
Dossier pédagogique



L'ÉNERGIE: DE LA SUEUR À LA VAPEUR

INTRODUCTION

Le CNHS est une asbl fondée en 1958 ayant pour objectifs la promotion et la diffusion de l'histoire des sciences en Belgique. Dans le cadre scolaire, nous organisons des activités éducatives autour de thèmes précis alliant histoire et sciences.

En collaboration avec le Musée de La Fonderie, nous organisons une animation autour de la collection des machines industrielles. Le présent dossier développe un des aspects de cette visite : l'énergie et sa transmission. Ce dossier devrait permettre aux enseignants de préparer la visite et de prolonger l'animation en classe.

Les objectifs de la visite :

- découvrir les différentes formes d'énergies et leur utilisation au cours du temps
- connaître les machines simples et leur fonctionnement
- apprendre à observer et à exprimer le résultat de ses observations
- apprendre un nouveau vocabulaire
- stimuler la créativité durant les ateliers
- sensibiliser à l'histoire des sciences et des techniques dans un contexte industriel
- montrer l'évolution des techniques/sciences

Le public ciblé par la visite :

Nous visons un public scolaire : les deux dernières années du primaire et la première année du secondaire (enseignement général, étude du milieu). Il s'agit d'une activité transversale qui peut s'insérer tant dans le programme des sciences que celui d'histoire.

Liens avec le programme

> Liens avec le programme des sciences

Secondaire, premier degré commun

- L'énergie: formes et sources d'énergie
- **Education par la technologie**, structures et mécanismes
Technologie étudiant les mécanismes de construction, simples et/ou complexes, des machines mettant en œuvre des principes mécaniques, électriques, pneumatiques et hydrauliques.

Primaire, 4^e cycle (10-12 ans) : Eveil scientifique

- Découvrir l'énergie : sources d'énergie, transformation d'énergie
- L'homme et l'environnement

> Liens avec le programme d'Histoire

- Exploiter des sources historiques
- Le mode de vie des gens à une époque déterminée
- Apparition de la machine à vapeur et la Révolution industrielle
- Les grandes découvertes
- Comprendre les liens entre les progrès techniques et leurs conséquences sociales

Les visites et animations ont lieu du lundi au vendredi à la Fonderie, Rue Ransfort à 1080 Bruxelles sur rendez-vous. Pour tout renseignement, n'hésitez pas à contacter Yannick van Praag, responsable du service éducatif (+ 32 (0)2/410.99.50) ou à envoyer un mail à l'adresse suivante parcours.lafonderie@skynet.be



SOMMAIRE

INTRODUCTION	2
1. UNE HISTOIRE DE L'ENERGIE	5
A. Présentation.....	5
B. Exploration de la langue	5
C. Qu'est ce que l'énergie ?.....	6
D. Formes et sources d'énergie.....	9
E. Histoire et caractéristiques.....	10
1. La Préhistoire et l'Antiquité	11
2. Le Moyen-Âge	16
3. Les débuts de la vapeur, les 17e et 18e siècles	18
4. La Révolution industrielle.....	25
5. L'ère du pétrole	27
6. L'énergie nucléaire.....	28
7. En conclusion, les énergies renouvelables, le futur ?	29
Bibliographie.....	30
Liens utiles.....	30
2. LES ENERGIES. PROLONGEMENT	31

1. UNE HISTOIRE DE L'ENERGIE

A. *Présentation*

Le concept d'énergie étant assez complexe, nous le définirons ici dans le cadre de la vie courante. L'énergie est la capacité d'un corps à fournir un travail. Ses sources utilisables par l'homme sont nombreuses : elles lui fournissent la chaleur, la lumière et la force. De tout temps, l'énergie a été essentielle à l'existence humaine et son emploi sous des formes diverses a continuellement transformé la société. Pensons en particulier à la découverte de celle issue de la vapeur, entraînant la Révolution Industrielle. Dans ce dossier, nous détaillerons principalement les inventions et découvertes liées aux sources d'énergie depuis l'Antiquité jusqu'au 19^e siècle.

Malgré la maîtrise des techniques, la question de l'énergie apparaît aujourd'hui comme l'une de nos préoccupations majeures. Certaines de ses sources s'épuisent, d'autres polluent notre environnement. Nos besoins augmentant chaque jour, que faut-il les utiliser? Quelles sont les énergies que l'on appelle renouvelables, et sont-elles vraiment propres ?

B. *Exploration de la langue*

Vocabulaire pré requis :

- ❖ **Energie éolienne** : l'énergie tirée du vent.
- ❖ **Energie hydraulique** : l'énergie tirée de l'eau.
- ❖ **Energie non-renouvelable** : énergie produite à partir d'une source qui ne se renouvelle pas assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'Homme, par opposition aux énergies renouvelables. Ex : le pétrole, le charbon, ...
- ❖ **Energie renouvelable**: énergie produite à partir d'une source qui, contrairement aux énergies fossiles, se régénère au moins au même rythme que celui auquel on l'utilise. Ex : le vent, les marées, le soleil, ...

Vocabulaire à expliquer

- ❖ **Condensation** : changement d'état de la matière qui passe d'un état dilué (gaz) à un état condensé (solide ou liquide)
- ❖ **Révolution industrielle** : On parle de révolution industrielle, lorsque l'emploi de machines, amenant la division du travail, la concentration de la main-d'œuvre et le recours à des investissements importants ont remplacé l'artisanat dans des secteurs fondamentaux de la production.

- ❖ **Système bielle manivelle** : permet la transformation du mouvement linéaire rectiligne non uniforme des pistons en un mouvement continu de rotation.
- ❖ **Crémaillère** : tige ou une barre garnie de crans ou de dents.
- ❖ **Arbre à came** : dispositif mécanique permettant de transformer un mouvement rotatif en mouvement longitudinal et réciproquement
- ❖ **Vilebrequin** : élément du dispositif bielle-manivelle.
- ❖ **Puissance** : quantité d'énergie fournie en un temps donné par un système à un autre. Elle se mesure en Watt.
- ❖ **Force** : action mécanique capable de créer une accélération c'est-à-dire une modification de la vitesse d'un objet ce qui induit un déplacement ou une déformation de l'objet.

C. **Qu'est ce que l'énergie ?**

On peut définir l'énergie comme tout ce qui permet d'effectuer un travail, de produire de la lumière, de la chaleur ou un mouvement. Le mot « énergie » vient du bas-latin *energia* qui vient lui-même du grec ancien ἐνέργεια (*energeia*), qui signifie « force en action ».

L'énergie est un concept ancien. Après avoir exploité sa propre force et celle des animaux, l'homme a appris à utiliser les énergies contenues dans la nature (les vents : énergie éolienne et les cours d'eau : énergie hydraulique). Depuis la Révolution industrielle, les ressources, les capacités, et les besoins de l'homme en énergie ont connu une expansion phénoménale. En deux siècles, l'homme est passé des premières machines à vapeur desservant un atelier à vapeur aux centrales nucléaires fournissant de l'énergie à des villes entières.

Dans le *Système international d'unités*, l'énergie s'exprime en « joules ». En 1843, James Joule a mesuré et calculé l'équivalence entre l'énergie mécanique d'un objet en mouvement et la chaleur (énergie thermique) qu'il produit.

L'énergie se manifeste sous diverses formes :

- **Énergie cinétique** d'une masse en mouvement;
- **Énergie potentielle** des divers types de forces s'exerçant entre systèmes;
- **Énergie électromagnétique** associée aux ondes électromagnétiques telle que la lumière;
- **Énergie mécanique** désigne la combinaison de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle mécanique;
- **Énergie nucléaire.**

On qualifie également l'énergie **selon la source** d'où elle est extraite ou le moyen par lequel elle est acheminée. La source d'énergie est le phénomène physique ou chimique qu'il est possible d'exploiter à des fins industrielles:

- Énergie éolienne ;
- Énergie hydraulique ;
- Énergie solaire ;
- Énergie électrique ;
- Énergie chimique ;
- Énergie thermique;
- Énergie nucléaire.

Enfin, troisième distinction, l'énergie est dite « **primaire** » si elle constitue un phénomène naturel, et « **secondaire** » si elle est le résultat d'une transformation volontaire par l'homme.

A noter qu'elle peut également être qualifiée de « renouvelable » si les sources ne s'épuisent pas de façon significative durant son exploitation, tandis que les énergies « non renouvelables » disparaissent une fois utilisées.

