

L'Energie Nucléaire

Voici deux mots qui semblent s'opposer:

- Energie. Qui en conteste le besoin, de l'éclairage au chauffage (le confort de base), de la prise de courant à l'automobile et la réalisation de tous les produits ??

-Nucléaire. Qui ignore la bombe atomique, les "déchets "et leur radioactivité, Three Miles Island, Tchernobyl (ce qu'on en a dit), et autres? Le terme «nucléaire» serait-il le signe du danger?

Ces deux mots que de nombreuses circonstances ont rapprochés, nous préoccupent aujourd'hui: peut-on les séparer, et même oublier le second?

Je n'ai pas de réponse à la question, car elle appartient à chacun d'entre nous (consommateurs d'énergie, et que je suppose opposés à la violence), mais je voudrai essayer d'en expliquer les bases.

_____ Puis-je commencer par me présenter moi-même?

L'un de mes frères, qui nous représente tous à Moûtiers après avoir vécu la période 39-45 au Villard du Planay se rappelle que je n'avais pas été vraiment surpris par

l'énergie dégagée par les bombes qui ont stoppé en 1945 la guerre du Japon, alors que mon cerveau de 10 ans enregistrerait les déclarations à la radio concernant les rapprochements entre la fission de l'uranium, l'apparition de la notion d'eau lourde, et la lutte effrénée entre l'Allemagne de l'époque et l'Amérique du Nord (centre nucléaire de CHICAGO et sa première pile atomique). Au cours de mes études d'ingénieur électricien à Grenoble, j'ai vu s'y installer le Commissariat à l'énergie atomique, sur un ancien polygone militaire ; et j'ai même vu s'y construire sous mes yeux un réacteur nucléaire, voué à la recherche, baptisé Mélusine, dans la suite de ce qui se faisait à Saclay. Et à la demande de Louis Néel, s'établir dans le cadre de l'institut polytechnique une nouvelle école dite de Génie **Atomique**. Mon diplôme d'électricien en poche, je me suis laissé tenter, alors que le service militaire me conviait à participer au "Maintien de l'ordre en Algérie". Cela pouvait attendre un an. C'est ainsi que j'ai appris ce qu' était le Nucléaire, la Neutronique, et tous ces termes entendus dans ma prime jeunesse et présentés de façon si menaçante. Et voila **Mélusine** aux portes de la ville. Lors du premier cours de neutronique, j'ai entendu confirmer que le réacteur de fission était la source d'énergie du futur, mais que dans 10 ans, il serait remplacé par la fusion ! Après mon service militaire en Algérie, je serai embauché pour construire **SILOE**, qui remplacera Mélusine. Pour ceux qui connaissent Grenoble, j'ai eu le bonheur d'être désigné pour étudier et construire avec les allemands ce qu'on nomme maintenant l'ILL ou Institut Max von Laue -Paul Langevin, où fonctionne depuis 1971 un réacteur de recherche à Haut Flux de neutrons thermiques, et qui partage même maintenant le voisinage avec le Synchrotron, ou ESRF (European Synchrotron Radiation Facility).

Chapitre 1 L'énergie.

Est-il nécessaire de faire appel à Max Planck, ou à Albert Einstein pour en expliquer l'origine??

Les premiers "outils", en pierre taillée, remontent à 2,3 millions d'années, et grâce au progrès, ils s'affineront jusqu'à devenir le biface il y a 1,3 millions d'années .
L'un de ses successeurs magnifiquement affiné a même été retrouvé dans le Doron au Villard du Planay par ma famille, et cédé gracieusement au musée de MOUTIERS. Des vandales ont décidé de le renvoyer à la rivière par ce qui peut apparaître comme un juste retour des choses, mais une perte certaine pour le musée. De l'énergie musculaire du tailleur de pierres, qui lui permettait de vivre, c'est-à-dire l'aidait à se défendre et à se nourrir, nos ancêtres parviennent il y a 400.000 ans à ce qu'on nommait à l'époque, de façon un peu présumptueuse, la "maîtrise du feu," (peut-on vraiment affirmer aujourd'hui qu'on "maîtrise le feu"?), mais ces hommes étaient déjà entourés des risques de tremblements de terre et des tsunamis , des volcans et de tornades, et autres glissements de terrain. Cela ne les empêchera pas, il y a 280.000 ans d'utiliser les pigments, et même de créer des parures. Il y a 100.000 ans, une prise de conscience de leur existence les poussera même aux premières sépultures, (ne serait ce pas là l'origine des religions) .Et 60.000 ans plus tard, les premières manifestations de **"l'Art.**

La prise de conscience de l'énergie du vent (qu'on nommera cinétique beaucoup plus tard) sera utilisée par des moulins à vent (futures Eoliennes), de même que celle de l'eau des rivières suggèrera les moulins à eau, le goût de chacun pour ce mot ENERGIE et ses effets s'est affirmé au point que l'ont a fini par en faire "un élément essentiel" de la vie.

Et puis BERGES propose la Houille Blanche, jolie expression pour l'énergie hydraulique, source que l'on espère inépuisable et irremplaçable, malgré des limites que l'on préfère parfois oublier en face des avantages.

L'énergie électrique dès son apparition séduit tout le monde malgré les dangers dont il faudra longtemps, (et combien de victimes) pour la maîtriser et la mettre à la disposition de tous (C'est devenu un droit fondamental)

Elle présente pourtant, cette électricité, une caractéristique très particulière qui est qu'elle doit être utilisée dès sa production, car elle ne peut ni être mise dans un réservoir, comme l'eau ou le carburant, ni transportée DANS UN VEHICULE privé ou non. Nous évoquerons les piles et les batteries, mais aussi leurs limites. Et bien sûr les lignes électriques qui transportent l'énergie produite, mais à la condition qu'elle soit utilisée immédiatement à l'autre extrémité.

