

Thème 2 : le futur des énergies

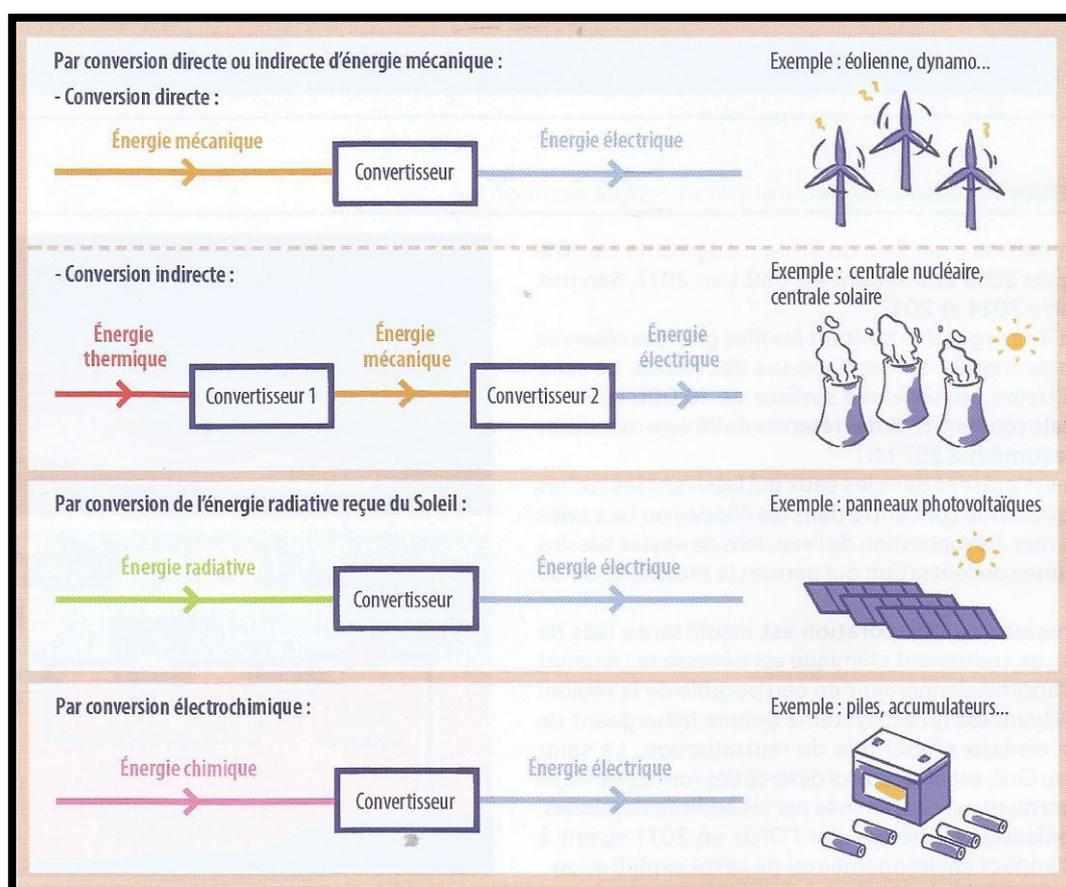
2.2 Les atouts de l'électricité

Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie (voir page 115)

Contenu maths : la notion de rapport / la notion de pourcentage

L'énergie électrique présente de sérieux atouts pour les choix d'avenir. Il est possible de la produire sans combustion, c'est-à-dire sans émettre de gaz à effet de serre qui sont responsables du réchauffement climatique. Il s'agit pour cela de réaliser une conversion d'énergie à partir d'une énergie renouvelable ou sans combustion.

Il est assez facile, grâce à des convertisseurs de bons rendements, de produire de l'énergie électrique à partir de différentes ressources énergétiques primaires (eau, vent, soleil, uranium, etc). Il est possible de produire de l'énergie électrique sans combustion par les méthodes suivantes :



Pour une production d'énergie à puissance constante, le rendement énergétique est le rapport entre l'énergie (ou la puissance) en sortie de chaîne de conversion et l'énergie (ou la puissance) à l'entrée de chaîne de conversion.

$$r = \frac{E_{\text{sortie}}}{E_{\text{entrée}}} = \frac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}}$$

Puisqu'un système ne peut restituer plus qu'on ne lui a fourni, le rendement a toujours une valeur comprise entre 0 et 1. Il peut également s'exprimer en pourcentage.

