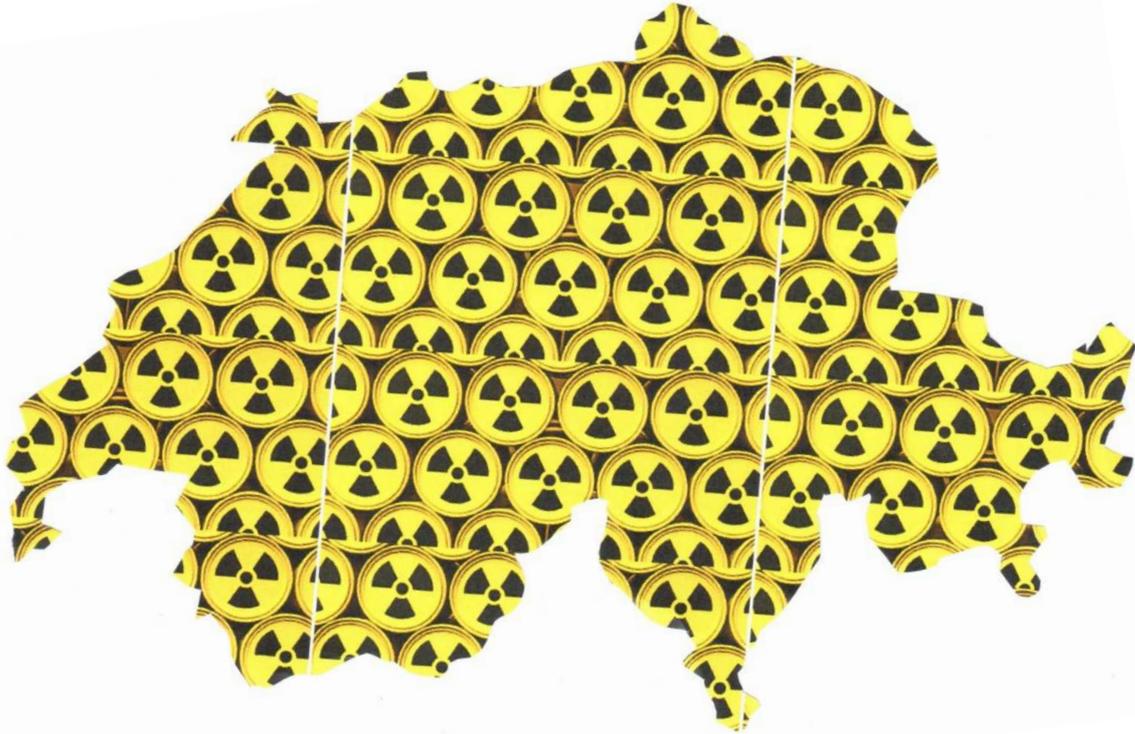


# **LA SUISSE SANS NUCLÉAIRE :**

## **RÊVE OU RÉALITÉ ?**



Analyse d'une problématique

Pauline Gummy & Xavier Eggertswyler

Accompagnatrice : Anna Compaoré

École professionnelle artisanale et industrielle

15.02.2012

## Table des matières

1. Introduction .....	1
2. Physique .....	2
2.1 Les centrales nucléaires.....	2
2.1.1 Le principe de fonctionnement.....	2
2.1.2 Les différents types de centrales nucléaires.....	2
2.2 Le fonctionnement d'une centrale REB .....	3
2.2.1 Les deux circuits d'eau .....	3
2.2.2 La fission nucléaire .....	5
2.2.3 La radioactivité.....	5
2.2.4 Le réacteur.....	6
2.2.5 Les assemblages de combustibles .....	6
2.2.6 Les turbines .....	7
2.2.7 L'alternateur.....	8
2.3 Les différents bâtiments .....	9
2.3.1 Le bâtiment du réacteur .....	9
2.3.2 La salle des machines .....	10
2.3.3 La salle de contrôle.....	10
2.3.4 La tour aéroréfrigérante .....	11
2.3.5 La cheminée d'aération.....	11
2.3.6 Les autres bâtiments.....	12
2.4 Les déchets radioactifs.....	12
2.4.1 Les déchets hautement radioactifs (DHA) .....	12
2.4.2 Les déchets faiblement et moyennement radioactifs (DFMA).....	12
2.4.3 Le stockage en couche géologiques profondes.....	13
2.5 Les autres moyens de production d'électricité.....	13
2.5.1 Les panneaux solaires .....	13
2.5.2 Les éoliennes.....	15
2.5.3 Les centrales hydroélectriques .....	16
2.5.4 La biomasse.....	17
2.6 Accidents nucléaires.....	19

2.6.1	Lucens .....	19
2.6.2	Tchernobyl .....	19
2.6.3	Fukushima .....	20
2.6.4	Conséquences .....	20
2.7	La désaffectation des quatre centrales suisses .....	21
3.	Economie .....	21
3.1	L'histoire du nucléaire.....	21
3.1.1	Dans le monde .....	21
3.1.2	En Suisse .....	22
3.2	L'évolution de l'énergie nucléaire en Suisse.....	24
3.3	La production annuelle suisse .....	24
3.4	La consommation annuelle suisse.....	26
3.5	La Suisse et ses voisins .....	26
3.6	Moyens mis en place pour changer les habitudes de consommation.....	28
3.6.1	Loi sur le CO <sub>2</sub> .....	28
3.6.2	La rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC) .....	29
3.6.3	Plan d'action 2008 .....	29
3.6.4	Programme de stabilisation 2009.....	30
3.7	Que font les autres pays ?.....	31
4.	Projets/Solutions .....	33
5.	Conclusion .....	35
6.	Bilan personnel .....	36
7.	Sources.....	36

## 1. Introduction

Le Travail Interdisciplinaire centré sur un Projet (TIP) a pour but de créer un projet ou d'étudier une problématique. Nous avons choisi de traiter la problématique du nucléaire. Notre travail doit également intégrer deux branches enseignées durant les cours de Maturité Professionnelle. Notre choix s'est porté sur l'économie et la physique. Nous avons opté pour un thème et des disciplines qui nous enthousiasment et sont d'actualité.

Ces dernières années, l'énergie nucléaire a beaucoup fait parler d'elle. L'accident de Fukushima en mars 2011 a été l'élément déclencheur de la vague anti-nucléaire de certains grands pays comme l'Allemagne. Mais pour d'autres, il a juste ravivé le débat. La Suisse a, quant à elle, prévu une sortie complète du nucléaire d'ici 2034.

Pour mieux comprendre la peur engendrée par les centrales nucléaires, nous étudierons leur fonctionnement, leurs avantages et leurs inconvénients. Nous nous rendrons à la centrale de Mühleberg, qui se trouve à une vingtaine de kilomètre de Fribourg, pour découvrir les coulisses d'une telle infrastructure. Lors de cette visite, nous nous renseignerons également sur le coût de la désaffectation des réacteurs nucléaires.

Ensuite, nous analyserons d'autres alternatives aux centrales nucléaires. Celles-ci doivent être efficaces et respecter la nature. C'est pourquoi nous ne nous intéresserons pas aux énergies fossiles comme le gaz ou le charbon qui ne font que reporter le problème vers d'autres secteurs. Nous privilégierons les énergies renouvelables en équilibre avec l'environnement de notre région.

Mais il faut aussi comprendre les enjeux économiques liés aux centrales nucléaires. Sont-elles si indispensables au bon fonctionnement de notre pays ? Nous étudierons l'histoire du nucléaire dans le monde et en Suisse pour comprendre dans quel contexte évolue la technologie atomique.

Puis, nous examinerons l'évolution de la production et de la consommation de l'électricité nationale. Nous expliquerons également comment la Suisse s'organise avec les pays limitrophes pour le marché de l'électricité.

Finalement, il faudra saisir la position de la Confédération à ce sujet et quels sont ses objectifs pour l'avenir, car sans l'aide du gouvernement de notre pays la situation d'évoluera pas.

## 2. Physique

### 2.1 Les centrales nucléaires

#### 2.1.1 Le principe de fonctionnement

La centrale nucléaire crée de la chaleur grâce à la fission d'atomes. Ce phénomène permet de transformer l'eau en vapeur. Cette vapeur fait tourner une turbine reliée à un alternateur qui produit de l'électricité.



Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire<sup>1</sup>

#### 2.1.2 Les différents types de centrales nucléaires

Il existe plusieurs types de centrales nucléaires. Elles se différencient par le combustible, le fluide utilisé pour transporter la chaleur que l'on nomme caloporteur, et le modérateur, élément qui permet de ralentir les neutrons pour une meilleure réaction en chaîne.

Les principales centrales sont :

- La centrale à réacteur à uranium naturel qui a pour modérateur le graphite et pour refroidisseur le dioxyde de carbone.

<sup>1</sup>Cette image est tirée du site de la Société Française d'Energie, <http://www.sfen.org/Comment-fonctionne-une-centrale,19>, le 14.11.2011.

- La centrale à réacteur à eau pressurisée (REP) qui utilise de l'uranium enrichi comme combustible et est modéré et refroidi par de l'eau déminéralisée sous pression (~160 bars)<sup>2</sup>.
- La centrale à réacteur à eau bouillante (REB) a le même fonctionnement que la REP à l'exception de l'eau qui vaporise dans le cœur du réacteur car elle à une pression inférieure (~80 bars).
- La centrale à réacteur à eau lourde pressurisée (RELPS) qui utilise de l'eau lourde comme caloporteur ce qui permet de transporter plus de chaleur. Cela évite d'utiliser de l'uranium enrichi comme combustible.

Ces centrales sont les plus nombreuses. La REP représente les deux tiers des centrales en activité dans le monde<sup>3</sup>. La Suisse possède trois centrales REP (Beznau 1, Beznau 2 et Gösgen) et deux REB (Leibstadt et Mühleberg). La centrale de Mühleberg étant la plus proche de Fribourg, nous nous sommes concentrés sur les centrales à réacteur à eau bouillante qui étaient également celles utilisées à Fukushima.



Lieux des centrales nucléaires en Suisse<sup>4</sup>

## 2.2 Le fonctionnement d'une centrale REB

### 2.2.1 Les deux circuits d'eau

Une centrale nucléaire est composée de deux principaux circuits d'eau. Ces deux circuits indépendants garantissent une sécurité pour empêcher une contamination des eaux sortant de la centrale.

<sup>2</sup> Voir lexique.

<sup>3</sup> Information trouvée sur le site encyclopédique Wikipédia, [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_de\\_r%C3%A9acteurs\\_nucl%C3%A9aires](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_r%C3%A9acteurs_nucl%C3%A9aires), le 14.11.2011.

<sup>4</sup> Image trouvée sur le blog économique « dividendes », <http://www.dividendes.ch/2011/03/nucleaire-lhypocrisie-du-gouvernement-suisse/>, le 14.01.2012.

- Le circuit eau-vapeur :

C'est un circuit d'eau fermé. L'eau chauffée dans le réacteur par la fission nucléaire est transformée en vapeur. La vapeur est acheminée vers les turbines et sa pression les fait tourner. Les turbines sont reliées à un alternateur qui produit l'électricité. La vapeur est ensuite refroidie et retransformée en eau dans le condenseur par le circuit de refroidissement. Ensuite elle est reconduite vers le réacteur pour un nouveau cycle.

L'eau du circuit est déminéralisée, ainsi elle devient une barrière de protection très importante contre la radioactivité. Elle est aussi mise sous pression de 80 bars pour rester sous forme liquide le plus longtemps possible. En effet, l'eau est une meilleure protection contre le rayonnement que la vapeur.

- Le circuit de refroidissement :

L'eau de ce circuit provient directement d'un fleuve ou d'une rivière avoisinant la centrale. L'eau fraîche est acheminée vers le condenseur pour refroidir le circuit eau-vapeur. Les eaux des deux circuits ne sont jamais directement en contact pour assurer une sécurité maximale. A la fin du cycle, l'eau est rejetée vers la source d'où elle provient.

