

# Introduction: Les centrales nucléaires suisses

Information aux enseignants



1/4

<b>Mandat de travail</b>	Le contenu de cette unité d'enseignement est présenté aux élèves.
<b>Objectif</b>	Ils connaissent les sites et les noms des cinq centrales nucléaires suisses.
<b>Matériel</b>	Texte d'information Fiches de travail Carte de la Suisse (échelle optimale pour pouvoir visualiser les petites localités: 1:303'000) Fiche de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail en duo
<b>Durée</b>	20'

Informations complémentaires:

- En introduction, les élèves font part de leurs connaissances et expériences dans le domaine des centrales nucléaires.
- Informations détaillées concernant les différentes centrales aux adresses suivantes:
  - [www.kkl.ch](http://www.kkl.ch) (Leibstadt) (en allemand uniquement)
  - [www.kkg.ch](http://www.kkg.ch) (Gösgen)
  - <https://www.bkw.ch/fr/le-groupe-bkw/notre-infrastructure/centrale-nucleaire-de-muehleberg/premier-coup-doeil/> (Mühleberg)

## Introduction: Les centrales nucléaires suisses

Texte d'information



2/4

Pour commencer, prends connaissance de la fiche d'information.

La Suisse compte au total cinq centrales nucléaires en exploitation. Toutes portent le nom d'une localité.

A l'aide d'une grande carte de la Suisse et des trois points fixes «Porrentruy», «Langnau i. E.» et «Sissach», trouve le nom et l'emplacement de ces installations.

### Exercice:

Le tableau suivant indique l'éloignement entre les centrales et les trois points fixes. Convertis en centimètres les indications kilométriques obtenues grâce à l'échelle de ta carte de la Suisse et reporte ces trois distances en traçant des cercles à l'aide d'un compas, avec pour centres les trois points fixes. Tu trouveras à l'intersection des trois cercles le site (localité) et le nom de la centrale. Remarque: deux centrales ont été construites sur le même site.

### Les centrales nucléaires suisses

	Distance avec Porrentruy	Distance avec Langnau i. E.	Distance avec Sissach	Solution
1	68,8 km	50,3 km	16,7 km	
2	53,0 km	39,4 km	70,0 km	
3	84,5 km	77,3 km	30,7 km	
4 + 5	87,8 km	74,2 km	33,0 km	

### La production d'électricité des centrales nucléaires suisses

Les centrales nucléaires suisses produisent chaque année environ 25 milliards de kilowattheures d'électricité, de manière homogène sur toute l'année. Cela permet de couvrir en moyenne annuelle entre 36 et 40% du besoin d'électricité de la Suisse. Les centrales hydrauliques produisent quant à elle 60% de l'électricité que nous consommons. En hiver, la Suisse produit globalement moins d'électricité qu'en été en raison du débit plus bas des cours d'eau ainsi que la contribution moins élevée des installations solaires. La part du nucléaire peut ainsi couvrir jusqu'à la moitié de la production d'électricité indigène. Mais malgré la production d'électricité élevée et régulière des centrales nucléaires, en hiver, la Suisse doit importer de grandes quantités de courant.

En comparaison internationale, seules la France (72%), la Slovaquie (54%), la Belgique (52%) et la Hongrie (51%) présentent des parts plus élevées d'électricité nucléaire dans leur mix électrique. La part de la Suède est quant à elle équivalente à celle de la Suisse.

### Exercice:

Calcule, en pour-cent, le rapport entre la production d'électricité des centrales nucléaires suisses et la consommation des ménages suisses (18,8 milliards de kWh).

La plus petite centrale de Suisse, celle de Mühleberg, fournit chaque année environ 3 milliards de kilowattheures d'électricité. Un ménage moyen consomme chaque jour 11 kWh d'électricité. Calcule le nombre de ménages que la centrale nucléaire de Mühleberg approvisionne en électricité.

## Introduction: Les centrales nucléaires suisses

Texte d'information



3/4

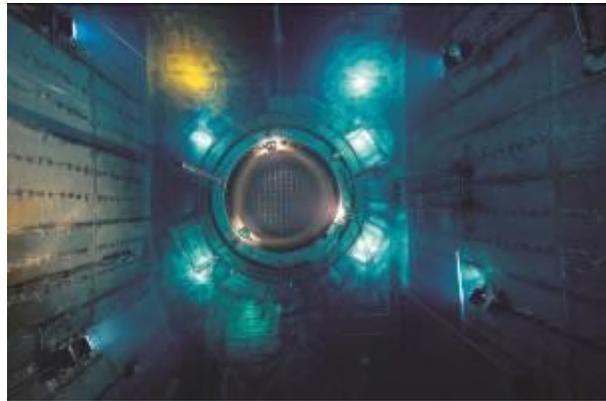
### Les centrales nucléaires suisses

La première fois que l'on aperçoit une centrale nucléaire de conception moderne, on est souvent impressionné: tout un ensemble de bâtiments la plupart du temps surplombés par une tour produisant un énorme nuage de vapeur. Ces installations permettent de produire de l'électricité. Mais elles sont aussi souvent associées à la radioactivité.

Or peu de gens savent ce qui se passe réellement derrière ces murs de, parfois, plusieurs mètres d'épaisseur.



Centrale nucléaire de Gösgen (KKG)



Coup d'œil à l'intérieur d'un réacteur nucléaire (source: Aypo)

Les centrales nucléaires ne sont pas seulement des constructions exigeantes sur le plan technique. Elles suscitent aussi des discussions de fond au sein de la population. Certes, elles produisent une quantité importante d'électricité de manière respectueuse du climat<sup>1</sup> et sans libérer de polluant atmosphérique, mais elles produisent aussi des déchets qui peuvent être dangereux pour l'homme et la nature et qui doivent pouvoir être stockés sur un lieu sûr durant une longue période. Par ailleurs, le risque d'accident grave dans une centrale nucléaire est très faible, mais les conséquences sur l'environnement peuvent être colossales.

**Cette unité d'enseignement vise une compréhension globale du fonctionnement des centrales nucléaires et doit te permettre de te forger ta propre opinion sur l'énergie nucléaire, et de mener des discussions fondées sur le sujet.**

<sup>1</sup> «respectueux du climat» signifie qu'une très faible quantité de gaz à effet de serre est émise dans le cadre de la production d'électricité.

# Introduction: Les centrales nucléaires suisses

Fiche de solutions



4/4

## Solutions:

### Les centrales nucléaires suisses

	Distance avec Porrentruy	Distance avec Langnau i. E.	Distance avec Sissach	Solution
1	68,8 km	50,3 km	16,7 km	<b>Gösgen</b>
2	53,0 km	39,4 km	70,0 km	<b>Mühleberg</b>
3	84,5 km	77,3 km	30,7 km	<b>Leibstadt</b>
4 + 5	87,8 km	74,2 km	33,0 km	<b>Beznau -1 et -2</b>

### La production d'électricité des centrales nucléaires suisses

Les centrales nucléaires suisses produisent 25 milliards de kilowattheures (kWh) dans la moyenne pluriannuelle. Cela correspond à 131% de la consommation totale des ménages suisses (en 2016, cette consommation s'établissait à 19,1 milliards de kWh).

Si un ménage suisse moyen consomme chaque jour environ 11 kWh d'électricité, alors sa consommation annuelle est de 4000 kWh. La plus petite centrale nucléaire suisse, celle de Mühleberg, produit chaque année 3 milliards de kWh. Elle peut donc approvisionner en électricité environ 750'000 ménages. A titre de comparaison: La plus grande installation solaire suisse, qui se trouve sur le toit du centre de distribution Migros de Neuendorf (canton de Soleure), produit chaque année 4,84 millions de kWh d'électricité et approvisionne ainsi 1210 ménages. Il faut noter cependant que cela n'est pas le cas en hiver, alors même qu'il s'agit de la période où nous avons le plus besoin d'électricité.

La plus grande centrale nucléaire suisse, celle de Leibstadt, est trois fois plus puissante que celle de Mühleberg.

# L'histoire de l'énergie nucléaire

Information aux enseignants



1/7

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves ordonnent des blocs de texte par ordre chronologique. Ils complètent le texte à l'aide des années correspondantes.
<b>Objectif</b>	Les élèves apprennent l'histoire de la découverte et du développement de l'énergie nucléaire.
<b>Matériel</b>	Fiches de travail Ciseaux Fiches de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel Correction en plénum
<b>Durée</b>	25'

Informations complémentaires:

- Les élèves complètent leurs connaissances sur les centrales nucléaires suisses grâce à Internet:  
<https://www.kernenergie.ch/fr/>  
<https://www.strom.ch/fr/>

# L'histoire de l'énergie nucléaire

Fiche de travail



2/7

## Exercice:

Découpe les blocs de textes suivants, ordonne-les par ordre chronologique et colle-les sur une feuille séparée intitulée «De la découverte de la radioactivité à l'exploitation des centrales nucléaires». Complète les cases vides en inscrivant les années concernées. Certaines années ne correspondent à aucun événement.

1955 | 2008 | 1938 | 2040 | 2003 | 1950 | 1971 | 2050 | 1986 | 1979 | 1961 | 2060 |  
 1954 | 2000 | 1945 | 2008 | 1972 | 1957 | 2003 | 1984 | 1969 | 2011 | 1896 | 2014 |  
 2016 | 2017

Le phénomène de la radioactivité a été découvert à la fin du 19e siècle, en \_\_\_\_\_. Henri Becquerel se rend compte alors que l'élément chimique d'uranium possède la propriété de se transformer spontanément, sans action extérieure, en un autre élément chimique en libérant de l'énergie, notamment sous la forme de rayonnement.

Moins d'un demi-siècle plus tard, en \_\_\_\_\_, les Allemands Otto Hahn et Fritz Strassmann découvrent qu'il est possible de diviser le noyau d'uranium par le biais d'actions extérieures ciblées et ainsi de le transformer en un autre élément, et sous certaines conditions, de générer une réaction en chaîne conduisant à la libération subite et massive d'énergie.

En raison de la Seconde Guerre mondiale, ces connaissances sont surtout utilisées et développées à des fins militaires. Le «projet Manhattan», mené par les Américains et gardé hautement confidentiel, conduit à la construction de la première bombe atomique. Ainsi, en \_\_\_\_\_, les Etats-Unis larguent deux bombes au-dessus du Japon. Peu de temps après, la capitulation de l'empire du Japon marque la fin de la guerre.

Après la guerre, plusieurs scientifiques consacrent leurs travaux à l'utilisation de la fission nucléaire à des fins de production d'électricité. Moins de dix ans plus tard, en \_\_\_\_\_, la première centrale nucléaire au monde est mise en service en Russie, à proximité de Moscou. Un an plus tard, en \_\_\_\_\_, l'Angleterre lance la production commerciale d'électricité à l'aide de l'énergie nucléaire. Six ans après, en \_\_\_\_\_, c'est au tour de l'Allemagne d'inaugurer sa première centrale.

En \_\_\_\_\_, alors que les centrales nucléaires en Russie et en Angleterre produisent déjà de l'électricité, les scientifiques suisses mettent en service le premier réacteur de recherche à Würenlingen. L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) est fondée la même année.

La première tranche nucléaire suisse, Beznau -1, est mise en service commercial dans les années soixante, en \_\_\_\_\_.

# L'histoire de l'énergie nucléaire

Fiche de travail



3/7

En \_\_\_\_\_, la puissance de l'installation est doublée avec l'achèvement et la mise en service du réacteur «jumeau» (Beznau -2). La centrale de Mühleberg est démarrée la même année. On fonde aussi cette année-là la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra).

La centrale nucléaire de Gösgen est connectée au réseau sept ans plus tard, en \_\_\_\_\_. Il s'agit de la première centrale suisse de la classe des 1000 mégawatts.

La centrale nucléaire de Leibstadt est en service depuis \_\_\_\_\_. L'installation la plus puissante de Suisse est équipée d'un réacteur à eau bouillante et approvisionne en électricité un million de personnes.

Deux ans plus tard, en \_\_\_\_\_, la centrale nucléaire de Tchernobyl, dans l'ancienne URSS, est frappée par un accident grave au cours duquel de la radioactivité est libérée. L'accident suscite une profonde remise en question au niveau mondial, ce qui freine le développement de l'énergie nucléaire.

Au tout début du nouveau millénaire, en \_\_\_\_\_, les citoyens suisses sont invités à se prononcer dans le cadre d'une votation populaire fédérale, et rejettent clairement l'initiative «Sortir du nucléaire» par 66,3% des voix.

Cinq ans plus tard, en \_\_\_\_\_, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) lance la recherche de sites aptes à abriter des dépôts en couches géologiques profondes, destinés aux déchets radioactifs. Le projet repose sur des études menées par la Nagra. La recherche est effectuée conjointement avec les cantons et les communes concernés dans le cadre d'une procédure en plusieurs étapes (plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes»).

La même année, en \_\_\_\_\_ les entreprises Alpiq, Axpo et BKW déposent des demandes d'autorisation générale pour le remplacement des réacteurs nucléaires actuels et la construction de nouvelles centrales en Suisse.

Le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» a pour objectif la mise en service en \_\_\_\_\_ d'un dépôt pour déchets faiblement et moyennement radioactifs (DFMR) et en \_\_\_\_\_ d'un dépôt pour déchets hautement radioactifs (DHR).

En mars \_\_\_\_\_, un séisme de magnitude 9 frappe le Japon et provoque un tsunami de 15 mètres de haut qui s'abat sur le littoral est du pays. On recense environ 20'000 décès. Le tsunami engendre une fusion du cœur et des explosions dans la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Des matières radioactives se déversent dans l'environnement, une partie de la population est évacuée. En mai de la même année, le Conseil fédéral décide de sortir du nucléaire à la fin de la durée d'exploitation des centrales actuelles. Les demandes d'autorisation générale pour la construction de trois nouvelles centrales nucléaires sont suspendues.

# L'histoire de l'énergie nucléaire

Fiche de travail



4/7

Mi-2011, les Chambres fédérales approuvent la nouvelle Stratégie énergétique 2050. Il faut cependant attendre \_\_\_\_\_ pour que le Parlement puisse approuver un premier paquet de mesures. Afin de pouvoir mettre en œuvre la stratégie, il lance une révision de la loi sur l'énergie. Celle-ci vise à réduire la consommation d'énergie, à améliorer l'efficacité énergétique et à promouvoir les énergies renouvelables.

Un référendum contre la nouvelle loi sur l'énergie est organisé à l'automne 2016. A la même période, en novembre \_\_\_\_\_, le peuple rejette l'initiative populaire fédérale «Pour la sortie programmée de l'énergie nucléaire (Initiative «Sortir du nucléaire»)». Celle-ci demandait une limitation de la durée d'exploitation des cinq centrales nucléaires suisses à 45 ans et une interdiction de construire de nouveaux réacteurs. Ainsi, les installations actuelles pourront fonctionner tant qu'elles sont sûres.

A l'automne \_\_\_\_\_ également, les entreprises Alpiq, Axpo et BKW retirent les trois demandes d'autorisation générale en raison de la profonde transformation du marché de l'électricité et du monde de l'énergie depuis 2008, et du fait que la politique avait entretemps posé des jalons pour un avenir sans énergie nucléaire.

En mai \_\_\_\_\_, le peuple a finalement l'occasion de s'exprimer sur la nouvelle loi sur l'énergie. Celle-ci est approuvée avec 58,2% des voix. La construction de nouvelles centrales nucléaires en Suisse est désormais interdite.

Contrairement à l'Allemagne et à la Suisse, la plupart des pays possédant le nucléaire continuent d'investir dans cette énergie respectueuse des ressources et de l'environnement. Fin \_\_\_\_\_, 447 centrales nucléaires étaient en exploitation dans 31 pays. 58 sont en cours de construction, dont 19 en Chine.

# L'histoire de l'énergie nucléaire

Fiche de solutions



5/7

## Solutions:

Le phénomène de la radioactivité a été découvert à la fin du 19e siècle, en **1896**. Henri Becquerel se rend compte alors que l'élément chimique d'uranium possède la propriété de se transformer spontanément, sans action extérieure, en un autre élément chimique en libérant de l'énergie, notamment sous la forme de rayonnement.

Moins d'un demi-siècle plus tard, en **1938**, les Allemands Otto Hahn et Fritz Strassmann découvrent qu'il est possible de diviser le noyau d'uranium par le biais d'actions extérieures ciblées et ainsi de le transformer en un autre élément, et sous certaines conditions, de générer une réaction en chaîne conduisant à la libération subite et massive d'énergie.

En raison de la Seconde Guerre mondiale, ces connaissances sont surtout utilisées et développées à des fins militaires. Le «projet Manhattan», mené par les Américains et gardé hautement confidentiel, conduit à la construction de la première bombe atomique. Ainsi, en **1945**, les Etats-Unis larguent deux bombes au-dessus du Japon. Peu de temps après, la capitulation de l'empire du Japon marque la fin de la guerre.

Après la guerre, plusieurs scientifiques consacrent leurs travaux à l'utilisation de la fission nucléaire à des fins de production d'électricité. Moins de dix ans plus tard, en **1954**, la première centrale nucléaire au monde est mise en service en Russie, à proximité de Moscou. Un an plus tard, en **1955**, l'Angleterre lance la production commerciale d'électricité à l'aide de l'énergie nucléaire. Six ans après, en **1961**, c'est au tour de l'Allemagne d'inaugurer sa première centrale.

En **1957**, alors que les centrales nucléaires en Russie et en Angleterre produisent déjà de l'électricité, les scientifiques suisses mettent en service le premier réacteur de recherche à Würenlingen. L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) est fondée la même année.

La première tranche nucléaire suisse, Beznau -1, est mise en service commercial dans les années soixante, en **1969**.

# L'histoire de l'énergie nucléaire

Fiche de solutions



6/7

En **1972**, la puissance de l'installation est doublée avec l'achèvement et la mise en service du réacteur «jumeau» (Beznau -2). La centrale de Mühleberg est démarrée la même année. On fonde aussi cette année-là la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra).

La centrale nucléaire de Gösgen est connectée au réseau sept ans plus tard, en **1979**. Il s'agit de la première centrale suisse de la classe des 1000 mégawatts.

La centrale nucléaire de Leibstadt est en service depuis **1984**. L'installation la plus puissante de Suisse est équipée d'un réacteur à eau bouillante et approvisionne en électricité un million de personnes.

Deux ans plus tard, en **1986**, la centrale nucléaire de Tchernobyl, dans l'ancienne URSS, est frappée par un accident grave au cours duquel de la radioactivité est libérée. L'accident suscite une profonde remise en question au niveau mondial, ce qui freine le développement de l'énergie nucléaire.

Au tout début du nouveau millénaire, en **2003**, les citoyens suisses sont invités à se prononcer dans le cadre d'une votation populaire fédérale, et rejettent clairement l'initiative «Sortir du nucléaire» par 66,3% des voix.

Cinq ans plus tard, en **2008**, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) lance la recherche de sites aptes à abriter des dépôts en couches géologiques profondes, destinés aux déchets radioactifs. Le projet repose sur des études menées par la Nagra. La recherche est effectuée conjointement avec les cantons et les communes concernés dans le cadre d'une procédure en plusieurs étapes (plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes»).

La même année, en **2008** les entreprises Alpiq, Axpo et BKW déposent des demandes d'autorisation générale pour le remplacement des réacteurs nucléaires actuels et la construction de nouvelles centrales en Suisse.

Le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» a pour objectif la mise en service en **2050** d'un dépôt pour déchets faiblement et moyennement radioactifs (DFMR) et en **2060** d'un dépôt pour déchets hautement radioactifs (DHR).

En mars **2011**, un séisme de magnitude 9 frappe le Japon et provoque un tsunami de 15 mètres de haut qui s'abat sur le littoral est du pays. On recense environ 20'000 décès. Le tsunami engendre une fusion du cœur et des explosions dans la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Des matières radioactives se déversent dans l'environnement, une partie de la population est évacuée. En mai de la même année, le Conseil fédéral décide de sortir du nucléaire à la fin de la durée d'exploitation des centrales actuelles. Les demandes d'autorisation générale pour la construction de trois nouvelles centrales nucléaires sont suspendues.

# L'histoire de l'énergie nucléaire

Fiche de solutions



7/7

Mi-2011, les Chambres fédérales approuvent la nouvelle Stratégie énergétique 2050. Il faut cependant attendre **2016** pour que le Parlement puisse approuver un premier paquet de mesures. Afin de pouvoir mettre en œuvre la stratégie, il lance une révision de la loi sur l'énergie. Celle-ci vise à réduire la consommation d'énergie, à améliorer l'efficacité énergétique et à promouvoir les énergies renouvelables.

Un référendum contre la nouvelle loi sur l'énergie est organisé à l'automne 2016. A la même période, en novembre **2016**, le peuple rejette l'initiative populaire fédérale «Pour la sortie programmée de l'énergie nucléaire (Initiative «Sortir du nucléaire»)». Celle-ci demandait une limitation de la durée d'exploitation des cinq centrales nucléaires suisses à 45 ans et une interdiction de construire de nouveaux réacteurs. Ainsi, les installations actuelles pourront fonctionner tant qu'elles sont sûres.

A l'automne **2016** également, les entreprises Alpiq, Axpo et BKW retirent les trois demandes d'autorisation générale en raison de la profonde transformation du marché de l'électricité et du monde de l'énergie depuis 2008, et du fait que la politique avait entretemps posé des jalons pour un avenir sans énergie nucléaire.

En mai **2017**, le peuple a finalement l'occasion de s'exprimer sur la nouvelle loi sur l'énergie. Celle-ci est approuvée avec 58,2% des voix. La construction de nouvelles centrales nucléaires en Suisse est désormais interdite.

Contrairement à l'Allemagne et à la Suisse, la plupart des pays possédant le nucléaire continuent d'investir dans cette énergie respectueuse des ressources et de l'environnement. Fin **2017**, 447 centrales nucléaires étaient en exploitation dans 31 pays. 58 sont en cours de construction, dont 19 en Chine.

# Les éléments constitutifs de l'atome

Information aux enseignants



1/7

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent les textes d'information. Ils utilisent parallèlement comme aide à la compréhension la fiche de travail «Questions clés concernant le texte». Ils dessinent ensuite les modèles d'atomes de trois éléments chimiques puis comparent leurs réponses et dessins.
<b>Objectif</b>	Acquisition des connaissances de base permettant de comprendre la radioactivité et la fission nucléaire. Les élèves revoient, ou apprennent pour la première fois, la manière dont est structuré un atome.
<b>Matériel</b>	Textes Fiche de travail «Questions clés concernant le texte» Fiche de travail «Les modèles atomiques de l'hydrogène, du lithium et du carbone» Fiches de solutions 1 + 2 Pochoir en plastique ou carton/papier rigide
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel Travail en duo
<b>Durée</b>	45'

Informations complémentaires:

- En introduction, les élèves observent des images des planètes de notre système planétaire, sur lequel sont aussi représentées les lunes.
- L'enseignant attire leur attention sur les similitudes incroyables entre le macrocosme et le microcosme.
- Avant de commencer à travailler sur le texte, les élèves dessinent un modèle d'atome en suivant les instructions de l'enseignant (sur le tableau mural).
- Informations et offres en ligne à l'adresse [www.energienucleaire.ch](http://www.energienucleaire.ch)

# Les éléments constitutifs de l'atome

Fiche de travail



2/7

## Exercice:

Lis attentivement les énoncés suivants. Au cours de la lecture, réponds aux questions inscrites sur la fiche de travail «Questions clés concernant le texte». Lorsque tu as terminé, dessine les trois modèles d'atome de la fiche de travail «Les modèles atomiques de l'hydrogène, du lithium et du carbone.»

## Questions clés concernant l'élaboration du texte:

1	Combien existe-t-il d'éléments chimiques?
2	Comment se nomment les composants de base qui constituent les différents éléments chimiques?
3	Quels sont les trois types de particules qui constituent ces composants de base?
4	Dans quelle proportion approximative ces trois éléments sont-ils présents dans un atome?
5	Quelle est la différence entre l'atome d'hélium et l'atome de carbone?
6	On peut globalement diviser un atome en deux parties. Lesquelles?
7	Quels éléments trouve-t-on dans un noyau atomique?
8	Quels éléments trouve-t-on dans l'enveloppe d'un atome?
9	Dans quelle partie d'un atome est concentré son poids?
10	Quelle est la différence entre un proton et un neutron?
11	Quels éléments portent la charge électrique?
12	Quels sont les deux éléments normalement présents dans une quantité égale?
13	Pour quelle raison ces deux éléments doivent-ils être présents dans une quantité égale?
14	Comment se nomme la force qui maintient les électrons en rotation autour d'un noyau d'atome?
15	Les atomes peuvent former des liaisons avec d'autres atomes. Comment nomme-t-on le résultat de ces liaisons?
16	Cite un exemple concret de ce type de liaison et ses composants.

