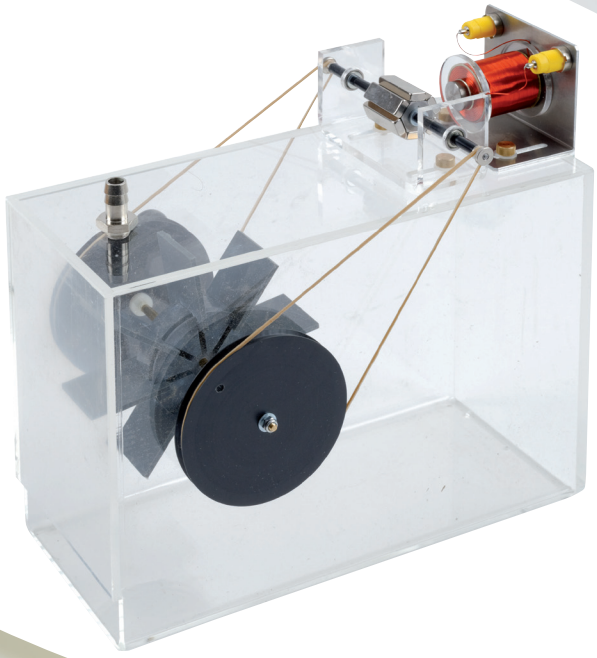
Centrale hydroélectrique 08065

NOTICE



Retrouvez l'ensemble de nos gammes sur : www.pierron.fr

PIERRON
ÉQUIPEMENT PÉDAGOGIQUE SCIENTIFIQUE

DIDACTIK • CS 80609 • 57206 SARREGUEMINES Cedex France
Tél. : 03 87 95 14 77 • **Fax :** 03 87 98 45 91
E-mail : education-france@pierron.fr

Présentation

1 - Introduction

Cette maquette s'utilisera aussi bien en collège qu'en lycée :

- elle répond à l'étude de l'énergie et des circuits électriques en alternatif
- elle permet d'aborder quantitativement la production de l'énergie, sa conversion dans un récepteur. En outre, elle offre la possibilité d'étudier les caractéristiques du signal électrique et de dresser une cartographie de champs magnétiques.

Elle permet aussi d'illustrer la notion de moteur électrique. Pédagogiquement, elle peut répondre à la question : «Du moulin à eau à la centrale hydroélectrique : comment ça marche ?»

La mise en mouvement du dispositif utilise l'énergie musculaire de la main, l'énergie potentielle de masses marquées qui chutent, ou l'énergie de l'eau venant d'un robinet.
Différents convertisseurs d'énergie (lampe, diode, moteur…) pourront être testés.

2 - Contenu de l'emballage

- Une centrale hydroélectrique
- Une notice

Caractéristiques

- Rotor composé de 6 aimants néodyme
- Bobine : fil Ø 6/10 mm
- Raccord : 3/8"
- Raccordement sur douilles double puits Ø 4 mm
- Dimensions hors tout (Lxlxh) : 280 x 100 x 200 mm

Préambule

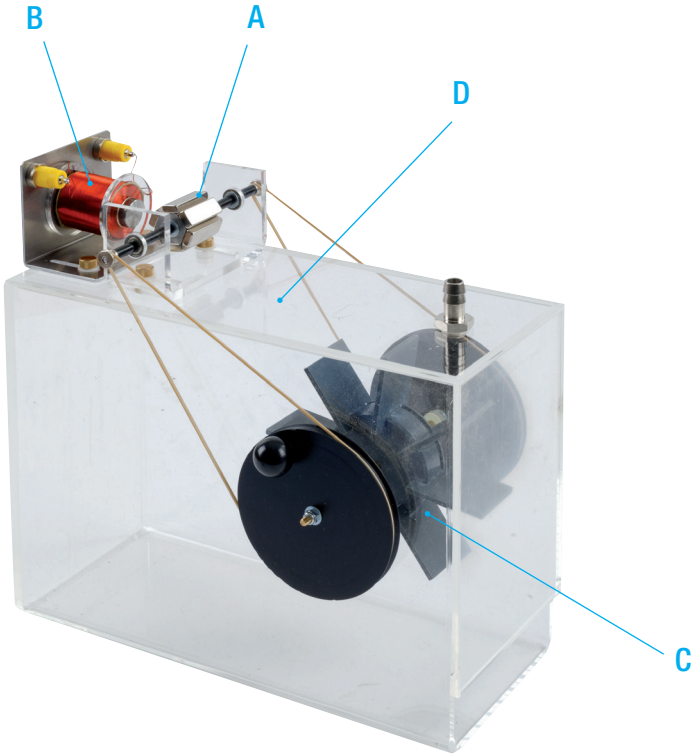
Exploitations de la maquette par le professeur, par des élèves

Le professeur garde toute sa liberté pédagogique pour exploiter le dispositif et les phénomènes physiques mis en jeu.
Suivant le niveau et les objectifs recherchés, il peut opter pour une mise en œuvre immédiate et le constat d'une production d'électricité à travers l'alimentation d'une lampe à incandescence.

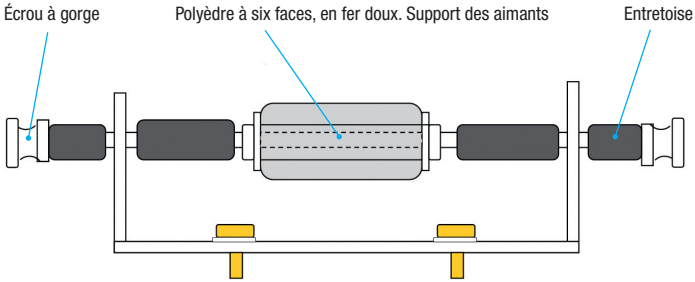
La constitution modulaire du produit offre l'opportunité d'une approche progressive. Une démarche de découverte voire d'investigation des différentes parties peut être faite par des binômes d'élèves.
A leur charge d'en restituer le contenu lors de la présentation de la maquette à la classe par tout moyen (dessin, power point, film vidéo, etc.).

Descriptif

La centrale est constituée de quatre parties qu'on peut rendre indépendantes. Ce sont les parties qui sont notées A, B, C et D sur la figure ci-dessous.