Pour limiter le prélèvement d'eau dans le cours d'eau, il est possible d'installer des tours aéroréfrigérantes qui vont permettre de refroidir l'eau et de la réutiliser.

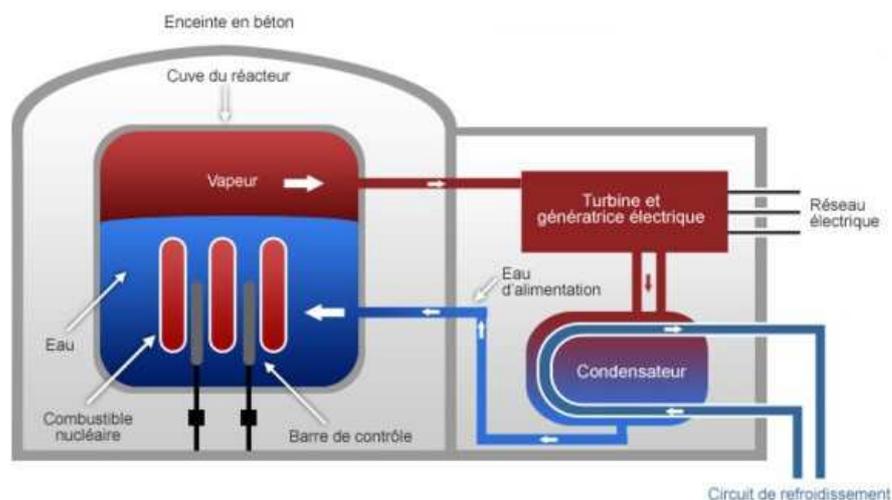


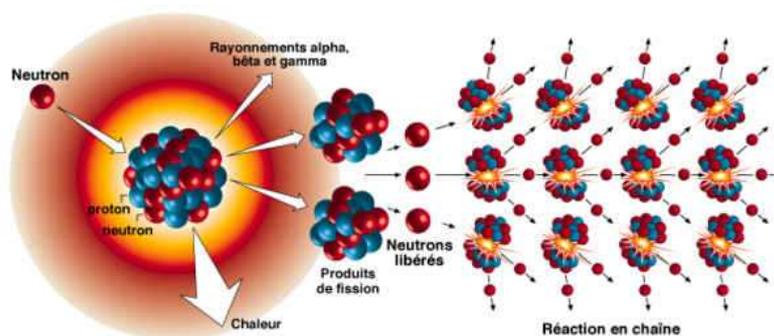
Schéma des deux circuits<sup>5</sup>

<sup>5</sup>Image trouvée sur le site de la télévision française, <http://lci.tf1.fr/science/nouvelles-technologies/fukushima-ce-qu-il-s-est-passe-ce-que-l-on-redoute-6309592.html>, le 14.01.2012.

### 2.2.2 La fission nucléaire

La fission nucléaire crée de la chaleur. Elle se passe au niveau du plus petit élément de la nature, l'atome<sup>6</sup>. Les atomes d'uranium ont été choisis car ils sont fissionables sous l'effet d'un neutron.

Pour provoquer la fission, un neutron est envoyé sur un noyau d'atome. L'atome atteint se sépare en deux en libérant de la chaleur, de la radioactivité, ainsi que deux à trois neutrons. Les neutrons libérés lors de la fission du premier atome vont percuter de nouveaux noyaux d'atomes qui eux-mêmes vont libérer de l'énergie et de nouveaux neutrons. C'est ainsi que se crée la réaction en chaîne. Pour faciliter et accélérer la réaction en chaîne, les neutrons libérés sont ralentis à l'aide d'un modérateur. Dans les centrales REB et REP l'eau sera également le modérateur.



La réaction en chaîne<sup>7</sup>

### 2.2.3 La radioactivité

La radioactivité est le rayonnement émis par un atome lors de sa fission. Elle ne se trouve pas seulement dans les centrales nucléaires mais partout sur terre, en plus petite quantité bien sûr. Une partie de ces rayonnements provient du sol et des roches (le rayonnement terrestre) et l'autre vient de l'espace et du soleil (le rayonnement cosmique). On est plus exposé aux rayonnements lorsque l'on se trouve en montagne, en avion, mais aussi en regardant la télévision ou en fumant.

La limitation du temps d'exposition, la distance et un bouclier sont les trois moyens de se protéger de la radioactivité. Plus la durée d'exposition aux radiations est longue, plus la contamination est grave. C'est pourquoi, dans les centrales, les équipes qui ont une place de travail exposée, ne travaillent que par courtes périodes.

<sup>6</sup> Voir lexique.

<sup>7</sup> Image trouvée sur le site du Cycle d'Orientation de Monthey consacré à la science, <http://sciences.comonthey.ch/?p=41>, le 17.12.2011.

La distance est aussi un facteur important car plus on se rapproche de la source plus la diffusion est intense. La dernière protection est le bouclier. Il s'agit d'une matière qui stoppe les émissions radioactives. Les matières les plus efficaces et les plus utilisées sont le plomb, le béton armé et l'eau déminéralisée.

#### 2.2.4 Le réacteur



Réacteur nucléaire<sup>8</sup> :

1. Les assemblages combustibles
2. Les barres de contrôle
3. Les pompes
4. Le séparateur et sécheur de vapeur

L'eau du circuit eau-vapeur est introduite dans le réacteur par les pompes au pied de celui-ci. Ces pompes permettent de contrôler la quantité d'eau qui entre dans le réacteur. Plus il y a d'eau chauffée, plus vite les turbines tourneront. Une fois à l'intérieur, l'eau passe entre les assemblages de combustibles qui la chauffent à plus de 280°C. Comme elle est fortement pressurisée (~80 bar) c'est seulement à cette température qu'elle entre en ébullition. Avant d'être conduite vers les turbines, la vapeur provenant de l'ébullition de l'eau sera séparée et séchée pour une plus grande efficacité.

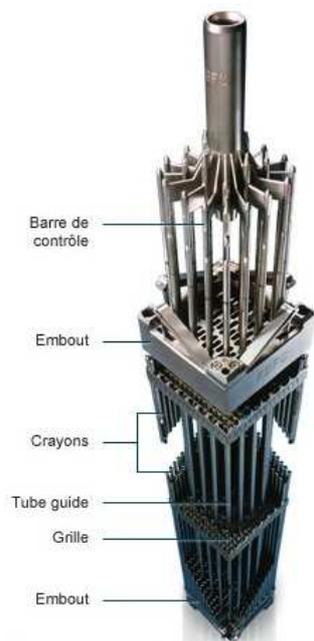
#### 2.2.5 Les assemblages de combustibles

Les assemblages de combustibles sont constitués de 264 crayons. Ce sont des gaines de 4,5 mètres de long en alliage à base de zirconium. À l'intérieur de ces crayons se trouvent 300 petites pastilles d'uranium d'environ 10 grammes. Une de ces pastilles peut libérer autant d'énergie qu'une tonne de charbon ! Un réacteur à eau bouillante contient entre 400 et 800 de ses assemblages.

<sup>8</sup> Image reprise d'une vidéo sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html), le 21.11.2011.

Entre chaque assemblage passent des barres de contrôle dont la matière absorbe une partie des neutrons provenant de la fission des atomes d'uranium permettant ainsi le contrôle de la réaction en chaîne. Les barres peuvent être introduites à l'intérieur des assemblages ou retirées par le bas.

Elles sont surtout utilisées pour l'arrêt de la centrale et plus rarement pour la régulation de sa puissance. Chaque année un sixième des combustibles du réacteur est changé.



Assemblage de combustible<sup>9</sup>



Pastilles d'uranium<sup>10</sup>

### 2.2.6 Les turbines

La vapeur se dirige du réacteur vers les turbines. En premier, elle actionne la turbine haute pression. Ensuite, la vapeur contenant encore de l'énergie est orientée sur les turbines basse-pression qui ont de plus grandes aubes<sup>11</sup>. Ces turbines transforment 60% de la chaleur en énergie cinétique<sup>12</sup> les 40% restant sont créés par la turbine haute-pression. Puis le reste de la vapeur est conduit dans le condenseur pour être refroidi et redirigé vers le réacteur. Les turbines sont reliées à un alternateur qui crée de l'électricité.

<sup>9</sup>Image trouvée sur le site de Watt Ingénierie, [http://www.watt-ingenierie.com/info\\_technique/enrichissement.php](http://www.watt-ingenierie.com/info_technique/enrichissement.php), le 14.01.2012.

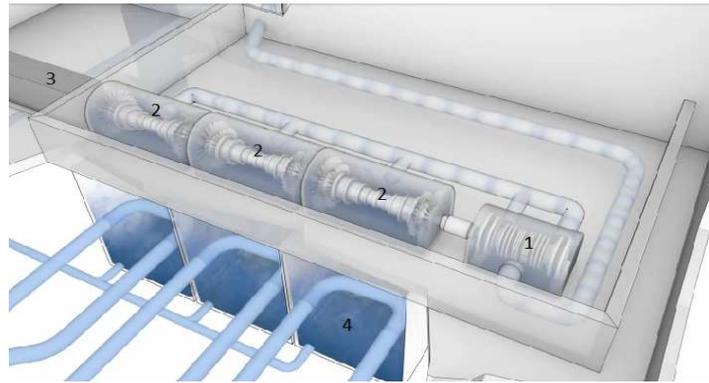
<sup>10</sup>Image trouvée sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/cycle-combustible.html](http://www.kernenergie.ch/fr/cycle-combustible.html), le 14.01.2012.

<sup>11</sup> Voir lexique.

<sup>12</sup> Voir lexique.

Les turbines<sup>13</sup> :

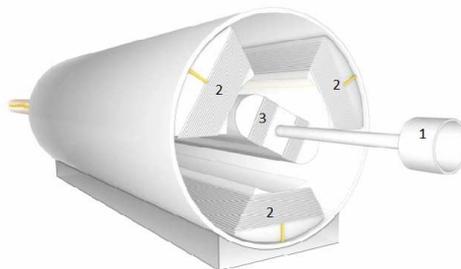
1. Turbine haute-pression
2. Turbine basse-pression
3. Alternateur
4. Condenseur



### 2.2.7 L'alternateur

L'alternateur est constitué principalement de trois parties :

1. L'arbre de transmission relie les turbines à l'alternateur. Il permet de transmettre l'énergie mécanique<sup>14</sup>.
2. Le rotor relié à l'arbre de transmission, est un électroaimant qui effectue 50 tours/seconde.
3. Le stator partie fixe, produit de l'électricité grâce à la tension électrique créée par la rotation du rotor.



Alternateur<sup>15</sup>

La quantité d'électricité créée par l'alternateur dépend de la centrale. Par exemple, en Suisse, la centrale de Mühleberg a une puissance de 400 mégawatts<sup>16</sup> alors que celle de Leibstadt de 1'165 mégawatts. Avant d'être distribuée dans le réseau électrique, l'intensité de l'électricité doit être adaptée à celle du réseau haute-tension. Pour cela, elle sera d'abord acheminée vers des transformateurs et ensuite vers le réseau haute-tension.

<sup>13</sup> Image reprise d'une vidéo sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html), le 21.11.2011.

<sup>14</sup> Voir lexique.

<sup>15</sup> Image reprise d'une vidéo sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html), le 21.11.2011.

<sup>16</sup> Voir lexique.

