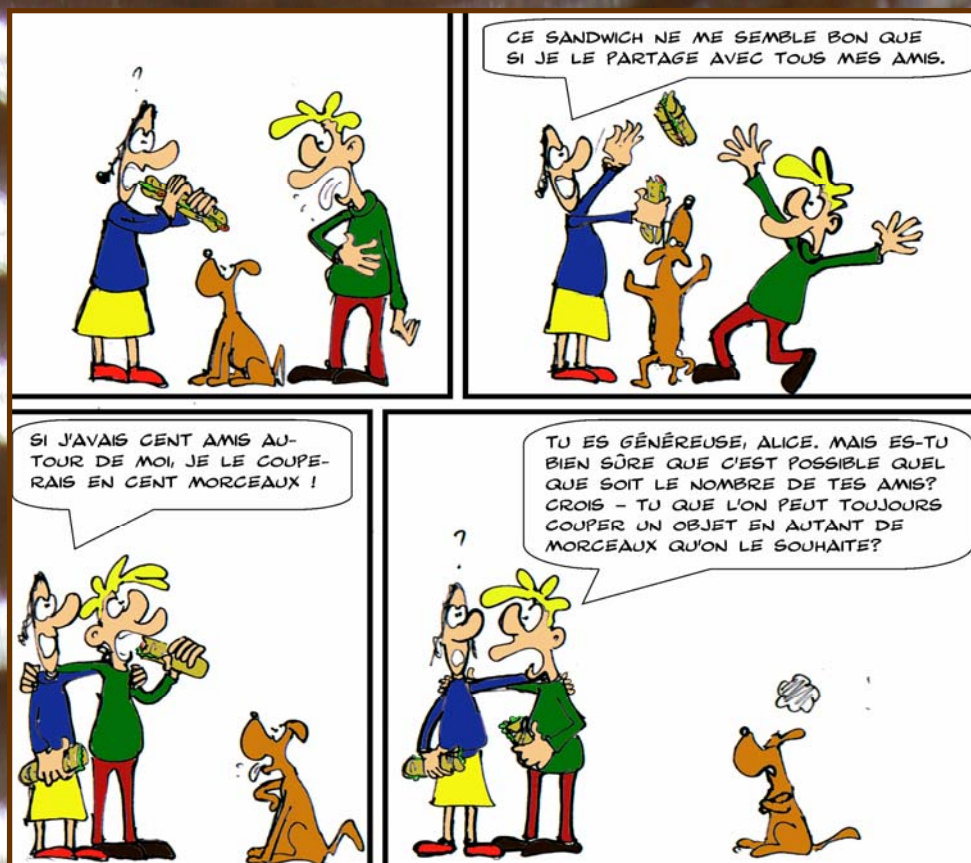


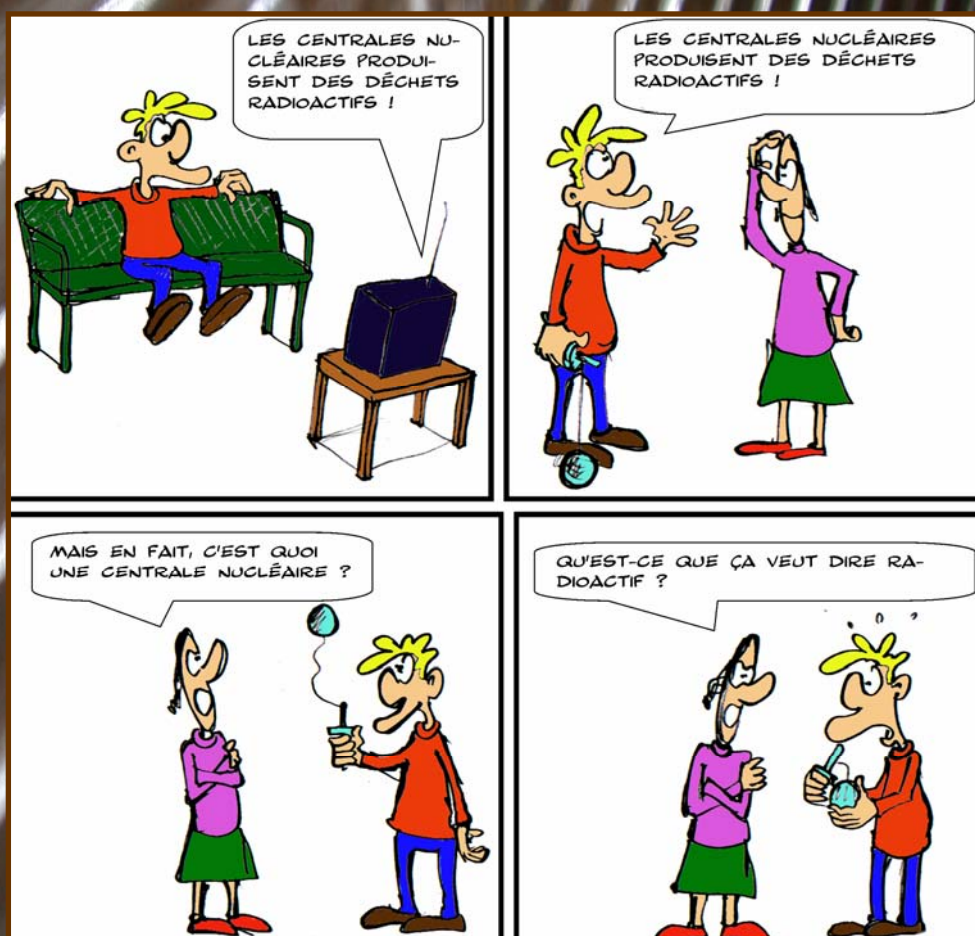
L'énergie nucléaire

1. Qu'est-ce-que la matière ?
2. La radioactivité
3. Énergie nucléaire et réacteurs
4. Les déchets radioactifs





Et pour toi, qu'est ce que la matière ?