Les **énergies renouvelables** sont celles dont les sources sont presque inépuisables. Certaines, comme le vent et l'eau sont utilisées depuis des milliers d'années. D'autres doivent être exploitées de façon rationnelle si on ne veut pas qu'elles s'épuisent. Citons différents types d'énergies renouvelables :

- Le soleil nous éclaire, nous réchauffe et est indispensable au développement de tous les êtres vivants. Grâce à lui les plantes libèrent l'oxygène qui nous permet de respirer. Aujourd'hui on sait utiliser la chaleur du soleil pour créer de l'électricité. Les panneaux solaires captent cette énergie.
- L'homme utilise la force créée par les courants des rivières ou des chutes d'eau pour faire tourner la roue d'un moulin. Aujourd'hui on utilise cette force pour faire tourner les turbines qui produisent de l'électricité.
- Le vent est également source d'énergie. Les oiseaux et les bateaux à voile se servent de l'énergie qu'il libère pour se déplacer. Il permet aussi de faire tourner les ailes des moulins à vent pour pomper de l'eau ou mouliner du grain. Aujourd'hui on utilise la force du vent pour faire tourner des éoliennes qui produisent de l'électricité.
- La chaleur interne de la terre est aussi une énergie considérée comme renouvelable et exploitable. Au centre de la Terre, les roches sont en fusion, il s'agit du magma. On se sert de la vapeur ou de l'eau capturée entre les roches et chauffée par la chaleur de la Terre pour produire de l'électricité et du chauffage. Cette énergie est appelée géothermie, qui est par exemple utilisée pour chauffer les maisons en Islande.



- Les matières organiques végétales ou animales peuvent aussi être utilisées pour produire de la chaleur. On appelle cette énergie la biomasse. Par exemple, la combustion du bois est la plus ancienne des utilisations de cette énergie puisque l'homme préhistorique a maîtrisé le feu pour s'éclairer, se chauffer et cuire les aliments. Mais les forêts doivent être utilisées à bon escient pour éviter de s'épuiser. La vitesse de formation doit être plus grande que la vitesse d'utilisation.

Les **énergies non renouvelables** sont constituées de substances qui mettent des millions d'années à se reconstituer et pour cette raison sont également appelées fossiles (par exemple charbon, gaz,...) parce qu'ils proviennent de la fossilisation d'organismes vivants. Ainsi, on emploie le pétrole pour se déplacer, mais également pour fabriquer du fioul de chauffage, du caoutchouc... Dans quelques dizaines d'années les ressources seront probablement épuisées.

Il existe une autre forme d'énergie non renouvelable : l'énergie nucléaire, produite à partir d'un minéral appelé uranium. La fission des atomes d'uranium libère une très grande quantité d'énergie dont on se sert pour chauffer de l'eau permettant de produire de l'électricité. Mais le problème de la gestion des déchets nucléaires pose de sérieuses questions !



D. Formes et sources d'énergie

Tout ce qui est capable de produire un travail contient de l'énergie. Elle se présente sous plusieurs formes et peut être produite par différentes sources. Citons en plusieurs formes :

- **l'énergie mécanique** : mouvements, forces, pressions, vitesses, déformations...
- **l'énergie thermique** : la chaleur, le froid, les variations de température, les combustions
- **l'énergie électrique** : les piles, le secteur, les lampes, les appareils de chauffage, les moteurs...
- **l'énergie lumineuse** : la lumière, le soleil, les appareils d'éclairage

Il existe des sources d'énergie naturelles et des sources artificielles, c'est-à-dire créées par l'Homme.

Formes d'énergie	Sources d'énergie
énergie mécanique (force motrice, mouvement, vitesse)	Gravitation, musculaire, éolienne, hydraulique, vapeur (pression), moteurs thermiques et électriques, machines
énergie thermique (chaleur, radiations thermiques)	Soleil, combustion du bois, des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), ou d'autres produits riches en carbone (alcools, huiles...), énergie électrique (effet Joule), énergie nucléaire (dans les centrales)
énergie électrique	Foudre, électricité statique, piles, générateurs électriques (dynamos, alternateurs), centrales hydroélectriques, centrales nucléaires, éoliennes
énergie lumineuse	Soleil, appareils d'éclairage
énergie chimique potentielle	Matière organique (végétale et animale), aliments, produits chimiques réactifs, énergies fossiles: houille, gaz, pétrole.



Le soleil est à l'origine de la plupart des sources d'énergie présentes sur terre: chaleur, lumière, croissance des végétaux, élévation des masses d'eau, vents, courants marins, orages.

Un des grands principes à retenir est que l'énergie se transforme mais n'est jamais perdue. L'énergie est **toujours conservée** même si elle change de forme. En d'autres mots, une quantité donnée d'énergie potentielle change toujours pour égaler la quantité d'énergie sous une autre forme.

E. Histoire et caractéristiques

Comment l'homme va-t-il appréhender toutes ces énergies ? Leur maîtrise va être lente et évoluer au gré des découvertes techniques. L'homme a depuis toujours tenté de les apprivoiser pour maîtriser son environnement. Cet historique va en reprendre les différents types :

- le feu utilisé comme source de chaleur et de lumière
- le travail musculaire fourni par l'Homme et les animaux
- le vent et les chutes d'eau activant les moulins à vent et à eau
- les machines qui transforment la chaleur (énergie thermique) en énergie mécanique (ex: la machine à vapeur)
- l'énergie nucléaire libérée par la fission des atomes
- Les énergies renouvelables

1. La Préhistoire et l'Antiquité

L'énergie musculaire est la première source d'énergie utilisée par l'homme. La découverte du feu lui apportera ensuite lumière, chauffage et un meilleur apport calorique grâce à la cuisson des aliments. Le recours à la force animale (bétail) est lié à la sédentarisation de l'homme, il y a 10.000 ans. D'abord utilisé comme produit alimentaire, l'animal est également très vite domestiqué pour être mis au travail, contribuant par là fortement aux progrès de l'agriculture.

Malgré la sédentarisation, ce n'est qu'au quatrième millénaire avant JC que l'homme utilisera l'énergie musculaire des animaux qu'il a domestiqués. Le bétail sert à la traction des charrues et des véhicules, mais aussi comme moteur pour les moulins et manèges. Ainsi, la meule à grains est d'abord actionnée par la force humaine (meule à bras), celle des esclaves, puis par la force animale (cheval, bœuf). Le moulin à traction animale apparaît en 150 avant JC.



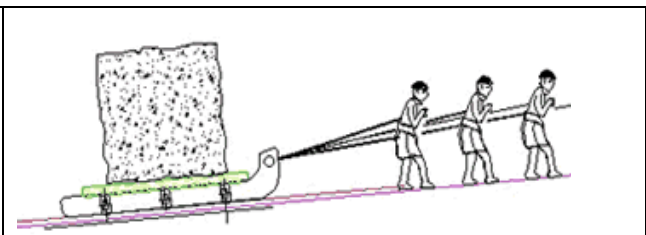
Meule à bras


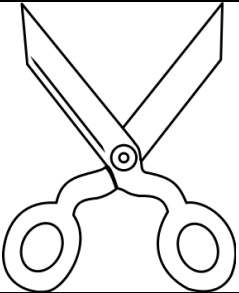


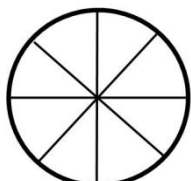
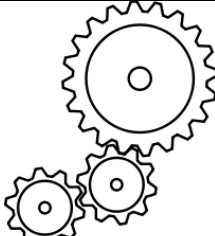
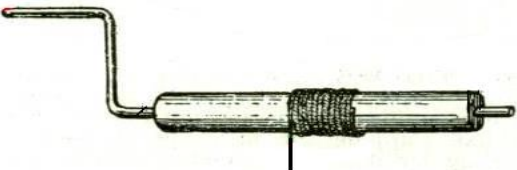


Meule actionnée par un bœuf : selon le principe du manège, un animal attaché à une perche actionne une meule en se déplaçant autour de l'axe vertical

Ne disposant que de sa propre force ou de celle des animaux, l'homme a imaginé une série de techniques réduisant l'effort à fournir pour accomplir des tâches comme soulever, transporter, percer. On appelle ces machines des ***machines simples*** : il s'agit de dispositifs mécaniques dans lesquels la force se transmet directement. Elles sont toujours utilisées aujourd'hui et sont des composants de machines plus complexes et plus performantes. On dénombre habituellement huit machines simples :