## 2.3 Les différents bâtiments



Les bâtiments :<sup>17</sup>

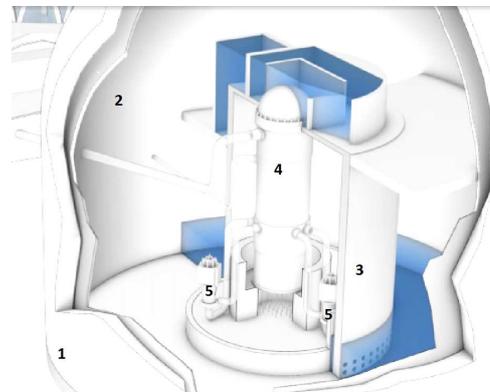
- A. Le bâtiment du réacteur
- B. La salle des machines
- C. La salle de contrôle
- D. La tour aéroréfrigérante
- E. La cheminée d'aération

### 2.3.1 Le bâtiment du réacteur

Il contient le réacteur nucléaire qui permet la création de la chaleur. Sa fonction est de protéger la nature et l'Homme des radiations causées par la fission des atomes. C'est pour cela qu'il est extrêmement robuste. Un dôme en béton armé d'un mètre d'épaisseur, pouvant résister à un séisme ou une collision avec un avion, recouvre l'ensemble du bâtiment. Ensuite, pour éviter toute fuite radioactive, il y a plusieurs barrières de protection totalement indépendantes et qui fonctionnent comme des récipients placés les uns sur les autres pour assurer la sécurité en cas de faille d'une des barrières. La première protection depuis l'extérieur est l'enceinte de sécurité en acier appelée aussi confinement. A l'intérieur de l'enceinte, la pression de l'air est plus basse qu'à l'extérieur. De ce fait, en cas de brèche, il y a une arrivée d'air vers l'intérieur et non vers l'extérieur du bâtiment. Puis, un nouveau blindage en béton d'un mètre d'épaisseur entoure le réacteur. Il y a encore une cuve en acier massif qui enrobe le réacteur. A l'intérieur de la cuve, plusieurs dispositifs de sûreté retiennent la radioactivité. Les pompes des deux côtés du réacteur permettent de contrôler l'eau entrant dans le réacteur.

Le bâtiment du réacteur<sup>18</sup> :

- 1. Dôme en béton
- 2. Confinement
- 3. Blindage en béton
- 4. Cuve du réacteur
- 5. Pompes

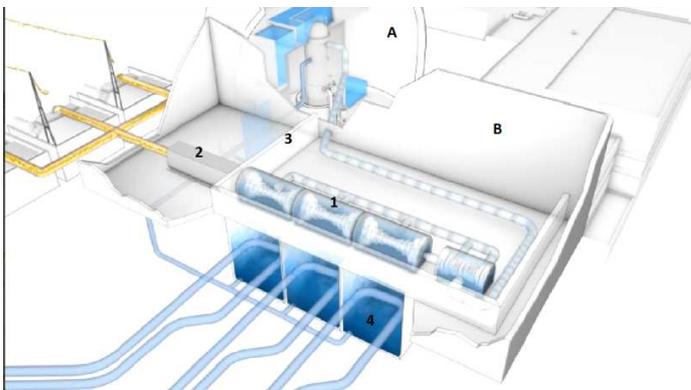


<sup>17</sup>Image reprise d'une vidéo sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html), le 21.11.2011.

<sup>18</sup>Image reprise d'une vidéo sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html), le 21.11.2011.

### 2.3.2 La salle des machines

La salle des machines est le bâtiment contenant les turbines, l'alternateur et le condenseur. Comme dans le confinement, la pression de l'air y est plus basse. Elle est située juste à côté du bâtiment du réacteur afin que le chemin de l'eau entre le réacteur et les turbines soit le plus court possible. Les tuyaux acheminant la vapeur et les turbines sont entourés d'un mur en béton d'un mètre d'épaisseur pour absorber le rayonnement radioactif. En-dessous des turbines se situe le condenseur qui refroidira la vapeur pour la transformer en eau qui va être ensuite reconduite vers le réacteur.



La salle des machines<sup>19</sup> :

1. Les turbines
2. L'alternateur
3. Le mur en béton
4. Le condenseur

### 2.3.3 La salle de contrôle

La salle de contrôle sert à diriger la centrale. Des équipes de huit à dix spécialistes se relaient jour et nuit pour la commander. Toute personne travaillant dans cette salle doit passer des examens chaque année pour prouver qu'elle est apte à effectuer son travail correctement et à prendre les bonnes décisions. Tous les paramètres y sont contrôlés, analysés, évalués et signalés.

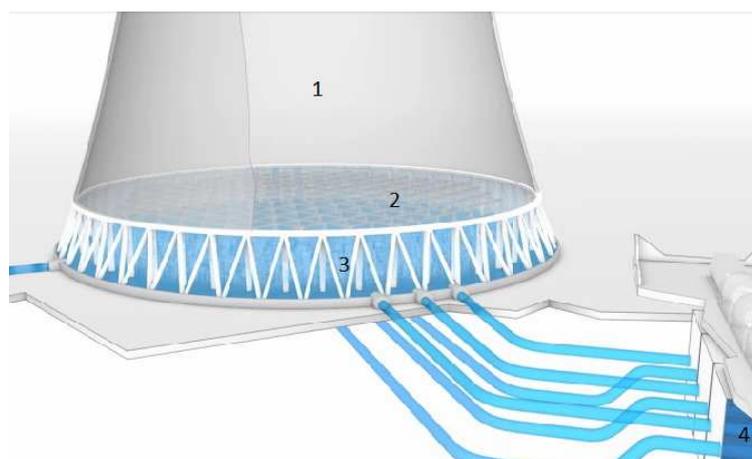


La salle de contrôle<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Image reprise d'une vidéo sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html), le 21.11.2011.

### 2.3.4 La tour aéroréfrigérante

La tour aéroréfrigérante est une grande tour creuse en béton posée sur des supports permettant à l'air d'y entrer par le bas. Elle est la partie de la centrale la plus connue car visible de loin. L'eau chaude provenant du circuit de refroidissement est pulvérisée à l'intérieur de la tour. Ainsi, grâce à l'air qui y circule librement, l'eau est refroidie. La grande partie de cette eau retourne vers le condenseur, alors qu'une petite quantité s'évapore, ce qui provoque les panaches de fumée blanche. Cependant, les tours aéroréfrigérantes ne sont pas obligatoires. Une centrale sans tour reversera directement l'eau du système de refroidissement dans la rivière à une température supérieure d'environ 15°C à celle du cours d'eau et elle y prélèvera environ 11'000l/s<sup>21</sup>. Une centrale avec tour prélève à la rivière que 400 à 1000l/s selon la météo et elle n'y reversera aucune eau.



La tour aéroréfrigérante<sup>22</sup>

1. Tour creuse en béton
2. Pulvérisateur d'eau
3. Supports
4. Condenseurs

### 2.3.5 La cheminée d'aération

L'air ambiant du bâtiment du réacteur et de la salle des machines peut aussi être contaminé. Pour garder la pression de l'air plus basse, chaque fois qu'une porte s'ouvre, il est évacué et filtré par la cheminée d'aération.

<sup>20</sup>Image trouvée sur le site du journal économique « L'usine nouvelle », <http://www.usinenouvelle.com/article/zwentendorf-la-centrale-nucleaire-mort-nee.N148584>, le 04.02.2012.

<sup>21</sup> Informations obtenues lors de la visite de la centrale de Mühleberg du 03.12.2011.

<sup>22</sup> Image reprise d'une vidéo sur le site de l'énergie nucléaire suisse par Swissnuclear, [www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html), le 21.11.2011.

### 2.3.6 Les autres bâtiments

Plusieurs autres bâtiments permettent le bon fonctionnement de la centrale. Il y a une réserve de pièces, une cafétéria, des vestiaires, etc. Une centrale comme Mühleberg doit pouvoir accueillir environs 1'100 ouvriers ce qui impose une infrastructure importante.

## 2.4 Les déchets radioactifs

En Suisse, la majeure partie des déchets radioactifs provient des centrales nucléaires. Mais la médecine, la recherche et l'industrie en créent aussi. Les déchets nucléaires rejetés par les centrales en 50 ans représente un volume de 100'000 m<sup>3</sup><sup>23</sup>, ce qui correspond à peu près au monolithe de Morat lors de « l'Expo 02 ». La gestion des déchets radioactifs revient à ceux qui les produisent. Pour les centrales, ce sont les exploitants, et pour la médecine, la recherche et l'industrie, la Confédération. Ensemble, ils ont fondé la coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) qui est chargée de planifier la gestion des déchets et procéder aux investigations nécessaires.

### 2.4.1 Les déchets hautement radioactifs (DHA)

Les déchets hautement radioactifs proviennent uniquement du combustible utilisé dans les centrales nucléaires. Ils représentent 10% du volume des déchets mais contient 99% de la radiotoxicité totale. Ils sont fondus dans du verre avec des additifs et stockés dans des conteneurs. Ces conteneurs doivent tout d'abord être placés dans les entrepôts intermédiaires des centrales pendant une période de plusieurs dizaines d'années. Une fois refroidis, ils seront enfouis dans des couches géologiques profondes situées à quelques kilomètres sous terre pour au moins 200'000 ans, jusqu'à ce qu'ils redeviennent stables.

### 2.4.2 Les déchets faiblement et moyennement radioactifs (DFMA)

Ces déchets proviennent de tous les objets contaminés par la radioactivité des combustibles et représente 90% du volume total. Ceux-ci sont fondus dans un four à plasma et solidifiés en une masse de scories<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> Chiffre tiré du prospectus de la NAGRA sur les déchets nucléaires.

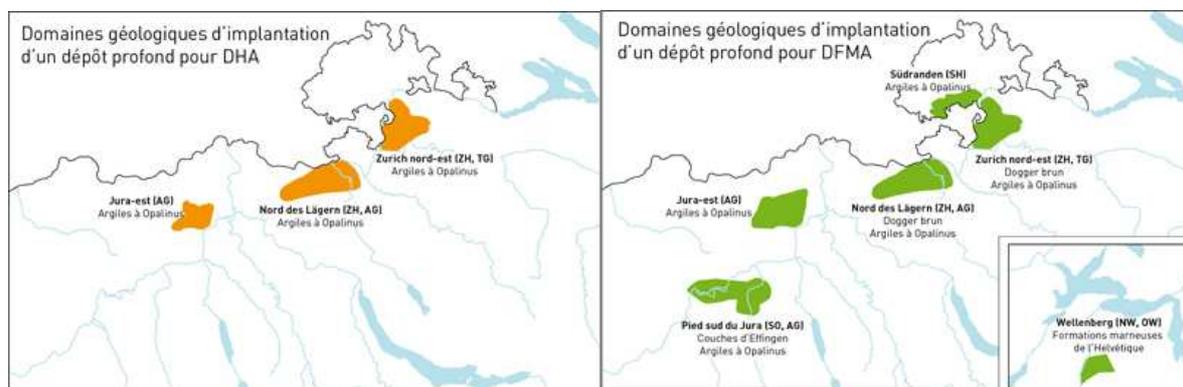
<sup>24</sup> Voir lexique.

Ensuite, ils sont entreposés à la centrale ou alors ils sont acheminés vers le dépôt intermédiaire, le Zwilag, à Würenlingen. Ils y seront entreposés pour une durée d'environ 30'000 ans.

### 2.4.3 Le stockage en couches géologiques profondes

Le stockage en couches géologiques profondes est le moyen reconnu internationalement pour stocker les déchets radioactifs. En effet, les déchets doivent être entreposés pendant des centaines de milliers d'années et si on les laissait en surface, il y aurait trop de risques que le bâtiment les abritant soit endommagé par une guerre ou une catastrophe naturelle. Alors que sous terre, à une profondeur suffisante pour qu'il n'y ait plus de ruissèlement d'eau, ils sont à l'abri de tout et suffisamment éloignés pour que les radiations n'atteignent pas la surface. Ils sont aussi extrêmement sécurisés, la découverte de fossiles datant de millions d'années le démontre bien.

