie Crawley et Hans Engels** qui ont relus et testés en avant première mes calculs. Ils se sont eux aussi beaucoup impliqués dans l'étude de ce genre de commande progressive.

Et surtout, mes salutations les plus distinguées à **Frank Easton**, qui à plus de 90 ans continue de défendre par monts et par vaux la formule Pou du Ciel. Ses recherches et son travail direct sont désormais au musée de l'EAA d'Oshkosh, et il nous incombe de continuer à les faire vivre. J'espère y avoir modestement contribué.

Volez bien, volez prudemment.

Jean-Michel Yvé
(jeanmiy@yahoo.fr)
Novembre 2007