Exercice 1

Quel est le rendement de cette chaîne de transformation énergétique ? Expliquer votre raisonnement...

1 Écrire une chaîne de transformation énergétique

Les panneaux photovoltaïques peuvent convertir une énergie radiative en énergie électrique. Les transferts d'énergie au niveau d'un panneau photovoltaïque sont modélisés comme ci-contre :

$E_{\text{entrée}} = 110 \text{ MWh}$
Énergie radiative

$E_{\text{sortie}} = 100 \text{ MWh}$
Énergie électrique

Exercice 2

Pour la centrale solaire thermique Thémis décrite ci-dessous, quel est le rendement du système de production d'énergie électrique ? Expliquer votre raisonnement...

2 Produire de l'énergie électrique à partir du rayonnement solaire

En plus des panneaux photovoltaïques, il est possible d'exploiter l'énergie solaire à l'aide d'un procédé différent : les centrales solaires thermiques comme *Thémis* dans les Pyrénées. L'Espagne a inauguré en 2017 sa première centrale solaire « à concentration », située à 25 km à l'ouest de Séville, *Gemasolar* en Andalousie. Ce complexe est capable de produire une puissance électrique de 11 MW.

Dans les systèmes de centrales solaires à concentration (*Concentrated Solar Power - CSP*), les rayons sont réfléchis par des miroirs qui focalisent l'énergie solaire en un seul point, appelé capteur solaire. Dans le projet espagnol, 2 650 miroirs mobiles (héliostats) de 120 m² chacun, concentrent un rayonnement de 115 m de hauteur dans laquelle se trouvent le fluide caloporteur (du sel fondu) et une turbine à vapeur.

Exercice 3

Pour l'éolienne, un vent souffle à 10 mètres par seconde pendant deux heures. Calculer l'énergie électrique produite pendant cette durée. Expliquer de manière détaillée votre démarche. Vous tiendrez compte de la formule proposée ci-contre permettant de calculer l'énergie cinétique du vent ainsi que des renseignements proposés ci-dessous.

Énergie cinétique du vent

$$E_c = \frac{1}{2} \times \rho \times \pi \times R^2 \times \Delta t \times v^3$$

Avec ρ la masse volumique de l'air, $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 R le rayon des pâles (en m) ;
 v la vitesse du vent (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) ;
 Δt (en s) la durée pendant laquelle le vent fournit de l'énergie à l'éolienne.

3 Produire de l'énergie électrique à partir du vent

Schéma d'une éolienne

Rendement d'une éolienne à axe vertical modèle Fairwind F64-40

Rendement instantané global

Numérique : carte du potentiel éolien en France

Exercice 4

Calculer la puissance nucléaire investie pour l'exploitation d'un réacteur REP dans le cadre de son fonctionnement nominal. Préciser l'économie de puissance envisagée par le passage à la nouvelle génération de réacteur. Proposer une conclusion...

Les réacteurs nucléaires de troisième génération, appelés communément EPR, affichent une puissance de 1 600 à 1 650 MW alors que ceux de la génération précédente, REP, atteignaient 1 300 MW. Selon l'entreprise ORANO (ex AREVA), leur rendement atteindra 37 % par rapport à 33 % pour ceux de la génération précédente.

Exercice 5

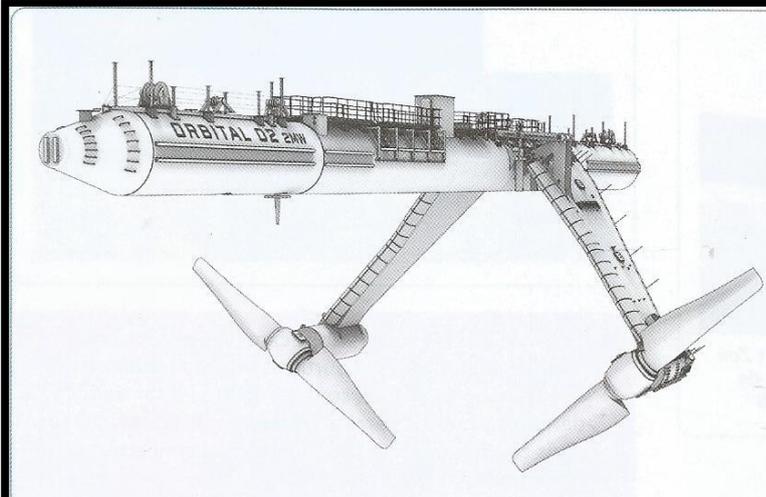
Données :
 Variation d'énergie potentielle (E_p) d'une masse m (en kg) entre deux points situés à une différence d'altitude h (en m) : $\Delta E_p = m \times g \times h$
 Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
 Masse volumique $\rho = \frac{m}{V}$; $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$



