

La radio-activité naturelle

La radio-activité naturelle a plus de 100 ans (Becquerel au Muséum, 1896).

Les isotopes instables émettent des rayonnements (α, β, γ) détectés par la plaque photo et les procédés plus modernes : le rayonnement ionise un gaz, et on mesure (ou on compte) les courants de particules ionisées et accélérées (Compteurs Geiger).

Rayonnement α : noyaux d'hélium ;

Rayonnement β : électrons ;

Rayonnement γ : ondes électromagnétiques de haute énergie (MeV et +)

Ces rayonnements interagissent fortement avec la matière inerte ou vivante : dommages d'irradiation.

Leur énergie élevée, dans les MeV, permet de les détecter particule par particule.

La radio-activité artificielle

C'est en bombardant des atomes stables ou instables par des rayonnements issus de composés radioactifs qu'Irène et Joliot Curie découvrent la radio-activité artificielle : les atomes bombardés émettent eux-aussi des radiations (1934).

Mais c'est la découverte du neutron, une particule neutre constituant du noyau, en 1932 par Chadwick qui va conduire à l'énergie nucléaire.

En effet le neutron, particule neutre à la possibilité "d'entrer" dans le noyau chargé positivement et de le faire exploser, en libérant ainsi des matières fissiles, d'autres neutrons et de l'énergie. C'est Enrico Fermi à Rome qui eu le premier en 1934 l'idée d'utiliser les neutrons pour engendrer la radioactivité artificielle. L'uranium, le dernier élément (92) du tableau de Mendéliev était une cible de choix, car on pensait ainsi découvrir de nouveaux éléments artificiels.

