

Henri RIVIERE
ACL- section modélisme
Stage du 25 janvier 2009

Calcul d'une motorisation électrique

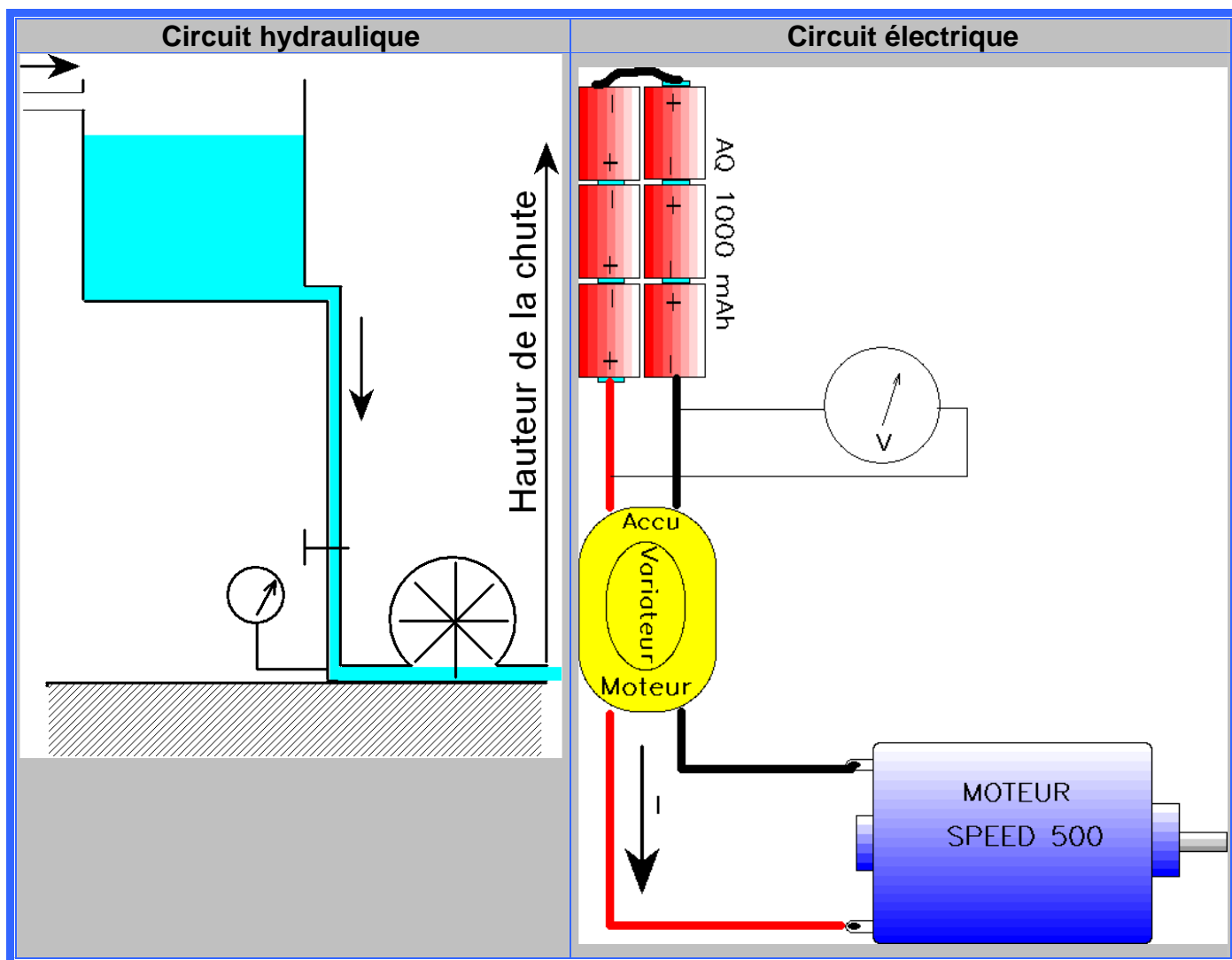
Je vais essayer de vous montrer comment on calcule une motorisation électrique destinée à nos aéromodèles.

