

## Chapitre 5 : Conversion et transport de l'énergie électrique

Sommaire		
Activités	Page(s)	Autoévaluation
Dossier 1 : La conversion de l'énergie mécanique	2-3	
Dossier 2 : La conversion électrochimique	4-5	
Dossier 3 : La conversion photovoltaïque et les choix stratégiques	6-7	
Dossier 4 : Le réseau électrique maillé et interconnecté	8-9	
Dossier 5 : Réserves d'énergie et conversion	10-11	
Trames et questions	12-14	
Cours (Correction du projet)	Sur le site de classe	

### Consignes pour le projet évalué en 5 séances

Vous allez travailler par groupe de 3 ou 4 élèves sur un projet qui s'étalera sur 5 séances d'une heure.

Objectif : produire un document papier unique par groupe, répondant aux questions données en annexe et respectant le plan fourni. Un seul document doit être rendu par groupe. Il doit être clair, complet, organisé et soigné.

Organisation du travail :

- Vous disposez de 5 dossiers de travail, correspondant aux différents grands axes de votre projet.
- À la fin de la 5<sup>ème</sup> séance, votre dossier complet devra être rendu avant la fin de l'heure.

Évaluation :

- Le projet sera noté avec un coefficient 2.
- La grille d'évaluation est fournie sur le site de classe.

La correction du dossier constituera le cours.

## Dossier 1: La conversion de l'énergie mécanique

**Introduction :** Dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, l'hydroélectricité s'impose comme la première forme d'énergie renouvelable exploitée à grande échelle, aussi bien dans le monde qu'en France. Grâce à la force de l'eau, il devient possible de produire de l'électricité de manière régulière et massive, ce qui a accompagné le développement industriel et l'électrification du pays.

Aujourd'hui encore, l'hydroélectricité occupe une place essentielle dans le mix énergétique français : en 2022, les centrales hydroélectriques ont fourni environ 11 % de l'électricité produite en France. Leur rôle ne se limite pas seulement à la production : ces installations sont également capables de stocker de l'énergie, ce qui en fait un atout majeur face aux besoins croissants de flexibilité du réseau électrique.

C'est pourquoi EDF s'engage dans un programme de modernisation des barrages et des centrales hydroélectriques afin de les rendre plus performants et d'accroître leur capacité de stockage, en particulier grâce aux stations de transfert d'énergie par pompage (STEP).

**Problématique :** Quels avantages présente l'hydroélectricité et quelles sont ses limites ?

**Objectifs :** Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie. Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie. Analyser des documents présentant les conséquences de l'installation et du fonctionnement d'une centrale électrique.

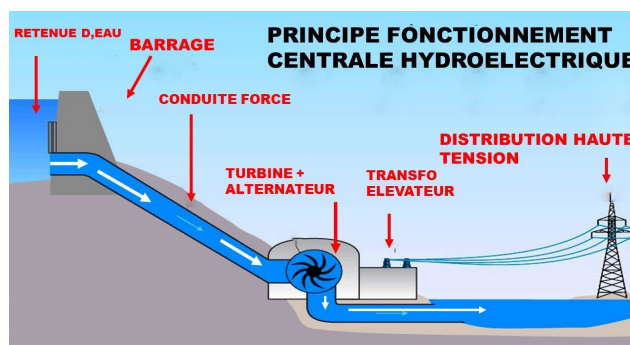
### Document 1: Le fonctionnement d'une centrale hydroélectrique

Une centrale hydroélectrique utilise la force de l'eau pour produire de l'électricité. L'eau est retenue dans un réservoir en altitude grâce à un barrage. Elle possède alors une énergie potentielle de pesanteur liée à sa hauteur. Lorsqu'on ouvre les vannes, l'eau descend vers la centrale : son énergie potentielle se transforme en énergie cinétique de mouvement.

En bas du barrage, le courant d'eau fait tourner une turbine. La turbine est reliée à un alternateur : cet appareil convertit l'énergie mécanique de rotation en énergie électrique, qui sera ensuite envoyée sur le réseau. Une petite partie de l'énergie est également transformée en énergie thermique, à cause des frottements dans les machines et des échauffements électriques.

La construction d'une telle centrale demande des conditions particulières. Il faut une vallée profonde dans une zone montagneuse, afin de créer une retenue d'eau importante et une chute suffisante. Cela implique des coûts de construction très élevés et des travaux complexes.

Enfin, les barrages hydroélectriques ne sont pas sans conséquence pour l'environnement. Ils perturbent l'écosystème naturel : modification du cours de la rivière, déplacements d'espèces, inondation de zones entières. Néanmoins, l'hydroélectricité reste considérée comme l'une des énergies les plus sûres et fiables. Les accidents sont rares, même si le risque de rupture d'un barrage ne peut jamais être totalement exclu.



**Document 2: Les différentes méthodes d'obtention de l'énergie électrique et leur émission de  $CO_2$  au cours de leur cycle de vie**

Filière	Hydraulique	Nucléaire	Eolien	Solaire PV	Gaz naturel	Charbon
Emissions de $CO_2$ (en $gCO_2eq.kWh^{-1}$ )	6	7	14	44	730	1060

**Document 3: Données sur la centrale hydroélectrique de Grand Maison et sur les rendements des autres filières**

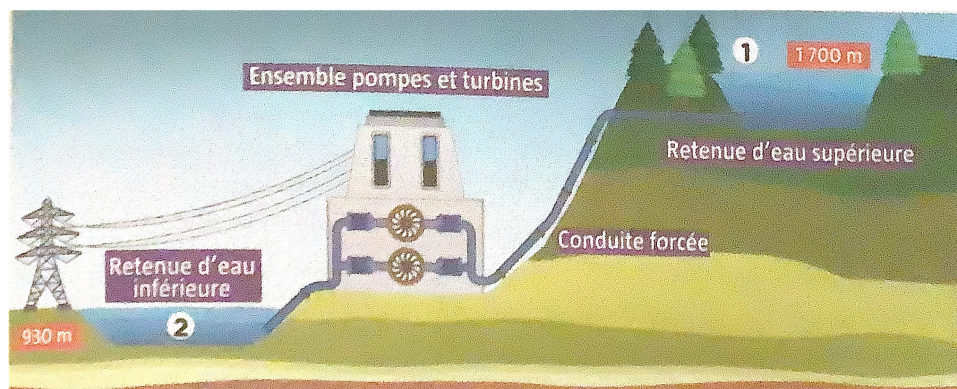
Données :