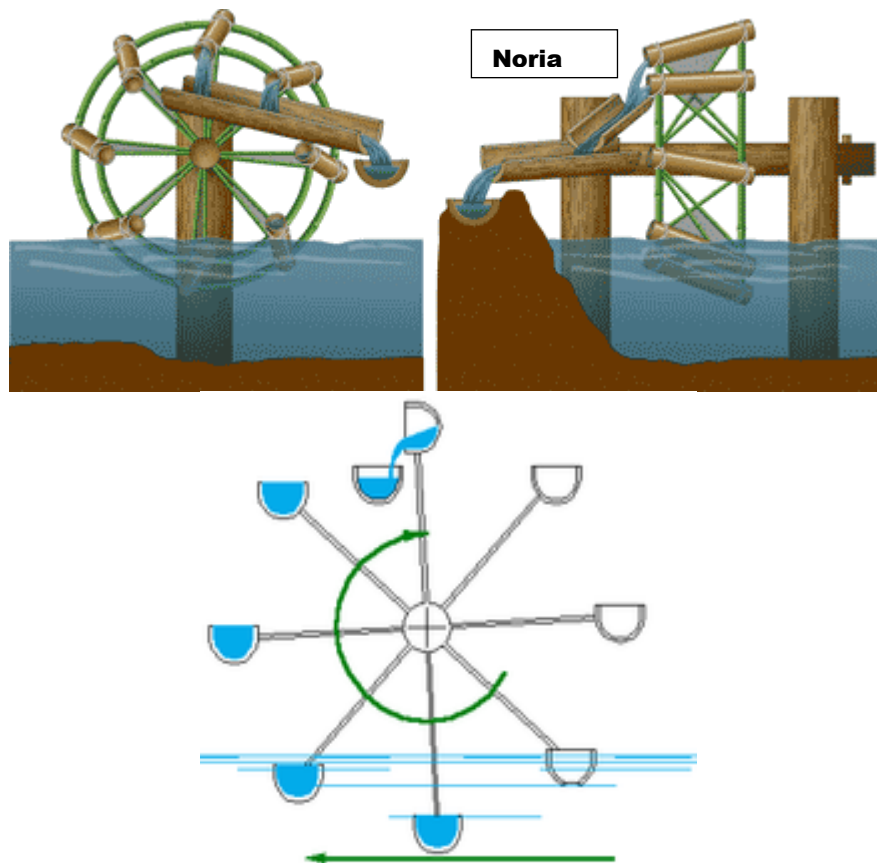
Le plan incliné



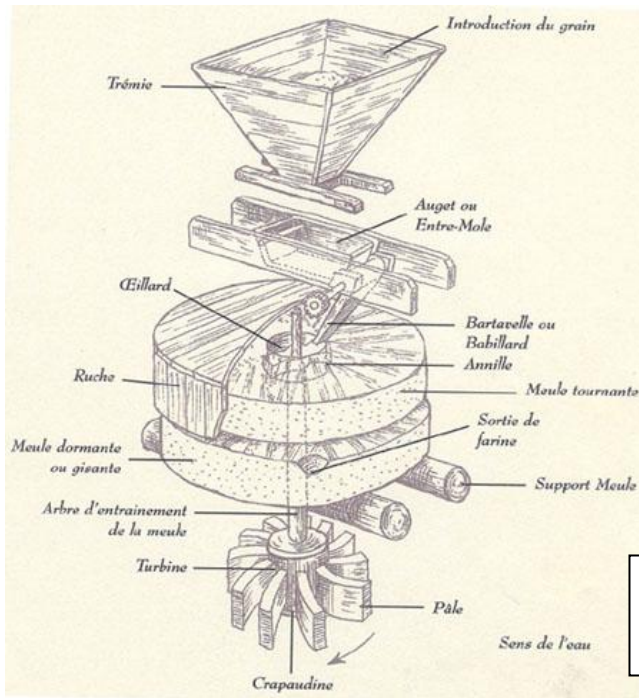
<p>Le coin (par exemple la hache, la charrue)</p>	
<p>Le levier (par exemple, le pied de biche, le bras d'une pompe à eau, la brouette, les ciseaux)</p>	
<p>La vis</p>	
<p>La poulie</p>	
<p>La roue</p>	
<p>L'engrenage</p>	
<p>Le treuil (Constitué d'un cylindre (le « tambour ») qui, actionné par une manivelle, enroule une corde fixée à la charge à hisser)</p>	

L'énergie hydraulique

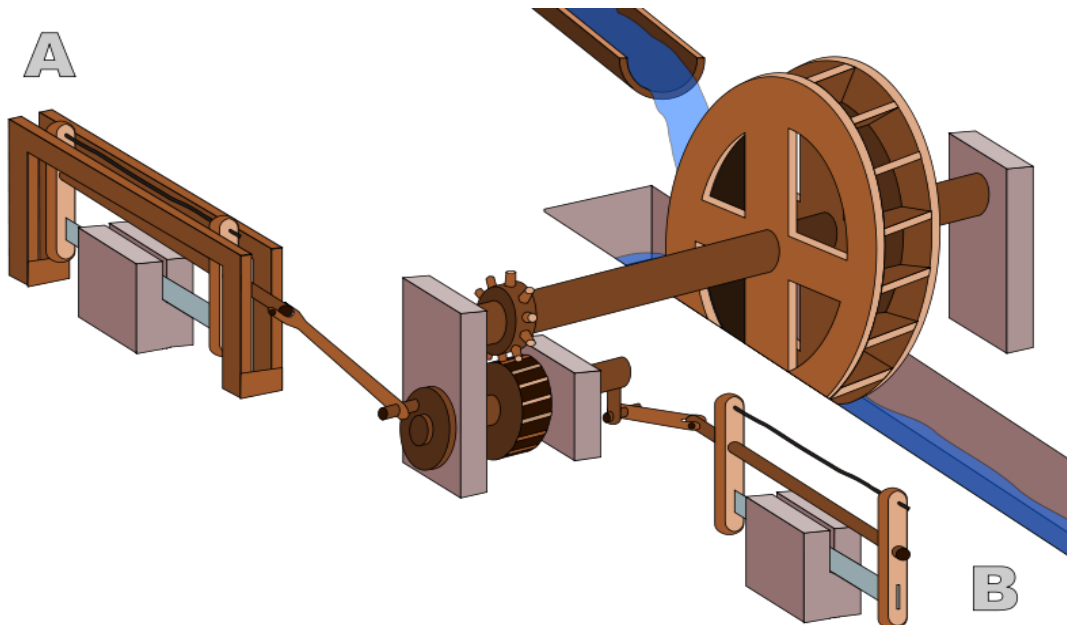
Les hommes de l'Antiquité se sont assez peu intéressés à l'énergie hydraulique. Le climat méditerranéen s'y prête peu : rares sont les cours d'eau ayant un débit constant et les aqueducs sont une solution très coûteuse. La principale machine utilisant la force du courant comme source d'énergie durant l'Antiquité est la **noria**. Il s'agit d'une grande roue à ailettes installée sur un cours d'eau et actionnée par le courant. Un chapelet de godets fixés à cette roue élève et déverse l'eau dans un aqueduc associé qui la distribue. La Noria serait apparue chez les romains au 1er siècle avant Jésus-Christ.



Les premiers moulins à eau construits par les Grecs vers 300-250 avant Jésus-Christ se composaient d'une roue motrice horizontale plongée dans le courant d'eau. L'arbre de la roue se prolongeait verticalement en hauteur, traversait la meule dormante et entraînait la meule courante placée au-dessus. De petites dimensions et à usage domestique, ce type de moulin fut utilisé à travers l'Europe jusqu'à la fin du Moyen Age.

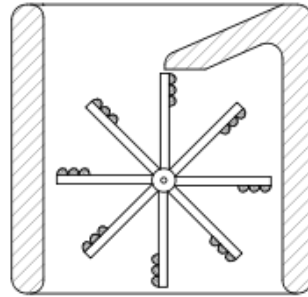
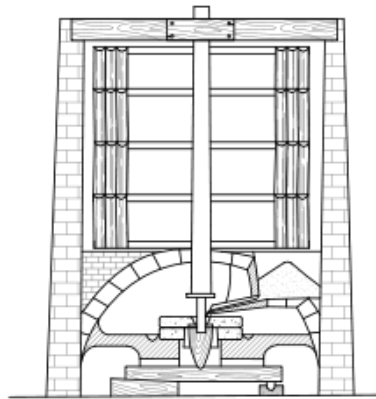


Le moulin à eau à roue verticale est quant lui apparu en 240 avant Jésus-Christ : il nécessite l'utilisation d'un mécanisme d'engrenages, beaucoup plus complexe que celui des moulins à roue horizontale. La plus ancienne machine à eau connue utilisant un système bielle manivelle est représentée sur un bas-relief du 3^e siècle de notre ère à Hiérapolis en Turquie. Elle actionnait une paire de scies destinées à couper de la pierre. Il s'agit cependant probablement d'un cas particulier. Le système bielle manivelle ne connaîtra un réel essor qu'à la Renaissance.



L'énergie éolienne

Durant l'Antiquité, l'énergie éolienne issue du vent n'a servi qu'à la propulsion des bateaux. En effet, le moulin à vent ne sera connu qu'à partir du 7^e siècle après Jésus-Christ et apparaît en Perse. Il est constitué d'un axe vertical avec des pales disposées verticalement confinées à l'intérieur du moulin. Des orifices dans les parois du moulin permettent à l'air de s'engouffrer pour actionner l'éolienne. L'arbre vertical était directement relié à la meule courante, sans transmission. Il servait à l'irrigation des terres cultivées et pour écraser du grain.



Vue en coupe

2. Le Moyen Âge

Pendant toute l'Antiquité, les ingénieurs se sont peu souciés d'alléger le travail des hommes avec des machines puisque la plupart des sociétés antiques recouraient abondamment aux esclaves. Par contre, les occidentaux du Moyen Age ne disposent plus de cette main d'œuvre gratuite. On cherche donc à exploiter au mieux les énergies qui ne font plus exclusivement appel aux muscles humains en développant des machines actionnées par des sources d'énergie que les hommes de l'Antiquité avaient négligées: l'eau et le vent. C'est en observant la nature et sans comprendre réellement les grands principes scientifiques que l'homme a peu à peu utilisé ces forces naturelles pour accomplir ses tâches quotidiennes.