Centrale à eau pressurisée

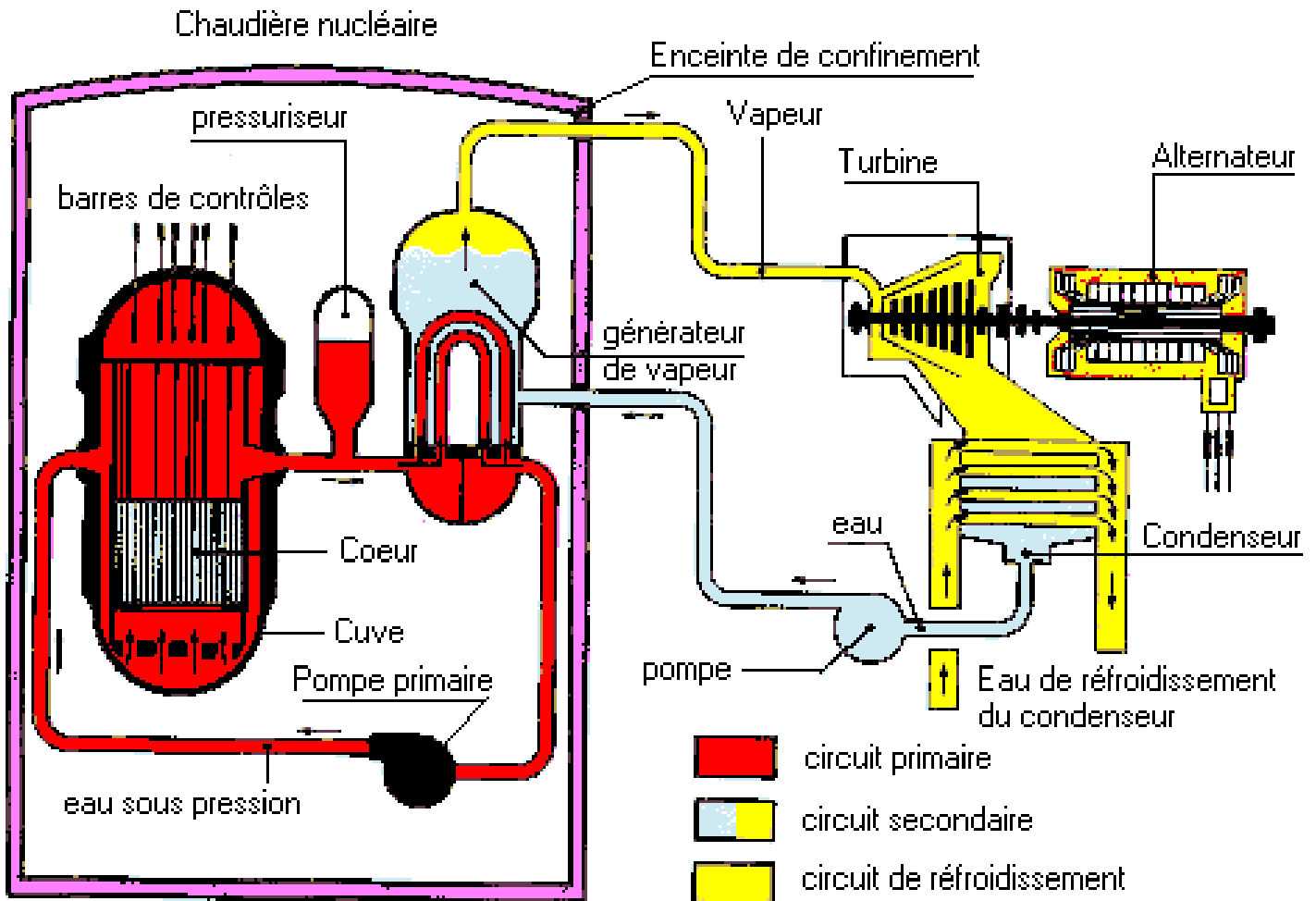


Schéma de principe d'un réacteur REP (génération 2) (<http://holvoet.free.fr/Voyage/application/appliCentrale.htm>)

Dans cette centrale à eau pressurisée (REP), le combustible est l'uranium 235, le modérateur l'eau qui

joue aussi le rôle de caloporteur. La chaleur générée vaporise l'eau du circuit secondaire. Cette machine à vapeur (rendement 35 perc., nécessité d'un condenseur rivière ou mer) fait tourner la turbine qui actionne l'alternateur. Turbines, condenseur et alternateurs sont semblables à ceux des autres générateurs thermiques (à pétrole, gaz ou charbon).

MOX et centrales futures

Les REP actuels n'utilisent qu'une faible partie de l'uranium et génèrent de grandes quantités de déchets de radio-activité variable. Pourquoi ne pas recycler les combustibles irradiés, oxydes d'uranium UOX et de plutonium (MOX, le mélange des oxydes) ?

L'idée des EPR, European Pressurised Reactors, de troisième génération, est d'utiliser le MOX comme combustible, ce qui permet à la fois une économie d'Uranium235 et de recycler le Plutonium qui sans cela est soit un déchet, soit un composant essentiel des armes atomiques. L'EPR correspond donc à une économie de combustible, à utiliser le Pu et est conçu aujourd'hui avec une sécurité accrue par rapport aux REP. C'est un progrès dans la continuité des REP (même filière). Autre intérêt, la possibilité d'y brûler utilement le Pu des armes nucléaires stockées.

Les réacteurs à neutrons rapides

Les RNR ou réacteurs à neutrons rapides, exemple SuperPhenix, sont conçus différemment. On ne ralentit plus les neutrons et c'est l'Uranium238, beaucoup plus abondant, qui est le carburant. Le plutonium est régénéré. La difficulté est liée à l'utilisation de particules à hautes énergie (MeV au lieu de 0.05 eV) donc à des dommages de radiation plus élevés des éléments du réacteur. Cette technologie dite de 4ième génération n'est pas encore au point pour une utilisation industrielle.

Le "débat" actuel sur les MOX et les surrégénérateurs conditionne donc largement la politique des déchets.

Déchets

A la fin du cycle (3-5 ans) dans le réacteur, le combustible irradié, encore radio-actif, est déchargé. Se pose donc un problème de gestion de ces déchets radioactifs, qui implique le très long terme et des coûts économiques comparables à ceux de la construction et du fonctionnement.

Dans un premier temps, 1 an, le combustible est entreposé dans des bacs sous l'eau, pour être refroidi pendant que sa radio-activité décroît.

Dans un deuxième temps il est retraité, en France à La Hague. Au cours du retraitement, les diverses composantes sont séparés après dissolution dans l'acide nitrique : U, Pu, produits de fission etc.

La politique actuelle en France est le recyclage d'une partie, U et Pu, pour le MOX. L'autre partie doit être entreposée et enfouie.

Bien entendu le Pu peut aussi servir aux armes nucléaires.

Enfin la “quincaillerie” du réacteur, irradiée elle aussi, contient des isotopes radio-actifs qui nécessitent un retraitement.

Après usage, 50 ans , c'est toute le réacteur et son site qui doivent être dépollués.

Unités de rayonnement

Unités de rayonnement. Elles sont nombreuses et de 3 types.

Particules rayonnées : 1 becquerel = 1 désintégration par seconde. (1 curie = $3,72 \cdot 10^{10}$ Bq).

Energie reçue par kg de matière vivante : le Gray Gy correspond à un joule par kg. (1 rad = 0.01 Gy).

Effet des radiations : Q fois l'énergie reçue, variable suivant le rayonnement et le tissu (disons de 1 à 20) mesurée en rem. On utilise le Sievert, l'unité officielle notée Sv ; 1rem = 10 mSv.