Comme tout dans ce monde, l'énergie électrique reste dangereuse, et cela d'autant plus qu'elle est si simple d'emploi.

Je viens tout juste d'évoquer les lignes à haute tension, que l'on préfère loin de chez nous, pour des raisons esthétiques, même sans parler des risques pour tout ce qui vole, ou des effets locaux d'un ouragan qui se permet parfois d'abattre une ligne.

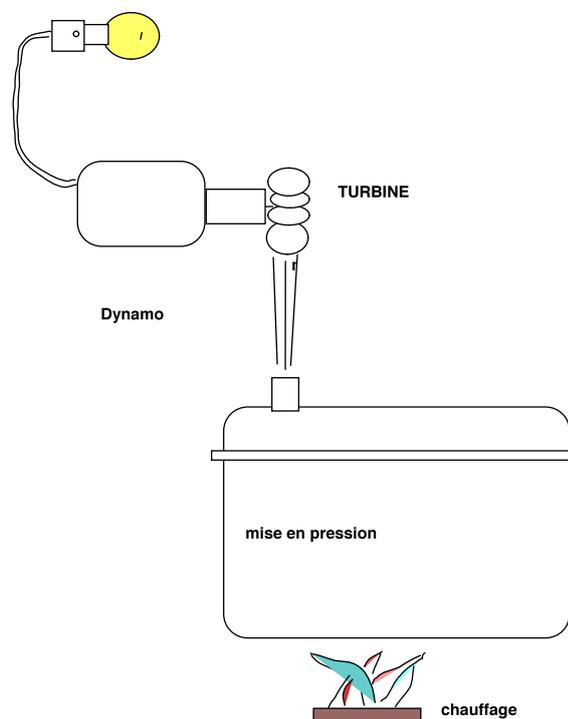
Aucune hésitation, il faut la produire partout où la moindre forme d'énergie est accessible et peut donc être transformée en ELECTRICITE

L'énergie musculaire évoquée au tout début peut en produire grâce à la dynamo de vélo!!

L'énergie hydraulique: elle a marqué les débuts de l'industrie, et nombreux ont été ceux qui avaient une rivière près de chez eux pour y installer un "moulin électrique". Plus les vallées étaient étroites et profondes, et plus elles étaient recherchées. Puis-je évoquer avec émotion le VILLARD du PLANAY, ses conduites forcées, mais aussi ses Electrobus à courant continu?

En un demi siècle, il n'existe plus une seule chute d'eau, sans barrage, ni avec barrage qui puisse encore être exploitée. Dommage pour les fabricants de turbine "PELTON" ou autres, que j'ai bien connu. Puis-je évoquer le LAC du Mont Genis??

Il a fallu inventer la CENTRALE électrique. C'est un système très simple que je vais essayer de vous construire.



CENTRALE ELECTRIQUE

Commençons par la sortie:

La dynamo. Vous conviendrez que c'est un peu limite face à nos besoins : 5 Watts permettent de se faire voir sur la route, mais ne peuvent actionner la machine à laver. Il faudrait 200 cyclistes au minimum.

On la remplace par un alternateur, car ce dernier qui produit du courant alternatif permet d'adapter la tension (et donc l'énergie transportée dans le fil ou la ligne). Grâce à un transformateur, on vous livre du 220 volts, à votre domicile, moins dangereux que le 20.000, ou 50.000, ou 200.000 Volts qui eux permettent de transférer par les câbles conducteurs en Aluminium des lignes à haute tension de quoi alimenter toute la ville ou la région.

La cocotte minute, pour les mêmes raisons sera remplacée par un grand réservoir d'eau aux cloisons capables de supporter des centaines de degrés de température pour obtenir une pression qui puisse fournir une énergie cinétique à la hauteur des besoins. Mais ou prendre l'énergie de chauffage?

La vapeur des locomotives est connue. Elle fera tourner des turbines au lieu des roues. Et on a du charbon.

Les besoins augmentent, et le charbon diminue, même sans évoquer le travail des mineurs que je salue avec respect.

On commence à parler du pétrole, cette magnifique trace du passé lointain de nos forêts. Il faut le trouver, l'extraire, le traiter, et TOTAL naîtra des découvertes faites au sud de l'Algérie.

Les besoins continuent à augmenter, les recherches à coûter plus cher, la concurrence à forcer les prix (même sans la taxe carbone!), et surtout la dépendance de pays étrangers.

Le général de Gaulle crée le Commissariat à l'énergie atomique.

La France essaie le nucléaire avec l'Uranium qu'elle possède. dit "uranium naturel " J'y reviendrai . On creuse des mines, et on réussit à faire fonctionner un premier réacteur dit GRAPHITE-GAZ parce qu'on a tout ce qu'il faut sur place.

Un avenir français s'ouvre, qu'en ferons-nous?

Pourquoi le premier réacteur est-il à graphite-gaz? C'est une question essentielle!! Et, cette fois, nous entrons **dans le nucléaire.**

Chapitre 2 Qu'est ce que le nucléaire?

Une approche simple consiste à examiner ensemble ce qu'est le monde dans lequel nous vivons. Voyons quelle est sa "brique" de base, son élément fondamental?

C'est l'**ATOME**, une "brique composée d'un "Noyau" autour duquel tournent des **électrons**. Ces deniers, on les a rencontrés, on les fait circuler dans les fils électriques... **C'est cela qu'on appelle le courant électrique**

Il existe une centaine d'atomes différents dans notre univers, depuis l'hydrogène jusqu'aux plus lourds parmi lesquels l'uranium. Ils sont listés dans un tableau établi par Mendeleïev

On y trouve, du plus léger au plus lourd, tous les atomes, dont le numéro correspond au nombre d'électrons:

-Des gaz Hydrogène, Oxygène, Azote, mais aussi Hélium etc.