Les moulins à eau

Les moulins à eau étaient très rares et de taille modeste durant l'Antiquité. Ils vont se multiplier et se perfectionner dans le courant du Moyen Age. En effet, ce type de machine permet une productivité bien plus grande que celle fournie par les meules antiques actionnées par des esclaves : chaque moulin à eau peut moudre 150 kg de blé à l'heure ce qui correspond à peu près au travail de 40 personnes.



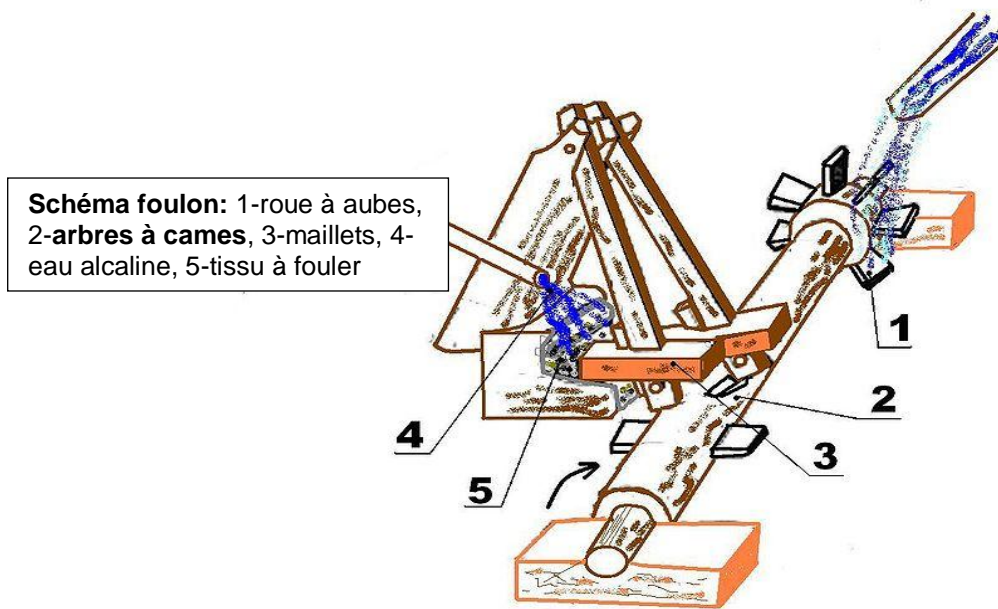
Moulin à eau avec sa roue à aubes situé sur la Lys, à Dennebroeucq.

À l'origine, ils servent essentiellement à moudre les grains, presser les olives, broyer les noix ou les raisins, voire les minéraux... Ils vont être adaptés à des activités industrielles proprement dites grâce à l'introduction d'un mécanisme intermédiaire révolutionnaire, l'arbre à cames : ce dispositif transforme en effet le mouvement circulaire continu de la roue motrice en un mouvement rectiligne et alternatif.

Avec l'arbre à Cames, les roues hydrauliques peuvent actionner des pilons ou des marteaux pour forger le fer (moulins à fer dont les marteaux sont appelés martinets), des scies ou encore des soufflets dans les forges. Les moulins à foulon (les maillets foulent les draps), à chanvre, à pastel, à bière, à papier se multiplient.

Appliqué à toutes sortes d'industries, le moulin à eau est une étape décisive pour l'utilisation artisanale et industrielle de l'énergie hydraulique. Il est l'élément-clé de la révolution technique qui

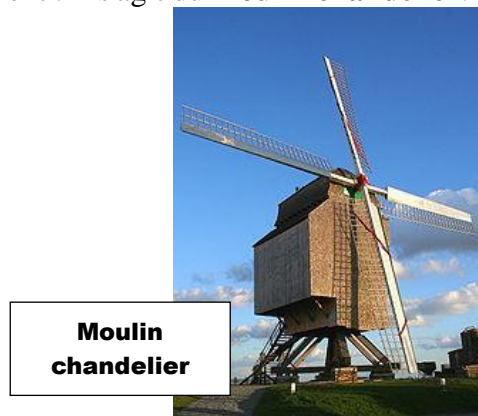
commence au 11^e siècle au Moyen Âge et symbolise à lui seul la toute première révolution industrielle en augmentant la productivité et en s'adaptant à diverses industries.



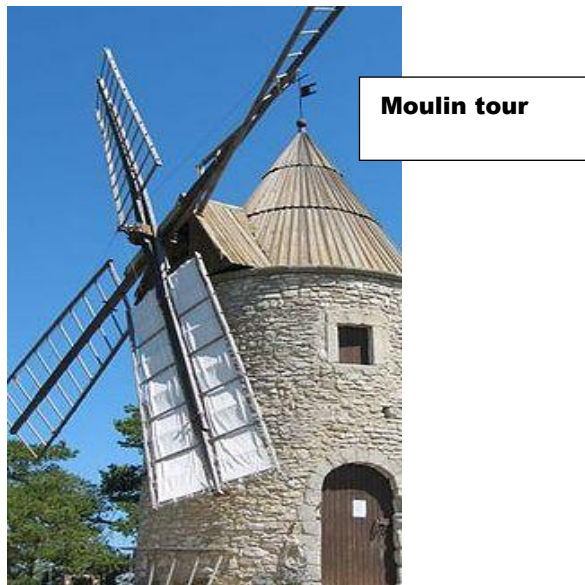
Les moulins à vent

Les premiers moulins à vent sont signalés en Europe à la fin du 9^e siècle en Angleterre. Ils ne se généralisent pourtant dans toute l'Europe que vers le 12^e siècle, d'abord sur les côtes maritimes du Nord, puis dans les pays de la bordure atlantique (Portugal, Espagne, France). Ils sont en général placés sur des petits tertres et éminences, soit isolés, soit groupés. Disposant d'un axe horizontal fixe, deux problèmes techniques vont néanmoins se poser : d'abord, les ailes du moulin doivent toujours être face au vent, ce qui constitue une contrainte importante : le vent est capricieux et change régulièrement de direction contrairement aux rivières dont la direction du courant est constante. Ensuite, le meunier doit pouvoir transformer le mouvement de rotation vertical des ailes pour actionner la meule dans un mouvement de rotation horizontal.

Ce dernier problème sera résolu en liant la meule aux ailes par une série d'engrenages. Quand aux questions d'orientation par rapport au vent, les charpentiers médiévaux inventent des moulins pivotant complètement sur un énorme trépied de bois. D'abord manœuvré manuellement par le meunier, il sera par la suite muni d'un gouvernail actionné automatiquement par une petite roue à pales mue par le vent : Il s'agit du **moulin chandelier**.



Plus tard, seul le toit pivotera en suivant la direction du vent, à partir d'une tour fixe : c'est le **moulin-tour**.



L'eau et le vent resteront pendant des siècles les sources d'énergie principales et les techniques, hydrauliques surtout, feront l'objet de recherches et d'améliorations constantes. Le principe des moulins a peu évolué depuis le 13^e siècle, mais à partir du 16^e siècle, des perfectionnements améliorent le rendement des roues hydrauliques (diamètres des roues, position de celles-ci, complexification des systèmes d'engrenages, etc.).

3. Les débuts de la vapeur, les 17^e et 18^e siècles

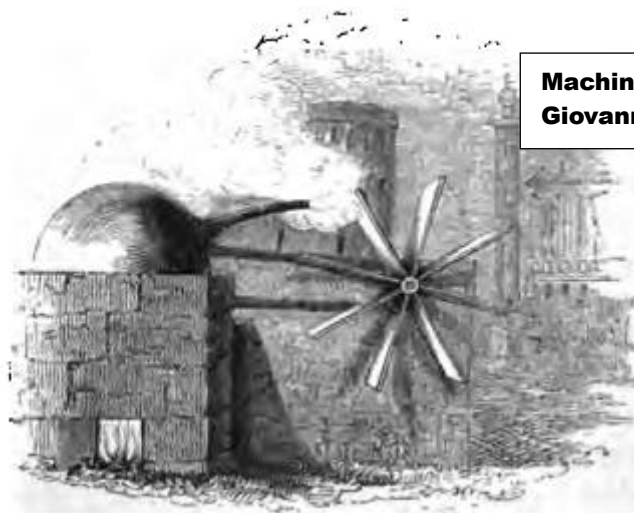
Les 17^e et 18^e siècles constituent une période de transition. Le bois reste le combustible de base tandis que les principales sources d'énergie demeurent l'eau, le vent et la force musculaire humaine ou animale. Mais de nouvelles possibilités se font jour grâce à une meilleure compréhension de l'ébullition de l'eau : la pression exercée par la vapeur d'eau attire l'attention de techniciens et de savants. La machine à vapeur de James Watt (1736-1819), mise au point à partir de tâtonnements préalables initie une évolution radicale. Des sources d'énergies naturelles comme le vent ou l'eau, on développe celle de la vapeur en utilisant le charbon : c'est le début de la Révolution industrielle

On connaît la vapeur depuis longtemps pourtant : tout commence dans l'Antiquité avec l'éolipile d'Héron à Alexandrie (1^{er} siècle après Jésus-Christ). Celui-ci utilisait la vapeur d'eau pour faire tourner une petite sphère connectée par des tubes creux à un chaudron rempli d'eau et mis sur le feu. Même si il connaît déjà l'énergie issue de la vapeur, il ne pourra pas l'exploiter de manière efficace. Il s'agit d'un cas concret où la découverte d'un principe scientifique n'aboutit pas au développement technologique dans l'immédiat.