A. Le rotor hexa-polaire sur son support en U et ses vis de fixation en laiton.



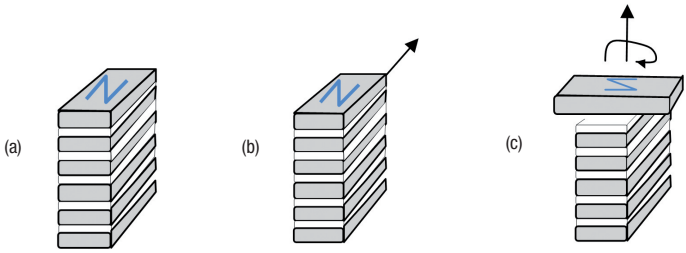
Montage et retrait des aimants - deux solutions -

Le rotor est livré avec les aimants montés. On peut les retirer, examiner si le polyèdre conserve un magnétisme et/ou visualiser la cartographie de champs magnétiques.

Une configuration du rotor à 2 aimants opposés ou 6 aimants est possible.

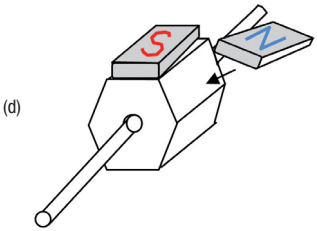
Les aimants au néodyme sont très puissants. Sous l'effet des chocs, ils peuvent se briser Leur mise en place ou leur retrait doit se faire avec attention et précaution.

S'ils sont empilés cas **(a)**, ils sont séparés par des intercalaires. On les sépare un à un soit en les faisant glisser suivant leur longueur **(b)**, soit en effectuant une rotation de 90° horizontalement puis en tirant verticalement **(c)**.



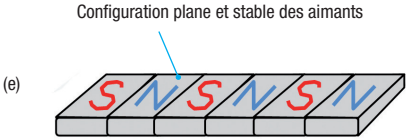
Première solution :

Leur mise en place se fait sur le polyèdre en venant déposer les aimants un à un longitudinalement par rapport à l'axe **(d)**.

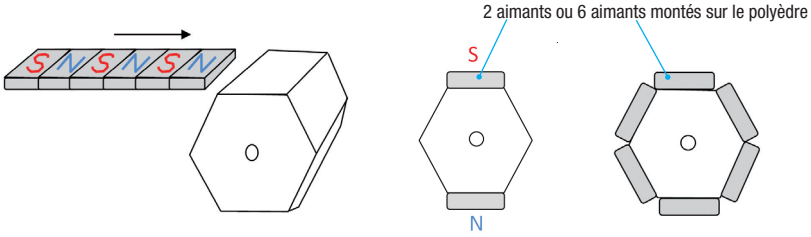


Deuxième solution :

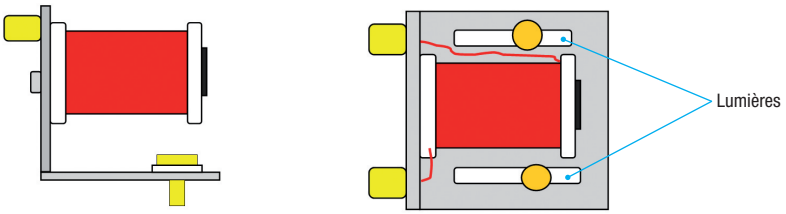
La configuration plane **(e)**, ci-dessous, se réalise facilement à partir de la configuration empilée à condition de respecter l'alternance nord-sud.



La mise en place des aimants sur le polyèdre se fait dans ce cas rapidement : la barrette est amenée tangentiellement sur la face supérieure du polyèdre. Dés que le premier aimant est positionné, on bascule les autres sur les faces du polyèdre éventuellement en le faisant tourner.



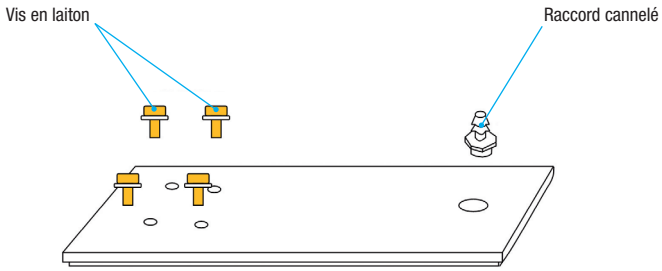
B. Le stator : bobine en fil de cuivre avec noyau de fer doux, montée sur un L en inox amagnétique



C. La roue à aubes couplée avec les poulies et montée sur une cuve en Plexiglas

D. Le couvercle ou le socle support

Ce socle peut se poser sur la cuve ou sur un plan de travail. Il sert de couvercle pour la cuve ou de plan de support pour différents dipôles. Le raccord cannelé amovible se visse en bout pour y raccorder un tuyau souple connecté à une arrivée d'eau. Les vis en laiton s'insèrent dans la platine pour assurer la fixation du rotor et de la bobine

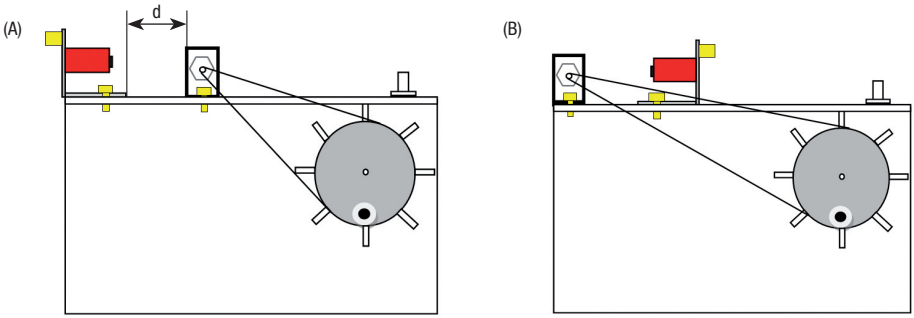


Montage du rotor et de la bobine

La bobine stator et le rotor hexapolaire peuvent être intervertis. La solution **(B)**, sur le schéma ci-après, permet d'installer des dipôles ou des appareils de mesure sur le socle.