# Les éléments constitutifs de l'atome

Fiche de travail



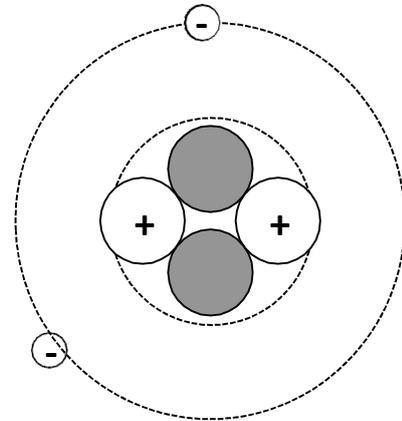
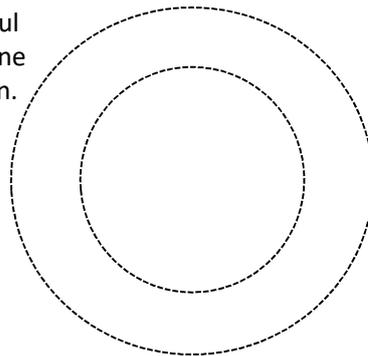
3/7

## Exercice:

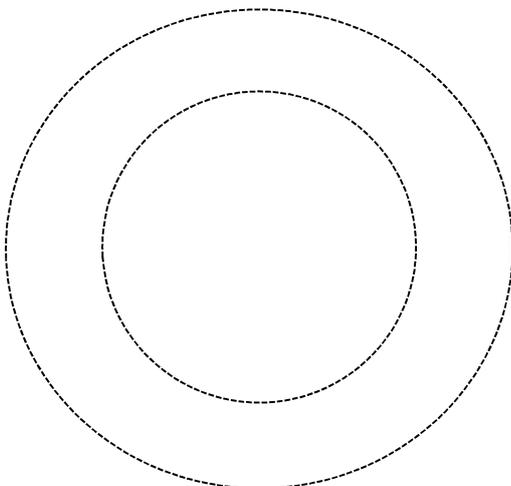
Un noyau d'hélium est composé de deux protons et de deux neutrons, et son enveloppe de deux électrons.

Pour les autres atomes représentés, dessine les électrons, les protons et les neutrons, ainsi que leur charge. Les électrons doivent tous se trouver sur le cercle externe dessiné en pointillés qui représente l'enveloppe électronique de l'atome. Les protons et les neutrons (en gris) doivent se trouver essentiellement à l'intérieur du cercle en pointillés qui entoure le noyau de l'atome. Si tu en as un à disposition, utilise un pochoir.

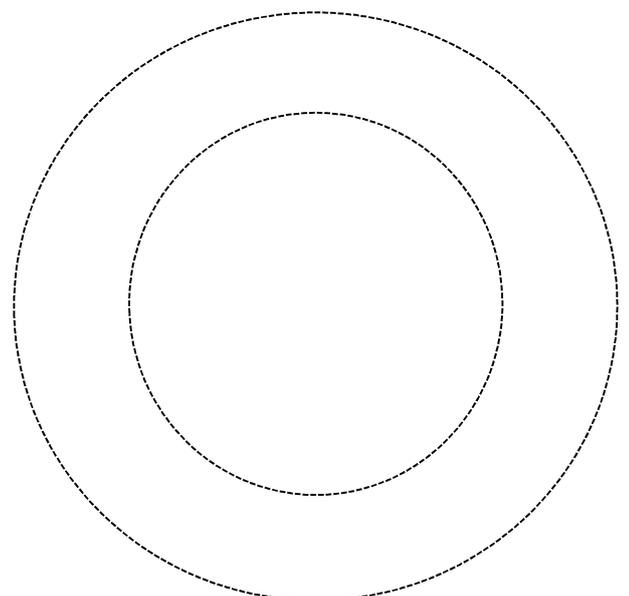
Un atome d'hydrogène (H) possède un proton et un électron. Il s'agit du seul élément chimique qui ne possède aucun neutron.



Un atome de carbone (C) possède six protons, six neutrons et six électrons.



Un atome de lithium possède trois protons, trois neutrons et trois électrons.



# Les éléments constitutifs de l'atome<sup>de</sup>

Texte d'information



4/7

## La structure des atomes

Il existe **plusieurs modèles** de structures d'atomes, plus ou moins complexes. Le **modèle de Bohr** utilisé ici possède une structure relativement simple mais ne permet pas d'expliquer tous les comportements des atomes. Il fournit cependant une **compréhension globale des principes de la radioactivité** et de la fission nucléaire.

Le modèle atomique de Bohr présuppose que les composants de base (les atomes) des 118 éléments chimiques à l'origine de toutes les matières présentes sur Terre sont constitués uniquement de **TROIS particules** différentes: les **neutrons**, les **protons** et les **électrons**. En d'autres termes, cela signifie que les atomes se distinguent seulement par le nombre de ces particules et non par le type de particules qu'ils possèdent.

### Exemples:

- L'hélium est un élément très simple dont l'atome se compose de deux protons, de deux neutrons et de deux électrons. La constitution d'un atome de carbone est déjà un peu plus complexe: six protons, six neutrons et six électrons.
- Si tu imagines que chaque élément possède le même nombre de chacune des trois catégories, dis-toi qu'il ne s'agit là que d'une règle grossière. Car le carbone par exemple peut également posséder huit neutrons au lieu de six, et l'élément le plus léger, l'hydrogène, n'en possède aucun. Concernant les atomes plus gros (à partir de 20 protons environ), la différence entre protons et neutrons est au moins de trois.

Les protons et les neutrons constituent le **noyau atomique**. Les électrons, qui gravitent autour en se déplaçant rapidement, forment l'**enveloppe** multicouche qui entoure le **noyau**. Pour comprendre, tu peux comparer un atome avec une planète (= noyau atomique) entourée de petites lunes qui se déplaceraient rapidement et seraient plus ou moins éloignées (= enveloppe électronique de l'atome).

Le **poids d'un atome** est essentiellement concentré dans son noyau, c'est-à-dire dans les protons et les neutrons, répartis de manière à peu près identique entre les deux types de particules. Tu peux te représenter les choses ainsi: Si l'on agrandissait un atome pour qu'il soit de la taille d'une cathédrale (par ex. la cathédrale Notre-Dame de Rouen), le noyau atomique en son centre aurait la taille d'une tête d'épingle. Cette tête d'épingle serait cependant aussi lourde que toute la cathédrale! La principale différence entre les protons et les neutrons réside dans le fait que les protons sont **chargés positivement** et les neutrons possèdent une **charge neutre**, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas chargés.

Une matière ne peut pas être chargée que positivement, sans quoi elle exploserait en un nuage de poussières étant donné que les charges électriques identiques se repoussent. Pour que cela n'arrive pas, chaque atome normal doit posséder **autant** de charges positives que de charges négatives. Les charges électriques qui se repoussent et s'attirent s'annulent dans l'atome. Ce sont les électrons qui portent les charges électriques négatives. En raison de cette nécessité de posséder une charge électrique neutre, un atome doit posséder autant de protons que d'électrons (il existe là aussi des exceptions qui ne sont cependant pas indispensables ici pour aborder le thème de la radioactivité). Les charges, opposées, des protons et des électrons s'attirent en raison de la **force de Coulomb** – comme la lune et le soleil en raison de la force gravitationnelle – et garantissent que les électrons restent bien sur une couche périphérique autour du noyau atomique.

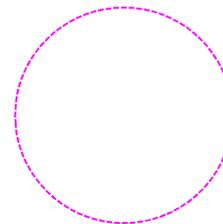
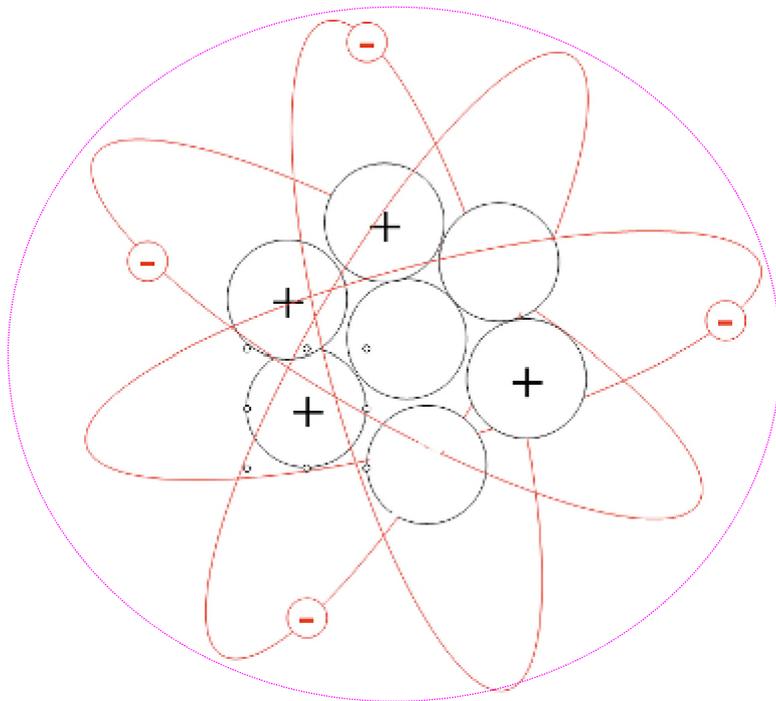
# Les éléments constitutifs de l'atome

Texte d'information

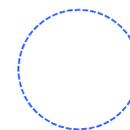


5/7

La figure ci-contre représente un atome inventé dont le noyau est composé de quatre protons et de trois neutrons, et l'enveloppe de quatre électrons. Le nombre de protons et d'électrons doit être identique.



Enveloppe atomique



Noyau atomique

Les atomes peuvent se regrouper; ils forment alors une **molécule**.

Les molécules d'eau par exemple sont composées de deux atomes d'hydrogène (symbole H) et d'un atome d'oxygène (symbole O). La liaison de ces trois atomes est notée H<sub>2</sub>O. Les substances visibles, mais aussi les gaz invisibles, se composent la plupart du temps d'innombrables molécules ou atomes.

# Les éléments constitutifs de l'atome

Fiche de solutions



6/7

## Solutions:

### Questions clés concernant l'élaboration du texte:

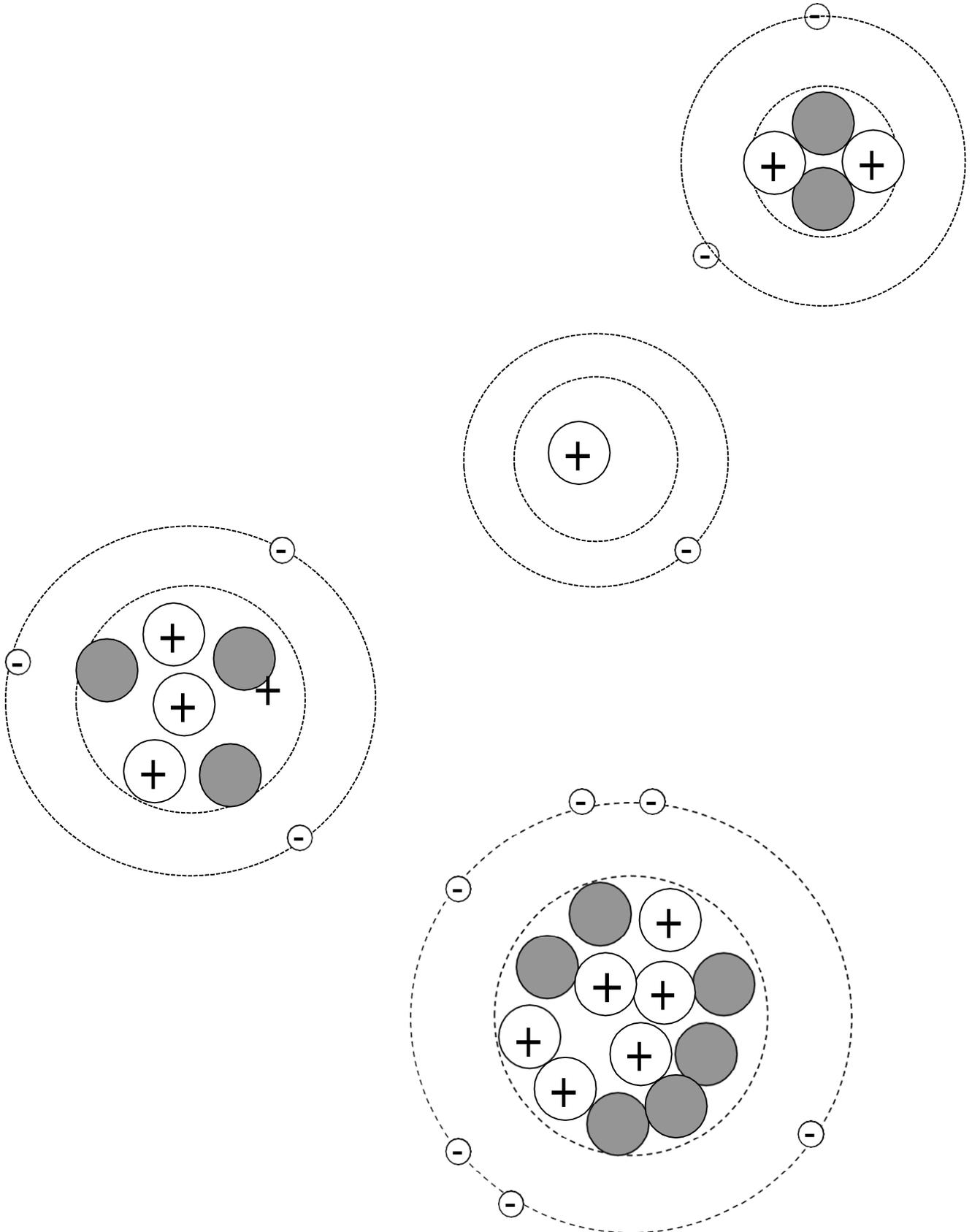
1	Combien existe-t-il d'éléments chimiques? <b>118</b>
2	Comment se nomment les composants de base qui constituent les différents éléments chimiques? <b>Atomes</b>
3	Quels sont les trois types de particules qui constituent ces composants de base? <b>Les neutrons, les protons et les électrons</b>
4	Dans quelle proportion approximative ces trois éléments sont-ils présents dans un atome? <b>Dans des quantités équivalentes (1:1)</b>
5	Quelle est la différence entre l'atome d'hélium et l'atome de carbone? <b>Le nombre de protons de protons, de neutrons et d'électrons.</b>
6	On peut globalement diviser un atome en deux parties. Lesquelles? <b>L'enveloppe atomique et le noyau</b>
7	Quels éléments trouve-t-on dans un noyau atomique? <b>Des neutrons et des protons</b>
8	Quels éléments trouve-t-on dans l'enveloppe d'un atome? <b>Des électrons</b>
9	Dans quelle partie d'un atome est concentré son poids? <b>Dans le noyau</b>
10	Quelle est la différence entre un proton et un neutron? <b>Ils se distinguent par leur charge électrique: le neutron possède une charge électriquement neutre tandis que le proton est chargé positivement.</b>
11	Quels éléments portent la charge électrique? <b>Les électrons portant la charge négative / Les protons portent la charge positive / Les neutrons ne portent aucune charge (ch. chapitre 4)</b>
12	Quels sont les deux éléments normalement présents dans une quantité égale? <b>Les électrons et les protons</b>
13	Pour quelle raison ces deux éléments doivent-ils être présents dans une quantité égale? <b>Afin que l'atome possède au final une charge électrique neutre. Si ce n'est pas le cas, la matière explose en raison de la force de Coulomb.</b>
14	Comment se nomme la force qui maintient les électrons en rotation autour d'un noyau d'atome? <b>La force de Coulomb</b>
15	Les atomes peuvent former des liaisons avec d'autres atomes. Comment nomme-t-on le résultat de ces liaisons? <b>Une molécule</b>
16	Cite un exemple concret de ce type de liaison et ses composants. <b>L'eau: composée de deux atomes d'hydrogènes et d'un atome d'oxygène.</b>

# Les éléments constitutifs de l'atome

Fiche de solutions



7/7



# Le tableau périodique des éléments

Information aux enseignants



1/5

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent le texte d'information. Ils utilisent parallèlement comme aide à la compréhension la fiche de travail «Questions clés concernant le texte».
<b>Objectif</b>	Les élèves comprennent que les différents éléments chimiques se distinguent seulement par le nombre de protons que contient leur noyau et le nombre d'électrons que contient leur enveloppe. Ils sont capables d'interpréter les principales informations contenues dans le tableau périodique des éléments
<b>Matériel</b>	Texte Fiche de travail avec questions clés Fiche de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel (élaboration d'un texte)
<b>Durée</b>	20'

Informations complémentaires:

- Introduction/répétition de l'agencement des électrons sur plusieurs enveloppes
- A l'aide de la copie du tableau périodique des éléments, présenter la relation entre certains éléments sur la base de leur structure électronique identique dans l'enveloppe électronique la plus externe.

# Le tableau périodique des éléments

Fiche de travail



2/5

## Exercice:

Lis attentivement le texte ci-dessous. Au fil de la lecture, réponds aux questions 1 à 6.

## Le tableau périodique des éléments

Questions	
1	Quelles particules d'un atome déterminent l'élément chimique concerné, en fonction de leur quantité?
2	A quoi correspond le numéro atomique indiqué dans le tableau périodique des éléments?
3	Que représente le nombre de masse d'un atome?
4	Un élément chimique peut exister dans plusieurs variantes possédant des nombres de masse différents. Dans un atome, quelles particules sont présentes dans des quantités différentes, quelles particules sont présentes dans des quantités identiques?
5	Comme appelle-t-on les variantes d'un élément chimique précis?
6	Combien de protons, de neutrons et d'électrons contient l' $^{235}\text{U}$ ?  Protons: _____ Neutrons: _____ Electrons: _____

# Le tableau périodique des éléments

Texte d'information



3/5

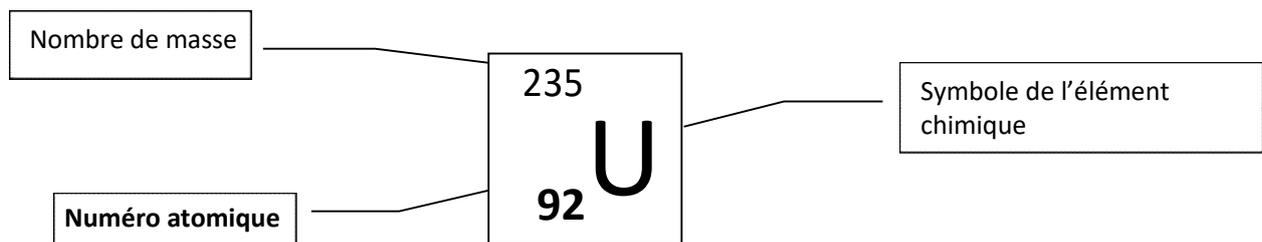
## Le tableau périodique des éléments

Le **nombre de protons** d'un atome détermine s'il est question ici par exemple de fer, de soufre, d'oxygène, de carbone, ou d'un autre élément chimique.

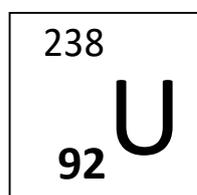
Le **tableau périodique des éléments** répertorie tous les éléments chimiques classés en fonction de leur **nombre de protons**. Le nombre de protons est désigné dans le tableau par le terme **numéro atomique**. Il est identique au nombre d'électrons de l'atome concerné. Le second chiffre, toujours plus grand – sauf dans le cas de l'hydrogène –, indique la somme des protons et des neutrons. On le nomme **nombre de masse** étant donné que les protons ajoutés aux neutrons indiquent approximativement la masse d'un atome.

Lorsqu'un élément apparaît plusieurs fois avec un même numéro atomique mais un nombre de neutrons différent, on parle d'**isotopes**. Lorsque l'on inscrit les isotopes d'un élément, on indique le nombre de masse devant le symbole de l'élément concerné étant donné que ce nombre peut varier. Par exemple, le  $^{206}\text{Pb}$  est le symbole de l'isotope du plomb qui présente le nombre de masse 206. Le  $^{204}\text{Pb}$  possède le même nombre de protons mais par rapport au  $^{206}\text{Pb}$ , il lui manque deux neutrons.

Dans le domaine de l'énergie nucléaire, l'**élément chimique uranium** joue un rôle majeur. Il possède le **numéro atomique 92**. En d'autres termes: un atome d'uranium est toujours composé de **92 protons** et de **92 électrons**. Le nombre de neutrons peut varier, il existe donc plusieurs isotopes. **Dans les centrales nucléaires, seul l'isotope d'uranium possédant le nombre de masse 235 est utilisé à des fins de production d'électricité. En effet, contrairement à l'isotope  $^{238}\text{U}$ , l' $^{235}\text{U}$  est facilement fissile.**



Un exemple d'**isotope**: élément chimique identique (ici l'uranium) avec un nombre de masse différent:



# Le tableau périodique des éléments

Texte d'information



Tu peux voir ci-dessous le **tableau périodique complet des éléments**.

**Tableau périodique des éléments chimiques**

**Legende :**

- métaux alcalins
- métaux alcalino-terreux
- autres métaux
- métaux de transition
- lanthanides
- actinides
- métalloïdes
- non-métaux
- halogènes
- gaz nobles
- élément inconnus
- Les éléments radioactifs ont tous une demi-vie inférieure à 100 ans

**Apprentissage des données de l'élément Fer (Fe) :**

- numéro atomique : 26
- masse atomique : 55,845
- symbole chimique : Fe
- nom : Fer
- configuration électronique : [Ar] 3d<sup>6</sup> 4s<sup>2</sup>
- états d'oxydation les plus communs en us : +2, +3
- électronégativité : 1,83

**Boîtes du tableau périodique :**

- s
- d
- p
- f

Comme tu peux le voir, le nombre en haut à gauche possède souvent une virgule. Le nombre de masse réel (nombre de protons et de neutrons) ne peut cependant pas posséder de virgule, sinon cela signifierait que son noyau comprend des fragments de protons et de neutrons, ce qui est impossible.

Cette virgule est là pour plusieurs raisons, que nous n'aborderons pas plus en détail ici. Normalement, le nombre en haut à gauche est très proche d'un nombre entier (par ex. pour l'hélium il s'agit du nombre 4,003). Le nombre de masse correspond alors au nombre entier le plus proche. Si le nombre situé en haut à gauche est compris entre deux nombres entiers (par ex. le chlore avec 35,453), cela signifie que l'élément possède au moins deux isotopes, pour le chlore: du <sup>37</sup>Cl et du <sup>35</sup>Cl.

Il existe également des représentations de ce tableau dans lesquelles le nombre de masse et le numéro atomique sont inversés (numéro atomique en haut, nombre de masse en bas).

Exemple :

	I	II	
1	H Hydrogène 1,00794		
3	Li Lithium 6,939	4 Be Béryllium 9,0122	
11	Na Sodium 22,990	12 Mg Magnésium 24,312	IIIA

# Le tableau périodique des éléments

Fiche de solutions



5/5

## Solutions:

	Questions
1	<p>Quelles particules d'un atome déterminent l'élément chimique concerné, en fonction de leur quantité?</p> <p><b>Les protons</b></p>
2	<p>A quoi correspond le numéro atomique indiqué dans le tableau périodique des éléments?</p> <p><b>Le numéro atomique d'un élément correspond au nombre de protons présents dans le noyau.</b></p>
3	<p>Que représente le nombre de masse d'un atome?</p> <p><b>La somme des neutrons et des protons présents dans le noyau.</b></p>
4	<p>Un élément chimique peut exister dans plusieurs variantes possédant des nombres de masse différents. Dans un atome, quelles particules sont présentes dans des quantités différentes, quelles particules sont présentes dans des quantités identiques?</p> <p><b>Le nombre de neutrons peut varier. Le nombre de protons et d'électrons reste identique.</b></p>
5	<p>Comme appelle-t-on les variantes d'un élément chimique précis?</p> <p><b>Isotope (exprimé en indice)</b></p>
6	<p>Combien de protons, de neutrons et d'électrons contient l'<math>^{235}\text{U}</math>?</p> <p>Protons: <b>92</b>    Neutrons: <b>143</b>    Electrons: <b>92</b></p>

# La radioactivité naturelle

Information aux enseignants



1/7

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent le texte d'information. Ils utilisent parallèlement comme aide à la compréhension la fiche de travail «Questions clés concernant le texte». Les élèves expliquent par groupe de deux ce que l'on entend par «radioactivité». Ils complètent la chaîne de désintégration naturelle de l'uranium
<b>Objectif</b>	Les élèves sont capables de résumer en quelques phrases les grandes lignes du phénomène de «radioactivité». Ils connaissent différentes formes de rayonnement radioactif ainsi qu'un exemple de chaîne de désintégration naturelle qui en résulte (celle de l'uranium).
<b>Matériel</b>	Textes d'information Fiche de travail avec questions clés Fiche de travail «La chaîne de désintégration naturelle de l'uranium» Fiches de solutions 1+2
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel/travail en duo
<b>Durée</b>	45'

Informations complémentaires:

- Les élèves dessinent des schémas représentant la désintégration alpha et la désintégration bêta.
- Ils utilisent un atome inventé et présentent sur leur schéma les modifications dans le noyau, c'est-à-dire à la fois l'atome de départ, l'atome final, ainsi que la particule émise (noyau d'hélium ou électron).
- Une représentation de la nature radioactive (cf. leçon «07 La radioactivité ambiante») est disponible dans les documents destinés aux cycles moyen et d'orientation.
- Des informations générales concernant les différentes formes de rayonnement ainsi que la radioactivité sont disponibles sur le site de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP):
- <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home.html>
- Les valeurs de la radioactivité de la Centrale nationale d'alarme (CENAL) peuvent être consultées sous [www.naz.ch/fr/aktuell/messwerte.html](http://www.naz.ch/fr/aktuell/messwerte.html).

