

## 1 Quelles sont les réactions nucléaires au sein du Soleil ?

**Principe général** Les réactions de fusion nucléaire sont typiques du fonctionnement d'une ..... comme le Soleil et sont à l'origine de l'énorme quantité d'énergie rayonnée par cet astre. Ce type de réaction consiste en la fusion de deux noyaux atomiques ..... en un noyau plus lourd, fusion qui s'accompagne d'une libération importante d'énergie.

Une telle réaction n'intervient qu'à des températures élevées (plusieurs dizaines de millions de degrés Celsius) avec des atomes dans un état très condensé (un plasma).

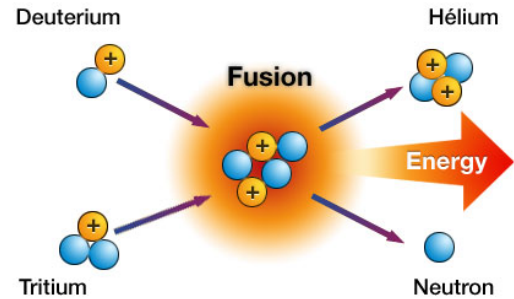


FIG. 1 – Fusion d'un deutérium et d'un tritium.

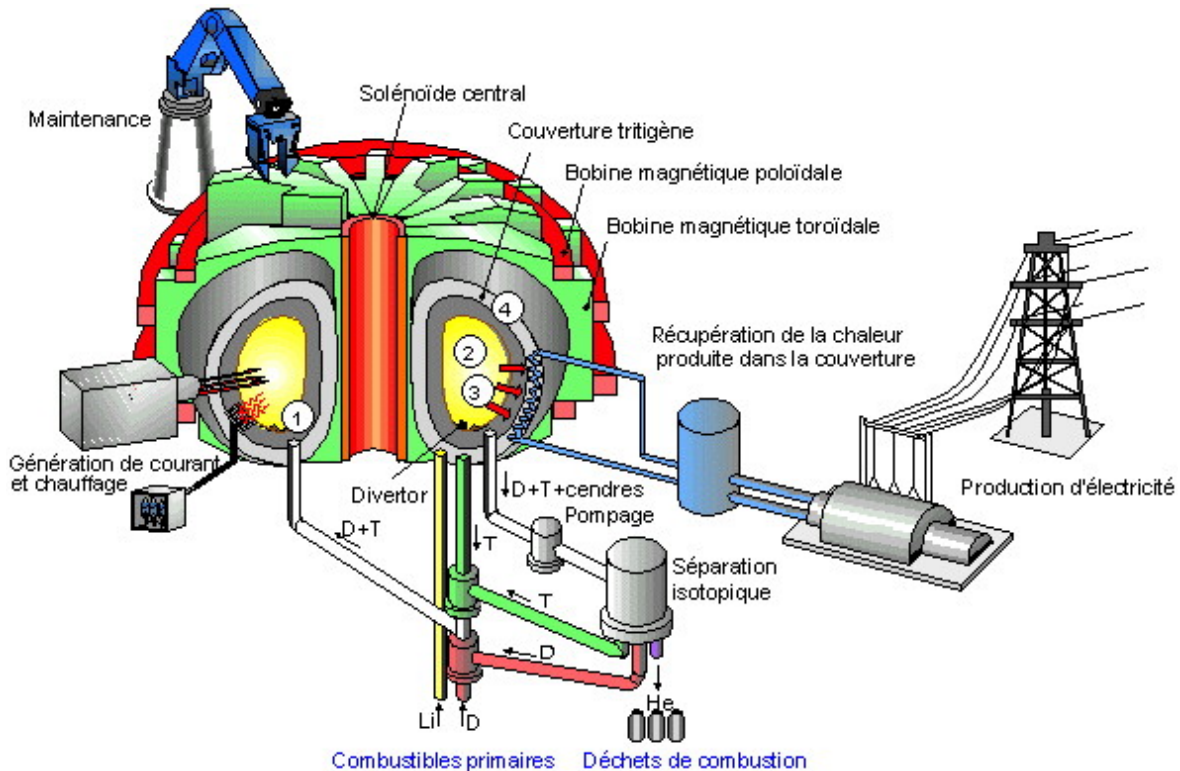


FIG. 2 – Schéma de principe du réacteur expérimental de fusion ITER.

