

CONFERENCE SPECIALE/SPECIAL LECTURE

LE GEOLOGUE ET LE STOCKAGE DES DECHETS NUCLEAIRES

THE GEOLOGIST AND THE STORAGE OF NUCLEAR WASTES

GOGUEL Jean,*

Si l'opinion publique accepte volontiers la perspective d'une énergie abondante et bon marché, elle reporte sur la fin du cycle du combustible l'angoisse née, en fait, de la connexion avec ce qui est le péché originel de l'énergie nucléaire, qui a nom Hiroshima.

Et l'opinion publique compte sur nous, géologues, pour la débarrasser de cette angoisse, et pour résoudre le problème par le stockage des déchets "en formation géologique profonde".

Pourtant, en règle générale, la communauté géologique n'occupe pas dans la Société une place très éminente : on nous fait confiance pour régler les problèmes de notre ressort, stabilité des constructions ou recherche de matériaux, mais quand nous avons essayé, avec les cartes géotechniques, d'intervenir a priori dans l'organisation du territoire, on nous a nettement fait comprendre que c'était une affaire trop sérieuse, qui relevait des architectes, urbanistes et spéculateurs.

La question des déchets nucléaires, qui pour la Société est un cauchemar, se présente tout autrement, puisque les non-géologues font appel à l'"enfouissement en formation géologique", en précisant volontiers "le plus profondément que techniquement possible". Est-ce qu'enfin le rôle de la géologie serait reconnu ? Je ne le pense pas ; il s'agit de ce qu'un psychanalyste qualifierait de refoulement, d'expulsion hors du champ du conscient. D'une manière de se débarrasser du problème en le mettant à notre charge.

Mais ce problème comporte des aspects sociologiques, ce mot étant pris au sens le plus large, y compris l'aménagement du territoire, et l'acceptation politique, qui ne sont pas de notre compétence, et que nous ne devons pas nous laisser imposer.

Il est un domaine où l'avis des géologues permet de passer outre à la propriété privée, c'est celui des exploitations minières, qui présentent un intérêt économique d'ordre public, et qui ne peuvent être ouvertes que là où l'existence d'un gisement a pu être établie — c'est le principe de la législation minière, dérivant de la loi de 1810.

Certains auraient souhaité qu'il en soit de même pour le stockage de déchets nucléaires. Que les normes soient fixées d'une manière telle, que le seul fait que les conditions nécessaires soient réalisées quelque part y justifie l'installation d'un stockage. Il faut dire très nettement que cette manière de présenter les choses n'est pas acceptable. Pour un type de stockage, on peut définir les conditions que doit remplir le terrain, et faire l'inventaire des zones où ces conditions sont vraisemblablement remplies. Cela pourra représenter de 5 à 10 % de la surface de la France.

Ensuite, le choix de sites potentiels dans cette zone est un problème foncier et socio-économique. Il faut trouver des

sites où le terrain nécessaire soit disponible, bien placé pour les transports, où des créations d'emploi soient souhaitables, etc. Ce problème est à traiter en lui-même, et ne peut être escamoté derrière des soi-disants arguments géologiques.

Enfin, il faudra vérifier pour chaque site potentiel que les conditions géologiques souhaitées soient effectivement réalisées et, par exemple, qu'une faille ou une zone broyée ne permet pas une circulation aquifère dans un terrain que l'on supposait imperméable. On peut, en gros, s'attendre à ce que ce contrôle élimine un sur deux (au plus) des sites potentiels envisagés a priori, et le nombre de ceux-ci devra donc être suffisamment élevé pour qu'on ait de bonnes chances de pouvoir retenir l'un d'entre eux.

Bien entendu, il n'est pas exclu, aux différentes étapes du choix foncier, de revoir, en fonction des informations disponibles, la qualification géologique du terrain, sans se borner à la consultation du zonage établi a priori. Mais les deux types de décisions, géologique et foncier, doivent rester bien distincts.

Mais, avant d'aller plus loin, il me faut préciser un peu en quoi consiste ces déchets. L'infini variété des "déchets de laboratoire" n'en constitue plus qu'une part infime, et l'essentiel provient du cycle de l'énergie nucléaire, ce qui assure une certaine homogénéité aux différents lots.