- Des métaux Fer, Cuivre, Aluminium, Plomb, Or, Platine

- Le Carbone (la base de la vie)

L'hydrogène est le premier car il n'a qu'un seul électron, et l'uranium porte le numéro 92, mais n'est pas le dernier de la liste.

La science qui s'occupe de la partie extérieure de l'atome, (les électrons) s'appelle **la Chimie**. Pour faire plaisir à ceux qui s'intéressent à l'environnement, c'est-à-dire nous tous, il y a deux chimies :

La chimie organique à base de Carbone, qui a besoin de l'eau, oxygène et hydrogène, de l'azote fréquent dans l'atmosphère, et qui est à l'origine de la vie, la notre et celle de nos enfants, celle des animaux, celle aussi de toute la nature, de nos plantes et de nos arbres, et qu'il nous appartient de sauver!!!!

La chimie minérale qui s'intéresse aux métaux, aux pierres, bref, aux minéraux qui constituent nos montagnes, et la base de nos habitations.

Venons-en au **NOYAU**. **Il est tout petit**, mais c'est lui qui pèse dans l'atome, donc lui qui contient l'énergie. Il est à la base de la science du NUCLEAIRE dont nous allons parler.

La masse du noyau, est la base de l'univers, (Le poids de tout ce qui est soumis à la pesanteur), et elle représente donc une énorme énergie.

Le Noyau contient des "**protons**" dont la charge électrique positive compense la charge des électrons, identique, mais négative, je le rappelle, et rend l'atome généralement neutre. Mais il contient aussi des **neutrons** dont le poids est le même que celui du proton, mais sans charge électrique. La science qui s'en occupe se nomme **la neutronique** et son rôle est essentiel dans ce qui nous intéresse.

Chapitre 3 Les Réacteurs nucléaires

Nos scientifiques, après les découvertes de la radioactivité par Marie Curie, et de la fission par Otto Hahn et Lise Meitner en Allemagne et Irène Curie en France se sont vite aperçus que des noyaux lourds pouvaient se casser, (la fission), en produisant une énorme énergie. En outre, des noyaux légers peuvent fusionner pour produire là aussi une énorme

énergie. Le soleil n'a pas attendu pour nous en régaler, et le projet ITER est là pour essayer d'en mettre "de petits morceaux en boîte." Nous l'évoquerons.

Pourquoi avons nous commencé par le Graphite Gaz? Parce que nous avions tout ce qu'il nous fallait en France.

L'uranium naturel existe en France, où il est composé comme partout dans le monde de nombreux "isotopes". (Consacrons quelques instants à expliquer ou rappeler ce qu'on appelle «isotope» L'uranium se distingue des autres atomes parce qu'il a 92 électrons, donc 92 protons. Mais le nombre de neutrons peut être différent. C'est ainsi que l'uranium contient entre autres l'isotope 238 (avec 146 neutrons). Or seul le 235 (avec ses 143 neutrons, est fissible, c'est-à-dire 0,07% de l'uranium naturel. Les fabricants de bombes savent l'enrichir (nous y viendrons), mais ce n'est pas notre problème, nous allons essayer de nous contenter de ce que nous avons. Profitons de la notion d'isotope pour comprendre la différence entre l'eau lourde et l'eau légère. L'eau légère H_2O est une molécule qui comporte un atome d'oxygène et 2 d'hydrogène. Mais si l'hydrogène normal n'a pas de neutron dans son noyau, il existe un isotope de l'hydrogène, le deutérium, qui comporte un neutron et la molécule d'eau lourde n'est plus H_2O , mais D_2O

La FISSION: Elle mérite un petit détour C'est la cassure du noyau dont nous avons vu qu'il représentait une très grande énergie, et donc, les neutrons libérés sont extrêmement énergiques, c'est-à-dire très rapides (grande vitesse et énergie de plusieurs Mev, (millions d'électronvolts). Ils ont évidemment très peu de chance de rencontrer et donc de casser un nouveau noyau d'uranium 235 qui est si rare. Il faut donc trouver des diffuseurs, **ou modérateurs**, qui les ralentissent par chocs successifs très nombreux jusqu'à une vi-

tesse très lente qui en fait des neutrons baptisés THERMIQUES qui eux sont très efficaces (moins de un ev). Ils sont prêts alors à casser l'uranium 235 pourtant si rare.

Les neutrons naissent rapides, mais ne peuvent être utilisés qu'à l'état thermique en raison du si faible taux disponible de l'uranium 235 dont on veut casser le noyau. Les éléments modérateurs sont très peu nombreux, car il ne faut pas qu'ils absorbent ce qui est le cas de l'eau (H₂O) mais qu'ils diffusent, ce que fait l'eau lourde (D₂O), très rare, et qui intéressait beaucoup Hitler (et d'autres).

C'est parti: Un neutron issu d'un noyau d'uranium peut casser un autre noyau, mais à condition d'être RALENTI. Donc on l'oblige à se promener dans un "Modérateur" qui le ralentit en augmentant considérablement sa chance de casser. On l'appelle alors Neutron thermique et c'est le rôle du graphite de provoquer le passage du neutron rapide au thermique. La fracture a lieu qui produit de nouveaux neutrons rapides qui seront ralentis à leur tour, et beaucoup d'énergie qui est utilisée pour réchauffer du Gaz carbonique qui remplace l'eau de la cocotte, et jaillit en poussant sur les ailes de la turbine. La lampe s'allume, on a réussi !

Mais vous comprendrez dès lors qu'un réacteur doit permettre d'assurer ce qu'on appelle des réactions en chaîne suffisamment nombreuses pour assurer un chauffage du fluide caloporteur régulier et permanent, ce n'est pas si simple, et cela ne peut certainement pas produire ce qu'on appelle EXPLOSION NUCLEAIRE. Nous y reviendrons.

Peut-on faire mieux??

Premier problème, c'est justement le nombre de fissions

Avec de l'uranium enrichi, (à 2,5% ce serait parfait) on pourrait remplacer le Graphite par de l'eau. On va le faire avec succès!!!