Dans les Vosges le lac Blanc est à 1060 mètres d'altitude et le lac Noir 960 mètres. Une conduite d'eau relie ces deux réserves semi-naturelles. Calculer l'énergie maximale que l'on peut espérer produire en faisant fonctionner la centrale pendant une durée de 5 heures, avec un débit d'eau de 2 mètres cubes par seconde et un rendement de 100%.

Exercice 6

En 2016, une hydrolienne flottante a été installée en mer au large des îles Orcades en Ecosse, pour produire de l'énergie électrique à destination de ces îles. Déterminer le rendement global de l'hydrolienne.

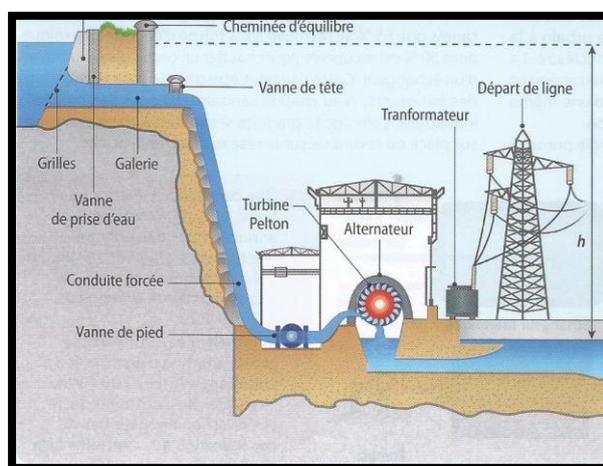


- **Puissance maximale** : 2,0 MW
Deux turbines intégrées à la coque, d'une puissance de 1,0 MW chacune et montées sur des pieds rétractables
- **Énergie produite** : jusqu'à 6 000 MWh par an
- **Masse** : 550 tonnes
- **Coque flottante** : 64 mètres de long
- **Rotor** : 16 m de diamètre pour chacune des turbines, couplées à un alternateur
- **Système d'ancrage** permettant à l'hydrolienne de prendre une orientation optimale en fonction du sens du courant de marée

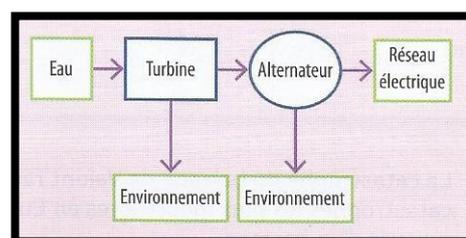
L'eau de mer au large des îles Orcades cède une puissance maximale de 3,3 MW à l'hydrolienne.
Source : ifremer.fr

Exercice 7

La puissance P (en W) mise en jeu par une chute d'eau (de masse volumique $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$) de hauteur h (en m) et de débit q (en $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) est égale à $P = \rho \times g \times h \times q$ avec $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$. L'eau au bout de sa chute entraîne une roue à aubes couplée à un alternateur qui fournit au réseau électrique une puissance de 1,10 MW. La turbine présente un rendement $r_T = 88\%$ et l'alternateur un rendement $r_A = 95\%$.



Calculer les valeurs des énergies quotidiennes reçues par les différents éléments de la chaîne énergétique. A partir de la puissance mise en jeu par la chute d'eau calculer la hauteur de la chute sachant que son débit est de $0,30 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. A partir de la valeur de la puissance mise en jeu par la chute d'eau, en déduire la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur de l'eau fournie en une journée.



En déduire le volume d'eau introduit quotidiennement dans le barrage. Sachant qu'une piscine olympique contient 2000 mètres cubes indiquer le nombre de piscines vidées quotidiennement dans ce barrage...

