

Le rôle de l'industrie chimique dans le développement de l'énergie atomique*

Par M. BERTRAND GOLDSCHMIDT

Directeur au Commissariat à l'Énergie Atomique, Paris

Si la principale difficulté à résoudre dans le développement de l'énergie atomique est le facteur politique, les difficultés techniques qui nous séparent de la production utilisable d'énergie atomique sont encore nombreuses. Parmi celles-ci un grand nombre sont d'ordre chimique et leur solution a dépendu, et continuera de dépendre, de la participation de la grande industrie chimique au développement atomique des différents pays qui travaillent actuellement séparément et qui travailleront peut-être en commun dans l'avenir, si la proposition de pool atomique international du Président EISENHOWER peut être mise en application.

Ces problèmes chimiques peuvent se partager en deux groupes, ceux qui mettent en jeu la préparation des matériaux nécessaires à la construction des piles atomiques, et ceux qui sont relatifs à la séparation des produits radioactifs dans les piles, dont certains pourront d'ailleurs, comme le plutonium, servir ensuite dans la construction de nouvelles piles; cette chimie des produits radioactifs de fission et de transmutation est tout à fait nouvelle et véritablement la base de l'alchimie moderne.

Parmi les matériaux indispensables à la construction d'une pile atomique, l'uranium en est le plus important car c'est le seul élément naturel à partir duquel on peut réaliser la réaction en chaîne. Les dix dernières années ont montré que les gisements d'uranium exploitables à la surface du globe sont beaucoup plus nombreux qu'on ne le croyait et c'est par quantités de l'ordre du millier de tonnes par an, ou de quelques milliers de tonnes par an, que l'on extrait cet élément des minerais du Congo Belge, du Canada, des États-Unis, de l'Afrique du Sud et prochainement de l'Australie. Partie de zéro en 1946, la France, par ses ressources de la métropole et de l'Union Française, a pour ses projets d'avenir une production déjà suffisante en uranium et thorium qui est le seul autre élément naturel qui peut être transformé en combustible nucléaire.

Les minerais riches à quelques dizaines pour cent et quelques pour cent en uranium sont relativement rares; l'extraction chimique de l'uranium en est classique; les minerais à quelques parties pour mille en uranium sont beaucoup plus abondants et leurs traitements chimiques, différents dans chaque cas, nécessitent des mises au point industrielles approfondies, pour atteindre des

prix d'uranium raisonnables. Enfin, un gros effort est fait dans l'extraction de l'uranium de minerais ou de résidus de minerais très pauvres, à quelques parties pour dix mille d'uranium, quand le minerai est déjà traité principalement pour un autre produit: minerai d'or d'Afrique du Sud, phosphates naturels de Floride et du Maroc. Un tour de force technique a été accompli dans le domaine de l'extraction de l'uranium des mines d'or. L'importance de ces problèmes d'extraction de l'uranium de minerais très pauvres est capitale, car leur solution économique conditionnera à la fois l'abondance et le coût de l'uranium dans le monde et par suite tout le développement de l'énergie atomique.

La transformation de l'uranium en métal de très haute pureté nécessaire au fonctionnement d'une pile représente une suite de techniques délicates, mais qui sont industriellement au point en France, comme elles le sont depuis plus longtemps en Angleterre et aux États-Unis.

Dans chacun de ces pays, le rôle de l'industrie est important, mais il revêt des formes différentes. Tandis qu'en Angleterre, Imperial Chemical Industries a joué un rôle considérable pendant la guerre, mettant au point les premiers procédés, c'est le Ministry of Supply qui, après la guerre, a construit puis géré avec les conseils de Imperial Chemical Industries les usines de production d'uranium et celles de préparation du plutonium. Aux États-Unis par contre, de multiples sociétés possèdent ou gèrent des usines de traitement de minerais et la préparation de l'uranium, comme toutes les étapes ultérieures, est aux mains de l'industrie privée parmi laquelle Dupont de Nemours et Carbone & Carbide ont joué un rôle prépondérant.

En France si l'industrie de production de l'uranium est encore aux mains de l'État, elle n'a pu être montée que grâce à l'aide de plusieurs sociétés: Société des Produits Chimiques des Terres Rares, Potasse et Engrais Chimiques, qui ont, suivant le cas, mis au point des procédés, construit et mis en route l'étape industrielle correspondante et peut-être dans l'avenir gèreront certaines des phases relatives à leur contribution antérieure.

Par contre la France ne s'est pas encore lancée dans l'énorme effort de la séparation des isotopes de l'uranium, obtenue avec succès aux États-Unis, puis en Angleterre, par diffusion gazeuse de l'hexafluorure d'uranium, entreprise qui se chiffre actuellement aux États-Unis par plusieurs milliards de dollars et qui a permis de faire

* Résumé d'une conférence présentée à l'occasion de l'assemblée annuelle de la Société Suisse des Industries Chimiques à St-Moritz, le 2 septembre 1954.

faire de très grands progrès à la chimie du fluor et de ses dérivés.