**La fusion... sur Terre !** Si le mécanisme de fusion nucléaire a pu être reproduit dans les bombes thermonucléaires (dites « bombe ..... »), la fusion contrôlée en vue de produire de l'..... en est toujours au stade de la recherche. Depuis une trentaine d'années, de nombreux laboratoires étudient la fusion de deux noyaux légers comme ceux du deutérium et du tritium qui sont deux isotopes de l'élément hydrogène. Le deutérium et le tritium ont un noyau avec un proton ( $Z = 1$ ) et respectivement 1 et 2 neutrons.

Les noyaux sont portés à plus de 100 millions de degrés dans des machines toriques appelées Tokamak. Le mélange de deutérium et de tritium y est confiné à l'intérieur de

parois immatérielles créées par des champs magnétiques intenses.

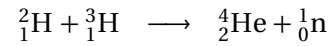
**Le projet ITER** Le projet ITER (International Experimental Thermonuclear Reactor), lancé en 1986, a pour but de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des atomes.

Avec 12,4 m de diamètre et 27 m de haut, ce réacteur, en construction dans le sud de la France à Cadarache, devrait permettre de réaliser la fusion du deutérium et du tritium. La première génération de réacteurs à fusion industriels devrait voir le jour vers 2050.



FIG. 3 – Un moment historique : la pause de la dernière tuile thermique dans ITER, par trois types en pyjamas.

**Équilibrer les équations des réactions nucléaires de fusion** Le principe est le même que pour une réaction de fission. Exemple avec la réaction entre le deutérium et le tritium :



Remarque : cette réaction libère 17,6 MeV (ce qui est énorme).

Application directe : écrire l'équation de fusion de deux noyaux de deutérium, pour former du tritium et un autre noyau fils que l'on découvrera.

.....

## 2 Quelles sont les réactions nucléaires au sein d'une centrale ?

**Principe général** L'uranium 235 est le seul atome à l'état naturel dont le noyau se brise en deux noyaux plus petits sous l'effet d'un choc avec un neutron (passant dans le coin, comme ça par hasard). Cette transforma-

tion est une réaction nucléaire que l'on appelle réaction de ..... et on dit que l'uranium 235 est .....

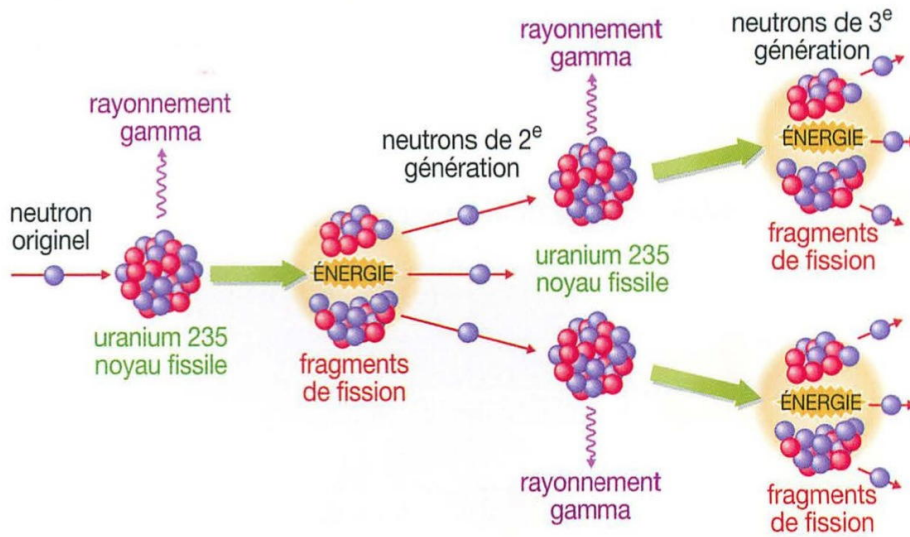


FIG. 4 – Réaction en chaîne pour l'uranium 235

**Possibilité d'une réaction en chaîne** Les deux fragments de fission sont appelés noyaux fils. La réaction libère aussi entre deux ou trois neutrons (2,47 neutrons en moyenne), qui peuvent (après avoir été préalablement ralentis) provoquer deux ou trois nouvelles réactions : c'est la réaction .....

