

Débit d'eau et production d'électricité

- Le professeur responsable :
 - **M. Labolle Pierre-André**, professeur de sciences physiques au lycée International des Pontonniers.
- Les élèves :
 - **Bézar Philippe TS4**
 - **Chantrel Stefan TS4**
 - **Wiggermann Julien 1ère S3**
- Le partenaire :
 - **ENVIE 2e Environnement et Emploi :**
ENVIE est le numéro 1 en France du recyclage d'électroménager. C'est une fédération d'entreprises sociales dont l'activité première, exercée depuis 1984, est la réparation et la vente d'appareils électroménagers d'occasion garantis.



<http://www.envie.org/>

- Le site des **Olympiades de Physique** :



<http://olympiades-physique.in2p3.fr>

Sommaire

Résumé	3
Nos motivations	4
Réalisation de la maquette	5
Le module turbine-alternateur	5
1) Premier prototype	5
2) Deuxième prototype	5
3) Troisième prototype	6
4) Quatrième prototype	7
Le module électrique	8
1) L'alternateur	8
2) Le multiplicateur	9
Appareils de mesures	11
1) Le débitmètre	11
2) Le tachymètre	11
3) L'oscilloscope	11
4) Le voltmètre	11
Calcul de l'énergie dans le système	12
I Calcul de l'énergie au niveau de la chute d'eau	12
II Calcul au niveau de la turbine	14
Calcul du rendement de la turbine	17
Exploitation des résultats	19

Résumé

L'idée nous est venue de réfléchir sur la production d'énergie. Il nous a semblé intéressant de vérifier que l'énergie hydraulique pouvait être à l'origine d'une production d'électricité.

Pour ce faire nous avons sollicité la structure associative Envie spécialisée dans la réparation et le démantèlement de l'électroménager hors d'usage.

A l'aide principalement d'éléments provenant d'équipements ménagers hors d'usage (magnétoscopes, machines à laver) nous avons réalisé un pilote permettant de mettre en relation le débit d'eau et la production d'électricité.

A notre échelle, nos travaux mettent en évidence d'une part, qu'il est possible de réaliser un pilote avec des objets récupérés, d'autre part que très globalement la production d'énergie électrique est proportionnelle au débit d'eau.

Nos motivations

Nous allons présenter dans cette partie notre groupe, nos motivations vis-à-vis de notre présentation au concours des Olympiades de Physique et vis-à-vis du choix de notre sujet. Nous sommes trois élèves du Lycée International des Pontonniers à Strasbourg qui avons appartenu à la même classe de première, c'est au cours de cette année que nous avons décidé de nous présenter à ce concours. Nous nous appelons:

- Philippe BEZARD TS4
- Stefan CHANTREL TS4
- Julien WIGGERMANN 1S3

Comme vous avez pu le constater, l'un des membres de notre groupe a redoublé sa première, ce qui ne réduit en rien son talent en matière de physique à dominante pratique et mieux encore en informatique : qualités dont nous n'aurions pu nous passer.

Les deux autres membres du groupe ont choisi en toute logique la spécialité physique chimie en terminale bien que leurs capacités diffèrent en terme de physique : l'un est davantage porté l'aspect pratique, l'autre davantage sur la théorie. Cette hétérogénéité du groupe nous permet, dans un délai très bref, de rassembler un large éventail de connaissances.

Si nous avons choisi de nous présenter aux Olympiades de Physique malgré l'énorme charge de travail qu'apporte le passage en première et surtout en terminale, étant donné que tous les membres du groupe appartiennent à la filière ABIBAC, c'est parce que nous sommes tous trois intéressés par une carrière en physique et que ce concours est une opportunité de s'ouvrir à ce monde.

Voyons à présent pourquoi nous avons choisi ce sujet, à savoir : « débit d'eau et production d'électricité ». Aujourd'hui, la course à l'énergie la plus rentable, et, malheureusement, "éventuellement" la plus propre, est lancée et déjà assez avancée. Partant d'une idée de TPE de première basée sur une étude comparative entre l'énergie thermonucléaire (théorique puisque cette énergie n'a pas encore été maîtrisée) et l'énergie produite dans une centrale hydroélectrique, nous avons vite compris que ce sujet ne conviendrait pas en tant que sujet pour les Olympiades et l'avons comprimé en une étude du principe d'une centrale hydroélectrique à partir d'un pilote. Davantage technique, ce sujet nous permettait de mettre au point une maquette fonctionnelle ainsi que de nous soumettre à des calculs, bien qu'astreignants, moins barbares que ceux du premier sujet. Nous avons d'ailleurs approfondi ce sujet cette année dans le cadre des TPE de terminale.

Maintenant que la présentation du groupe est terminée, voyons les résultats de nos travaux.

Réalisation de la maquette

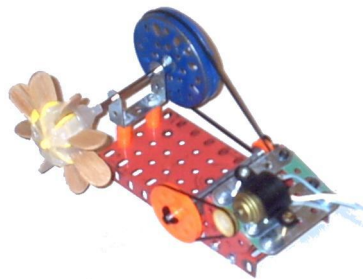
Le module turbine-alternateur

1) Premier prototype

- Châssis en *Mécano*©
- Turbine réalisée à partir d'une roue en plastique provenant d'un jouet dont les pales ont été allongées à l'aide de bâtons de glaces.
- Générateur : choisi pour sa faible résistance mécanique parmi un lot de moteurs de jouets et de matériel Hi-Fi récupéré chez le partenaire.
- Transmission du mouvement de rotation de la turbine à l'axe du générateur par poulies. Le système comportait 4 poulies afin de démultiplier la vitesse de rotation de l'axe du générateur. Les courroies employées étaient des élastiques, ce qui ne maintenait pas toujours une bonne tension du fait qu'elles s'allongeaient.

- Inconvénients de ce montage :

- Beaucoup de frottements au niveau des axes, donc une forte perte d'énergie.
- Le système était peu étanche; en effet le générateur n'était pas protégé de l'eau d'où des faux contacts électriques, donc une perte de l'intensité du signal électrique mesuré. Les courroies (des élastiques) n'étaient, elles non plus, pas protégées de l'eau, ce qui entraînait un glissement des courroies sur les poulies.



2) Deuxième prototype

- Le châssis est constitué d'une plaque d'aluminium verticale permettant d'aligner les axes pour qu'ils soient parallèles entre eux (ce qui réduit les frottements).
- Reprise de la turbine de l'ancien montage.
- Générateur différent du premier prototype car moins résistant mécaniquement provenant à nouveau de matériel Hi-Fi (défaut : on ne connaît aucune caractéristique si ce n'est la tension d'utilisation de 12 volts en continu en tant que moteur).
- Transmission par poulies réduite à une seule démultiplication à fort coefficient. Les axes sont en acier et sur palier en bronze (ou en laiton pour le générateur). Pour l'axe de la turbine nous avons récupéré l'axe d'un moteur de magnétoscope. Celui-ci était maintenu par un palier en bronze que nous avons démonté et adapté au châssis en aluminium. Le fait d'utiliser ce type de matériel diminue les frottements car ces pièces sont usinées à l'échelle industrielle. De ce fait le jeu entre l'axe et le palier est très petit, et comblé par un filet d'huile qui lubrifie l'axe.

- Les poulies sont entraînées par une courroie de magnétoscope peu élastique.
- Etanchéification du générateur par une boîte de pellicule photo.
- L'étanchéification de la courroie est assurée par le châssis qui est monté verticalement. Ce moyen n'est pas très efficace, et la courroie finit par glisser sur les poulies.

-Avantages :

- Moins de frottements au niveau des axes.
- Meilleure étanchéité.