La liaison rotor stator se fait par courroie en caoutchouc. On adaptera les bracelets élastiques. S'ils sont longs, on les raccourcit en faisant deux boucles pour les utiliser en positon **(A),** sur le schéma ci-après.

Remarque 1 : La durée de vie d'un bracelet peut être prolongée en ne le laissant pas sous tension quand la maquette n'est pas utilisée et/ou en l'imprégnant de talc.



Remarque 2 : Avant toute manipulation, toujours positionner la bobine et le rotor avec le plus grand écartement d et verrouiller. On évite ainsi le collage de la bobine sur le rotor. Pour rapprocher l'un des deux éléments de l'autre, desserrer très légèrement deux des vis en laiton d'un des deux objets à déplacer, faites glisser à plat jusqu'au contact des embases de la bobine et du U support.
Si, suite à une mauvaise manœuvre, un collage se produit, la façon adaptée pour séparer la bobine des aimants du rotor consiste à effectuer une traction tangentielle.

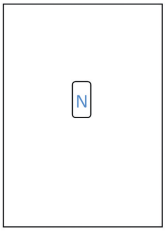
Remarque 3 : Sur la paillasse professeur, le robinet est souvent muni d'une tétine étroite, qui donne un jet. Il peut être avantageux de la retirer et de faire le piquage d'eau directement sur l'extrémité de l'arrivée d'eau.

Expériences

1. Magnétisme

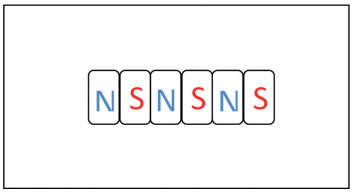
1.1. Cartographie de champs magnétiques statiques

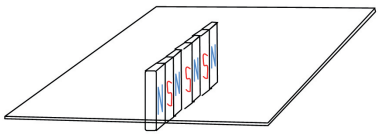
- On positionne un aimant sous une plaque de Plexiglas recouverte d'une feuille de papier (21 x 29,7 cm). On pourra, dans cette expérience, utiliser le couvercle comme plaque de Plexiglas.
- On saupoudre de la limaille de fer fine.
- Observer le spectre.



1.2. Lot de six aimants posés horizontalement puis verticalement

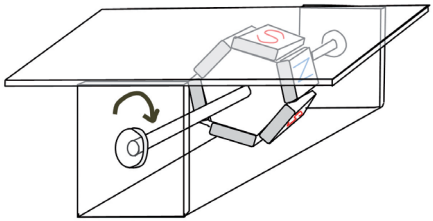
- On procède de la même manière que précédemment.



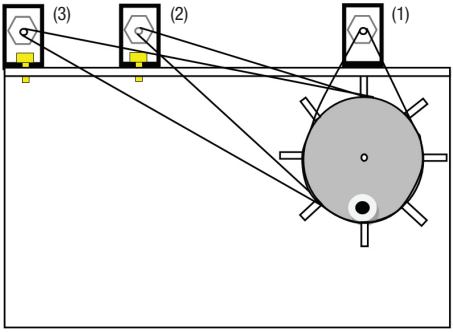


1.3. Cartographie d'un champ magnétique mobile

- Sur le U du rotor équipé de ses six aimants, déposer une plaque de Plexiglas, surmontée d'une feuille de papier (on pourra utiliser le couvercle).
- Saupoudrer de fine limaille.
- Faire tourner le rotor à la main, Observer les modifications du champ magnétique.



2. Transmission de la rotation - Amplification de la fréquence de rotation



2.1. Transmission ou non de la rotation pour une courroie donnée

- Suivant la taille ou la tension de l'élastique, celui-ci peut glisser sur les roues ou les écrous **(1)**. En fonction de la tension, les frottements varient sur les axes.

2.2. Rapport du nombre de tours

La roue à aubes est couplée aux poulies ; le rotor est couplé à des écrous à gorge. La courroie élastique assure la transmission du mouvement de rotation

Pour un tour du bouton d'entraînement, mesurer le nombre de tours du rotor en absence de glissement.

On arrive alors à la conclusion suivante :

$$n_r / n_p = d_p / d_r$$

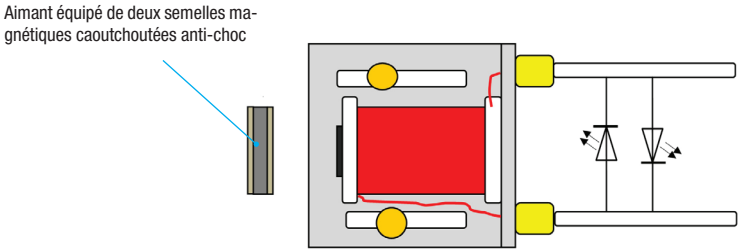
où n_r : nombre de tours du rotor

n_p : nombre de tours de la poulie

d_r : diamètre de la gorge du rotor

d_p : diamètre de la poulie

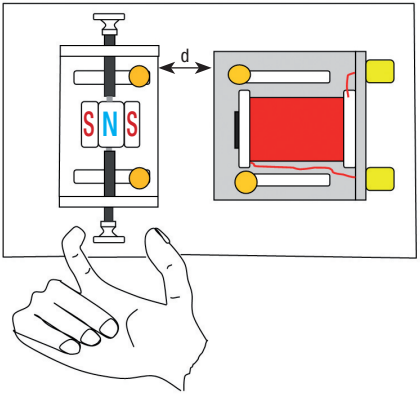
3. Bobine-Aimant : Induction



L'aimant, approché à environ 1 cm du noyau de fer doux de la bobine, est lâché. Il se colle au noyau. La variation de flux dans la bobine induit un courant. Un flash apparaît sur une des DEL. Lors du retrait rapide la deuxième DEL flashe. Les DEL étant tête-bêche, on a un courant alternatif aux bornes de la bobine pour une approche et un recul de la même face de l'aimant. C'est une ébauche d'alternateur.