Les produits de fission emportent cette énergie sous forme d'énergie cinétique, énergie qu'ils perdent au cours des chocs avec la matière environnante, donc en transfert ..... (chaleur).

Dans un réacteur nucléaire, la réaction en chaîne est maîtrisée pour maintenir un rythme de fissions constant.

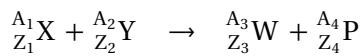
**Le problème de rayons gamma** À chaque modification d'un noyau, un rayonnement  $\gamma$  (lettre grecque « gamma ») est émis. Il s'agit d'un rayonnement pénétrant et très ionisant, c'est-à-dire qu'il va rompre des liaisons et faire apparaître des ions au sein de la matière qu'il traverse, y inclus la matière organique et notamment l'ADN codant l'information génétique !

**Énormément d'énergie** Pour un gramme d'uranium la quantité d'énergie libérée est considérable : la fission d'un noyau d'uranium 235 libère la même énergie que la combustion de 33 millions d'atomes de carbone.

## Équilibrer les équations des réactions nucléaires

Lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons A et du nombre de charges Z.

Équation générale d'une réaction nucléaire :



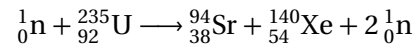
X et Y sont les noyaux ..... , W et P sont les noyaux .....

La conservation de la ..... s'écrit :  $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$  (autant de ..... dans les réactifs que dans les produits).

La conservation de la ..... s'écrit :  $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$

(autant de ..... dans les réactifs que dans les produits).

Voici un exemple de réaction de fission :



Pour écrire ces réactions il peut être nécessaire de disposer d'un tableau périodique des éléments, afin de connaître le symbole des éléments (ils sont classés par numéro atomique Z croissant).

Application directe : écrire l'équation de fusion de l'uranium 235 en yttrium et en iode 131, avec formation de trois neutrons.

.....

## 3 Comment optimiser et gérer notre utilisation de l'énergie électrique ?

### 3.1 Le stockage de l'électricité

Le stockage de l'énergie électrique n'est pas possible ..... : il faut la transformer en une énergie différente (mécanique, électrochimique...) stockable, puis opérer une seconde transformation pour la convertir à nouveau sous sa forme initiale. Quelles sont les technologies qui permettent ce stockage ?

**Les accumulateurs** Les accumulateurs sont des « piles ..... ».

La technologie des accumulateurs « Lithium ion » actuellement utilisés dans les téléphones portables, les ordinateurs et le petit électroménager, a été conçu pour la jeep lunaire des missions « Apollo » voilà cinquante ans.



FIG. 5 – La jeep lunaire d'Apollo 11.

La densité d'énergie de ces accumulateurs de nouvelle

génération peut atteindre  $300 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ , à comparer aux  $50 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$  des accumulateurs au plomb des voitures (les « batteries », car ce sont six éléments de 2 V mis en série pour donner 12 V).

*Nota bene* : densité d'énergie du pétrole brut :  $12 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$  !

**Les piles à combustible** Lorsqu'elle se recharge, par électrolyse de l'eau, la pile à combustible convertit de l'énergie ..... en énergie ..... Pour cette recharge, un source « intermittente » comme l'énergie solaire peut être utilisée.

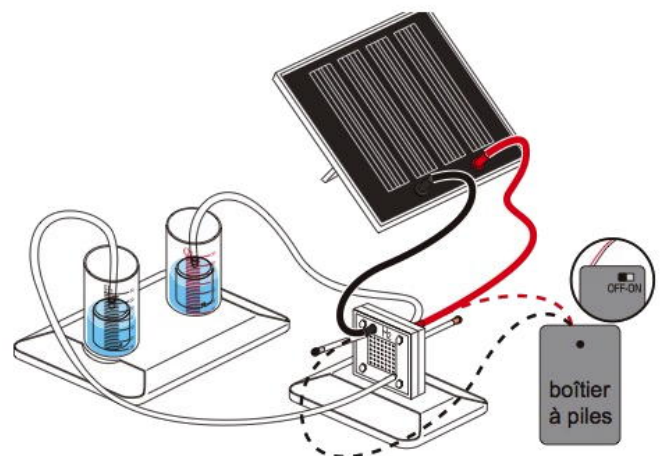
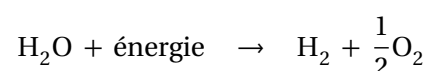


FIG. 6 – Charge de la pile à combustible.