La distinction essentielle est entre les produits de fission, ou d'activation à radioactivité β , γ , et à vie brève — 30 ans au maximum — si bien qu'en 300 ans ils auront pratiquement disparu, et les Actinides, Uranium, Plutonium et autres Transuraniens, à radioactivité α , et dont les vies peuvent être très longues — dizaines de milliers, ou millions d'années—. Une deuxième distinction est fondée sur la teneur, d'où la distinction pratique :

1 — Faible activité β , γ , avec une radioactivité α (pratiquement traces et plutonium) inférieure à une limite dont la valeur est actuellement en discussion,

2 — Faible activité β , γ , avec une activité α supérieure à cette limite,

3 — Haute activité β , γ : ce sont les produits de fission, actuellement conditionnés en France dans un verre, coulé dans un fut en inox.

Il faut en outre envisager un quatrième catégorie : les combustibles irradiés que l'on pourrait un jour renoncer à traiter, faute de capacité ou pour des raisons économiques.

A l'inverse de certains autres pays, on ne les envisage pas comme tels en France, où le retraitement est retenu. Mais il faut peut-être réfléchir, pour ne pas être complètement surpris par un infléchissement de cette politique.

Ce sont des crayons, gainés en Zircalloy, contenant de l'oxyde d'Uranium avec un petit pourcentage de Pluto-

nium et de produits de fission. On peut espérer que ces crayons seront dégagés de leurs assemblages, ce qui réduira sensiblement le volume. Je n'aborderai pas ici la question de la criticité.

Les produits de haute activité posent un problème de stockage très particulier, parce qu'ils dégagent de la chaleur. Un verre peut produire 1 KW par litre, c'est-à-dire que, pour un cylindre de 35 cm de diamètre, il y a une différence de 500° entre le cœur et la surface.

Or, les roches sont de très mauvais conducteurs de la chaleur. Si on retient cependant l'idée d'un stockage souterrain, deux attitudes sont possibles : accepter ou refuser les conséquences de l'inévitable élévation de température.

J'ai entendu —non sans surprise— la première attitude défendue par l'un des Pères fondateurs du CEA (1), M. Goldschmidt, parlant au Bureau des Longitudes : il proposait d'empiler les fûts de verre dans un sondage foré dans le granite, de laisser fondre le verre, l'inox, le granite, et se former une poche de magma, où la convection limiterait la température. Au bout de quelques années, la poche cessera de croître, puis se figera progressivement. L'expérience des tirs nucléaires souterrains montre que la radioactivité reste très efficacement piégée dans la lave ainsi formée.

Il me paraît assez vraisemblable que les choses se passeraient bien ainsi, mais en cas d'incident —et, à force de répéter l'expérience, il est inévitable qu'il s'en produise— on serait totalement désarmé pour y remédier. Aussi, cette solution ne sera-t-elle jamais acceptée.

Nous ne pouvons prévoir à coup sûr l'effet d'une élévation de température sur les propriétés des roches que si cette élévation reste très modérée (on indique parfois la limite de 200 °C, sans justification sérieuse), pour que ces effets soient linéaires. Au-delà, tout serait à découvrir : effets de recristallisations, de relâchements de contraintes par ramollissement, etc. Ce serait un domaine de recherche passionnant, et des effets favorables à l'efficacité du confinement ne sont pas exclus.

Mais en attendant, dans le doute, on se fixe une limite basse à la température, ce qui oblige à étaler beaucoup le stockage. Alors se présente un problème d'optimisation du coût. Pendant combien de temps faut-il conserver les verres en casemates ventilées, avant de les enfouir définitivement dans un dépôt plus ou moins concentré ? La réponse est très nette : au moins cent ans, si ce n'est plus.

Cet entreposage provisoire, réfrigéré, c'est-à-dire ventilé, ne pourrait-il pas être souterrain, de manière à pouvoir être, dans un siècle ou deux, transformé par remblayage en un stockage définitif ?

A cela, on fait une objection d'ordre sociologique. Il y a un risque, par économie, négligence, ou à cause d'une crise politique, que les précautions à prendre lors de la transformation, qui sera inévitablement suivie d'une remontée de la nappe, soient omises. Cette objection me paraît valable, et elle se traduit par l'exigence d'une distinction stricte entre stockage et entreposage.

Quoi qu'il en soit, le stockage définitif des déchets de haute activité n'est pas un problème urgent, non plus que celui des combustibles irradiés. La capacité nécessaire pour les conserver en casemates, ou en piscines réfrigérées, pendant une durée de l'ordre du siècle n'a rien de prohibitif.