# La radioactivité naturelle

Fiche de travail



2/7

## Exercice:

### Questions

1	De quelle manière se comporte un atome radioactif?
2	Qu'est-ce que le rayonnement alpha?
3	Pourquoi qualifie-t-on un atome qui émet un rayonnement alpha lors d'une désintégration radioactive d'«émetteur d'hélium»?
4	Quels autres types de rayonnement peuvent accompagner la radioactivité?
5	Cite des exemples de rayonnement électromagnétique.
6	Pourquoi le rayonnement gamma est-il un rayonnement dit «critique»?
7	Combien d'éléments chimiques environ sont radioactifs?
8	Qu'est-ce que la «demi-vie radioactive»?

# La radioactivité naturelle

Fiche de travail



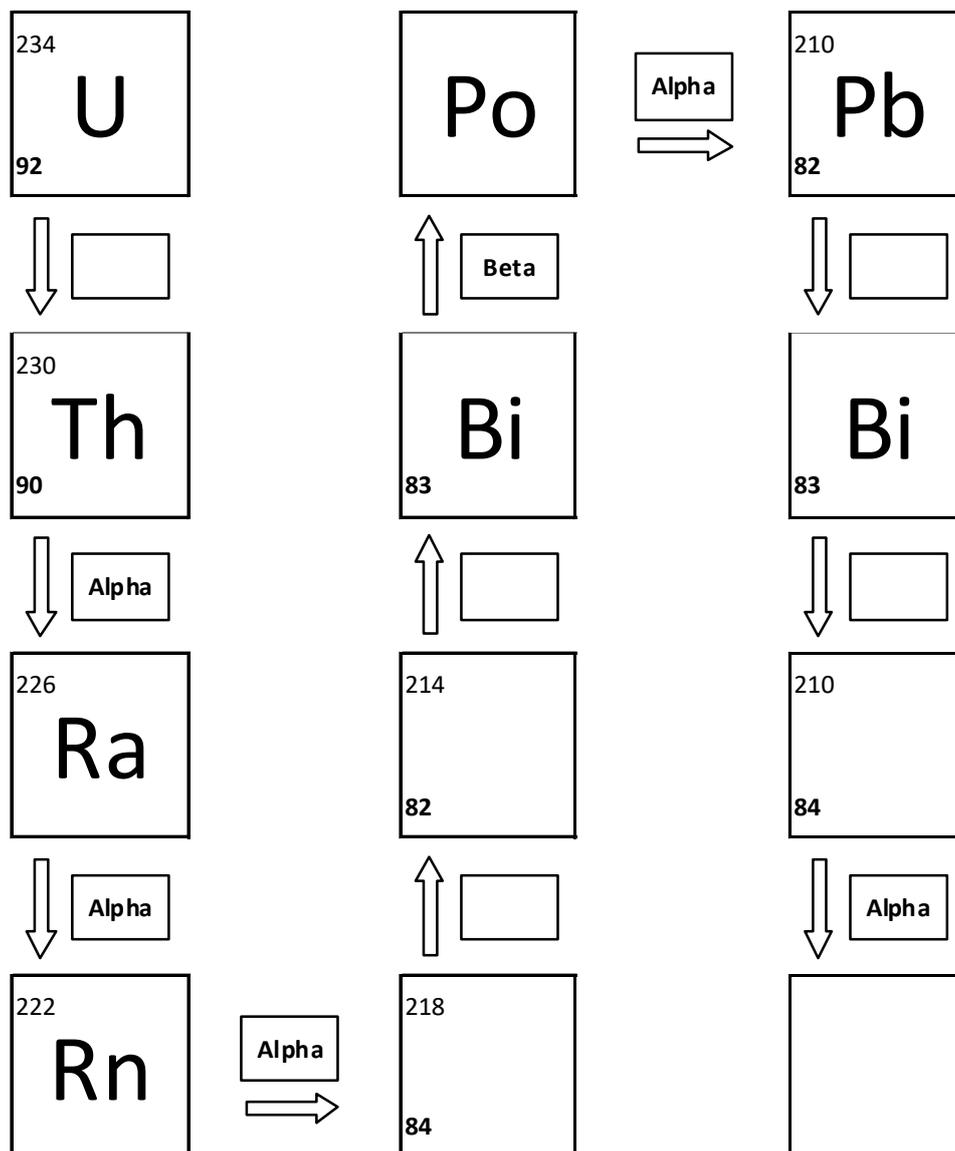
3/7

## La chaîne de désintégration naturelle de l' $^{238}\text{U}$

Dans le texte d'information, tu as déjà découvert la première partie de la chaîne de désintégration. Voici désormais la seconde. Les atomes participants se désintègrent respectivement en rayonnement alpha ou en rayonnement bêta (il s'agit de rayonnements particuliers, contrairement au rayonnement électromagnétique pour lequel la composition de l'atome ne change pas).

Complète les indications manquantes dans les cases des atomes ou dans les légendes des flèches. Tu dois savoir que les désintégrations bêta et alpha influent le nombre de masse et le numéro atomique. Pour les noms manquants, aides-toi du tableau périodique des éléments.

*Bi = Bismuth; Pb = Plomb; Po = Polonium; Ra = Radium; Rn = Radon*



# La radioactivité naturelle

Texte d'information



4/7

## La radioactivité naturelle

La radioactivité naturelle est un phénomène au cours duquel un atome modifie **spontanément** la composition de son noyau en émettant des éléments de celui-ci (ou en «**rayonnant**»). En raison de cette «**séparation**», ce qui reste de l'atome devient un autre élément chimique. Cet élément peut à son tour être radioactif et se transformer lui aussi en un autre élément. On parle alors de **chaînes de désintégration** entières (cf. exemple à la fin du texte d'information).

### Rayonnement alpha/désintégration alpha

Les atomes de radium par exemple ont la capacité d'émettre des «paquets» entiers composés de deux protons et de deux neutrons. Ils perdent ainsi quatre éléments de masse et deux éléments de charge. En raison des protons perdus, le  $^{226}_{88}\text{Ra}$  (radium) se transforme en  $^{222}_{86}\text{Rn}$  (radon). Etant donné qu'un groupe de deux protons et de deux neutrons est identique à un noyau d'atome d'hélium, il est possible de résumer le phénomène par l'équation suivante:



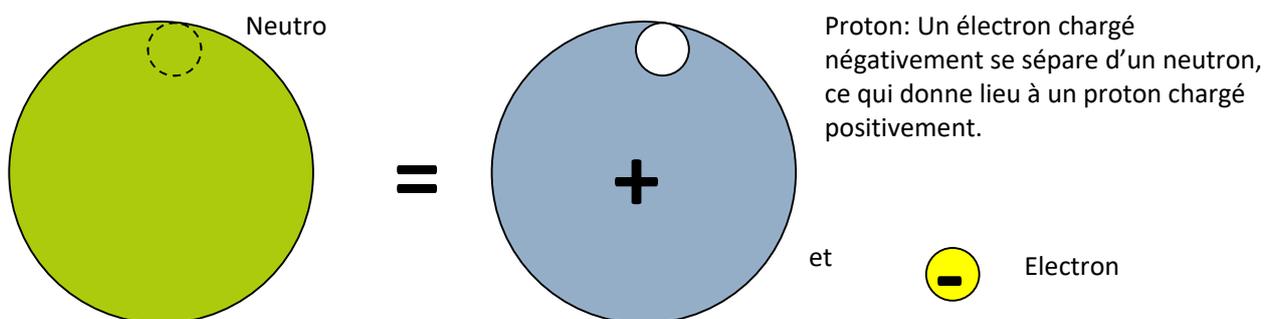
Exprimé en mots cela donne: sous l'effet de l'émission d'un noyau d'hélium, un atome de radium se désintègre pour devenir un atome de radon. L'émission d'un noyau d'hélium est désignée par «rayonnement alpha».

Le rayonnement alpha en résumé: réduction du nombre de masse de 4 et du numéro atomique de 2.

### Rayonnement bêta/désintégration bêta

Le **rayonnement bêta** est moins spectaculaire que le **rayonnement alpha**. Dans le cadre du rayonnement bêta, un neutron se divise en un proton et un électron à l'intérieur du noyau atomique, l'électron se séparant de l'atome. Reste alors un noyau enrichi d'un proton. Par voie de conséquence, le numéro atomique du nouvel élément chimique créé augmente de 1. Le nombre de masse de l'élément reste identique étant donné qu'au moment de la création d'un proton, un neutron a été perdu.

Représentation de la désintégration bêta, au cours de laquelle un proton et un électron sont créés à partir d'un neutron.



Le rayonnement bêta en résumé: augmentation du numéro atomique de 1 pour un nombre de masse identique.

# La radioactivité naturelle

Texte d'information



5/7

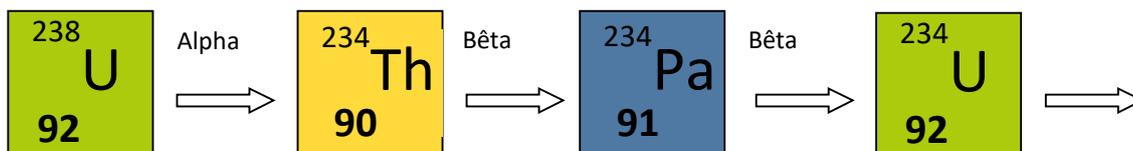
## Rayonnement gamma

Lors d'une désintégration radioactive, non seulement une petite particule est émise (rejetée), mais de l'énergie est également libérée sous la forme d'un **rayonnement gamma**. Les rayons gamma sont une forme de **rayonnement électromagnétique** (REM) tel que nous en rencontrons **chaque jour**: la lumière, la radio, la télévision, le téléphone portable utilisent du REM. Le REM qui intervient dans le cadre de la radioactivité constitue cependant une forme critique de rayonnement dans le sens où il est susceptible de provoquer des dommages sur les organismes vivants même à faible dose. Le corps humain est exposé en permanence à des doses plus ou moins élevées de rayonnement radioactif en provenance de l'univers, présent dans l'air ou dans certains types de roches.

## Il existe environ 25 éléments chimiques radioactifs présents dans la nature.

Tous les éléments chimiques peuvent cependant aussi être rendus radioactifs sous l'effet d'une action humaine (cf. plus loin).

## Ordre des éléments créés en raison des désintégrations naturelles alpha et bêta de l'<sup>238</sup>U et qui peuvent encore poursuivre leur désintégration:



*U = Uranium; Th = Thorium; Pa = Protactinium*

Il est possible de déduire du changement du nombre de masse et/ou du numéro atomique s'il s'agit d'une désintégration alpha ou bêta. Dans le cas de la radioactivité naturelle, le produit de la désintégration est généralement proche de l'atome de départ (cf. tableau périodique des éléments).

## Demi-vie radioactive

Les éléments radioactifs présents naturellement se désintègrent à des vitesses très variables. La vitesse de désintégration est indiquée par la demi-vie radioactive. Elle correspond à la durée qui s'écoule jusqu'à ce que la moitié d'un nombre d'atomes radioactifs se soit désintégrée. Les demi-vies longues indiquent donc des désintégrations radioactives longues, les courtes des désintégrations rapides. Plus d'informations à ce sujet sous le thème «11 - Les déchets radioactifs».

# La radioactivité naturelle

Fiche de solutions



6/7

## Solutions:

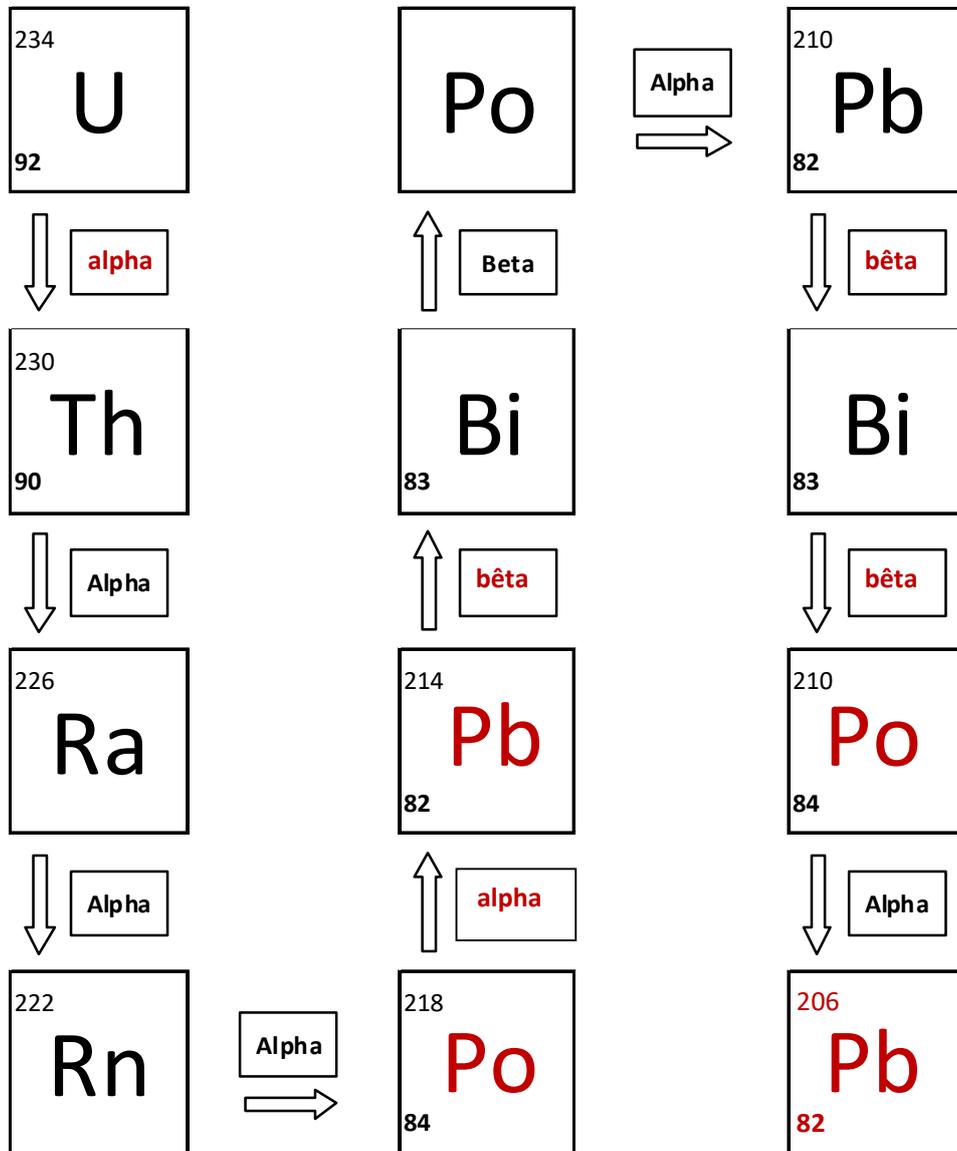
	Questions
1	De quelle manière se comporte un atome radioactif? <b>Son noyau émet des particules (neutrons, protons et électrons) ainsi que des ondes électromagnétiques et l'atome se transforme alors en un autre élément chimique.</b>
2	Qu'est-ce que le rayonnement alpha? <b>L'émission de deux protons et de deux neutrons par un noyau atomique.</b>
3	Pourquoi qualifie-t-on un atome qui émet un rayonnement alpha lors d'une désintégration radioactive d'«émetteur d'hélium»? <b>Car deux protons et deux neutrons correspondent au contenu d'un noyau d'hélium.</b>
4	Quels autres types de rayonnement peuvent accompagner la radioactivité? <b>Les rayonnements bêta et gamma (les rayons gamma sont présents lors de chaque désintégration radioactive)</b>
5	Cite des exemples de rayonnement électromagnétique. <b>La radio, la télévision, le téléphone portable, les micro-ondes, les rayons UV, infrarouges et lumineux.</b>
6	Pourquoi le rayonnement gamma est-il un rayonnement dit «critique»? <b>Car il peut être nocif pour la santé même à faible dose.</b>
7	Combien d'éléments chimiques environ sont radioactifs? <b>25</b>
8	Qu'est-ce que la «demi-vie radioactive»? <b>Il s'agit de la durée qui s'écoule jusqu'à ce que la moitié d'une quantité de matière radioactive se soit désintégrée et par là que la matière se soit transformée en un nouvel élément chimique.</b>

# La radioactivité naturelle

Fiche de solutions



7/7



# La fission nucléaire pour fournir de l'énergie

Information aux enseignants



1/6

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent le texte d'information. Ils utilisent parallèlement comme aide à la compréhension la fiche de travail «Questions clés concernant le texte». Afin de comprendre le développement exponentiel possible d'un processus de fission, ils calculent le nombre de neutrons libres présents après cinq, dix et 15 fissions.
<b>Objectif</b>	Les élèves comprennent que la fission nucléaire est le processus central de la production d'énergie dans une centrale nucléaire. Ils savent de quelle manière est déclenchée la fission nucléaire, en quoi consiste son résultat et pourquoi une telle réaction peut s'auto-entretenir.
<b>Matériel</b>	Texte Fiche de travail avec questions clés Fiche de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel, présentation des calculs en plénum
<b>Durée</b>	30'

Informations complémentaires:

- Des animations et films explicatifs sont disponibles à la page <https://www.kernenergie.ch/fr/animations-et-films-content--1--1030.html>

# La fission nucléaire pour fournir de l'énergie

Fiche de travail



2/6

## Exercice:

Lis attentivement le texte ci-dessous. Au fil de la lecture, réponds aux questions 1 à 6. Lorsque tu as terminé, calcule le nombre de neutrons qui seront présents dans les 5e, 10e et 15e générations de neutrons (cf. illustration à la fin du texte d'information).

### Questions

1	Qu'étudient en priorité les chercheurs dans le cadre de leurs travaux de recherche sur la radioactivité?
2	A quel résultat sont parvenus les chercheurs allemands avant l'éclatement de la Seconde Guerre mondiale?
3	Quelle est la différence entre la désintégration radioactive naturelle et la fission nucléaire?
4	Quels effets surprenants peut-on constater lors d'un processus de fission concernant l'atome radioactif et ses produits de fission? Ou pour formuler autrement: D'où provient l'énergie libérée lors de la fission?
5	Quelles particules peuvent être à l'origine d'un processus de fission nucléaire?
6	Pourquoi un processus de fission nucléaire peut-il se répéter et même se renforcer sans action supplémentaire?

# La fission nucléaire pour fournir de l'énergie

Texte d'information



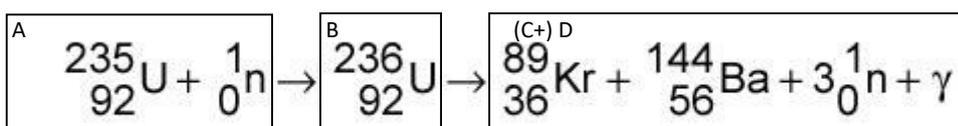
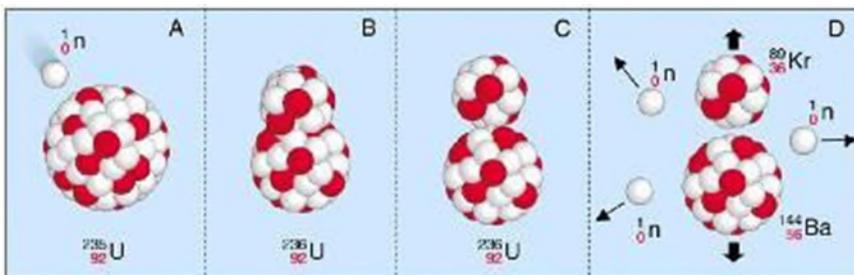
3/6

## La fission nucléaire

La radioactivité naturelle n'est associée à aucune libération d'énergie perceptible. Depuis sa découverte, les scientifiques cherchent donc en priorité à savoir si la radioactivité peut être intensifiée grâce à une action humaine et si l'énergie ainsi libérée est exploitable. Aux débuts de la Seconde Guerre mondiale, des chercheurs allemands ont réussi à provoquer une réaction de fission nucléaire en bombardant des atomes d'uranium avec des neutrons. Ils n'ont alors pas seulement généré une désintégration radioactive, mais l'éclatement d'un noyau atomique. Par la suite, il a été découvert qu'une réaction de fission déclenchée depuis l'extérieur pouvait s'auto-entretenir et même, sous certaines conditions, évoluer en réaction en chaîne explosive.

## La fission artificielle de l' $^{235}\text{U}$ en krypton et baryum

L' $^{235}\text{U}$  peut être transformé en  $^{236}\text{U}$  grâce au bombardement neutronique. Celui-ci est particulièrement **instable** et se **désintègre immédiatement** en un atome de baryum et un atome de krypton, en émettant trois neutrons libres et un rayonnement gamma.



Combustible	Fission neutron déclencheur	Produit intermédiaire instable de l'U	Produit de fission n°1	Produit de fission n°2	3 neutrons libres	
-------------	-----------------------------	---------------------------------------	------------------------	------------------------	-------------------	--

L'uranium n'est pas un «combustible» au sens propre du terme. En effet, aucun élément ne se consume lors de la fission nucléaire. La production d'énergie par le biais de la fission nucléaire n'engendre donc pas la libération de gaz ou de polluants.

# La fission nucléaire pour fournir de l'énergie

Texte d'information



4/6

## Un rendement énergétique élevé

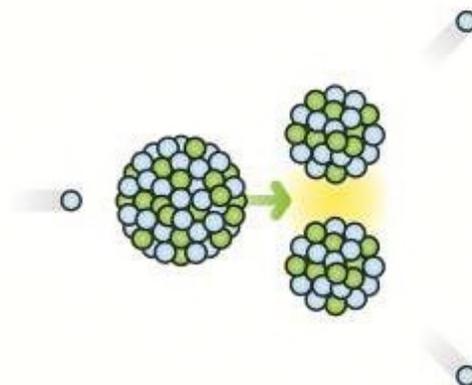
La principale différence entre la fission artificielle et la radioactivité naturelle réside dans le fait que dans le cadre de la fission nucléaire, des éléments chimiques dont les numéros atomiques sont très éloignés du numéro atomique de l'atome de départ, apparaissent. Les énergies libérées sous forme de chaleur sont très importantes; elles sont supérieures à celles libérées lors d'un processus de combustion.

Ainsi, l'énergie obtenue lors de la désintégration d'un atome d'uranium est 50 millions de fois plus élevée que celle obtenue lors de la combustion d'un atome de carbone.

La chaleur n'est pas récupérée par le biais d'un procédé connu de conversion de la chaleur mais d'un procédé décrit comme étant possible par Albert Einstein dans le cadre de sa théorie de la relativité. Le chercheur avait en effet eu l'idée révolutionnaire selon laquelle aucune différence fondamentale ne subsistait entre l'énergie et la matière, voire selon laquelle la matière représenterait une autre forme d'énergie. La transformation de matière (d'énergie) en énergie utile, qui selon Einstein appartenait donc au domaine du possible, se manifeste dans le cadre de la désintégration radioactive. Certes, le nombre de neutrons et de protons qui interviennent dans le cadre d'une désintégration ne change pas. Mais il a été démontré que les composants essentiels des produits de fission présentent une masse réduite comparée à celle d'un atome encore non divisé, et sont plus légers. Lors de la désintégration, la masse manquante (défaut de masse) se transforme en effet en énergie (énergie cinétique des produits de fission et énergie du rayonnement).

## Multiplification du processus de fission nucléaire

Le processus de fission nucléaire de l' $^{235}\text{U}$  peut être auto-entretenu, et peut même se reproduire, grâce aux deux à trois neutrons libérés à chaque processus de fission. Ces neutrons peuvent en effet entrer en collision avec d'autres atomes d'uranium, déclencher d'autres fissions nucléaires, et libérer ainsi des neutrons supplémentaires. Etant donné qu'à chaque processus de fission, un neutron au moins est libéré, la vitesse de fission peut se multiplier de manière exponentielle.



