

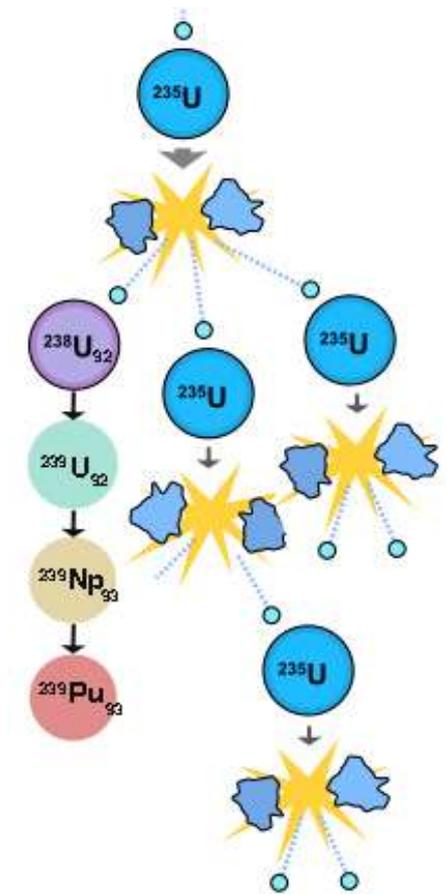
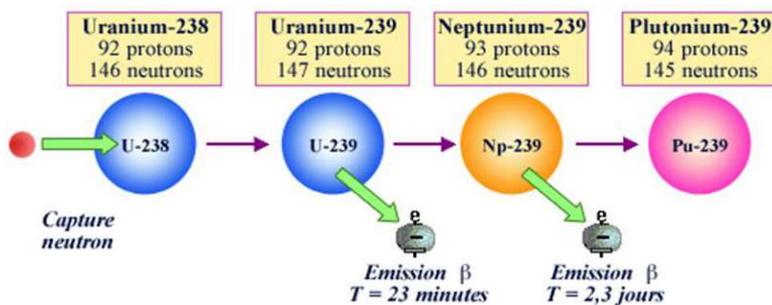


2021.01.11

SILVA

Depuis la seconde guerre mondiale, jamais les scientifiques n'avaient pu extraire **directement** l'isotope U235 de l'uranium naturel. Vers 1985, l'exploit fut tenté et réussi à partir du procédé SILVA.

L'uranium est l'élément naturel le plus lourd que la Terre porte aujourd'hui en son sein. Il occupe la 92^{ème} place dans la classification périodique des éléments. 99,3% de ses noyaux comportent en outre 146 neutrons et 0,7% n'en contiennent que 143. Le premier a donc une masse atomique de $92 + 146 = 238$ baptisé U238 et le second U235. Ce dernier est fissile ce qui signifie que, frappé par un neutron, il peut se briser, libérer une énergie thermique colossale et éjecter des neutrons qui vont briser d'autres noyaux d'U235, et déclencher une réaction en chaîne. Mais des neutrons peuvent venir frapper des noyaux d'U238. Ces noyaux vont « avaler » ce neutron et devenir de l'U239. La digestion va transformer en 2 jours le neutron en



proton et l'U239 en Plutonium Pu239 par voie de conséquence. Ce dernier est, au demeurant, fissile de

naissance. Durant la seconde guerre mondiale, les militaires américains ont cherché à se procurer ces produits fissiles rares pour en faire des bombes. Ils en fabriquèrent 2 pour voir, l'une à U235, l'autre au Pu239 et les expédièrent au seul pays encore en guerre, susceptible de servir de cobaye : le Japon qui, dès réception, capitula.

A la libération de la France en 1945, le général de Gaulle, avec ses Forces Françaises Libres, ses Forces Françaises de l'Intérieur, et un peu de piston de Churchill, réussit l'exploit de faire compter la France au nombre des vainqueurs d'une guerre perdue en 1940. Arrivé au pouvoir, il veut hisser la France au rang des grandes nations, celles qui possèdent la bombe atomique. Il crée, le Commissariat à l'Énergie Atomique en 1945 sous la direction de Francis Perrin, avec un seul objectif : faire une bombe atomique. Comme, nous ne possédions pas d'U235 enrichi, ne nous restait que la solution de faire du plutonium avec de l'uranium naturel en bombardant ce dernier avec des neutrons adaptés. Le Centre de recherche de Marcoule, créé dans ce but, fabriquera l'uranium de notre première bombe atomique baptisée « Gerboise bleue ». Notre copain **José Meiffren** Ai150 qui œuvra aux Centrales G2 de ce site put ainsi légitimement inscrire sur sa carte de visite : "José Meiffren producteur de plutonium et de rosé de Provence".

Cette production plutonigène artisanale fut industrialisée en catimini par EDF avec les centrales nucléaires électriques UNGG de Chinon, Saint-Laurent-des-Eaux et Bugey.