- masse volumique de l'eau :  $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;
- intensité du champ de pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;
- hauteur de la chute :  $h = 900 \text{ m}$  ;
- débit de la turbine :  $d = 217 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- puissance électrique de la turbine :  $P_{\text{élec}} = 1,8 \times 10^9 \text{ W}$  ;
- expression de la puissance fournie par l'eau en watt :  $P_{\text{chute}} = h \times d \times \rho \times g$  avec  $h$  la hauteur de chute en m,  $d$  le débit volumique en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\rho$  la masse volumique de l'eau en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et  $g$  l'intensité de pesanteur en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Filière	Hydraulique	Nucléaire	Eolien	Solaire PV	Gaz naturel	Charbon
Rendement	A calculer	30 à 40 %	23 à 38 %	8 à 22 %	35 à 70 %	30 à 45 %

**Document 4: Grand Maison, centrale hydroélectrique mais aussi STEP**

La première et plus grande station de transfert d'énergie par pompage (STEP) en France se trouve à Grand'Maison, en région Auvergne-Rhône-Alpes. Cette installation repose sur un principe simple : elle dispose de deux réservoirs situés à des altitudes différentes. En période de surproduction d'électricité - par exemple la nuit, lorsque la consommation est faible, ou en été, lors de forts excédents de production - l'électricité excédentaire est utilisée pour pomper l'eau du réservoir inférieur vers le réservoir supérieur. L'eau stockée en altitude constitue alors une réserve d'énergie potentielle. Lors des périodes de forte consommation, comme en journée ou en hiver, l'eau est relâchée vers le bas, entraînant les turbines et produisant de l'électricité. Ainsi, la STEP de Grand'Maison joue un rôle essentiel dans l'équilibrage du réseau électrique, en stockant l'énergie excédentaire pour la restituer au moment où la demande est la plus forte.





## Dossier 2: La conversion électrochimique

**Introduction :** Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, les piles et les accumulateurs occupent une place essentielle dans le développement des technologies électriques. On les retrouve partout dans la vie quotidienne : télécommandes, montres ou jouets pour les piles classiques, et téléphones portables, ordinateurs ou véhicules électriques pour les accumulateurs. Leur usage croissant soulève également des enjeux environnementaux liés au recyclage et à la consommation de matières premières. Ainsi, les piles et accumulateurs sont devenus indispensables à nos modes de vie, en offrant une source d'énergie mobile, pratique et adaptée aux besoins variés de la société moderne.

**Problématique :** Sous quelle forme l'énergie est-elle stockée dans les piles et les batteries ?

**Objectifs :** Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie. Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie. Analyser des documents présentant les conséquences de l'installation et du fonctionnement d'une centrale électrique.

### Document 1: Piles ou batteries ?

La pile Volta, inventée en 1800 par Alessandro Volta, est considérée comme la première pile électrique. Elle est constituée d'une succession de disques de zinc (Zn) et de cuivre (Cu) séparés par un carton imbibé de saumure (solution conductrice). Le zinc, métal réductible, joue le rôle d'anode, tandis que le cuivre est la cathode. Lors de la décharge, l'oxydation du zinc fournit les électrons, qui circulent dans le circuit électrique vers le cuivre.

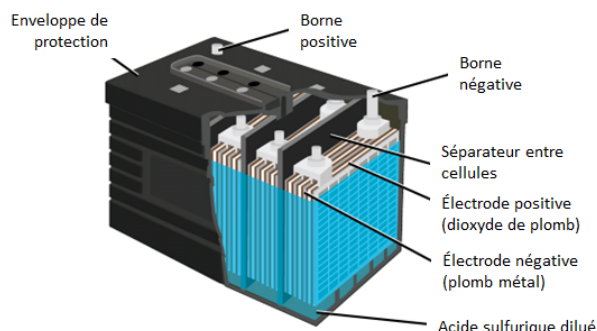
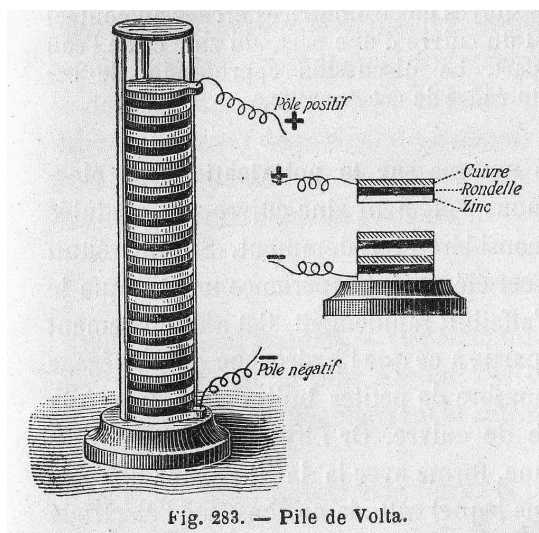
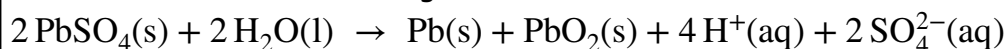
La réaction modélisant la décharge est :  $\text{Zn(s)} + 2\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{HO}^{-}(\text{aq})$

La batterie plomb-acide est une technologie encore largement utilisée, notamment dans les voitures. Une batterie de 12 V est constituée de 6 accumulateurs de 2 V environ chacun, montés en série. Chaque accumulateur possède une électrode de plomb (Pb), une électrode de dioxyde de plomb ( $\text{PbO}_2$ ) et un électrolyte d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) contenant les ions  $\text{H}^{+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ .