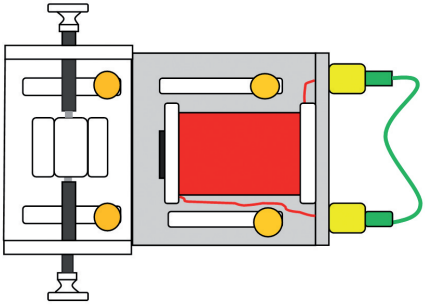
Remarque : le retrait ne donne un flash que si il est très rapide ou si l'aimant utilisé est puissant.

4. Transformation et Transfert d'énergie suivant la distance d en circuit ouvert.



- La distance d varie de 0 cm à 2,5 cm.
- Lancer manuellement le rotor.
- Comparer les durées de rotation pour d = 0 ou 2,5 cm
- L'énergie cinétique du rotor est transformée partiellement en énergie magnétique, puis en énergie d'agitation dans le polyèdre en fer doux.
- Pour d = 0 cm, la durée de rotation est nettement plus courte car le transfert énergie magnétique est plus élevé.

5. Transformation et transfert d'énergie suivant la charge mise aux bornes de la bobine



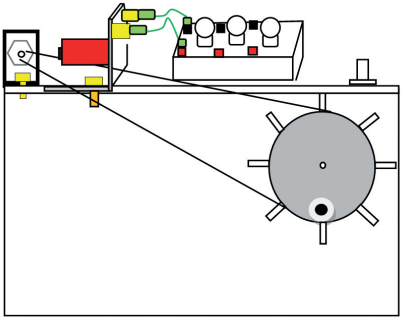
- Ici d = 0 cm et la bobine en court-circuit.
- Lancer le rotor manuellement.

L'énergie musculaire est transformée en énergie cinétique. Dans la bobine, au niveau du

noyau, elle est la transformée en énergie magnétique, elle-même dégradée en énergie d'agitation thermique, et dans les fils en énergie électrique, puis en énergie d'agitation thermique. C'est la configuration où le transfert d'énergie est le plus élevé donc la rotation du rotor la plus courte. Cette disposition permettra de disposer de la plus grande puissance pour la centrale.

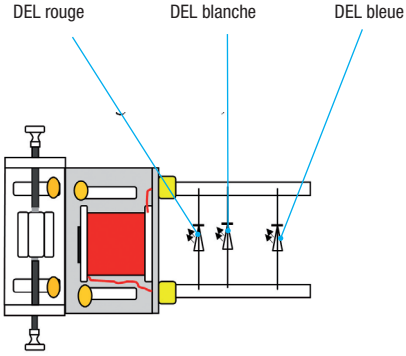
6. Allumage de lampes à partir d'énergie musculaire

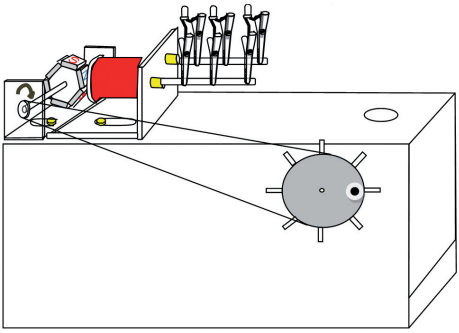
- Aux bornes de la bobine, brancher un support de 3 lampes basse tension ref. 04174.
- On tourne progressivement le bouton monté sur la poulie. On augmente, la fréquence de rotation de la roue à aubes donc celle du rotor. Quelle lampe s'allume la première ?



- Comparer les éclats, à fréquence de rotation identique. Quelle conclusion tire-t-on à propos des lampes ?

7. Allumage de DEL - Découverte des seuils d'allumage.

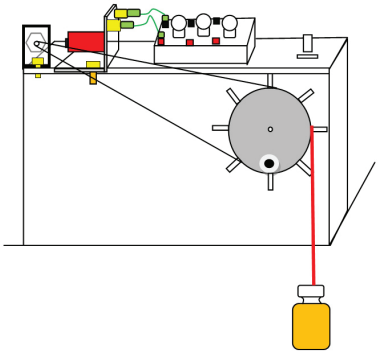




Les DEL sont montées sur des pinces crocodiles qui viennent prendre deux tiges conductrices. En fonction de la rotation croissante la tension augmente ; la DEL rouge puis bleue puis blanche s'allument successivement.

Remarque : les DEL émettant dans le visible ont un comportement similaire. Par contre, les DEL infrarouge agissent comme des courts-circuits et imposent leur tension seuil compte-tenu des caractéristiques électriques de la centrale. Si on les introduits, il faut les mettre tête-bêche par rapport aux autres.

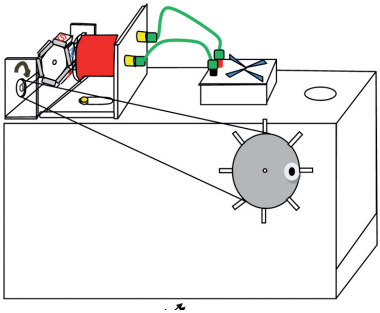
8. Allumage de lampes à partir d'énergie potentielle



- On utilisera des masses de différentes valeurs dont au moins une masse de 100 g et une masse de 200 g
- Fixer la cordelette dans la gorge d'une des poulies. Cette poulie n'est alors plus reliée au rotor par la courroie
- La centrale est mise sur le bord d'une table. On peut modifier sa hauteur de façon à avoir une chute approximative de 1 m (cela permettra d'avoir un calcul simple de l'énergie de chute de la masse. $E = m.g.h$).
- Pour obtenir un ordre de grandeur de l'énergie électrique, on utilisera un voltmètre et un ampèremètre.
- Une discussion sur les valeurs moyenne à retenir doit être lancée. Une série de mesures doit être effectuée.
- Un calcul de rendement est possible.

9. Alimentation électrique d'un moteur à courant continu par l'alternateur

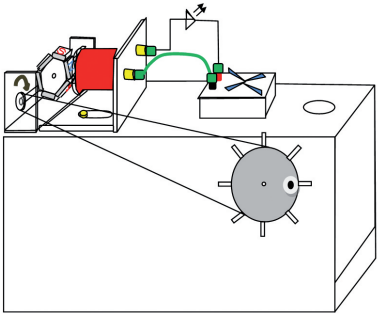
9.1. Observation : panne ou dérèglement ?