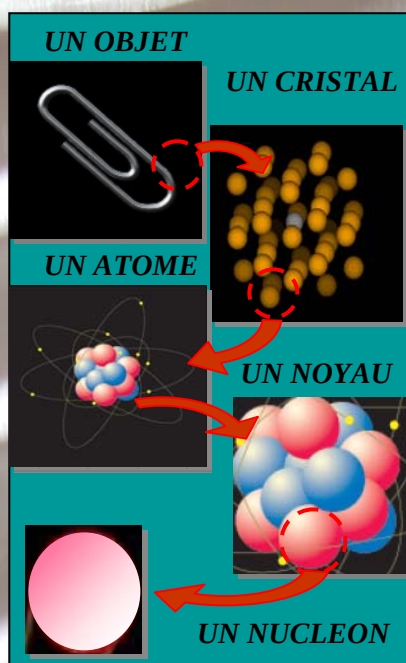
Nucléaire, atome, radioactivité, centrale ... que cela t'évoque-t-il ?

De quoi se compose la matière?



Dans la Grèce antique, il y a presque 2 500 ans, deux penseurs célèbres **Leucippe** et **Démocrite** se posèrent exactement la même question que Bob. Voici ce qu'ils pensèrent: si l'on brise un objet en fragments toujours plus petits, on devrait arriver à un morceau qu'on ne peut plus diviser, le plus petit morceau de matière possible.

Ils appelèrent ce morceau l'**ATOME**, qui signifie "qu'on ne peut pas diviser" en grec. Selon eux, l'atome était le plus petit élément de la matière, la plus petite brique composant tout objet. Plusieurs siècles plus tard, au 19^{ème} siècle, des expériences scientifiques ont démontré qu'ils avaient presque raison!



Nous savons maintenant que toute la matière est composée d'atomes très petits combinés sous la forme de **molécules** ou de **cristaux**. Les atomes sont si petits qu'il en faut des millions pour constituer un grain de sable!

Les atomes et la matière, c'est un peu comme les briques et les maisons. Si les atomes étaient des briques, alors, les molécules ou les cristaux qui sont des atomes accrochés les uns aux autres, seraient comme les murs fabriqués de plusieurs briques, et les objets qui sont tous un ensemble de molécules ou de cristaux ... ce serait la maison !

Les atomes ont été observés de très près. Il est apparu au début du 20^{ème} siècle que les atomes sont faits d'éléments encore plus petits. Ils sont composés d'un **noyau** (comme le noyau d'un fruit, il se trouve au milieu), entouré d'un nuage de petits éléments qu'on appelle des **électrons**. Ces électrons tournent autour du noyau comme une planète tourne autour du Soleil.

Les noyaux sont eux-mêmes divisibles: ils sont composés de boules (roses et bleues sur le schéma) qu'on appelle des **nucléons**. Dans la famille des nucléons, on trouve des **protons** qui ont une charge électrique positive, se repoussent entre eux mais attirent les électrons, et des **neutrons** qui n'ont pas de propriété électrique.



Le sais-tu ?

Tous les atomes ne sont pas identiques. Dans la nature, on en compte **92 types** qui se distinguent par leurs propriétés chimiques. Ils ont des noms différents : hydrogène, oxygène, carbone, fer, plomb, cuivre, potassium, calcium, uranium ... L'homme a su en créer artificiellement une vingtaine d'autres.

Ordres de grandeur:

Un nucléon est 100 000 fois plus petit qu'un atome, et un atome est 1 000 000 fois plus petit qu'un grain de sable!

Plus de détail sur l'histoire de l'atome sur:
<http://www.ac-nantes.fr:8080/peda/disc/scphy/dohtml/4ieme/histatom/>

Atomes, molécules et cristaux (1/2)

Nous savons maintenant que les atomes sont comme les briques d'un bâtiment: ils sont les plus petits éléments de la matière.
Les molécules et les cristaux, eux, sont les murs du bâtiment.
Voyons comment les atomes s'assemblent pour former ces murs.

De quoi avons-nous besoin?

- De pâte à modeler (trois couleurs)
- Des pailles en plastique ou des cure-dents

La molécule d'eau

L'eau a toujours la même formule chimique, qu'elle soit sous forme d'eau de rivière, d'eau de robinet, de vapeur d'eau, ou de glaçon. C'est une molécule constituée de trois atomes: un atome d'oxygène(O) et deux atomes d'hydrogène (H). C'est pour cela qu'on l'appelle H_2O (deux H et un O). Les atomes sont reliés entre eux comme s'ils se tenaient par les mains et forment un angle obtus.

Comme aucun d'entre eux ne peut avoir de main libre, que l'atome d'oxygène a deux bras, mais que l'atome d'hydrogène n'en a qu'un seul, comment peuvent-ils se tenir la main?

La molécule de dioxygène

Une molécule peut être composée de plusieurs atomes identiques. C'est le cas de quelques gaz, qui comme le dioxygène, le diazote ou le dihydrogène sont présents dans l'air sous forme de molécules avec deux atomes identiques. Avec ce que tu as appris en fabriquant la molécule d'eau, peux tu modeler les molécules de dioxygène et de diazote ?