Deuxième problème; le rendement:

Par la faute de la Thermodynamique de Carnot, et de son cycle, (voir le rendement de 30% des moteurs à explosion de nos voitures), nous n'utilisons, aux alentours de 250° centigrades que moins d'un tiers au maximum de l'énergie tirée de l'uranium pour produire de l'électricité, les 2 autres tiers réchauffant la rivière!!

Qui n'a pas remarqué les énormes tours de refroidissement qui rejettent de la simple vapeur d'eau auprès des réacteurs? On pourrait chauffer des villes avec cela.

Troisième problème; les déchets.

Ce problème multiple occupe les esprits en raison de leur "radio «activité, et dans la foulée, leur retraitement, leur stockage, et donc leur avenir et les dangers qui y sont liés.

Chapitre 4: La génération actuelle du nucléaire français, de 1960 à 1995, et son futur.

La France décide de racheter aux Etats Unis le brevet de Westinghouse, réalisé dans les années 50 en vue de construire un réacteur de propulsion navale.

Grâce à l'emploi d'uranium légèrement enrichi: 2,5% (alors qu'il faut aller beaucoup plus haut pour une bombe), on peut remplacer le graphite par de l'eau, et porter sa température à des niveaux qui permettent un rendement du cycle thermodynamique de l'ordre de 33%, ce qui conduit aux réacteurs à eau bouillante REB, ou à eau pressurisée REP. L'eau occupe le rôle de modérateur, beaucoup moins bien que le graphite, puisque l'eau légère capture des neutrons, mais par contre, elle assure avec une grande efficacité le rôle de caloporteur.

Le contrôle s'effectue grâce à des **BARRES DE CONTROLE**, composées d'un élément qui absorbe très fortement les neutrons et stoppent instantanément toutes les fissions. C'est généralement le BORE. Mais ce contrôle ne consiste surtout pas à agir sur la puissance du réacteur. En cas d'incident pouvant être grave, les barres tombent et stoppent toute réaction. Le réacteur ne pourra repartir qu'après les contrôles techniques, bien sûr, mais aussi après la décroissance des derniers produits de fission qui empoisonnent temporairement le cœur après chaque arrêt.

Ces appareils bien établis depuis 1970 -1975 fonctionnent sur le même principe que le Graphite-Gaz, mais avec un taux de fiabilité bien supérieur. Il en fonctionne plus de 450 dans le monde, ce qui représente plus de 10.000 années-réacteur. Ils ont fait l'objet d'études permanentes en vue de leur sécurité. En particulier, comment ignorer que ces réacteurs sont conçus **PAR SOUCI DE SECURITE pour avoir " un coefficient de température négatif"**, ce qui signifie qu'une augmentation de la température normale de fonctionnement conduit à l'étouffement et son arrêt, **malgré le désagrément du au fait qu'il faudra plusieurs jours avant d'envisager son redémarrage. C'est le prix de la sécurité.** Mais cela

suppose évidemment un contrôle strict et permanent. En évitant la fusion des parties les plus chaudes, on garde son contrôle.

Le moment est sans doute venu d'évoquer Tchernobyl. Dans les semaines qui ont suivi sa destruction en 1986, plusieurs scientifiques qui travaillaient avec moi à l'ILL, à Grenoble, dont deux allemands que j'ai bien connus à l'époque, ont été invités à examiner le site d'Ukraine et à diagnostiquer les bases de l'accident. Quatre réacteurs du même type (RBMK) y avaient été construits. Ils étaient connus pour avoir des faiblesses intrinsèques de construction: absence d'enceinte de sécurité, existence de régimes de fonctionnement instables, système de barres de sécurité incertain. Le dernier avait démarré en 1984, et il aurait pu fonctionner de nombreuses années si le 25 avril 1986, une équipe d'opérateurs n'avait pas voulu (en ignorant les consignes strictes), tester le refroidissement du réacteur en réduisant sa puissance, alors qu'ils savaient que cela le faisait évoluer dans une zone de fonctionnement instable. Dans la nuit qui a suivi, ils n'ont pas su réagir à des signaux d'arrêt d'urgence. Un pic de puissance est alors atteint et une pression de vapeur excessive soulève la dalle de béton supérieure de l'enceinte qui retombe en biais et brise les éléments du cœur, ce qui laisse s'échapper des fragments d'éléments combustibles très chauds qui provoquent des foyers d'incendies que les pompiers mettront 3 heures à maîtriser. Gaz et poussières radioactifs seront émis pendant 10 jours.

Les réacteurs actuels, et nous évoquerons le futur déjà commencé de l'E P R, European Pressurized water Reactor ne sont pas des générations nouvelles, mais des installations qui font l'objet d'améliorations constantes.

D'autres voies "possibles" existent, comme le Réacteur rapide, qui n'a plus besoin de ralentir les neutrons qui viennent de naître, ce qui évite le "modérateur" et permet

d'autres caloporteurs que l'eau (des gaz ou du sodium) à des températures autorisant des rendements bien supérieurs. Qui a oublié le réacteur de Creys-Malville nommé Super Phénix à la suite de Phénix, qui fonctionnait à Marcoule, Celui de Creys Malville, victime d'un incident, fut arrêté pour des raisons politiques alors que son but était d'examiner des voies futures que je vais essayer de vous présenter. Ce fut peut-être un énorme gaspillage

POURQUOI?