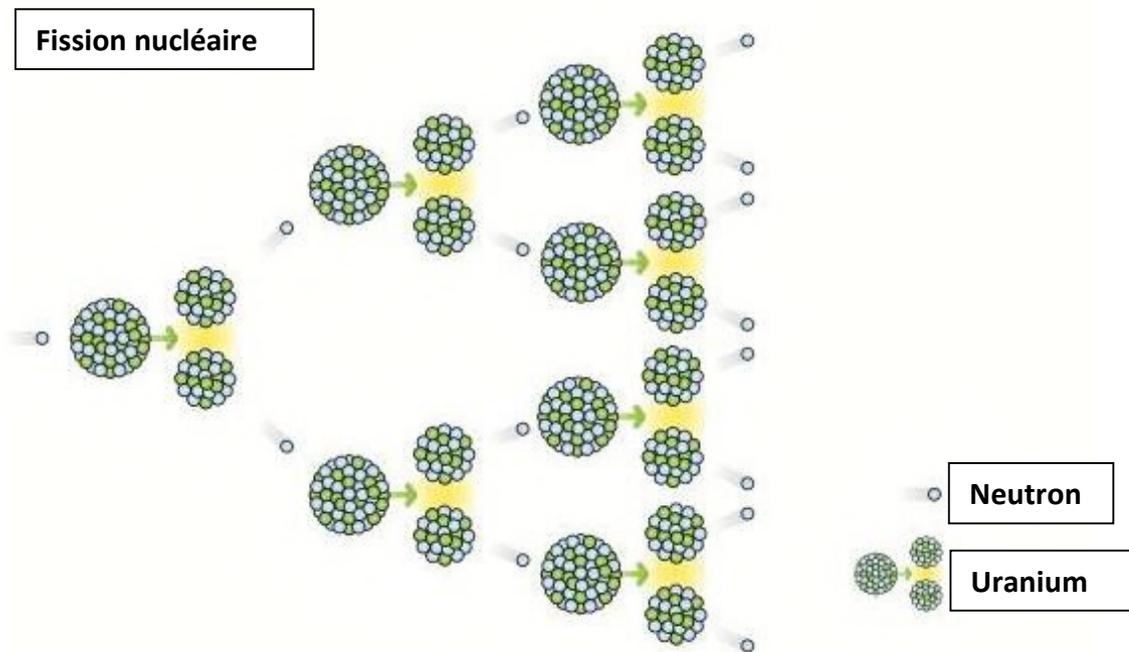
# La fission nucléaire pour fournir de l'énergie

Texte d'information



5/6

La libération de nouveaux atomes permet au processus de fission de l'uranium de s'auto-entretenir et de se reproduire:



# La fission nucléaire pour fournir de l'énergie

Fiche de solutions



6/6

## Solutions:

	Questions
1	<p>Qu'étudient en priorité les chercheurs dans le cadre de leurs travaux de recherche sur la radioactivité?</p> <p><b>Si la radioactivité naturelle peut être intensifiée au point que l'énergie libérée puisse être utilisée.</b></p>
2	<p>A quel résultat sont parvenus les chercheurs allemands avant l'éclatement de la Seconde Guerre mondiale?</p> <p><b>Ils ont réussi à séparer un noyau d'atome d'uranium en le bombardant à l'aide d'un neutron.</b></p>
3	<p>Quelle est la différence entre la désintégration radioactive naturelle et la fission nucléaire?</p> <p><b>Dans le cadre de la désintégration radioactive naturelle, le numéro atomique des nouveaux éléments chimiques créés est proche du numéro atomique de l'atome de départ.</b></p> <p><b>Les éléments apparus lors de la fission en revanche possèdent un numéro atomique très éloigné de celui de l'atome de départ.</b></p>
4	<p>Quels effets surprenants peut-on constater lors d'un processus de fission concernant l'atome radioactif et ses produits de fission? Ou pour formuler autrement: D'où provient l'énergie libérée lors de la fission?</p> <p><b>Les produits présents à la fin d'un processus de fission nucléaire possèdent une masse moins importante que celle de l'atome de départ. La masse manquante s'est transformée en énergie</b></p>
5	<p>Quelles particules peuvent être à l'origine d'un processus de fission nucléaire?</p> <p><b>Les neutrons</b></p>
6	<p>Pourquoi un processus de fission nucléaire peut-il se répéter et même se renforcer sans action supplémentaire?</p> <p><b>Car lors d'un processus de fission, au moins un neutron est libéré, ce qui rend inutile l'ajout extérieur de neutrons et augmente la rapidité du processus.</b></p>

**Nombre de neutrons dans la génération  $x = 3x$**

**Nombre de neutrons dans la 5e/10e/15e génération = 243 (35) / 59049 (310) / 14'348'900 (315)**

# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

Information aux enseignants



1/8

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent le texte d'information et répondent aux questions. Ils assemblent les parties d'un réacteur à eau bouillante et nomment les étapes d'un voyage à travers un réacteur à eau sous pression.
<b>Objectif</b>	Les élèves apprennent de quelle manière est conçue une centrale nucléaire et de quelle manière elle fonctionne. Ils apprennent les différences entre les réacteurs à eau bouillante et les réacteurs à eau sous pression, le principe d'un circuit de refroidissement, et le fonctionnement des barres de commande.
<b>Matériel</b>	Fiches de travail Textes d'information Solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel (traitement de texte et collage d'images) Travail en duo (voyage à travers un réacteur à eau sous pression)
<b>Durée</b>	45'

Informations complémentaires:

- Informations et offres en ligne sous:  
<https://www.kernenergie.ch/fr/comment-fonctionne-une-centrale-nucleaire-content---1--1067.html>
- Vous trouverez un graphique explicatif ainsi que des informations sur les réacteurs à eau bouillante à la page [www.strom-online.ch/kernkraftwerk.html](http://www.strom-online.ch/kernkraftwerk.html) (en allemand uniquement)

# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

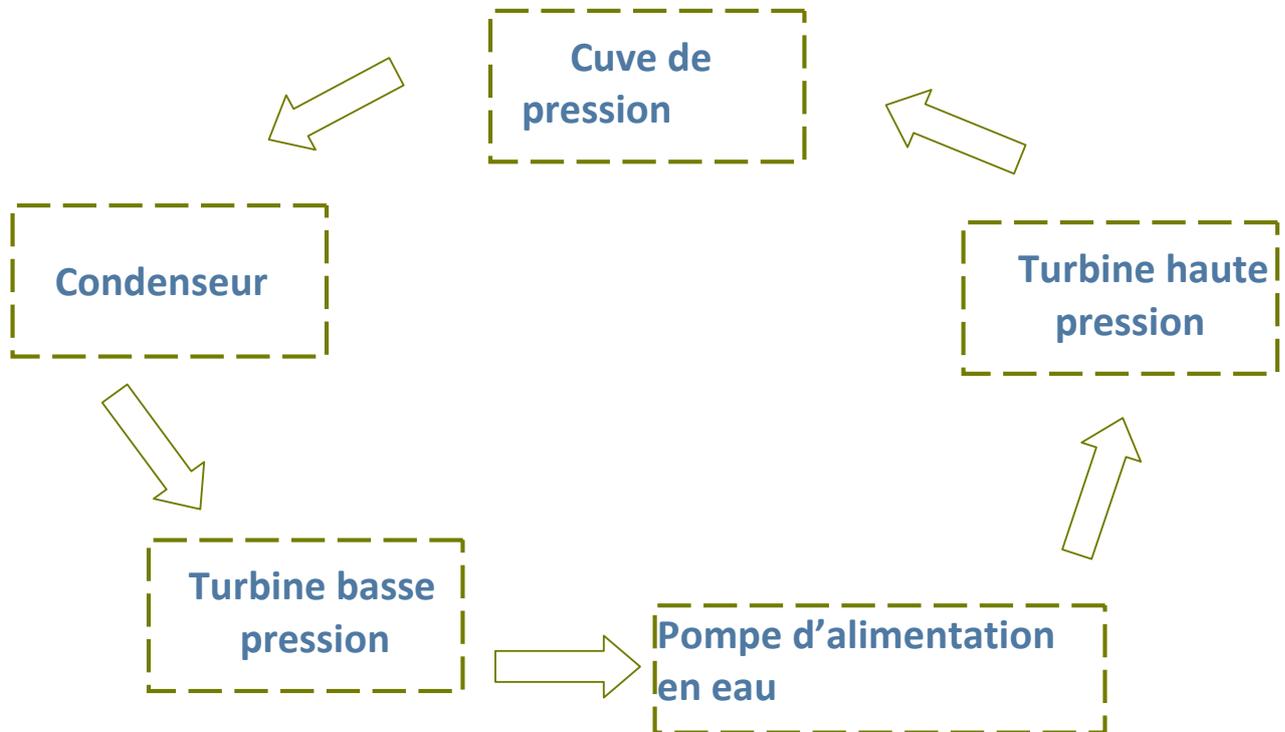
Fiche de travail



2/8

## Exercice:

Le schéma ci-dessous représente de manière simplifiée le circuit d'eau/de vapeur d'un réacteur à eau bouillante. Les différentes étapes ne se trouvent pas à la bonne place. Découpe les cases et colle-les dans le bon ordre sur une feuille séparée. Les flèches entre les éléments représentent l'eau ou la vapeur qui circulent. Dessine une flèche rouge entre les deux éléments lorsque de la vapeur circule, et une flèche bleue lorsqu'il s'agit d'eau.



# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

Fiche de travail



3/8

Nous entamons un voyage à l'intérieur d'un réacteur à eau sous pression. Complète les trous présents dans le texte en indiquant le nombre concerné ainsi que le terme indiqué dans la légende du réacteur à eau sous pression.

## Exercice:

Au fil de la lecture, réponds aux questions 1 à 3:

1. Quelles installations trouve-t-on dans une centrale thermique?
2. Quels sont les deux types de conversion d'énergie que l'on trouve dans toute centrale thermique?
3. Est-il vrai que le nuage qui s'échappe d'une tour de refroidissement est composé de gaz?

## Le réacteur à eau sous pression

Nous commençons par la pompe du circuit d'eau primaire (17) et suivons le sens de circulation. Nous arrivons ensuite à la \_\_\_\_\_, dans laquelle se trouvent les assemblages combustibles composés de \_\_\_\_\_. remplis de dioxyde d'uranium. La puissance du réacteur est régulée grâce aux \_\_\_\_\_. La réaction de fission nucléaire permet de chauffer l'eau jusqu'à 350 degrés environ, mais celle-ci reste toutefois à l'état liquide étant donné qu'elle est soumise à une pression élevée (env. 150 bars). Le voyage se poursuit jusqu'au \_\_\_\_\_, où l'eau chaude chauffe et transforme en vapeur l'eau d'un second circuit – parfaitement séparé du circuit primaire – via un échangeur thermique. La \_\_\_\_\_ qui est ainsi générée parvient en premier à la \_\_\_\_\_ et entraîne celle-ci à la manière d'une éolienne: l'énergie thermique de la vapeur se transforme alors en énergie mécanique. Une fois sortie de la turbine haute pression, la vapeur reste très chaude et peut alors entraîner plusieurs \_\_\_\_\_. Le mouvement de rotation de l'ensemble des turbines est transformé en électricité à l'intérieur de l'alternateur.

La vapeur résiduelle qui ne peut plus être utilisée doit désormais être retransformée en eau dans le \_\_\_\_\_. Celui-ci fonctionne de la même manière qu'un radiateur inversé qui doit donc rester le plus froid possible et auquel on enverrait de la vapeur afin qu'elle soit transformée en eau. Pour que le condenseur reste toujours froid, on utilise de l' \_\_\_\_\_ pompée dans un fleuve. Or le condenseur chauffe légèrement cette eau de refroidissement. Lorsque la centrale nucléaire possède une tour de refroidissement, l'eau ainsi chauffée ne retourne pas dans le fleuve. Elle est refroidie dans la tour de refroidissement avant d'être réutilisée, et une partie s'évapore dans l'atmosphère. L'eau, refroidie, du circuit secondaire est renvoyée dans le générateur de vapeur en tant qu' \_\_\_\_\_, en passant par la \_\_\_\_\_ et par le \_\_\_\_\_. L'eau du circuit primaire circule du générateur de vapeur pour retourner à son point de départ, la pompe du circuit d'eau primaire.

# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

Texte d'information



4/8

## Les centrales nucléaires



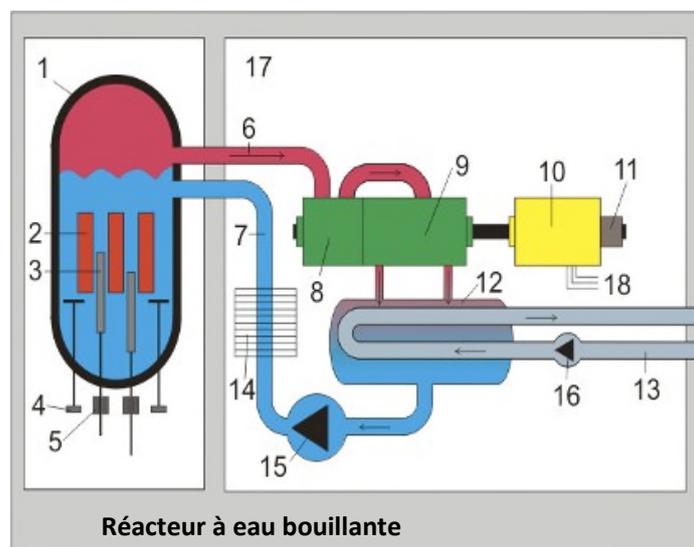
Coup d'œil à l'intérieur de la turbine lors de travaux de révision.

Tout comme les centrales électriques qui fonctionnent au pétrole, au gaz ou au charbon, les centrales nucléaires font partie des centrales thermiques. Dans ce type de centrale, de l'énergie thermique (vapeur d'eau) est mise en mouvement (énergie cinétique) grâce à une turbine. La turbine entraîne un alternateur qui convertit l'énergie cinétique en énergie électrique, produisant ainsi de l'électricité. La spécificité d'une centrale nucléaire réside dans le fait que la chaleur n'est pas produite suite à la combustion de charbon, de gaz ou de pétrole, mais grâce au processus de fission nucléaire. Bien que les centrales nucléaires soient surtout connues pour le gros nuage blanc qu'elles dégagent, il faut savoir que celui-ci n'est pas composé de gaz mais uniquement de la vapeur d'eau produite dans le cadre du refroidissement de l'installation.

### Réacteurs à eau sous pression et réacteurs à eau bouillante

Il existe différents types de centrales nucléaires dans le monde. Les réacteurs présents en Suisse sont des réacteurs à eau bouillante et à eau sous pression. La partie de l'installation qui produit de l'électricité à partir de la vapeur est quasiment identique dans les deux types d'installations. A chaque fois, la vapeur entraîne deux turbines montées l'une à la suite de l'autre (8+9). La première (8) fonctionne avec une vapeur très chaude soumise à une pression élevée. La vapeur résiduelle de cette première turbine est utilisée pour entraîner la seconde turbine (9). La seconde turbine est donc conçue de sorte à fonctionner avec une pression de vapeur plus réduite. Le fait que les deux turbines soient placées à la suite l'une de l'autre permet d'accroître l'efficacité de la transformation de la chaleur de la vapeur en mouvement. La seconde turbine donne lieu elle aussi à de la vapeur résiduelle. Celle-ci est retransformée en eau dans un condenseur (12). Le condenseur retire la chaleur présente dans la vapeur résiduelle à l'aide d'eau de refroidissement (13), qu'il refroidit en dessous de 100°C et retransforme en eau.

- 1 Cuve de pression du réacteur
- 2 Assemblages combustibles
- 3 Barres de commande
- 4 Pompe de circulation
- 5 Mécanismes de commande des barres de commande
- 6 Vapeur chaude
- 7 Eau d'alimentation
- 8 Turbine haute pression
- 9 Turbine basse pression



- 10 Alternateur
- 11 Système d'excitation
- 12 Condenseur
- 13 Eau de refroidissement
- 14 Préchauffeur
- 15 Pompe d'alimentation en eau
- 16 Pompe d'eau de refroidissement
- 17 Protection en béton
- 18 Ligne conduisant au réseau électrique

# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

Texte d'information



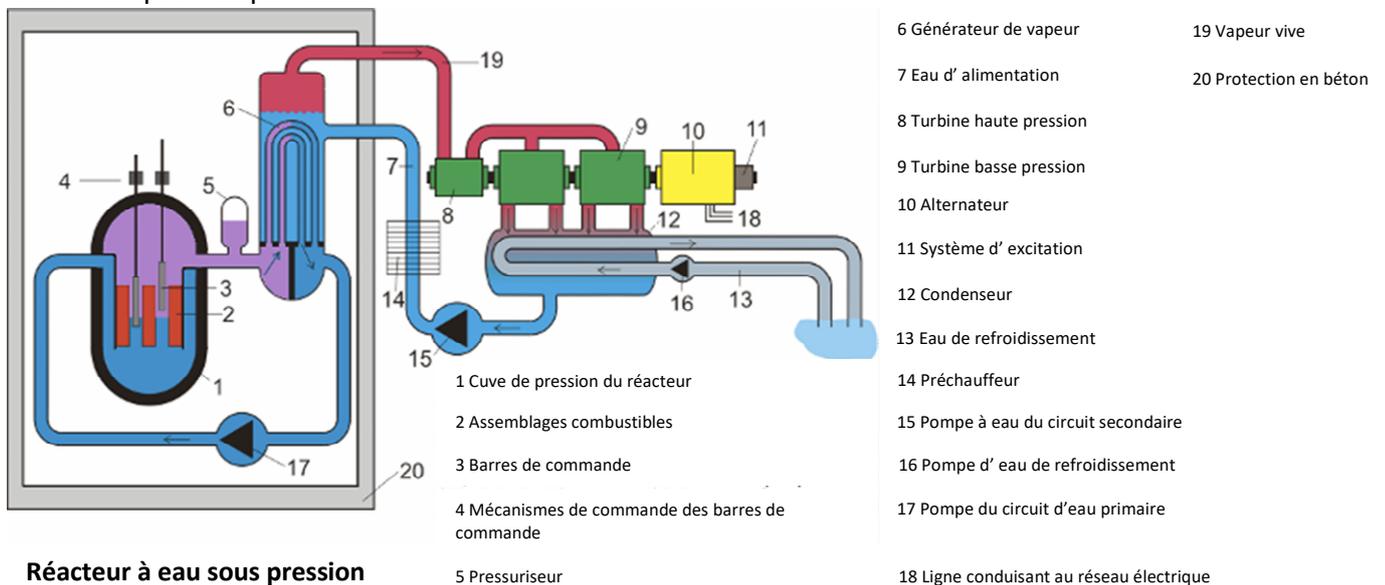
5/8

L'eau de refroidissement peut être prélevée d'un fleuve, par exemple. Lors du refroidissement de la vapeur, l'eau du fleuve est chauffée de quelques degrés avant d'être à nouveau rejetée dans celui-ci. Or un réchauffement, même minime, de cette eau peut avoir des conséquences sur les organismes vivants. C'est pourquoi le refroidissement direct du fleuve est fortement limité en Suisse depuis la fin des années 70. Les deux dernières centrales nucléaires suisses, celles de Gösgen et de Leibstadt, possèdent une tour de refroidissement qui remplit une fonction de refroidissement lorsque cela est nécessaire. Pour autant, les tours de refroidissement ne sont pas spécifiques aux centrales nucléaires, on en trouve aussi dans les autres centrales thermiques.

Les deux turbines transmettent leur mouvement de rotation à un alternateur (10) qui produit l'électricité (18) (transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique).

Bien que les réacteurs à eau sous pression et les réacteurs à eau bouillante se distinguent dans la manière de produire la vapeur, ils présentent également de nombreuses similitudes: Dans les deux cas, la fission nucléaire se déroule dans une cuve de pression (1). Le combustible (uranium) se trouve dans les crayons combustibles – étanches au gaz – des assemblages combustibles (2). Les barres de commande (3) situées entre les assemblages combustibles régulent les réactions de fission nucléaire: Elles sont fabriquées dans un matériau qui capture les neutrons libres. Lorsqu'elles sont poussées plus fortement entre les assemblages combustibles, l'activité neutronique est réduite. Cela abaisse le nombre de réactions de fission nucléaire, et la puissance du réacteur décroît.

La principale différence entre un réacteur à eau bouillante et un réacteur à eau sous pression réside dans le fait que dans le cadre du premier, de la vapeur d'eau est générée déjà dans la cuve de pression du réacteur, tandis que dans le cadre du second, seule de l'eau très chaude est produite. Cette eau très chaude (env. 300 oC) est transformée en vapeur uniquement dans un circuit dit secondaire (7/19). Les réacteurs à eau sous pression sont particulièrement exigeants aussi bien au plan technique que financier. Leur avantage est que la zone exposée au rayonnement radioactif est limitée: Contrairement au réacteur à eau bouillante, dans un réacteur à eau sous pression, aucune vapeur radioactive ne circule dans le circuit de refroidissement primaire. Les travaux de maintenance sont donc plus simples.



# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

Texte d'information

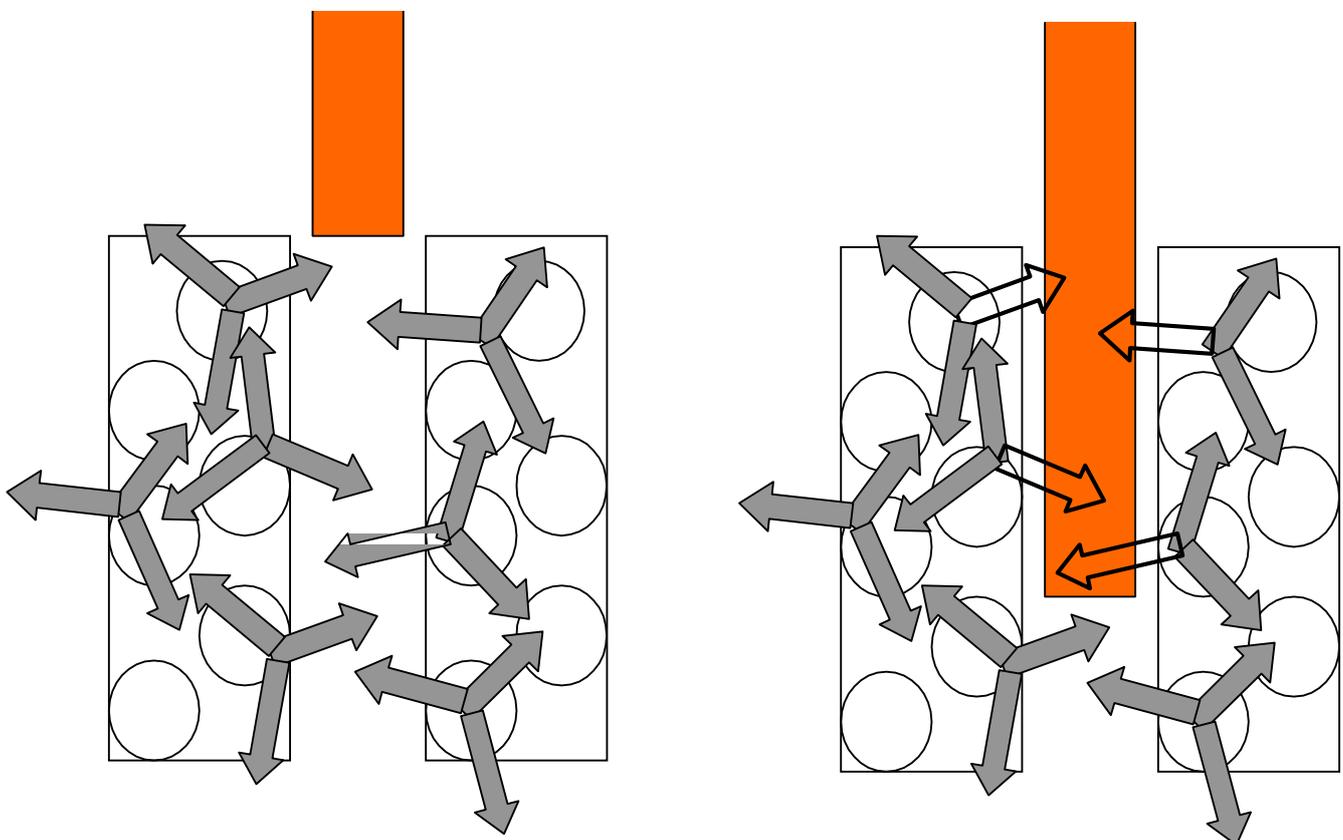


6/8

## La commande principale d'un réacteur nucléaire

Les barres de commande situées entre les assemblages combustibles constituent le principal élément de régulation de la fission nucléaire. Elles sont composées d'un matériau qui capture les neutrons. Comme nous l'avons déjà évoqué, la concentration en neutrons détermine le rythme de fission. Un dispositif mécanique permet de pousser les barres de commande entre les assemblages combustibles, ce qui ralentit la réaction de fission nucléaire. Le retrait de ces barres produit l'effet inverse.

L'insertion complète des barres de commande stoppe la réaction en chaîne et le réacteur s'arrête. Cela prend quelques secondes seulement. On entend toutefois par «arrêt» du réacteur l'interruption de la réaction en chaîne. La chaleur résiduelle doit encore être évacuée, grâce à des systèmes de refroidissement propres.



Le schéma de gauche représente les neutrons (flèche grise) qui apparaissent dans le cadre de la fission de l'uranium et engendrent à leur tour de nouvelles réactions de fission. Le schéma de droite représente une barre de commande (orange) poussée entre les assemblages combustibles et qui «avale» une partie des neutrons (flèche transparentes). Ces neutrons ne pourront alors pas donner lieu à une nouvelle réaction de fission et celle-ci ralentit progressivement.