Je commencerai donc par des notions d'électricité en appuyant mes explication sur l'analogie qui existe entre un circuit hydraulique et un circuit électrique.

Successivement nous verrons :

- Notions d'électricité (Analogie hydraulique, Notions de quantité de courant, intensité, tension)
- Masse, force
- Travail, puissance
- Rendement
- Dimensionnement des composants
- Utilisation d'un "logiciel" de calcul des moteurs CMARC de Franc Aguerre.

Analogie entre un circuit hydraulique et un circuit électrique



<p>Le réservoir se définit par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - son volume, sa capacité cad par la qté d'eau qu'il peut contenir (en l par ex) - sa position en hauteur - le diamètre du tuyau de sortie 	<p>La batterie de définit par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - sa capacité (qté de courant qu'il peut contenir) - le nombre d'éléments (ddp) - sa résistance interne
<p>Pour que l'eau puisse couler il faut</p> <ul style="list-style-type: none"> - que le réservoir contienne de l'eau - qu'il existe une différence de hauteur - que la vanne soit ouverte <p>Lorsque le réservoir est vide, l'eau ne coule plus. Il faut re remplir le réservoir</p>	<p>Pour que le courant passe il faut</p> <ul style="list-style-type: none"> - que l'accu soit chargé - qu'il existe une ddp entre les bornes - que l'inter (variateur) soit fermé (circuit fermé) <p>Lorsque l'accus est vide, le courant ne passe plus Recharger la batterie</p>
<p>Transducteur Roue à aubes : convertit l'énergie hydraulique en énergie mécanique Turbine : convertit l'énergie hydraulique en énergie électrique La roue (ou la turbine) tourne plus ou moins vite en fonction de la quantité d'eau qu'elle reçoit Cette quantité d'eau peut être ajustée par un vanne que l'on ferme plus ou moins</p>	<p>Moteur : convertit l'énergie électrique en énergie mécanique Le moteur tourne plus ou moins vite en fonction de la quantité de courant qu'il va recevoir Cette quantité de courant va être réglée par un résistance variable : le variateur, ou le contrôleur</p>
<p>Une vanne : coupe le circuit hydraulique ou régule le débit</p>	<p>Un variateur : règle le débit du courant (intensité) coupe le circuit électrique</p>

Grandeurs - unités

<p>La pression La pression de l'eau au niveau de la turbine liée à la différence d'altitude ou la hauteur de la chute (= au poids de la colonne d'eau) $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10 \text{ N} / \text{cm}^2 \sim 1 \text{ kg} / \text{cm}^2$ Le poids d'une colonne d'eau de 10m = 1 kgf En bar</p> <p>Pour augmenter la pression on augmente la hauteur de la chute Ce qui ne change pas la quantité d'eau dans le réservoir</p>	<p>La tension La tension ou ddp aux bornes du moteur Pour augmenter la tension En Volts (V)</p> <p>Multiplés et sous multiplés : mV, kV</p> <p>Pour augmenter la ddp on augmente le nombre d'éléments Ce qui ne change pas la quantité de courant disponible</p>
<p>La capacité La quantité d'eau contenue dans le réservoir Litres (l)</p> <p>Pour augmenter la capacité, (qté d'eau) il faut augmenter le volume du réservoir ou en ajouter un autre en //.</p>	<p>La capacité La quantité d'électricité contenue dans l'accu Coulombs (C) Les autres unités : Ah ou mAh</p> <p>Pour augmenter la capacité, (qté d'électricité) il faut augmenter la capacité de l'élément ou bien mettre en parallèle d'autres éléments .</p>
<p>Le débit ou vitesse d'écoulement La quantité d'eau écoulée par unité de temps ou Le débit en litres par seconde l/s</p>	<p>L'intensité La quantité d'électricité fournie par unité de temps 1 Coulomb / seconde = 1 Ampère A</p>