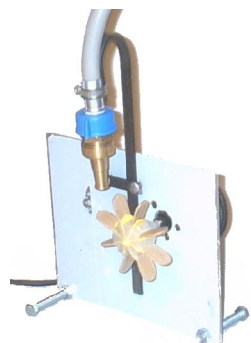
-Inconvénients :

- Le générateur n'est pas un alternateur donc le phénomène modélisé n'est pas conforme à la réalité.
- L'étanchéité n'est pas parfaite donc certains facteurs de l'expérience ne sont pas constants et on ne sait plus ce que l'on mesure.



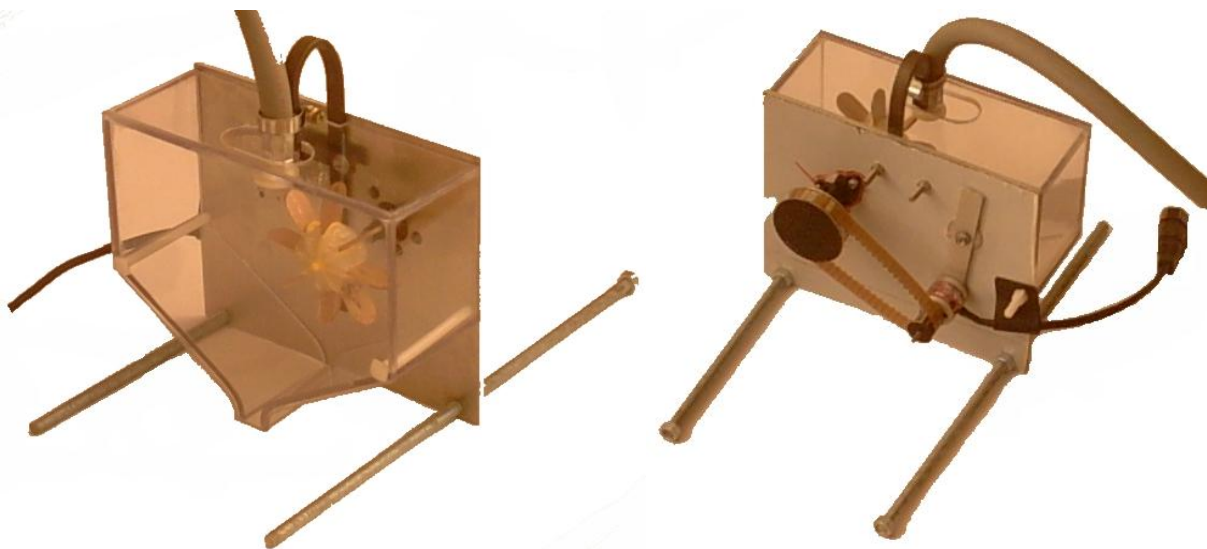
3) Troisième prototype

- Châssis toujours en aluminium et fixé verticalement.
- Les axes et courroies sont conservés.
- Le générateur est un alternateur triphasé acheté neuf avec les crédits qui nous ont été alloués; le fait d'employer un alternateur triphasé nous permet de mieux modéliser le phénomène réel dans les centrales hydroélectriques. Il est placé sur un support de manière à pouvoir tendre la courroie.
- Générateur et poulies au sec.
- La turbine est la même que celle utilisée avec le premier prototype. Ce qui change, c'est la façon dont l'eau arrive sur la turbine. En effet elle n'est plus lâchée 1,50 m au-dessus mais elle est guidée par un tuyau de machine à laver (fournit par notre partenaire) terminé par une buse. Celle-ci peut être réglée de manière à être au plus proche possible de la turbine à l'aide d'une tige en acier.



4) Quatrième prototype

- Conservation du châssis en aluminium.
- Conservation du palier en bronze, changement du type de poulies ; les poulies sont dorénavant crantées ce qui élimine les glissements de la courroie.
- Fabrication d'un capot en plexiglas pour isoler l'environnement des éclaboussures générées par la turbine, ce qui nous a posé problème lors des présélections inter-académique à Archamps.
- Retrait de la buse, car inefficace pour un débit supérieur à une dizaine de litres par minutes (le jet d'eau se dispersait).
- Mise en place d'une vanne à hauteur du débitmètre afin de faciliter le réglage du débit lorsque la conduite d'eau sur laquelle nous nous branchons est éloignée du pilote.



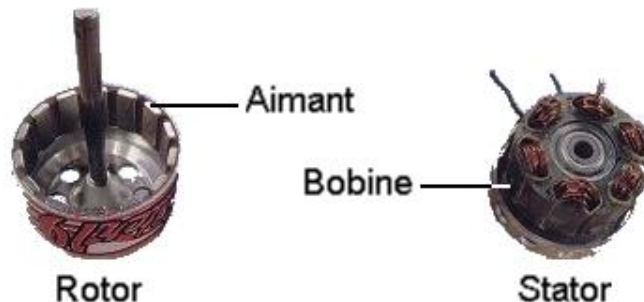
Le module électrique

1) L'alternateur

Michael Faraday inventa en 1821, ce qu'on appelle un alternateur. Son rôle est de transformer une énergie mécanique en énergie électrique.



Il se compose de deux parties : le rotor et le stator, le stator est fixe et se compose de six bobines dont les spires sont en cuivre tandis que le rotor est mobile et est constitué dans notre cas de 14 aimants ferromagnétiques. La rotation du rotor autour du stator formera une perturbation dans le champ magnétique de ce premier.



Quand le rotor est en mouvement, le passage alterné des pôles nord et sud des aimants devant les bobines entraîne une variation du champ magnétique qui induit dans les bobines un courant électrique. Les alternateurs fournissent du courant alternatif, c'est-à-dire un flux d'électrons n'étant pas continu mais changeant périodiquement de sens.

Dans notre alternateur, le rotor tourne alors autour du stator ce qui modifie constamment le champ magnétique, et donc la tension varie périodiquement de sa valeur maximale à sa valeur minimale, créant ainsi un courant alternatif.

Tâchons à présent de trouver une relation entre la vitesse de rotation de l'alternateur et la période d'une bobine :

Nous avons 6 bobines (2 bobines opposées sont reliées entre elles) et 14 aimants ferromagnétiques qui constituent le rotor. Une période pour une phase de l'alternateur est la durée entre le passage de deux aimants de même nature (pôle nord par exemple) devant la bobine. Comme les bobines sont diamétralement opposées, elles font face en même temps à un aimant de même nature (pôle nord par exemple).

Par conséquent, une période pour chaque phase est égale à $\frac{1}{7}$ de la durée nécessaire au rotor pour faire un tour.

2) Le multiplicateur

Notre multiplicateur multiplie 2 tensions U_1 et U_2 (tensions aux entrées du circuit) et les divise par 10 : $U_s = \frac{U_1 \cdot U_2}{10}$, où U_s est la tension de sortie du multiplicateur.

Nous avons choisi de connecter chaque phase à une résistance R en utilisant un montage en étoile.

Dans notre montage, nous prenons la tension U issue d'une des trois phases de l'alternateur que nous appliquons sur chaque entrée du multiplicateur, d'où : $U_s = \frac{U \cdot U}{10} = \frac{U^2}{10}$

Or la puissance instantanée calculée pour une des trois phases s'exprime de la façon suivante :

$$P_{inst,1ph} = \frac{V^2}{R} \text{ où } V \text{ est la tension simple qui peut s'exprimer sous la forme } V = V_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

L'expression de la puissance devient donc $P_{inst,1ph} = \frac{V_{max}^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t)}{R}$. La courbe donnée par l'oscilloscope branché sur la sortie du multiplicateur donne une visualisation directe de cette puissance instantanée sur une branche de l'étoile.

La valeur moyenne de cette puissance est donnée par $P_{moy,1ph} = \frac{V^2}{2} \cdot \frac{1}{R} = \frac{V_{eff}^2}{R}$. Elle est directement accessible à la mesure en branchant un voltmètre sur la position « tension continue ».