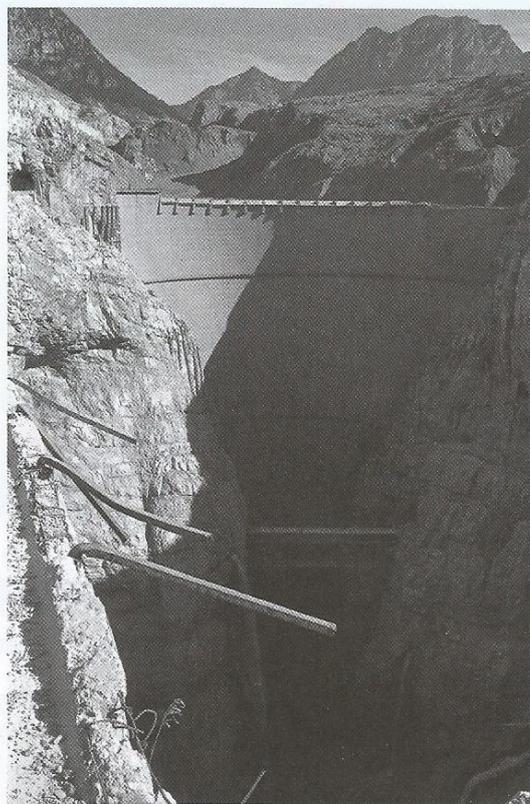
Un peu de lecture

La catastrophe du barrage de Vajont fait partie des cinq catastrophes les plus meurtrières en Europe...

Situé au pied du mont Toc dans la province de Belluno en Italie, à 100 km de Venise, le barrage de Vajont, construit de 1956 à 1959 est mis en service en 1960 malgré plusieurs alertes sur les risques de glissement de terrain.

Selon certaines sources, la SADE (Società Andriatica d'Elettricità), désirant profiter des nationalisations et vendre le barrage à la société publique ENEL, fait la sourde oreille et cherche à valoriser le barrage en le remplissant à son maximum de 715 m en 1963. Des mouvements de terrain se font alors sentir et inquiètent les habitants mais aucune décision d'évacuation n'est prise.

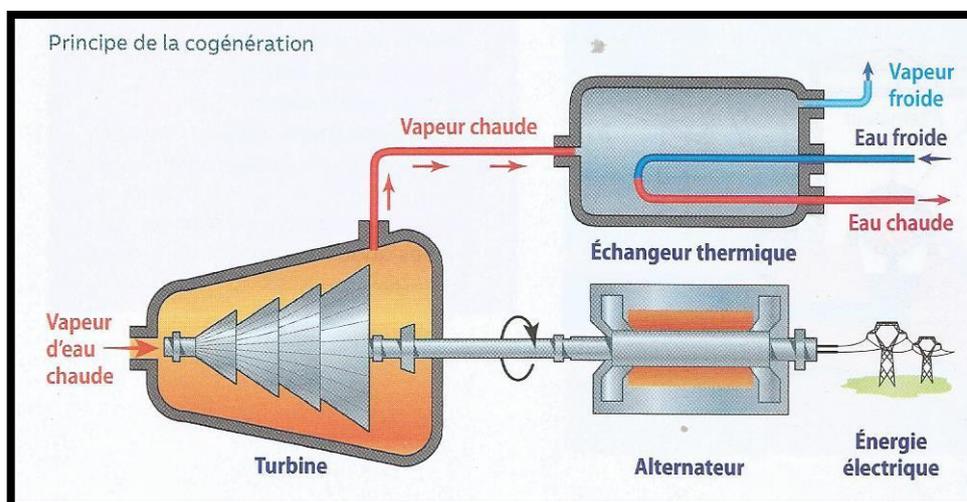
Le 9 octobre 1963, à 22 h 39, plus de 260 millions de mètres cube de terre et de roche se déversent à plus de $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ dans la retenue d'eau provoquant deux énormes vagues de 25 millions de mètres cubes d'eau vers l'amont et l'aval du barrage. La vague d'aval haute de 150 m saute le barrage et se déverse dans la vallée créant un phénomène de pression d'air dévastateur suivi d'un torrent d'eau qui achève de détruire les villes de Langarone, Pirago, Rivalta, Villanova et Faè. Le bilan humain de la catastrophe est extrêmement lourd avec plus de 1 900 morts. Onze responsables sont poursuivis : l'un se suicide et deux autres meurent avant la fin du procès, mais un seul est condamné à une peine de 5 ans de prison réduite ensuite à un an. Ce n'est qu'en 1997 que la SADE et ENEL sont condamnées à verser des indemnités aux communes détruites. Le barrage, de type barrage-voûte, est resté intact mais n'a plus jamais été exploité.