Ce qui ne veut pas dire qu'il ne faut pas y réfléchir dès maintenant, en tâchant de dépasser l'approximation linéaire pour l'effet de la température sur les propriétés des différentes sortes de roches, en particulier parce qu'il n'est pas exclu que se révèlent des effets favorables à l'étanchéité du stockage.

Ces réflexions, même si elles commencent avec des essais de laboratoire, devront s'appuyer sur des essais en place, avec échauffement prolongé par résistance électrique. Il y aura là un domaine de recherche extrêmement intéressant qu'on ne peut qu'entrevoir aujourd'hui, et qu'on symbolise par la notion de laboratoire souterrain.

Une fois les radioactivités β et γ des déchets de haute activité disparues, en quelques siècles, subsisteront les radioactivités α . Les verres actuellement produits ont une teneur en Plutonium qui en fera définitivement des produits très dangereux. Mais d'autres politiques sont théoriquement concevables : on peut imaginer un traitement poussé, pour n'y laisser pratiquement plus de Plutonium et de transuraniens —on ne sait pas très bien à quel prix—.

On peut aussi envisager —cela a été proposé par Monsieur Clermont— de prévoir, dans 500 ou 1 000 ans, un retraitement des verres pour en extraire les métaux précieux, qui ne seront plus radioactifs (il y en a pour 150 000 à 450 000 F à la tonne), et séparer à ce moment le Plutonium et les transuraniens, ce qui sera relativement facile, puisqu'il n'y aura plus de rayonnement β , γ pénétrant, mais seulement un rayonnement α , dont il est facile de se protéger. Il n'y a donc peut-être pas de lien rigide entre activité initiale, β , γ , et activité ultime α .

Cette activité ultime, pratiquement permanente, pose un problème sociologique et nullement géologique : dans quelle mesure avons-nous le droit de laisser à portée des générations futures, mettons dans 10 000 ans, des dépôts, même fermés et scellés, contenant des substances radioactives dangereuses, essentiellement du Plutonium ? N'y a-t-il pas une possibilité que le souvenir même de ce risque soit perdu, comme nous avons oublié les malédictions dont j'imagine que les constructeurs des sépultures mégalithiques assortissaient leur violation éventuelle.

"Nous autres civilisations, nous savons maintenant que nous sommes mortelles", a dit Paul Valéry. Quelle responsabilité pouvons-nous prendre à l'égard d'une civilisation future qui aurait oublié la nôtre ?

Grave question. Mais, selon quel scénario imaginer la disparition de notre civilisation ? Celui qui vient le premier à l'esprit est celui d'une guerre nucléaire généralisée. Lorsque les survivants de l'hémisphère sud viendront recoloniser l'Europe, ils y trouveraient des pollutions superficielles en Plutonium provenant des bombes, auprès desquelles nos dépôts de déchets seront tout à fait négligeables.

Mais une telle éventualité ne nous exonère pas de notre responsabilité.

On admet —mais c'est très conventionnel— qu'on peut laisser au voisinage immédiat de la surface des déchets, si il suffit que le dépôt soit clôturé et gardé pendant 300 ou 500 ans, et si il est admissible que le terrain soit ensuite banalisé, c'est-à-dire rendu aux mêmes usages que le terrain naturel. Je doute, personnellement, que cette banalisation soit effective, et je pense qu'une méfiance subsistera beaucoup plus longtemps.

Mais, des hypothèses faites sur les conséquences de cette banalisation dépend la teneur maximale en α admissible, pour le stockage en surface, qui devra être prochainement décidée. Faut-il pour les risques résultant de l'usage de ce

(1) Commissariat à l'Energie Atomique.

terrain banalisé, appliquer une méthode probabiliste, comme on le fait pour les risques naturels, pour combiner les suites de comportements défavorables, dont chacun est très peu probable, ou faut-il rechercher systématiquement l'effet de la combinaison de toutes les circonstances les plus pénalisantes, c'est-à-dire le "worst case", comme on le fait pour prévoir l'effet des installations nucléaires sur les populations environnantes? Question essentielle, qui relève de la sociologie et non de la géologie.

Faut-il comparer les risques, sur ces terrains banalisés à ceux que présentent certains terrains naturels riches en Uranium, qui se traduisent par une irradiation à l'intérieur de certaines maisons anciennes supérieure à ce qui est autorisé pour les travailleurs de l'industrie nucléaire, ou faut-il conserver les mêmes normes que pour le voisinage des centrales? Ce n'est pas à nous de répondre.