Nota bene : dans le cas général, la puissance instantanée pour une phase est donnée par la relation $P_{inst,1ph} = V \cdot I \cdot \cos \varphi$ et la puissance moyenne est donnée par la relation

$P_{moy,1ph} = V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos \varphi$. Si nous branchons trois résistances en étoile, alors le facteur $\cos \varphi$ est égal à 1, ce qui nous donne $P = V_{eff} \cdot I_{eff}$. Selon la loi d'Ohm $U = R \cdot I$ et $V_{eff} = R \cdot I_{eff}$, ce

qui nous donne $P_{moy,1ph} = \frac{V_{eff}^2}{R}$.

Remarquons que si nous utilisons des résistances de précision de 10 ohms, on a $P_{moy,1ph} = \frac{V_{eff}^2}{10}$, ce qui est numériquement égal à la valeur de la tension U_s mesurée à l'aide d'un voltmètre sur la position « tension continue ».

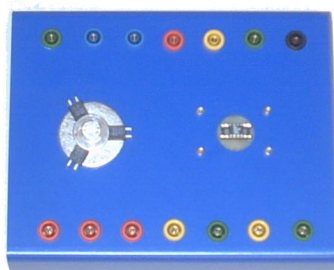


Photo de notre platine électrique.

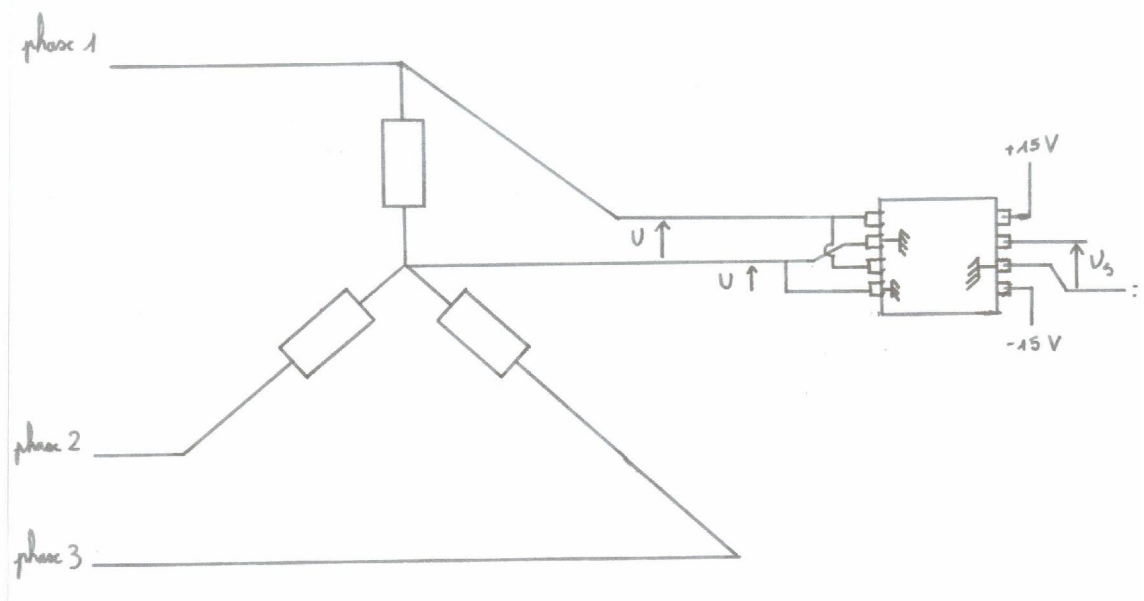


Schéma du circuit électrique.

Appareils de mesures



1) Le débitmètre

Le débitmètre mesure un nombre de litres par minute allant de 2 à 22 L/min. Il doit être maintenu verticalement lors de l'expérience.



2) Le tachymètre

Le tachymètre grâce à un système lumineux et une pastille appliquée sur la roue permet de compter le nombre de tours par minute effectués par la turbine.



3) L'oscilloscope

L'oscilloscope permet de visualiser un signal électrique en fonction du temps. Dans notre cas, grâce au multiplieur, il sert à mesurer la puissance instantanée.



4) Le voltmètre

Le voltmètre mesure une différence de potentiel (ou tension) entre 2 points d'un circuit. Il se place en dérivation sur le circuit aux 2 points considérés.

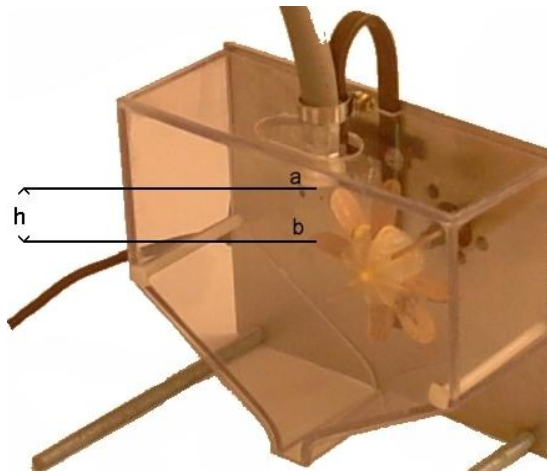
Calcul de l'énergie dans le système

I Calcul de l'énergie au niveau de la chute d'eau

Notre « chute » d'eau mesure 4 cm et sur cette distance, tout en augmentant au fur et à mesure le débit d'eau, on a pu remarquer que le jet restait bien cylindrique et sans bulles (nous supposons qu'il n'y a pas de perturbation dans le jet).



L'énergie au niveau de la chute d'eau est une énergie cinétique qui devient maximale pour le point juste avant la pale de la turbine, d'altitude minimale. Nommons ce point, le point B et nommons également A le point de sortie d'eau donc d'altitude maximale : nous cherchons à établir une relation entre v_A et le débit Q .



Il est assez aisé de démontrer que $Q = S \times v_m$ avec S la surface de la section du tuyau et v_m la vitesse moyenne de l'eau dans le tuyau. Posons $Q = \frac{V}{T}$ avec V le volume d'eau écoulée pendant la durée T , notons V_0 le volume d'eau à la date t , T la durée totale de l'expérience et T_0 la durée que met l'eau pour parcourir la distance $AB=h$. On a :

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \frac{S \times h}{T_0}$$

Par conséquent, on a :

$$V = S \cdot h \cdot \frac{T}{T_0}$$

Donc :

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{S \cdot h}{T_0} = S \cdot v_m$$

Considérons les points A et B et utilisons le théorème de l'énergie cinétique :

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = mgh.$$

Définissons plusieurs variables : T est la durée totale de l'expérience, T_0 la durée que met le jet pour parcourir la hauteur h , distance entre la sortie de la buse (point A) et la pale de la

turbine (point B).

Tâchons de se donner une idée de l'ordre de grandeur du terme mgh : dans notre système, on a h de l'ordre du centimètre ; or ces grandeurs sont au carré dans la formule, on peut considérer que T_0 est négligeable par rapport à T , donc on a mgh de l'ordre de 10^{-7} ce qui est vraiment négligeable.

Nous allons donc négliger mgh , c'est-à-dire qu'on a : $\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = 0$, par conséquent, on peut dire que $v_A = v_B$.

Dans notre cas, si on utilise la formule $Q = S \cdot v_m$, on a : $v_m = v_A$, donc : $v_B = \frac{Q}{S}$ et

$\frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{Q}{S}\right)^2$ où Q est le débit, S la section du tuyau et V_m la vitesse moyenne dans le tuyau. Or, on connaît la formule de la masse en fonction de la masse volumique : $m = \mu \cdot V$

donc $E_B = \frac{1}{2}\mu V\left(\frac{Q}{S}\right)^2$ et si nous voulons nous affranchir de V , nous pouvons le remplacer

par : $V = S \cdot h \cdot \frac{T}{T_0}$.

Si on se place dans les unités légales, on peut dire que h et T_0 ont à peu près la même valeur,

ce qui nous donne : $E_B = \frac{1}{2}ST\mu\left(\frac{Q}{S}\right)^2$, ce qui simplifié nous donne : $E_B = \frac{1}{2}T\mu\frac{Q^2}{S}$.