La Suisse possède trois domaines destinés à des dépôts de déchets hautement radioactifs et six à des dépôts de déchets faiblement et moyennement radioactifs.



Domaines destinés à des dépôts de déchets nucléaires<sup>25</sup>

## 2.5 Les autres moyens de production d'électricité

### 2.5.1 Les panneaux solaires

#### *Fonctionnement*

Les panneaux photovoltaïques sont composés de cellules photovoltaïques. Ces cellules comportent plusieurs couches :

<sup>25</sup>Image tirée du site de la NAGRA, [http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/84700/s\\_name/standortehaaf](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/84700/s_name/standortehaaf) et [http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/84740/s\\_name/standortesmaf](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/84740/s_name/standortesmaf) le 17.12.2011.

- Une couche supérieure composée de silicium et dopée avec un élément qui contient plus d'électrons, par exemple le phosphore. L'électron étant l'élément négatif d'un atome, la couche est donc elle aussi négative (zone N).
- Une couche inférieure également composée de silicium, mais dopée à un élément qui contient moins d'électrons, le bore par exemple. Cette couche est donc positive (zone P).

Les photons, particules d'énergie de la lumière, entrent en contact avec la couche supérieure. L'énergie apportée à la couche arrache un électron d'un atome négatif. Puis, cet atome ayant un électron en moins devient positif et ira donc en zone P. Cet échange de zone crée une tension électrique à l'intérieur du panneau. Le courant produit par les panneaux photovoltaïques est de type continu<sup>26</sup>. Pour être compatible avec les appareils ménagers, le courant continu passe dans un onduleur qui le transforme en courant alternatif<sup>27</sup>.

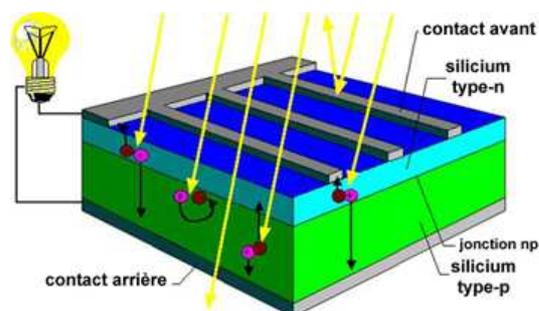


Schéma du fonctionnement d'un panneau photovoltaïque<sup>28</sup>



Exemple de panneaux<sup>29</sup>

### Rentabilité

La rentabilité d'un panneau varie selon le type de matériaux, la température et la météo. Le soleil a une irradiation de 1'000W et un panneau solaire de 1m<sup>2</sup> peut en transformer en moyenne 15% en électricité<sup>30</sup>, ce qui représente 150W. Un ménage suisse consomme en moyenne 4'500 kWh<sup>31</sup> par année.

<sup>26</sup> Voir lexique.

<sup>27</sup> Voir lexique.

<sup>28</sup> Image trouvée sur un blog, [basetpe.free.fr/tpe1/solaire/fonctionnement\\_solaire.html](http://basetpe.free.fr/tpe1/solaire/fonctionnement_solaire.html), le 28.12.2011.

<sup>29</sup> Image trouvée sur le site de conseil et d'achat spécialisé dans les panneaux solaire, <http://www.loisir-et-bien-etre.com/lbe/produits.php>, le 28.12.2011.

<sup>30</sup> Information tirée du site, [basetpe.free.fr/tpe1/solaire/fonctionnement\\_solaire.html](http://basetpe.free.fr/tpe1/solaire/fonctionnement_solaire.html), le 28.12.2011

<sup>31</sup> Voir lexique.

En sachant que la moyenne d'ensoleillement en Suisse est de 1'000 heures<sup>32</sup> par années, chaque ménage aurait besoin de 30m<sup>2</sup> de panneaux solaires pour être autonome. Mais cela reste des chiffres, par exemple en hiver, où la consommation est plus forte, le rendement des panneaux photovoltaïque est, quant à lui, plus faible. Il est donc nécessaire d'être branché au réseau pour avoir la quantité d'électricité suffisante. Il est possible de stocker l'électricité créée, mais cela génère des coûts supplémentaires qui rendent toute l'installation moins rentable. Aujourd'hui, la tendance est de revendre l'électricité créée en surplus à la compagnie électrique de la région. Ainsi, les panneaux solaires engendrent également un revenu. La Suisse possède 7'425 installations en 2010. Ces installations permettent la création de 83 GWh d'électricité par an. Et il faudrait près de 7 km<sup>2</sup> de panneaux solaires pour remplacer la centrale de Mühleberg.

## 2.5.2 Les éoliennes

### *Fonctionnement*

L'hélice de l'éolienne, le rotor, a besoin d'un vent de 10-15 km/h pour commencer à tourner. Elle atteindra son rendement maximal une fois que les vents souffleront à 50 km/h. Mais attention, si les vents dépassent les 90 km/h, l'éolienne doit être arrêtée. Les pales du rotor fonctionnent selon le même principe qu'une aile d'avion, sa géométrie est conçue pour que la pression du vent sur sa partie inférieure soit plus élevée que sur sa partie supérieure. Cette différence de pression fait tourner le rotor. Dans son élan le rotor entraîne un arbre de transmission relié à un alternateur qui produit de l'électricité. Avant d'être injectée dans le réseau, l'électricité doit passer dans un transformateur pour adapter sa tension à celui du réseau.

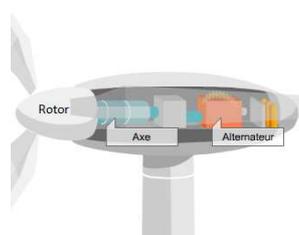


Schéma d'une éolienne<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Information donnée par un ami électricien ayant posé des panneaux solaires.

<sup>33</sup> Image tirée de la vidéo du site d'EDF, [www.edf.com/html/panorama/production/industriels/renouvelable/eolien/fonctionnement.html](http://www.edf.com/html/panorama/production/industriels/renouvelable/eolien/fonctionnement.html), le 04.01.2012.

### *Rentabilité*

Le rendement d'une éolienne dépend de la grandeur de son hélice mais surtout de la force du vent. Les plus grandes éoliennes vont jusqu'à 100 mètres de hauteur et ont une puissance de plus de 2'000 kW. Pour comparaison, 195 éoliennes seraient nécessaires pour remplacer la centrale de Mühleberg. Mais comme on peut l'observer sur la photo ci-dessous, les éoliennes requièrent de grands espaces, que la Suisse n'a pas forcément. En 2010, la Suisse possédait 32 éoliennes pour une production de 36.6 GWh.

Il existe aussi de petites éoliennes domestiques entre 10 et 35m de haut d'une puissance entre 100 W et 50 kW. Mais leur coût est pour le moment beaucoup trop élevé pour qu'elles soient rentables.



Exemple de parc éolien<sup>34</sup>

### **2.5.3 Les centrales hydroélectriques**

#### *Fonctionnement*

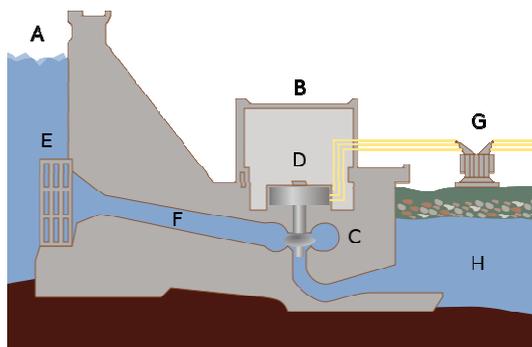
Il existe trois types principaux de centrales. Les centrales gravitaires, où l'eau est transportée uniquement à l'aide de la gravité jusqu'à la centrale. Les stations de transfert d'énergie par pompage, où l'eau est pompée jusqu'à la centrale. Et les usines marémotrices qui utilisent les courants marins, que ce soit les marées ou les courants permanents.

<sup>34</sup> Image tirée du site « L'internaute », [www.linternaute.com/environnement/magazine/photo/l-absurdite-ecologique-americaine-vue-du-ciel/champ-d-eoliennes.shtml](http://www.linternaute.com/environnement/magazine/photo/l-absurdite-ecologique-americaine-vue-du-ciel/champ-d-eoliennes.shtml), le 04.01.2012.

En Suisse, le relief très montagneux permet une utilisation optimale des centrales gravitaires. Dans celles-ci, l'eau est stockée grâce à un barrage. Elle est ensuite dirigée vers des turbines à l'aide d'un conduit. L'eau fait tourner les turbines qui sont reliées à un alternateur qui produit de l'électricité. Ensuite, l'eau retourne dans une rivière au pied du barrage.

Schéma d'un barrage<sup>35</sup> :

- A. Réservoir
- B. Centrale
- C. Turbines
- D. Alternateur
- E. Vannes
- F. Conduit
- G. Lignes haute-tension
- H. Rivière



### *Rentabilité*

En Suisse, il y a plus de 550 centrales hydrauliques. Elles produisent annuellement 35'833 GWh, ce qui représente 58% de la production totale. Ces installations sont déjà bien exploitées par notre pays. Il existe une possibilité d'en améliorer le rendement en rehaussant le niveau des barrages. Mais cette solution engendre des problèmes écologiques. En effet, ce faisant, le niveau du lac augmente lui aussi et une partie de la nature environnante est engloutie. La plupart des projets de rehaussement ne sont pas proposés par peur d'un recours des associations écologiques. Le sacrifice écologique doit être compensé par un réel potentiel économique pour que la solution soit valable.

### **2.5.4 La biomasse**

#### *Fonctionnement*

La biomasse désigne tous les éléments d'origine végétale ou animale permettant la fabrication de chaleur, d'électricité ou de carburant. Nous allons nous intéresser au biogaz qui permet la création d'électricité. Le biogaz est créé par la fermentation de matières organiques, tels que le fumier, le maïs, le lisier ou encore l'herbe. Ces matières sont stockées sous forme d'ensilage<sup>36</sup>.

<sup>35</sup>Image tiré du site encyclopédique Wikipédia, [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Hydroelectric\\_dam-letters.svg](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Hydroelectric_dam-letters.svg), le 04.01.2012.

<sup>36</sup> Voir lexique.

Elles sont ensuite introduites dans des digesteurs, où elles sont chauffées et brassées pour assurer une fermentation optimale.

Cette fermentation produit principalement du méthane et du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Ce gaz est conduit vers des moteurs, où il sert de carburant. Le moteur produit de l'électricité et son système de refroidissement récupère sa chaleur. Une partie de la chaleur et de l'électricité est utilisée pour l'installation et le reste est injecté dans le réseau public.

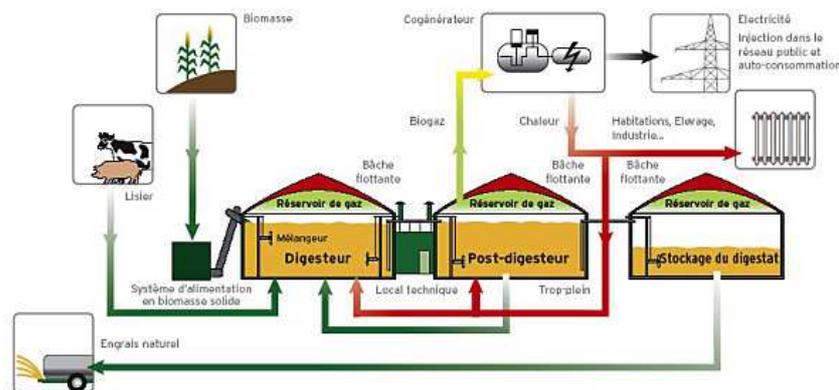


Schéma d'une usine à biogaz<sup>37</sup>

### Rentabilité

8'000 tonnes d'engrais de ferme mélangés à 2'000 tonnes de co-substrats<sup>38</sup> peuvent produire 500'000 m<sup>3</sup> de biogaz, ce qui permet la production de 140'000 kWh d'électricité par an. Une centrale Biogaz est en construction à Guin. Elle produira 2.2 GWh d'électricité par année qui permettra d'alimenter 500 ménages<sup>39</sup>. La biomasse est un très bon moyen de produire de l'électricité, car les gaz à effet de serre rejetés dans l'air sont ceux qui ont été absorbés par les plantes qui ont fermentées. Ils seront réabsorbés par la végétation, ce qui permet d'avoir un bilan neutre de rejet de CO<sub>2</sub>. La Suisse a produit environ 210 GWh d'électricité provenant du biogaz en 2010. Et il faudrait environ 1'300 usines à biogaz pour remplacer la centrale de Mühleberg.