On tourne normalement. Le moteur ne démarre pas.
En adoptant une rotation «pas à pas» des aimants, on observe une hésitation de l'hélice du moteur. Elle tremble, oscille. Si on augmente la fréquence de rotation, elle reste immobile compte tenu de son inertie.
Comme on a affaire à un courant alternatif, le moteur est sollicité tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre sens, d'où un tremblement ou un arrêt de l'hélice, en fonction de la fréquence.

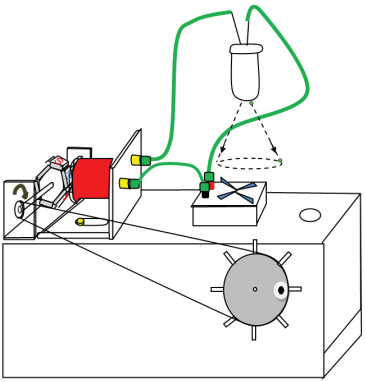
9.2. Comment obtenir la rotation de l'hélice ?

Le débat peut être lancé.
L'utilisation d'une diode en série convient. Une DEL infrarouge fera aussi l'affaire. Les DEL émettant dans le visible peuvent convenir mais plus ou moins bien suivant leur couleur.



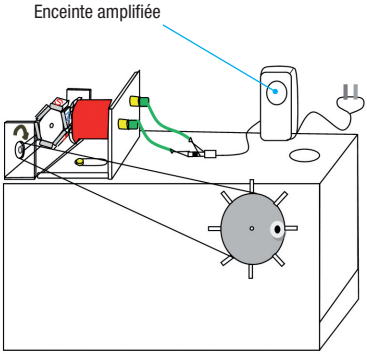
9.3. Stroboscopie

Une DEL émettant dans le visible est montée en série avec le moteur.
Si elle est disposée au dessus de lui, de telle façon que l'hélice se trouve sous son cône d'illumination, on peut observer le mouvement par stroboscopie.



On observe la rétrogradation du mouvement ou son arrêt pour des fréquences de rotations. Il est alors possible de déterminer la fréquence de rotation du moteur.

10. Transformation d'un signal électrique en signal sonore

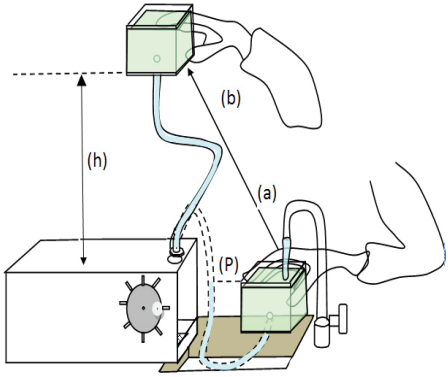


- Sur la prise jack d'une (mini) enceinte amplifiée et reliée au secteur, brancher grâce à des pinces crocodiles les fils venant de la bobine.
- Actionner la manivelle.

Le mouvement de la membrane est perceptible visuellement. La vibration de la membrane met en mouvement les molécules de l'air. Un son grave et de fréquence variable est émis.

11. Centrale Hydraulique (réglages)

11.1. Variation de hauteur de chute d'eau

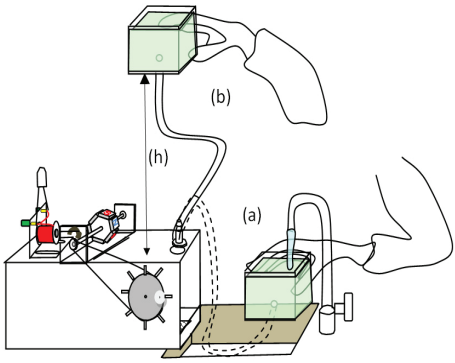


Le cube, tenu à la main et mis sous le robinet, se remplit ainsi qu'une partie du tuyau auquel il est relié.

La surface de l'eau dans le cube et dans le tuyau sont dans un même plan **(P)**.

On monte rapidement le cube de **(a)** à **(b)** à une hauteur **(h)**

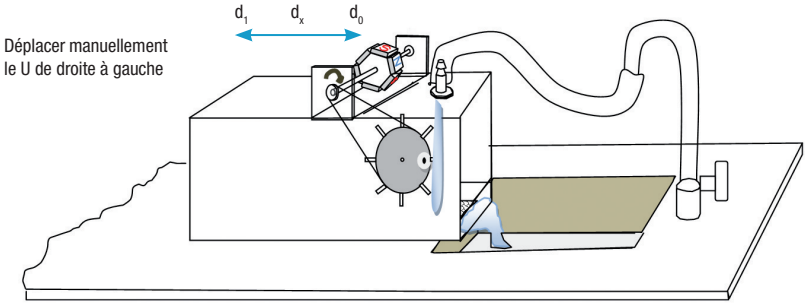
À l'aide d'un chronomètre, selon la hauteur de chute, on peut comparer les durées de rotation **(t)** et les fréquences de rotation **(f)** (à l'œil) de la roue à aubes ce qui permet d'introduire la notion d'énergie et de puissance.



La même expérience peut être reprise en insérant le rotor, la bobine et une DEL.

Une hauteur intéressante est celle qui correspond à une hauteur de 1 m. Elle permet un calcul simple d'énergie potentielle. En retour, il est possible d'estimer simplement un ordre de grandeur de l'énergie électrique. Une DEL rouge a un seuil d'allumage de 1,4 V et une intensité standard de 10 mA. Pour un bon réglage, la DEL éclairera aux environ de 1,5 à 2 s

11.2. Réglage : Entraînement du rotor - Variation des frottements



La partie ouverte de la cuve est mise en surplomb du bac d'évacuation de la paillasse. On ne conserve que le rotor couplé par deux élastiques aux poulies. Il est simplement posé et sera déplacé manuellement de $\mathbf{d_0}$ à $\mathbf{d_1}$.

- Relier par un tube souple le raccord cannelé à l'extrémité du robinet.
- Variation de la fréquence de rotation en fonction du couplage (rotor - roue à aubes).
- Ouvrir le robinet. Fixer un débit moyen.

Si le couplage par élastique est nul, il n'y a aucun mouvement.

Si les élastiques sont très peu tendus ($\mathbf{d_0}$), le mouvement s'amorce. On a une fréquence de rotation $\mathbf{f_0}$. Les élastiques peuvent légèrement glisser sur les roues poulies ou les écrous poulies.

