La physique de l'eau

Blueprint respectif	Le moulin à eau
Description	Dans cette séquence pédagogique, les élèves apprennent les propriétés de l'eau et l'énergie hydraulique à l'aide d'un moulin à eau artisanal.
Objectifs pédagogiques	Les élèves vont : - Apprendre à créer un moulin à eau artisanal. - Comprendre le principe de l'énergie hydraulique - Être capables de créer une roue et un mécanisme de moulin à eau.

Matière(s) scolaire(s) correspondante(s)	Physique, Histoire
Conditions préalables / actions préparatoires pour les enseignants	Les enseignants doivent rassembler les matériaux pour le blueprint
Conditions préalables / actions préparatoires pour les élèves	Comprendre les bases de la physique, savoir comment créer et faire fonctionner un moulin à eau. Avoir des connaissances de base sur le principe de l'énergie hydraulique.
Âge des élèves	12-15
Durée	3-4 heures
Niveau de difficulté	Difficile

Description des tâches étape par étape

Étape 1 : L'histoire du moulin à eau

L'enseignant présente le moulin à eau et son histoire.

Le moulin à eau est une machine traditionnelle, inventée dans l'Antiquité, qui utilise l'énergie hydraulique, c'est-à-dire l'énergie des cours d'eau, pour moudre le grain, mais aussi pour toutes sortes d'applications artisanales telles que les forges, les scieries et les moulins à papier.

Figure 1 Image Source: Photo par Drew Bae, 2020-06-02, Domaine Public, https://unsplash.com/photos/gIl5b7JPREo

Au Moyen Âge, la force motrice des moulins était utilisée dans toute l'Europe pour transformer les céréales en farine, les noix en huile, le chanvre en charpie. Les moulins sont devenus un élément essentiel de la vie des villages, tout comme les églises et les châteaux, et étaient généralement la propriété de seigneurs, de riches citoyens ou d'institutions monastiques.

L'âge d'or des moulins à eau se situe entre le 18e et le 19e siècle. Les petits moulins familiaux ou semi-artisanaux se multiplient sur le moindre cours d'eau.

Étape 2 : Comment fonctionne un moulin à eau ?

Pour fonctionner, un moulin doit avoir une certaine hauteur de chute d'eau (sauf pour les roues au fil de l'eau, qui fonctionnent immergées dans le courant). Les moulins devaient être proches des villages pour permettre à chacun de moudre son grain. Ils ne pouvaient pas être construits dans une région trop vallonnée, où il y avait des chutes d'eau.

On a donc utilisé un petit barrage de prise d'eau pour prélever une partie du débit de la rivière, puis un canal d'amenée, aussi appelé bief. Il commence parfois à plusieurs centaines de mètres du moulin, presque horizontalement, alors que la rivière a une pente naturelle. Ainsi, au niveau du moulin, le canal d'amenée est plus haut que la rivière. Cette différence est utilisée pour faire fonctionner les roues hydrauliques horizontales et verticales (sauf pour les roues au fil de l'eau). Parfois, il existe un plan d'eau dans l'installation (au bout du canal ou de l'autre côté de la rivière) qui sert de réservoir.

La roue utilisée dépend de la hauteur de chute disponible. Au-dessus de 3 mètres, on utilise des roues verticales sur le dessus ou des roues horizontales. En dessous de 3 mètres, on utilise des roues latérales.
Une fois que l'eau a traversé la roue, elle passe par un canal de sortie et est renvoyée dans la rivière. La roue est généralement reliée à un jeu d'engrenages ou à un système de dynamomètre (dans le cas des turbines électriques modernes).
Un moulin à eau typique fournit entre 3 000 et 30 000 watts d'énergie, en fonction du débit qu'il est capable d'exploiter et de la hauteur de la

chute d'eau (la différence entre le niveau auquel l'eau entre et le niveau auquel elle sort).

Certains vieux moulins ont été équipés pour produire de l'électricité ou complètement transformés en petites centrales hydroélectriques. Cependant, la plupart des centrales hydroélectriques ont été installées sur de nouveaux sites afin d'exploiter une puissance beaucoup plus importante en raison des progrès techniques et de la possibilité d'utiliser l'énergie ailleurs (à distance) avec l'électricité.

Étape 3 : Côté technique

Dans la plupart des cas, la roue à aubes est verticale (axe horizontal)

- Dans un moulin au fil de l'eau, l'eau qui coule dans la rivière ou le bief entraîne la roue à aubes par le bas.