<sup>37</sup> Schéma d'une usine à biogaz tiré d'un blog, <http://nonalusine-boulay.over-blog.com/3-categorie-11065917.html>, le 04.02.2012.

<sup>38</sup> Voir lexique.

<sup>39</sup> Information obtenue sur le site de Greenwatt, [www.greenwatt.ch/fr/biomasse/guin-duedingen.html](http://www.greenwatt.ch/fr/biomasse/guin-duedingen.html), le 05.01.2012.

## 2.6 Accidents nucléaires

Un accident nucléaire est ce qui peut arriver de plus grave à une centrale et ce que craignent le plus les pays en possédant. La Suisse a connu un des 10 accidents les plus importants à Lucens. Les deux plus graves sont Tchernobyl en 1986 et Fukushima en 2011. Nous allons observer les causes et les conséquences de ces trois accidents.

### 2.6.1 Lucens

Depuis 1945, la Suisse rêve de posséder les connaissances en énergie nucléaire et c'est en 1962 qu'un consortium, sous l'aile de la confédération, décide de développer un réacteur à eau lourde refroidie au dioxyde de carbone à Lucens. Mais le contexte politico-économique sous lequel évolue la construction du réacteur est très dur, une grande partie de la population est réticente à cette idée.

C'est en 1969 que le pire arrive, des vannes de refroidissement du réacteur sont abîmées par la corrosion et le cœur du réacteur fond partiellement. Un fort rayonnement radioactif est alors émis du cœur du réacteur, mais par chance, il est confiné dans la caverne où se situe le réacteur. L'accident atteint le niveau 4 de l'échelle internationale d'INES<sup>40</sup>. A la suite de cette catastrophe la Suisse stoppe définitivement la recherche dans le domaine du nucléaire.

### 2.6.2 Tchernobyl

L'accident de Tchernobyl survenu en 1986 est le plus grave jamais observé. Il est le premier à atteindre l'échelon 7 de l'échelle d'INES. Un réacteur mal conçu, sans enceinte de confinement et déjà instable dans certaines situations en est la cause. Des essais hasardeux ont été conduits sur le réacteur sans aucun contrôle de la part des services publics.

Lors d'un exercice, le réacteur commence à surchauffer ce qui entraîne la décomposition de l'eau en hydrogène et en oxygène. La recombinaison des deux éléments provoque une explosion qui soulève la dalle en béton recouvrant le réacteur. Ensuite le graphite servant de modérateur fait fondre les gaines des crayons d'uranium et s'en est suivie la fonte du cœur du réacteur.

---

<sup>40</sup> Voir lexique.

La radioactivité a contaminé 160'000 km<sup>2</sup> au Nord de Kiev et l'ONU évoque plus de 7 millions de personnes affectées.

### 2.6.3 Fukushima

Le 11 mars 2011, a lieu le plus important séisme que le Japon n'ait jamais connu, de magnitude 9 sur l'échelle de Richter<sup>41</sup>. Son épicentre est situé au nord-est du Japon, à 130 km des côtes et 50 minutes plus tard un tsunami<sup>42</sup> déclenché par le tremblement de terre frappe la centrale nucléaire de Fukushima. S'en suit l'arrêt automatique de la centrale et une panne des groupes électrogènes de secours. Ce qui empêche de refroidir correctement le réacteur et provoque la fusion partielle du cœur. Les fuites de rayonnements radioactifs sont telles que l'accident est classé de niveau 7 sur l'échelle d'INES, ce qui en fait le deuxième accident nucléaire le plus grave au monde.

### 2.6.4 Conséquences

Le réacteur de Lucens était un réacteur expérimental, donc qui impliquait des risques et la centrale de Tchernobyl était gérée par des amateurs, voulant faire un maximum de profit, sans en mesurer les risques. Mais l'accident de Fukushima a suscité une prise de conscience générale du danger des centrales. Car les centrales nucléaires japonaises étaient les plus sûres au monde, à la pointe de la technologie. Avant le 11 mars 2011, il était inimaginable qu'un accident s'y produise et c'est pour cela que de nombreux pays mettent en doute la nécessité de l'énergie nucléaire.



Site de la centrale de Tchernobyl après l'accident de 1986<sup>43</sup>

<sup>41</sup> Voir lexique.

<sup>42</sup> Voir lexique.

<sup>43</sup> Image tirée du site du journal « France soir », [www.francesoir.fr/actualite/international/tchernobyl-l-explosion-au-non-lieu-general-134722.html](http://www.francesoir.fr/actualite/international/tchernobyl-l-explosion-au-non-lieu-general-134722.html), le 14.01.2012.

## 2.7 La désaffectation des quatre centrales suisses <sup>44</sup>

L'Office Fédéral de l'Energie Suisse a revu à la hausse les coûts de désaffectation des centrales nucléaires. La fin du nucléaire devrait coûter au moins 21 milliards de francs pour nos cinq réacteurs. Ce sont plus de 10 % que l'estimation de 2006. Mais à vrai dire, personne ne connaît réellement les coûts du démantèlement d'une centrale et encore moins de la gestion des déchets radioactifs.

Les estimations les plus réalistes actuelles avoisinent 10 milliards de francs pour une centrale, soit plus du double de ce que l'Office Fédéral de l'Energie Suisse a prévu.

## 3. Economie

### 3.1 L'histoire du nucléaire

#### 3.1.1 Dans le monde <sup>45</sup>

- |      |  |
|------|--|
| 1789 | L'uranium est découvert par le chimiste prussien Klaproth.   |
| 1896 | Découverte de la radioactivité naturelle par le physicien français Becquerel.  |
| 1898 | Pierre et Marie Curie découvrent le radium et le polonium.   |
| 1901 | Henri Becquerel et Pierre Curie font les premières tentatives d'utilisation du radium à des fins thérapeutiques.                                 |
| 1911 | Le noyau de l'atome est découvert par Rutherford.  |
| 1919 | 8 ans après sa découverte, Rutherford effectue la première désintégration nucléaire. Il a réussi à transmuter de l'azote en une forme d'oxygène. |
| 1934 | Irène et Frédéric Joliot-Curie découvrent la radioactivité artificielle.   |

---

<sup>44</sup> Informations obtenues grâce à notre guide de la centrale nucléaire de Mühlberg. Les chiffres cités proviennent des ses informations et de la documentation prise lors de notre visite.

<sup>45</sup> Ces informations ont été trouvées sur les sites : <http://nucleaire-nonmerci.net/historique.html> et <http://www.linternaute.com/histoire/nucleaire/67/a/1/1/3/>, le 13.11.11

- 1942 Le premier réacteur nucléaire au monde est mis en route à Chicago, aux Etats-Unis. C'est aussi l'année de la première pile atomique créée par le physicien Enrico Fermi.
- 1945 Les villes japonaises d'Hiroshima et de Nagasaki sont bombardées par deux bombes atomiques.
- 1957 Le premier accident nucléaire a lieu à Windscale, en Grande Bretagne.
- 1979 Accident nucléaire à Three Mile Island, aux États-Unis. Cet accident est classé au niveau 5 de l'échelle internationale des événements nucléaires INES.
- 1986 Accident catastrophique de niveau 7 sur l'échelle INES dans la centrale nucléaire de Tchernobyl en Ukraine.

### 3.1.2 En Suisse <sup>46</sup>

- 1946 C'est en 1946 qu'il faut remonter pour trouver les premières bases légales de la politique suisse en matière d'énergie nucléaire. 1946 est également l'année de l'approbation de la première décision du Conseil fédéral sur la promotion de l'énergie atomique.
- 1957 La législation sur l'énergie nucléaire est inscrite dans la Constitution fédérale. Une ordonnance est écrite : « *RO 1957 256 - Ordonnance du 26 mars 1957 concernant l'exécution de l'accord de coopération entre le gouvernement suisse et le gouvernement des Etats-Unis d'Amérique pour l'utilisation pacifique de l'énergie atomique.* »<sup>47</sup>
- 1959 Le 23 décembre 1959, la Loi atomique sur l'énergie atomique est acceptée par le parlement.
- 1969 Accident nucléaire sur le site du réacteur expérimental de Lucens. Beznau I est mise en service. C'est la première centrale nucléaire Suisse.

---

<sup>46</sup>Informations trouvées sur le site de l'OFEN,  
<http://www.bfe.admin.ch/themen/00511/index.html?lang=fr>, le 19.11.2011.

<sup>47</sup> Texte complet en annexe.

- 1972 Beznau II et Mühlberg sont mises en service.
- 1978 Un arrêté fédéral concernant la Loi sur l'énergie atomique démontre que la Suisse a besoin de plus d'énergie pour rester autosuffisante. Une autorisation générale pour la construction de centrales nucléaires est délivrée. La loi établit que les entreprises propriétaires des centrales seront responsables de la gestion sûre des déchets radioactifs.
- 1979 10 ans après Beznau I c'est le réacteur de Gösgen qui est mis en service.
- 1984 Mise en service de la quatrième centrale nucléaire Suisse. Celle-ci se trouve à Leibstadt.
- 2005 La Loi sur l'énergie atomique et l'arrêté fédéral sont remplacés, le 1<sup>er</sup> février 2005, par la nouvelle Loi sur l'énergie nucléaire et l'Ordonnance sur l'énergie nucléaire. Une autorisation générale pour la construction d'installations nucléaires par le Conseil fédéral et l'Assemblée fédérale est soumise au référendum facultatif.
- 2011 Suite à l'accident nucléaire de Fukushima, le Conseil fédéral a annoncé le 25 mai 2011 que la sortie de la production d'énergie nucléaire se fera progressivement jusqu'en 2034.



Centrale nucléaire de Gösgen<sup>48</sup>

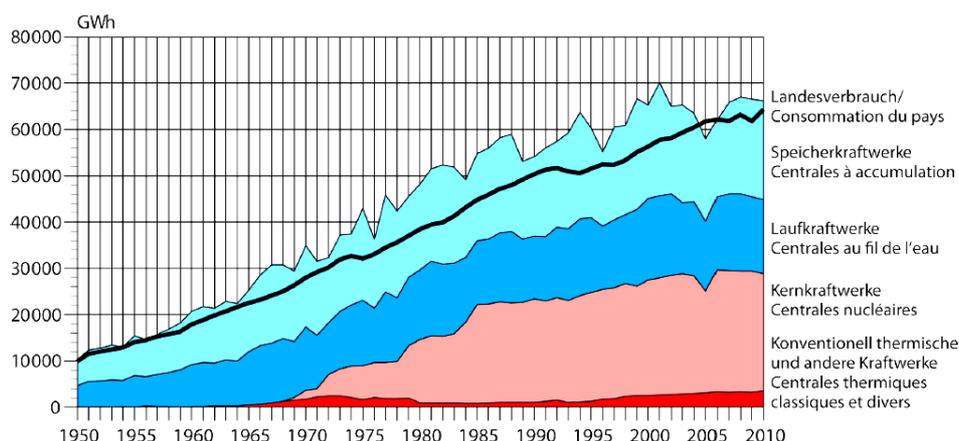
<sup>48</sup>Image trouvée sur le site d'avenir électricité, <http://www.avenirelectricite.ch/grandes-centrales/exemple-centrale-nucleaire-gosgen/>, le 06.02.2012

### 3.2 L'évolution de l'énergie nucléaire en Suisse

En Suisse, la production d'énergie provenant du nucléaire est en forte augmentation au début de l'exploitation des centrales de 1969 à 1985. Dès les années 2000, elle se stabilise et représente actuellement 39% du total de l'énergie produite dans notre pays.