**Éolipyle d'Heron
d'Alexandrie
ill. de 1876**

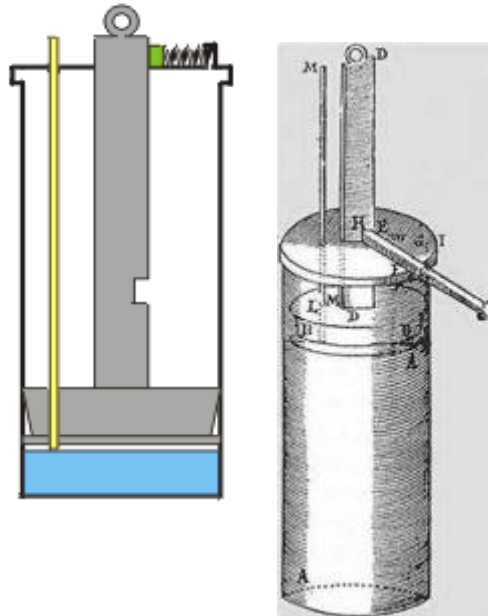
Ce n'est qu'au 17^e siècle que l'on va penser à utiliser la vapeur d'eau comme source d'énergie. En 1629, l'utilisation du jet de vapeur pour frapper les pales d'une roue et la faire tourner fait l'objet de travaux de l'Italien Giovanni Branca (1571-1645), qui conçoit ainsi l'ancêtre de la turbine à vapeur.



**Machine de
Giovanni Branca**

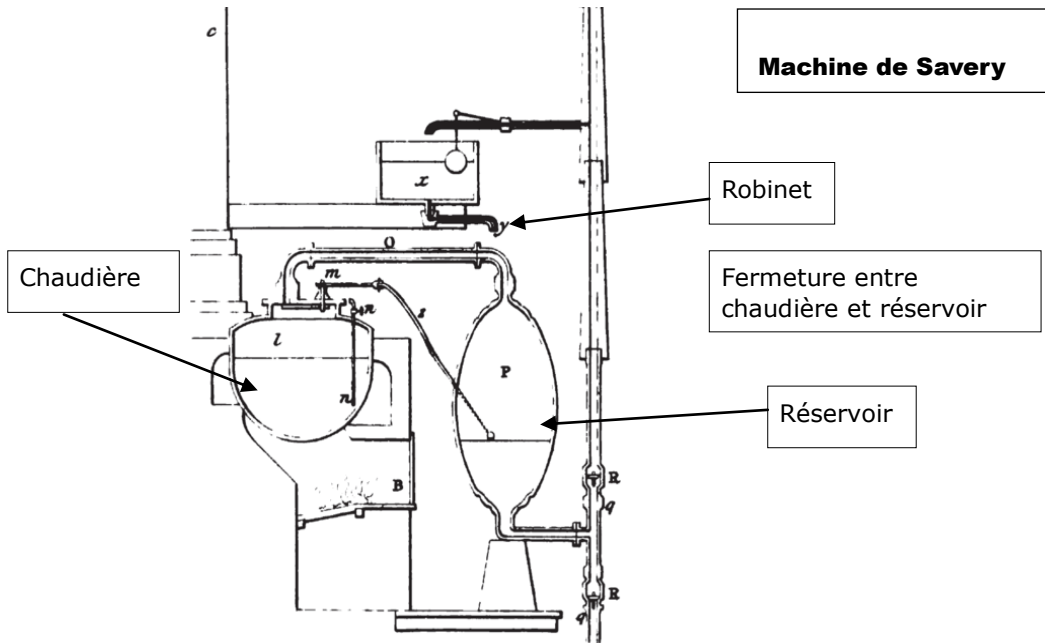
Par ailleurs, la pression atmosphérique fait l'objet de travaux et d'expériences au 17^e siècle : le médecin français Denis Papin inventa, en 1690 une première machine qui utilise la vapeur d'eau et la pression atmosphérique pour actionner un piston.

Premier cylindre-piston à vapeur, 1690.



Son appareil expérimental est un simple cylindre/piston de 4 cm de diamètre, dans lequel il met de l'eau avant de le placer sur le feu. L'eau en chauffant se transforme en vapeur, augmente de volume et le piston s'élève. Le piston est bloqué en position haute, grâce à un cran d'arrêt placé sur la tige. On retire alors le cylindre du feu et le laisse refroidir. Devenue froide, la vapeur se condense. Ainsi le vide était créé dans le piston. Lorsqu'on relâche le cran d'arrêt, la colonne d'air pèse de tout son poids sur le haut du piston, ce qui permet à la tige du piston de soulever un poids allant jusqu'à 30kg.

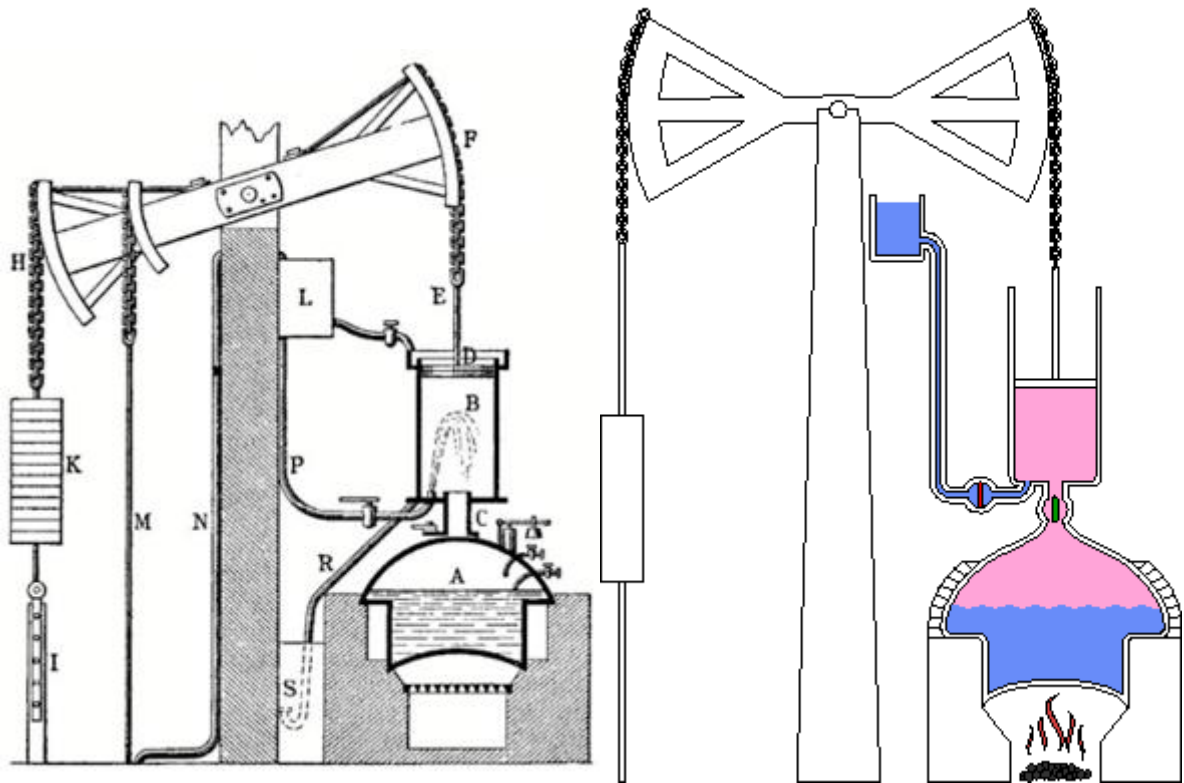
En 1698, Thomas Savery utilise l'idée de Papin et l'exploite pour réaliser une machine à vapeur servant à pomper l'eau. Au lieu d'utiliser un piston, Savery se sert de la vapeur d'eau directement pour faire remonter l'eau des mines.



La vapeur était produite dans une chaudière séparée (l). Cette vapeur remplissait le réservoir (P) et la colonne (R), chassant ainsi l'air qui était contenu. À ce moment, on fermait le tuyau entre la chaudière et le réservoir et on refroidissait le réservoir (P) par de l'eau froide provenant du robinet (y). La vapeur se condensait et un vide se créait dans le réservoir (P). L'eau du puits était aspirée et remplissait le réservoir (P). Enfin, la réouverture du tuyau entre le réservoir et la chaudière laissait passer la vapeur sous pression, qui poussait l'eau contenue dans le réservoir et l'élevait dans la colonne (P), ce qui permet de purger.