Nous avons donc trouvé dans ce cas simple l'expression de l'énergie cinétique de translation dans le système en fonction du débit que l'on peut mesurer.

II Calcul au niveau de la turbine

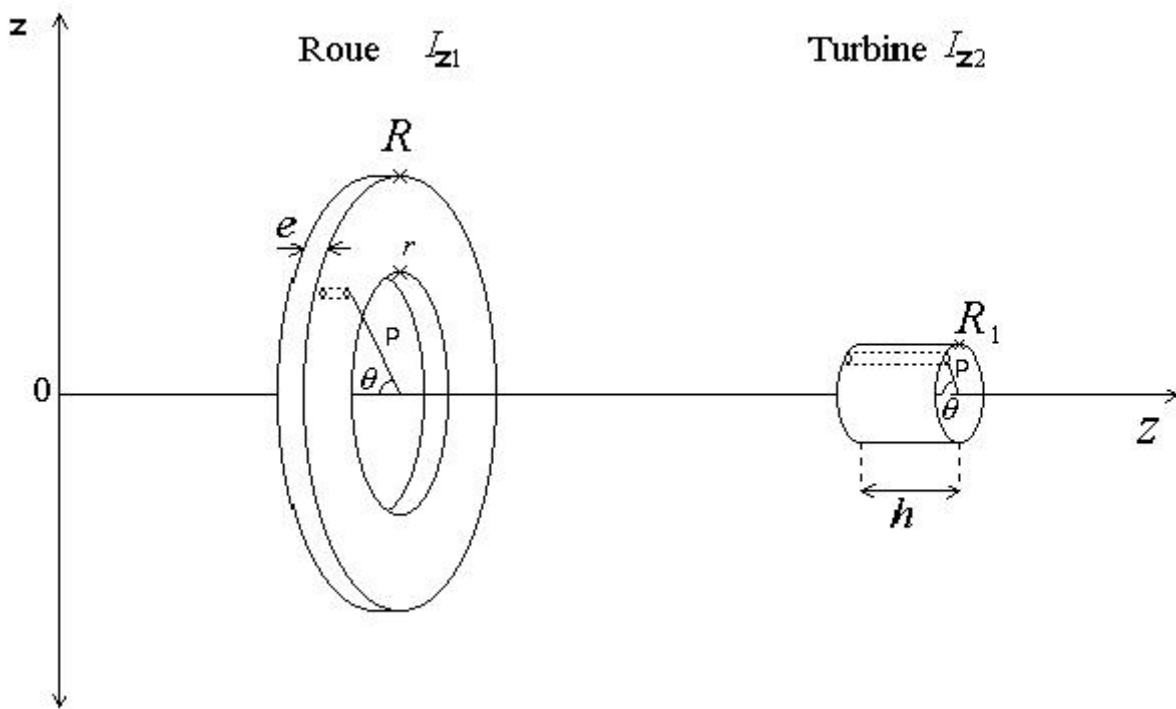
Pour évaluer une énergie cinétique de rotation au niveau de la turbine ou au niveau de la roue qui transmet son mouvement à l'alternateur, on peut calculer le moment d'inertie de chacun de ces objets.

L'expression mathématique de cette énergie cinétique est : $E_c = \frac{1}{2} I \omega^2$

Avec I le moment d'inertie de l'objet considéré et ω la vitesse angulaire de cet objet.

Si nous cherchons à déterminer le moment d'inertie de la roue par rapport à son axe, nous pouvons considérer que celle-ci est un ensemble de cylindres creux dont nous pouvons connaître le moment d'inertie par rapport à l'axe (Oz).

Le moment d'inertie d'un cylindre creux dont R est le plus grand rayon et r le plus petit est donné par : $I_z = \frac{1}{2} m (R^2 - r^2)$.



Notre turbine a une forme trop complexe pour que l'on puisse en trouver formellement le moment d'inertie, tâchons de le trouver à partir du moment d'inertie de la roue que nous connaissons :

$$E_{cr_{turbine}} = \frac{1}{2} I_{z_1} \omega_1^2$$

$$E_{cr_{roue}} = \frac{1}{2} I_z \omega^2$$

$$E_{cr_{roue}} = E_{cr_{turbine}}$$

$$\frac{1}{2} I_z \omega^2 = \frac{1}{2} I_{z_1} \omega_1^2$$

$$\frac{I_{z_1}}{I_z} = \frac{\omega^2}{\omega_1^2}$$

$$I_{z_1} = I_z \times \frac{R^2}{R_1^2}$$

Nous connaissons donc le moment d'inertie de la turbine, nous pouvons donc calculer l'énergie cinétique de rotation en chaque point de cette partie du montage.

Tâchons à présent de calculer le moment d'inertie de notre turbine.

Il serait en fait de $I_{z_1} = \frac{1}{2} m (R^2 - r^2) \times \frac{R^2}{R_1^2}$. Or dans notre dernier pilote nous avons remplacé

la roue « creuse » par une roue crantée pleine, ce qui nous enlève r.

La masse m de cette roue est de 0.069 kg (à 10^{-3} près)

Le rayon R de cette roue est de 0.0214 m (à 10^{-4} près)

Le rayon R_1 de la turbine est de 0.0425 m (à 10^{-3} près)

Nous avons donc :

$$I_{z_1} = \frac{1}{2} \times 0.069 (0.0214^2 - 0^2) \times \frac{0.0214^2}{0.0425^2} = 1.5799 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2 \text{ à } 10^{-3} \text{ près soit } 1.580 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

III Calcul au niveau de l'alternateur

Nous utilisons un alternateur de triphasé, nous allons rassembler dans ces pages les formules décrivant le fonctionnement de cet appareil.

Un système polyphasé possède P phases de même module décalées dans le temps de $\frac{2\pi}{P}$.

Pour un système triphasé, les tensions simples s'écrivent :

$$\begin{aligned}V_1 &= V_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) \\V_2 &= V_{max} \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{2\pi}{3}\right) \\V_3 &= V_{max} \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{4\pi}{3}\right)\end{aligned}$$

On peut calculer la puissance pour chacune des phases puis pour l'ensemble des phases. Commençons par calculer la puissance instantanée sur chacune des phases :

$$\begin{aligned}P_1 &= V_{max} \cos(\omega t + 0) \times I \\P_2 &= V_{max} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \times I \\P_3 &= V_{max} \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \times I\end{aligned}$$

Nous utiliserons la formule trigonométrique suivante $\cos^2(x) = \frac{1}{2}[1 + \cos(2x)]$.

Notre wattmètre mesure la puissance instantanée que nous pouvons calculer avec les formules ci-dessus. L'énergie électrique est déterminée à partir de la puissance moyenne : $E = P_{moy} \cdot \Delta t$.

$$\begin{aligned}P_{moy,tot} &= \langle P_1 + P_2 + P_3 \rangle \\&= \frac{1}{T} \int_0^T (P_1 + P_2 + P_3) dt \\&= \langle P_1 \rangle + \langle P_2 \rangle + \langle P_3 \rangle\end{aligned}$$

La moyenne d'une fonction cosinus étant 0, la moyenne de $\cos^2(x) = \frac{1}{2}[1 + \cos(2x)]$ est

donc de $\frac{1}{2}$, ce qui nous donne : $P_{moy,tot} = \frac{V_{max}^2}{R} \cdot \frac{3}{2} = 3 \times \frac{V_{eff}^2}{R}$.

Nous pouvons donc calculer l'énergie électrique à partir de cette formule.

Pour revenir à notre maquette, rappelons que $P_{moy,1ph} = \frac{V_{eff}^2}{R}$. Nous pouvons donc en conclure

que $P_{moy,tot} = 3 \times P_{moy,1ph} = 3 \times \frac{V_{eff}^2}{R}$.