Les cinq centrales nucléaires ont un taux d'utilisation annuel qui avoisine les 90%. Chaque année, durant quatre à six semaines, une centrale est complètement arrêtée afin qu'un contrôle technique puisse être effectué. Durant ce contrôle, près de 4'000 personnes se trouvent sur le site, dont les meilleures spécialistes du nucléaire.

Voici un graphique représentant la production et la consommation du pays depuis 1950<sup>49</sup> :



Graphique représentant la production et la consommation du pays depuis 1950<sup>50</sup>

### 3.3 La production annuelle suisse

Les centrales hydrauliques ont toujours été la première source d'énergie. Mais l'énergie nucléaire a pris une place de plus en plus importante.

En 40 ans, la production totale d'électricité en Suisse a presque doublé, en partie grâce au nombre croissant de réacteurs nucléaires. C'est seulement au début des années 90 que les énergies renouvelables sont recensées et aujourd'hui elles ne représentent qu'une faible partie de l'énergie produite avec seulement 466 GWh/année.

<sup>49</sup> Graphique provenant du rapport de l'Office fédéral de l'énergie intitulé : « Les graphiques de la statistique suisse de l'électricité 2010 ».

<sup>50</sup> Graphique provenant du rapport de l'Office fédéral de l'énergie intitulé : « Les graphiques de la statistique suisse de l'électricité 2010 ».

## Production d'électricité [en GWh/année]<sup>51</sup>

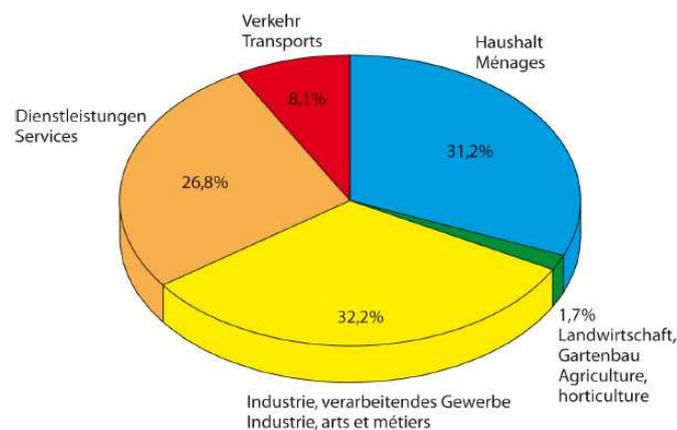
	Centrale Hydraulique	Centrale nucléaire	Centrales thermiques classiques	Renouvelables divers	Production brute	Moins le pompage d'accumulation	Production nette
1970	31'273	1'850	1'763	...	34'886	965	33'921
1971	27'563	1'843	2'181	...	31'587	1'377	30'210
1972	25'277	4'650	2'371	...	32'298	1'644	30'654
1973	28'825	5'896	2'434	...	37'155	1'724	35'431
1974	28'563	6'730	2'117	...	37'410	1'541	35'869
1975	33'974	7'391	1'629	...	42'994	1'198	41'796
1976	26'622	7'561	2'058	...	36'241	1'344	34'897
1977	36'290	7'728	1'885	...	45'903	1'277	44'626
1978	32'510	7'995	1'845	...	42'350	1'361	40'989
1979	32'345	11'243	1'963	...	45'551	1'586	43'965
1980	33'542	13'663	957	...	48'162	1'531	46'631
1981	36'097	14'462	956	...	51'515	1'395	50'120
1982	37'035	14'276	974	...	52'285	1'532	50'753
1983	36'002	14'821	996	...	51'819	1'346	50'473
1984	30'872	17'396	884	...	49'152	1'444	47'708
1985	32'677	21'281	869	...	54'827	1'364	53'463
1986	33'589	21'303	988	...	55'880	1'461	54'419
1987	35'412	21'701	1'048	...	58'161	1'564	56'597
1988	36'439	21'502	1'023	...	58'964	1'445	57'519
1989	30'485	21'543	1'082	...	53'110	1'454	51'656
1990	30'675	22'298	1'014	87	54'074	1'695	52'379
1991	33'082	21'654	1'247	95	56'078	1'946	54'132
1992	33'725	22'121	1'393	109	57'348	1'438	55'910
1993	36'253	22'029	913	118	59'313	1'186	58'127
1994	39'556	22'984	989	132	63'661	1'271	62'390
1995	35'597	23'486	1'137	138	60'358	1'520	58'838
1996	29'698	23'719	1'557	146	55'120	1'754	53'366
1997	34'794	23'971	1'686	149	60'600	1'519	59'081
1998	34'295	24'368	2'124	161	60'948	1'620	59'328
1999	40'616	23'523	2'385	169	66'693	1'408	65'285
2000	37'851	24'949	2'371	177	65'348	1'974	63'374
2001	42'261	25'293	2'433	187	70'174	1'947	68'227
2002	36'513	25'692	2'612	194	65'011	2'418	62'593
2003	36'445	25'931	2'690	200	65'266	2'893	62'373
2004	35'117	25'432	2'777	197	63'523	2'433	61'090
2005	32'759	22'020	2'933	206	57'918	2'631	55'287
2006	32'557	26'244	3'105	235	62'141	2'720	59'421
2007	36'373	26'344	2'895	304	65'916	2'104	63'812
2008	37'559	26'132	2'914	362	66'967	2'685	64'282
2009	37'136	26'119	2'821	418	66'494	2'523	63'971
2010	37'450	25'205	3'131	466	66'252	2'494	63'758

1) Chauffages au bois et en partie au bois, Installations à biogaz, Installations photovoltaïques, Eoliennes; Relevés dès 1990

<sup>51</sup> Tableau récapitulatif provenant du site :  
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/08/02/blank/key/elektrizitaets erzeugung.html>, le 25.11.2011.

### 3.4 La consommation annuelle suisse

Durant l'année 2010, ce fut la première fois depuis 1997, que la consommation finale d'électricité a diminué. Les Suisses en ont consommé 66'252 GWh, alors qu'en 2009, ils en ont utilisé 66'494 GWh. De plus, les centrales électriques du pays ont augmenté leur production. Ainsi, sur la totalité de l'année la production a dépassé la consommation. Les trois plus grands consommateurs sont l'industrie, les ménages et finalement l'Etat.



Graphique représentant le pourcentage de consommation électrique par secteur dans l'année 2010<sup>52</sup>

### 3.5 La Suisse et ses voisins

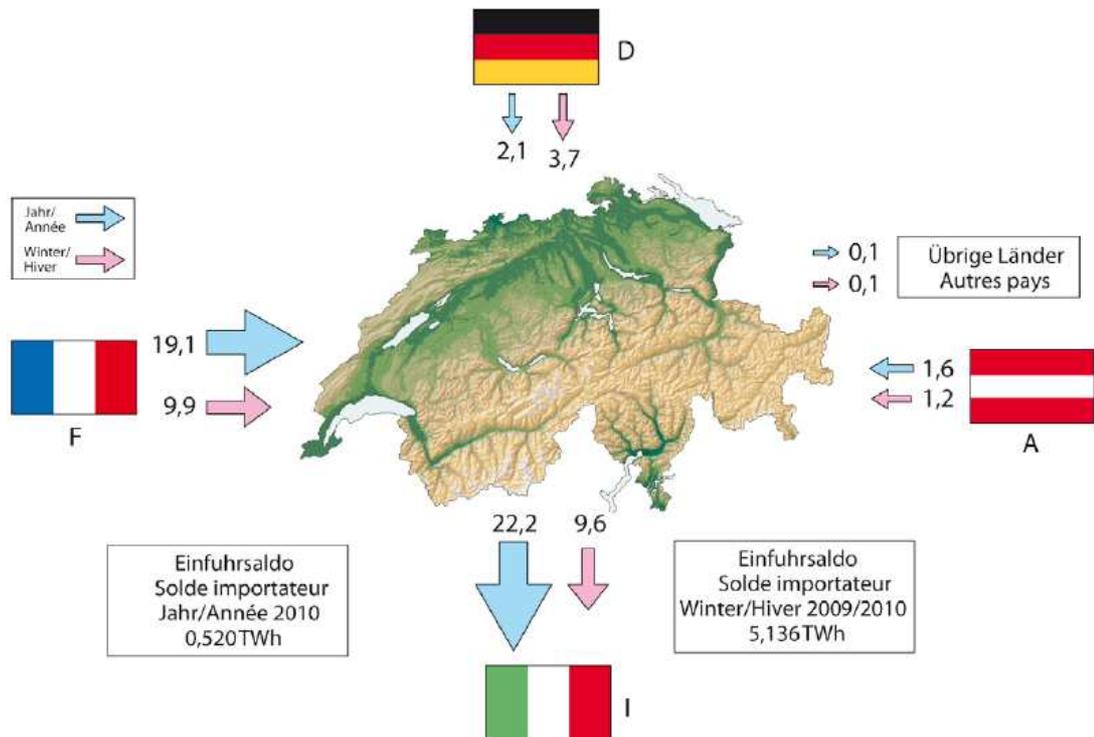
Les flux d'électricité sont à l'échelle européenne et non à l'échelle nationale. Ainsi la Suisse fait partie du réseau électrique européen. Les quatre principaux acteurs économiques commerçant avec la Suisse sont l'Allemagne, l'Italie, la France et l'Autriche.

En été, la Suisse produit plus d'électricité qu'en hiver, car la plus grande source d'énergie provient des centrales hydrauliques. De plus en hiver, avec la diminution des longueurs des journées et la baisse des températures la consommation augmente. C'est pour cela que notre pays doit importer et exporter de l'énergie. Une seconde raison est le respect de la loi sur le CO<sub>2</sub>.

Après trois années passées avec un solde légèrement exportateur, en 2010, la Suisse est à nouveau devenue importatrice d'électricité avec un solde de 0,5 milliards de francs d'électricité importés.

<sup>52</sup>Graphique provenant du site de l'OFEN, [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=fr&dossier\\_id=00768](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=fr&dossier_id=00768), le 26.12

- Durant l'année 2007, 48'568 GWh ont été importés alors que 50'630 GWh ont été exportés. Pour un solde exportateur de 2'062 GWh.
- Durant l'année 2008, 50'273 GWh ont été importés alors que 51'408 GWh ont été exportés. Pour un solde exportateur de 1'135 GWh.
- Durant l'année 2009, 52'002 GWh ont été importés alors que 54'159 GWh ont été exportés. Pour un solde exportateur de 2'157 GWh.
- Durant l'année 2010, 66'834 GWh ont été importés alors que 66'314 GWh ont été exportés. Pour un solde importateur de 520 GWh.



Graphique récapitulatif des transferts énergétiques pour l'année 2010<sup>53</sup>

<sup>53</sup> Ce graphique provient du rapport 2010 sur l'énergie Suisse de l'OFEN (voir annexe).