Associant les idées de Papin et de Savery, Newcomen conçoit en 1712 la première machine atmosphérique¹ utilisée commercialement. Il reprend l'idée du cylindre et du piston de Papin mais n'utilise pas l'extension de la vapeur pour actionner un piston ou expulser l'eau. La pompe fonctionnait en produisant un vide dans une chambre fermée où l'on fait se condenser de la vapeur, grâce à un jet d'eau.

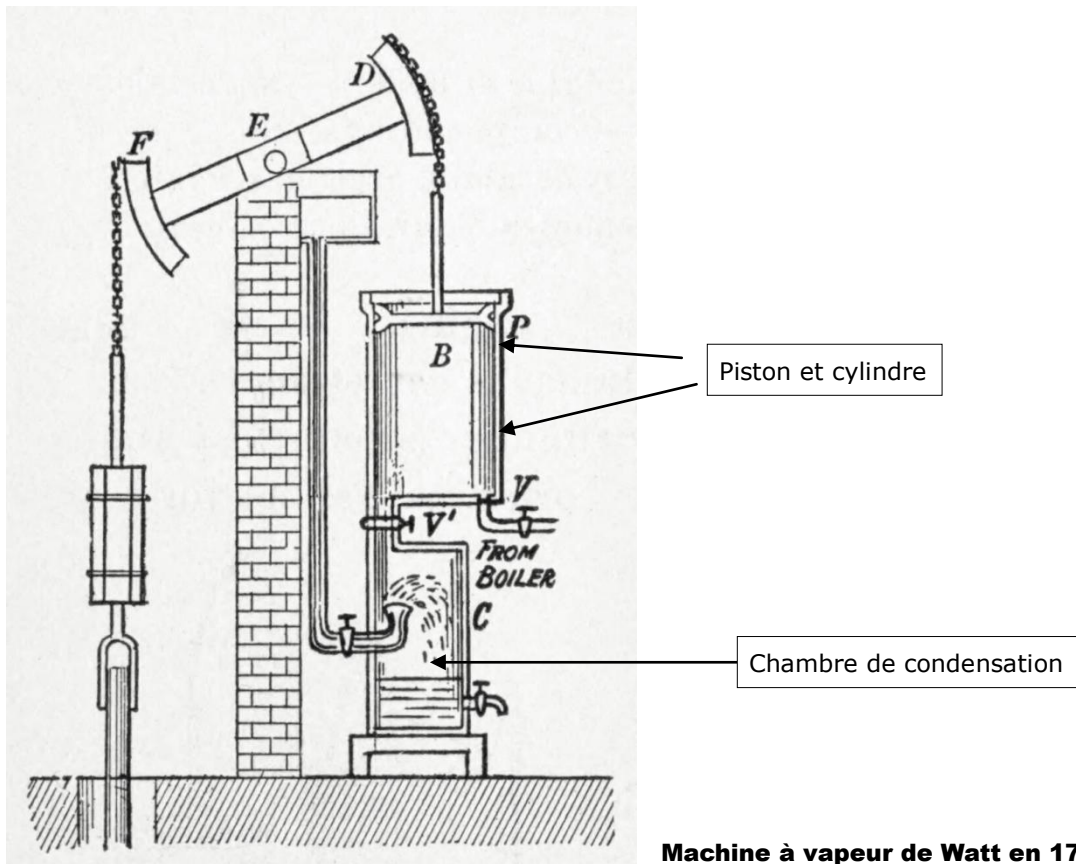
¹ On parle de machine atmosphérique car c'est la pression de l'atmosphère qui fournit le travail utile.



La machine de Newcomen se compose d'un cylindre vertical muni d'un piston dont la tige est reliée à un balancier par une chaîne. De l'autre côté du balancier une chaîne est fixée à la tige de la pompe. Une chaudière est installée sous le cylindre. La vapeur provenant de la chaudière remplit le cylindre et pousse le piston (la pression étant à peine supérieure à la pression atmosphérique, le mouvement n'était possible que grâce au contrepoids). L'air est ainsi chassé. On refroidit le cylindre en y injectant de l'eau froide par un robinet. La vapeur se condense. Un vide partiel étant créé de la sorte dans le cylindre, la pression atmosphérique externe pousse le piston et le fait descendre. De l'autre côté du balancier, la tige de la pompe remonte et l'eau de la mine est aspirée. Une fois le piston descendu, on ferme le robinet d'eau froide, on purge le cylindre et on ouvre à nouveau le robinet de vapeur pour recommencer un nouveau cycle. Le mouvement de va-et-vient du piston est donc communiqué à la pompe par le balancier. La force motrice s'exerce pendant la descente du piston sous l'effet de la pression atmosphérique; la machine de Newcomen est donc bien une machine atmosphérique.

Pour voir la machine de Newcomen en action:

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Newcomen_atmospheric_engine_animation.gif

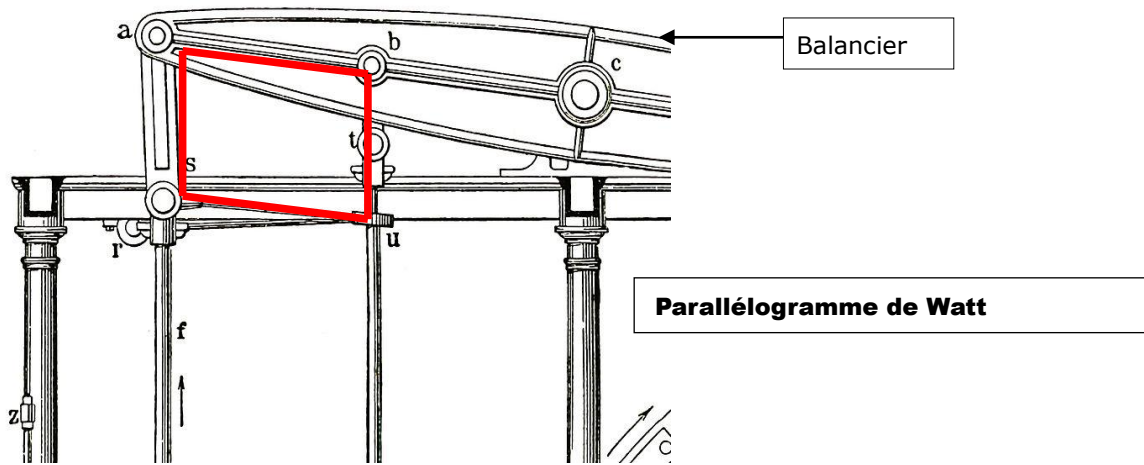


Machine à vapeur de Watt en 1769

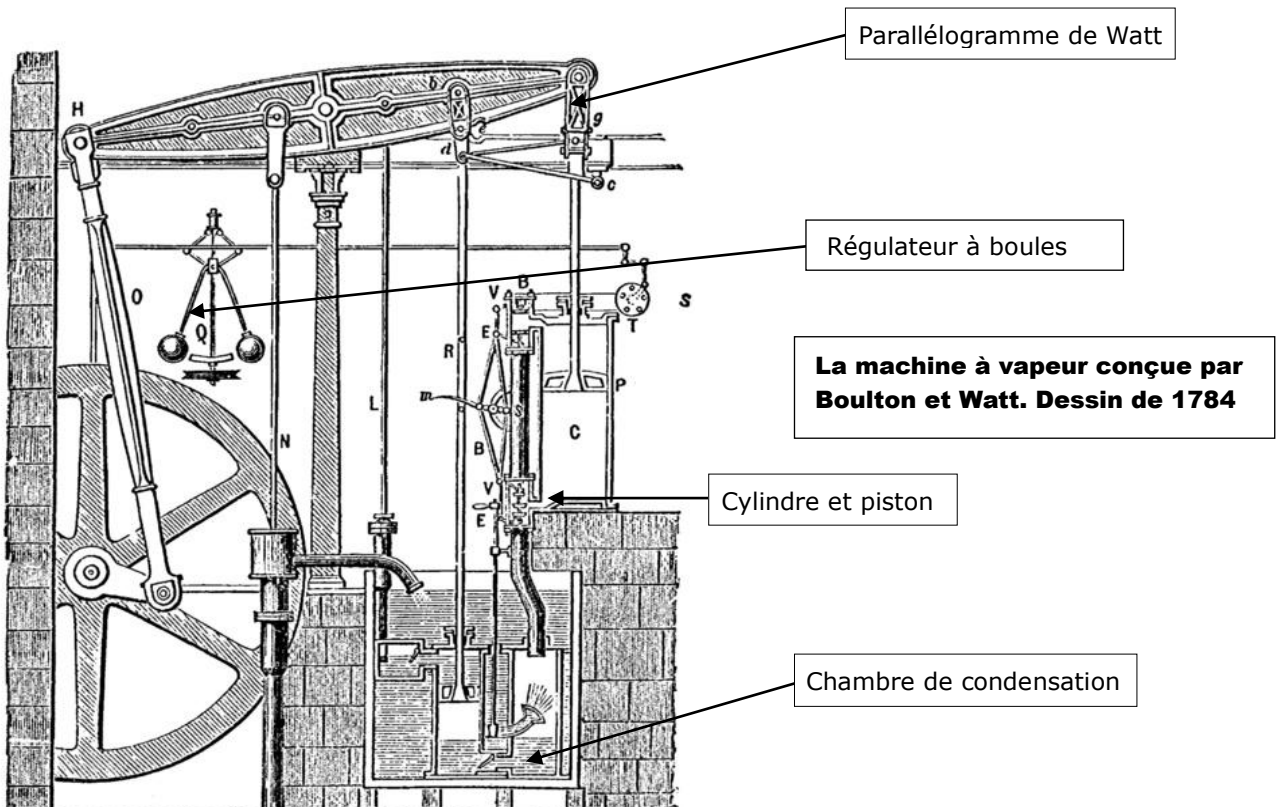
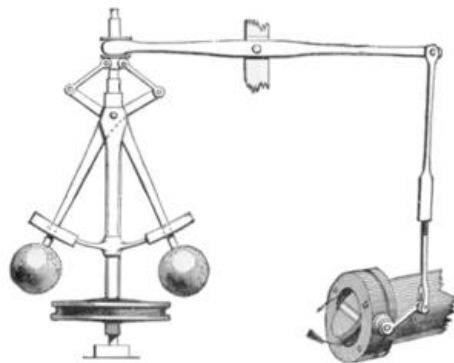
Cette machine est très utilisée dans toutes les mines d'Angleterre au 18^e siècle. Moins de 10 ans après son invention, elle est introduite sur le continent et va connaître de multiples améliorations techniques. En termes de rendement, elle faisait en 48 heures l'équivalent du travail de 20 ouvriers et d'un manège de 50 chevaux travaillant jour et nuit pendant une semaine. Cependant, malgré les améliorations, la machine de Newcomen avait un rendement limité tout en consommant d'énormes quantités de charbon.