Figure 2 Source: Pixabay

- En faisant passer l'eau au-dessus de la roue, c'est la chute de l'eau qui transmet son énergie à la roue ; l'utilisation de roues à godets permet un meilleur rendement.

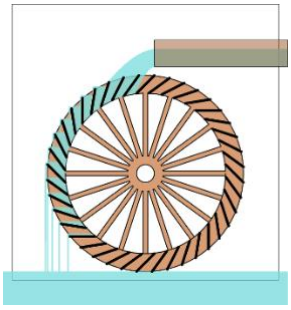

Figure 3 Source: Pixabay

- L'eau peut également couler sous la roue, transmettant ainsi une partie de son énergie cinétique à la roue.

À partir de la révolution industrielle, et plus encore au 20e siècle, certains moulins utilisent une roue horizontale (à axe vertical) appelée aussi "turbine", notamment dans le cas des moulins "à retenue", qui

sont généralement de taille modeste. Le niveau de l'eau est maintenu à une hauteur suffisante en amont du moulin par un déversoir.

Étape 4 : Différentes utilisations

Les moulins à eau étaient utilisés à de nombreuses fins avant l'ère industrielle, notamment :

- pour le broyage du grain, l'utilisation la plus ancienne ;
- dans l'industrie forestière, les scieries ;
- pour le textile : machines à fouler, métiers à tisser ;
- pour le travail des métaux : meules, forges, marteaux perforateurs ;
- pour entraîner des pompes.
- pour les moulins à papier : du 13e au 18e siècle, l'énergie du moulin était utilisée pour réduire les chiffons trempés en pâte à papier en actionnant des pilons munis de pointes. Au 19e siècle, elle alimentait également la machine à papier continue, mais le terme de moulin a été abandonné au profit de celui de papeterie.

Étape 5 : Qu'est-ce que l'énergie hydraulique ?

L'hydroélectricité utilise la force cinétique du mouvement de l'eau sous toutes ses formes (chutes d'eau, courants dans les rivières et autres cours d'eau) pour produire de l'énergie. Ce processus est une manifestation indirecte de l'énergie solaire et de la force de gravité de la Lune dans le cycle de vie de l'eau : l'énergie solaire fait que la vapeur d'eau des océans et des mers forme des nuages et est transformée par

le vent en pluie et en neige, qui alimentent ensuite les lacs, les rivières, les mers et les océans. Ainsi, c'est la combinaison de plusieurs sources d'énergie renouvelables qui contribue indirectement à la production d'hydroélectricité.
La force de l'eau est utilisée depuis l'Antiquité via les moulins à eau pour fournir une énergie mécanique - énergie directe sans transformation ultérieure - pour fabriquer du papier ou moudre du grain, puiser de l'eau, etc.

L'avènement de l'ère industrielle au 19ème siècle a vu les premières utilisations de la force hydraulique à travers les barrages, produite par les chutes d'eau dans les centrales hydroélectriques.

Étape 6 La physique de la conversion de l'énergie ou de l'amélioration de l'efficacité

Le principe d'une roue à eau réside dans les premiers tours de roue provoqués par la force de l'eau. La roue hydraulique tourne en permanence, mais comment exploiter au mieux cette énergie ? L'idée originale est que, grâce à un jeu d'engrenages, la grande roue hydraulique fait tourner un grand engrenage sur le même axe, lequel est attaché à un petit engrenage. Les systèmes d'engrenages reposent sur le principe de l'avantage mécanique : le rapport entre la force de sortie et la force d'entrée dans un système. Dans le cas des engrenages, cet avantage mécanique dépend du rapport entre la vitesse du dernier engrenage et la vitesse du premier engrenage dans un train d'engrenages.

L'avantage mécanique est :

$$MA = \frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{N_B}{N_A}$$

Où :

- N est le nombre de dents de l'engrenage,
- ω est la vitesse angulaire de l'engrenage et
- r est le rayon de l'engrenage.

