



VALIDATION MINIBEE

Le tableur de simulation **Aerodes PH72** de rotor et chaîne énergétique électrique a fait ses preuves sur des rotors de diamètre 1.4m à des nombre de Reynolds moyens de 60000. Il s'agit ici de le tester et si possible de le valider pour des rotors descendant à un diamètre de 0.5m et des nombres de Reynolds moyens de 30000 à 40000.

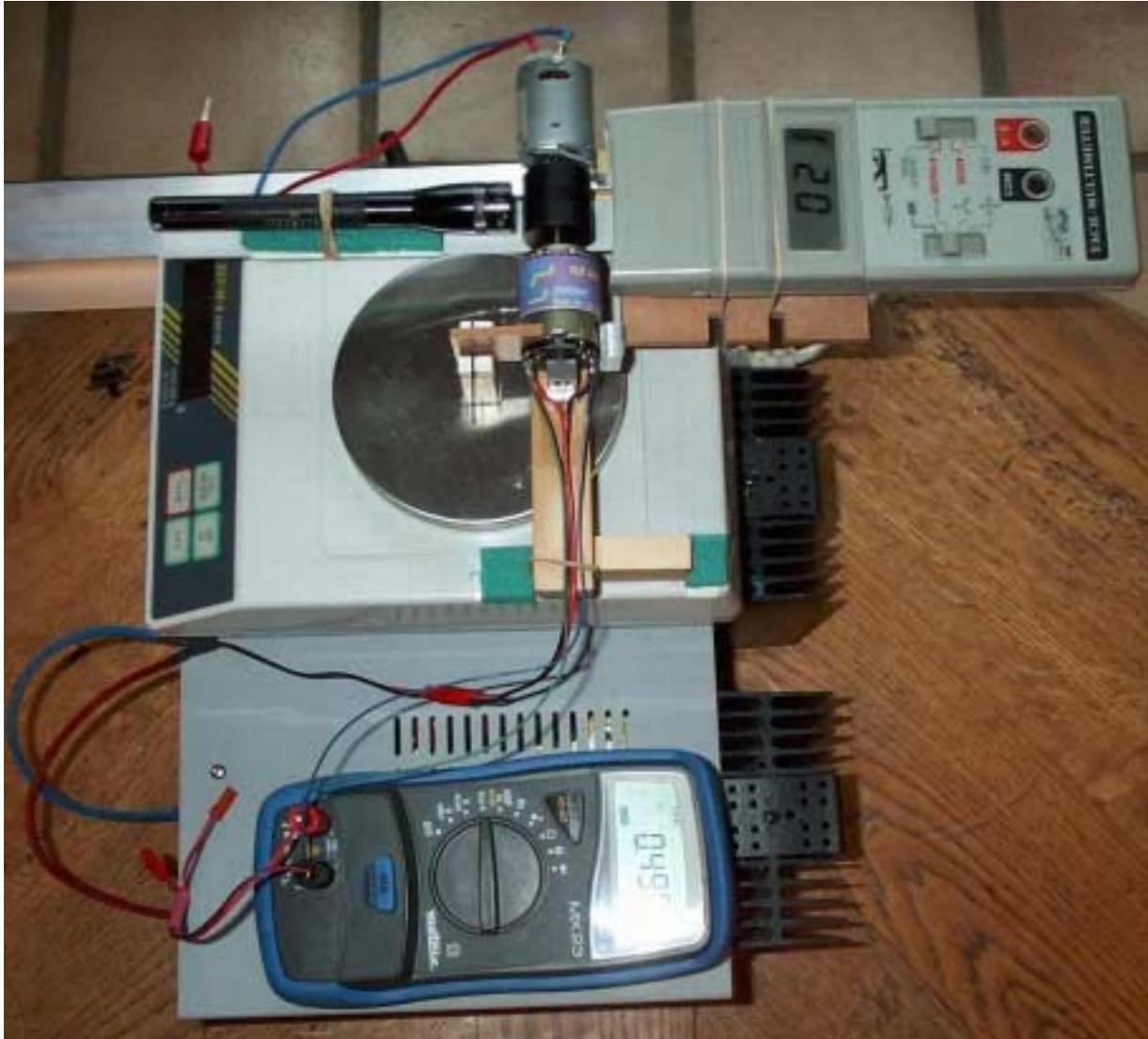
Pour cela on utilise le moteur et la machine Minibee servant de mesures réelles de référence. On trouve donc dans ce document les trois volets suivants :