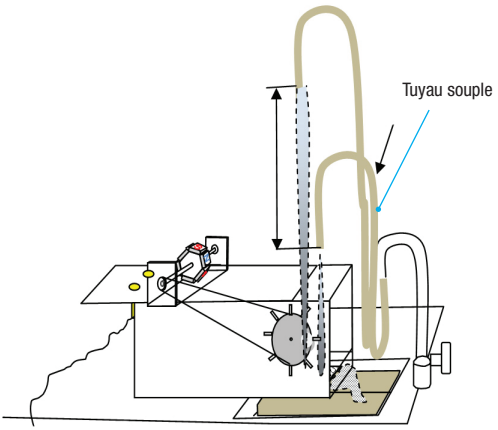
Si les élastiques sont tendus ($\mathbf{d_x}$), la fréquence de rotation $\mathbf{f_x}$ augmente.

Si les élastiques sont très tendus ($\mathbf{d_1}$), on constate une diminution très nette de la fréquence de rotation ($\mathbf{f_1}$), liée au fait qu'il y a une trop grande contrainte sur l'axe du rotor, d'où des frottements.

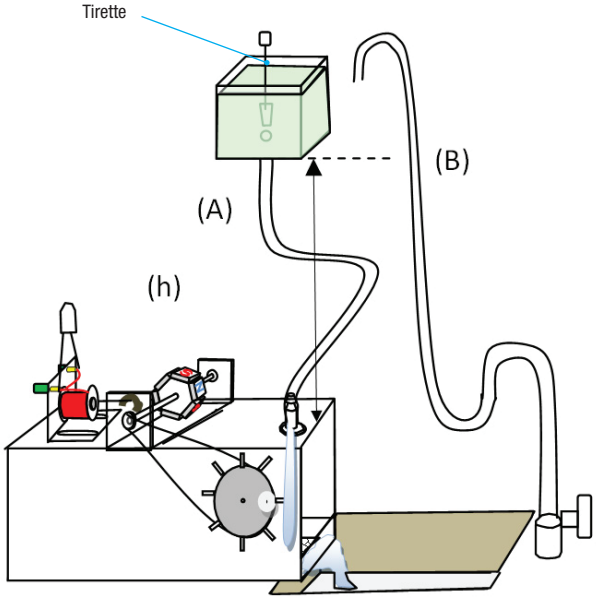
Il y a une tension qui optimise le transfert d'énergie cinétique. Selon le type d'élastiques utilisés, la distance pour une tension optimale peut être différente.

11.3. Hauteur de chute et énergie de mise en mouvement de la « turbine » avec ou sans rotor

- On raccorde un tube souple de 1 m à 1,50 m au robinet.
- Le couvercle est posé, bloqué par les vis qui font butée sur l'arrière de la cuve. Par l'ouverture ainsi créée, on arrose les pales de la turbine.
- Le débit est réglé de telle façon que la roue à aube ne tourne pas.
- Progressivement, on élève l'extrémité. Qu'observe-t-on ?

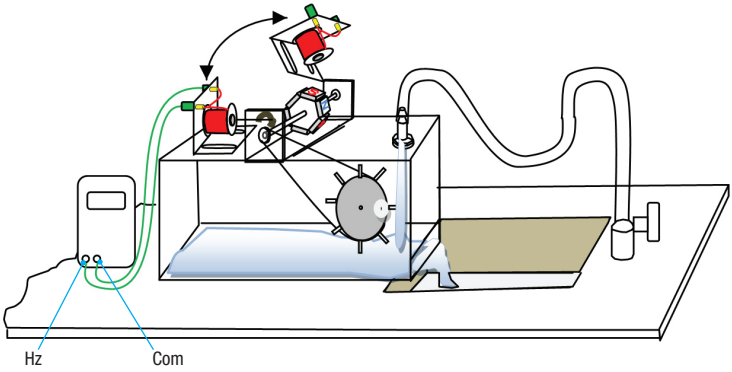


11.4. Mini retenue d'eau à hauteur de chute variable



Un décimètre cube est relié par un tube souple **(A)** d'environ 1 m au raccord cannelé de cuve. Il est rempli d'eau et tenu à deux mains par un élève à une hauteur **(h)**.
On ouvre l'orifice d'évacuation en agissant sur la tirette. Suivant la hauteur, on allume ou non une DEL placée aux bornes de la bobine.
Une variante consiste à alimenter la cuve par un tube **(B)** de façon à maintenir la cuve avec un niveau d'eau stationnaire tandis que l'eau s'écoule sur la turbine.
Dans cette situation, on peut mesurer la tension et l'intensité aux bornes de la bobine.
On peut connaître la durée de remplissage pour le débit qui assure la permanence du niveau dans la cuve, et faire un calcul de rendement approché entre l'énergie potentielle de l'eau et l'énergie électrique correspondante récupérée.
Un cas intéressant est de placer la cuve à une hauteur de 1 m.

11.5. Fréquence de rotation du rotor

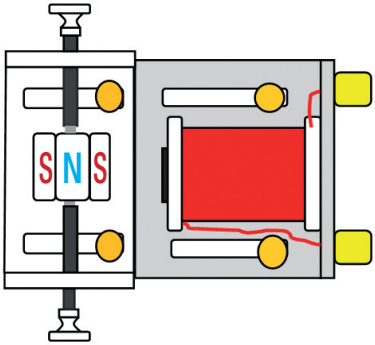


- Régler le multimètre en fréquencemètre.
- Le relier à la bobine qu'on déplacera manuellement au voisinage 4 à 5 cm du rotor.

Suivant le débit, on mesure la fréquence de rotation du rotor.
On peut en déduire celle de la «turbine».