Notion de poids, de masse, de travail

<p>Masse : quantité de matière (en kg) Poids : force (en Newton), dépend de l'endroit où on se trouve. Relation entre masse et poids : $\mathbf{F = m \cdot g}$ g : accélération de la pesanteur = 9,81m/s²</p> <p>Travail : Une force qui déplace son point d'application dans le sens de la force produit un travail $\mathbf{W = F \times d}$ (en joules)</p> <p>Théorème : Le travail produit par une force déplaçant son point d'application sur une trajectoire quelconque ne dépend pas du chemin suivi. Il est égal au produit de l'intensité de la force par la projection de la trajectoire sur un axe de même direction que la force</p> <p>Dans le cas d'un avion ce qui est pris en compte c'est uniquement la variation d'altitude</p>	<p>10l d'eau = 10kg</p> <p>Chute de 100m</p> <p>$W = 10 \times 9.81 \times 10 = 981 \text{ joules}$</p> <p>$1\text{m} \times 1\text{N} = 1\text{J}$</p> <p>Autrement dit, dans le cas de nos modèles, ce qui nous intéresse dans le travail effectué par le moteur (pour vaincre la pesanteur, le poids de l'avion) c'est la différence d'altitude obtenue, la trajectoire n'importe pas.</p>
---	---

La puissance.

<p>Dans la notion de travail le temps n'intervient pas</p> <p>La puissance produite sera d'autant plus grande que grande que le temps pour effectuer le travail sera court.</p> <p>$P = F \times d/t$ et $d/t = v$</p> <p>$P = F \times v$ F en N v en m/s P en J/s 1 J/s = 1 Watt</p> <p>Il est aisé de comprendre que plus le réservoir sera placé haut et plus la turbine recevra de force</p> <p>De même si l'on augmente le débit de l'eau, la turbine va tourner plus vite.</p> <p>Nous constatons que deux éléments contribuent à faire font tourner la turbine : la différence de hauteur et le débit de l'eau</p>	<p>$v = \text{debit, vitesse, analogue à } I$</p> <p>$F = \text{force, analogue à la tension, ddp}$</p> <p>D'où $P = U \times I$ U en Volts I en Ampères P en Watts</p> <p>$P \text{ (Watts)} = U \text{ (V)} \times I \text{ (A)}$</p> <p>D'où l'on tire : $U = P / I$ $I = P / U$</p>
---	--

Notion de rendement

Toute l'eau qui emprunte la chute ne contribue pas à faire tourner la turbine (éclaboussures, passage à côté des pales ...)

De même dans un circuit électrique toute la puissance fournies au moteur n'est pas convertie en puissance mécanique : une partie est absorbée pour vaincre les frottements, une autre transformée en chaleur, ...

Le rendement est défini par le rapport puissance utile (ou restituée) / puissance fournie ou absorbée. On note : $\eta \% = (P_u / P_a) \times 100$. Il est toujours inférieur à 1.

Ordre de grandeurs :
- machine à vapeur : $\eta = 10\%$, moteurs à essence $\eta = 30\%$
- moteurs électriques de 50 à 90 % si on ne tient pas compte de la façon dont on a fabriqué l'électricité
- hélice : 60% dans le meilleur des cas semble-t-il.

Rendement d'une chaîne d'éléments : les rendements se multiplient;
ex : $\eta_1 = 0.50, \eta_2 = 0.30 > \eta_t = 0.15$

A partir d'ici nous avons tout ce qu'il faut pour calculer la puissance nécessaire pour faire monter un planeur ou un avion.