- Mesures effectuées
- Résultats de modélisation
- Commentaires et conclusions

MESURES EFFECTUEES

Sur le moteur de Minibee :

Il faut démonter le moteur de la machine et l'installer sur le banc de mesure de puissance.
Photo :



Ce banc consiste essentiellement à accoupler le moteur à étudier sur un autre moteur servant de génératrice de charge génératrice : en circuit ouvert, en charge sur 13,5ohms, en court circuit. La pièce d'accouplement ressemble à un boisseau de carburateur, le trou transversal pratiqué permettant de laisser passer la lumière 2 fois par tour vers le tachymètre. La génératrice est fixée au bâti par silent bloc tandis que le stator du moteur est libre sur son axe et possède un bras de levier collé permettant de transmettre son couple à la balance. Sous la balance se trouve une alimentation stabilisée 40V/5A. On mesure donc les paramètres électriques et mécaniques. Les mesures ont pour but de déterminer les coefficients du modèle théorique du moteur.

Soit pour différentes charges (en direct sans variateur et aussi avec variateur), les valeurs relevées de :

- Tension
- Courant

- Vitesse de rotation
- Couple

Lorsque 2 de ces 4 paramètres sont fixés, le « modèle » déduit les 2 autres après détermination par approche successives des coefficients (voir MODMOT.doc de Pierre Hermet) intervenant dans la formulation correspondante, coefficients :

- de vitesse K_v : 0.000385V/(t/mn)
- de couple K_c : 0.348Ncm/A
- de résistance interne R : 0.185ohms
- de perte par commutation α_c : 0.0000021ohm(t/mn)
- de perte par hystérésis + frottement solide (C_o) : 0.101Ncm
- de perte par courant de Foucault + frottement visqueux (C_f) : 0.00000482Ncm(t/mn)

Ces coefficients, dépendant des mesures effectuées, sont variables d'un moteur à l'autre.

Sur la batterie NiCd 9 éléments :

- Résistance interne : 0.53ohms
- Coefficient de restitution par rapport à la capacité nominale : 0.87 (de 600mAh)

Sur le bi-rotor Minibee :

Sous 7V (6 éléments) :

- Système mis sous tension, moteur OFF : 70mA
- Système mis sous tension, moteur ON, transmission mécanique active : 0.960mA
- Système mis sous tension, moteur ON, transmission mécanique inactive : 580mA (débrayage pignon moteur)
- Moteur seul à vide : 510mA

Sous 11V (9 éléments) :

- Système mis sous tension moteur OFF : 80mA
- Système mis sous tension moteur ON, transmission mécanique active : 1040mA
- Système mis sous tension moteur ON, transmission mécanique inactive : 720mA (débrayage pignon moteur)
- Moteur seul à vide : hors gamme

Pertes transmission mécanique :

- Pertes à vide (couple) sur la base des mesures de courant : 0.015Nm
- Pertes en charge (couple) estimée équivalentes aux pertes à vide : 0.015Nm

En vol :

- Durée réalisée : 7 à 8 minutes
- Courant moyen : 4A

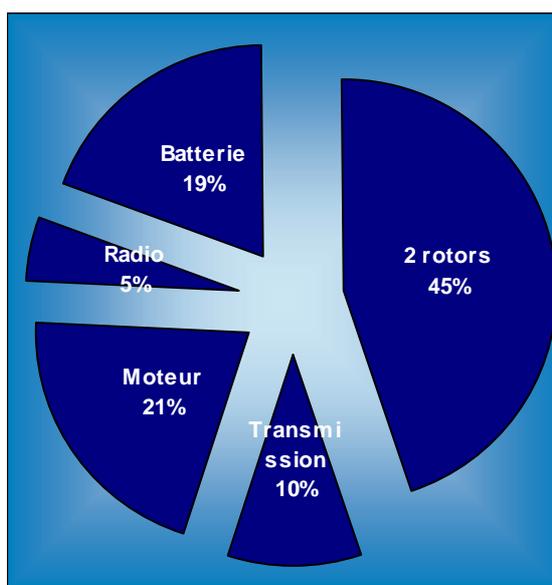
RESULTATS DE MODELISATION

L'outil de modélisation est désigné **Aerodes PH72** sur la base des paramètres du profil Eppler 62 modélisée par la soufflerie numérique de Martin Hepperle et du modèle de moteur électrique de Pierre Hermet (MODMOT.doc). Aucune adaptation spécifique qui aurait permis de « tricher », par jeu de coefficients, n'a été effectuée.