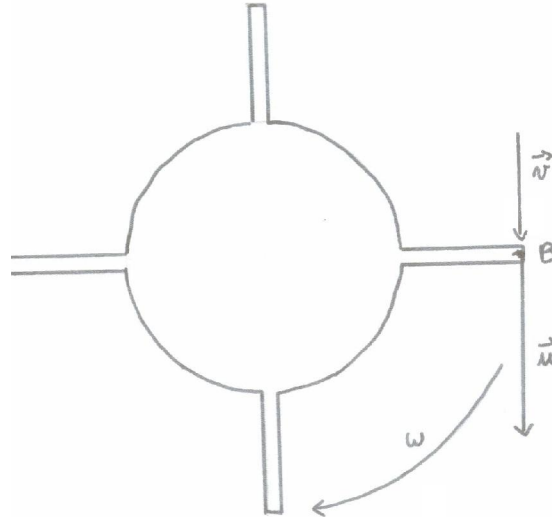
A la sortie du multiplieur, le voltmètre en position « tension continue » mesure une tension dont la valeur numérique est la même que la puissance moyenne sur une phase. Il faudra donc multiplier le résultat par trois pour obtenir la puissance moyenne totale.

Calcul du rendement de la turbine

Nous allons à présent tâcher de trouver le rendement au niveau de la turbine.

Commençons par exprimer la quantité de mouvement de l'eau par rapport à la pôle.

Soit Q_m le débit massique de notre jet d'eau (masse d'eau par unité de temps), la quantité de mouvement par rapport à la pôle s'exprime de la façon suivante : $P = Q_m \cdot (v - u)$ avec v la vitesse linéaire du jet avant la turbine et u la vitesse linéaire de la pôle en rotation, P étant la quantité de mouvement.

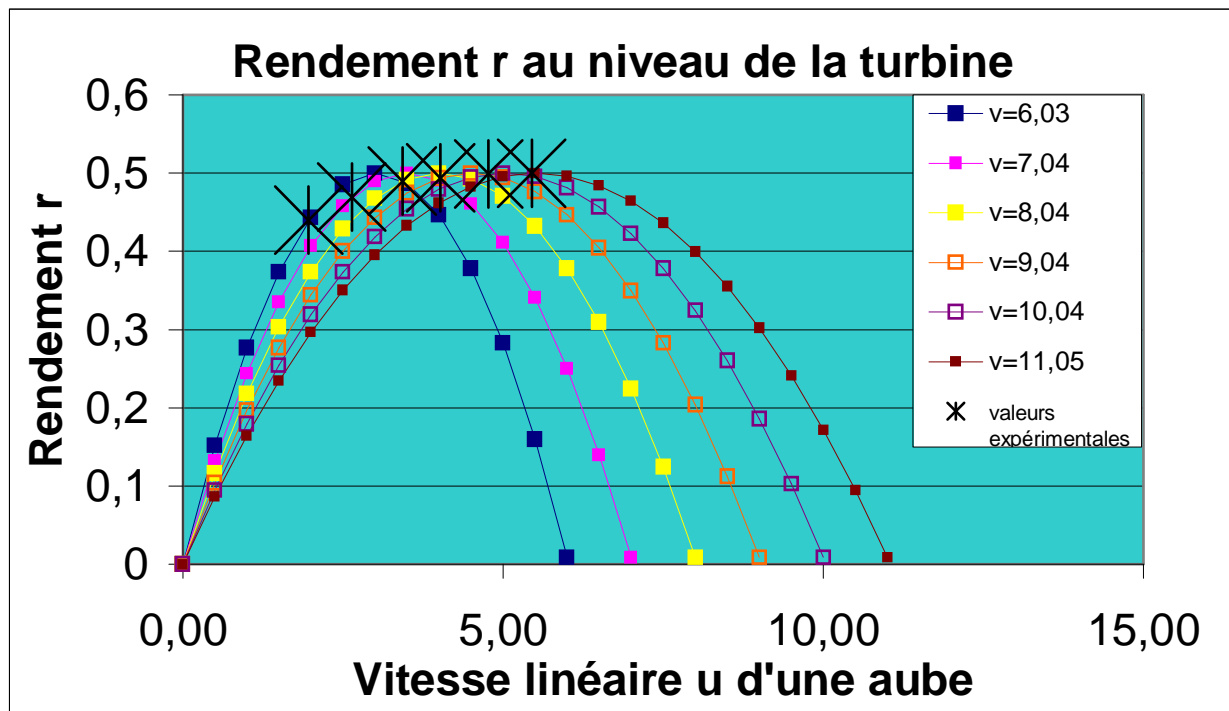


Le travail de l'eau sur la pale pendant un temps t s'exprime alors de la façon suivante :

$W = Q_m \cdot (v - u) \cdot u \cdot t$, nous pouvons également exprimer ainsi l'énergie cinétique de translation au niveau de la pôle en contact avec le jet d'eau : $E_c = \frac{1}{2} Q_m \cdot v^2 \cdot t$.

Le rendement peut alors s'écrire : $r = \frac{W}{E_c} = \frac{2 \cdot (v - u) \cdot u}{v^2}$.

Or, cette expression possède un maximum $r_{max} = \frac{1}{2}$ pour $u = \frac{v}{2}$. Nous pouvons donc en conclure que le rendement au niveau de notre turbine ne pourra jamais être supérieur à 0,5.



Ce graphique représente des courbes théoriques du rendement au niveau de la turbine en fonction de u et de v , avec u la vitesse linéaire de turbine en $m.s^{-1}$ et v la vitesse de l'eau en $m.s^{-1}$. Soit $u = R \cdot \omega$ avec R le rayon de la turbine et ω vitesse angulaire de la turbine

et $v = \frac{Q_v}{S}$ avec Q débit en L/min et S la section du tuyau de la sortie d'eau en m^2

Ici on prend un v fixe, que l'on change pour chaque courbe, c'est-à-dire que l'on maintient le débit tout en faisant varier la vitesse de rotation de la turbine, pour mesurer l'efficacité du transfert d'énergie entre l'eau et la turbine. Ainsi on obtient ces courbes en utilisant la formule du rendement suivante :

$$r = \frac{2 \cdot (u - v) \cdot u}{v^2}$$

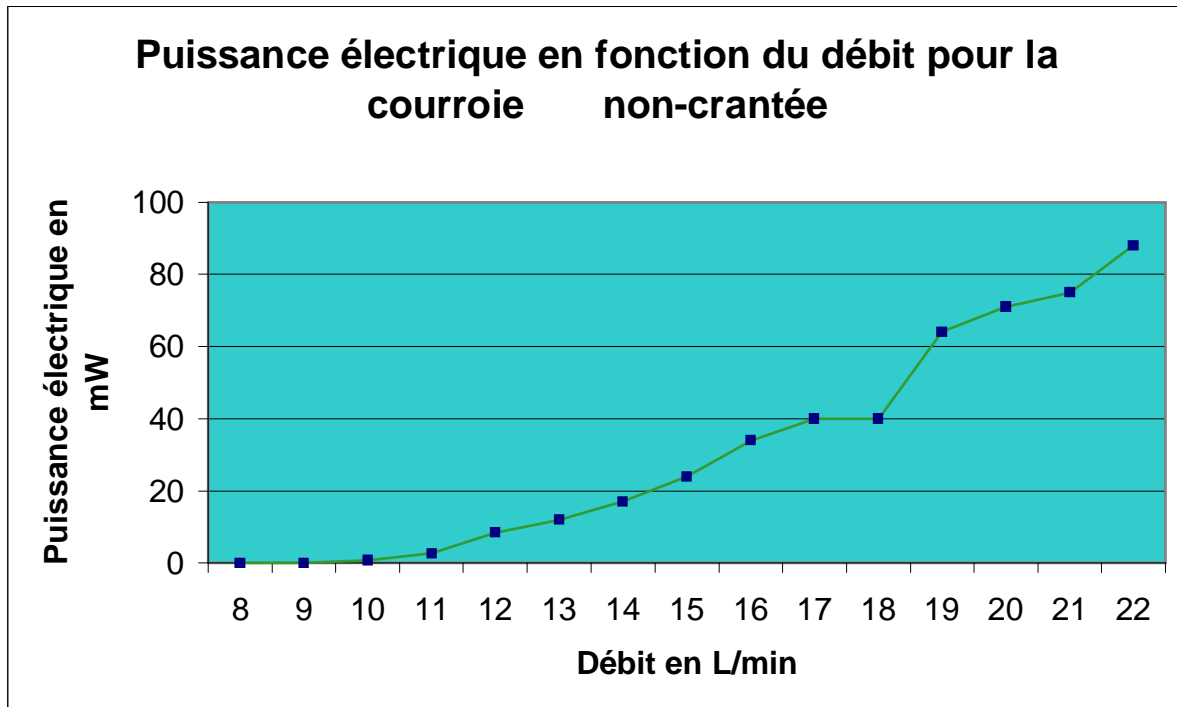
Toutes ces courbes ont un maximum, qui est atteint pour $u = \frac{v}{2}$