Principe de l'expérience

1. Prépare plusieurs boules de couleurs en pâte à modeler. Elles représentent différents atomes.

2. Fais de grosses boules avec l'une des couleurs: ce sera l'atome d'**oxygène**. Dans une autre couleur, fais des boules un petit plus petite: ce sera l'atome de **carbone**. Dans la dernière couleur, fais de toutes petites billes : ce sera l'**hydrogène**

3. Pour faire les molécules, relie plusieurs atomes entre eux. Les pailles représentent les liaisons chimiques.

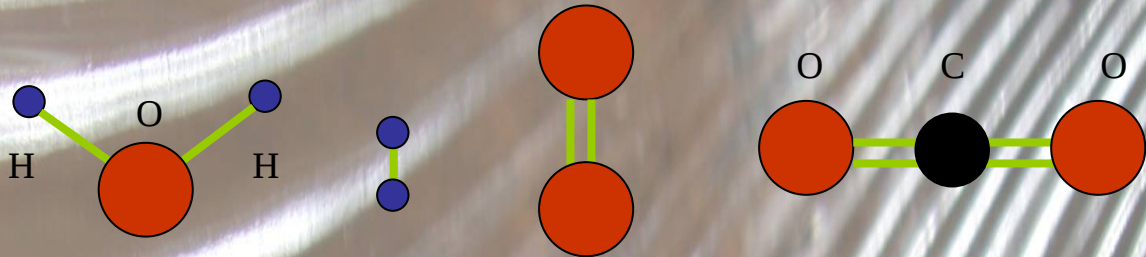
La molécule de dioxyde de carbone

Le dioxyde de carbone est en général sous forme de gaz et alors, il est invisible. Il existe aussi sous forme solide : c'est la neige carbonique, qui permet aux pompiers d'éteindre des feux sans utiliser d'eau. Comme pour l'eau, qu'il soit solide ou liquide, c'est toujours la même molécule. Elle est constituée de trois atomes : deux atomes d'oxygène (O) et un atome de carbone (C).

Te souviens tu du nombre de bras de l'atome d'oxygène? En sachant que l'atome de carbone a quatre bras, qu'aucune main ne peut rester libre et que la molécule est à peu près 'plate', comment faut il que les atomes se donnent la main pour former la molécule de dioxyde de carbone, qu'on appelle aussi CO_2 ?

Atomes, molécules et cristaux (2/2)

Solutions pour les molécules Voici ce à quoi devraient ressembler tes créations:



De gauche à droite: la molécule d'eau, Celles de dihydrogène, de dioxygène et de dioxyde de carbone

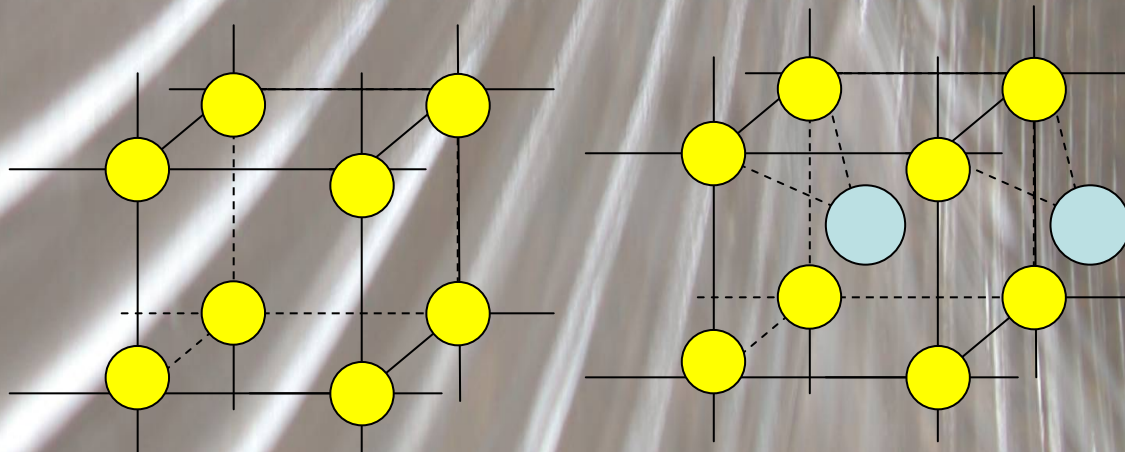
Et les cristaux ?

Il existe plusieurs formes de solide dans la nature : les formes **cristallines**, les **polymères** et les formes **vitrifiées**. Les formes cristallines sont les plus solides, et sont faites de cristaux. Il peut s'agir d'un seul cristal (**mono-cristal**), ou, comme c'est plus souvent le cas, de plusieurs petits cristaux de même nature ou de nature différente qui sont rassemblés dans un même matériaux, les uns à côté des autres (**poly-cristal**).

Les cristaux correspondent à des formes organisés de la matière: les atomes, ou parfois les molécules (atomes de sodium ou de chlore dans le cas du sel, molécules d'eau dans le cas des glaçons), sont espacés les uns des autres par une distance bien déterminée, ils forment les uns avec les autres des angles tout à fait connus, comme s'ils étaient posés sur des échafaudages aux propriétés géométriques bien définies. On appelle ces échafaudages des 'réseaux'. Cela donne aux cristaux une **très grande résistance aux chocs**.