La réaction modélisant la décharge est :



La réaction modélisant la charge est :



Batterie plomb-acide  
inventée par Planté en  
1959

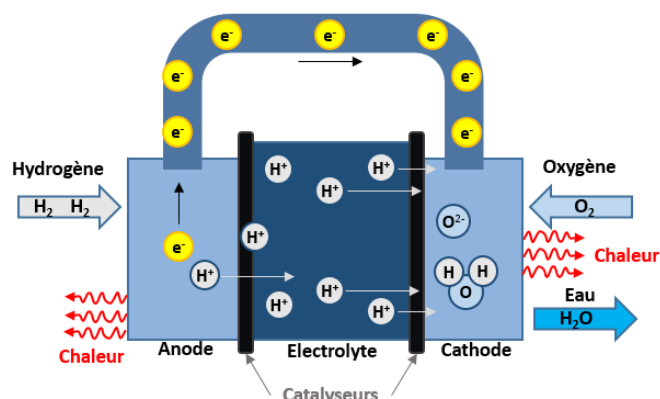
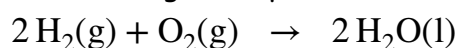




## Document 2: La pile à hydrogène

La pile à hydrogène est une technologie de plus en plus utilisée dans les transports, notamment pour alimenter des bus qui circulent déjà dans de nombreuses villes. Son principe repose sur une réaction chimique entre le dihydrogène ( $H_2$ ), stocké dans des réservoirs, et le dioxygène ( $O_2$ ), prélevé dans l'air. À l'anode, le dihydrogène libère des électrons, qui parcourent un circuit externe pour fournir de l'énergie électrique, tandis qu'à la cathode, ces électrons se recombinent avec le dioxygène et les protons pour former de l'eau. Ainsi, la pile à hydrogène permet de produire directement de l'électricité embarquée dans le véhicule. Les bus équipés de cette technologie sont qualifiés de "à énergie propres".

La réaction globale peut s'écrire :



## Document 3: La batterie accumulateur lithium-ion

La batterie lithium-ion est aujourd'hui l'un des systèmes de stockage d'énergie les plus utilisés, notamment dans les téléphones portables, ordinateurs et véhicules électriques. Elle repose sur deux électrodes :

- l'anode (souvent constituée de graphite), qui correspond à l'électrode négative lors de la décharge ;
- la cathode (généralement un oxyde métallique de lithium comme  $LiCoO_2$ ), qui correspond à l'électrode positive lors de la décharge.

Lors de la décharge, les ions lithium  $Li^+$  migrent de l'anode vers la cathode à travers l'électrolyte, tandis que les électrons, libérés à l'anode, circulent dans le circuit externe de l'électrode négative vers l'électrode positive, fournissant ainsi l'électricité au dispositif.

Lors de la charge, l'énergie apportée par le chargeur inverse le processus : les ions  $Li^+$  repartent de la cathode vers l'anode, et les électrons circulent dans le circuit externe de l'électrode positive vers l'électrode négative, régénérant ainsi la batterie.

Ce va-et-vient réversible des ions lithium et des électrons entre anode et cathode explique la grande efficacité et la capacité de recharge des accumulateurs lithium-ion.

## Document 4: Quelques caractéristiques de deux technologies de batteries pour véhicules électriques

Les batteries des véhicules électriques sont de plus en plus performantes. Certains constructeurs proposent pour le même véhicule, deux types de batterie, de compositions chimiques différentes : nickel-manganèse-cobalt (NMC) et lithium-fer-phosphate (LFP). L'obtention du lithium (extraction et traitement) est très énergivore, le cobalt est extrait dans des conditions dangereuses et l'exploitation du nickel doit se faire à ciel ouvert.

Technologie	Masse (en kg)	Durée de vie (en cycles)	Densité énergétique (en Wh/kg)	Rendement	Toxicité	Sécurité
NMC	400	2000	230 à 250	93 %	Cobalt potentiellement cancérogène	Risque de surchauffe voir d'explosion
LFP	500	3000	130 à 160	95 %		Surchauffe modéré

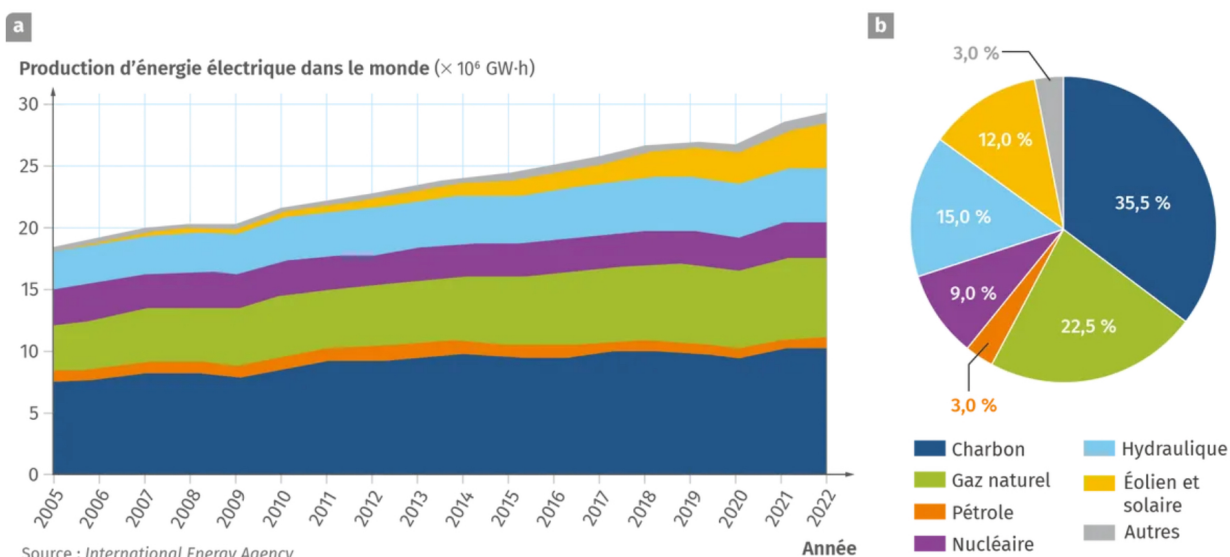
## Dossier 3: La conversion photovoltaïque et les choix stratégiques

**Introduction** : Les centrales thermiques à combustion de ressources en énergie fossiles sont décriées en raison de la pollution en gaz à effet de serre qu'elles génèrent. D'autres solutions plus respectueuses de l'environnement sont pourtant mises en oeuvre et leur développement repose sur des choix stratégiques.