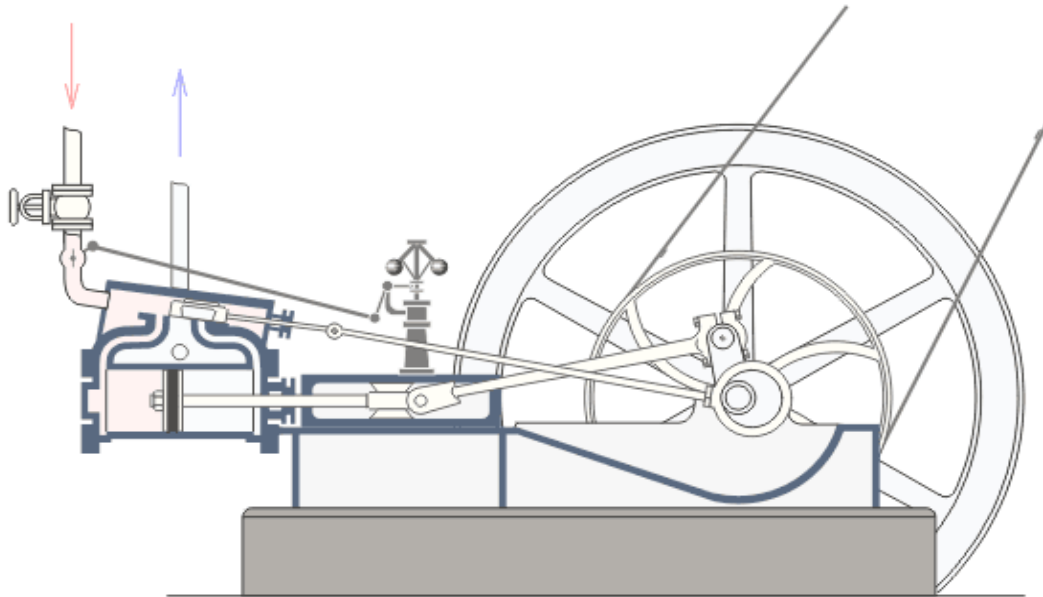
En 1763, James Watt s'y intéresse et va imaginer une véritable machine dans laquelle la vapeur est refroidie grâce à une chambre de condensation séparée. Cette innovation permet de refroidir la vapeur sans refroidir le cylindre et évite ainsi une trop grande perte de chaleur. Il déposera un brevet en 1769. Grâce à cette innovation, la machine de Watt consommera 75% de charbon en moins que la machine de Newcomen

Il apportera par la suite de nombreuses améliorations à sa machine pour en augmenter le rendement et l'efficacité. Par exemple, il met au point en 1782 la machine à double action dans laquelle la vapeur entraîne le piston tant pour la montée que pour la descente. Ce judicieux système permet à la machine de fonctionner en continu et la rend indépendante de la pression atmosphérique. Deux ans plus tard, il imagine un système de transmission ayant une forme de parallélogramme - le parallélogramme de Watt - permettant de convertir le mouvement rectiligne du piston en mouvement circulaire.



En 1788, il crée le régulateur à boules qui permet de contrôler l'arrivée de la vapeur. Si la vitesse de la machine devient trop importante, les boules s'écartent sous l'effet de la force centrifuge et actionnent le levier de commande la fermeture des soupapes.





*Pour voir la machine
à vapeur en action :*

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Steam_engine_in_action.gif_engine_in_action.gif

Les progrès dus à James Watt optimisent le rendement de la machine à vapeur en partie car ils l'affranchirent de la pression atmosphérique. Watt est à l'origine du premier moteur thermique fonctionnant uniquement à la vapeur. Pour la première fois, l'homme disposait d'une énergie fiable et n'était plus tributaire des animaux, de l'eau ou du vent.

En matière de combustible, le bois devenu rare était remplacé par le charbon. La houille, exploitée en Angleterre dès le 12^e siècle, est utilisée de plus en plus largement à partir du 17^e siècle comme combustible pour le chauffage domestique ou dans les brasseries, les verreries et autres briqueteries.

4. La Révolution industrielle

La machine à vapeur transforme donc l'énergie thermique issue de la vapeur d'eau fournie par une ou plusieurs chaudières en énergie mécanique. C'est un moteur thermique à combustion externe !

Toutes ces innovations vont changer radicalement le travail dans les manufactures. Disposant d'une énergie plus abondante et plus facilement accessible, les entreprises sont maintenant libres de s'installer n'importe où et produisent plus et plus vite; le travail s'y divise en tâches successives. La machine de Watt trouve de nombreuses applications dans l'industrie en particulier l'industrie textile qui est alors en pleine expansion en Angleterre. En 1800, 496 machines à vapeur Boulton et Watt étaient en service en Grande-Bretagne.

Mais la vapeur contribuera aussi au développement des transports tels que les bateaux à vapeur puis les locomotives, inaugurant une ère nouvelle : la Révolution industrielle. C'est en Angleterre qu'elle prend d'abord son essor à la fin du 18^e siècle; Rapidement elle prend pied sur le continent, en Belgique, en France et aux Pays-Bas, avant de s'étendre au reste de l'Europe, à l'Amérique et au Japon. Dans tous les pays touchés par cette révolution, on observe plusieurs développements :

- L'introduction de la machine à vapeur permet la mécanisation et une rentabilité accrue.
- Le remplacement de l'artisanat rural par la fabrication dans les usines des villes.
- La formation d'un nouveau mode de production et le développement d'une organisation scientifique du travail (division du travail, travail à la chaîne).
- La Révolution industrielle est également démographique. Entre 1800 et 1900, l'Europe passe de 146 millions d'habitants à 295 millions.
- L'industrialisation de l'Europe va de pair avec une urbanisation qui transforme ses territoires et ses sociétés. Au 19^e siècle de plus en plus d'Européens vivent dans les villes. La croissance urbaine est alimentée par l'exode rural : les paysans quittent leur campagne pour venir s'installer et travailler en ville. Le Royaume-Uni est alors le pays le plus industrialisé et le plus urbanisé (73% d'urbains en 1911), car industrialisation et urbanisation sont deux phénomènes liés.
- Développement de nouvelles classes sociales (prolétariat, bourgeoisie industrielle, ...) avec l'émergence d'importants conflits sociaux. La Révolution industrielle, c'est le triomphe du capitalisme.

Mais au 20^e siècle, la machine à vapeur va être supplantée par la turbine, le moteur électrique et le moteur à explosion.



5. L'ère du pétrole

Le pétrole était déjà connu du Proche-Orient ancien, où il sert de mortier aux constructions babyloniennes et de produits de calfatage aux navires des Phéniciens. Il était aussi utilisé comme matériel d'éclairage dans les zones où il affleurait à la surface du sol. Mais il restait peu utilisé à cause de la mauvaise odeur que dégage sa combustion.

C'est au milieu du 19^e siècle que l'on commence son exploitation. Le premier brûleur à huile est breveté en 1861 entraînant l'expérimentation du pétrole dans tous les domaines avides d'énergie. L'idée d'élaborer un moteur à combustion interne prend corps au cours du 19^e siècle. Ce type de moteur s'oppose à la machine à vapeur qui fonctionne par combustion externe (où la chaudière est séparée de la machine motrice). Le développement de cette technologie nouvelle sera relativement long. Les premiers moteurs se révèlent peu économiques en combustible et peu puissants. Il faudra attendre 1885 pour que le premier moteur à essence voie le jour dans les ateliers des Allemands Carl Benz et Gottlieb Daimler. L'Allemand Rudolf Diesel dépose le brevet du moteur du même nom en 1892. C'est le moteur Diesel qui devient au 20^e siècle le moteur de prédilection des navires, des locomotives et des camions, ainsi qu'un auxiliaire précieux de l'industrie et de l'armée.