Pour des raisons militaires et des perspectives civiles, la maîtrise de la production d'U235 enrichi s'avère nécessaire. Le CEA se lance donc dans l'étude des moyens de production de ce fichu U235 à l'état concentré > 90%. Mais l'uranium en général se liquéfie à 1135°C et se vaporise à 4131°C. Le comité conclut rapidement à l'impossibilité d'une telle possibilité de production quelle que soit son état, solide, liquide ou vapeur.

Miraculeusement, un composé fluoré de l'Uranium se vaporise vers 56°C : l'hexafluorure d'Uranium, va sauver le projet au prix d'une complexité du cycle de fabrication. Faute de mieux, cette molécule uranifère est adoptée.

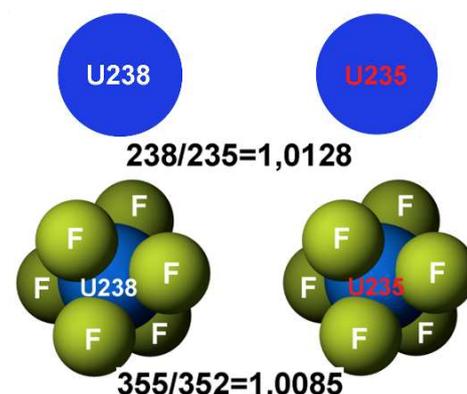
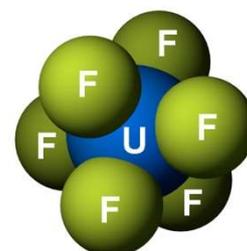
Les problèmes de la pression excessivement basse et de la température excessivement haute, sont ainsi résolus, mais le problème fondamental demeure : comment séparer l'UF6/235 et l'UF6/238 ?

Ces deux molécules ne se différencient que par une différence de masse de 0,8%.

2 procédés se font jour sur le principe commun de la distillation fractionnée.

- La filtration avec laquelle les molécules les plus véloces passent plus vite que les plus grosses.
- La centrifugation dont la force d'inertie d'entraînement agit plus sur les grosses que sur les petites.

Des essais mettent en évidence que le premier procédé est plus à la portée des industriels que le second.

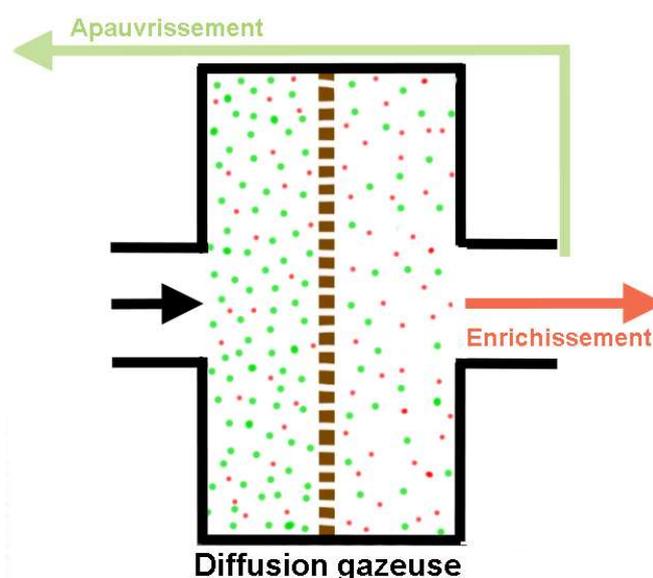


La Diffusion Gazeuse

Chacun des centaines d'étages nécessaires se compose d'un compresseur qui envoie l'hexafluorure gazeux dans une barrière poreuse classée « secret défense »

L'usine d'enrichissement par diffusion gazeuse de Pierrelatte entre en service en 1958 pour satisfaire les militaires.

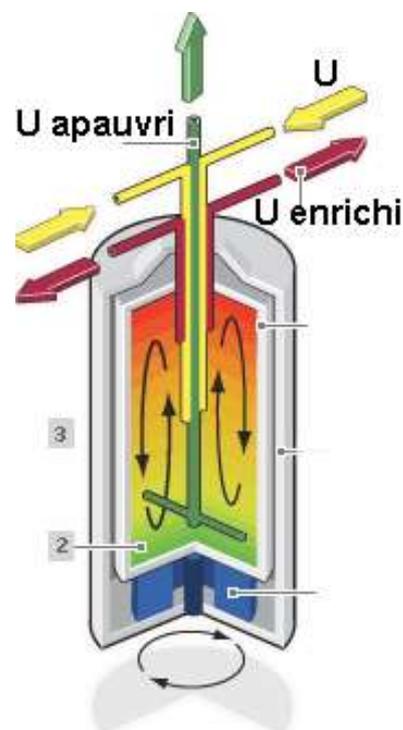
Côté civil, les réacteurs nucléaires REP apparaissent avec comme combustible nécessaire de l'uranium enrichi à 3,5%. Forte de l'expérience acquise dans l'enrichissement militaire par diffusion gazeuse, la France construit l'usine civile Eurodif -Georges Besse sur le même principe. Cette usine entre en production en 1968. Elle répondra parfaitement pendant plus de 40 ans aux besoins, sous la houlette efficace de directeurs compétents, dont notre camarade **Jean Charlade** Ai 152. Mais elle est intrinsèquement très gourmande en énergie et en eau. A pleine puissance, elle consomme environ 2 500 mégawatts et 20 milliards de m3 d'eau par an.