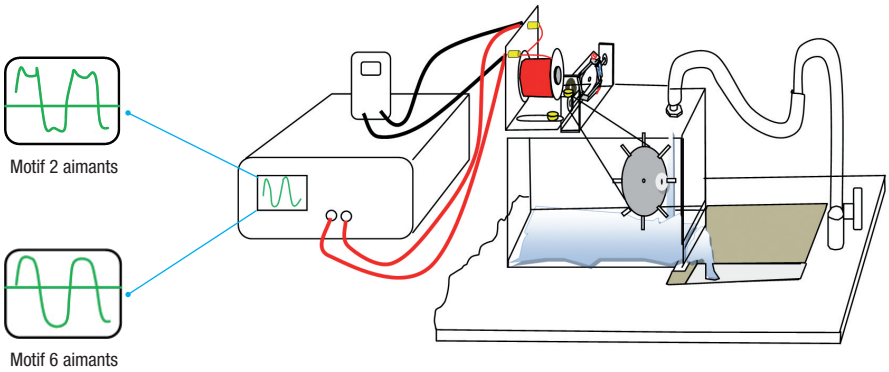
11.6. Couplage Rotor - Bobine

Cet aspect a été abordé dans le paragraphe 4. Si on souhaite un transfert de puissance élevé, sans se préoccuper de rendement, on adopte la disposition ci-dessous :



12. Centrale hydraulique - caractéristiques électriques aux bornes de la bobine

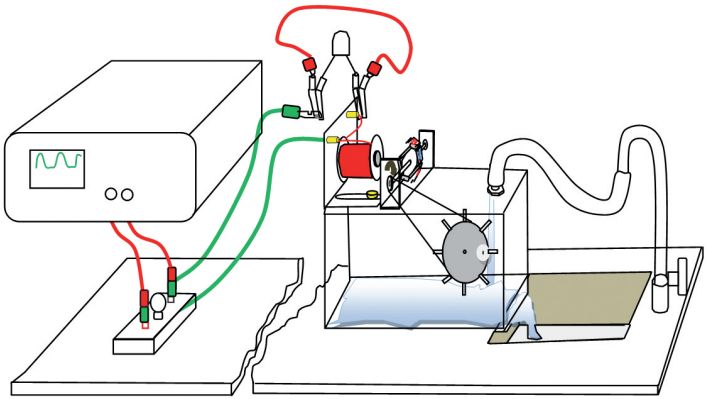
12.1. Observation du signal et caractéristiques



- Un multimètre, réglé en fréquencemètre, et un oscilloscope sont branchés aux bornes de la bobine.
- Pour un débit donné, on mesure la fréquence et on observe le signal sur l'écran de l'oscilloscope.

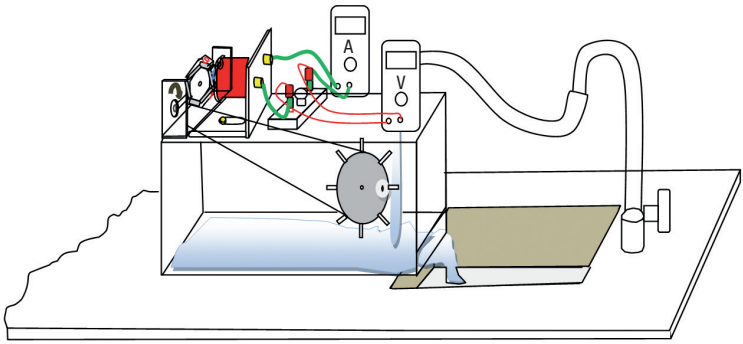
Si la source d'eau dont on dispose est conséquente, on atteint les 200 Hz, sur le fréquencemètre. Le signal est quasiment sinusoïdal.
Quelle est sa fréquence ? Comparer avec le résultat précédent.
En jouant sur le débit, on observe pour un réglage fixé des boutons de l'oscillo, la variation simultanée de la fréquence et de l'amplitude du signal.
En circuit ouvert et pour un débit stabilisé, avec ces mêmes appareils, on procède à la mesure de l'amplitude maximum de la tension (oscillo) et de la tension efficace (multimètre).
On calcule le rapport U_m / U_{eff}.

12.2. Suppression d'une alternance. Courant unidirectionnel



On réalise le circuit série DEL, lampe à incandescence.
La tension aux bornes de la lampe est envoyée sur les entrées de l'oscillo. On interprète le motif dans lequel le seuil de conduction de la DEL intervient aussi.
On peut court-circuiter la DEL. Pour une rotation identique à la situation précédente, le motif sinusoïdal réapparaît et l'éclat de la lampe augmente (deux alternances au lieu d'une).

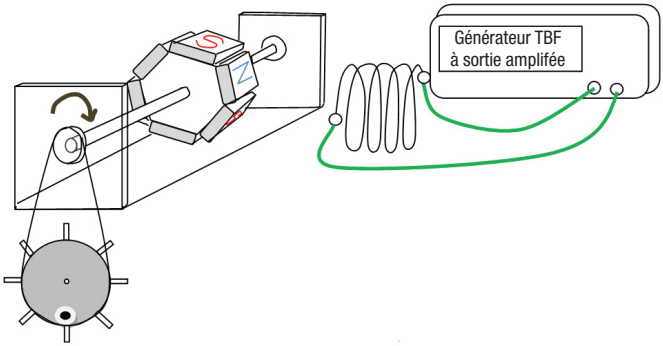
12.3. Ordre de grandeur : Puissance de la centrale électrique en charge, court-circuit.



- Une lampe est branchée aux bornes de la bobine.
- On mesure l'intensité efficace qui la traverse et la tension efficace.

Ordre de grandeur typique :
P environ 1,6 V x 0,16 A, soit de l'ordre de 0,2 W.
On peut mettre la bobine en court-circuit et effectuer les mesures du type U_{cc} et I_{cc}.

13. Moteur pas à pas



Un aimant tournant devant une bobine crée un courant alternatif de fréquence variable dans cette dernière.
Que se passe-t-il, si on envoie un courant alternatif de fréquence variable dans la bobine ? Le rotor tournera-t-il ? Pourra-t-il entraîner la roue à aubes ?