Nous avons aussi une valeur expérimentale pour chaque courbe (symbolisé par des croix sur le dessin), pour étudier le rendement effectif de notre turbine. D'après l'étude des placements de ces valeurs par rapport à leurs courbes et du maximum atteint pour $u \approx \frac{v}{2}$, nous montre que notre turbine est très performante.

En pratique maintenir v en faisant varier u se traduit par ralentir la rotation de la turbine.

Expérimentalement, nous avons essayé de faire varier l'entre axe, mais il en résultait, d'une déformation de l'axe du générateur déformé, qui mettait stator et rotor en contact. Nous avons aussi eu l'idée d'augmenter le moment d'inertie de la turbine en y ajoutant des poids, mais a nouveau, il n'était pas possible de le faire sur notre maquette qui ne l'aurait pas supportée.

Exploitation des résultats



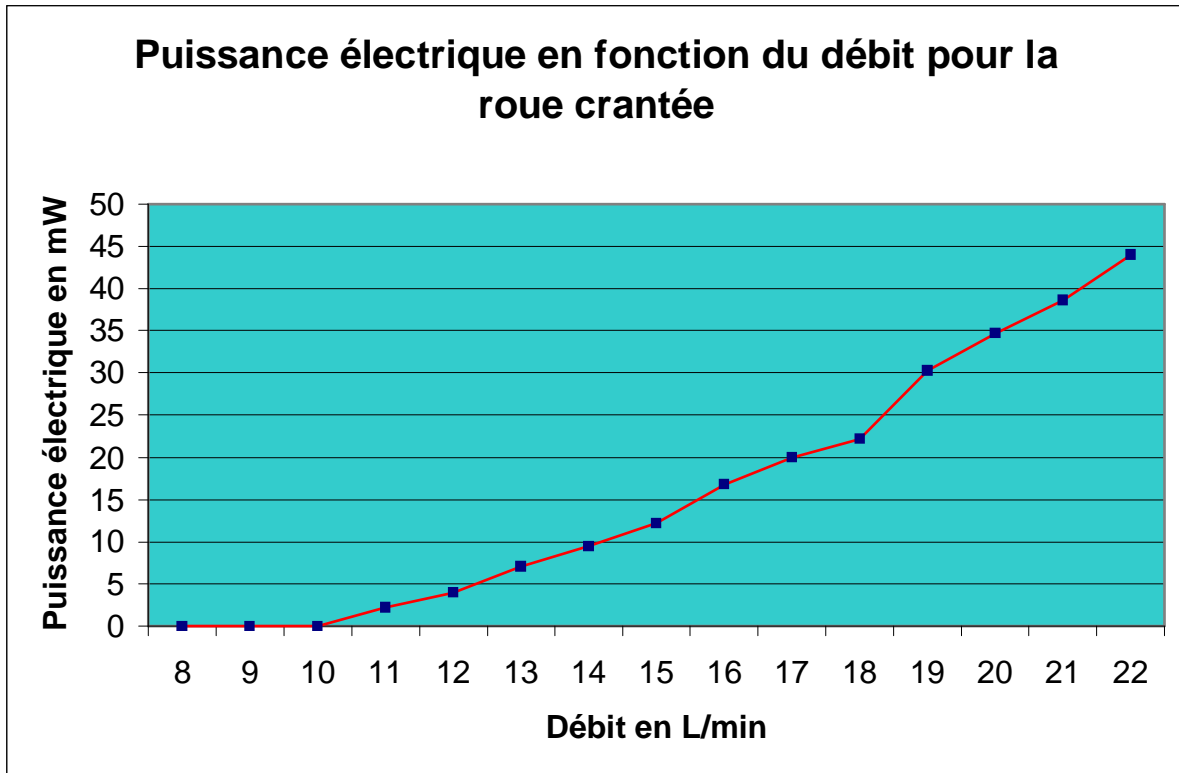
Remarque :

La puissance indiquée est de 0 pour un débit inférieur à 10 litres par minute, car pour un tel débit, la pression de l'eau est trop faible et la turbine ne tourne pas, ou la production électrique est trop faible pour être multiplié par notre puce.

Conclusions :

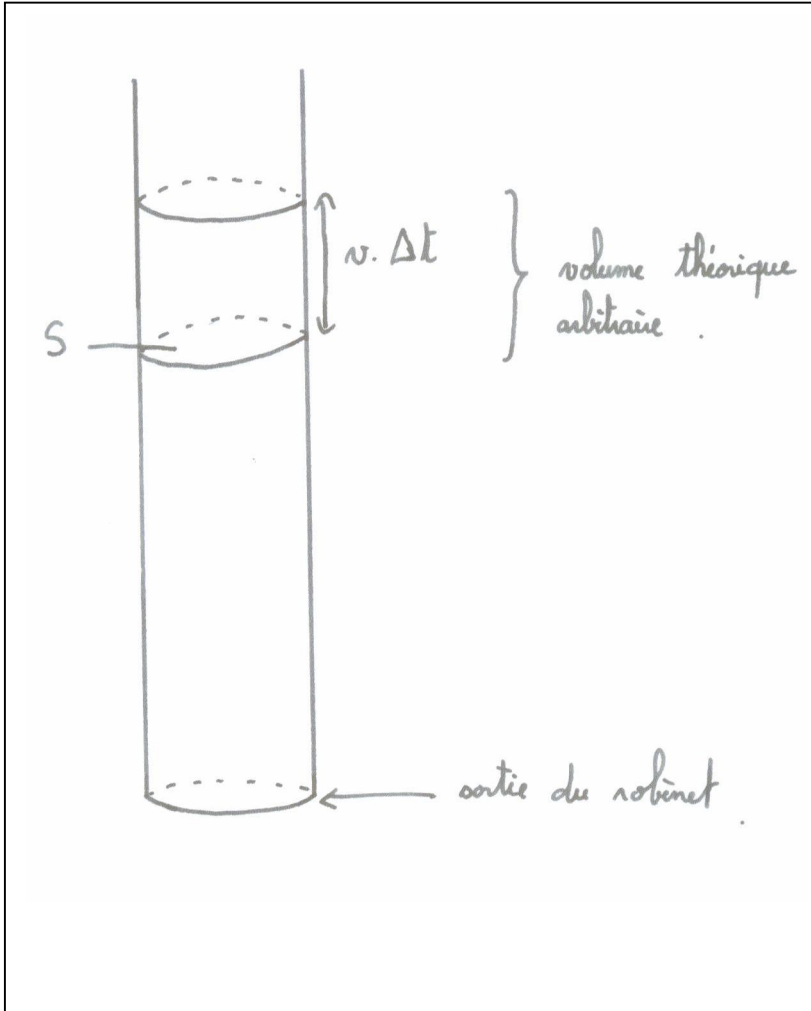
L'ors des précédentes expériences, notamment celle que nous avons présentée à Archamps la pression du réseau d'eau potable était trop faible pour avoir un grand nombre de mesures. En effet nous ne pouvions au départ dépasser les 9 L.min⁻¹. Nous avons donc cherché un site où la pression du réseau était plus importante et nous avons fini par en trouver un. Ce nouveau site nous a permis d'atteindre les 22 L.min⁻¹, maximum de notre débitmètre. Nous avons alors procédé à une première série de mesure avec une courroie non-crantée et le capot en plexiglas. Malheureusement une sorte de brume se dégageait de l'appareil et finissait par mouiller la courroie qui au bout d'un certain temps avait tendance à glisser. Il nous a fallu la sécher régulièrement et l'ont peu distingué sur la courbe de production d'électricité en fonction du débit des « paliers ». Ces paliers sont dus au fait que la courroie sèche transmettait toute un nombre de tours équivalent au rapport de la grande poulie sur la petite d'une roue à l'autre. Au fur et à mesure qu'elle s'humidifiait ce rapport diminuait et la résistance mécanique de la turbine était de plus en plus faible. C'est pour cela que la vitesse de rotation du générateur diminuait en augmentant le débit.