Le variateur est estimé sans pertes significatives dans le domaine d'utilisation proche de la position ON.

Répartition des postes	Minibee		HBE_E	
Alimentation radio	2W	5%	0W	0%
Puissance mécanique absorbée par les 4 pales	17.35W	45%	202W	74%
Pertes transmission mécanique	3.89W	10%	8W	3%
Pertes moteur	8.12W	21%	26.7W	9.8%
Pertes batterie	7.53W	19%	36.8W	13.5%
Total	38,9W		274W	

A noter que sur Minibee les pertes transmission représentent 22% de la puissance mécanique absorbée par les pales. Les pertes par rapport à la puissance totale mise en jeu (38,9W) sont représentées ci après :



- Durée : 7 minutes 54 secondes
- Courant : 3.97A
- Tension minimale de fonctionnement par élément de batterie : 1.068V
- Vitesse rotor : 1240t/mn
- Vitesse moteur : 17856t/mn
- Couple rotor : 0.0636Nm
- Couple moteur : 1.136Ncm
- Rendement moteur : 72.3%
- Rapport de transmission : 14.4 à 1

COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

- Le rendement du moteur de Minibee est excellent pour un moteur à balais (72.3%) de ce type. Le deuxième moteur testé à un rendement 5% en dessous, mais il n'est pas encore rôdé et de toute façon il y a de multiples causes de dispersion. Une telle différence de rendement se traduit par environ 35 secondes sur la durée de vol.
- Les pertes de transmission en charge (non mesurées et seulement estimées) sont peut être un peu fortes.
- Le couple rotor simulé est peut être un peu sous estimé de quelques %.
- La modélisation appliquée aux autres batteries telles qu'elles ont été utilisées lors des premiers essais de Minibee montre qu'il manque quelques centaines de mV pour décoller.
- La précision de la modélisation du moteur est excellente, mais elle ne vaut que par la précision des mesures associées.
- On peut estimer que la précision de l'ensemble des mesures effectuées qui conditionnent la validation de la modélisation Aerodes PH72 reste approximative dans une fourchette de +/-10%. Pour aller plus loin dans la validation, il faudrait donc pouvoir améliorer la précision des mesures, ce qui serait vraiment difficile.
- On peut donc estimer qu'en rapport à l'échelle et au nombre de Reynolds considérés (rotors 0,5m et des Reynolds moyens de 34000) la modélisation **Aerodes PH72** est à mieux que 10% ce qui est tout à fait satisfaisant. Dans ces conditions la modélisation peut être meilleure que 10% mais on ne peut pas l'affirmer. Pour des dimensions plus importantes (rotors 1,4m et des Reynolds moyens de 60000) la précision de la modélisation est de quelques % (validé par banc de mesure et essais en vol) et ne peut que s'améliorer au dessus.
- Pour ceux qui seraient tenté d'affirmer qu'une modélisation d'un système aussi complexe ne peut qu'être très grossière, il vaut mieux admettre que, jusqu'à preuve du contraire, l'outil **Aerodes PH72** est au contraire assez précis et indispensable pour savoir où on va et déterminer les conditions optimales de fonctionnement. Qu'on se le dise !!!
- En utilisant Aerodes PH72 avec les mêmes pales tournant à 1280t/mn (couple=0.071Nm) sur un Hornet de 280gr utilisant une motorisation à rendement de 70% et sa batterie NiMh de 7 éléments permettrait de voler 11 minutes (courant total de 3.7A) en tenant compte de 15% de perte anticouple et 20% de perte de barre de Bell. Gain supérieur à 50%.