Une solution, 60 fois moins gourmande en énergie et plus souple dans son adaptation aux besoins civils et militaires, s'est développée : la centrifugation.

L'ultracentrifugation

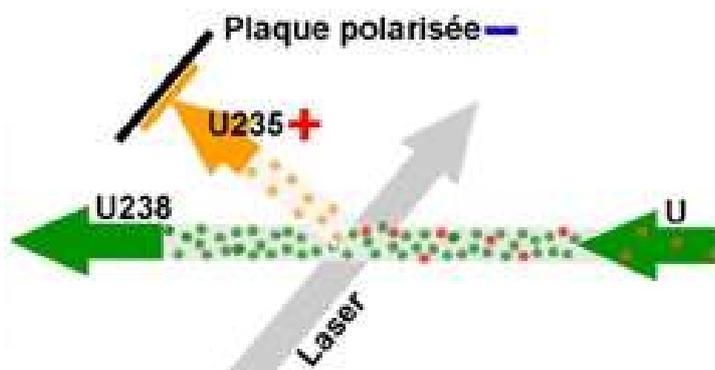
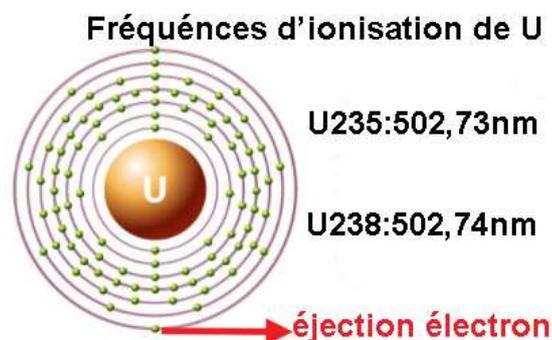
Les progrès sur les matériaux ont permis de réaliser des centrifugeuses capables d'exploiter la force d'inertie d'entraînement des molécules d'hexafluorure d'uranium comme moyen de sélection. Une telle usine, qui compte des milliers de centrifugeuses, est polyvalente ; elle peut, à volonté, produire beaucoup d'Uranium faiblement enrichi, ou peu, mais à fort enrichissement. Elle convient donc aux besoins civils et militaires. Les événements en Iran montrent qu'elle pose des problèmes de sécurité mondiale.



Le procédé SILVA

Vers les années 1980, la France va tenter de développer un procédé révolutionnaire permettant de séparer directement les atomes d'U235 des atomes U238, en s'affranchissant de l'usage du Fluor. En effet, les deux atomes d'uranium se différencient aussi par leurs longueurs d'ondes d'excitation : celle de l'U238 se situe à 502,74 nanomètres (nm) et celle de l'U235 à 502,73. Ce petit chouia de 0,002% doit pouvoir être exploité, car les progrès réalisés sur les lasers doivent les rendre capables de cette sélection. Ce sera le projet SILVA (Séparation Isotopique par Laser en Vapeur Atomique)

Si l'on « éclaire » une vapeur d'uranium avec un laser calé précisément sur 502,73 nm, il sera sans effet sur U238 mais l'uranium 235 entrera en transe et éjectera un électron et sera ionisé positivement, donc sensible à un champ magnétique. Tout le process se faisant sous un vide de l'ordre de 10^{-5} mm de mercure.



Déroulé de l'opération

1°) Obtenir de la vapeur d'uranium naturel.

A l'aide d'un canon à électrons et d'une bobine directrice de Helmholtz on bombarde un creuset d'Uranium naturel qui se vaporise à 1135°C sous forme d'atomes d'une vitesse de l'ordre de 1000 m/s.

2°) Ioniser U 235.