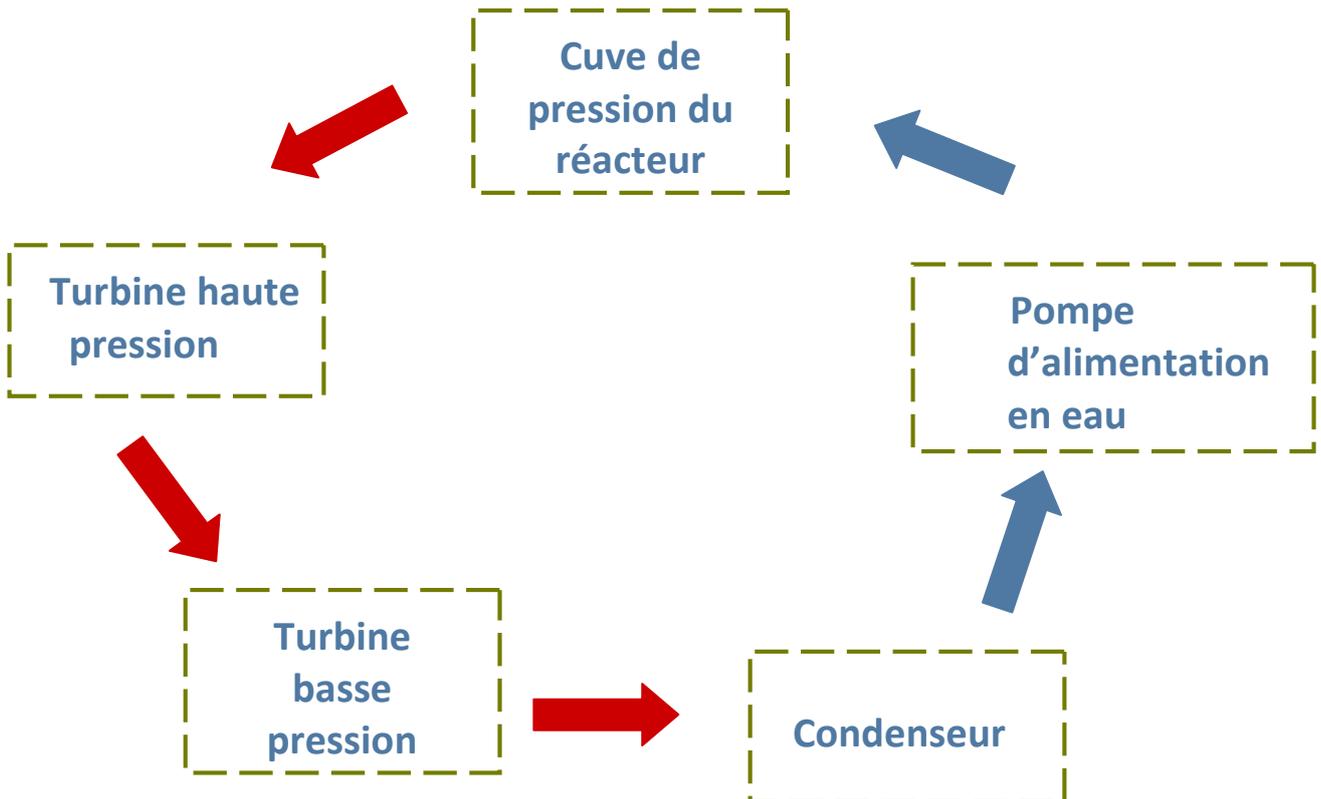
# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

Fiche de solutions



7/8

## Solutions:



1. Quelles installations trouve-t-on dans une centrale thermique?  
Une turbine à vapeur et un alternateur électrique
2. Quels sont les deux types de conversion d'énergie que l'on trouve dans toute centrale thermique?  
La conversion de l'énergie thermique en énergie cinétique et la conversion de l'énergie cinétique en énergie électrique
3. Est-il vrai que le nuage qui s'échappe d'une tour de refroidissement est composé de gaz?  
Non, il s'agit uniquement de vapeur d'eau.

# Construction et fonctionnement d'une centrale nucléaire

Fiche de solutions



8/8

## Le réacteur à eau sous pression

Nous commençons par la pompe du circuit d'eau primaire (17) et suivons le sens de circulation. Nous arrivons ensuite à la **cuve de pression**, dans laquelle se trouvent les assemblages combustibles composés de **crayons combustibles** remplis de dioxyde d'uranium. La puissance du réacteur est régulée grâce aux **barres de commande**. La réaction de fission nucléaire permet de chauffer l'eau jusqu'à 350 degrés environ, mais celle-ci reste toutefois à l'état liquide étant donné qu'elle est soumise à une pression élevée (env. 150 bars). Le voyage se poursuit jusqu'au **générateur de vapeur**, où l'eau chaude chauffe et transforme en vapeur l'eau d'un second circuit – parfaitement séparé du circuit primaire – via un échangeur thermique. La **vapeur vive** qui est ainsi générée parvient en premier à la **turbine haute pression** et entraîne celle-ci à la manière d'une éolienne: l'énergie thermique de la vapeur se transforme alors en énergie mécanique. Une fois sortie de la turbine haute pression, la vapeur reste très chaude et peut alors entraîner plusieurs **turbines basse pression**. Le mouvement de rotation de l'ensemble des turbines est transformé en électricité à l'intérieur de l'alternateur.

La vapeur résiduelle qui ne peut plus être utilisée doit désormais être retransformée en eau dans le **condenseur**. Celui-ci fonctionne de la même manière qu'un radiateur inversé qui doit donc rester le plus froid possible et auquel on enverrait de la vapeur afin qu'elle soit transformée en eau. Pour que le condenseur reste toujours froid, on utilise de l'**eau de refroidissement** pompée dans un fleuve. Or le condenseur chauffe légèrement cette eau de refroidissement. Lorsque la centrale nucléaire possède une tour de refroidissement, l'eau ainsi chauffée ne retourne pas dans le fleuve. Elle est refroidie dans la tour de refroidissement avant d'être réutilisée, et une partie s'évapore dans l'atmosphère. L'eau, refroidie, du circuit secondaire est renvoyée dans le générateur de vapeur en tant qu'**eau alimentaire**, en passant par la **pompe à eau du circuit secondaire** et par le **préchauffeur**. L'eau du circuit primaire circule du générateur de vapeur pour retourner à son point de départ, la pompe du circuit d'eau primaire.

# La tour de refroidissement

Information aux enseignants



1/6

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent le texte d'information. Ils construisent ensuite la tour de refroidissement en suivant les instructions.
<b>Objectif</b>	Les élèves sont capables de comprendre l'importance de la tour de refroidissement pour une centrale nucléaire. Ils découvrent avec étonnement que la forme d'hyperbole de la tour résulte de l'agencement torsadé de structures linéaires.
<b>Matériel</b>	Fiche de travail avec texte d'information Fiche de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel
<b>Durée</b>	25'

Informations complémentaires:

- La construction de la tour de refroidissement est réalisée à l'aide d'un crayon. Il est possible ensuite de lui donner un effet de dégradé à la façon aquarelle.

# La tour de refroidissement

Fiche de travail



2/6

## Exercice:

Essaie de dessiner une tour de refroidissement (forme d'hyperbole) en suivant les instructions.

La tour de refroidissement n'est pas indispensable dans une centrale nucléaire, mais elle est souvent présente malgré tout, de la même manière que dans d'autres centrales thermiques telles que les centrales à gaz et à charbon. La tour de refroidissement permet d'évacuer dans l'atmosphère la chaleur du circuit de refroidissement secondaire. Grâce à elle, il n'est pas indispensable que l'installation se trouve à proximité d'un fleuve de forts courants étant donné que la chaleur est évacuée non pas par le biais de l'eau du fleuve mais dans l'air. Si un fleuve est cependant présent, la tour de refroidissement permet d'éviter une élévation trop importante de la température de l'eau.

A première vue, une tour de refroidissement ne possède aucune structure linéaire. Or il faut savoir que sa forme ne peut être obtenue qu'en traçant des lignes droites. La tour de refroidissement doit permettre un tirage d'air vertical qui soit le plus fort et le plus naturel possible. C'est pourquoi elle possède la forme d'une hyperbole. Essayons maintenant de la dessiner.

### Ce dont tu as besoin:

- Compas
- Papier millimétré (pour les débutants)
- Equerre
- Règle
- Crayon + gomme
- Des connaissances de base en géométrie

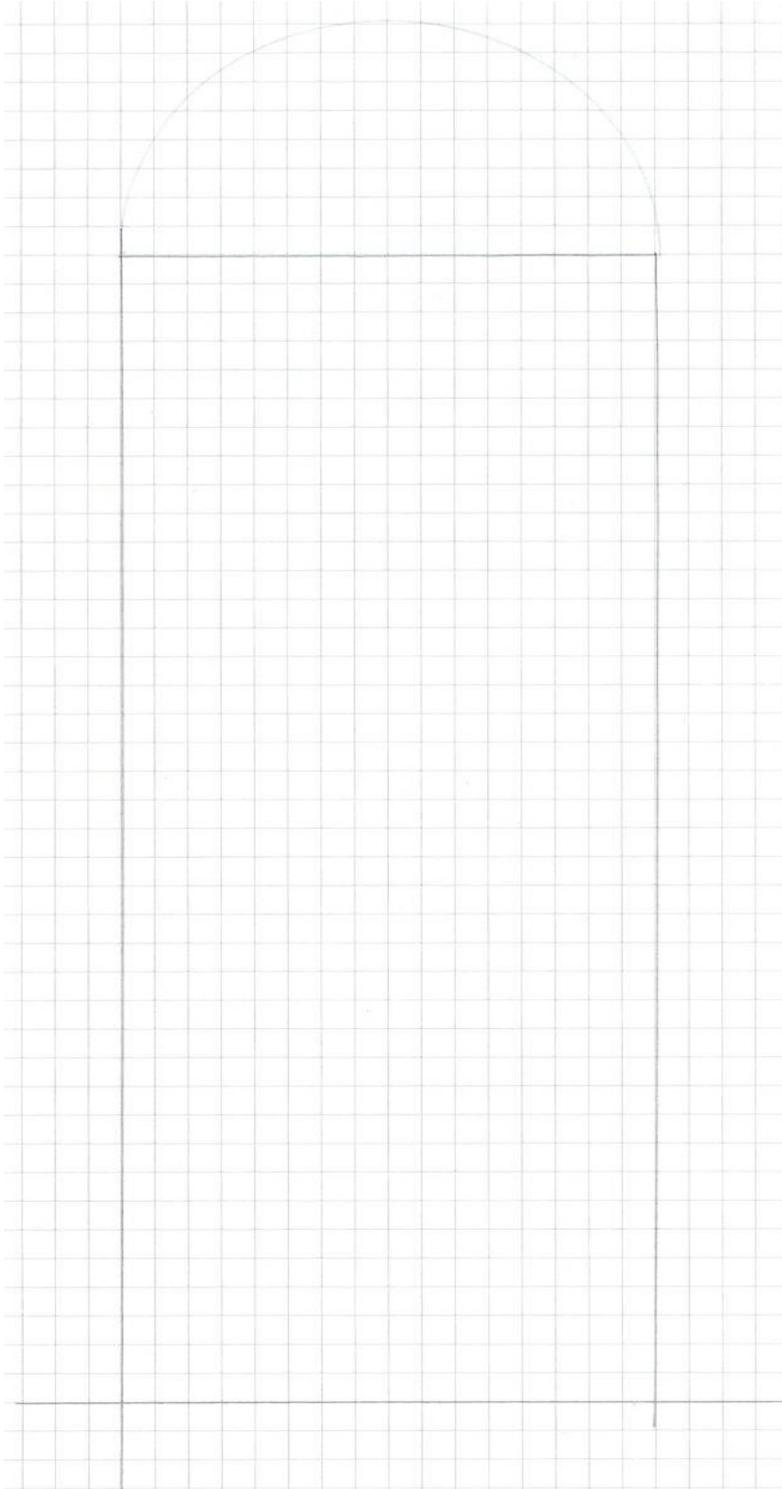
Les longueurs indiquées ne sont pas obligatoires. Cependant, nous recommandons de les respecter pour le premier essai. Nous tenterons de ne pas employer de «termes techniques». Par ailleurs, il existe des solutions plus adaptées pour certains procédés, mais par souci de facilité, nous y renoncerons ici.

# La tour de refroidissement

Fiche de travail



3/6



## Etape 1

Pour commencer, taille ton crayon à papier. Place ta feuille en format Portrait et dessine un rectangle: 8 cm x 20 cm. Coupe en deux la ligne horizontale du haut, et part du point obtenu pour tracer, à l'aide de ton compas, un demi-cercle de 4 cm de rayon.

# La tour de refroidissement

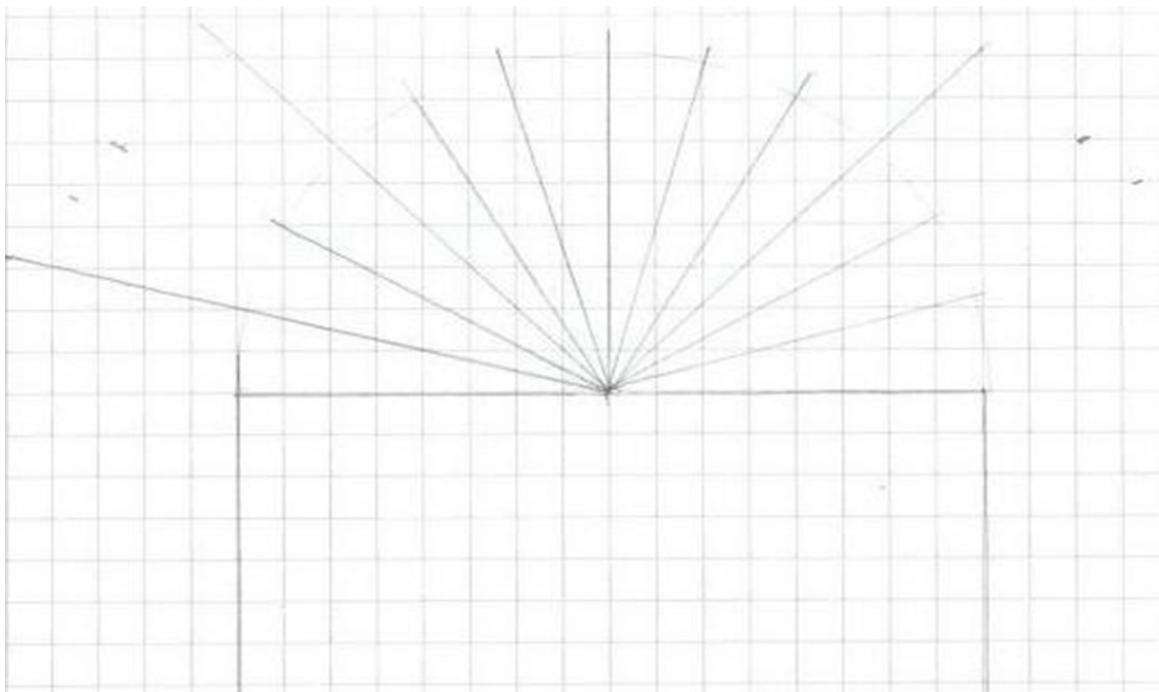
Fiche de travail



4/6

## Il faut maintenant diviser le cercle:

- En deux: en partant du centre du demi-cercle, trace une ligne perpendiculaire à la ligne horizontale.
- En quatre: à l'aide de ton équerre, trace un angle à  $45^\circ$  de part et d'autre de cette ligne.
- En douze: il s'agit maintenant de diviser en trois chacune des parties obtenues. Pour cela, trace des angles respectivement à  $15^\circ$  et  $30^\circ$ .



## Etape 3

A l'aide de l'équerre, pars de chacune des intersections des lignes tracées avec le demi-cercle et trace vers le bas une ligne qui coupe perpendiculaire le côté horizontal du haut du rectangle. Indique la correspondance de chaque point sur le côté horizontal du bas du rectangle. Avec les deux points des bords, on possède désormais 13 points «en haut» et 13 points «en bas». Numérote ceux du haut de la manière suivante:

Rien	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	Rien
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Puis ceux du bas:

15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3
Rien	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	Rien

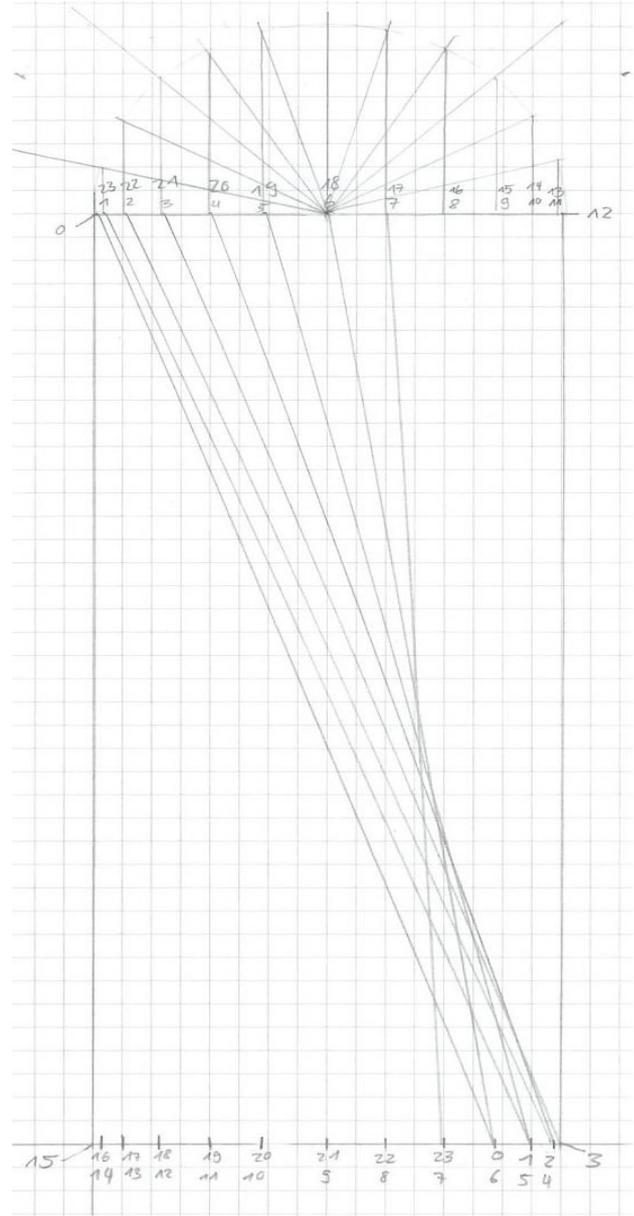
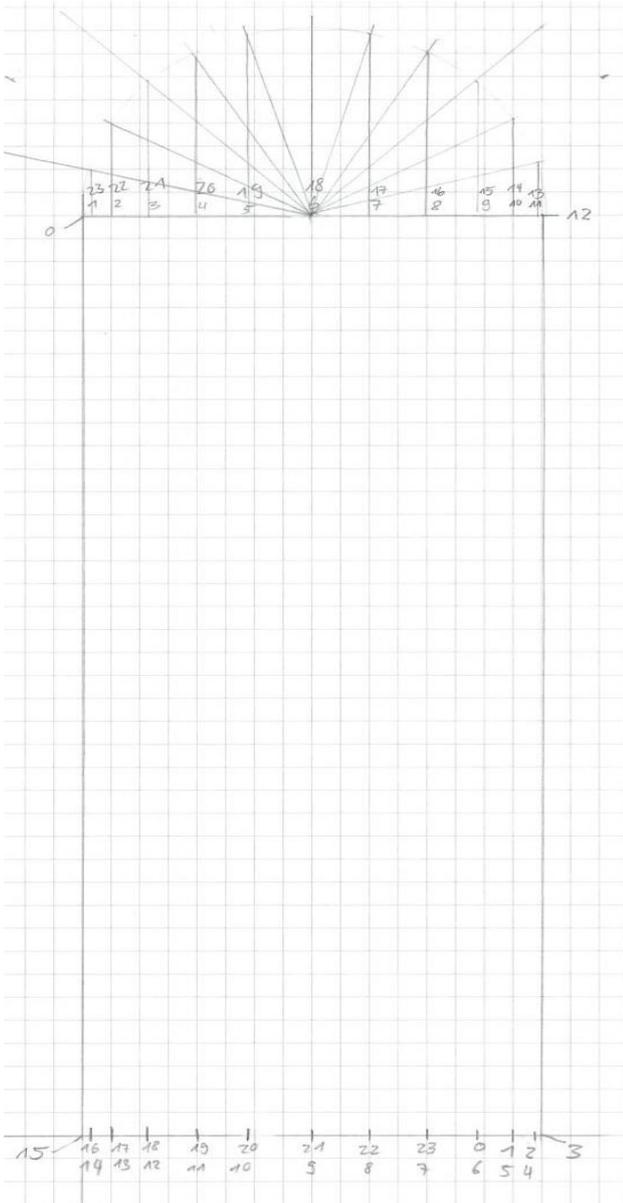
# La tour de refroidissement

Fiche de travail



5/6

Chaque point possède désormais deux numéros (sauf les quatre des bords).



## Etape 4

Nous voilà arrivés au moment fatidique; la préparation est terminée.

Commence par le point 0, en haut à gauche. Relie celui-ci au point 0 en bas à droite. Procède de la même manière avec le 1, etc. Deux lignes partent ainsi de chaque point.

## Etape 5

Nous avons presque terminé. Continue de relier les derniers points jusqu'à ce que le dessin soit achevé.

# La tour de refroidissement

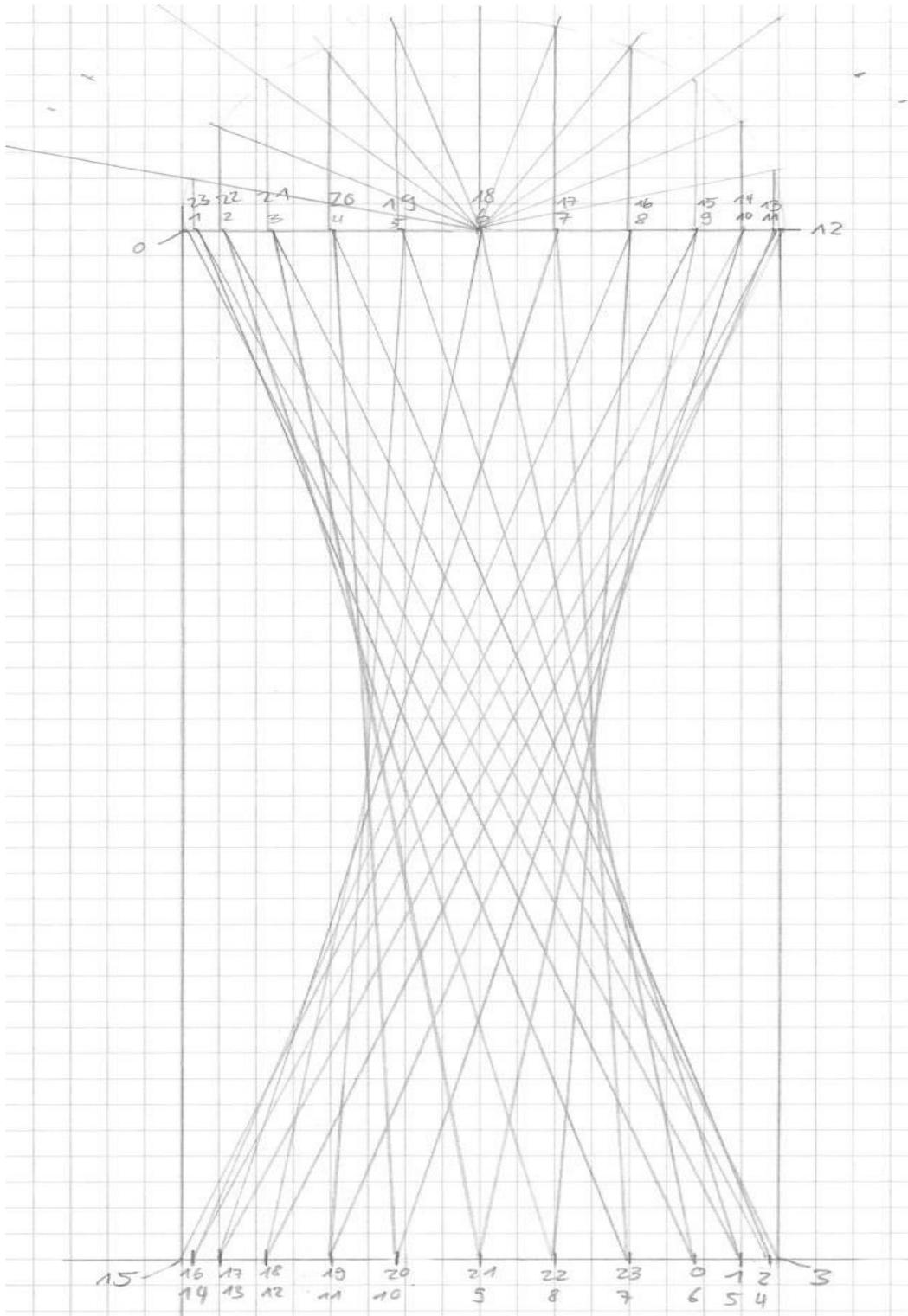
Fiche de solutions



6/6

## Solution:

Et voilà le résultat! Cette forme très particulière permet d'optimiser l'appel d'air.