Puissance min nécessaire : c'est celle qui va compenser le taux de chute du modèle

Ce taux de chute est de l'ordre de 0,5m/s pour un planeur de performance, 0,7m/s pour un planeur de début, et de 2m/s pour un avion.

$$P_c = T_c \times M \times 9.81 \text{ (Watts)} \quad \text{ex : } 1.5 \times 9,81 \times 0.7 = 10.3\text{W (utiles)}$$

mais pour gagner de l'altitude, à partir de ce vol en palier avec un taux de montée T_m

$$P_m = T_m \times M \times 9.81$$

La puissance totale

$$P_t = P_c + P_m = T_c \times 9.81 \times M + T_m \times 9.81 \times M$$

$$P(W) = M \times 9.81 (T_c + T_m)$$

On a besoin de connaître sa masse, de choisir son taux de montée ou plus exactement $T_c + T_m$. Par ex on prendra 6m/s

Ex : un planeur de 1,5kg avec un taux de chute de 0.7m/s va nécessiter une puissance de

$$P_t = 1.5 \times 9.81 \times 6 = 88 \text{ watts (à l'hélice)}$$

On admet les rendements suivants : moteurs 70%, hélice 60% ce qui fait en global 42%

88 watts ne représentent donc que 42% de la puissance à fournir au moteur d'ou puissance à fournir par l'accu : $P = (88 / 42) \times 100 = 209 \text{ watts}$

Si on fait le rapport puissance / poids on a 139 W / kg

Quels accus choisir ?

Un accu est caractérisé par sa tension en Volts, (ou nombre d'éléments), sa capacité en mAh; (quantité de courant qu'il peut contenir) et son aptitude à délivrer une certaine intensité. Cette dernière est donnée en nombre de fois sa capacité.

Ex : un accus de 2200mAh marqué 20C et 30C pourra délivrer 2200 x 20 soit 44000mA ou 44A en mode permanent et 2200 x 30 soit 66 A pendant un bref instant

$$P = UI = 209\text{W}$$

I max 20A par ex

$$U = 209/20 = 10.45\text{V soit } 10\text{el Ni Cd ou Ni Mh ou } 10.45/3.7 = 2.8 \text{ Lipo soit } 3 \text{ lipo}$$

Pour les Lipo il faut déterminer

- la capacité à fournir l'intensité demandée

ex : accus de 1700mAh - 10C peut débiter au max 17A > **ne convient pas**

:un accus de 1700mAh - 15C peut débiter au max 25.5A > **convient**

- la capacité à fournir l'autonomie (temps t) souhaitée

$$t = Q \times 60 / I \text{ en mn}$$

Dans notre cas $t = 1.7 \times 60 / 20 = 5.1\text{mn}$

si on veut 10mn il faudra doubler la capacité soit 3400mAh

Pour le *variateur* prendre une marge de 20%

Faire § sur le *dimensionnement des fils* (densité de courant), des composants et sur la *qualité des contacts*.

Si l'on veut passer un débit important, il faut utiliser des tuyaux de grosse section. Idem pour le courant électrique.

Pour *le moteur*, c'est plus compliqué. Mais nous avons quand même quelques données :

- I permanent : 20A
- nbre d'éléments Lipo 3
- puissance absorbée 209 watts

Reste à se fixer le Kv (nbre de tours par volt) oui mais comment choisir ? et chercher la bonne hélice qui va absorber la puissance fournie par le moteur (formule de Boucher).

Un moteur est à son meilleur rendement quand sa vitesse de rotation est à 80 % de sa vitesse à vide. Si c'est 8000 t/mn, il faudra chercher une hélice qui va donner 6400t et 20 A dans notre cas.

Heureusement il y a CMARC....

Démonstration du logiciel CMARC que l'on peut télécharger ici :

http://pagesperso-orange.fr/spotar/engins_volants/pages_ev/CMARC.html

Remarque :

L'utilisation de ce logiciel ne dispense pas d'utiliser une pince ampèremétrique ainsi qu'un compte tours pour vérifier que l'on est proche des résultats attendus vis à vis du courant qui traverse le moteur ainsi que de la vitesse de rotation de l'hélice. Il ne restera plus qu'à "valider" la motorisation en vol.

Bibliographie :

Article en rapport avec ce logiciel CMARC dans le n° 673 p 82 (octobre 2007) de Modèle Magazine.

HS n°12 (le dernier) de FLY, un Spécial électrique que vous pouvez acheter en ligne (au même prix qu'en kiosque port compris) ici : <http://www.rcmodelisme.net/flyinter/horsserie12.html>