Vous avez noté avec moi que le combustible nucléaire, l'Uranium naturel ne contient que 0,07% d'utile, le U 235. Nous avons constaté que cette rareté entraînait l'obligation d'un modérateur, et que l'ensemble fonctionnait avec un rendement limité à 33%. Or, parmi les «déchets» se trouve le Plutonium 239, nouvel atome avec 94 électrons dont le noyau est fissible et très énergétique, qui est né de l'acquisition d'un neutron par l'uranium 238. Nous avons donc essayé un réacteur qui utiliserait l'ensemble 238 avec son 235 habituel et également du Plutonium. Les cibles fissiles étant plus nombreuses, on n'a plus besoin de modérateur, (d'où le nom de réacteur rapide), et on utilise un caloporteur qui peut agir à plus de 600°, ce qui permet de doubler le rendement énergétique. C'est cela que faisait Super Phénix sur lequel, après une période de bon fonctionnement, nos techniciens se sont trouvés confrontés à des problèmes importants. Lorsque l'accident grave de Tchernobyl, baptisé «explosion» est survenu, il a excité les peurs et aboutit finalement à l'arrêt définitif de Super Phénix et à son coûteux démantèlement. Ce réacteur est aujourd'hui étudié ailleurs, sur nos traces. Nous l'envisageons à nouveau en France ce que nous nommons le «sur-régénérateur.» Que peut-on en penser ??

Des réflexions et des travaux sont menés également pour circonscrire l'ensemble des problèmes liés à l'arrêt des réacteurs usés, et à la libération des terrains oc-

cupés, le tout bien sûr après une période sous surveillance. (Par exemple dans les Monts d'Arrée en Bretagne ou même à Grenoble où on étudie actuellement la libération des terrains de Mélusine et Siloé). Mais le démontage précoce d'un réacteur d'essai non exploité coûte cher!!!

L'EPR

Il est vrai qu'il y a longtemps qu'on en parle. En fait ce réacteur n'est que l'évolution, dictée par l'expérience, des réacteurs que nous avons construits en France. Il date donc de la fin des années 90, et il est peut-être dommage qu'on n'en ait pas construit un prototype dans les années suivantes. En outre, les industries concernées en France sont toutes aujourd'hui couvertes par le terme AREVA (CEA, Framatome, Cogéma, Alstom et autres) et en plus semblent lutter avec l'EDF, qui va jusqu'à chercher de la concurrence en Russie. Le produit en cause mérite mieux que ces débats franco-français.

La sûreté de l'EPR:

. Cinq niveaux de défense identifiés :

- maîtriser des accidents graves tels que fusion du cœur par double enceinte de béton, celle intérieure en précontraint assurant l'étanchéité et la résistance à une pression de 6,5 bars, et celle extérieure assurant une protection contre une agression extérieure.

- en outre, en cas de décomposition de l'eau sur les gaines en zircalloy des éléments combustibles (production d'oxygène et d'hydrogène), il y a quarante recombineurs catalytiques pour absorber l'hydrogène en tout point, afin d'éviter une explosion accidentelle. Ce type d'explosion locale avait eu lieu à Tchernobyl et détruit partiellement le système de barres de contrôles

- étalement et refroidissement du magma de cœur fondu, assuré par le béton réfractaire et noyade de la couche de matière en fusion, si vraiment le problème devait se poser.

-. Contrôle de pression de l'enceinte intérieure assurée par un système d'aspersion dédié.

La compétitivité:

. Combustible à épuisement élevé (65 000 mégawatts jour par tonne) ce qui entraîne une diminution des déchets produits de 10% . (Puissance de 65 000 mégawatts toutes les 24 heures pour chaque tonne de combustible)

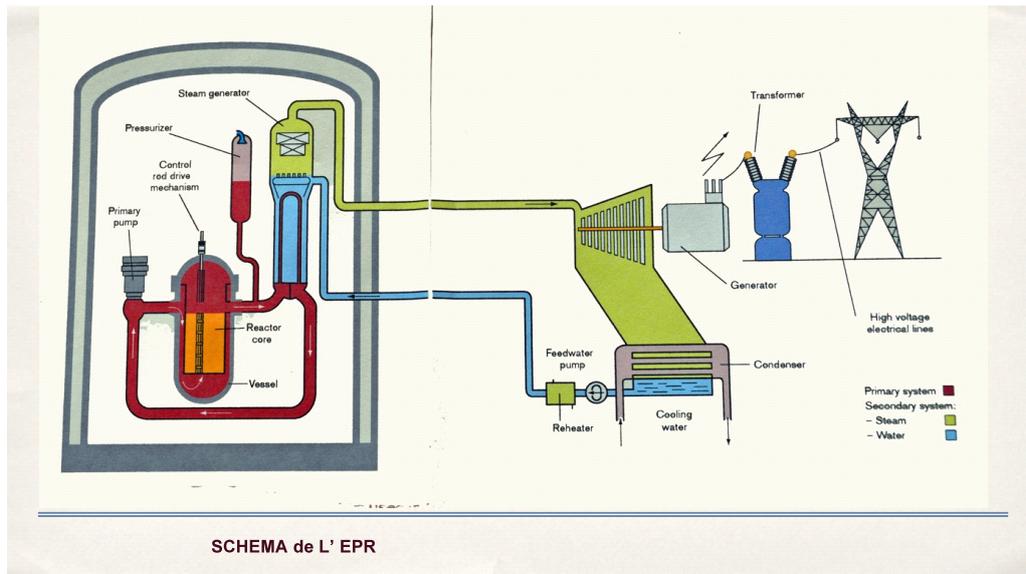
. Pression sur le circuit secondaire plus élevée (74 bars absolus), ce qui améliore le rendement thermodynamique du cycle (36%)

. La réduction des durées d'arrêt: Arrêt standard de 19 jours, et une partie de la maintenance s'effectue réacteur en service.

. Disponibilité accrue, due à une réduction des arrêts (intempestifs ou programmés) la disponibilité passant à 92% au lieu de 82 à 87%. Avec également un cycle d'exploitation de 1 à 2 ans.

. Un objectif pour le cumul des doses radiologiques encourues. Le personnel des centrales ne peut absorber plus de 20 millisivert /an . Les mesures de contrôle sont fréquentes et régulières .