# La sécurité dans une centrale nucléaire

Information aux enseignants



1/7

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves mettent dans le bon ordre les descriptions des différentes barrières de sécurité. Ils établissent un lien entre les principes de sécurité et leur mise en œuvre dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire.
<b>Objectif</b>	Les élèves sont capables de nommer et de distinguer les éléments de la sécurité passive et de la sécurité active.
<b>Matériel</b>	Fiches de travail Texte d'information Fiches de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail en groupe (de trois ou quatre élèves)
<b>Durée</b>	30'

Informations complémentaires:

- Les élèves réfléchissent aux principes de sécurité qui sont également utilisés dans d'autres domaines de la technique/du quotidien.
- Des informations complémentaires sont disponibles à la page: <https://www.kernenergie.ch/fr/Sicherheit-in-Kernkraftwerken.html>
- Des nombreuses informations, des rapports mais aussi des articles actualisés sur la sécurité des centrales nucléaires suisses sont disponibles sur le site de l'autorité de sûreté nucléaire suisse (Inspection fédérale de la sécurité nucléaire, IFSN): [www.ifs.ch](http://www.ifs.ch)

# La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de travail



2/7

## Exercice:

Après avoir lu le texte d'information, indique quelle barrière de sécurité est décrite dans chacun des textes.

## Les éléments de sécurité passifs



La barrière de sécurité la plus massive, d'une épaisseur de paroi comprise entre 1,5 et 2 mètres, est capable de résister à un crash d'avion.



Le manteau en acier de 20 à 25 cm d'épaisseur entoure les assemblages combustibles, les barres de commande et l'eau du circuit de refroidissement primaire. Avec la tuyauterie attenante, il enferme aussi les produits de fission gazeux qui s'échapperaient éventuellement des gaines et absorbe la majeure partie du rayonnement neutronique et du rayonnement gamma.



Cette cuve est à la fois étanche au gaz et résistante à la pression. Elle est en acier et possède une épaisseur de 4 cm. En cas de fuite dans le circuit primaire (= circuit du réacteur), elle est capable d'absorber et de garder le mélange eau/vapeur qui s'échappe avec les éventuelles substances radioactives qu'il contient.



Le combustible utilisé dans le cadre de la fission nucléaire est le dioxyde d'uranium, pressé en pastilles appelées «pellets» et cuit comme de la céramique. Ce traitement lui confère une structure cristalline solide qui retient les produits de fission radioactifs non gazeux (par ex. le baryum et le krypton).



Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.



Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.

# La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de travail



3/7

## Exercice:

Le texte suivant contient des exemples concrets de la manière dont fonctionnent les principes de sécurité mentionnés dans le texte d'information dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire. Attribue à chaque exemple le principe concerné. Plusieurs principes peuvent correspondre à un exemple.

## Les éléments de sécurité actifs



En cas d'élévation importante de la température à l'intérieur du réacteur, de l'hydrogène – gaz inflammable – peut apparaître. Afin d'empêcher la formation d'un mélange détonant avec de l'oxygène, l'air présent dans l'enceinte de confinement durant l'exploitation est remplacé par de l'azote gazeux non inflammable.



Les barres de commande empêchent l'activité neutronique lorsqu'elles sont insérées entre les crayons combustibles. Dans le cas d'un réacteur à eau sous pression, les barres de commande sont «rangées» au-dessus des assemblages combustibles. Elles sont maintenues par le biais d'électroaimants. En cas de coupure d'électricité dans la centrale, les électroaimants s'arrêtent et les barres de commande tombent d'elles-mêmes entre les assemblages combustibles, en raison de la force gravitationnelle. En absorbant les neutrons, elles mettent un terme à la réaction nucléaire.



La centrale nucléaire de Gösgen compte au total onze pompes pour l'évacuation de la chaleur/de la chaleur de post-désintégration à l'extérieur du réacteur. Une seule de ces pompes suffit à garantir une évacuation suffisante.



Lorsque la réaction de fission devient trop intense à l'intérieur d'un réacteur, et que la quantité de chaleur qui apparaît est trop importante, l'eau de refroidissement commence à s'évaporer dans la partie des assemblages combustibles. Un mélange eau-gaz se forme alors. Etant donné que le gaz ne ralentit pas suffisamment les neutrons, la réaction de fission nucléaire est diminuée. Il en est de même en cas de perte de liquide de refroidissement en raison d'une fuite.



Au cours des dix premières heures suivant l'arrêt d'un réacteur, le refroidissement nécessaire des crayons combustibles est assuré sans qu'une intervention du personnel d'exploitation ne soit nécessaire.



Si un phénomène extérieur survient (chute d'avion, séisme, etc.) et que les installations techniques telles que l'approvisionnement électrique ou les pompes de refroidissement ne fonctionnent plus, le bâtiment abritant les systèmes d'urgence est utilisé. Celui-ci est conçu de sorte à résister à une chute d'avion ou à un violent séisme sans être endommagé. Il comprend, en double exemplaire, l'ensemble des dispositifs techniques nécessaires au refroidissement de secours du réacteur.

# La sécurité dans une centrale nucléaire

Texte d'information



4/7

## La sécurité dans une centrale nucléaire

La sécurité est un thème clé des débats autour des centrales nucléaires. Le paragraphe suivant explique ce que le terme de «sécurité» implique en termes de conception et d'exploitation d'une centrale nucléaire, ainsi que les dispositifs de sécurité techniques et les mesures qui garantissent que l'installation ne représente aucun danger pour l'environnement.

Le rayonnement en lien avec la radioactivité peut être nocif pour l'homme. C'est pourquoi, dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire, il est primordial qu'aucune substance radioactive ne s'échappe du réacteur (cette interdiction s'applique également pour les usines chimiques qui fonctionnent avec des substances hautement toxiques).

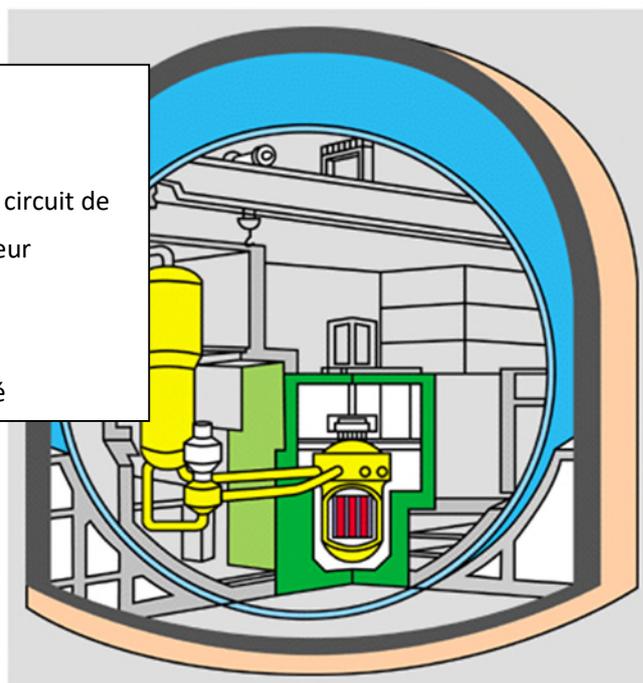
### Les éléments de sécurité passifs (barrières de sécurité)

Pour empêcher qu'une substance ne soit rejetée dans l'environnement, celle-ci doit être parfaitement «emballée». Dans les réacteurs à eau légère utilisés en Europe occidentale, les substances et le rayonnement radioactifs sont contenus dans l'installation par le biais de six barrières de sécurité. Les voici, en partant de l'intérieur vers l'extérieur:

1. La structure cristalline rigide du combustible
2. Les gaines métalliques étanches au gaz des crayons combustibles
3. L'enveloppe qui entoure le circuit de refroidissement du réacteur (appelée cuve de pression dans les réacteurs à eau bouillante)
4. L'enveloppe en béton (également appelée écran thermique)
5. L'enceinte de confinement («Containment» en anglais)
6. L'enveloppe externe en béton armé

### Sicherheitsbarrieren

- Combustible
- Gaine
- Enveloppe qui entoure le circuit de refroidissement du réacteur
- Protection en béton
- Enceinte de confinement
- Enveloppe en béton armé



# La sécurité dans une centrale nucléaire

Texte d'information



5/7

## Les éléments de sécurité actifs

Ces six barrières successives ne permettent pas pour autant de garantir à 100% le confinement sûr des matières radioactives. C'est pourquoi il est important qu'en plus de ces barrières, une exploitation fiable soit rendue possible grâce à la mise en œuvre de plusieurs principes :

1. Le principe de la sécurité en cas de défaillance: chaque erreur déclenche une réaction de protection immédiate (principe «Fail-Safe»).
2. Le principe selon lequel les parties d'installations sont redondantes et indépendantes les unes des autres (principe de redondance).
3. Le principe de l'analyse préventive des dysfonctionnements possibles et de la mise en place des contre-mesures nécessaires.
4. Le principe de la rétroaction passive: Les systèmes sont conçus de sorte qu'en cas de défaillance entraînant une évolution non souhaitable, ils ralentissent d'eux-mêmes.
5. Le principe de baisse des erreurs de commande en raison du déclenchement automatique de contre-mesures en cas de défaillance.

## L'objectif: une gestion sûre des défaillances possibles

Les centrales nucléaires sont des installations techniques dans lesquelles fonctionnent des machines dans des conditions parfois extrêmes (pression et température élevées), et ce quasiment toute l'année. A chaque fois qu'il est question de machines, des dysfonctionnements peuvent survenir, et ce en dépit d'une qualité optimale du matériel et d'un personnel parfaitement formé. C'est le cas aussi dans les centrales nucléaires. De fait, l'objectif principal des mesures de sécurité consiste toujours à limiter les impacts d'une défaillance à la centrale nucléaire seule, quelles que soient les circonstances. Les environs de la centrale ne doivent en aucun cas être touchés.

## Le principe de sécurité premier d'une centrale nucléaire

En cas de fonte du combustible suite à une surchauffe (fusion du cœur), et donc si celui-ci perd sa structure cristalline (1<sup>re</sup> barrière), les matières radioactives qui s'échappent du réacteur nucléaire représentent un danger pour l'homme. Le dioxyde d'uranium ne peut alors plus retenir les produits de fission radioactifs. Le réacteur nucléaire doit donc être conçu de sorte à s'arrêter automatiquement en cas de surchauffe. Suite à un arrêt de la réaction de fission nucléaire, les crayons combustibles continuent cependant à produire une chaleur dite de post-désintégration, qui doit être évacuée au moyen d'un caloporteur afin d'éviter toute surchauffe ultérieure. Le refroidissement des crayons combustibles à l'arrêt doit donc lui aussi être assuré.

## Résumé

Dans le cadre de l'exploitation d'une centrale nucléaire, l'objectif principal est d'éviter toute fuite de radioactivité dans l'environnement. Pour ce faire, il convient d'empêcher une surchauffe et une fusion du cœur du réacteur. En cas de menace de surchauffe, le réacteur doit pouvoir être arrêté de manière sûre et rapide. Le refroidissement du réacteur à l'arrêt et l'évacuation de la chaleur de post-désintégration doivent être garantis.

# La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de solutions



6/7

## Solutions:

### Les éléments de sécurité passifs

- 6 La barrière de sécurité la plus massive, d'une épaisseur de paroi comprise entre 1,5 et 2 mètres, est capable de résister à un crash d'avion.
- 3 Le manteau en acier de 20 à 25 cm d'épaisseur entoure les assemblages combustibles, les barres de commande et l'eau du circuit de refroidissement primaire. Avec la tuyauterie attenante, il enferme aussi les produits de fission gazeux qui s'échapperaient éventuellement des gaines et absorbe la majeure partie du rayonnement neutronique et du rayonnement gamma.
- 5 Cette cuve est à la fois étanche au gaz et résistante à la pression. Elle est en acier et possède une épaisseur de 4 cm. En cas de fuite dans le circuit primaire (= circuit du réacteur), elle est capable d'absorber et de garder le mélange eau/vapeur qui s'échappe avec les éventuelles substances radioactives qu'il contient.
- 1 Le combustible utilisé dans le cadre de la fission nucléaire est le dioxyde d'uranium, pressé en pastilles appelées «pellets» et cuit comme de la céramique. Ce traitement lui confère une structure cristalline solide qui retient les produits de fission radioactifs non gazeux (par ex. le baryum et le krypton).
- 4 Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.
- 2 Cette enveloppe en béton permet d'absorber le rayonnement neutronique et le rayonnement gamma résiduels.

# La sécurité dans une centrale nucléaire

Fiche de solutions



7/7

## Les éléments de sécurité actifs

3

En cas d'élévation importante de la température à l'intérieur du réacteur, de l'hydrogène – gaz inflammable – peut apparaître. Afin d'empêcher la formation d'un mélange détonant avec de l'oxygène, l'air présent dans l'enceinte de confinement durant l'exploitation est remplacé par de l'azote gazeux non inflammable.

1

Les barres de commande empêchent l'activité neutronique lorsqu'elles sont insérées entre les crayons combustibles. Dans le cas d'un réacteur à eau sous pression, les barres de commande sont «rangées» au-dessus des assemblages combustibles. Elles sont maintenues par le biais d'électroaimants. En cas de coupure d'électricité dans la centrale, les électroaimants s'arrêtent et les barres de commande tombent d'elles-mêmes entre les assemblages combustibles, en raison de la force gravitationnelle. En absorbant les neutrons, elles mettent un terme à la réaction nucléaire.

2

La centrale nucléaire de Gösgen compte au total onze pompes pour l'évacuation de la chaleur/de la chaleur de post-désintégration à l'extérieur du réacteur. Une seule de ces pompes suffit à garantir une évacuation suffisante.

4

Lorsque la réaction de fission devient trop intense à l'intérieur d'un réacteur, et que la quantité de chaleur qui apparaît est trop importante, l'eau de refroidissement commence à s'évaporer dans la partie des assemblages combustibles. Un mélange eau-gaz se forme alors. Etant donné que le gaz ne ralentit pas suffisamment les neutrons, la réaction de fission nucléaire est diminuée. Il en est de même en cas de perte de liquide de refroidissement en raison d'une fuite.

5

Au cours des dix premières heures suivant l'arrêt d'un réacteur, le refroidissement nécessaire des crayons combustibles est assuré sans qu'une intervention du personnel d'exploitation ne soit nécessaire.

2/3

Si un phénomène extérieur survient (chute d'avion, séisme, etc.) et que les installations techniques telles que l'approvisionnement électrique ou les pompes de refroidissement ne fonctionnent plus, le bâtiment abritant les systèmes d'urgence est utilisé. Celui-ci est conçu de sorte à résister à une chute d'avion ou à un violent séisme sans être endommagé. Il comprend, en double exemplaire, l'ensemble des dispositifs techniques nécessaires au refroidissement de secours du réacteur.

# Combustible nucléaire: l'uranium

Information aux enseignants



1/5

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent le texte d'information et répondent aux questions.
<b>Objectif</b>	Les élèves découvrent l'uranium, d'où il provient et de quelle manière il peut être utilisé comme combustible dans les centrales nucléaires.
<b>Matériel</b>	Fiche de travail Texte d'information Fiche de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel
<b>Durée</b>	20'

Informations complémentaires:

- Informations complémentaires à la page:  
<https://www.kernenergie.ch/fr/element-uran.html>

# Combustible nucléaire: l'uranium

Fiche de travail



2/5

## Exercice:

Lis le texte d'information ci-dessous puis réponds aux questions. Plusieurs réponses sont possibles.

### 1. Quel type d'uranium est utilisé dans les réacteurs suisses?

- L'uranium naturel
- Le dioxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>)
- Le Yellow Cake (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)

### 2. Quel(s) pays possède(nt) d'importants gisements d'uranium?

- L'Australie
- Le Danemark
- Le Kazakhstan
- Le Costa Rica
- L'Afrique du Sud

### 3. Pourquoi l'uranium est-il utilisé comme combustible nucléaire?

- En raison de sa forte densité énergétique.
- Car il est facilement fissile.
- Car il est très abordable

### 4. Combien de temps un assemblage combustible reste-t-il en moyenne dans un réacteur jusqu'à ce que le combustible soit épuisé?

- Quelques semaines
- Entre quatre et cinq ans
- 25 ans

# Combustible nucléaire: l'uranium

Texte d'information



3/5

## Qu'est-ce que l'uranium?

L'uranium est un élément chimique de symbole U et de numéro atomique 92, conformément au tableau périodique des éléments. Il s'agit d'un métal lourd faiblement radioactif que l'on trouve dans de nombreux minerais. L'uranium est présent sur Terre dans une quantité environ 500 fois supérieure à l'or.

L'uranium présent naturellement (uranium naturel) est un mélange composé d'environ 99,3% d'uranium 238 et 0,7% d'uranium 235. En 1938, un groupe de chercheurs dirigés par le chimiste allemand Otto Hahn découvre que l'uranium 235 est facilement fissile, et qu'une quantité importante d'énergie est libérée lors de sa fission, sous la forme de chaleur utile. L'uranium est le principal agent énergétique des centrales nucléaires actuelles.

## L'approvisionnement en uranium

L'oxyde d'uranium est obtenu dans le cadre de l'exploitation minière. Il est également présent dans les phosphates et dans l'eau de mer. On trouve des mines d'uranium en Afrique du Sud, en Australie, au Canada, aux Etats-Unis, et au Kazakhstan.

Les chiffres les plus variés circulent concernant le volume des réserves d'uranium: on estime ainsi qu'elles seraient suffisantes durant 50 à 500 ans, voire plus. Leur volume réel dépend des sites exploités et de l'efficacité de l'utilisation de l'uranium dans les réacteurs nucléaires. D'après l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), les réserves mondiales d'uranium exploitables devraient permettre de couvrir les besoins durant encore 80 ans. On estime cependant certains gisements comme étant encore plus importants. Si l'on tient compte de l'uranium présent dans les phosphates et l'eau et mer, les réserves disponibles suffiront durant plusieurs siècles. Il existe également un potentiel technologique d'économie important concernant les réacteurs en cours de développement. Le retraitement des assemblages combustibles usés permettrait aussi d'accroître encore les réserves disponibles. Ainsi, la matière première uranium sera disponible en quantité suffisante durant encore très longtemps.

## L'uranium comme combustible nucléaire



Pour que le dioxyde d'uranium obtenu dans le cadre de l'exploitation minière puisse être utilisé comme combustible dans un réacteur nucléaire, il doit être soumis à plusieurs étapes de traitement. Avant d'être enrichi, le minerai d'uranium est broyé en poudre puis passe par plusieurs étapes de traitement chimique. C'est ainsi qu'est produit le concentré d'uranium U3O8, appelé aussi «Yellow Cake».

Uranium sous forme de «Yellow Cake»  
Photo: energienucleaire.ch

# Combustible nucléaire: l'uranium

Texte d'information



4/5

La principale étape est l'enrichissement de la part d'uranium 235 afin qu'elle atteigne entre 4 et 5%. Il s'agit du degré d'enrichissement habituel requis pour une utilisation dans des réacteurs à eau légère tels que ceux exploités en Suisse. Le produit final se présente sous la forme de pastilles de combustible réfractaires de type céramique, composées de dioxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>) et placées à l'intérieur des crayons combustibles. Un assemblage combustible présent dans un réacteur peut comprendre jusqu'à 250 crayons combustibles.



*Une densité énergétique élevée: Entre trois et quatre pastilles combustibles de ce type suffisent pour approvisionner en électricité un foyer composé de quatre personnes durant un an. (Photo: KKG)*

## Retraitement

Le combustible nucléaire est conçu pour séjourner durant quatre à cinq ans dans un réacteur nucléaire: au-delà, la part des atomes fissiles devient trop faible. Ce combustible utilisé peut alors être recyclé, c'est-à-dire retraité, et la quantité de déchets finale représente seulement 3% environ du combustible de départ. Les autres 97% sont composés d'uranium et de plutonium, ils peuvent être à nouveau utilisés dans les réacteurs après avoir subi un enrichissement avec des atomes fissiles. Mais la Suisse a mis en oeuvre en 2006 un moratoire de dix ans concernant le retraitement: au cours de cette période, le retraitement des crayons combustibles usés est interdit. Ceux-ci sont conservés au centre de stockage intermédiaire (Zwilag) de Würenlingen, dans un conteneur adapté au stockage final.

# Combustible nucléaire: l'uranium

Fiche de solutions



5/5

## Solutions:

### 1. Quel type d'uranium est utilisé dans les réacteurs suisses?

- L'uranium naturel
- Le dioxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>)
- Le Yellow Cake (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)

### 2. Quel(s) pays possède(nt) d'importants gisements d'uranium?

- L'Australie
- Le Danemark
- Le Kazakhstan
- Le Costa Rica
- L'Afrique du Sud

### 3. Pourquoi l'uranium est-il utilisé comme combustible nucléaire?

- En raison de sa forte densité énergétique.
- Car il est facilement fissile.
- Car il est très abordable

### 4. Combien de temps un assemblage combustible reste-t-il en moyenne dans un réacteur jusqu'à ce que le combustible soit épuisé?

- Quelques semaines
- Entre quatre et cinq ans
- 25 ans

# Les déchets radioactifs

Information aux enseignants



1/7

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves lisent le texte d'information et remplissent la grille de mots-croisés
<b>Objectif</b>	Les déchets radioactifs et leur gestion sont présentés aux élèves. Ces derniers comprennent les termes de dépôt en couches géologiques profondes et de dépôt intermédiaire, et savent distinguer les deux types de dépôts.
<b>Matériel</b>	Fiche de travail Texte d'information Fiche de solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel
<b>Durée</b>	20'

Informations complémentaires:

- Visite du centre de stockage intermédiaire de Würenlingen, informations sur le site [www.zwilag.ch](http://www.zwilag.ch)
- Informations générales concernant la gestion des déchets sur le site de la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra): [www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)
- Vidéos de la Nagra: [www.youtube.com/user/NagraFilme/videos](http://www.youtube.com/user/NagraFilme/videos)
- Informations relatives au financement de la gestion des déchets: <http://www.stenfo.ch/fr/Home> et [http://www.swissnuclear.ch/fr/desaffectedation-et-gestion-des-dechets-\\_content---1--1048--154.html](http://www.swissnuclear.ch/fr/desaffectedation-et-gestion-des-dechets-_content---1--1048--154.html)
- Articles de presse relatifs à la procédure de dépôts profonds:
  - NZZ: [www.nzz.ch/schweiz/nagra-will-jura-ost-und-zuerich-nordost-vertieft-untersuchen-1.18472231](http://www.nzz.ch/schweiz/nagra-will-jura-ost-und-zuerich-nordost-vertieft-untersuchen-1.18472231) (en allemand)
  - [www.nzz.ch/schweiz/maengel-bei-der-tiefenlager-suche-1.18610596](http://www.nzz.ch/schweiz/maengel-bei-der-tiefenlager-suche-1.18610596) (en allemand)
  - Blick: [www.blick.ch/news/politik/so-kann-es-nicht-weitergehen-gruene-wollen-nagra-entsorgen-id3450469.html](http://www.blick.ch/news/politik/so-kann-es-nicht-weitergehen-gruene-wollen-nagra-entsorgen-id3450469.html) (en allemand)
 Utilisez les exemples de ces journaux pour mener une discussion au sein de la classe.

# Les déchets radioactifs

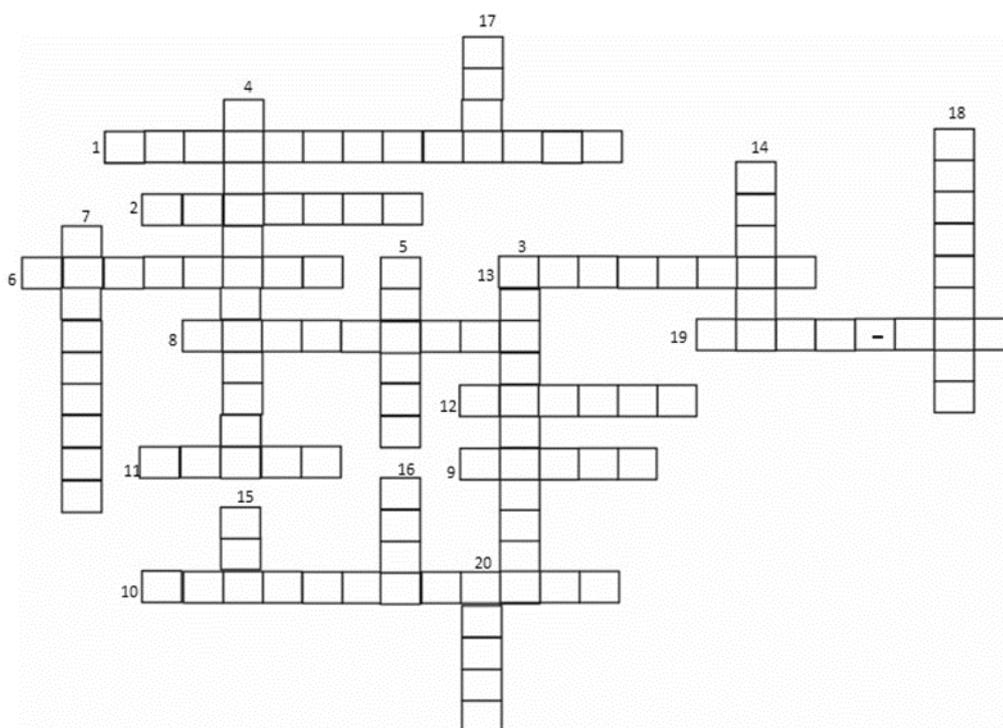
Fiche de travail



2/7

## Exercice:

Lis le texte d'information et complète les mots-croisés. Les questions sont indiquées sur une feuille séparée.