**Problématique** : Quels sont les choix stratégiques à faire pour produire de l'électricité décarbonée ?

**Objectifs** : Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie. Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie. Analyser des documents présentant les conséquences de l'installation et du fonctionnement d'une centrale électrique.

### Document 1: Origine des ressources utilisées pour la production d'électricité à l'échelle mondiale



Proportions des différentes ressources en énergie pour la production d'électricité a depuis 2005 et b en 2022.

### Document 2: Développement du photovoltaïque

C'est dans une ancienne carrière à proximité de Villey-Saint-Étienne, entre Toul et Nancy (Meurthe-et-Moselle), que les travaux ont commencé. Sur une surface totale de 80 hectares, 9 sont concernés par du défrichement. Plusieurs associations naturalistes dont la LPO (Ligue pour la protection des oiseaux), Flore 54 ou encore Floraine parlent d'atteinte à la biodiversité. Pour elles, le projet de centrale photovoltaïque va nuire à la faune et à la flore locales. « Ces panneaux photovoltaïques ne doivent pas être dans les lieux de réservoir de biodiversité », explique François Vernier, membre de l'association Floraine. « Polémique autour de l'implantation d'une centrale photovoltaïque », France 3 Régions, 17 octobre 2023



Crédits : Kletr/Shutterstock

### Document 3: Centrale nucléaire en temps de guerre

La centrale ukrainienne de Zaporijjia, aux mains des Russes [au début de l'année 2024], s'est trouvée « au bord de l'accident nucléaire » dans la nuit de vendredi à samedi, à cause d'une coupure de courant temporaire, a affirmé l'opérateur ukrainien du nucléaire Energoatom. « La nuit dernière, une panne totale s'est produite à la centrale de Zaporijjia », a écrit Energoatom sur Telegram, précisant que le courant avait été rétabli quelques heures plus tard. « Les forces d'occupation russes ne se soucient pas de la sécurité à la centrale nucléaire de Zaporijjia », a accusé le président de l'opérateur, Petro Kotin. Live sur la guerre en Ukraine, 20 Minutes, 2 décembre 2023



### Document 4: Conséquences d'un barrage

L'exploitation du cycle de l'eau pour produire de l'électricité présente de nombreux atouts. L'eau de ruissellement est stockée en amont dans une retenue artificielle, puis libérée en fonction des besoins afin d'actionner une turbine et un alternateur, ce qui permet de générer de l'énergie électrique.

Cependant, les centrales hydroélectriques sont des ouvrages de grande ampleur qui requièrent d'importants matériaux et des aménagements considérables du terrain, avec un impact marqué sur le paysage. De plus, la vie aquatique est perturbée : les poissons migrateurs doivent utiliser des dispositifs artificiels de contournement pour rejoindre leurs zones de reproduction ou d'alimentation.



### Document 5: Impact social des véhicules électriques

En mai 2023, l'entreprise taïwanaise ProLogium a annoncé la construction d'une vaste usine de batteries pour voitures électriques à proximité de Dunkerque. À terme, cette gigafactory devrait produire entre 500 000 et 750 000 batteries par an et créer environ 3 000 emplois.

Toutefois, si la filière des batteries pourrait générer près de 20 000 emplois dans la région d'ici 2030, certains syndicats expriment leurs inquiétudes face au risque de disparition d'environ 50 000 postes liés à la production de véhicules thermiques.



## Dossier 4: Le réseau électrique maillé et interconnecté

**Introduction :** L'énergie électrique est produite dans les centrales. Elle doit être transportée à travers le réseau électrique vers les différents points de distribution. Lors de ce transport, une partie de l'énergie est dissipée à cause de l'effet Joule.

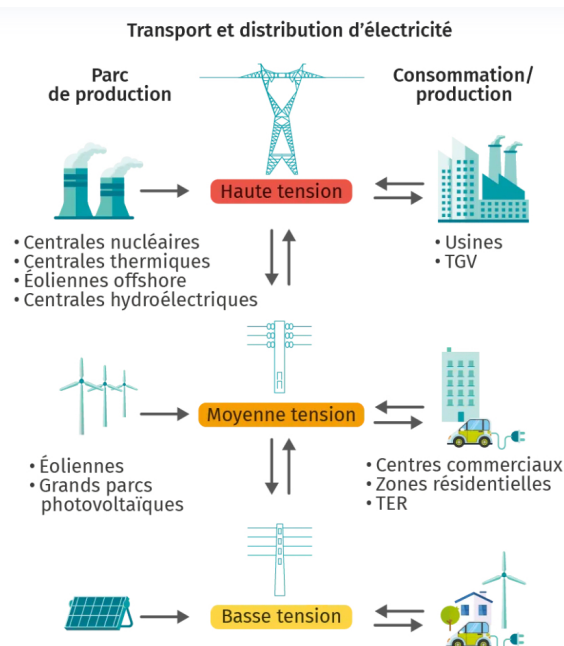
**Problématique :** Comment optimiser la distribution de l'énergie électrique en limitant l'effet Joule ?

**Objectifs :** Utiliser les formules littérales reliant la puissance à l'intensité et la tension pour identifier l'influence de ces grandeurs sur l'effet Joule dans les lignes électriques.

### Document 1: De la centrale au consommateur

En Europe, l'électricité produite est acheminée jusqu'aux consommateurs (ménages, entreprises, industries) grâce à un vaste réseau de transport. Celui-ci se compose de lignes à haute tension (HT), supérieures à 50 kV, de lignes à moyenne tension (MT), comprises entre 1 kV et 50 kV, et de lignes à basse tension (BT), inférieures à 1 000 V. Des transformateurs permettent d'augmenter ou de diminuer la tension pour adapter l'électricité aux différents usages et aux types de lignes.