Si la teneur qui sera finalement jugée admissible est dépassée, on veut que le stockage soit inviolable par nature, c'est-à-dire soit souterrain, sans qu'on ait une idée claire de la profondeur à laquelle une pénétration accidentelle devient improbable par une civilisation dont nous ignorons quel sera le niveau technologique.

Sommes nous assurés que si elle est capable d'exécuter des travaux souterrains à une certaine profondeur, elle aura en même temps conservé nos connaissances sur la radioactivité, sa détection et ses dangers?

Il est clair que c'est une question dont la réponse relève, non de nos connaissances techniques, mais d'une acceptation d'ordre sociologique.

Par contre, une autre question nous concerne, qui est difficile, pouvons nous dire quels sites souterrains risqueraient d'être ramenés à la surface par des phénomènes géologiques d'ici un millions d'années. Selon son expérience, chacun d'entre nous pense à la poursuite de phénomènes tectoniques, d'érosion, ou d'activité volcanique, actifs dans un passé proche, par exemple, le Bas Vivarais, qui a connu deux phases volcaniques il y a 35 000 et quelques dizaines de milliers d'années.

Mais nous ne pourrions jamais garantir que l'inventaire réalisé à partir de telles suggestions soient exhaustif, et de toute façon, un consensus n'est pas une garantie de validité pour une prédiction.

Pour tout stockage, un point essentiel, dans l'immédiat est que les éléments radioactifs ne risquent pas d'être entraînés par les eaux souterraines et ramenés au contact de la biosphère, ou ne le soient qu'à une teneur n'entraînant aucun risque.

Même ce problème n'est pas de notre compétence exclusive, à cause du principe des barrières multiples. Les déchets sont conditionnés d'une manière qui, en principe, leur évite tout contact avec l'eau des terrains environnants — qu'il s'agisse de conteneurs en béton, de fûts métalliques, du verre des déchets de haute activité, avec le moule en inox, et peut-être un autre conteneur du gainage des crayons de combustible, et d'un autre conteneur à définir, etc.

Le problème est au deuxième degré; il provient de ce que tout conditionnement est susceptible de défaillances au bout d'un certain délai, dont je pense qu'elles seront souvent la manifestation d'un défaut initial. Cette défaillance peut permettre une circulation de l'eau, et il peut se produire une lixiviation, même si elle doit vraisemblablement géologique; mais il ne peut être traité indépendamment l'essentiel insolubles.

Ce n'est qu'en aval que commence le problème proprement géologique; mais il ne peut être traité indépendamment

de l'amont, c'est-à-dire des probabilités de défaillance des conditionnements.

Dire qu'un certain type d'emballage béton peut présenter des défaillances dans 300 ans, ne veut pas dire que tous les emballages de ce type seront défaillants à 600 ans, mais plus vraisemblablement que le pourcentage de défaillances ira en croissant lentement avec le temps; il est essentiel de l'exprimer par une loi qui fournisse une majorante, tout en étant réaliste et pas trop pénalisante.

Les dépôts de surface actuels sont en principe situés au-dessus de la nappe phréatique, dans sa position la plus haute. Ils sont recouverts d'une argile qui empêche la pénétration de la pluie et les eaux qui auraient néanmoins percolé sont recueillies par un radier en béton.

Par ailleurs, les eaux de la nappe sont contrôlées, le risque ne peut donc s'apprécier que par des probabilités de défaillance de ces différentes dispositions, et de la modélisation plus ou moins fidèle dont on dispose pour les eaux de la nappe.

Notons d'ailleurs que la zone non saturée est celle où l'eau circule le plus rapidement avec de l'oxygène, et est le siège des corrosions les plus actives. On pourrait envisager un autre schéma (explicitement prévu par la réglementation américaine pour les déchets β , γ de faible activité): dans une région argileuse, où la nappe affleure à la surface (donc marécageuse), creuser des fosses, pour y accumuler les colis de déchets. Remblayer avec de l'argile, et laisser le niveau local de la nappe se rétablir, peu en dessous de son niveau initial. L'eau stagne et n'apporte pas d'oxygène, et la très faible circulation se fait vers le dépôt, d'où il suffit d'extraire un très faible débit facile à contrôler (peut-être suffirait-il d'écarter les eaux de pluie en comptant sur l'évaporation pour maintenir une dépression).