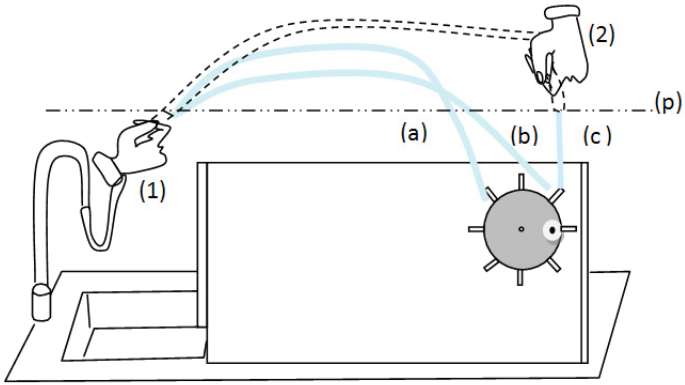
La face polaire qui apparaît sur la face terminale de la bobine en regard du rotor change à une certaine fréquence. On a tantôt une face sud, tantôt une face nord vis-à-vis d'un aimant du rotor. Si deux faces de même nature se font face, elles se repoussent et peuvent donc engendrer un début de mouvement. Pour qu'il se poursuive, il faut que l'impulsion suivante arrive au bon moment. Compte tenu de l'inertie du rotor et de l'amplitude du courant envoyé dans la bobine, il y aura des fréquences qui mettront le rotor en mouvement. Cela peut se faire spontanément pour les très basses fréquences ou par accord de fréquence en lançant le rotor.

14. Conclusion

Cette maquette permet d'aborder de nombreuses questions de physiques.
Son étude gagnera à être progressive. Sur certains points, on pourra s'aider de courtes vidéos en particulier pour montrer les réglages techniques.
La mise en œuvre devrait s'adapter au contexte des classes qui peuvent manifester des intérêts très divers.
Des recherches documentaires sur les grands barrages hydroélectriques pourront être illustrées par ce dispositif.
La comparaison des ordres de grandeur de leur puissance devrait inciter à chercher celle de la maquette. La confrontation des écarts de l'ordre de dizaine voire de centaine de milliards de KW est fort instructive.

Annexes

1 - Orientation et efficacité du jet - Énergie cinétique - Énergie potentielle



- L'extrémité du tube est fixée dans un plan **(p)** dirigée soit vers le haut **(1)** et avec une inclinaison variable soit vers le bas et verticalement **(2)**.
- L'eau a une vitesse V à la sortie du tuyau.

Décrire les variations d'énergie cinétique et potentielle de l'eau dans les cas **(a)**, **(b)** et **(c)**.
Y-a-t-il une situation du jet **(a)**, **(b)** et **(c)** où la turbine récupérerait le plus d'énergie pour un même bras de levier au niveau des aubes ?
Quel paramètre va intervenir ?
Pourquoi l'analyse risque d'être compliquée ?

Vérification approchée de la cohérence des mesures et des calculs :

- Diamètre de la poulie au fond de la gorge : ~ 85 mm
- Diamètre de la gorge de l'écrou : ~ 5mm
- Amplification du système : ~ 17

Si on fait effectuer 1 tour/seconde au bouton manivelle, le rotor fait environ 17 tour/seconde.
Si on fait effectuer 3 tour/seconde au bouton manivelle (à la main, c'est le maximum accessible), le rotor fait combien de tours ?
Pour les configurations «2 aimants» et «6 aimants», relever les valeurs affichées par le fréquencemètre - Observer à l'oscilloscope les signaux obtenus (voir 12.2).

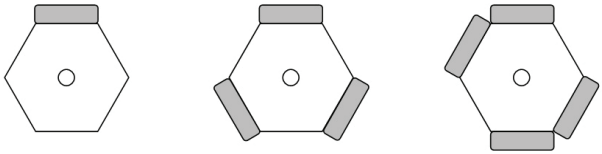
Dans cette situation, on branche un fréquencemètre aux bornes de la bobine. Quelle est la fréquence du signal aux bornes de la bobine ?
On tourne de façon à obtenir une fréquence d'environ 50 Hz pendant 30 s (6 aimants). Combien de tours de bouton manivelle a-t-on fait ? Déduire la durée moyenne d'un tour pour obtenir ce résultat. Calculer la fréquence attendue.
Comparer les résultats.

2 - Le moulin à eau, le moulin à vent, le moulin à main

On peut tester la capacité à faire tourner la roue à aubes en envoyant de l'air. Soit en soufflant directement sur les pales, soit par l'intermédiaire d'un tube, ce qui permet de faire varier de façon visible l'angle d'attaque.
Au final, on voit la différence considérable d'efficacité entre l'effort musculaire difficile et pénible dû au souffle et l'effort musculaire presque insignifiant demandé à la main pour un même effet. Une discussion sur les éoliennes et les hydroliennes peut s'engager à partir de ce constat.

3 - Le moulin à eau, le moulin à vent, le moulin à main

Attribuer des faces polaires aux différents aimants.
Chercher les avantages ou inconvénients mécaniques et magnétiques des rotors ci-dessous



Effectuer les spectres statiques et dynamiques avec de la limaille de fer.
Observer à l'oscilloscope le signal de la tension correspondant à chaque situation.

Entretien et Garantie

1 - Entretien

Aucun entretien particulier n'est nécessaire au fonctionnement de votre appareil.
Toutes les opérations de maintenance ou de réparation doivent être réalisées par PIERRON ÉDUCATION. En cas de problème, n'hésitez pas à contacter le Service Clients.

2 - Garantie

Les matériels livrés par PIERRON ÉDUCATION sont garantis, à compter de leur livraison, contre tous défauts ou vices cachés du matériel vendu. Cette garantie est valable pour une durée de 2 ans après livraison et se limite à la réparation ou au remplacement du matériel défectueux. La garantie ne pourra être accordée en cas d'avarie résultant d'une utilisation incorrecte du matériel.
Le retour de matériel sous garantie doit avoir notre accord écrit.
Vices apparents : nous ne pourrons admettre de réclamation qui ne nous serait pas parvenue dans un délai de quinze jours après livraison au maximum. À l'export, ce délai est porté à un mois.
La garantie ne s'appliquera pas lorsqu'une réparation ou intervention par une personne extérieure à notre Société aura été constatée.

PIERRON
ÉQUIPEMENT PÉDAGOGIQUE SCIENTIFIQUE

DIDACTIK • CS 80609 • 57206 SARREGUEMINES Cedex France
Tél. : 03 87 95 14 77
Fax : 03 87 98 45 91
E-mail : education-france@pierron.fr