Avec le développement des énergies renouvelables, ce réseau est désormais géré par des smart grids (réseaux électriques intelligents), capables de mieux équilibrer la production et la consommation en temps réel.



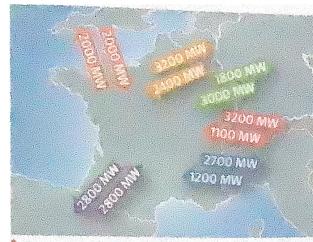
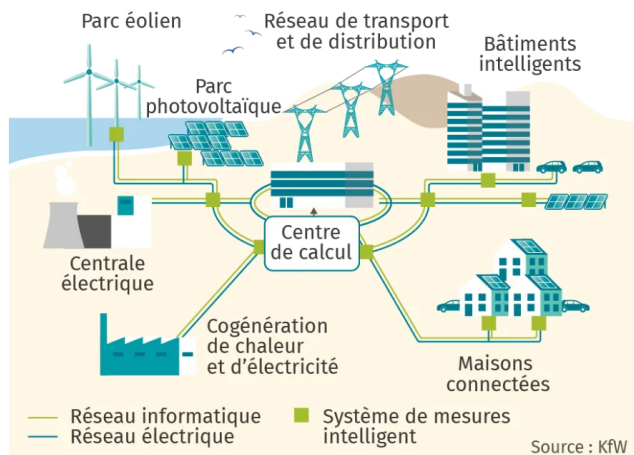
### Document 2: Schéma d'un smart grid

Les smart grids (réseaux intelligents) sont des technologies qui permettent de collecter et d'analyser en temps réel des données sur la production et la consommation d'électricité. Ils facilitent l'intégration des énergies renouvelables intermittentes, comme le solaire et l'éolien, en aidant à mieux équilibrer l'offre et la demande.

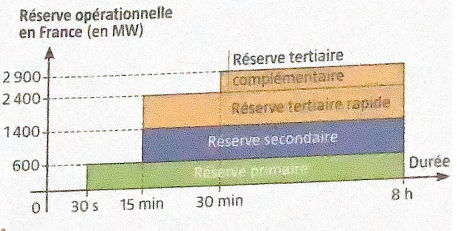
En Europe, l'électricité circule sur un réseau interconnecté qui fonctionne en courant alternatif à 50 Hz. Cette fréquence doit rester stable : si la demande est supérieure à la production, la fréquence baisse ; si la production dépasse la demande, la fréquence augmente. Les alternateurs des centrales électriques contribuent naturellement à la stabilité grâce à leur inertie mécanique : leur grande masse tend à conserver la vitesse de rotation et donc la fréquence. Mais en cas de déséquilibre important, il est nécessaire de mobiliser des réserves d'énergie.

Il existe trois niveaux de réserve. La réserve primaire, activée automatiquement en quelques secondes, corrige immédiatement les variations de fréquence. La réserve secondaire, pilotée par le gestionnaire du réseau, agit en quelques minutes pour ramener la fréquence exactement à 50 Hz. La réserve tertiaire, mobilisée sur une durée plus longue, consiste à mettre en route des moyens de production supplémentaires ou à réduire temporairement la consommation.

Grâce à ce système hiérarchisé et à l'apport des smart grids, le réseau européen parvient à maintenir en permanence l'équilibre entre production et consommation, garantissant ainsi une alimentation électrique fiable et stable malgré la croissance des énergies renouvelables.



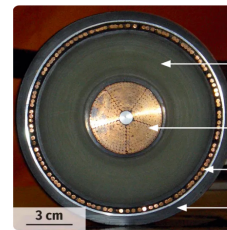
Capacités d'interconnexion électrique de la France un jour donné.



Les réserves énergétiques.

### Document 3: Constitution d'un câble électrique

Les câbles à haute tension possèdent au centre une âme conductrice en cuivre, dont la section peut atteindre  $2\,500\text{ mm}^2$ . Cette âme est protégée par plusieurs couches : une enveloppe isolante pour empêcher les pertes de courant, un écran métallique et enfin une gaine extérieure qui protège l'ensemble des influences extérieures.



Crédits : Woodbound/Shutterstock  
Grille-pain dont le fonctionnement repose sur l'effet Joule

### Document 4: Effet Joule

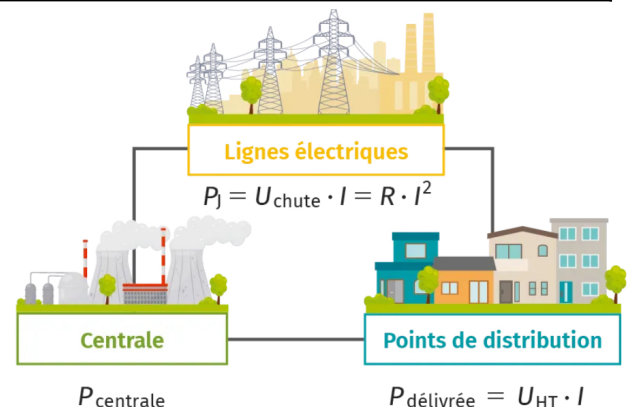
Lorsqu'un matériau est traversé par un courant électrique, il s'échauffe en raison de sa résistance  $R$ . Ce phénomène est appelé effet Joule. La puissance dissipée par effet Joule, notée  $P_J$ , s'exprime par la relation :  $P_J = R \times I^2$ , où  $R$  est la résistance électrique en ohms ( $\Omega$ ) et  $I$  l'intensité du courant en ampères (A). Dans certains cas, cet effet est recherché : par exemple dans un four électrique ou un grille-pain, la chaleur produite sert à chauffer les aliments. En revanche, lorsqu'il apparaît dans les câbles ou les appareils électriques sans qu'il soit utile, l'effet Joule devient un inconvénient, car l'énergie dégagée est perdue et dissipée dans l'environnement sans possibilité d'être récupérée.