Le pétrole représentera par la suite une source de richesse importante. La plupart de nos moyens de communication en dépendent aujourd'hui. Le pétrole nous est vital aujourd'hui dans de nombreux domaines. Cette énergie qui fait avancer nos voitures et nos camions, qui fait voler nos avions, qui chauffe nos maisons et nos bureaux, qui permet de nous nourrir grâce aux engrais, à la mécanisation de l'agriculture ou de la pêche et qui nous procure les matières plastiques, n'est pourtant pas éternelle et d'ici quelques décennies les réserves seront épuisées. De plus, le pétrole est présent dans de nombreux matériaux tels que les matières plastiques, les textiles, les caoutchoucs artificiels.

6. L'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire provient de la réaction de fission des noyaux atomiques découverte à la fin des années trente. L'énergie nucléaire est localisée dans les noyaux des atomes. Ces noyaux, qui sont 100.000 fois plus petits que les atomes eux-mêmes, sont constitués de particules plus élémentaires, les protons et les neutrons, très fortement liés entre eux. La fission consiste à casser des noyaux lourds, comme ceux de l'uranium 235 ou du plutonium 239, sous l'effet de l'impact d'un neutron. C'est l'énergie libérée par cette réaction qui est utilisée dans les réacteurs nucléaires, une énergie considérable puisqu'un seul gramme d'uranium fournit autant d'énergie que 3 tonnes de charbon !

Pendant la Seconde Guerre mondiale, la production d'armes atomiques était la principale raison d'être de l'industrie nucléaire. Depuis les années 1950, cette industrie travaille aussi pour la production d'énergie électrique.

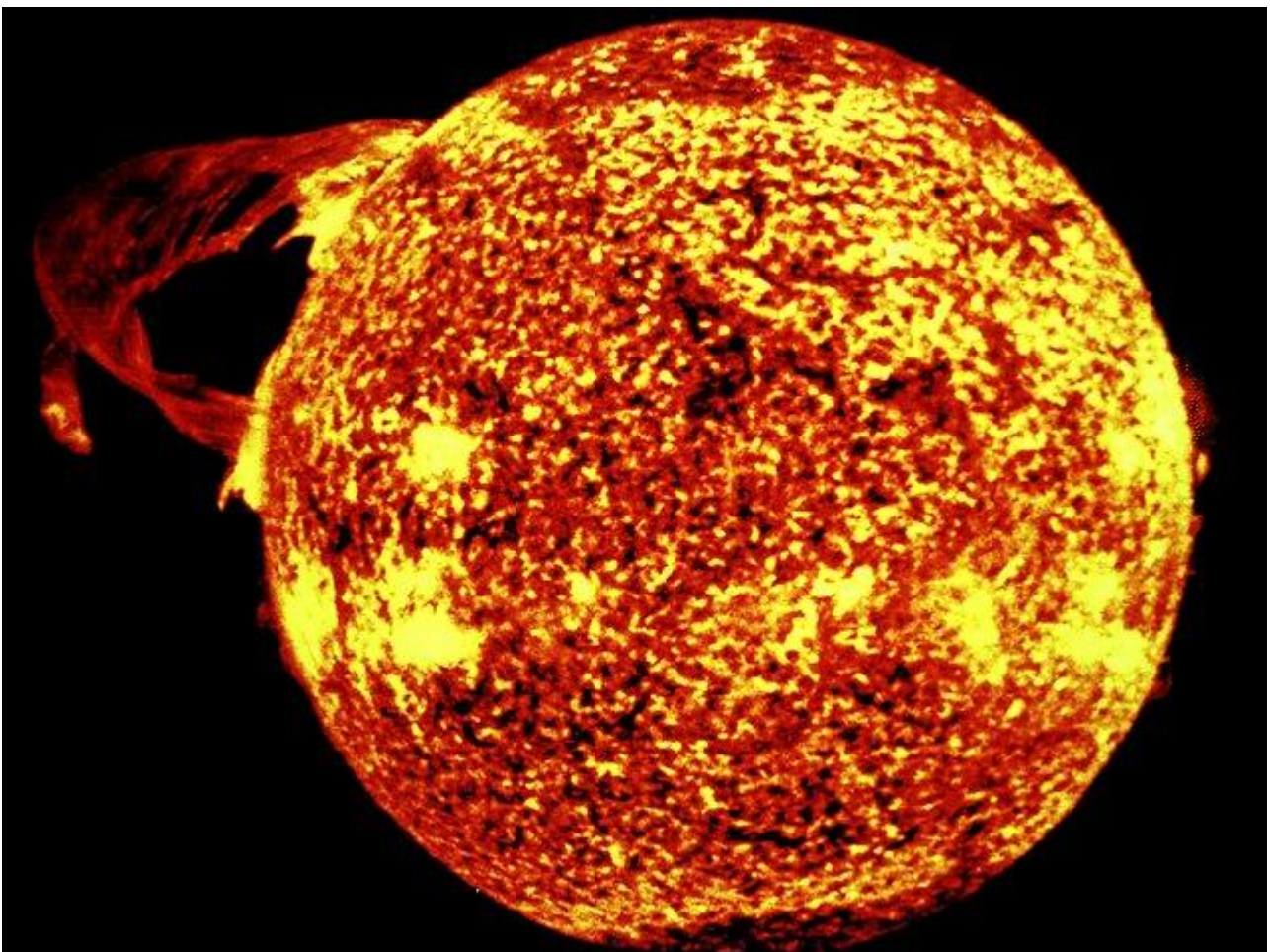
Il s'agit d'une activité de haute technologie qui demande un contrôle rigoureux et permanent. Ce contrôle est aussi bien le fait des autorités de sûretés nationales (Autorité de sûreté nucléaire pour la France) qu'internationales (comme l'AIEA, ou Euratom en Europe).



7. En conclusion, les énergies renouvelables, le futur ?

Il est certain que d'ici quelques dizaines d'années, notre planète ne disposera plus d'autant de source d'énergie fossile que nous n'en consommons aujourd'hui, par exemple de pétrole. La lutte contre l'effet de serre doit également amener les hommes à réduire fortement nos émissions de gaz carbonique CO_2 et limiter notre consommation d'énergies fossiles.

Actuellement les combustibles fossiles tels que le gaz, le pétrole et le charbon fournissent 85% de l'énergie consommée dans le monde. Ces combustibles ne sont pas inépuisables et contribuent fortement au réchauffement climatique. D'autres formes d'énergie sont possibles : celles renouvelables entre autre : énergie solaire, éolienne, hydraulique et la géothermie. Elles représentent une grande partie de notre avenir énergétique.



Bibliographie

Pierre-Louis VIOLLET, *Histoire de l'énergie hydraulique : moulins, pompes, roues et turbines de l'antiquité au XXe siècle*, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 2005

François MICHEL, *L'énergie à petits pas*, Acte Sud Junior, 2010

Kate MAC ALLAN, *Les énergies : Niveau 5, Cycle 3*, Hachette Education, 2010

Christian NGO, *L'énergie : Ressources, technologies et environnement*, Dunod, 2008

Elisabeth DRYE, *Histoire des techniques de l'an mil à nos jours*: Hatier, 1993

Machines et mécaniciens, Les Cahiers de la Fonderie, nr. 10, 1991

Liens utiles

- L'histoire des sources d'énergies : <http://www.planete-energies.com/>
- L'histoire de la noria: <http://www.machinerylubrication.com/Read/1294/noria-history>
- Palais des découvertes:
http://www.palais-decouverte.fr/index.php?id=1393#irfaq_6_7203c
- Les machines à vapeur:
http://visite.artsetmetiers.free.fr/machine_vapeur.html
- Educapoles, 13 activités à faire en classe: <http://www.educapoles.org/fr>
- La localisation des sources d'énergies :
http://www.sciencemuseum.org.uk/onlinestuff/games/whos_got_what.aspx
- Des expériences sur Wikidébrouillard:

<http://www.wikidebrouillard.org/index.php/Energie>

*Sauf mention spéciale, toutes les images et photos de ce dossier sont sous licence
Creative Commons ©*

2. LES ENERGIES. PROLONGEMENT

Nous proposons ci-dessous une série d'activités à réaliser en classe, en prolongement de la visite à La Fonderie. Le professeur trouvera des documents destinés aux élèves, suivi du corrigé des exercices.

1. Rue du moulin

- Rechercher dans sa commune les rues du moulin
- S'agissait-il d'un moulin à eau ou à vent?
- A quoi servait ce moulin?
- Imprimer une carte de Bruxelles ou de la commune et coller des moulins à chaque endroit identifié.

2. Fiches machines

3. Ligne du temps – énergies/inventions

4. Expressions moulin

5. Sources d'énergie

6. Quizz Energies