Le barrage de Vajont, en Italie, après la catastrophe.

Exercice 8

Une centrale nucléaire sur la Loire, près d'Orléans, produit une énergie électrique de $1,58 \times 10^4 \text{ GWh}$. Calculer l'énergie thermique récupérée par un système de cogénération.



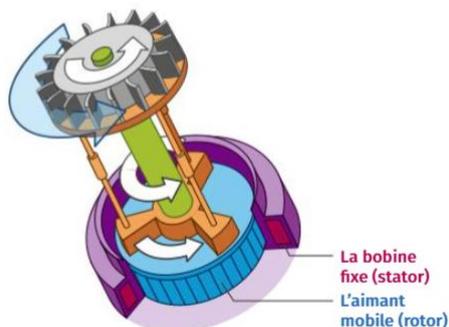
Un projet de réacteur nucléaire à cogénération, situé à Loviisa en Finlande, permettra de fournir du chauffage urbain à la capitale Helsinki, située à 80 kilomètres du site nucléaire. La cogénération consiste à produire et à utiliser simultanément de l'électricité et de l'énergie thermique à partir d'une même énergie primaire et au sein de la même installation.

Dans un système en cogénération, 35 % de l'énergie primaire

est transformée en énergie électrique grâce à un alternateur, tandis que 65 % se retrouve sous forme d'énergie thermique, dont 50 % est récupérée pour chauffer un circuit d'eau au travers d'un échangeur. Cette eau peut être utilisée pour le chauffage des bâtiments, l'eau chaude sanitaire, ou pour des procédés industriels. L'électricité produite sera quant à elle consommée sur place ou revendue sur le réseau électrique public.

Exercice 9**Doc. 1** Fonctionnement d'un alternateur

Pour entraîner les aimants d'un alternateur dans un mouvement de rotation, l'axe de celui-ci est relié à une turbine. Dans les centrales, cette turbine est mise en mouvement par de la vapeur d'eau ou de l'eau liquide. Au sein de l'alternateur, la mise en mouvement du rotor crée un courant par induction. Au sein du rotor, l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique.

**Données**

- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Formules

- Rendement : $r = \frac{P_u}{P_f}$
- Puissance fournie par l'eau en watt : $P_f = h \cdot d \cdot \rho \cdot g$ avec : h la hauteur en m, d le débit en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, ρ la masse volumique en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et g l'intensité du champ de pesanteur en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Doc. 2 Le barrage des Trois-Gorges

Le barrage des Trois-Gorges en Chine est le barrage qui délivre la plus grande puissance électrique au monde. Il est constitué de 32 turbo-alternateurs mis en mouvement par l'eau retenue par le barrage. Les caractéristiques moyennes du barrage sont les suivantes :

- › hauteur de chute moyenne : 80,6 m ;
- › puissance délivrée par un turbo-alternateur : 710 MW ;
- › rendement nominal d'un turbo-alternateur : 0,96 ;
- › débit moyen maximal : $1\,065 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Vocabulaire

Rendement : le rendement r d'un appareil est le rapport entre la puissance utile P_u délivrée par celui-ci et la puissance P_f qui lui est fournie.

Calculer la puissance fournie par l'eau à un turbo-alternateur du barrage des Trois-Georges. En déduire le rendement du turbo-alternateur. Proposer une explication à la différence entre la valeur du rendement annoncée et celle calculée. La puissance délivrée par le second plus puissant barrage du monde, à Itaipu, est de 14 GW. Vérifier que la puissance totale délivrée par le barrage des Trois-Georges est environ une fois et demie supérieure.

Exercice 10

La centrale nucléaire de Cruas (Ardèche) est composée de 4 réacteurs nucléaires et 2 éoliennes. Le tableau montre les caractéristiques comparées d'un réacteur nucléaire et d'une éolienne du site de Cruas.

	Disponibilité annuelle	Puissance électrique
Réacteur nucléaire	7500h	900MW
Eoliennes	2000h	3MW

Energie libérée par la fission d'1g d'uranium : $7,3 \times 10^{10} \text{ J}$. Rendement d'une centrale nucléaire 33%.

1. Calculer l'énergie électrique en joules obtenue par un réacteur de la centrale en une année.
2. Calculer la masse d'uranium nécessaire pour obtenir cette énergie électrique.
3. Calculer combien d'éoliennes seraient nécessaires pour obtenir une quantité d'énergie électrique équivalente. Commenter ce résultat.