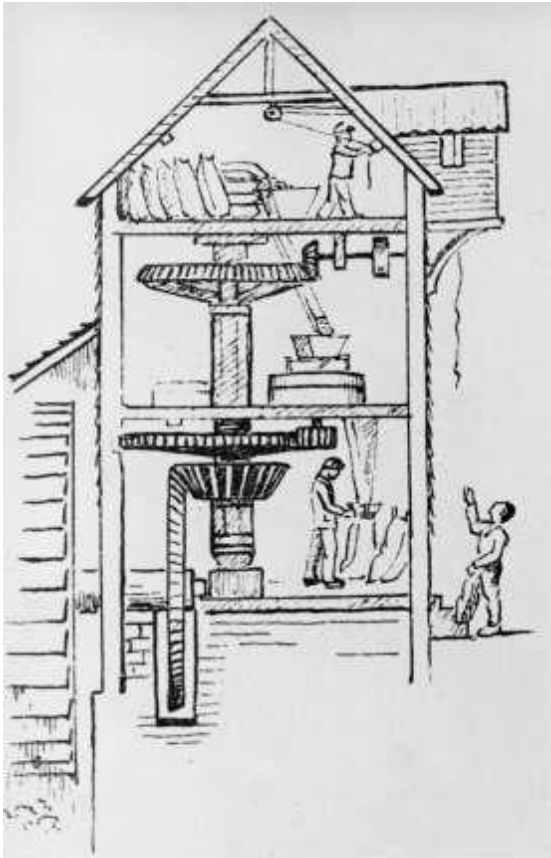

Figure 4 Image extraite de Norfolk Mills sur http://www.norfolkmills.co.uk/watermill-machinery.html

Dans le cas d'une roue à aubes, le premier grand engrenage va faire tourner le petit. Pour chaque tour du premier grand engrenage, le petit engrenage tournera 3 fois plus vite si son rayon est 3 fois plus petit. Sur le même axe que le petit engrenage, nous avons à nouveau un grand engrenage à l'autre extrémité. Ce grand engrenage fera tourner un autre petit engrenage qui sera généralement attaché aux meules. Ainsi, le meunier peut disposer d'un système d'engrenages qui

exploite l'énergie de l'eau pour faire tourner les meules et créer de la farine avec la seule énergie de l'eau.[1]

Étape 7 : Dans quelle autre situation pouvez-vous imaginer que nous utilisons des engrenages et un avantage mécanique ?

Faites une séance de brainstorming avec les élèves et prenez note de toutes leurs suggestions. Vous pouvez ensuite compléter les suggestions avec les vôtres.

Les engrenages sont utilisés dans les :

- Voitures
- Bicyclettes
- Horloges
- Moulins
- Etc.

Conclusion

Dans cette leçon, les élèves découvrent les différentes utilisations des moulins à eau et le principe de l'énergie hydraulique. Ils apprennent à créer un moulin à eau artisanal et à le faire fonctionner. Ils découvrent l'avantage mécanique et les systèmes d'engrenage.

[1] J.M.K.C. Donev et al. (2018). Energy Education - Gear [Online]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gear. [Accessed: April 8, 2022].

Activités d'évaluation

Activité 1. Trouvez des informations sur les différents types de moulins à eau et présentez-les à la classe.

Activité 2. Recherchez des vidéos expliquant le principe de l'énergie hydraulique.

Activité 3. Collectez des photos d'éléments créés par la force hydraulique/les moulins à eau et intégrez-les à d'autres images. Demandez aux élèves lesquelles sont correctes.

Références:

- Histoire pour tous - de France et du Monde (2021, 29 décembre). *Invention du moulin à eau (-200).* https://www.histoire-pour-tous.fr/inventions/700-invention-du-moulin-a-eau-200.html
- Selectra (2022, 31 mars). *Energie hydraulique : sa définition, ses avantages et inconvénients.* https://selectra.info/energie/guides/environnement/hydraulique
- Société d'Archéologie et d'Histoire de la Mayenne. *FICHE MOULIN A EAU.* (http://histoire.mayenne.53.free.fr/lexmoulinaeau.pdf
- Techno-Science. *Moulin à eau – Définition et Explications.* https://www.techno-science.net/definition/3421.html
- Vikidia (2021, 27 novembre). *Moulin à eau*. (https://fr.vikidia.org/wiki/Moulin_%C3%A0_eau

- J.M.K.C. Donev et al. (2018). Energy Education - Gear [Online]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gear. [Accessed: April 8, 2022].
- Figure 1: Public Domain, unsplash
- Figure 2 and 3: Pixabay
- Figure 4: borrowed from Norfolk Mills at http://www.norfolkmills.co.uk/watermill-machinery.html