La production d'énergie à partir de l'uranium naturel nécessite la préparation d'autres matériaux qui jouent dans la pile le rôle de *ralentisseur de neutrons*. Le principal d'entre eux, et le plus difficile à préparer, est l'*eau lourde*, dont la Société norvégienne, la Norsk-Hydro a, par électrolyse fractionnée, le monopole de production en Europe et qui vaut près de un million de francs suisses la tonne. Dupont de Nemours et la Standard Oil ont mis au point des méthodes de préparation aux États-Unis de ce produit, dont le coût est grand en raison des consommations d'énergie nécessaire à sa séparation. L'Angleterre va construire en Nouvelle-Zélande une usine basée sur la *distillation fractionnée de l'eau* et utilisant l'énergie des geisers, tandis que la France se lance à son tour dans ce domaine; l'Office National des Industries de l'Azote et la Société l'Air Liquide ayant fondé la Société Française de l'Eau Lourde, qui va monter une usine de fractionnement d'hydrogène liquide. La diminution du prix mondial de l'eau lourde est susceptible d'une grande répercussion dans la construction des piles, car elle représente, par rapport aux deux autres *modérateurs possibles*, le *graphite* et le *béryl*, une source importante d'économie de neutrons.

La préparation du graphite nucléairement pur est au point aux États-Unis depuis la guerre et, plus récemment, en Angleterre puis en France, où Péchiney le produit à un prix voisin de 5000 francs suisses la tonne. C'est aussi Péchiney qui s'occupe de la préparation de l'oxyde de beryllium nucléairement pur, dont on ignore encore jusqu'à ce jour les quantités nécessaires pour une pile atomique.

Une fois que la pile fonctionne, le problème le plus important en est l'évacuation de la chaleur. L'uranium doit être gainé, sans cela il serait attaqué par les fluides de refroidissement. Le problème de la tenue du gainage sous l'influence des cycles de température et sous l'action des radiations intenses des piles est peut-être le *problème technologique le plus important* de l'énergie atomique et l'on peut dire que si ce sont les progrès de la chimie qui influenceront l'économie du développement de l'énergie atomique, ce sont ceux de la métallurgie qui rendront cette nouvelle science plus rapidement utilisable. Les premiers métaux de gainage ont été l'aluminium et le magnésium, les métaux d'avenir sont le beryllium et surtout le zirconium qu'il faut au préalable débarrasser d'hafnium, métal voisin qui absorbe beaucoup les neutrons. Ici encore, en France comme aux États-Unis et en Angleterre, l'étude de la préparation de zirconium nucléaire se poursuit activement entre plusieurs sociétés industrielles dont Bozel-Malétra, Péchiney et Ugine.

La construction des piles atomiques ne relève plus de l'industrie chimique bien qu'aux États-Unis c'est Dupont de Nemours qui a construit les principales piles productrices de plutonium, celles de Hanford pendant la guerre et celles de Savannah actuellement. En France

notre première grande pile, celle de Marcoule dans la Vallée du Rhône, fonctionnera en 1956; elle est prévue pour 40 000 kW, refroidie par air elle ne permettra pas de récupération de chaleur et produira une quinzaine de kilos de plutonium par an. Sa construction qui coûtera près de cent millions de francs suisses est assurée par un groupement d'entreprises constitué par les Ateliers et Forges du Creusot, l'Alsacienne de constructions mécaniques, Alsthom, Thomson-Houston et la Société Rateau.

Une usine d'extraction de plutonium correspondante permettra dans une installation entièrement contrôlée à distance l'extraction du plutonium des barres actives de la pile, en présence de radioactivité équivalente en radiation à des centaines de kilos de radium. Cette usine, qui coûtera quelques dizaines de millions de francs suisses, sera construite par Saint-Gobain, à partir d'un procédé mis au point au laboratoire du Commissariat à l'Énergie Atomique et déjà éprouvé à l'échelle pilote.

La séparation du plutonium et sa transformation ultérieure en métal, la récupération de l'uranium exempt des produits de fission et l'élimination et le stockage des résidus radioactifs intenses sont parmi les problèmes les plus difficiles et les plus importants de la technique nouvelle.

Nous avons eu la chance en France que l'industrie ait compris le rôle qu'elle avait à jouer dans notre domaine; sans l'aide qu'elle a apportée au Commissariat, celui-ci n'aurait pas pu créer en France, en si peu de temps, une industrie chimique complète du cycle de l'uranium, la seule de l'Europe Continentale de l'Ouest.

Les rôles du Commissariat et de l'industrie se complètent et même se chevauchent, car il n'est pas possible d'attendre que les études soient achevées pour passer au stade des réalisations, quand la notion de délai est aussi impérative qu'elle l'est dans un domaine qui évolue si rapidement. Le Commissariat à l'Énergie Atomique se consacre surtout aux études de base, aux recherches de laboratoire et l'industrie, pour nous relayer et passer aux réalisations pratiques, collabore avec nous dès le stade de l'étude, avec une intimité analogue à celle qui existe dans une même société entre le laboratoire et le bureau d'études.