Consacrons quelques instants à visiter le schéma de l'EPR



Chapitre 5 Les déchets.

Ce qu'on aurait pu appeler déchet, il y a deux siècles, étaient les excréments des animaux. Ils sont encore heureusement réutilisés. Il y a encore 40 ans, je m'en souviens, les déchets nommés aujourd'hui ménagers s'apercevaient parfois aux pieds de ruines ou sous des buissons, au fond des torrents et lits de rivières, ou dans les lacs sans parler des mers. Je ne sais pas à Moutiers, mais à Grenoble, la contamination apparaissait. Et puis on y a un jour ajouté les plastiques, premiers "déchets" permanents. Et la société dite de consommation a forcé la prise de conscience et inventé la "déchèterie». Mais ce mot déchet ne convient pas toujours pour le nucléaire. Nous l'utiliserons à défaut d'autres mots!

Les déchets nucléaires sont des "morceaux" des éléments de notre univers terrestre qui y retourneront. **Mais ils sont radioactifs**. Savez vous que nous avons la preuve absolue qu'un réacteur nucléaire naturel a fonctionné en Afrique, (réacteur naturel d'OKLO, près de Franceville au GABON) il y a fort longtemps, des milliards d'années, mais que l'on

distingue par la pauvreté exceptionnelle de l'uranium naturel local en U235, l'uranium naturel n'y contient dans la zone que 0,717 au lieu de 0,720% et même en certains endroits 0,440%) mais aussi par des restes de produits de fission et même par une température du sol interne un peu supérieure à celle des environs. Aucun de nos lointains ancêtres n'était encore apparu sur cette terre!!

La radioactivité est pour le physicien indissociable de l'aventure de l'exploration de l'atome. Elle constitue pour l'ingénieur une source d'énergie inépuisable et pour le chercheur, comme pour le médecin, elle est un outil de diagnostic extraordinaire. Mais pour *M. ou Mme Tout -le -Monde*, elle est surtout la source de peurs, certaines légitimes, d'autres irraisonnées. C'est l'occasion aujourd'hui d'essayer d'approcher la vraie nature de la RADIOACTIVITE, celle en tous cas qui provient des éléments combustibles usés.

L'assemblage de combustible, avant l'irradiation contient 500 kg d'uranium. Sa composition après irradiation est la suivante:

- - Uranium 95 à 96% recyclable
- - Plutonium 1% très énergétique : nous en reparlerons (MOX)
- - Produits de fissions 3 à 5% qui sont de purs déchets.
- **Actinides**. Ils ne représentent que 0,1%. Comme le Plutonium, ils sont plus lourds car ce sont des isotopes du Neptunium, de l'Américium et du Curium, mais ne sont pas fissionables. Ce sont eux qui posent des problèmes pour le stockage en raison d'une durée de vie plus longue que les autres produits de fission. Avec ces derniers, ils concentrent toute la radioactivité initiale. Il convient d'empêcher leur dissémination, mais leur radioactivité est divisée par plus de mille les 300 premières années.

Après un premier retraitement qui les a séparés de l'Uranium et du Plutonium, les déchets radioactifs sont vitrifiés et entreposés dans des puits ventilés à la Hague (après l'avoir été à

Marcoule ou sont encore stockés les déchets des réacteurs Graphite-gaz)). Il s'agit d'un stockage provisoire en attendant un stockage géologique. Ce dernier fonctionne très bien à condition qu'une bonne surveillance soit assurée. La durée de l'entreposage est la base des études faites actuellement par la Commission Nationale d'Evaluation (CNE).

Pour être encore plus précis, la France utilise un classement pour adapter la gestion des déchets radioactifs à leur nature, à leur volume et aux risques qu'ils présentent, ce qui conduit à 5 grandes catégories:

- TFA ou très faible activité
- FMAVC, ou **type A** de faible et moyenne activité à vie courte
- MAVL ou **type B** de moyenne activité à vie longue
- HA ou **type C** de haute activité,
- FAVL déchets de faible activité à vie longue

Les déchets de très faible activité verront leur volume augmenter quand les centrales nucléaires en activité devront être démantelées.

Les déchets de type A représentent à eux seuls 80% du volume, mais seulement 1% de l'activité totale. Leurs origines sont variées: gants, résines, filtres contaminés venant des usines nucléaires, mais aussi des laboratoires, de la médecine, ou de l'industrie.

Les déchets B constituent en France 5% du volume et 4% de l'activité, et proviennent des résidus du retraitement et des gaines contenant le combustible;

Les déchets C sont des déchets de très forte activité. Ils concentrent près de 99% de la radioactivité du combustible irradié, mais leur volume ne représente que 0,2% du total.

Le combustible qui n'est pas retraité est destiné à être a nouveau combustible un jour et n'est pas considéré comme un déchet. (Plutonium)

Aux Etats Unis, en Suède et dans d'autres pays, ces combustibles sont au contraire considérés comme des déchets. Si cette position est maintenue, le volume de déchets de forte activité à stocker sera plus important.

La France est le seul pays qui, à la Hague, assure le retraitement des déchets, pas tous encore, malheureusement, et parfois pour des pays étrangers (Suisse, Belgique, Hollande, Australie et Japon), qui apprécient notre compétence et ne demanderaient pas mieux que de nous laisser après traitement des déchets si bien traités!

En cas d'incident du fonctionnement d'une centrale qui entraînerait une contamination locale, l'iode fait partie des premiers produits susceptibles d'intervenir sur la thyroïde. C'est pourquoi une distribution d'iode non radioactif peut être recommandée, en cas d'incident radioactif, pour que chacun puisse se protéger contre la fixation d'iode radioactif.