La réaction lors de la charge est :





Lorsqu'elle se décharge, la pile à combustible convertit de l'énergie ..... en énergie ..... . Le combustible peut être du dihydrogène, qui réagit avec le dioxygène de l'air (en présence d'un catalyseur comme le platine).

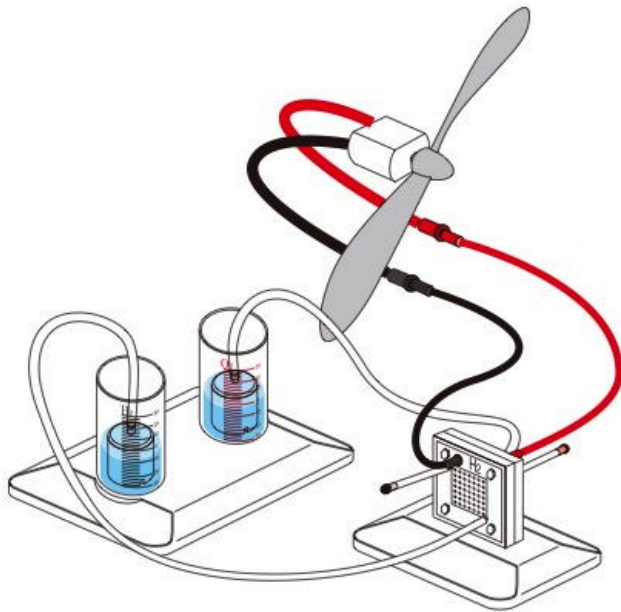
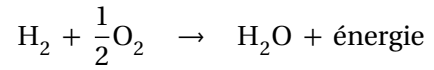


FIG. 7 – Décharge de la pile à combustible.

La réaction lors de la décharge est :



Ainsi on remarque qu'un accumulateur est ..... , contrairement à une simple pile, qu'il faut recycler une fois déchargée.

Le développement des piles à combustible pour les automobiles passe par la maîtrise du ..... du dihydrogène.

Les lacs et les barrages permettent de stocker de l'énergie. Ce sont les STEP, Stations de Transfer d'Énergie par Pompage, des dispositifs de stockage massifs.

Voici l'exemple du barrage de Grand-Maison, qui comporte un bassin supérieur à 1700 m d'altitude, et un lac inférieur à 770 m d'altitude.

Cette centrale électrique a une puissance de 1800 MW. Elle peut fonctionner de deux façons :

- ..... d'électricité en turbinant normalement l'eau provenant de l'amont ;
- ..... d'énergie en inversant le fonctionnement des turbines et en pompant l'eau de l'aval vers la retenue en amont.