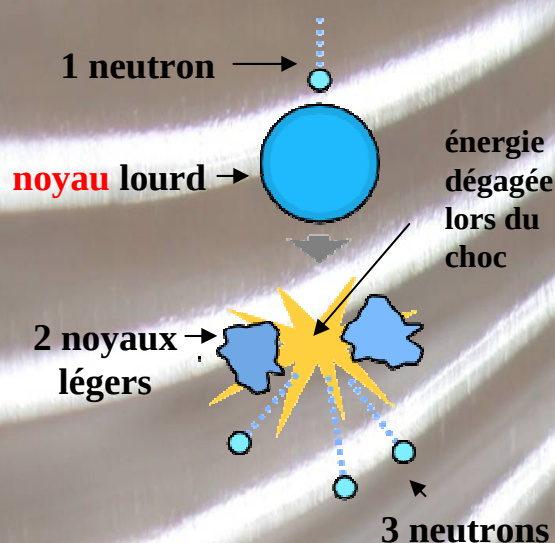
Voici quelques exemples de mono-cristaux : les grains de sel, les grains de sucre, les glaçons, le quartz de ta montre. Les objets métalliques en acier (ta fourchette, la tôle des voitures ou du toit...) sont faits de matériaux poly-cristallins.

Les cristaux sont rangés en plusieurs familles, suivant la forme de leur réseau Il en existe beaucoup dans la nature. Construisons les plus simples : les **cubiques simples**, et **cubiques centrés**. Attention à ne pas confondre les réseaux avec des liaisons chimiques: ce sont deux choses très différentes. C'est pourquoi on utilisera les pailles pour représenter les liaisons chimiques et les cure-dents pour fabriquer le réseau sur lequel seront situés les constituants de nos 'cristaux'.



L'énergie nucléaire, qu'est-ce-que c'est?

La matière, c'est tout ce qui nous entoure. Elle peut paraître solide, comme ton crayon de papier, liquide comme l'eau que tu bois, ou gazeuse comme l'air que tu respirez. Bien qu'elle puisse se présenter sous ces trois formes très différentes (solide, liquide, gaz), elle est toujours formée d'atomes, qui sont des petites billes dix millions de fois plus petites qu'un millimètre ! C'est à l'intérieur de ces petites billes que se trouve l'énergie « atomique » ou « nucléaire ».



Nous avons vu qu'un atome est fabriqué avec plusieurs sortes de petites briques:

- les **protons** et les **neutrons** qu'on trouve dans le noyau et qui forme comme on l'a vu la famille des **nucléons**,
- et les **électrons** qui sont bien plus petits et qui tournent tout autour de ce noyau.

L'énergie nucléaire, c'est l'**énergie du noyau**. C'est la force qui fait tenir entre eux les nucléons dans le noyau. Elle agit comme un élastique serré extrêmement fort autour des nucléons. Si l'élastique casse, les nucléons vont s'éparpiller partout, avec une certaine vitesse.

Pour casser l'élastique d'un gros noyau (appelé noyau lourd), on envoie dessus un **neutron**. Lors du choc on obtiendra plusieurs petits morceaux : des bouts de noyau qui sont en fait des petits noyaux qu'on appelle noyaux légers, et d'autres neutrons. Et on obtiendra surtout de l'énergie, essentiellement celle de la vitesse des petits morceaux. C'est cette énergie qu'on va chercher à utiliser.

La réaction en chaîne.

Pour pouvoir avoir de l'énergie de façon continue, il ne faut pas casser un seul noyau: il faut en casser plusieurs, et de façon maîtrisée. Pour cela, on va chercher à déclencher une **réaction en chaîne**. As-tu remarqué qu'en utilisant un neutron pour casser le noyau lourd, on en a fabriqué trois? C'est grâce à cela qu'on va pouvoir continuer la réaction ...

As-tu déjà fait une chaîne de dominos, que tu as fait s'écrouler en ne donnant un coup qu'au premier d'entre eux ? C'est un excellent exemple de réaction en chaîne.

Pour la réaction nucléaire, c'est tout aussi simple. Ici, les dominos sont remplacés par les **noyaux**, et l'action de faire tomber un domino, par les **neutrons**: quand un premier neutron vient taper sur un noyau et réussit à le casser, il va entraîner le départ de plusieurs neutrons. Ces nouveaux neutrons pourront à leur tour aller taper contre d'autres noyaux, les casser, et créer de nouveaux neutrons qui vont à leur tour

Pour que la réaction continue sans devenir incontrôlable, il faut qu'il y ait autant de neutrons produits qu'il y en a de perdus dans le milieu où se trouvent les noyaux qu'on souhaite casser.



Le sais-tu ?

C'est à Chicago, aux États-Unis, que la première réaction nucléaire contrôlée a été effectuée en **1942**, pendant la seconde guerre mondiale.

Le physicien très célèbre qui a mené les travaux de l'équipe qui l'a mise en œuvre s'appelait Enrico Fermi. Sa vie est très intéressante : pourquoi ne ferais-tu pas un exposé dessus ?

Comment utiliser l'énergie nucléaire ?

Le mécanisme que nous avons décrit précédemment s'appelle la fission nucléaire. Fissionner, c'est un mot qui signifie « casser ». Il vient de la même racine que le mot « fissurer ».

L'énergie qui faisait tenir le noyau en un seul morceau est alors libérée sous plusieurs formes : vitesse (mouvement) des morceaux et rayonnement lumineux (énergie lumineuse) qui est émis au moment de la fission ou très rapidement après. Comment la récupérer ?

Fabriquons de l'électricité !