Les réacteurs nucléaires sont évidemment des installations qui peuvent présenter des dangers graves, plus d'ailleurs sur le plan de la contamination radioactive que le plan énergétique. Les normes de sécurité, et les personnels qui sont chargés de leur application sont placés sous une haute autorité adaptée. Mais sans minimiser quoi que ce soit, je voudrais rappeler combien d'autres domaines d'activité mériteraient d'être surveillés d'aussi près. Certes, il y a des moyens qui peuvent paraître moins dangereux et moins contaminants. Puis je cependant signaler que même les éoliennes, si adaptées à certains besoins moins énergivores ont besoin de batteries importantes entre la production d'électricité (continue), et sa transformation en courant alternatif via des onduleurs. Et les composants des batteries (sans être radioactifs) ne sont pas les plus simples.

Le MOX

Dans ce qu'on appelle "le recyclage" des combustibles nucléaires usés, il faut voir un traitement destiné à aller plus loin dans leur utilisation. Le combustible n'est pas forcément usé, car il se peut qu'il contienne sous une autre forme une énergie nouvelle. C'est le cas du combustible MOX "combustible mixte d'oxyde d'uranium et de plutonium," ce dernier étant né sous le choc de l'uranium et de neutrons qui n'auront pas abouti à des fractures. Or, un gramme de plutonium peut produire autant d'électricité qu'une tonne de pétrole. Du plutonium est de plus en plus disponible dans le monde ou hélas, bien sûr, il peut servir à la construction de bombes, mais qui représente une réserve d'énergie qu'il vaut mieux consacrer à la production d'électricité dans de nombreux pays où elle manque encore. En 2002, les américains choisissent le MOX de la COGEMA pour recycler le Plutonium militaire en excès .Et pour une fois que la France se trouve en tête d'une technologie utile.....

Chapitre 6 - Comment peut-on voir le futur ?

La France ne figure pas parmi les plus gros producteurs de CO2. Qu'en serait-il si nos centrales fonctionnaient au charbon, ou au pétrole ???

Si on sait de mieux en mieux en maîtriser les risques, et dans ce domaine, notre expérience est grande, et a fait ses preuves, l'EPR est un élément essentiel pour le futur en France ou à l'étranger.

Un élément important d'études futures reste aussi les tentatives largement justifiées par notre appétit en énergie d'améliorer le rendement thermique des centrales. Une centrale thermique pourra-t-elle un jour, qu'elle soit nucléaire ou pas, produire 3 fois plus

d'énergie qu'aujourd'hui?? Tant pis pour la taxe carbone, mais tant mieux pour l'environnement, quand le moteur électrique a un rendement proche de 100%.

ITER.

Une étoile commence à briller lorsque la matière, en son sein est capable de déclencher des réactions de fusion de noyaux légers libérant de grandes quantités d'énergie.

Pour réaliser "le soleil" sur la terre, il faut produire un plasma de noyaux légers (gaz ionisé qui conduit les électrons), et le porter à 10 millions de degrés.

Le réservoir ne peut être que immatériel, c'est-à-dire un champ magnétique dont les lignes se referment sur elles même, sous la forme d'un **tore** contenant ainsi le plasma qui y conduit l'électricité.

Les Russes y sont parvenus en 1968 avec le TOKAMAC, qui était étudié également aux

-USA sous le nom de TFTR,

-JAPON JT 60

-ANGLETERRE JET

-FRANCE TORE supra à Cadarache,

Où le projet mondial est repris sous le nom de ITER

Lorsque je suis entré à l'école du Génie Atomique de Grenoble, en 1959, le résultat était promis pour dans les 10 à 15 ans.

Peut-être pouvons-nous aujourd'hui le prévoir en fonctionnement avant 2040 ou 2050 ???

Les déchets en seraient moins préoccupants.

Quelques remarques personnelles pour conclure.

J'ai passé de nombreuses années de ma vie auprès de réacteurs nucléaires, de recherche et non de puissance. Le but recherché n'était pas le nombre de mégawatts électriques, mais le flux de neutrons pour les chercheurs.

Un an avant la fin de mon service militaire, j'ai été rappelé d'Algérie vers Paris pour travailler à Arpajon à la demande du Général de Gaulle qui souhaitait connaître la "section efficace de l'uranium 235" en vue de la bombe. Et pendant 40 ans je porterai sur moi un film spécial renouvelé tous les mois qui enregistrerait la radioactivité subie.

Or à Arpajon, début 1961, alors que je demandais à mon Général trois jours de congé pour aller me marier, je reçus un avis selon lequel j'avais subi une forte dose radioactive. L'enquête a très vite montré que j'avais oublié de poser ce film qui était dans ma poche de chemise alors que je subissais une radio de mon poignet enflé à la suite d'une chute de ski 2 semaines auparavant. Cela n'empêcha ni mon mariage ni tout ce qui s'en suivit.

J'ai beaucoup travaillé dans des enceintes de réacteur, et près du cœur, et subi de très nombreux examens et mesure de radioactivité.

En 1986, ce type d'examen a aperçu en moi l'effet de Tchernobyl, quelques poussières respirées qui pourtant ne devaient pas franchir les frontières, alors que les informations largement diffusées demandaient à chacun de se méfier de certains produits du jardin, et en particulier de ne plus manger de champignons (ce fut pour moi le plus difficile, car j'adore les cèpes).