Risques

Les dommages biologiques dûs aux radiations font envisager trois types de risques :

- Le détournement à des fins terroristes ou militaires de combustible.
- Le risque d'irradiation en fonctionnement normal, pour le personnel et la population. Ces risques sont faibles et sont comparables aux risques naturels. 3,5 mSv/an en tout, dont 1,5 pour la médecine, 1 pour le radon, moins de 1mSv en tout pour l'énergie nucléaire. Ce sont des moyennes : la variation géographique des émissions dûes au radon est supérieure à 1 mSv.
- Les risques liés aux accidents dans les centrales de taille et d'importance très variables. Par rapport aux irradiations des pionniers du nucléaire ces risques ont constamment décru. Mais ils ne sont pas nuls, et persistent malgré l'amélioration de la sûreté à cause de l'augmentation du parc nucléaire.

Tchernobyl et Fukushima

Quelques remarques seulement

Tchernobyl est le type d'accident largement du à la vétusté du matériel et aux erreurs humaines. Voir G. Charpak, R.L. Garwin et V. Journée, De Tchernobyl en Tchernobyl, Odile Jacob, (2005). Bien entendu ce genre de chose peut aussi se produire ailleurs. Voir à moindre échelle, la fuite de 85 000 l. de fluide radioactif en plusieurs mois à Sellafield (UK) alors que le seuil de détection était de 15 l. (Plutôt que tenir compte des alarmes déclenchées, il suffit d'incriminer le système d'alarme!).

Fukushima est une conséquence du Tsunami qui a frappé le Japon le 11 mars faisant de l'ordre de 20 000 morts. Pour le Tsunami comme pour la sûreté de la centrale deux erreurs trop fréquentes ont été commises : les risques ont été évalués une base d'événements indépendants conduisant à des distributions gaussiennes. Si les événements aléatoires ne sont pas indépendants les distributions ont des queues beaucoup plus larges. Dans le cas de la centrale, tous les

équipements de secours ont été noyés ; ils ne pouvaient donc suppléer les uns aux autres. Certaines erreurs ont été commises, surtout dans la conception du site et dans le retard au rejet de l'hydrogène dont le mélange détonnant a fait sauter les toits des réacteurs, mais dans l'ensemble, la gestion de la crise a été beaucoup moins catastrophique qu'à Tchernobyl.

Malgré le peu de pertes en vies humaines (deux sûres pour l'instant) Fukushima illustre bien l'ampleur des dégâts causés par un accident majeur : fusion partielle (peut-être même totale) du combustible, percement de la cuve d'acier et atteinte de la paroi de béton, rejets dans l'atmosphère et dans l'océan. Les travaux importants pour neutraliser les réacteurs dureront de l'ordre d'un an et le site ne sera sans doute jamais redémarré.

Sur le plan humain, de nombreux ouvriers ont été irradiés à plus de 100 mSv/h, alors que les taux maximum autorisés étaient de 100mSv/an (en France 20 mSv/an). Des dizaines de milliers d'habitants dans un rayon de 20 km ont été évacués.

Leçons et comparaisons

Le rapport du Japan Nuclear Technology Institute d'octobre 2011 est sur le site :

<http://www.neimagazine.com/journals/Power/NEI/January2>

Le rapport récent (Octobre 2011) de la Royal Society :

http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/non-proliferation/FuelCycleStewardshipNuclearRenaissance.pdf

Une des leçons retenue par les constructeurs est de pousser au maximum la sûreté “automatique” des centrales : enceintes de confinement et procédures automatiques d'arrêt du réacteur, pour limiter les erreurs humaines comme à Three Miles Island et à Tchernobyl.

Nous ne sommes pas à l'abri d'accidents similaires dans le futur. Celà dit il faut aussi relativiser le coût du nucléaire en vie humaines ou en cancers par rapport aux autres sources d'énergie. Le tableau figurant dans sewtha page 168, tiré de deux sources différentes,

donnent une évaluation des morts par GW/an dûs aux différentes sources : on trouve de l'ordre de 4 pour le pétrole, 2,8 pour le charbon, ... moins de 0,2 pour le nucléaire. Le vent et le solaire engendrent des probabilités de décès par GW/an plus élevées que le nucléaire à cause des chutes. La polémique actuelle porte sur l'évaluation des conséquences des faibles doses ...

Toute évaluation (coût humains, financiers, risques divers, cycle de vie, bilan carbone) peut avoir un sens, mais pour qu'elle soit pertinente en terme de choix elle doit être comparative en terme d'énergie fournie. Bien entendu ces choix doivent aussi prendre en compte des aspects géographiques et dynamiques (déploiement).