La condition essentielle du succès de telles collaborations est qu'elles se fassent dans un climat de confiance et d'estime mutuelles, climat qui s'est chaque fois d'autant mieux établi que les grands dirigeants des entreprises intéressées ont montré qu'ils étaient plus conscients de l'importance à longue échéance du domaine, et que c'est l'attrait de cet avenir, plutôt que celui de quelques bénéfices immédiats, qui les intéressait dans le travail en commun. L'intérêt et parfois l'enthousiasme à participer à notre développement manifestés par certains responsables d'organismes industriels, ont été souvent, plus que la compétence technique, à l'origine du choix qui a été fait de leur société. On peut dire que, dans l'ensemble, que ce soit dans des marchés

d'étude, des accords de production ou des contrats d'engineering ou de construction d'usine, les collaborations entre le Commissariat à l'Energie Atomique et l'industrie ont été efficaces et fructueuses.

Un des aspects intéressants de ces relations avec l'industrie est l'échange de stagiaires qui permet une meilleure connaissance mutuelle des problèmes et des difficultés de chacun, en particulier par les stages d'ingénieurs de sociétés privées dans nos laboratoires, pour les familiariser avec la chimie et l'alchimie de l'uranium, ainsi qu'avec l'extraordinaire monde nouveau des atomes radioactifs. Ainsi, l'industrie trouvera souvent, à la longue, des avantages techniques aux tâches entreprises pour nous, ne serait-ce que dans la formation de chercheurs susceptibles de manier facilement ce nouveau moyen d'investigation étonnant que sont les radioéléments artificiels formés dans la pile, et pour l'emploi desquels nous nous efforçons à notre tour de conseiller et d'aider au maximum les utilisateurs.

De nombreuses incertitudes techniques empêchent de faire des prédictions d'avenir sur le développement de l'énergie atomique qui prendra quelques décades. Il est difficile de se prononcer dès aujourd'hui, en particulier dans le choix pour les génératrices de l'avenir, entre l'uranium naturel ou l'uranium enrichi, entre les refroidissements par gaz sous pression (cas de la pile de Saclay et de la première centrale de production d'électricité en construction en Angleterre), par eau sous pression (première centrale américaine en construction par Westinghouse et par la Duquesnes Light Co., près de Pittsburgh), ou enfin par métaux fondus. La plus importante de ces incertitudes porte sur la fraction d'uranium naturel et peut-être plus tard de thorium qui pourra être utilisée dans les piles, en particulier dans celles dites *breeder*, qui régénéreront autant de combustibles nucléaires qu'elles en ont consommé.

Mais dès maintenant en se plaçant dans des hypothèses très probablement pessimistes, qui consisteraient à estimer que dans une centrale nucléaire on ne pourra transformer en chaleur que 1% de l'uranium et, que la trans-

formation de cette chaleur en électricité se fera avec un rendement un peu moins bon que dans les centrales thermiques, on trouve que l'uranium au coût actuel est encore une source d'énergie quatre à cinq fois moins chère que le charbon.

Dans cette même hypothèse d'utilisation de 1% de l'uranium, il faudrait par an environ 200 tonnes d'uranium, valant environ 250 000 à 300 000 francs suisses la tonne de métal pur, pour produire en Suisse une quantité d'électricité de l'ordre de grandeur de la consommation suisse actuelle. Cette quantité d'uranium est probablement de l'ordre de 1 à 3% de la production mondiale actuelle d'uranium, qui croît sans cesse avec la mise à jour et le développement de nouveaux gisements.

Il est malheureusement impossible de prédire aujourd'hui à quel rythme les grands pays détenteurs et acheteurs d'uranium en divertiront de leurs utilisations militaires actuelles des quantités croissantes, en vue de la production d'énergie pacifique chez eux et à l'étranger. Mais en attendant, des pays comme la France et la Suisse ont des tâches précises qui sont les suivantes : la formation de spécialistes de cette nouvelle technique ; la construction d'une pile expérimentale envisagée par la Commission Atomique Suisse, pour laquelle la France est prête à fournir à la Suisse les quelques tonnes d'uranium métal nécessaires, en sera une des étapes indispensables, ainsi que la mise sur pied de collaborations avec des pays étrangers en sera une autre. Enfin, la nécessité de la création au sein des industries suisses et en particulier au sein de la belle industrie chimique suisse de véritables sections spécialisées dans certains problèmes de l'énergie atomique. S'il en est ainsi l'industrie chimique suisse jouera dans la grande industrie alchimique de l'uranium un rôle aussi important que celui qu'elle joue actuellement dans la chimie mondiale. Et il ne faut pas oublier que dans un domaine aussi révolutionnaire l'avenir est aux audacieux et que ce sont les pas qui auront été faits maintenant qui porteront leurs fruits dans dix ou vingt ans.