Annexe :

Petit rappel historique

VOYAGE au centre de l'ATOME

- | | | |
|------|---|-----------------|
| 1895 | Découverte des rayons X | Roentgen |
| 1896 | Découverte du rayonnement de l'uranium | Henri Becquerel |
| 1898 | Découverte du polonium et du radium par Pierre et Marie Curie qui invente le terme de radioactivité | |
| 1899 | Identification des rayonnements "alpha" et "béta" Rutherford | |
| 1900 | Identification du rayonnement "gamma" | |
| 1906 | Albert Einstein établit l'équivalence masse -- énergie $E=mc^2$ qui explique l'origine de l'énergie mise en œuvre dans la fission | |
| 1911 | Découverte du noyau de l'atome. Rutherford | |
| 1932 | Découverte du neutron. Chadwick | |
| 1934 | Découverte de la radioactivité artificielle Irène et Frédéric Joliot Curie. | |
| 1934 | Modèle de la théorie des forces nucléaires Yukawa
Synthèse des radioéléments Fermi. | |
| 1939 | Découverte de la fission du noyau atomique Strassman et Hahn. | |
| 1939 | Découverte de la réaction en chaîne et du potentiel énergétique de la fission. | |
| 1942 | Première pile atomique à Chicago. | |
| 1945 | Bombe atomique de Hiroshima et Nagasaki.
Création du CEA en France. | |
| 1948 | Première pile atomique française (oxyde d'uranium naturel et eau lourde). | |
| 1953 | Création du Centre Européen de Recherche Nucléaire CERN | |
| 1958 | Première production d'électricité nucléaire en France par le CEA. | |

- 1964 Formulation de l'hypothèse des Quarks.
- 1972 Découverte au Gabon des traces d'un réacteur naturel fossile il y a 2 milliards d'années.
- 1986 Accident de la centrale de Tchernobyl dont le nuage traverse l'Europe.
- 1989 Mise en service au CERN du plus grand accélérateur au monde pour la collision électron-positron.

Commentaires sur communication Energie nucléaire du 9 Juin 2010

(par M. Faudou)

Participation :

La participation est moyenne et essentiellement féminine ; elle brille donc plus par sa qualité que par la quantité. Il est vraisemblable, et cela semble se confirmer par quelques discussions dans les jours qui ont suivi, que le sujet proposé fait partie de ces sujets à forte tonalité idéologique sur lesquels chacun a une conviction d'autant plus définitive qu'elle ne repose pas sur des réalités scientifiques.

Echange avec la salle :

Les échanges ont porté sur 3 points :

- Un rejet sans ambiguïté du nucléaire militaire

Sur ce point, il est apparu clairement que ce rejet quasi unanime avait entraîné une réticence sur les applications civiles, avec un a priori compréhensible mais dommageable pour un bon développement du nucléaire et une approche plus sereine de ses applications.

- L'expression d'une crainte irraisonnée liée aux problèmes de la radioactivité, du traitement des déchets et des accidents nucléaires.

JC FAUDOU a confirmé les dangers de la radioactivité en rappelant qu'il s'agissait d'abord d'un phénomène naturel dont l'homme a su créer des sources artificielles utilisées dans divers domaines et notamment celui de la santé. Ses dangers sont liés au niveau d'exposition et il a présenté son exemple personnel dans lequel, ayant été suivi pendant sa carrière professionnelle il n'avait eu qu'une seule alerte, à l'occasion d'une radiographie médicale, donc sans aucun lien avec sa propre activité. A ce sujet, il a rappelé que les appareils mis au point pour l'étude de la radioactivité avaient une sensibilité extrêmement fine, nécessaire pour travailler sur

des quantités de matière infinitésimale, et que cette sensibilité même offrait des arguments à une crainte irraisonnée sur la vraie mesure des dangers d'irradiation.

Concernant le traitement des déchets, il a précisé que les résidus de fission étaient appelés « déchets » par excès de langage, que la plus grande partie est réutilisable après retraitement dont la France s'est fait une spécialité, et que les déchets de type C, les plus radioactifs, ne représentaient que 0,2% du volume total de combustible irradié.

Enfin, concernant les accidents nucléaires, qui ne sont en aucun cas des « explosions nucléaires », il a rappelé que les accidents les plus graves (Three Mile Island, Tchernobyl) étaient consécutifs à des erreurs humaines. Si les conséquences dramatiques de ces accidents -dont le niveau de sécurité des installations françaises nous ont tenu à l'écart jusqu'à présent-, étaient bien liées à la technologie nucléaire, il convenait de les replacer dans le cadre général des conséquences des erreurs humaines parmi lesquelles ils représentent un pourcentage minime. Il rappelle à ce sujet l'ouvrage de G. Charpak, R. Garwin et V. Journé (« de Tchernobyls en Tchernobyls ») qui cite le classement de la probabilité de décès par habitant, en 1/100000, établi en 1994 pour les Etats Unis, pour 261 millions d'habitants :

-maladies cardiovasculaires :	876
-drogue, médicaments :	3
-accidents électriques :	0,21
-nucléaire civil, hors accident :	0,03
-accident Three Mile Island :	0,00007.

Sur cette échelle, l'accident de Tchernobyl présente évidemment un classement sévère de 0,6 décès/100000, soit 3 fois plus que les accidents électriques, mais 1000 fois moins que les accidents cardiovasculaires et 5 fois moins que les abus de drogue ou de médicaments.

Il a conclu en considérant que le nucléaire était une affaire sérieuse dont les professionnels étaient formés et encadrés en conséquence. La France a bénéficié longtemps d'un excellent savoir faire dans ce domaine, mais elle a perdu en grande partie son ingénierie nucléaire qu'il faudrait reconstituer aujourd'hui. La définition des missions d'ingénierie nucléaire pourrait alors faire partie d'un référentiel agréé par le ministère de l'Industrie et relever d'un dispositif de qualification tel que ce dispositif est reconnu en France. Dans l'état actuel des choses, il ne s'agit que d'un vœu qui n'engage que son auteur.

- Quant aux perspectives, il s'est montré très favorable à une poursuite de l'expérimentation menée autour de Super Phénix dont il a regretté la décision hâtive de fermeture et il a rappelé que le projet ITER, qui coûte si cher, était un projet de moyen terme il y a 50 ans, avant de devenir un projet de long terme sans garantie aujourd'hui.

Le sentiment général après échanges était plutôt dans le sens d'une conviction que la poursuite du nucléaire était nécessaire, ne serait-ce que pour permettre la montée en puissance des énergies renouvelables.