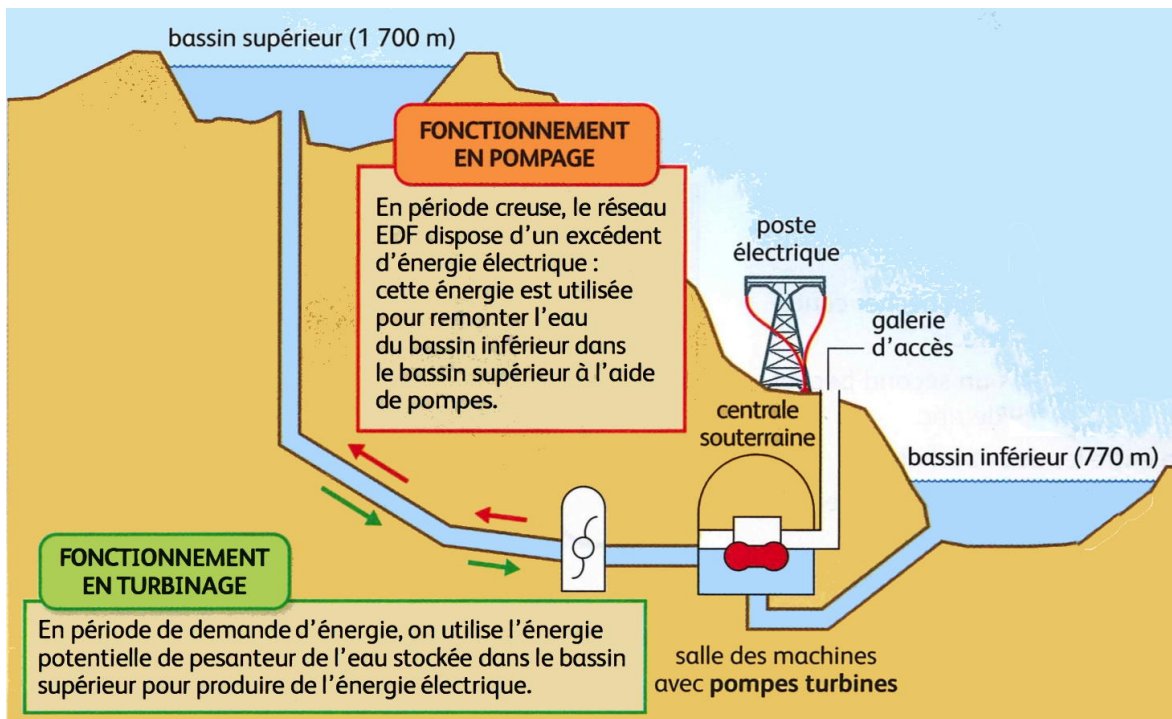


FIG. 8 – Schéma de principe du barrage de Grand-Maison.

### 3.2 Stocker permet de gérer les pics de demande d'électricité

Voici en figure 9 une courbe représentant la puissance électrique consommée en France lors d'une journée ensoleillée en hiver.

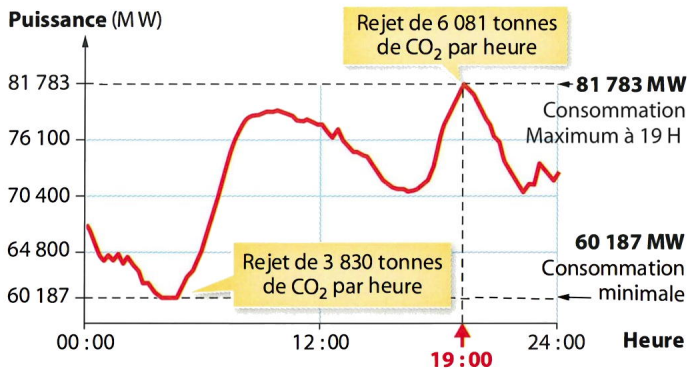


FIG. 9 – Évolution de la puissance consommée sur une journée.

Sur le réseau électrique, production et consommation doivent être ..... à tout instant, pour éviter les délestages (ruptures d'alimentation). Les centrales prioritairement utilisées pour répondre à la demande sont celles dont le coût de fonctionnement est le plus faible.

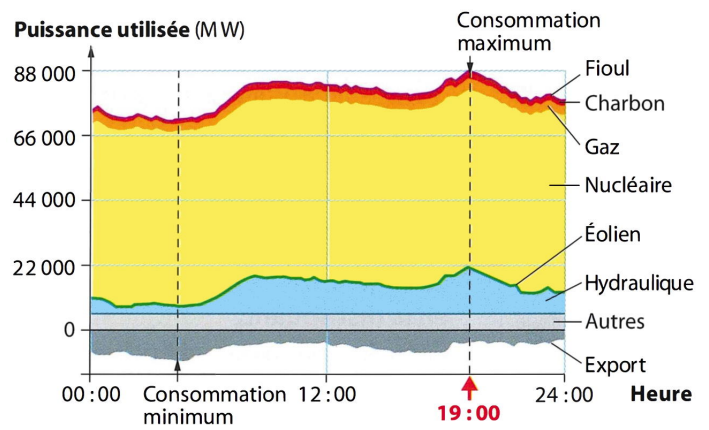


FIG. 10 – Puissance produite par filière, sur une journée.

Ainsi, stocker l'énergie permet de diversifier le bouquet énergétique en aidant à s'intégrer les ..... , tout en diminuant l'utilisation des .....