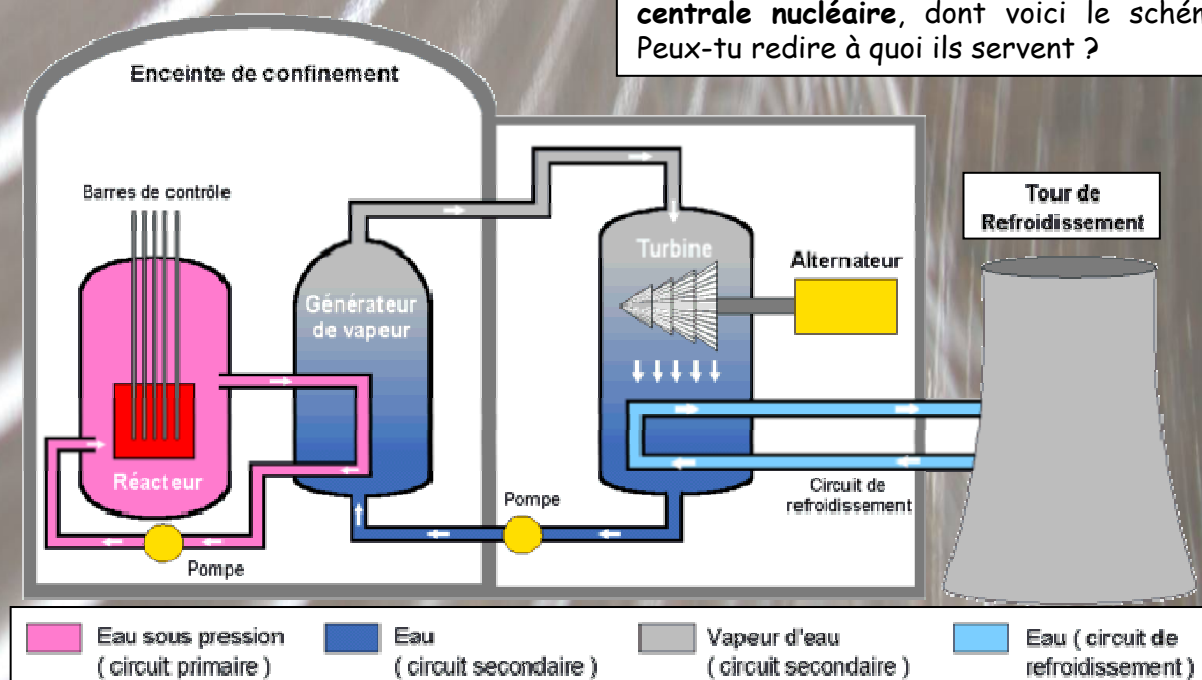
Les atomes que l'on va casser sont placés dans des longues tiges qu'on appelle des **barres de combustibles**. Elles sont contenues dans un grand réservoir bien fermé, rempli d'eau et qu'on appelle le **réacteur nucléaire**. Dans ce réacteur, on met aussi des **barres de contrôle**. Elles servent à absorber certains neutrons (les billes que l'on envoie sur les atomes), pour qu'ils n'y en aient pas trop car sinon, la réaction deviendrait incontrôlable et il y aurait des accidents.

Le réacteur est entouré par un mur très épais: l'**enceinte de confinement**. Cette enceinte sert à protéger les gens et l'environnement en cas d'accident dans le réacteur.

Dans le cas des **Réacteurs à Eau Pressurisée** qui sont les plus courants en France, l'énergie dégagée lors de la fission des atomes va chauffer l'eau du réacteur. Cette eau circule dans une boucle fermée qu'on appelle le **circuit primaire**, et va chauffer l'eau d'une deuxième boucle qu'on appelle le **circuit secondaire**. Tout se passe de la même façon qu'avec un radiateur sur lequel tu poses un verre d'eau : l'eau qui circule dans le radiateur va chauffer l'eau du verre d'eau, mais pourtant, elle ne la touchera pas !

L'eau du circuit secondaire va être chauffée au point de se transformer en **vapeur**. Cette vapeur d'eau se déplace tellement vite qu'elle fait tourner les ailes d'une turbine: le mouvement créé permet de fabriquer de l'électricité. Une fois qu'elle a traversé les **turbines**, la vapeur est moins chaude qu'avant, mais il faut quand même la refroidir pour qu'elle redevienne de l'eau : de la même façon, tu peux transformer en hiver la vapeur d'eau de ton haleine en soufflant sur une surface froide (par exemple la vitre de ta fenêtre). Ici, la source de froid sera en général un **circuit tertiaire** dans lequel on fait circuler ... encore de l'eau !

Tous ces éléments sont regroupés dans une **centrale nucléaire**, dont voici le schéma. Peux-tu redire à quoi ils servent ?



A quoi cela ressemble-t-il?

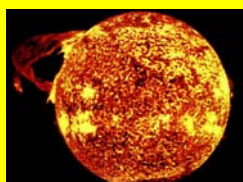
Alice demande à Monsieur Albert :

« Donc quand on casse des atomes, ça produit de l'énergie, qu'on transforme en électricité grâce à une centrale. Mais à quoi cela ressemble ? ».

Monsieur Albert emmène Bob, Alice et Schrödinger à la campagne, et ils vont voir à quoi ressemble une centrale. De loin, ils voient une grande tour d'où sort une fumée blanche.

La tour de refroidissement : la fumée blanche est en fait de la vapeur d'eau. C'est la même que tu observes quand tes parents font bouillir de l'eau dans une casserole !

Les tournesols: ils se tournent vers le Soleil pour recevoir de la lumière. Le Soleil produit aussi de l'énergie à partir d'une réaction nucléaire appelée la **fusion**. Mais ça, c'est une autre histoire...



Le réacteur nucléaire: c'est là que les atomes sont cassés pour produire de l'énergie. Il est entouré de murs en béton très épais qui protègent les gens en cas d'accident.

La turbine : c'est là que l'eau bouillante fait tourner un moteur qui crée de l'électricité. Celle-ci est transportée par des lignes électriques jusqu'à ta maison !

Quelques chiffres :

Les centrales nucléaires fabriquent plus des trois-quarts de l'électricité en France.

Un réacteur nucléaire a une puissance d'environ 1 GW, c'est à dire 1 milliards de Watts électrique. Combien de lampes de 100 Watts électrique peut on faire briller en même temps?