### Document 5: Modélisation du réseau électrique

Le schéma à côté illustre la modélisation du réseau électrique. On y voit que  $U_{chute}$ , la baisse de tension due à l'effet Joule, reste beaucoup plus faible que  $U_{HT}$ , la haute tension.

À la sortie d'une centrale, la tension est de quelques kilovolts (kV) pour une puissance  $P_{centrale} = 1\text{ GW}$ . Un transformateur permet ensuite d'élever la tension jusqu'à  $U_{HT} = 400\text{ kV}$ , ce qui rend possible le transport de l'électricité à faible intensité de courant pour une même puissance, réduisant ainsi les pertes.

En France, le réseau comprend plus de 100 000 km de lignes à haute et très haute tension, formant un maillage dense pour acheminer l'électricité jusqu'aux consommateurs.



### Document 6: Influence de différents paramètres sur la résistance

La résistance d'un câble électrique est calculé avec  $R = \rho \times \frac{L}{S}$  avec  $R$  la résistance électrique,  $\rho$  la résistivité du matériau,  $S$  la section et  $L$  la longueur. Chaque matériau a une résistivité différente.

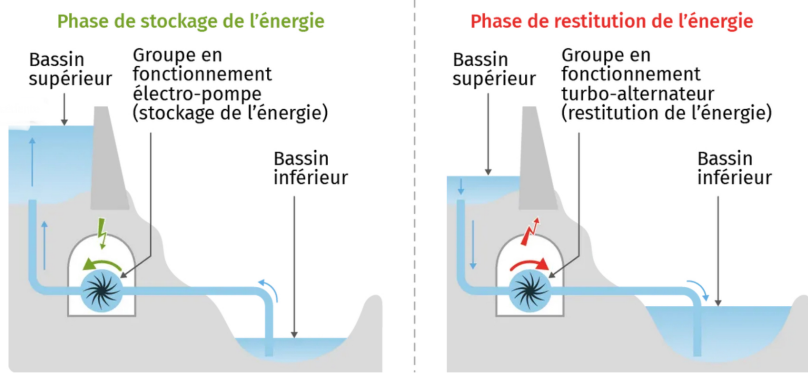
## Dossier 5: Réserves d'énergie et conversion

**Introduction** : Face à l'irrégularité de la disponibilité de certaines ressources en énergie renouvelables comme le Soleil ou le vent, il faudrait pouvoir stocker le surplus d'énergie afin de l'utiliser ultérieurement, notamment lors des périodes où la demande est forte.

**Problématique** : Quels sont les avantages et les inconvénients des méthodes de stockage de l'énergie ?

**Objectifs** : Comparer des dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (capacité et durée de stockage, incidence écologique, masses mises en jeu par kilowattheure).

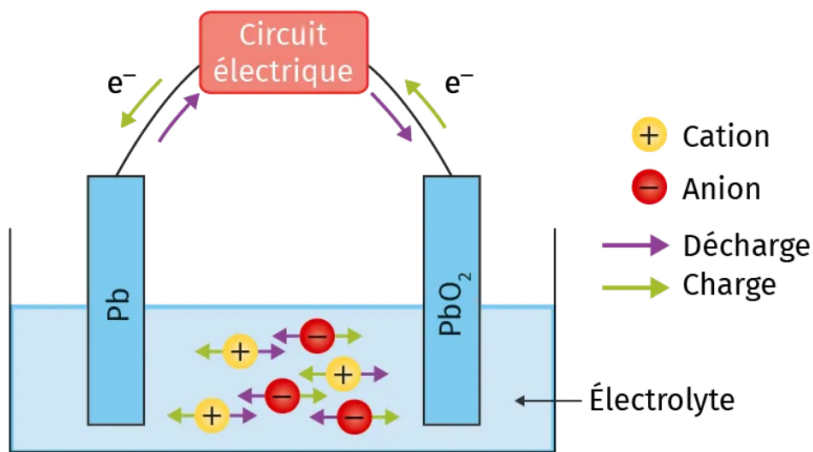
### Document 1: Le STEP



### Document 2: L'accumulateur

Ce que l'on appelle couramment des « batteries » correspond en réalité à des accumulateurs. Lors de la décharge, ils fonctionnent comme une pile classique, en produisant de l'électricité grâce à une réaction chimique. Lorsqu'un courant électrique leur est fourni pour la recharge, la réaction chimique s'inverse : les produits formés pendant la décharge se transforment de nouveau en réactifs initiaux, et l'accumulateur est rechargé.

Aujourd'hui, les accumulateurs lithium-ion sont les plus répandus, que ce soit dans les smartphones, tablettes ou autres appareils électroniques. Ils offrent une densité énergétique élevée, pouvant atteindre 200 W·h/kg, et supportent plusieurs centaines de cycles de charge. Leur rendement moyen est d'environ 90 %, ce qui en fait des systèmes de stockage très efficaces.

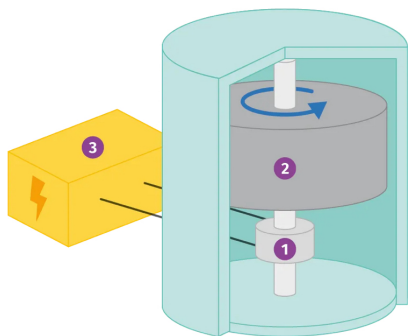


Fonctionnement d'un accumulateur au plomb

### Document 3: Le volant d'inertie (Voir schéma ci-après)

Un volant d'inertie permet de stocker de l'énergie sous forme cinétique, avec un rendement de 80 % et une densité énergétique de plusieurs centaines de watt-heures par kilogramme. Pendant la phase de stockage, un moteur 1 transforme l'énergie électrique en énergie cinétique, mettant ainsi en rotation la roue 2. Lors de la restitution, le moteur 1 se comporte comme un générateur : l'énergie cinétique de la roue 2 est reconvertie en électricité et alimente le circuit 3, tandis que la roue ralentit. Ce type de système est utilisé dans le métro de Rennes, où une roue de 2,5 tonnes est installée au centre d'une ligne. Lors du freinage d'une rame, une partie de l'énergie est utilisée pour accélérer la roue, puis elle est restituée au redémarrage de la rame. Grâce à ce mécanisme, le métro peut économiser l'équivalent d'une dizaine de jours de consommation électrique par an.