Afin de contrer ce problème et pour avoir une courbe de la production d'électricité en fonction du débit moins saccadée nous avons décidé de remplacer, courroie et les poulies par une courroie et des roues crantées.



L'allure de cette courbe semble être relativement linéaire. Peut-être sommes-nous sur la tangente à l'origine de la véritable courbe de production électrique en fonction d'un débit. La dixième de valeur que nous avons ne nous permet pas de conclure très expressément.

ANNEXE



Considérons le système formé par les points a et b et utilisons le théorème de l'énergie cinétique dans ce système, on a :

$$\frac{1}{2}mv_b^2 - \frac{1}{2}mv_a^2 = mgh$$

Ceci transformé, on a :

$$\frac{1}{2}mv_b^2 - \frac{1}{2}mv_a^2 = \mu V_0 \frac{T}{T_0} gh$$

avec μ la masse volumique de l'eau, V_0 le volume d'eau que notre œil voit à chaque instant t , T la durée totale de l'expérience et T_0 la durée que met l'eau pour parcourir la distance ab ou h .

Retransformons ceci à nouveau afin d'obtenir une autre formulation de mgh :

$$\mu V_0 \frac{T}{T_0} gh = gh^2 \pi R^2 \frac{T}{T_0} \text{ avec}$$

R^2 le rayon de la sortie de la buse.

Tâchons de se donner une idée de l'ordre de grandeur

de ce mgh : dans notre système, on a h de l'ordre du centimètre et R de l'ordre du millimètre ; or ces grandeurs sont au carré dans la formule, on peut considérer que T_0 est négligeable par rapport à T , donc on a mgh de l'ordre de 10^{-7} ce qui est vraiment ridicule.

Nous allons donc négliger mgh , c'est-à-dire qu'on a : $\frac{1}{2}mv_b^2 - \frac{1}{2}mv_a^2 = 0$, par conséquent, on peut dire que $v_b = v_a$.

$$v_b = \frac{Q}{S}$$

Dans notre cas, si on utilise la formule $Q = v_m S$, on a : $v_m = v_a$, donc : $\frac{1}{2}mv_b^2 = \frac{1}{2}m \left(\frac{Q}{S} \right)^2$

Avec Q le débit, S la section de la buse et v (m) la vitesse moyenne dans le robinet.

Or, on connaît la formule de la masse en fonction de la masse volumique :

$$m = \mu V \Rightarrow E_b = \frac{1}{2} \mu V \left(\frac{Q}{S} \right)^2, \text{ mais } V \text{ nous gêne, remplaçons le par : } V = Sh \frac{T}{T_0}.$$

Si on se place dans les unités légales, on peut dire que h et T0 ont à peu près la même valeur,

$$E_b = \frac{1}{2} ST\mu \left(\frac{Q}{S} \right)^2, \text{ ce qui simplifié nous donne : } E_b = \frac{1}{2} T\mu \frac{Q^2}{S}.$$

ce qui nous donne :
Nous avons donc trouvé dans ce cas simple l'expression de l'énergie cinétique de translation dans le système en fonction du débit que l'on peut mesurer.

Pour parvenir à calculer un moment d'inertie, il faut partir de sa définition mathématique :

$$I_z = \iiint z^2 dm \text{ avec :}$$

- (z) le moment d'inertie du volume étudié sur l'axe z
- z la longueur du volume par rapport à l'axe des z
- dm la dérivée de la masse de ce volume.

Cherchons le moment d'inertie de la roue qui transmet le mouvement de la turbine au moteur. Etant donné la complexité de la forme de celle-ci, séparons la en plusieurs parties : insérer le schéma de la roue que je te donne sur papier.

Comme la somme des intégrales est l'intégrale d'une somme, alors nous pouvons calculer séparément les moments d'inertie de chaque partie de la roue.

Trois des quatre parties sont des cylindres annulaires, voyons donc quelle formule nous permet de calculer le moment d'inertie de n'importe quel cylindre annulaire :

En coordonnées cylindriques, on peut utiliser les différentiels, donc soit dV le volume étudié, on a :

$$dV = dS \times e$$

$$dV = dp \times p \times d\theta \times e$$

$$dV = epdpd\theta$$

$$dm = \mu dV = \mu epdpd\theta$$

$$I_z = \iiint p^2 dm = \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{2\pi} p^2 \times \mu epdpd\theta$$

$$I_z = \mu e \int_{R_1}^{R_2} p^3 dp \int_0^{2\pi} d\theta$$

$$= 2\pi \mu e \left[\frac{p^4}{4} \right]_{R_1}^{R_2}$$

$$I_z = 2\pi \mu e \left(\frac{R_2^4}{4} - \frac{R_1^4}{4} \right)$$

Voilà donc la formule qui nous permettra de calculer le moment d'inertie de plusieurs parties de la roue.

Voyons à présent le moment d'inertie d'un cylindre classique tel que l'axe ou le support des autres parties dont nous avons déjà calculé le moment d'inertie : on utilise la formule trouvée précédemment avec $R(1)=0$, ainsi, nous obtenons :

$$I_{z_2} = \mu h 2\pi \left(\frac{r^4}{4} \right)$$

$$I_{z_2} = \frac{\mu h \pi r^2 r^2}{2}$$

$$I_{z_2} = \frac{m r^2}{2}$$

EXPRESSIONS GENERALES DE LA PUISSANCE

Remarquons tout d'abord que la notation complexe ne peut pas être appliquée sans précautions à des calculs de puissance puisqu'il intervient alors des produits de grandeurs. Nous introduirons donc ici les expressions instantanées.