Le sais-tu ?

Pourquoi les centrales sont-elles toujours au bord de l'eau ?

La réaction nucléaire produit beaucoup de chaleur et la centrale doit être refroidie par de l'eau. C'est pour ça que les centrales sont construites au bord de la mer ou des grands fleuves. Peut-être y en a-t-il une près de chez toi?

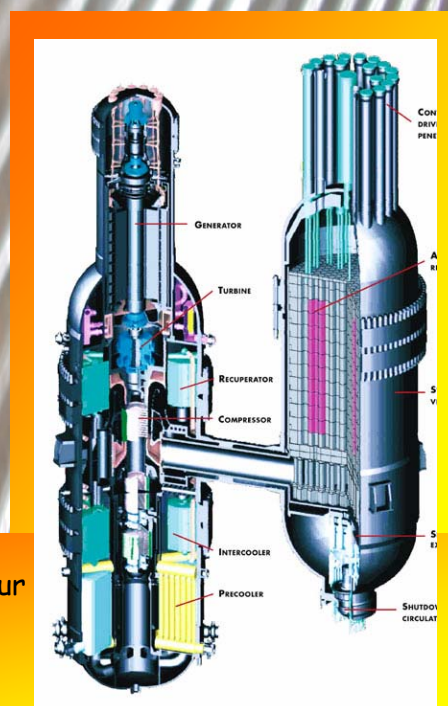
Les réacteurs de demain

Des scientifiques des quatre coins du monde travaillent ensemble pour créer les réacteurs nucléaires de demain. Ils ont créé pour cela des lieux de rencontre et de discussion, comme le groupe de travail pour la mise au point du réacteur ITER, qui sera construit dans le Sud de la France, à Cadarache. Peut-être en as-tu entendu parler?

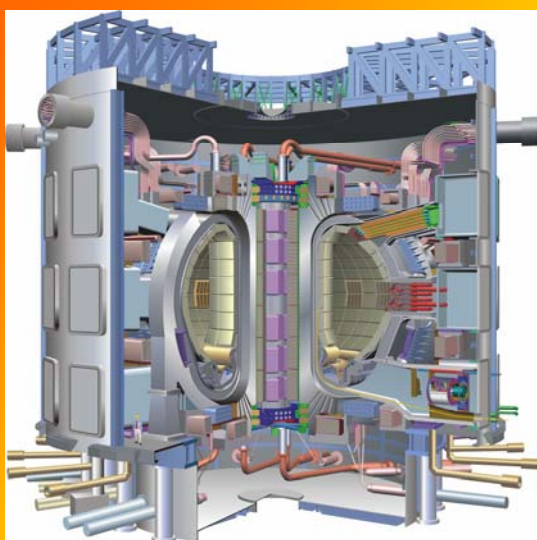
Comme tu le vois sur les schémas présentés ici, ces réacteurs du futur ne ressemblent pas du tout aux réacteurs actuels dont tu connais désormais le fonctionnement. Il faudra faire beaucoup de recherche pour qu'ils voient le jour d'ici les prochaines décennies. Peut-être même travailleras-tu sur ces projets?

Les objectifs de ces nouveaux réacteurs sont:

- avoir des centrales nucléaires plus sûres qui permettent aussi de fabriquer plus d'électricité;
- mieux recycler les déchets nucléaires, afin de réduire leur quantité;
- produire de l'hydrogène, qui peut-être remplacera le pétrole dans nos voitures;
- diversifier les sources d'énergie: ne plus avoir besoin que de l'uranium, mais par exemple, comme dans le cas du réacteur Iter, utiliser la même énergie que celle qui fait brûler le Soleil à partir de l'hydrogène : c'est la fusion nucléaire.



Exemple de réacteur du futur:
le GT-MHR de General Atomics



Le projet de réacteur à fusion ITER

A toi de jouer !

- Saurais-tu trouver à combien de maisons une centrale nucléaire de taille habituelle envoie de l'électricité?
- Trouve quels sont les pays qui participent à la réalisation du réacteur ITER.

Le sais-tu ?



Une notion importante pour un réacteur nucléaire est son **rendement**. Le rendement est le rapport de l'énergie fournie (ici l'énergie électrique) et de l'énergie utilisée (ici l'énergie thermique de l'eau chauffée par les réactions nucléaires). Pour un réacteur actuel, ce rendement est d'environ 1/3.

Cette notion est aussi utile pour d'autres appareils, comme un réfrigérateur, un moteur de voiture... On recherche toujours à avoir le meilleur rendement possible ! Essaie de chercher par toi-même les rendements d'autres appareils.

La radioactivité, qu'est ce que c'est ?

Tous les atomes qui constituent la matière qui nous entoure ne sont pas **stables**. Les atomes deviennent plus stables en éjectant les éléments qui les déstabilisent. Un peu comme quelqu'un qui n'est pas très stable sur des skis et qui préfère les enlever pour descendre la pente.

Dans le cas des atomes, ces éléments peuvent être les petites briques de base des atomes (des morceaux de noyau, des électrons ou d'autres particules encore plus petites), ou bien des rayons lumineux, qui en général ne sont pas visibles. On dit que ce sont des '**rayonnements**' : ce sont ces rayonnements qui constituent la **radioactivité**.

Il y a **trois types de rayonnements**, auxquels on a donné pour nom les trois premières lettres de l'alphabet grec. Ils ne portent pas tous la même énergie.