# Les déchets radioactifs

Fiche de travail



3/7

## Mots-croisés

1. Dépôt avant le dépôt final
2. Lieu où doit se situer un dépôt intermédiaire
3. Phase indispensable pour pouvoir refermer un dépôt final
4. Procédé en vue de la réduction des déchets radioactifs
5. Nouveau type de four à Würenlingen
6. Origine des déchets radioactifs
7. Origine des déchets radioactifs
8. Origine des déchets radioactifs
9. Organisation responsable de la gestion des déchets radioactifs en Suisse
10. Nécessaire à tout moment pour un dépôt intermédiaire
11. Matériau de l'enveloppe pour les déchets faiblement et moyennement radioactifs placés dans des fûts
12. Les conteneurs de stockage destinés aux déchets hautement radioactifs doivent pouvoir résister au feu, aux séismes et aux ...
13. Argile dans laquelle doivent être construits les dépôts en couches géologiques profondes
14. Ce que permet de réduire le four à plasma concernant les déchets faiblement et moyennement radioactifs.
15. Abréviation pour déchets hautement radioactifs
16. Abréviation pour déchets de moyenne activité à vie longue
17. Abréviation pour déchets de faible et de moyenne activité
18. Principe sur lequel se fonde le financement de la gestion des déchets en Suisse
19. Mesure pour la vitesse de désintégration radioactive
20. Matériau dans lequel sont fabriqués les conteneurs destinés aux DHR

**Question supplémentaire (champs gris): Comme nomme-t-on le dépôt intermédiaire de Würenlingen?**

--	--	--	--	--	--

# Les déchets radioactifs

Texte d'information



4/7

## Gestion des déchets radioactifs

Les déchets radioactifs produits en Suisse ne proviennent pas uniquement des centrales nucléaires, mais également de la médecine, de l'industrie, et de la recherche. Les déchets doivent être stockés de manière sûre jusqu'à ce qu'ils n'émettent plus de rayonnement néfaste. La Société nationale coopérative pour le stockage des déchets radioactifs **Nagra** a pour mission de trouver une solution appropriée. Le stockage a lieu actuellement dans des **dépôts intermédiaires**, jusqu'à ce que des **dépôts en couches géologiques profondes** soient mis en service.

Un dépôt intermédiaire doit se trouver à la surface et nécessite une surveillance permanente. Les dépôts en couches géologiques profondes en revanche doivent se trouver à 600 mètres dans le sol et être conçus de sorte à pouvoir être fermés à l'issue de la phase de surveillance et lorsqu'aucun contrôle n'est plus nécessaire. Les déchets y sont stockés de manière sûre même en cas de séisme de grande ampleur. Ils n'ont aucun impact sur la surface du sol. La durée du stockage dépend de la demi-vie de la matière du déchet. Deux types de dépôts en couches géologiques profondes sont prévus en Suisse: un type destiné aux **déchets de faible et de moyenne activité (DFMA)**, qui au bout de 30'000 ans atteignent une toxicité due au rayonnement (radiotoxicité) comparable à celle du granite. Le second type abritera des **déchets hautement radioactifs et des déchets moyennement radioactifs à longue durée de vie (DHR/DMAL)**. Ces déchets ont besoin de 200'000 ans environ pour que leur radiotoxicité baisse jusqu'à atteindre le niveau naturel de l'uranium issu de l'extraction minière. En vertu de la loi sur l'énergie atomique, il doit être démontré pour les deux types de dépôts profonds qu'ils sont réalisables techniquement, que des sites d'implantation appropriés existent en Suisse, et qu'une exploitation sûre est possible. Cette **démonstration de la faisabilité du stockage géologique des déchets radioactifs** a été apportée par la Nagra et reconnue par le Conseil fédéral et son autorité compétente en 2006 (pour les DHR/DMAL).

La communauté scientifique internationale est elle aussi unanime sur le fait que le stockage profond représente la seule méthode de gestion des déchets radioactifs qui satisfasse aussi les exigences en termes de sécurité à long terme.



*En profondeur et sans évolution depuis des millions d'années: l'argile à Opalinus, une roche sèche et auto-cicatrisante, doit accueillir les futurs dépôts en couches géologiques profondes. L'ammonite parfaitement conservée dans l'argile, découverte lors des forages, témoigne de la stabilité de la roche.*

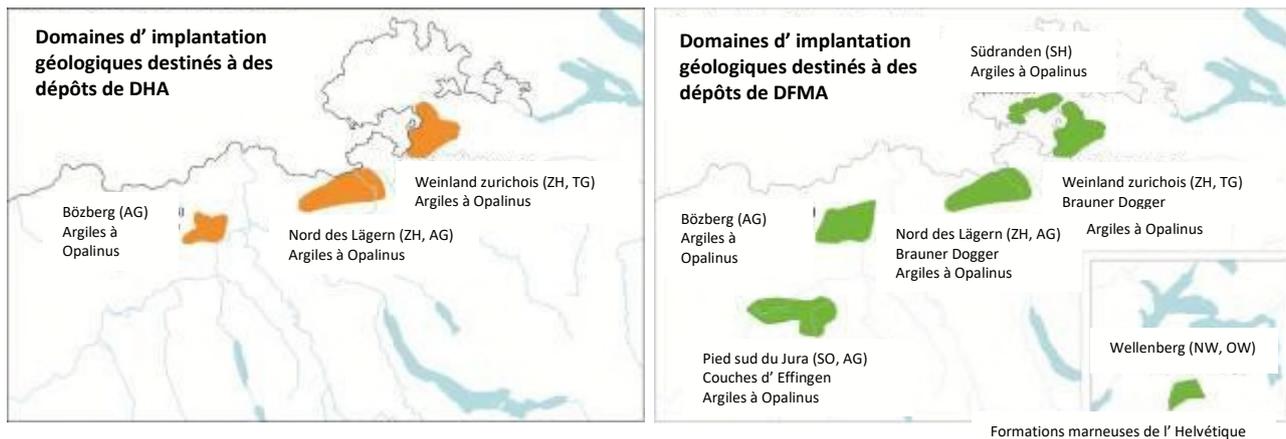
# Les déchets radioactifs

Texte d'information



5/7

La procédure de sélection permettant de définir les sites des futurs dépôts en couches géologiques profondes est actuellement en cours. Le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» comprend plusieurs étapes. Il implique les cantons et les communes concernées. D'après les autorités, l'objectif est de mettre en service à l'horizon 2050 un dépôt de DFMA et à l'horizon 2060 un dépôt de DHR/DMAL.



Sites d'implantation prévus pour le dépôt de DHR (gauche) et le dépôt de DFMA (droite). Les domaines d'implantation ont été définis par la Nagra à l'issue d'examen d'envergure et ont été approuvés par l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) et le Conseil fédéral.

## Le dépôt intermédiaire central Zwiilag

L'achèvement des dépôts en couches géologiques profondes prendra encore plusieurs décennies. D'ici là, les déchets radioactifs sont stockés dans les dépôts intermédiaires des centrales nucléaires ainsi qu'à Zwiilag, le dépôt intermédiaire central de Würenlingen mis en service en 2001. Que les dépôts profonds soient en service ou non, les déchets de haute activité doivent être conservés dans un dépôt intermédiaire de surface durant environ 40 ans. Ils doivent en effet avoir suffisamment refroidi avant d'être définitivement placés dans un dépôt en couches géologiques profondes. La construction d'un tel dépôt n'est donc pas urgente.

A Zwiilag, les déchets de haute activité sont placés dans des conteneurs en acier spécifiques. Les conteneurs, résistants aux chocs et au feu, sont conçus de sorte à résister à toutes les sollicitations et influences extérieures, par exemple au feu, aux séismes et aux crashes d'avion, et à rester étanche quelles que soient les circonstances.

Zwiilag abrite également une nouveauté mondiale: Le «four à plasma» qui brûle les déchets de faible et de moyenne activité. Ces déchets sont ensuite enfermés, après avoir été vitrifiés et placés dans des fûts coulés avec du béton. Le four à plasma ne permet pas de réduire la radioactivité des déchets, mais leur volume, et par là aussi la taille du dépôt final en projet.

# Les déchets radioactifs

Texte d'information



6/7



Halle de stockage des déchets de haute activité



Halle de stockage des déchets de moyenne activité



Terminal ferroviaire rail – route



Camion Zwilag

## Qui paye la gestion des déchets?

En vertu du principe de causalité, les producteurs de déchets radioactifs en Suisse sont tenus de financer la gestion de ces déchets. C'est ce que prévoit la loi sur l'énergie nucléaire. Les coûts de la construction du dépôt profond, de la gestion des déchets radioactifs ainsi que de la désaffectation ultérieure et de la démolition des installations sont déjà compris dans le prix de production. Le courant nucléaire coûte en moyenne cinq centimes par kilowattheure. Les exploitants nucléaires prélèvent environ un centime de ce prix, qu'ils utilisent pour financer la désaffectation et la gestion des déchets. Les moyens ainsi accumulés sont gérés par deux fonds affectés à un usage précis et contrôlés par la Confédération. Cela permet de garantir que le plan d'économie des centrales nucléaires est mis en œuvre de manière continue, que les moyens requis sont disponibles et que les citoyens Suisses n'auront pas à assumer des coûts inattendus.

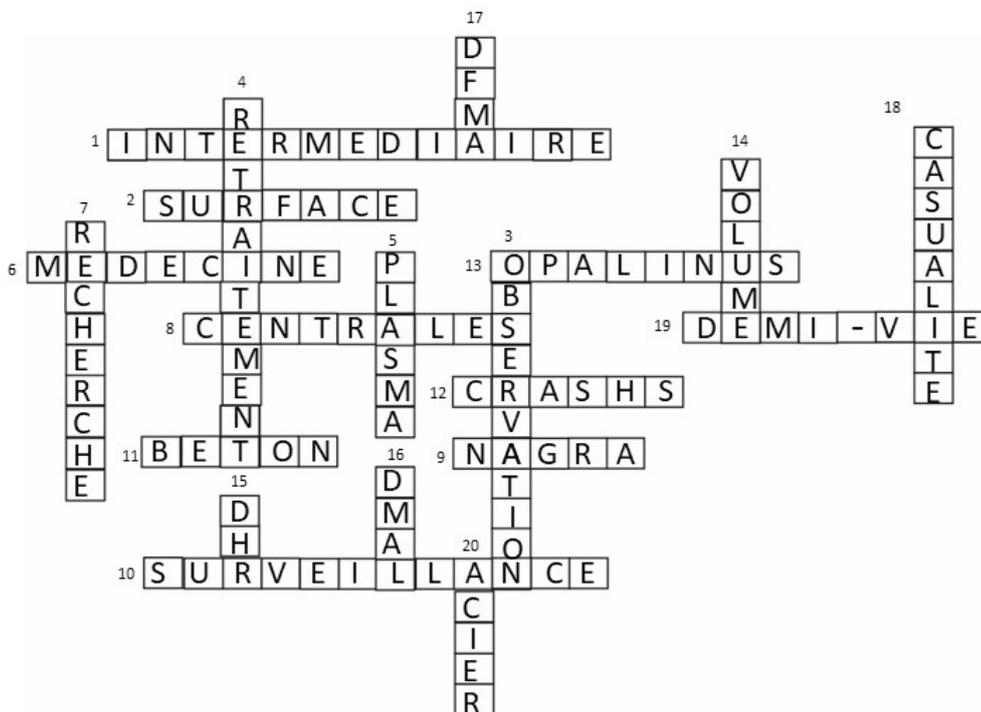
# Les déchets radioactifs

Fiche de solutions



7/7

## Solutions:



Question supplémentaire (champs gris): Comme nomme-t-on le dépôt intermédiaire de Würenlingen?

Z	W	I	L	A	G
---	---	---	---	---	---

# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Information aux enseignants



1/9

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves comparent et déterminent les différents types de centrales électriques à l'aide de photographies. Sur la base des connaissances qu'ils ont acquises jusque-là, ils évaluent les différents types d'installations sous des angles spécifiques (disponibilité électrique, compatibilité environnementale, possibilités offertes par le site et le potentiel de problèmes).
<b>Objectif</b>	Les élèves découvrent les différentes centrales électriques qui existent et des différentes possibilités de production d'électricité. Ils apprennent à évaluer les avantages et les inconvénients de chaque type d'installation, et classent celles-ci selon plusieurs critères en argumentant.
<b>Matériel</b>	Fiches de travail Texte d'information Fiches de solutions
<b>Forme didactique</b>	Les élèves travaillent par groupe de trois à cinq.
<b>Durée</b>	60'

Informations complémentaires:

- Les élèves sont répartis en groupes.
- Chaque groupe doit s'informer sur un type de centrale électrique défini et présente ensuite les avantages de celui-ci en plénum.
- Des graphiques clairs et des descriptions des différents modes de production d'électricité sont disponibles à la page [www.strom-online.ch/stromerzeugung.html](http://www.strom-online.ch/stromerzeugung.html) (en allemand uniquement).

# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Fiche de travail



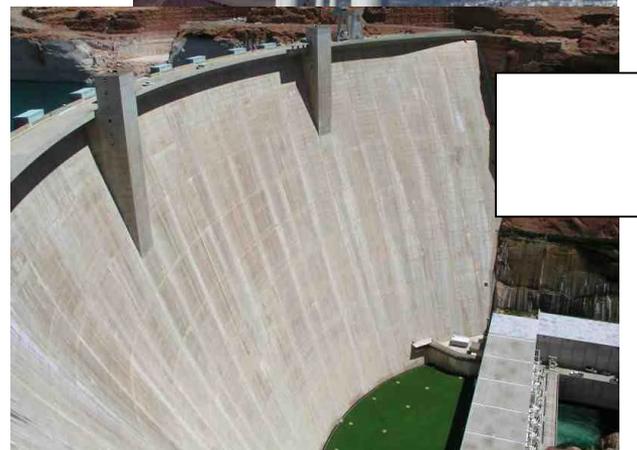
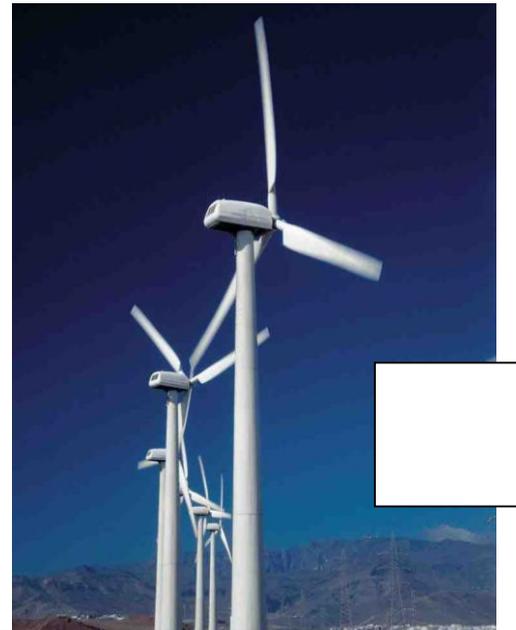
2/9

## Exercice:

Lis le texte et essaie d'attribuer aux types de centrales indiqués (à l'aide des abréviations) les images suivantes. Attention: Un type peut convenir pour plusieurs images.

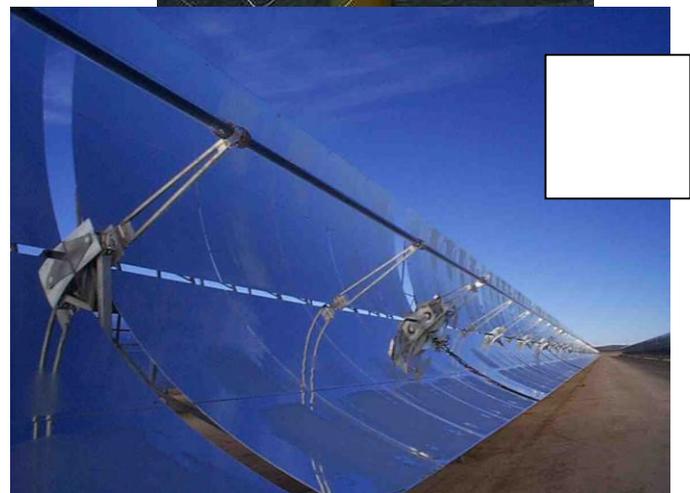
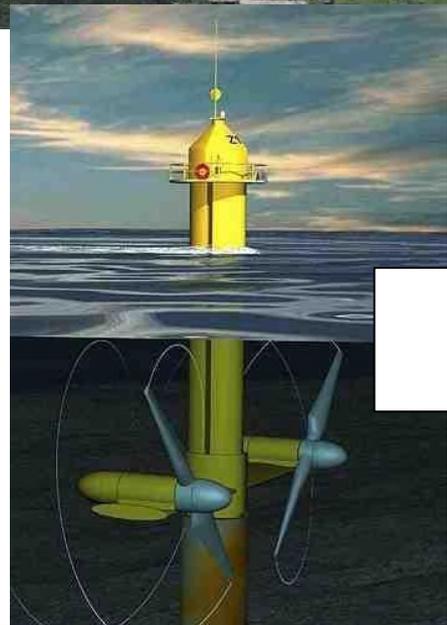
## Les différents types de centrales électriques

Centrale hydraulique avec barrage	→	HY	Centrale au fil de l'eau	→	FI
Centrale éolienne	→	EO	Centrale géothermique	→	GE
Centrale marémotrice	→	MA	Centrale hydraulique avec barrage	→	HY
Centrale nucléaire	→	NU	Centrale éolienne	→	EO
Centrale thermique	→	TH	Centrale marémotrice	→	MA
Centrale solaire	→	SO			



# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Fiche de travail



# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Fiche de travail



4/9

Dans un premier temps, vous devez aborder en groupe le classement des différents types de centrales électriques au regard des quatre critères suivants:

a) Disponibilité élevée de l'électricité b) Compatibilité environnementale c) Indépendance vis-à-vis des environs et d) Potentiel de problèmes.

## Exercice:

Dans le cadre de cet exercice, il est important d'argumenter les classements. Vous pouvez par exemple commencer par la première et la dernière case, et vous pencher ensuite sur celles au milieu. Tous les membres du groupe doivent intervenir et prendre la parole lorsqu'il n'est pas certain du classement proposé. L'exercice est terminé lorsque tous les membres du groupe s'entendent sur un classement. Il est possible que plusieurs centrales occupent la même place.

Dans un second temps, les résultats des groupes sont abordés en plénum, et débattus.

Disponibilité élevée  
de l'électricité



1	
2	
3	
4	
5	
6	

Compatibilité  
environnementale



1	
2	
3	
4	
5	
6	

Indépendance vis-à-  
vis des environs



1	
2	
3	
4	
5	
6	

Potentiel de  
problèmes



1	
2	
3	
4	
5	
6	

# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Texte d'information



## Avantages et inconvénients des différents types de centrales électriques

Chaque centrale électrique présente des avantages. Il n'existe cependant aucune centrale qui remplisse toutes les exigences souhaitables. Le mode de production d'électricité idéal devrait répondre à l'ensemble des critères suivants:

- Une production d'électricité continue, prévisible et suffisante.
- Des coûts de production d'électricité les plus bas possible.
- Une compatibilité environnementale élevée (pas d'émission de gaz à effet de serre); cela s'accompagne généralement d'émissions réduites de polluants (dioxyde de soufre, azote, particules de suie).
- Une possibilité d'extension dans le pays; ce critère suppose aussi des restrictions environnementales aussi réduites que possible.
- Un potentiel de risque minimal pour la population et un faible impact sur la nature
- Le moins de déchets possible et une gestion contrôlée de ces derniers.
- Une large indépendance vis-à-vis de l'étranger (importations de matières premières)

## Quelques détails concernant les différents types de centrales électriques

On entend par centrale thermique l'ensemble des centrales électriques qui utilisent des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) pour produire de la vapeur afin d'entraîner des turbines. La centrale nucléaire – bien qu'elle soit une centrale thermique – est considérée séparément car son combustible est différent.

Les centrales géothermiques appartiennent elles aussi à cette catégorie. Etant donné cependant que de la chaleur peut être fournie sans qu'aucun combustible ne soit utilisé, ce type de centrale est à part. La chaleur est récupérée sous la forme de vapeur soit en profondeur sous terre soit à plusieurs endroits à la surface, avant d'être acheminée jusqu'à des bâtiments abritant des turbines/générateurs. Le transport de la chaleur peut être déclenché ou accéléré par l'eau dans le sol.

Une centrale marémotrice utilise les courants marins résultant des changements de marée.

Contrairement aux centrales hydrauliques, les centrales au fil de l'eau ne permettent pas de stocker de l'eau grâce à un barrage. Les débits d'eau qui arrivent au-dessus de la centrale circulent à travers les turbines et poursuivent leur trajet en dessous de la centrale.

# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Fiche de solutions



6/9

## Solutions:

Centrale hydraulique avec barrage	→	HY	Centrale au fil de l'eau	→	FI
Centrale éolienne	→	EO	Centrale géothermique	→	GE
Centrale marémotrice	→	MA	Centrale hydraulique avec barrage	→	HY
Centrale nucléaire	→	NU	Centrale éolienne	→	EO
Centrale thermique	→	TH	Centrale marémotrice	→	MA
Centrale solaire	→	S			

### FI

**Pas une MA: niveaux d'eau différents visibles en haut de la photo. Le barrage est construit de manière asymétrique (un seul sens d'écoulement). Pas une HY: barrage trop petit, l'eau poursuit son trajet en dessous du barrage sur toute sa largeur.**



### EO

**Très clair!**



### GE

**Seules des GE et des TH sont possibles ici en raison de l'absence d'eau ouverte ou d'installations caractéristiques (NU: un réacteur, une tour de refroidissement; SO: des panneaux solaires ou des miroirs). De grandes cheminées manquent pour une TH (gaz d'échappement). GE: La chaleur est récupérée à différents endroits.**



### HY

**Pas de FI car mur du barrage trop haut**



# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Fiche de solutions



7/9



## NU

NU: Association d'un bâtiment réacteur (demi-cercle) et d'une tour de refroidissement

## TH

Seules des GE et des TH sont possibles ici en raison de l'absence d'eau ouverte ou d'installations caractéristiques (NU: un réacteur, une tour de refroidissement; SO: des panneaux solaires ou des miroirs). Les grandes cheminées indiquent une TH.

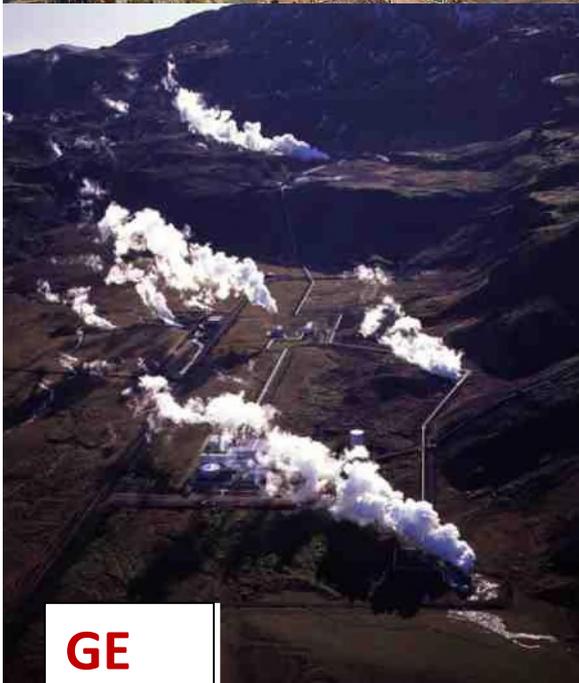


## TH



## MA

MA, car absence de terre au loin et aucun barrage/mur de barrage en vue



## GE

## SO

Très clair!



# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Fiche de solutions



## Solutions:

Une disponibilité maximale de l'électricité	
1	GE: chaleur du sol constante, aucune fluctuation
2	TH et NU: La production d'électricité dépend uniquement de l'approvisionnement en combustible.
3	
4	FI: Flux d'eau relativement constant, fluctuations selon la saison
5	HY: Fluctuations importantes de la disponibilité selon la saison
6	MA: Production d'électricité constante sur la semaine ou le mois, fluctuations importantes en revanche de la production
7	SO et EO: Production d'électricité en fonction des conditions météorologiques et de la saison
8	

Compatibilité environnementale	
1	<p>HY, EO, MA, NU, SO, FI:</p> <p>Quasiment aucune émission de dioxyde de carbone, pas d'impact donc sur les gaz à effet de serre.</p> <p>GE: Si combiné à un chauffage au gaz afin de mieux exploiter la chaleur</p> <p>TH: Production de quantités importantes de dioxyde de carbone, et de nombreux autres polluants atmosphériques</p>
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

# L'énergie nucléaire mise en comparaison

Fiche de solutions



9/9

Indépendance vis-à-vis des environs	
1	NU et TH: Grâce aux tours de refroidissement, il est possible d'utiliser des cours d'eau avec peu de débit.
2	
3	SO: Partout où le soleil brille suffisamment, c'est-à-dire dans l'idéal au sud, moins judicieux dans les pays nordiques
4	EO: Partout où le vent souffle souvent, c'est-à-dire notamment en montagne; pas trop proche des habitations en raison des nuisances sonores provoquées par les pales
5	FI: Nécessite d'un cours d'eau pouvant être endigué
6	HY: Possible uniquement en montagne avec des hautes vallées adaptées aux inondations
7	MA: Possible uniquement sur le littoral avec la présence de marées et de criques
8	MA: Possible uniquement sur le littoral avec la présence de marées et de criques

Un potentiel de problèmes (PP) le plus réduit possible	
1	SO, MA: aucun PP notable, à l'exception de la fabrication non respectueuse de l'environnement des panneaux solaires (en Chine)
2	
3	EO: PP limité en raison du risque de renversement en cas d'ouragan et conflit avec la protection des oiseaux
4	GE: Déclenchement de faibles séismes lorsqu'une pression est exercée sur l'eau (Bâle 2006, St. Gall 2013)
5	FI: PP limité: Risque de tsunami consécutif à un séisme, conflit avec la protection des eaux et la pêche
6	HY: PP considérable: Risque de tsunami important consécutif à un séisme, conflit avec la protection des paysages (Grimsel)
7	NU: PP élevé: Le stockage final concerne plusieurs générations. Malgré un niveau de sécurité très élevé, le risque de fuite de matières radioactives ne peut pas être exclu à 100%.
8	TH: PP élevé: forte contribution aux changements climatiques en raison des émissions de dioxyde de carbone et atteintes à la santé en raison de la pollution atmosphérique

# L'énergie nucléaire en Suisse

Information aux enseignants



1/6

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves réalisent un sondage d'opinion. Ils respectent les instructions de la fiche de travail. A l'issue du sondage, ils mettent en commun les résultats obtenus et tracent différents diagrammes. Pour finir, ils partagent en plénum les expériences acquises dans le cadre de la réalisation du sondage.
<b>Objectif</b>	Les élèves abordent des questions de politique énergétique actuelles. Ils réalisent un sondage d'opinion dont ils présentent les résultats à l'aide de graphiques.
<b>Matériel</b>	Texte d'information Fiches de travail
<b>Forme didactique</b>	Sondage d'opinion et représentation graphique par groupe de deux. En plénum: échange d'expériences concernant le sondage.
<b>Durée</b>	20' (préparation du sondage), 30' (représentation des résultats sous la forme de diagrammes)

Informations complémentaires:

- Dans les classes où les élèves sont participatifs, il est possible de mettre en place une «table ronde» sur le thème de l'«avenir de l'énergie nucléaire en Suisse», sous le regard attentif de l'enseignant.
- Les élèves recherchent d'abord en groupe de bons arguments en faveur d'un scénario d'avenir spécifique (avec/sans énergie nucléaire, avec/sans limitation de la consommation d'électricité, etc.) et mènent ensuite en plénum une discussion dirigée sur le sujet. Une partie de la classe peut jouer le rôle de jury et décider quel groupe a été le plus persuasif.
- Le graphique «Consommation finale 1910–2016 selon les agents énergétiques» peut être téléchargé à la page:  
<http://www.bfe.admin.ch/>
- Scénarios possibles pour l'approvisionnement électrique du future:  
[www.strom.ch/fr/energie/](http://www.strom.ch/fr/energie/)

# L'énergie nucléaire en Suisse

Fiche de travail



2/6

## Exercice:

Réalise un sondage d'opinion. Avec ton enseignant, définis le groupe de personnes que tu souhaites interroger. Avant de commencer le sondage, prends connaissance des informations relatives à la préparation du sondage.

## Préparation du sondage

Avant de commencer à poser les questions, il faut demander à la personne interrogée si elle est d'accord pour participer à un sondage portant sur le thème «L'énergie nucléaire en Suisse». Il faut aussi l'informer que ses réponses seront traitées de manière confidentielle au sein de la classe.

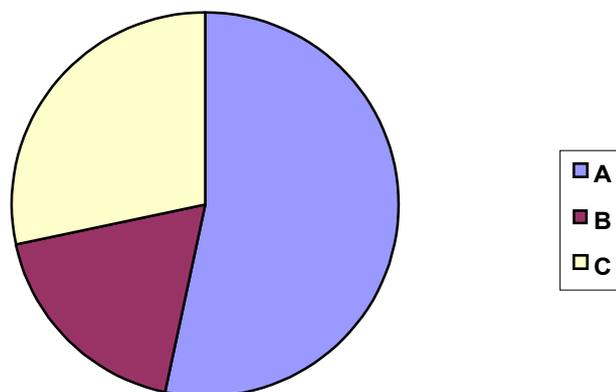
Une fois le sondage terminé, vous devez totaliser les réponses obtenues (somme des «Oui» à la question 1, somme des «Non» à la question 1, somme des réponses a) à la question 2, etc.)

Créez pour chaque question Oui/Non un diagramme en bâtons.

Pour les questions à choix multiple, réalisez des diagrammes circulaires.

Exemple: Les trois réponses possibles d'une question ont été citées respectivement: a) 32 fois, b) 11 fois et c) 17 fois. La somme des trois variantes est donc de 60.

La part de réponses a) dans le diagramme circulaire est de  $32/60$  sur 360 degrés, ce qui fait un angle de 192 degrés. La part de réponses b) dans le diagramme circulaire est de  $11/60$  sur 360 degrés, ce qui fait un angle de 66 degrés. La part de réponses c) dans le diagramme circulaire est de  $17/60$  sur 360 degrés, ce qui fait un angle de 102 degrés.



# L'énergie nucléaire en Suisse

Fiche de travail



3/6

## Sondage d'opinion sur le thème «L'énergie nucléaire en Suisse»

1. **A combien estimez-vous la part de l'électricité produite dans les centrales nucléaires par rapport au total de la production d'électricité suisse?**
  - a) Inférieure à 10% b) Environ 20% c) Environ 30 à 40% d) Plus de 50% e) Ne sait pas

Après avoir posé la question, informer les personnes que la bonne réponse est environ 40 %.
2. **D'après vous, comment évoluera le besoin en électricité en Suisse au cours des deux prochaines décennies?**
  - a) Plutôt à la baisse b) Pas d'évolution marquée c) Plutôt à la hausse d) Ne sait pas
3. **Pensez-vous que les cinq centrales nucléaires suisses qui seront désaffectées au cours des prochaines décennies doivent être remplacées par des nouvelles?**
  - a) Oui b) Non c) Ne sait pas
4. **Uniquement pour les personnes ayant répondu b) ou c) à la question 3: Pensez-vous que la Suisse soit en mesure de remplacer ses centrales nucléaires désaffectées par les énergies renouvelables (énergie hydraulique, énergie éolienne, géothermie, énergie solaire, biogaz, granulés de bois)?**
  - a) Oui b) Non c) En partie d) Ne sait pas
5. **Parmi les problèmes évoqués, lequel est le plus important selon vous?**
  - a) Le stockage final des déchets radioactifs b) Le changement climatique
  - c) Une électricité insuffisante et trop chère d) Ne sait pas
6. **La Suisse doit-elle produire elle-même son électricité ou l'acheter à l'étranger?**
  - a) La produire elle-même b) Un mixte des deux
  - c) L'importer de l'étranger d) Ne sait pas

Question	Nombre de réponses obtenues		Nombre de réponses obtenues		Nombre de réponses obtenues		Nombre de réponses obtenues		Nombre de réponses obtenues	
	a	b	c	d	e					
1	a	b	c	d	e					
2	a	b	c	d						
3	a	b	c							
4	a	b	c	d						
5	a	b	c	d						
6	a	b	c	d						

# L'énergie nucléaire en Suisse

Texte d'information



4/6

## Bases pour la discussion

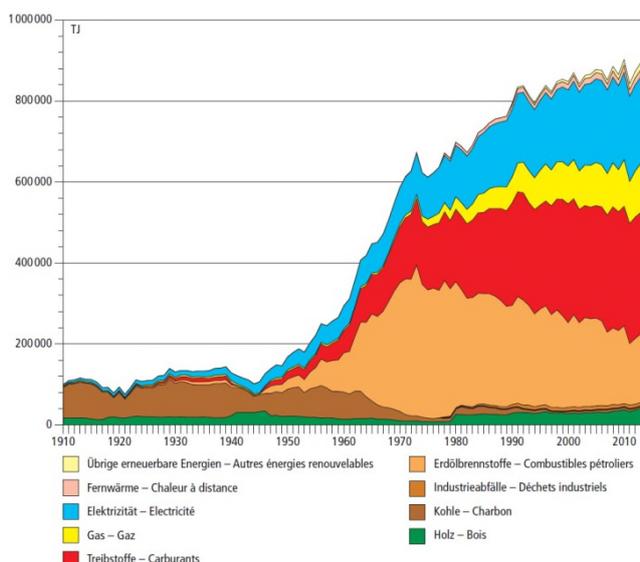
Personne n'est capable de prédire la disponibilité et le besoin en énergie de notre société sur le long terme. Pourtant, en 2017, le peuple suisse a défini des jalons de politique énergétique très clairs en adoptant la nouvelle loi sur l'énergie. Cette politique entraînera des conséquences sur plusieurs décennies étant donné que les centrales nucléaires actuelles ne pourront pas être remplacées à l'issue de leur durée de vie comprise entre 50 et 60 ans. Les questions suivantes se posent donc concernant la politique énergétique suisse actuelle:

Les scénarios formulés par la Confédération, qui supposent une baisse sur le long terme du besoin en électricité grâce à des mesures d'efficacité et d'économie, sont-ils réalistes?

- Les centrales nucléaires suisses pourront-elles être remplacées par de l'électricité indigène renouvelable à l'issue de leur fonctionnement? Ou devra-t-on construire de nouvelles centrales à gaz sur notre territoire?**
- La sortie du nucléaire est-elle réellement possible sans mettre en péril la fiabilité de l'approvisionnement électrique et les objectifs suisses de protection du climat?**
- Que coûtera la sortie du nucléaire et les investissements associés requis? Quel impact sur le prix de l'électricité, les consommateurs d'électricité, et l'économie?**
- La Suisse parviendra-t-elle à mener à son terme la procédure de plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes» et sera-t-il possible de stocker de manière définitive les déchets radioactifs issus de la production d'électricité nucléaire, de la médecine, de l'industrie et de la recherche, qu'il s'agisse des déchets déjà existants ou de ceux qui seront encore produits, en toute sécurité, dans des volumes plus ou moins importants?**

Afin de pouvoir se forger une opinion fondée, il est essentiel que chacun dispose de quelques connaissances de base concernant la situation de l'énergie en Suisse.

- Au cours des 50 dernières années, le besoin énergétique de la Suisse a été multiplié par quatre. En 2013, il a augmenté de 0,7% et ce malgré une conjoncture économique très défavorable. Les dernières années, le besoin énergétique a légèrement diminué.



Graphique: Office fédéral de l'énergie

# L'énergie nucléaire en Suisse

Texte d'information



5/6

2. Les centrales nucléaires contribuent à hauteur de 30 à 40% à la production d'électricité suisse. En dépit de l'encouragement massif de la Confédération, les technologies renouvelables ne dépassent pas 5,1% (2016) de la quantité totale d'électricité produite en Suisse.
3. La capacité de production des centrales au fil de l'eau suisses ne pourra plus être augmentée de manière importante.
4. Les nouvelles grosses centrales hydrauliques avec barrage entraînent l'inondation de vallées alpines. Les défenseurs de la nature s'y opposent.
5. Le courant thermique-fossile issu du gaz, du pétrole ou encore du charbon est peu accepté par la population en raison de son impact sur le climat et l'environnement. La construction de ce type de centrales en Suisse serait impossible et l'importation de courant fossile ne représente pas une solution.
6. Plus des trois quarts des Suisses sont opposés à des importations de courant supérieures à aujourd'hui, cela mettrait en péril l'indépendance de la Suisse vis-à-vis de l'étranger et rendrait incontrôlables l'origine et la qualité de l'électricité. C'est ce qui ressort d'une étude représentative réalisée à l'automne 2015.
7. L'électricité produite par les éoliennes joue un rôle insignifiant en Suisse. Et cela persistera en raison de nos conditions météorologiques peu favorables à ce type de production d'électricité. L'énergie éolienne en grande quantité peut uniquement être achetée à l'étranger (Allemagne, France). La question de savoir quelle quantité d'électricité propre nos voisins peuvent, et souhaitent, vendre reste entière étant donné que, tout comme de nombreux autres pays, ils se sont engagés dans une démarche de protection du climat et de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.
8. L'espoir d'un développement rapide de la production d'électricité grâce à la géothermie en Suisse a été ébranlé. Les essais réalisés à Bâle (2006), Zurich (2010) et Saint-Gall (2013) n'ont eux non plus pas été concluants.
9. La gestion des déchets radioactifs à l'étranger n'est pas autorisée légalement. En Suisse, cela fait plus de 30 ans que des déchets radioactifs issus des centrales nucléaires, mais aussi d'applications médicales, industrielles, et de la recherche sont stockés dans des conteneurs spécifiquement prévus à cet effet, placés dans des bâtiments de surface (Zwilag, centrales nucléaires et Institut Paul-Scherrer). La loi sur l'énergie nucléaire prévoit que ces matières seront stockées définitivement dans des dépôts en couches géologiques profondes. La Confédération et la Nagra mènent actuellement des investigations communes afin de définir des sites d'implantation aptes à accueillir ce type d'installations dans le cadre d'une procédure de plan sectoriel.



# Les métiers présents dans une centrale nucléaire

Information aux enseignants



1/4

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves doivent associer chaque photo d'employé au texte à trous correspondant et compléter les trous à l'aide des termes proposés. Ils décident eux-mêmes s'ils préfèrent compléter les textes avant, pendant ou après avoir associé les photos aux textes.
<b>Objectif</b>	Les élèves découvrent la diversité des métiers dans une centrale nucléaire. A l'aide d'exemples, ils se familiarisent avec les différentes tâches à effectuer dans une centrale nucléaire. Ils effectuent une recherche Internet spécifique et corrigent ensuite leur exercice de manière autonome.
<b>Matériel</b>	Fiche de travail Accès internet pour le travail de navigation et de correction Fiche de solutions
<b>Forme didactique</b>	Groupes de 2 ou de 3
<b>Durée</b>	25'

Informations complémentaires:

- Les élèves résumant un des métiers illustrés à la page <https://www.kernenergie.ch/fr/arbeitsplatz.html>
- Des informations complémentaires concernant les métiers sont disponibles à la page: <https://orientation.ch/dyn/show/1418?lang=fr>
- Informations concernant les places d'apprentissage: [www.gateway.one](http://www.gateway.one)

# Les métiers présents dans une centrale nucléaire

Fiche de travail



2/4

Le bon fonctionnement d'une centrale nucléaire repose sur la qualification des collaborateurs, issus des formations les plus diverses. Dans un premier temps, formez des groupes de deux ou trois et formulez des suppositions concernant le domaine d'activité des personnes. Justifiez vos suppositions.

Dans un second temps, découpez les illustrations et attribuez chacune d'elle au texte qui lui correspond. C'est à vous de décider si vous souhaitez compléter les textes avant, pendant ou après avoir associé les photos aux textes.

## Exercice:

Vous devez compléter les trous à l'aide des termes suivants:

**la composition chimique / la formation des utilisateurs / les bâtiments / des dispositifs de ventilation / la salle de commande / domaine d'activité**



# Les métiers présents dans une centrale nucléaire

Fiche de travail



3/4

## Exercice:

Pour finir, en procédant à des recherches sur internet, évaluez la différence d'âge entre la personne la plus jeune et la personne la plus âgée parmi toutes les personnes illustrées. Corrigez également la répartition des photos et les textes à trous. Pour cela, rendez-vous à la page [www.kernenergie.ch/fr/jobs.html](http://www.kernenergie.ch/fr/jobs.html)

L'opérateur de réacteur travaille dans \_\_\_\_\_ de la centrale nucléaire. Ses activités concernent l'ensemble de l'installation: il surveille les processus d'exploitation en temps réel et il exerce, depuis la salle de commande, une influence sur le fonctionnement de la centrale.

Le champ d'activités des informaticiens est vaste et polyvalent. Cela comprend notamment l'installation et la maintenance de systèmes informatiques, \_\_\_\_\_ et l'assistance des utilisateurs pour toutes les questions en lien avec les applications.

Le \_\_\_\_\_ de l'agent de radioprotection est très diversifié. Il comprend la supervision du personnel et l'exécution de tâches en étant parfois susceptible d'être exposé aux irradiations ainsi que la surveillance de l'installation et de l'environnement.

L'opérateur d'installation s'occupe notamment des équipements extérieurs, des installations de préparation et de l'eau, et \_\_\_\_\_. Il effectue des rondes dans le bâtiment des turbines et au niveau des aménagements primaires afin de contrôler le fonctionnement des appareils.

Les principaux domaines d'activité des laborantines et des laborantins dans une centrale nucléaire sont la radiochimie et la chimie de l'eau. Dans ces deux secteurs, leur rôle est de surveiller la pureté et \_\_\_\_\_ des systèmes.

Le surveillant se charge des multiples activités liées à la protection et à la sécurité sur l'aire de la centrale. Il surveille et contrôle les personnes, les véhicules et \_\_\_\_\_. En cas de danger, il alerte les services concernés et déclenche les mesures de défense adéquates.

# Les métiers présents dans une centrale nucléaire

Fiche de solutions



4/4

## Solutions:

*La différence d'âge entre la personne la plus jeune et la personne la plus âgés est de onze ans (années de naissance: 1960 et 1971).*



L'opérateur de réacteur travaille dans **la salle de commande** de la centrale nucléaire.

Ses activités concernent l'ensemble de l'installation: il surveille les processus d'exploitation en temps réel et il exerce, depuis la salle de commande, une influence sur le fonctionnement de la centrale.



Le champ d'activités des informaticiens est vaste et polyvalent. Cela comprend notamment l'installation et la maintenance de systèmes informatiques, **la formation des utilisateurs** et l'assistance des utilisateurs pour toutes les questions en lien avec les applications.



Le **domaine d'activité** de l'agent de radioprotection est très diversifié. Il comprend la supervision du personnel et l'exécution de tâches en étant parfois susceptible d'être exposé aux irradiations ainsi que la surveillance de l'installation et de l'environnement.



L'opérateur d'installation s'occupe notamment des équipements extérieurs, des installations de préparation et de l'eau, et **les dispositifs de ventilation**. Il effectue des rondes dans le bâtiment des turbines et au niveau des aménagements primaires afin de contrôler le fonctionnement des appareils.



Les principaux domaines d'activité des laborantines et des laborantins dans une centrale nucléaire sont la radiochimie et la chimie de l'eau. Dans ces deux secteurs, leur rôle est de surveiller la pureté et **la composition chimique** des systèmes.



Le surveillant se charge des multiples activités liées à la protection et à la sécurité sur l'aire de la centrale. Il surveille et contrôle les personnes, les véhicules et **les bâtiments**. En cas de danger, il alerte les services concernés et déclenche les mesures de défense adéquates.

# Test sur l'énergie nucléaire

Information aux enseignants



1/5

<b>Mandat de travail</b>	Les élèves effectuent le test sur l'énergie nucléaire (choix multiples). L'enseignant corrige les réponses fournies et attribue des notes. Le nombre de +/- pour chaque bonne/mauvaise réponse est calculé par l'enseignant.
<b>Objectif</b>	Vérification des résultats/évaluation
<b>Matériel</b>	Fiche de test Solutions
<b>Forme didactique</b>	Travail individuel
<b>Durée</b>	15'



Beznau -1 et -2

# Test sur l'énergie nucléaire

Fiche de travail



2/5

## Questions à choix multiples

- 1. En quelle année a été mise en service la première centrale nucléaire suisse?**
  - 1961
  - 1969
  - 1972
- 2. De quelles particules élémentaires est constitué un noyau atomique?**
  - D'électrons et de protons
  - De protons et de neutrons
  - De neutrons et d'électrons
- 3. Quel chiffre détermine la position d'un élément dans le tableau périodique?**
  - Le nombre de masse
  - Le nombre de neutrons
  - Le numéro atomique
- 4. Le terme «émetteur d'hélium» a la même signification que le terme**
  - Emetteur alpha
  - Emetteur bêta
  - Emetteur gamma
- 5. Quel produit de fission permet à la réaction de fission nucléaire de l'uranium de s'auto-entretenir?**
  - Le neutron
  - Le crypton
  - Le barium
- 6. Combien de fois la quantité d'énergie libérée lors du processus de fission d'un atome d'uranium est-elle supérieure à la combustion d'un atome de carbone?**
  - 500'000 fois
  - 5 millions de fois
  - 50 millions de fois
- 7. Dans quelle partie du circuit du réacteur arrive en premier la vapeur chauffée dans un réacteur à eau bouillante**
  - Dans la turbine basse pression
  - Dans la turbine haute pression
  - Dans le condenseur

# Test sur l'énergie nucléaire

Fiche de travail



3/5

**8. Quelle barrière de sécurité passive est étanche au gaz et résistante à la pression, et est composée d'une couche d'acier de 4 cm d'épaisseur?**

- Les gaines métalliques des crayons combustibles
- L'enveloppe en béton armé pouvant être fermée vers l'extérieur
- L'enceinte de confinement (containment)

**9. Quel pays fait partie des principaux fournisseurs d'uranium au monde?**

- Le Kazakhstan
- Le Canada
- L'Inde

**10. Parmi les types de centrales suivants, lequel offre la disponibilité d'électricité la plus élevée?**

- Une centrale marémotrice
- Une centrale géothermique
- Une centrale éolienne

**11. Quelle est la part d'électricité produite par les centrales nucléaires suisses?**

- plus de 50 %
- 30-40 %
- 20 %

**12. Parmi les métiers suivants, combien comportent également une tâche de surveillance: opérateur de réacteur, agent de radioprotection, laborantin?**

- Les trois
- Deux sur trois
- Un sur trois

# Test sur l'énergie nucléaire

Fiche de solutions



4/5

## Solutions:

- 1. En quelle année a été mise en service la première centrale nucléaire suisse?**
  - 1961
  - 1969
  - 1972
- 2. De quelles particules élémentaires est constitué un noyau atomique?**
  - D'électrons et de protons
  - De protons et de neutrons
  - De neutrons et d'électrons
- 3. Quel chiffre détermine la position d'un élément dans le tableau périodique?**
  - Le nombre de masse
  - Le nombre de neutrons
  - Le numéro atomique
- 4. Le terme «émetteur d'hélium» a la même signification que le terme**
  - Emetteur alpha
  - Emetteur bêta
  - Emetteur gamma
- 5. Quel produit de fission permet à la réaction de fission nucléaire de l'uranium de s'auto-entretenir?**
  - Le neutron
  - Le krypton
  - Le barium
- 6. Combien de fois la quantité d'énergie libérée lors du processus de fission d'un atome d'uranium est-elle supérieure à la combustion d'un atome de carbone?**
  - 500'000 fois
  - 5 millions de fois
  - 50 millions de fois
- 7. Dans quelle partie du circuit du réacteur arrive en premier la vapeur chauffée dans un réacteur à eau bouillante**
  - Dans la turbine basse pression
  - Dans la turbine haute pression
  - Dans le condenseur

# Test sur l'énergie nucléaire

Fiche de solutions



5/5

8. **Quelle barrière de sécurité passive est étanche au gaz et résistante à la pression, et est composée d'une couche d'acier de 4 cm d'épaisseur?**
- Les gaines métalliques des crayons combustibles
  - L'enveloppe en béton armé pouvant être fermée vers l'extérieur
  - L'enceinte de confinement (containment)**
9. **Quel pays fait partie des principaux fournisseurs d'uranium au monde?**
- Le Kazakhstan**
  - Le Canada
  - L'Inde
10. **Parmi les types de centrales suivants, lequel offre la disponibilité d'électricité la plus élevée?**
- Une centrale marémotrice
  - Une centrale géothermique**
  - Une centrale éolienne
11. **Quelle est la part d'électricité produite par les centrales nucléaires suisses?**
- plus de 50 %
  - 30-40 %**
  - 20 %
12. **Parmi les métiers suivants, combien comportent également une tâche de surveillance: opérateur de réacteur, agent de radioprotection, laborantin?**
- Les trois**
  - Deux sur trois
  - Un sur trois