Soit : $u = U \cos(\omega t + \alpha)$ la tension appliquée aux bornes A et B d'un réseau quelconque comportant éventuellement des générateurs

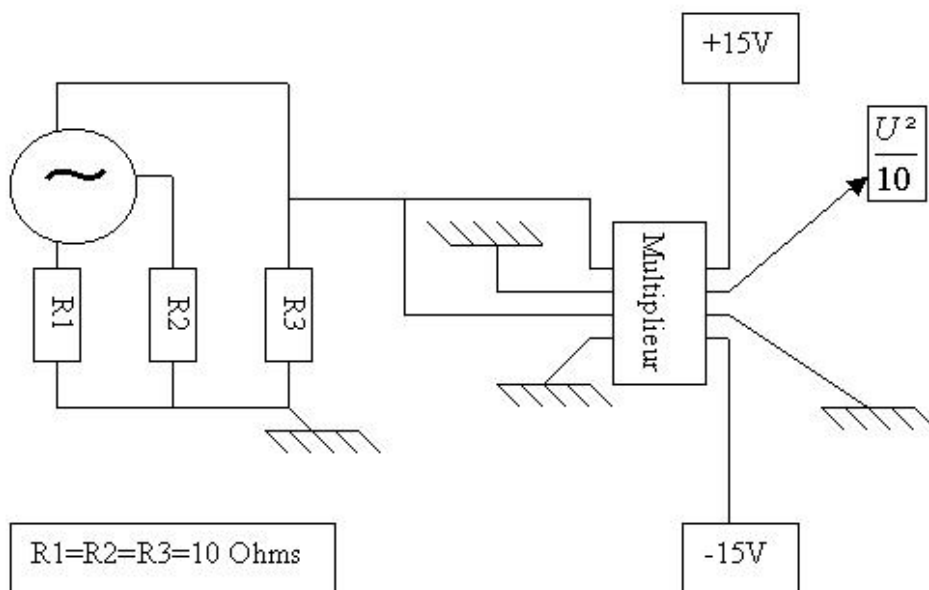


schéma électrique de notre platine

Tableau des résultats obtenu lors d'une expérience avec le prototype n°3

Valeur à varier lors de l'expérience	Le débit	5 L/min	6 L/min	7 L/min	8 L/min	9 L/min	
Paramètres constants lors de l'expérience	Pression atmosphérique	995 hpa					
	Hygrométrie de l'air ambiant de la pièce	51 %					
	Température de l'eau	14 °C					
Variables	Température ambiante	27 °C					
	Nombre de tours seconde de la turbine	162 tours/min	375 tours/min	495 tours/min	690 tours/min	860 tours/min	
	Puissance mesurée en Watt	Indétectable	25 mW	55 mW	60 mW	100 mW	
	Période mesurée à l'oscilloscope	Indétectable	2,5 ms	2,0 ms	1,7 ms	1,0 ms	

Nous avons fait le 26.12.2004 les mesures suite aux dernières modifications apportées au pilote.

Nous avons mesuré les différents paramètres suivants :

- Le débit en L/min
- la vitesse V1 de rotation de la grande roue en tour/min
- la vitesse V2 de rotation de la petite roue en tour/min (seulement pour la courroie plane)
- la période de U1 le courant directement produit par l'alternateur mesuré par l'oscilloscope
- la puissance mesurée par le voltmètre à la sortie du multiplieur.

La température de l'eau était de 6 degrés celsius.

Nous avons fait ces mesures pour les courroies : crantée et non-crantée.

Pour la courroie crantée rien de notable à remarquer...

Avec la courroie non-crantée, bien que l'habitacle construit par Stefan soit étanche, était mouillée, glissement.

Pour mesurer la période nous avons eu des difficultés, l'oscilloscope voulait sembler t'illuminer avec nous, en ne voulant pas se stabiliser.

Sinon la surface couverte par la lumière du tachymètre est trop importante, ce qui fausse les mesures...

Ensuite nous avons trouvé des anomalies au niveau de la mesure avec le voltmètre... des valeurs négatives de -2,3 V alors qu'il n'y avait aucune production de courant électrique. Cette anomalie n'est mesurée que lorsque le générateur de 15 volts est sous tension dû sans doute au fait que le multiplieur ne pouvait pas multiplier une tension aussi faible, et indiquait donc une « tension à vide ».

Débit L/min	V1 tour/min	U1 (période)	puissance W	Erreur debit	erreur volt positive	erreur volt negative
8	1300	2	0	0,25	0	0
9	1210	2	0	0,25	0	0
10	1140	2	0	0,25	0	0
11	1060	2	2,2	0,25	0,108	0,054
12	960	3	4	0,25	0,116	0,058
13	920	3	7,1	0,25	0,128	0,064
14	820	4	9,5	0,25	0,136	0,068
15	730	4	12,2	0,25	0,148	0,074
16	630	5	16,8	0,25	0,164	0,082
17	540	5	20	0,25	0,18	0,09
18	470	6	22,2	0,25	0,188	0,094
19	400	6	30,3	0,25	0,22	0,11
20	300	6	34,7	0,25	0,236	0,118
21	200	10	38,6	0,25	0,252	0,126
22	130	16	44	0,25	0,276	0,133

avec V1 la vitesse de la grande roue mesurée avec le tachymètre

U1 la période du courant U1 visionnée sur l'oscilloscope

la puissance W mesurée avec le voltmètre(placé en 300mV) en à la sortie du multiplieur

courroie non-crantée

débit L/min	V1	V2	période	puissance en w
22	920	5400	1	88
21	1120	5000	1	75
20	2000	4720	1,5	71
19	1000	4600	2	64
18	800	4000	2	40
17	820	3700	2,5	40
16	790	3450	3	34
15	640	2850	3	24
14	550	2450	3	17
13	470	2200	3,5	12
12	400	1750	4	8,5
11	270	1200	6	2,6
10	120	1000	6	0,8
9	80	540	10	0
8	60	340	15	0

avec V1 la vitesse de la grande roue mesurée par le tachymetre en tour/min

avec V2 la vitesse de la petite roue mesurée par le tachymetre en tour/min

periode de U1 mesurée avec l'oscilloscope

puissance mesurée à la sortie du multiplieur avec un voltmètre (en position 300mV)

Lycée International des Pontonniers
1 rue des Pontonniers
67000 Strasbourg
Professeur responsable : Mme CHAUMONT
Groupe d'élèves :
BEZARD Philippe TS4
CHANTREL Stefan TS4
WIGGERMANN Julien 1S

Strasbourg, le 24 septembre 2004

A l'attention de :

Monsieur Pascal MONARD
Directeur d'ENVIE 2e
6 rue Herrade
67200 Strasbourg

Objet : Demande de partenariat dans le cadre des Olympiades de Physique.

Monsieur,

Nous participons cette année aux Olympiades de Physique, le sujet de notre présentation est ; énergie cinétique de l'eau et production d'électricité. Pour ce dossier nous réalisons un pilote pour étudier la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique.

Il s'agit d'un montage réalisé entre autre à partir de pièces d'électroménager. Afin de limiter les coûts de construction, nous nous proposons de réaliser une partie des appareillages avec des pièces récupérées d'électroménagers.

La mise en avant de cette utilisation pourrait mettre en valeur d'ENVIE 2e, spécialiste de la revalorisation de l'électroménager en fin de vie. Nous aurions dans un premier temps besoin de tuyaux d'alimentation d'eau de machines à laver, et bien sur de votre accord de principe pour la mise en avant de votre partenariat dans ce projet.

Veillez agréer Monsieur le Directeur nos sincères et respectueuses salutations.

Philippe BEZARD

Stefan CHANTREL

Julien WIGGERMANN

Copie faite à Mme Chaumont.
PJ. 1



LYCEE INTERNATIONAL DES PONTONNIERS
A l'attention de Madame CHAUMONT
1 rue des Pontonniers
67000 STRASBOURG

Strasbourg, le 1^{er} octobre 2004

Concerne : Olympiades de Physique
Votre demande de partenariat
Groupe d'élèves :
BEZARD Philippe TS4 - CHANTREL Stefan TS4 - WIGGERMANN Julien 1S3

Madame,

Faisant suite à votre lettre du 24 septembre 2004, nous avons le plaisir de répondre favorablement à votre demande de partenariat dans le cadre des Olympiades de Physique.

Pour les pièces dont vous aurez éventuellement besoin, nous vous prions de bien vouloir vous adresser à M. Jean-François BUCHERT, joignable au 03.88.10.04.30

Espérant avoir ainsi répondu à votre attente, nous vous prions de croire, Madame à l'expression de nos sentiments distingués.

Pascal MONARD
directeur

Envie 2e Strasbourg

6 rue Herrade 67200 Strasbourg **téléphone 03 88 10 04 33** télécopie 03 88 10 04 39 2e.strasbourg@wanadoo.fr
environnement et emploi - association loi locale - Registre des Association Volume LXX N° 114 - SIRET 398 593 145 00038 - APE 853 K