### 3.3 Les inconvénients d'un stockage de l'électricité

Toutes ces technologies de stockage présentent des ..... : leur coût, éventuellement leur faible capacité de stockage (accumulateurs) ou leur empreinte au sol (STEP), leur aspect polluant (acides et plomb dans les accumulateurs), etc.

## 4 Quelles sont les conséquences écologiques de notre consommation d'énergie ? (complément)

Apparu au début des années 1980, le concept d'empreinte environnementale traduit l'impact de l'activité humaine sur les écosystèmes.

L'effet de serre a déjà été expliqué en séance 9. Voici une figure résumant son fonctionnement.

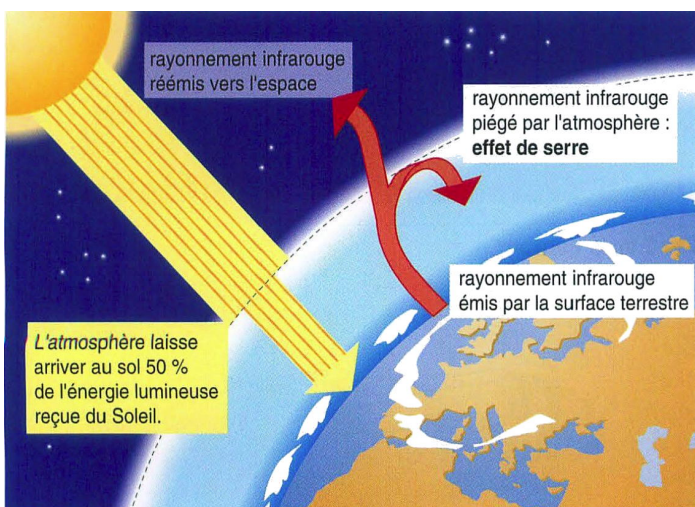


FIG. 11 – L'effet de serre correspond au piégage des rayons infrarouges émis par le sol.

L'émission de dioxyde de carbone d'origine anthropique (= produits par l'homme) a plusieurs sources qui sont indiquées sur la figure ci-dessous, en fonction des années.

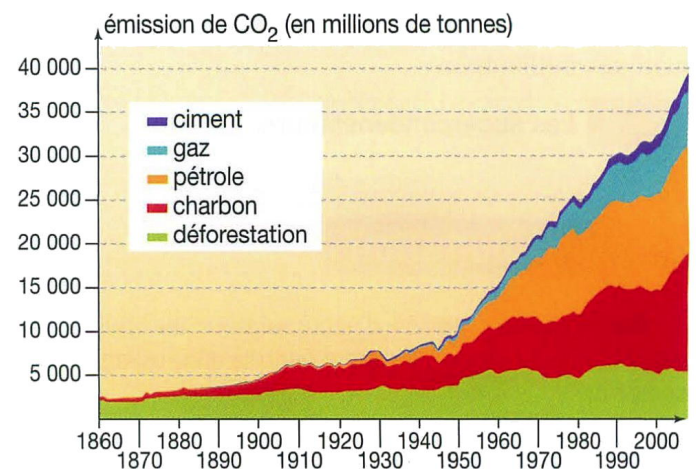


FIG. 12 – Évolution et origine des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> de 1860 à 2008, en millions de tonnes.

## 5 Correction des exercices (donnés lors de la séance n°9)

### 9.1 N° 1 p. 178 – Qui suis-je ?

- a. Un accumulateur.
- b. Un fil électrique (= une ligne haute tension).
- c. L'effet de serre.
- d. Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>.

### 9.2 N° 2 p. 178 – QCM

- 1. a, c et d.
- 2. a et c.
- 3. a, b et d.
- 4. b.

### 9.3 Les déchets radioactifs

- a. On base le classement sur l'activité massique du déchet (pre-

mier critère) et sa durée de vie (basée sur sa demi-vie ou période, deuxième critère).

- b. L'uranium est un déchet à longue vie (période > 31 ans) et à faible activité (au dessus de 100 Bq/g mais en dessous de 10<sup>5</sup> Bq/g). Il est stocké en faible profondeur.

## 6 Exercices (pour la séance n°11)

### 10.1 Art et Science – La datation des peintures de Lascaux.

### 10.2 N° 1 p. 182 – Produire de l'hydrogène.

### 10.3 N° 2 p. 182 – Scénarios énergétiques.