- les rayons **alpha** peuvent avoir beaucoup d'énergie, mais ils sont très gros puisqu'ils sont constitués de deux neutrons et de deux protons. Une simple feuille de papier suffit à les arrêter : ils sont si gros qu'un tel filet suffit à les pêcher;

- les rayons **bêta**, sont en fait tout comme des électrons. Ils sont donc plus petits que les rayons alpha (souviens toi: un électron, c'est beaucoup plus petit qu'un nucléon). Il faut donc prendre un filet plus épais pour les bloquer : une feuille d'aluminium suffit à les arrêter;

- les rayons **gamma** sont des rayons de lumière invisible, ils ont beaucoup d'énergie et se faufilent partout sans difficulté. Pour les arrêter, il faut utiliser de grosses épaisseurs de plomb ou de béton.

Dans la nature, il y a 51 noyaux qui se modifient ainsi naturellement. Les hommes ont créé d'autres atomes radioactifs.

La radioactivité naturelle est celle qu'on mesure dans la nature, en dehors de l'activité humaine (fabrication d'électricité dans les centrales nucléaires, utilisation d'éléments radioactifs en médecine ...). Elle provient de certains minéraux qui sont présents dans le sol, dans certains végétaux, et même dans notre corps. Elle est variable d'un point à l'autre du globe: elle est par exemple cinq fois plus élevée en Bretagne qu'en région parisienne, car on trouve en Bretagne beaucoup de granit, une pierre qui contient des éléments radioactifs.

Attention : danger !

La radioactivité peut être très utile. Elle est utilisée en médecine, par exemple pour faire les radios qui permettront de vérifier que tu ne t'es rien cassé en tombant ou pour soigner les gens qui ont certains types de cancers (on parle alors de **radiothérapie**), et dans l'industrie.

Non contrôlée, elle peut pourtant être très dangereuse. En effet, les rayonnements sont suffisamment énergétiques pour abîmer le corps humain. Cela provoque des brûlures qui peuvent être très graves, et abîme les différentes cellules qui composent les organes. Cela peut provoquer des maladies très graves.

Bon à savoir !

Électricité ou bombe nucléaire ?

Récupérer l'énergie nucléaire n'est possible que pour un tout petit nombre d'éléments naturels. On les appelle les éléments **fissiles** (ou « que l'on peut casser »), car on peut leur faire subir une réaction de fission assez facilement. Les plus célèbres d'entre eux sont l'**uranium** et le **plutonium**.

Leur fission est utilisée essentiellement pour faire deux choses : fabriquer de l'électricité, et faire des bombes nucléaires.

Les moyens de parvenir à ces deux buts très différents sont assez semblables. C'est pour cela que les pays se sont mis d'accord pour encadrer la diffusion des technologies qui permettent de fabriquer de l'électricité, pour essayer d'éviter que des personnes malintentionnées puissent fabriquer une bombe nucléaire, qui est une arme très dangereuse. On dit qu'ils cherchent à éviter la **prolifération** des armes nucléaires. C'est pour cela qu'ils sont très nombreux à avoir signé le **Traité de Non-Prolifération** depuis 1968.

D'autres utilisations de la radioactivité

On peut donner un âge aux momies, aux vieux vêtements, aux fossiles ... en mesurant leur radioactivité. On sait aussi fabriquer des noyaux radioactifs qui émettront de l'énergie qu'on pourra utiliser pour faire plusieurs choses très différentes, par exemple pour sonder le sol pour y trouver du pétrole, trouver les modifications faites sur un tableau ancien, observer des fissures sur de très grosses structures en acier comme par exemple les coques de bateaux, soigner les malades du cancer, ou diagnostiquer certaines maladies. La radioactivité maîtrisée a de très nombreux usages ! Peux-tu en trouver d'autres ?

Le sais-tu ?



L'équipe de l'italien Enrico Fermi n'a pas découvert la première réaction en chaîne par hasard. Depuis environ 50 ans, les collaborateurs de scientifiques aussi célèbres que les Français **Henri Becquerel**, **Marie**



Curie et **Frédéric Joliot**, l'Anglais **Ernest Rutherford**, les Allemands **Albert Einstein**, **Otto Hahn** et **Lisa Meitner** s'interrogeaient sur la structure de l'atome et plus particulièrement sur les phénomènes étranges qu'ils observaient autour de l'atome d'uranium. Ces savants aujourd'hui très connus formaient une communauté très soudée, dans laquelle ils échangeaient leurs idées par courrier ou lors de rencontres au cours desquels ils se retrouvaient (Internet, les courriels et les téléphones portables n'existaient pas encore). Ils sont un excellent exemple de **collaboration européenne**, avant même que l'Union Européenne voit le jour ! Mais qui étaient-ils ? Renseigne-toi donc !

Illustration: Fermi et son équipe

Pour en savoir plus sur la fission et la fusion nucléaire:

http://www.cea.fr/fr/jeunes/themes/energie_nucleaire.asp

Les déchets radioactifs, kesako ?

Pour utiliser la radioactivité, à l'hôpital ou dans l'industrie, on a besoin de sources radioactives. Une fois que l'énergie dégagée par les atomes qui les constituent a été émise, elle ne peut pas être régénérée. Au bout d'un certain temps, la **source de radioactivité** se tarit, ou n'est plus suffisante pour mener à bien l'activité souhaitée. On souhaite donc la remplacer par une source neuve - mais que faire de l'ancienne, qui est toujours au moins un peu radioactive et donc dangereuse ? Que faire aussi des gants qu'utilisent les docteurs et les chercheurs pour manipuler les substances radioactives ?

Un autre type de déchets radioactifs provient de la fabrication d'électricité dans les centrales nucléaires. Quand les noyaux d'uranium sont cassés par les neutrons de la réaction en chaîne, que deviennent les petits morceaux ? Ce sont des noyaux légers, qui sont radioactifs mais ne peuvent plus être facilement utilisés. Ils sont d'autant plus nombreux dans les barres de combustible, que celles-ci ont été utilisées pendant longtemps dans le réacteurs. Ces **combustibles usés** ont très dangereux - qu'en faire ?