Crédits : Richard Villalon/Adobelimages

#### Document 4: Dihydrogène, futur du stockage ?

Il est possible de produire du dihydrogène ( $H_2$ ) par électrolyse de l'eau ( $H_2O$ ) en utilisant de l'électricité. L'équation chimique de cette réaction est  $2H_2O_{(l)} \longrightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$ .

L'opération inverse peut être réalisée dans une pile à combustible : le dihydrogène et le dioxygène réagissent pour former de l'eau, tout en produisant de l'électricité. La réaction correspondante est  $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)}$ .

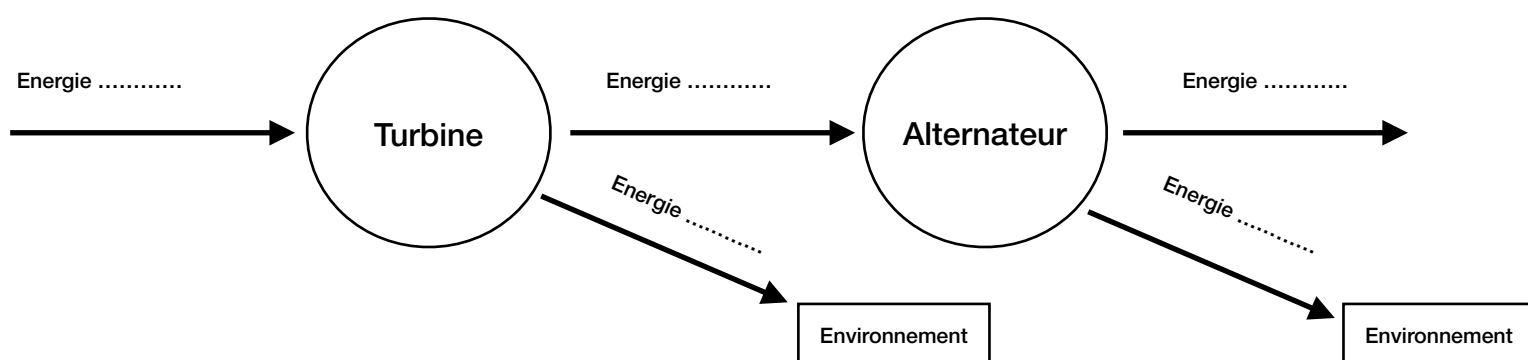
Ce mode de stockage présente cependant plusieurs inconvénients. La molécule de dihydrogène étant très petite, elle peut traverser la plupart des matériaux. De plus, à l'état gazeux, le dihydrogène occupe un volume considérable, ce qui impose de le stocker sous très haute pression et/ou à très basse température, nécessitant des solutions technologiques complexes. Par ailleurs, son rendement est assez faible : pour restituer 100 kW·h, il faut consommer environ 440 kW·h. Malgré cela, son intérêt reste fort car sa densité énergétique est élevée, atteignant environ 33 kW·h par kilogramme.

## Annexe : Trame à recopier et questions à répondre sur les différents axes

### I) Les trois méthodes pour obtenir de l'énergie électrique sans combustion

#### A) La conversion de l'énergie mécanique (Dossier n°1)

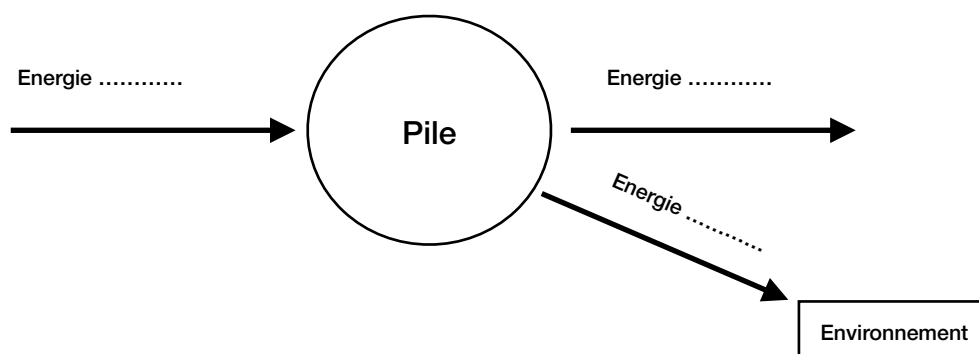
- 1) **Recopier et compléter** la chaîne de transformation énergétique d'un système comportant une turbine et un alternateur (ex: éolienne, dynamos, hydrolienne, barrage, centrale nucléaire, thermique, géothermique).



- 2) **Indiquer** la méthode de production d'électricité émettant le moins de dioxyde de carbone et **expliquer** pourquoi cette dernière en produit peu.
- 3) **Calculer** la puissance hydraulique disponible de la centrale hydroélectrique de la Grand Maison. **En déduire** son rendement et le **comparer** avec ceux des autres filières.
- 4) **Expliquer** la différence entre le turbinage et le pompage en précisant lequel peut stocker de l'énergie. **Faire** un schéma montrant le sens d'écoulement de l'eau lors du turbinage et lors du pompage.
- 5) **Donner** les avantages et les limites de la filière hydroélectrique et **expliquer** pourquoi EDF ne peut pas construire d'autres centrales hydroélectrique.

#### B) La conversion électrochimique (Dossier n°2)

- 1) **Recopier et compléter** le diagramme de conversion d'énergie d'une pile.