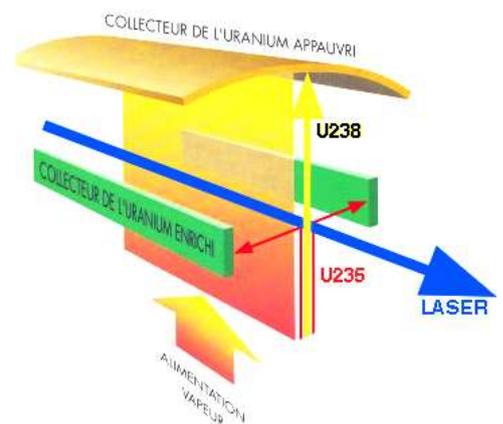
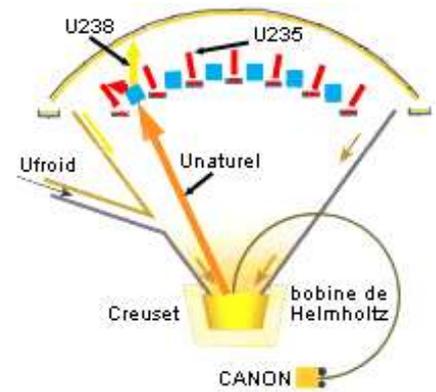
En faisant traverser la vapeur d'uranium dans les champs de rayons laser judicieusement réglés à 502,73 nanomètres, seul l'U 235 s'ionise.

3°) Piéger U 235.

En plaçant des plaques polarisées négativement, les atomes ionisés positifs viennent s'y fixer.

4°) Récupérer U235.

Là est le vrai problème, bêtement technologique, principalement à cause des températures élevées et de la pression absolue très faible.



Industrialisation de Silva

Claude Allègre, chargé du programme, veut s'assurer de la possibilité d'industrialisation du procédé. Il crée un comité de réflexion regroupant physiciens et industriels aguerris aux problèmes nucléaires, en l'occurrence Hispano-Suiza (actuelle filiale de Safran) et Alstom.

Outre les difficultés techniques à surmonter, le dialogue s'avèrera difficile entre les inventeurs et les industriels. Le CEA de 1993 à 2002 produira 200 kilogrammes d'uranium enrichi à teneur isotopique significative avec le démonstrateur de laboratoire. Mais les industriels finiront par jeter l'éponge.

Au début des années 2000, la France doit remplacer son usine d'enrichissement Eurodif, vieillissante et outrageusement énergivore. Les autorités ont le choix entre la centrifugation, devenue ultracentrifugation, amplement validée par l'expérience internationale, et SILVA encore en gestation d'industrialisation ; elles opteront raisonnablement pour l'**ultracentrifugation**.

Conclusions

SILVA est arrivée trop tard, sur un marché à l'avenir nécessairement limité dans le temps. Procédé original mais accompagné d'incertitudes sur les possibilités de son industrialisation. Au cours des rencontres entre théoriciens des laboratoires et industriels avertis, la compréhension réciproque fut extrêmement difficile, ce qui laisse à penser qu'un métier d'intermédiaire entre universitaires et industriels reste à créer. **Denis Villanove** devrait se pencher sur la question.

Ne pas oublier que l'énergie nucléaire de fission est une énergie fossile susceptible d'épuisement. Dans ce cas, la surgénération pourrait apparaître comme un palliatif avant de passer à la fusion nucléaire. On doit pouvoir rêver...

Pour clore mon propos, je ne puis résister à vous faire profiter de ma découverte récente d'une aventure qui arriva au professeur Perrin en 1973 à l'usine militaire de Pierrelatte. Son laboratoire effectuait le contrôle de routine de la teneur en isotope U235 d'une livraison d'uranium naturel en provenance du Gabon. La teneur était systématiquement la même : 0,71%. Aussi fut-il surpris de lire : 0,41%. Erreur scripturale ? Il fit refaire la mesure : itou. Cette valeur de 0,41% est, curieusement, celle d'un uranium



appauvri au sorti de nos centrales REP, celle résiduelle quand une réaction en chaîne s'éteindrait, faute de projectiles neutronique. Cet uranium naturel provenait d'un site bien précis de la vallée d'Oklo. Les chercheurs accourus sur les lieux levèrent le mystère.

Il y a 20 milliards d'années, le taux de l'uranium 235 était beaucoup plus élevé qu'aujourd'hui : 3,8%. Bien que ce taux soit supérieur à l'auto-déclenchement de la réaction en chaîne, l'environnement est généralement trop absorbeur de neutrons pour qu'elle se produise, il ne se passe rien en dehors de l'épuisement progressif de la teneur au cours des millénaires ; sauf à Oklo où l'environnement étant favorable, le déclenchement eut lieu. La réaction en chaîne se poursuivit jusqu'au moment où l'appauvrissement du carburant ne permit plus l'auto entretien... soit 0,41%. Elle délivra une énorme énergie thermique et beaucoup de produits radioactifs sans que les écologistes de l'époque n'y voient rien à redire, pourquoi ? Parce que ce réacteur étant une création de la Nature, était naturelle, donc 100% écologique.

Conséquence imparable : nos réacteurs REP n'étant que des répliques du modèle originel d'OKLO sont donc 100% écolo : CQFD.