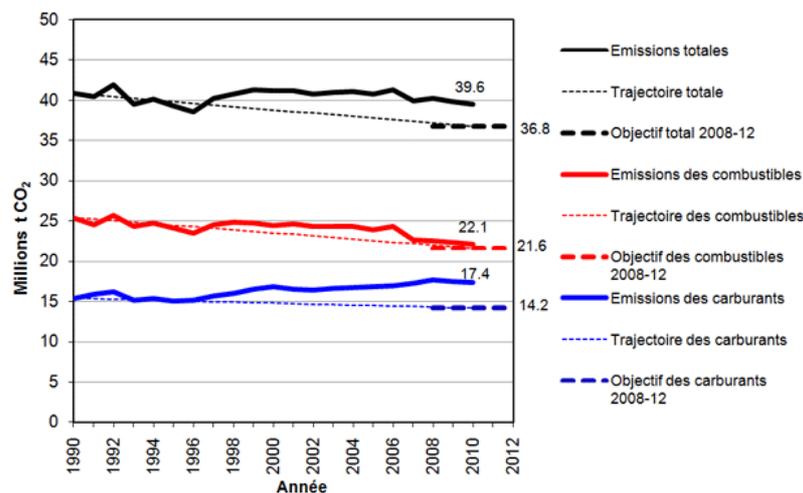
## 3.6 Moyens mis en place pour changer les habitudes de consommation

### 3.6.1 Loi sur le CO<sub>2</sub>

Le 1<sup>er</sup> mai 2000, la loi sur le CO<sub>2</sub> entre en vigueur. Elle doit permettre jusqu'en 2010 « une réduction de 10% des émissions de CO<sub>2</sub> due à l'utilisation énergétique des agents fossiles par rapport à 1990. »<sup>54</sup>. Pour atteindre cet objectif un ensemble d'instruments<sup>55</sup> a été mis en place :

- a. « Mesures consenties par des entreprises volontaires. »
- b. « Taxes sur le CO<sub>2</sub>, dans le cas où les mesures librement consenties ne sont pas suffisamment efficaces. »
- c. « Mesures prises dans d'autres domaines politiques et ayant un impact positif sur le climat (p. ex. programme d'action SuisseEnergie, loi sur l'énergie,...) »
- d. « Echange de quotas d'émission et autres mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto<sup>56</sup> »

Le 23 décembre 2011, le Parlement a adopté la base légale de la politique climatique suisse de 2013 à 2020. Il a misé sur une continuité de la Loi de 2000, souhaitant réduire de 20% le rejet de CO<sub>2</sub> d'ici 2020 par rapport à 1990.



Graphique sur les émissions de carburant et de CO<sub>2</sub> trouvé<sup>57</sup>

<sup>54</sup> Loi sur le CO<sub>2</sub> 641.71, Section 1, Article 2.

<sup>55</sup> Ces objectifs sont repris du site de la Confédération, [www.bafu.admin.ch/klima/00493/00494/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/klima/00493/00494/index.html?lang=fr), le 12.01.2012.

<sup>56</sup> Voir lexique.

<sup>57</sup> Graphique trouvé sur le site de la Confédération, [www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=fr), le 12.01.2012.

### 3.6.2 La rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC)

En 2007, lorsque le parlement a adopté la Loi sur l'approvisionnement en électricité, il a également donné son accord pour la révision de la loi sur l'énergie. Celle-ci prescrit une augmentation de l'électricité provenant des énergies renouvelable d'au moins 5400 GWh d'ici 2030. Le pilier central de la loi est la RPC. Sa tâche est de racheter l'électricité provenant de la force hydraulique, du photovoltaïque, de l'énergie éolienne, de la géothermie et de la biomasse à prix coûtant pour ensuite le revendre au prix du marché. Swissgrid<sup>58</sup> a été mandaté pour accomplir cette tâche et elle dispose pour cela d'une subvention de 247 millions de francs par années.

### 3.6.3 Plan d'action 2008<sup>59</sup>

En 2008, le Conseil fédéral a adopté un plan d'action visant une réduction des énergies fossiles de 20%, une augmentation des énergies renouvelable de 50% et une augmentation maximale de la consommation d'électricité de 5% entre 2010 et 2020. Ce plan d'action encourage :

- a. *la rénovation énergétique des bâtiments construits avant 1995*
- b. *la baisse de la moyenne de consommation de mazout des nouveaux bâtiments à 4.8 l/m<sup>2</sup>. Cette moyenne est actuellement à 9 l/m<sup>2</sup>.*
- c. *une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et de consommation de carburants des voitures de tourisme.*
- d. *une exigence minimale pour les appareils et éclairages électroniques visant à mettre en vente uniquement les catégories A et B, d'après les classes d'efficacité énergétique de l'étiquette-Energie<sup>60</sup>.*
- e. *La recherche sur l'efficacité énergétique.*
- f. *Faire des Pouvoirs publics un exemple en consommation d'énergie.*

Ces objectifs doivent être atteints d'ici 2020.

Pour les énergies renouvelables, le plan regroupe des mesures comprenant un mélange de taxes, d'incitations fiscales, d'action de promotion ainsi que des mesures dans les domaines de la recherche et de la formation.

---

<sup>58</sup> Voir lexique.

<sup>59</sup> Information complète en annexe.

<sup>60</sup> Voir lexique.

Il a pour but de promouvoir les énergies renouvelables déjà compétitives telles que l'énergie hydraulique, la biomasse et les chauffages à distance<sup>61</sup>. Mais également de donner une chance aux nouveaux moyens de production d'énergie telle que la préparation d'eau chaude à l'aide de la chaleur solaire.



Mesure thermographique d'une maison avant sa rénovation<sup>62</sup>

### 3.6.4 Programme de stabilisation 2009<sup>63</sup>

Après un premier train de mesures, en 2008, destiné à soutenir l'économie suisse lors de la crise, le Parlement a approuvé un crédit supplémentaire de 710 millions de francs, dont soixante sont affectés à trois programmes d'encouragement dans le domaine de l'énergie.

Le premier programme est une enveloppe de 20 millions destinée aux installations de panneaux photovoltaïques figurant sur la liste d'attente de la rétribution à prix coûtant.

Le second programme encourage à hauteur de 10 millions de francs le remplacement des chauffages électriques.

Et le dernier programme dispose de 30 millions de francs, pour soutenir les projets de chauffage à distance utilisant les rejets de chaleur ou les énergies renouvelables.

<sup>61</sup> Voir lexique.

<sup>62</sup> Image trouvée sur le site, <http://www.1000-annonces.com/annonce/renovation-energetique-de-l-habitat-individuel-et-collectif-a167475.html>, le 12.02.2012

<sup>63</sup> Information trouvée sur le site de la Confédération, <http://www.bfe.admin.ch/themen/03644/index.html?lang=fr>, le 12.01.2012.

### 3.7 Que font les autres pays ?

En moyenne en Europe, 33 % de l'énergie provient du nucléaire. La France possède le plus grand nombre de centrales nucléaires. Avec 58 réacteurs, elle met potentiellement en danger ses voisins. Les risques d'accidents nucléaires, les rejets de radioactivité font trembler l'Europe entière. La majorité des autres pays de l'Union Européenne s'engagent à sortir du nucléaire dans les années à venir.

Dans le monde entier, on ne dénombre pas moins de 435 réacteurs nucléaires en service. Ils représentent 17% de la production mondiale d'électricité.

Pays	Nbr de centrales	Nbr de réacteurs	Production annuelle [TWh]	Représentation par rapport à la production totale	Age moyen des réacteurs
Suisse	4	5	25.2	38.0%	36.7
USA	70	104	807	19.6%	32.1
France	19	58	407.9	74.1%	26.8
Japon	15	50	279.2	29.2%	25.2
Russie	10	33	155.1	17.1%	28
Corée du Sud	4	21	141.9	32.2%	18.1
Inde	7	20	20.5	2.9%	17.8
Royaume Uni	10	18	59.4	15.7%	30.1
Canada	5	18	85.2	15.1%	27.8
Chine	6	16	76.8	1.8%	7.8
Ukraine	5	15	83.8	48.1%	22.9
Suède	5	10	55.1	38.1%	32.9
Allemagne	8	9	133	27.3%	26.1
Espagne	6	8	59.3	20.1%	28.6
Belgique	2	7	45.7	51.1%	31.8
République Tchèque	2	6	26.4	33.2%	20.4
Taiwan	3	6	-	-	29.7
Finlande	1	4	21.9	28.4%	32.7
Hongrie	1	4	14.8	42.0%	26.5
Slovaquie	2	4	13.5	51.7%	19.8
Pakistan	2	3	2.6	2.6%	17.5
Afrique du Sud	1	2	12.9	5.2%	27
Argentine	2	2	6.7	5.9%	33.2
Bésil	1	2	14.5	3.1%	20.5
Bulgarie	1	2	15.2	33.0%	22.2
Mexique	1	2	5.6	3.6%	19.9
Roumanie	1	2	10.7	19.5%	9.9
Arménie	1	1	2.3	38.1%	31.9
Pays-Bas	1	1	3.8	3.4%	38.4
Slovénie	1	1	5.4	37.5%	30.2
Iran	1	1	-	-	0.8

Tableau qui résume la répartition des 435 réacteurs dans le monde.<sup>64</sup>

### Danemark

En 1985, le gouvernement a pris une décision définitive, le Danemark ne produira aucune énergie provenant du nucléaire. Par contre, les Danois ont le record d'émission de gaz carbonique ! Cela est dû au fait qu'ils utilisent beaucoup de charbon et de fioul. A ce jour, le pays essaie de développer l'énergie éolienne et arrive en tête dans le développement des énergies renouvelables.

### Italie

Après Tchernobyl, les 4 réacteurs en fonction ont été fermés. L'abandon définitif du nucléaire a été prononcé en 1988 après référendum. Mais depuis cet abandon, l'Italie est dépendante des importations concernant l'énergie. Plus de 85% de l'énergie consommée provient de l'étranger.

### Allemagne<sup>65</sup>

L'Allemagne a décidé d'abandonner le nucléaire d'ici 2022. Déjà 8 de leur 18 réacteurs nucléaires sont arrêtés depuis le printemps. Un neuvième réacteur sera stoppé en 2015, un en 2017, le onzième en 2019 et les derniers en 2021 et 2022. L'Allemagne pourrait être contrainte d'importer de l'électricité en grande quantité. Si elle ne trouve pas rapidement le moyen de combler le manque de ces réacteurs nucléaires. L'Allemagne a pour objectif de faire passer leur part d'énergies renouvelable de 17% à 35% d'ici 2020. Son but final est 80% en 2050.

### Portugal

En 2010, le Portugal a produit environ 45% de son électricité grâce aux énergies renouvelables. Ce pourcentage était de 17% en 2005. La production éolienne a été multipliée par 7 en 5 ans.

---

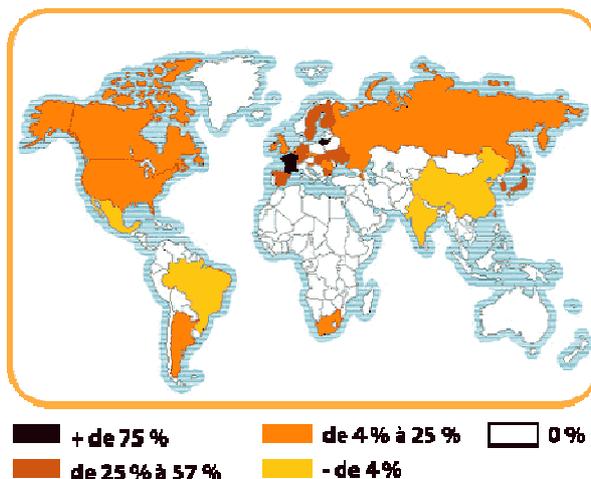
<sup>64</sup> Information trouvé le site de « wikipédia, l'encyclopédie libre », [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_de\\_r%C3%A9acteurs\\_nucl%C3%A9aires](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_r%C3%A9acteurs_nucl%C3%A9aires), le 30.12.2011

<sup>65</sup> Informations trouvés sur le site du journal « Le Monde », [http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/10/24/allemande-la-fin-du-nucleaire-passe-par-le-charbon\\_1592962\\_3244.html](http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/10/24/allemande-la-fin-du-nucleaire-passe-par-le-charbon_1592962_3244.html), le 11.02.2012.