Pour les dépôts souterrains, destinés à recevoir des déchets α et à rester inviolables pendant de longues durées, on ne peut envisager que des sites situés sous le niveau phréatique, dans des terrains imperméables. Notre tâche — et cela exigera des essais en place — sera d'abord de caractériser ces très faibles perméabilités. Toute l'hydrogéologie s'est orientée vers les perméabilités fortes ou moyennes, qui permettent l'exploitation de l'eau ou qui exigent qu'on s'en débarrasse.

L'étude des très faibles perméabilités, et de leur distribution fine, car il s'agira vraisemblablement d'une perméabilité de fracture, a été longtemps négligée. Plusieurs des communications présentées hier matin, dans le cadre du thème 3, "Essais hydrauliques et hydrogéologiques" montrent l'intérêt qu'on y porte maintenant, comme suite aux considérations dont nous nous entretenons. De ces travaux, de leur poursuite et de leur multiplication, nous pouvons attendre un progrès en hydrogéologie, mais également une caractérisation des différentes formations géologiques, non pas définies par un choix simpliste a priori, tel que granite, argile, sel, mais avec toutes les nuances qu'impliquent des histoires géologiques compliquées. Certains granites sont imperméables; d'autres, — pyrénéens, par exemple — ont été fracturés par une tectonique tardive et se comportent comme des aquifères par rapport à leur auréole de métamorphisme imperméable. D'autres — on nous en a cité un exemple canadien — ont été le siège de fracturations et d'intrusions successives.

Le creusement des capacités de stockage exigera l'exhaure, et déterminera un mode de circulation des eaux, vers les cavités, totalement différent du régime antérieur. Cette circulation peut affecter le remplissage des fissures, et augmenter la perméabilité de certaines d'entre elles. Le creusement des capacités de stockage modifie la distribution

des contraintes mécaniques et peut entraîner une certaine fissuration, modifiant la circulation des eaux.

Après remplissage complet du stockage, et comblement des vides restants avec une substance qui reste à déterminer (mais peut-on compter que ce comblement sera réalisé d'une manière très efficace?) l'eau réenvahira le stockage, et un nouveau régime hydrogéologique s'établira. En quoi différera-t-il du régime initial, avant le creusement? Les géologues devront essayer de répondre à cette question. Quel sera le régime hydrogéologique qui s'établira à long terme?

C'est ce régime qu'il importe de modéliser, avec au besoin des majorantes de sécurité, pour prévoir l'effet des défaillances aléatoires de conditionnement, puis de la lixiviation.

Il restera à tenir compte de l'adsorption sur les substances argileuses tapissant les fissures, des ions métalliques entraînés par la lixiviation, d'où résulte que les substances dissoutes ont un temps de parcours très supérieur à l'eau qui les contient, et que le pic d'une montée brutale de teneur sera considérablement amorti au bout d'une certaine distance.

D'après ce que nous savons, il y a lieu de penser que le problème ainsi posé peut être résolu, c'est-à-dire que la capacité totale d'un stockage, fixée de manière que les effluents

susceptibles de rejoindre la biosphère ne dépassent jamais les teneurs admissibles, répondra aux besoins de l'industrie nucléaire, et ceci, je pense sans qu'il soit nécessaire de descendre aux profondeurs maximales techniquement accessibles, loin de là.

C'est là un très vaste programme de recherche, essentiellement dans l'axe défini par le titre de notre Symposium: reconnaissance par essais en place. Ce travail ne peut être laissé à la seule responsabilité de quelques équipes spécialisées, mais il exigera la collaboration et en fin de compte, le consensus de l'ensemble de la communauté géologique et géotechnique mondiale. Comme pour toutes les étapes successives du développement de la Science géologique, il demandera des recherches de base multiples, qui devront porter sur les régions, et les formations, les plus variées. Elles comporteront au niveau de la certification des sites —et peut être avant— des travaux miniers permettant des études locales fines et approfondies. Mais les réponses que nous cherchons ne sont pas de celles que peut fournir une expérience isolée, si coûteuse soit-elle.

Si nous savons ne pas tenter de résoudre des questions sociologiques par des argumentations d'apparence géologique, le défi que les déchets nucléaires posent à notre société technologique pourra être relevé par les géologues pour ce qui les concerne, mais il imposera à nos travaux certaines orientations nouvelles, pendant les prochaines décennies.