On ne peut pas les mettre dans une poubelle classique. Il faut les mettre à l'écart, et bien les protéger pour qu'ils ne soient pas un danger pour les hommes.

On ne suit pas les mêmes règles pour tous les types de déchets radioactifs, car ils ne sont pas tous aussi dangereux, et surtout, leur dangerosité ne dure pas toujours aussi longtemps.

Les plus difficiles à traiter sont les déchets de **haute activité et à vie longue**, c'est-à-dire qu'ils sont très dangereux, et pendant très longtemps (souvent plus de 100 000 ans). C'est le cas des **déchets nucléaires** qui proviennent de la fabrication d'électricité dans les centrales. C'est pour cette raison principalement que certaines personnes refusent l'électricité nucléaire.

Voyons voir comment en France on s'en occupe.

En France, on a fait le choix de retraiter les combustibles usés, c'est-à-dire de les recycler autant que possible.

Le retraitement des combustibles permet de recycler les matières énergétiques (uranium et plutonium) qui sont toujours majoritairement présentes dans les combustibles usés : ils représentent 96% de la masse des combustibles usés; donc de préserver les ressources naturelles d'uranium, de réduire le volume des résidus ultimes, tout ce dont on ne pourra plus rien faire

C'est ce travail que réalise l'**usine de La Hague**.

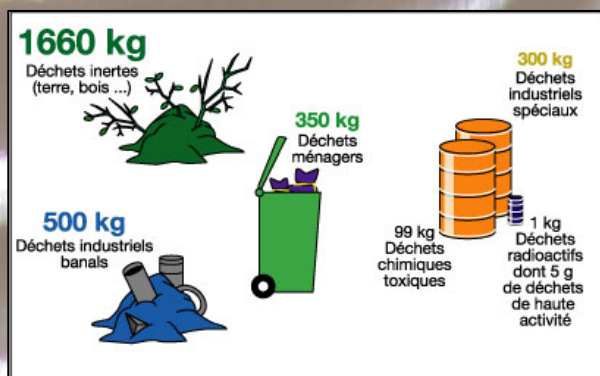
Le sais-tu ?



C'est dans une grande usine, située à 25 kilomètres de Cherbourg à La Hague, une commune à l'extrême pointe du Cotentin, que sont recyclées les barres de combustible usé utilisées dans les centrales nucléaires françaises. On y recycle aussi les combustibles japonais, allemands, belges, suisse et néerlandais.

Les résidus ultimes, on en fait quoi ?

En France, on produit 1 kilogramme de déchets radioactifs (dont 5 grammes de déchets de haute activité, les plus dangereux) par an et par personne. Compare ce chiffre aux 350 kilogrammes de déchets ménagers par an et par personne. Mais la grande différence est qu'il faut s'en protéger. On a vu qu'on séparait, dans les combustibles usés, l'uranium et le plutonium d'un côté, des résidus ultimes de l'autre. Que fait-on de ces derniers ?



Déchets produits en France, par personne et par an
(source : www.cogema.fr)

Une fois les résidus ultimes emprisonnés dans les colis radioactifs, il faut les stocker.

Quel que soit le choix du lieu ou de la méthode utilisée pour stocker ces déchets, il est important de protéger les plantes et les animaux des résidus ultimes pour toute la très longue durée de vie radioactive des résidus. Sinon, ils représenteront toujours un problème pour toi, tes enfants, tes petits-enfants... et tous les suivants !

Deux étapes pour traiter les déchets

Aujourd'hui, la France traite les déchets radioactifs de haute activité en deux étapes : on récupère les matières qu'on pourra réutiliser, comme l'uranium et le plutonium, et on place les autres appelés **résidus ultimes** (ils contiennent la quasi-totalité de la radioactivité, ce sont les plus dangereux) dans des endroits dont on est sûrs qu'ils ne s'échapperont pas.

Il faut qu'ils soient très solides : on mélange les déchets à du verre en fusion (du verre tellement chauffé qu'il est liquide) qu'on coule dans un conteneur. Le verre, en se solidifiant, va emprisonner les déchets dans ce qu'on appelle un **colis radioactif**. Les déchets radioactifs mettront des milliers d'années à s'en échapper.

Saurais-tu dire pourquoi en France, on ne stocke pas directement les combustibles nucléaires usés ?

Aujourd'hui, les colis de déchets de haute activité sont entreposés dans des hangars spécifiques des usines de la ville de La Hague. Mais il faudra trouver un endroit où les stocker de façon plus durable, pour des centaines voire des milliers d'années. Cet entrepôt de longue durée pourrait se trouver :

- en surface, où il serait protégé par une structure en béton renforcé
- sous la terre, pas très profondément
- sous la terre, à 500 mètres de profondeur

Les chercheurs du CNRS, du CEA et de l'ANDRA cherchent aujourd'hui la meilleure solution à ces questions. Une loi devra y répondre d'ici les dix prochaines années.

Le sais-tu ?

Les déchets radioactifs de haute activité sont très chauds, parce que les mêmes rayonnements radioactifs qui permettaient de chauffer l'eau des centrales nucléaires continuent à être envoyés dans l'air et à le réchauffer. Il faut donc, avant de les mettre à l'écart, les refroidir. C'est ce qu'on fait à l'usine de La Hague, en mettant d'abord les combustibles usés dans des piscines d'eau fraîche, puis en mettant les colis dans des endroits refroidis avec de l'air.