### Pour les autres pays d'Europe

La grande majorité des autres pays d'Europe n'ont pas l'intention de construire de nouvelles centrales nucléaires.

D'après un rapport récent du Centre de recherche sur les énergies émergentes de Cambridge, l'Irlande, le Danemark et la Grande-Bretagne devraient atteindre voire dépasser les 40% d'électricité d'origine renouvelable d'ici 2025.



Rapport entre l'énergie produite et l'énergie consommée dans les différents pays.<sup>66</sup>

## 4. Projets/Solutions

Suite à notre étude sur les centrales nucléaires, nous pensons qu'elles sont un moyen efficace de production d'électricité avec l'avantage de n'émettre aucun gaz à effet de serre. Les centrales sont sûres et très protégées, mais un seul accident aurait des conséquences dramatiques sur toute une population et les effets se feraient ressentir pendant des dizaines d'années comme c'est actuellement le cas à Tchernobyl. La seconde problématique des centrales nucléaires sont leurs déchets. On a vu qu'une seule centrale fabrique 100'000m<sup>3</sup> de déchets radioactifs et il en existe 198 à travers le monde. Nous pensons que la Suisse a pris une bonne décision en décidant de quitter le secteur de l'énergie nucléaire.

<sup>66</sup>Carte trouvée sur un site internet, <http://nucleaire-nonmerci.net/nucleairemonde.html>, le 21.01.2012.

Pour succéder aux centrales nucléaires, nous avons étudié quatre autres moyens de produire de l'électricité. Les panneaux photovoltaïques et les éoliennes sont de bonnes solutions de remplacement, mais ce sont des systèmes coûteux et ils ont chacun leurs inconvénients. Les panneaux solaires ne sont pas écologiques à la production et la Suisse n'est pas suffisamment exposée au soleil avec une moyenne de 1'000 heures par années. Les éoliennes, quant à elles, exigent de grands espaces. Les centrales hydroélectriques sont déjà exploitées de manière optimale, en effet, elles représentent déjà presque 60% de la production annuelle.

Il reste le biogaz qui est un procédé efficace pour remplacer l'énergie nucléaire. Une usine dans chaque village serait nécessaire pour combler partiellement le manque laissé par ces dernières.

Avec 39% de la production annuelle d'électricité, les centrales nucléaires se trouvent en deuxième position des producteurs. Cela représente une très grande part et il n'existe encore aucune solution pour les remplacer. Même en investissant simultanément dans toutes les énergies renouvelables citées ci-dessus, cela ne suffirait pas à combler le manque immense provoqué par la fermeture des centrales. Une autre tactique consiste à faire baisser la consommation des Suisses, ainsi il y aurait moins d'électricité à produire.

Alors, nous nous sommes intéressés aux consommateurs. Nous avons pu observer que les trois plus grands secteurs de consommations d'électricité sont l'industrie, les services publics et les ménages. Et ce dernier point est très intéressant car il nous concerne tous. Si chaque citoyen baisse sa consommation d'énergie, les autres secteurs seront automatiquement impliqués. Il se produirait alors un effet domino qui diminuerait leur consommation également. D'après notre sondage, les deux tiers des suisses sont favorables à l'abandon du nucléaire. Mais contrairement, ils ne sont pas prêts à dépenser plus d'argent pour une énergie verte et seul un quart d'entre eux font réellement attention à leur consommation d'électricité.

La Confédération dispose d'instruments pour modifier le comportement de la population. Depuis 2000, le gouvernement a instauré des lois encourageant la réduction de CO<sub>2</sub> et des énergies fossiles. Cependant, lors de notre sondage, nous avons remarqué que les gens ne se sentent pas très concernés par le problème de l'énergie. Il existe certainement un manque d'information à ce sujet. Les trois quart de la population sondée est intéressée à recevoir un prospectus contenant des conseils afin d'économiser de l'électricité, mais ne se souviennent pas d'avoir vu un spot télévisé ou reçu une brochure informative dernièrement. Ce qui est logique puisque ce type d'information n'existe pas.

Afin de combler cette lacune, nous avons conçu un prospectus qui donne des astuces aux citoyens suisses, leur permettant de consommer moins et ainsi de réduire également leurs factures d'électricité. Cela aurait un effet positif non seulement sur l'écologie mais également sur leur budget.

Nous vous soumettrons notre prospectus lors de notre présentation orale.

## 5. Conclusion

Les centrales nucléaires sont très performantes, mais elles posent de grands problèmes de sécurité.

Après les accidents dramatiques de Tchernobyl et de Fukushima, la population suisse ne veut plus du nucléaire, elle se sent en danger face aux risques imprévisibles et inéluctables qu'il représente. C'est pourquoi le Conseil Fédéral a décidé, le 25 mai 2011 de fermer les centrales nucléaires suisses d'ici 2034.

Afin de lutter contre le réchauffement climatique, les citoyens suisses préfèrent éviter les émissions d'énergie fossile (gaz à effet de serre) et ils ne sont pas prêts à investir dans le financement de production d'électricité écologique.

Le moyen le plus économique de compenser la disparition de l'énergie nucléaire est de faire diminuer la consommation d'électricité. Les ménages attentifs à leur consommation sont peu nombreux par manque de sensibilisation. Pour inciter tous les citoyens à utiliser l'électricité de manière économique, il est nécessaire de les informer efficacement sur les mesures à prendre.

Pour renoncer à l'énergie nucléaire, il est indispensable que le gouvernement suisse mette en place une véritable politique d'énergie écologique qui inclue des investissements dans la recherche des énergies renouvelables, pour alléger leurs coûts, ainsi que de la prévention et de l'incitation active à économiser l'énergie auprès des particuliers, afin d'améliorer leur mode de consommation.

## 6. Bilan personnel

De nos jours, les centrales nucléaires sont encore indispensables. Le gouvernement doit stimuler la recherche des énergies renouvelables. Celles-ci doivent être efficaces et rentables sans quoi aucune entreprise privée ne sera prête à investir massivement dans ce domaine.

La population doit aussi se sentir concernée, car la majorité des citoyens veut que la Suisse sorte du nucléaire, mais n'entreprend rien pour favoriser le changement. L'Etat devrait mettre en place une campagne de sensibilisation, afin d'attirer l'attention du public sur ce problème. Par exemple en diffusant des spots télévisés qui conseillent de débrancher les appareils électriques au lieu de les mettre en veille, d'éteindre la lumière chaque fois que l'on sort d'une chambre ou encore de baisser le chauffage dans les pièces les moins fréquentées. Dans le but que ces gestes deviennent des réflexes pour les particuliers et ainsi éviter le sentiment de subir des contraintes supplémentaires.

## 7. Sources

- <http://www.linternaute.com/histoire/nucleaire/67/a/1/1/3/>
- <http://nucleaire-nonmerci.net/historique.html>
- <http://www.arxam.com/tpe-historique.html>
- <http://www.sortirdunucleaire.ch/index.php?id=21>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale\\_nucl%C3%A9aire#Fonctionnement\\_technique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Centrale_nucl%C3%A9aire#Fonctionnement_technique)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9acteur\\_nucl%C3%A9aire](http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9acteur_nucl%C3%A9aire)
- <http://www.youtube.com/watch?v=yPylu7b7QfY>
- <http://lesmoutonsenrages.wordpress.com/2011/03/20/reacteur-a-eau-bouillante-principe-de-fonctionnement/>
- <http://www.kernenergie.ch/fr>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_de\\_r%C3%A9acteurs\\_nucl%C3%A9aires](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_r%C3%A9acteurs_nucl%C3%A9aires)

- GOSNELL Kelvin & MORZAC Louis, "Comment fonctionnent... Les centrales nucléaires", Editions Gamma – Les Editions Ecoles Active, 32p.
- [http://www.forumvera.info/Newsreader\\_fr/items/historique-du-nucleaire-en-suisse.html](http://www.forumvera.info/Newsreader_fr/items/historique-du-nucleaire-en-suisse.html)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Industrie\\_nucl%C3%A9aire\\_en\\_Suisse](http://fr.wikipedia.org/wiki/Industrie_nucl%C3%A9aire_en_Suisse)
- [http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-\\_content---1--1043.html](http://www.kernenergie.ch/fr/muehleberg-_content---1--1043.html)
- <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/08/02/blank/key/elektrizitaet-serzeugung.html>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_en\\_Suisse](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_en_Suisse)
- [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?lang=fr&dossier\\_id=00867](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?lang=fr&dossier_id=00867)
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/02721/index.html?lang=fr>
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=fr>
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=fr>
- [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=fr&dossier\\_id=00768](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=fr&dossier_id=00768)
- <http://areva.com/FR/activites-807/la-fabrication-des-assemblage-de-combustible.html>
- <http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/index.html?lang=fr>
- [http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/82750/s\\_name/dechetsdehauteactivitedha](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/82750/s_name/dechetsdehauteactivitedha)
- [http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/87730/s\\_name/enbref](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/87730/s_name/enbref)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_en\\_Suisse](http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_en_Suisse)
- [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/08/02/blank/key/ein-\\_und\\_ausfuhr.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/08/02/blank/key/ein-_und_ausfuhr.html)
- <http://www.tpepanneauxsolaires.fr/fonctionnement.html>
- [http://basetpe.free.fr/tpe1/solaire/fonctionnement\\_solaire.html](http://basetpe.free.fr/tpe1/solaire/fonctionnement_solaire.html)
- <http://panneausolaire.free.fr/>
- <http://www.eco-energie.ch/content/view/129/26/>
- <http://www.integrasolar.ch/solutions-photovoltaiques/calculer-mes-revenus.html>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_de\\_r%C3%A9acteurs\\_nucl%C3%A9aires](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_r%C3%A9acteurs_nucl%C3%A9aires)
- [http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/10/24/allemanne-la-fin-du-nucleaire-passe-par-le-charbon\\_1592962\\_3244.htm](http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/10/24/allemanne-la-fin-du-nucleaire-passe-par-le-charbon_1592962_3244.htm)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Politique\\_%C3%A9nerg%C3%A9tique\\_de\\_l'Union\\_europ%C3%A9enne](http://fr.wikipedia.org/wiki/Politique_%C3%A9nerg%C3%A9tique_de_l'Union_europ%C3%A9enne)
- <http://nucleaire-nonmerci.net/nucleairemonde.html>
- ROSSEL Jean, "L'enjeu nucléaire", Editions Pierre Favre, Lausanne, 1977, 127p.

- [http://basetpe.free.fr/tpe1/eolien/fonctionnement\\_eolien.html](http://basetpe.free.fr/tpe1/eolien/fonctionnement_eolien.html)
- <http://www.edf.com/html/panorama/production/industriels/renouvelable/eolien/fonctionnement.html>
- <http://energie.24heures.ch/article/une-%C3%A9olienne-dans-son-jardin>
- [http://fr.ekopedia.org/Barrage\\_hydro-%C3%A9lectrique](http://fr.ekopedia.org/Barrage_hydro-%C3%A9lectrique)
- <http://www.jcr-photos.ch/388301.html>
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/00492/index.html?lang=fr>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse\\_\(%C3%A9nergie\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse_(%C3%A9nergie))
- <http://www.wwf.ch/fr/lewwf/notremission/climat/energies/biomasse/>
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00496/index.html?lang=fr>
- [http://www.biomasseenergie.ch/FR\\_Home/tabid/469/language/fr-CH/Default.aspx](http://www.biomasseenergie.ch/FR_Home/tabid/469/language/fr-CH/Default.aspx)
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/02577/index.html?lang=fr>
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00531/index.html?lang=fr>
- [www.bafu.admin.ch/klima/00493/00494/index.html?lang=fr](http://www.bafu.admin.ch/klima/00493/00494/index.html?lang=fr)
- <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/18383.pdf>
- <http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=fr&msgid=26023>
- <http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html?lang=fr>
- <http://www.stiftung-kev.ch/fr/subvention.html>