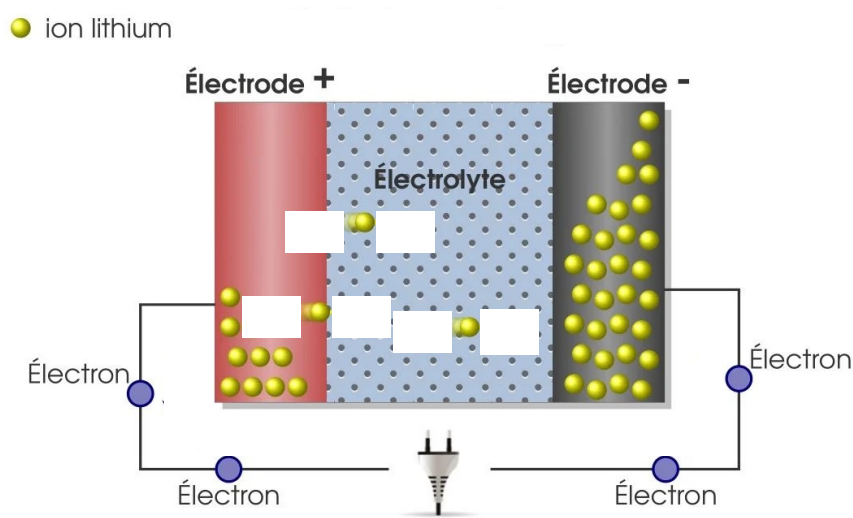
- 2) **Indiquer** la nature du courant (continu ou alternatif) délivré par une pile ou une batterie.

3) **Donner** l'équation de fonctionnement de la pile Volta et **indiquer** quel élément est perdu lors de son utilisation la rendant ainsi inapte pour être rechargé.

4) **Donner** l'équation de décharge de la batterie plomb-acide et **vérifier** que seules les batteries sont rechargeables.

5) Peut-on **parler** de « pile à hydrogène » et « à énergie propre » ? **Justifier** votre réponse.

6) **Recopier** deux fois le schéma d'un accumulateur lithium-ion. **Indiquer** sur chaque schéma s'il s'agit de la charge ou de la décharge, le sens de déplacement des électrons dans le circuit extérieur et celui des ions lithium dans l'accumulateur.

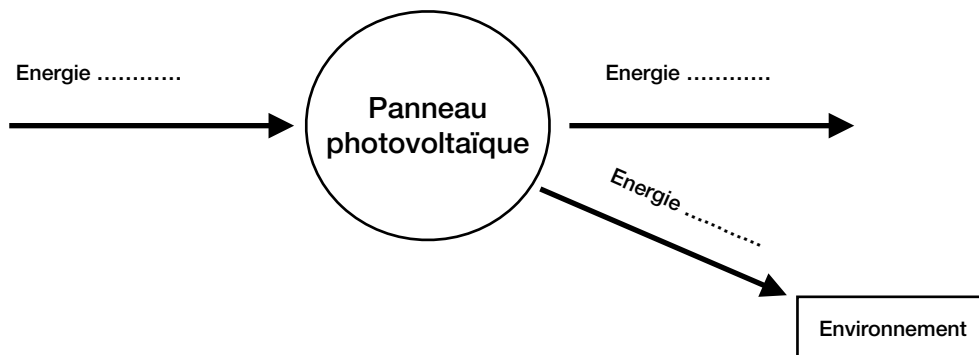


7) **Donner** les avantages des batteries nickel-manganèse-cobalt et ceux des batteries lithium-fer-phosphate.

8) **Indiquer** sous quelle forme est stockée l'énergie dans les piles et les batteries et **expliquer** pourquoi il est nécessaire de les recycler.

### C) La conversion de l'énergie radiative reçue par le Soleil (Dossier n°3)

**Recopier et compléter** le diagramme de conversion d'énergie d'un panneau photovoltaïque.



II) Les effets sur l'environnement, la biodiversité et les risques spécifiques de ces méthodes sans combustion (Dossier n°3)



- 1) **Décrire** l'évolution de la production mondiale d'électricité au cours du temps et **expliquer** les principales problématiques auxquelles l'humanité devra faire face dans l'avenir.
- 2) Pour chaque filière de production d'électricité (hydraulique, nucléaire, éolien, solaire, combustibles fossiles), **indiquer** un inconvénient et un avantage de ce mode de production.
- 3) À partir de vos réponses précédentes, **expliquer** par écrit pourquoi il n'existe pas de mode de production d'électricité idéal.

### III) Le réseau de transport électrique européen et ses limites (Dossier n°4)

- 1) **Donner** les raisons pour lesquelles la production et la consommation d'énergie électrique nécessitent l'utilisation de smart grids.
- 2) **Identifier** pourquoi l'effet Joule est un inconvénient dans le cas du transport de l'électricité.
- 3) **Justifier**, à l'aide de la loi d'Ohm et de l'expression de la puissance électrique, la relation permettant de calculer la puissance dissipée par effet Joule notée  $P_J$ . Comment **évolue** cette puissance  $P_J$  si l'intensité  $I$  du courant électrique est divisée par 2 ?
- 4) **Lister** les leviers permettant de réduire les pertes par effet Joule et **indiquer**, en justifiant, celui qui a le plus fort impact.
- 5) **Argumenter** sur l'utilité d'un réseau interconnecté et sur la réactivité des réserves.

### IV) Les méthodes de stockage de l'énergie pour faire face à l'intermittence de certains modes de production ou à la consommation (Dossier n°5)

- 1) **Indiquer** pour chaque système de stockage (STEP, accumulateur, volant d'inertie, dihydrogène) la forme d'énergie stockée.
- 2) Le bassin supérieur de Grand Maison peut contenir une masse d'eau de  $132 \times 10^6$  t et chaque tonne d'eau permet de produire 272 W·h d'énergie électrique. Néanmoins, pour produire 100 kW·h d'énergie électrique lors de la phase de restitution, il faut consommer 125 kW·h d'énergie électrique lors du pompage de la phase de stockage. **Calculer** le rendement de la STEP et sa densité énergétique (quantité d'énergie stockée en watt-heure (W·h) pour 1 kg du matériau de stockage.).
- 3) **Calculer** le rendement du stockage par dihydrogène ( $H_2$ ).
- 4) **Comparer** les différents systèmes de stockage (STEP, accumulateur, volant d'inertie, dihydrogène) selon les critères suivants : contraintes environnementales, densité énergétique et rendement.