

# centrales nucléoélectriques: surveillance de la radioactivité de l'environnement

Cet article a été contribué par Professeur Pierre Pellerin,  
de la Faculté de Médecine de Paris,

Directeur du Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants  
à l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale,

Ministère de la Santé Publique et de la Sécurité Sociale, France;

et Directeur du Centre International de Référence de l'Organisation Mondiale de la Santé  
pour la radioactivité de l'environnement.

Il y aura bientôt vingt ans que la première centrale électrique utilisant l'énergie nucléaire a été mise en route.

En 1970, plus de cinquante installations, réparties dans le monde entier, représentaient une puissance électrique totale de 22 000 mégawatts, et les estimations actuelles prévoient 4 000 gigawatts pour l'an 2000.

L'industrie nucléoélectrique n'en est donc plus à la période expérimentale comme semble parfois le croire un public non averti. Après quelques adaptations de jeunesse, auxquelles n'échappe nulle technique nouvelle, elle vient d'atteindre sa majorité et, au cours des cinq dernières années, a pris effectivement place parmi les ressources énergétiques sur lesquelles doivent compter les pays développés, en attendant de remplacer la plupart d'entre elles par l'importance croissante qu'elle ne manquera de prendre dans l'avenir.

Ainsi c'est grâce à sa seule électricité d'origine nucléaire qu'un grand pays européen, récemment paralysé par une grève des charbonnages, a pu, pendant près de deux semaines, maintenir ses ressources vitales en énergie et, en particulier, permettre à ses hôpitaux de survivre. Peut-on imaginer consécration plus encourageante?

Parallèlement au perfectionnement des réacteurs eux-mêmes, une évolution considérable, mais encore moins connue du grand public, est intervenue dans toute une série de domaines inséparables du développement de l'électricité d'origine nucléaire.

C'est ainsi qu'on a vu, au cours de l'expérience des deux dernières décennies, et après quelques tâtonnements inévitables se préciser les principes juridiques fondamentaux de la responsabilité de l'exploitation des installations, les normes pratiques de la radioprotection, les règles présidant aux études préalables des sites et à l'interprétation correcte des résultats de la surveillance, et les modalités d'une organisation efficace des services de contrôle.

Dans le même temps se perfectionnaient la technologie des appareils de mesures à faible niveau, celle des radioanalyses fines, et celles de l'épuration des effluents et du traitement des déchets radioactifs. Ces techniques sont maintenant totalement différentes de ce qu'elles étaient il y a dix ans.

Une connaissance précise des différents éléments de cette importante évolution et des étapes qu'elle a désormais atteintes est donc inséparable de toute conception saine de l'organisation actuelle du contrôle de l'environnement des centrales nucléoélectriques.

### Principes fondamentaux d'une surveillance rationnelle

Il s'agit d'abord de rappeler les principes sur lesquels sont fondées les normes de sécurité. Puis il y aura lieu de définir clairement les responsabilités: celles de la Santé Publique et celles des exploitants des centrales nucléaires.

**A: Les normes de sécurité** — Elles ont été fixées par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) en vue d'éviter tout effet biologique nuisible des irradiations ou de la contamination radioactive, soit pour l'individu (effets somatiques), soit pour sa descendance (effets génétiques). La CIPR a ainsi déterminé des limites de sécurité qui ont été reprises dans les nombreuses recommandations internationales ou réglementations nationales sous forme «d'équivalents de doses maximaux admissibles». A partir de ces limites, compte tenu des consommations quotidiennes moyennes de «l'homme standard», la CIPR a notamment calculé les «concentrations maximales admissibles» dans l'air et l'eau pour les différents radioéléments en fonction de leurs radiotoxicités propres. Ces concentrations maximales admissibles ont essentiellement été calculées pour les travailleurs exposés aux rayonnements. Pour la population dans son ensemble, la CIPR recommande d'affecter les concentrations maximales admissibles prévues pour les travailleurs (CMAT) d'un coefficient de sécurité supplémentaire de 1/10 (CMAP), compte tenu du fait que les travailleurs exposés font, de par la réglementation, l'objet d'une surveillance beaucoup plus détaillée que cela n'est concevable pour une population étendue.

Il faut souligner le caractère exceptionnel du travail effectué par la CIPR depuis plus de 25 ans. Aucune autre nuisance n'a jamais fait l'objet de recherches aussi poussées, ni de confrontations aussi nombreuses entre chercheurs, hygiénistes et juristes de tous les pays et de toutes les disciplines. Cet effort s'explique par le fait qu'il s'agit d'un risque nouveau, apparu récemment dans un monde déjà très avancé sur le plan technologique. Ainsi se sont trouvés mis à la portée des chercheurs et des hygiénistes des moyens dont on n'avait jamais disposé jusqu'alors pour lutter contre les pollutions traditionnelles, souvent beaucoup plus importantes et plus dangereuses, mais, hélas, de longue date solidement installées dans l'environnement. . . , dans les habitudes et la tolérance.

Les normes de la CIPR sont d'une extrême sévérité, certainement les plus sévères, à risque comparable, de toutes les normes de sécurité relatives aux autres nuisances. Il est certain que, si ces dernières avaient, dès l'origine, fait l'objet de dispositions équivalentes à celles que l'on prend pour les rayonnements et la contamination radioactive, nul ne parlerait aujourd'hui de problèmes soulevés par la pollution de l'environnement.

Bien entendu, les normes de la CIPR doivent, en pratique, être interprétées et adaptées à chaque type de centrale nucléaire dans chaque environnement. Il s'agit là, nous allons le voir, d'un travail qui ressortit à la responsabilité de services compétents de la Santé Publique de chaque pays.

Mais, à travers les particularismes réglementaires et une certaine latitude dans la diversité des moyens d'application, on retrouve les principes essentiels d'un contrôle pratique, efficace, qui sont désormais bien connus, bien définis, et communs à tous les pays intéressés, notamment grâce à l'action des organisations internationales.

**B: Responsabilités de la Santé Publique** – Le but de toute action d'hygiène publique est la sauvegarde de la santé des individus. C'est donc aux services médicaux spécialisés de la Santé Publique, et en premier lieu aux médecins radiobiologistes, qu'il appartient de déterminer les conditions auxquelles doit être soumise l'industrie nucléaire pour que soient respectées les normes, et qu'aucune atteinte ne soit portée à la santé de l'homme.

Cependant, comme l'irradiation et la contamination radioactive peuvent l'atteindre à travers des cheminements plus ou moins complexes dans son environnement (diffusion possible dans l'atmosphère, l'eau, les sols, la chaîne alimentaire), les médecins des services de Santé Publique auront, pour prendre leurs décisions, à s'entourer naturellement des avis de nombreux spécialistes de différentes disciplines; écologie, géologie, météorologie, technologie nucléaire, pour ne citer que les plus importants. La sauvegarde du milieu est donc, ici comme dans d'autres domaines, un préalable à la sauvegarde de l'homme.

Mais à aucun moment ne devra être perdu de vue le principe fondamental que la responsabilité dernière est d'ordre médical. C'est là une notion essentielle, qu'il s'agisse de protéger la santé de la population ou celle des travailleurs de l'industrie nucléaire, sur la nécessité de laquelle insistent particulièrement la CIPR, l'Organisation mondiale de la Santé, l'Agence internationale de l'énergie atomique, le Comité scientifique des Nations Unies et, à leur suite, les différents pays possédant une industrie nucléaire avancée.

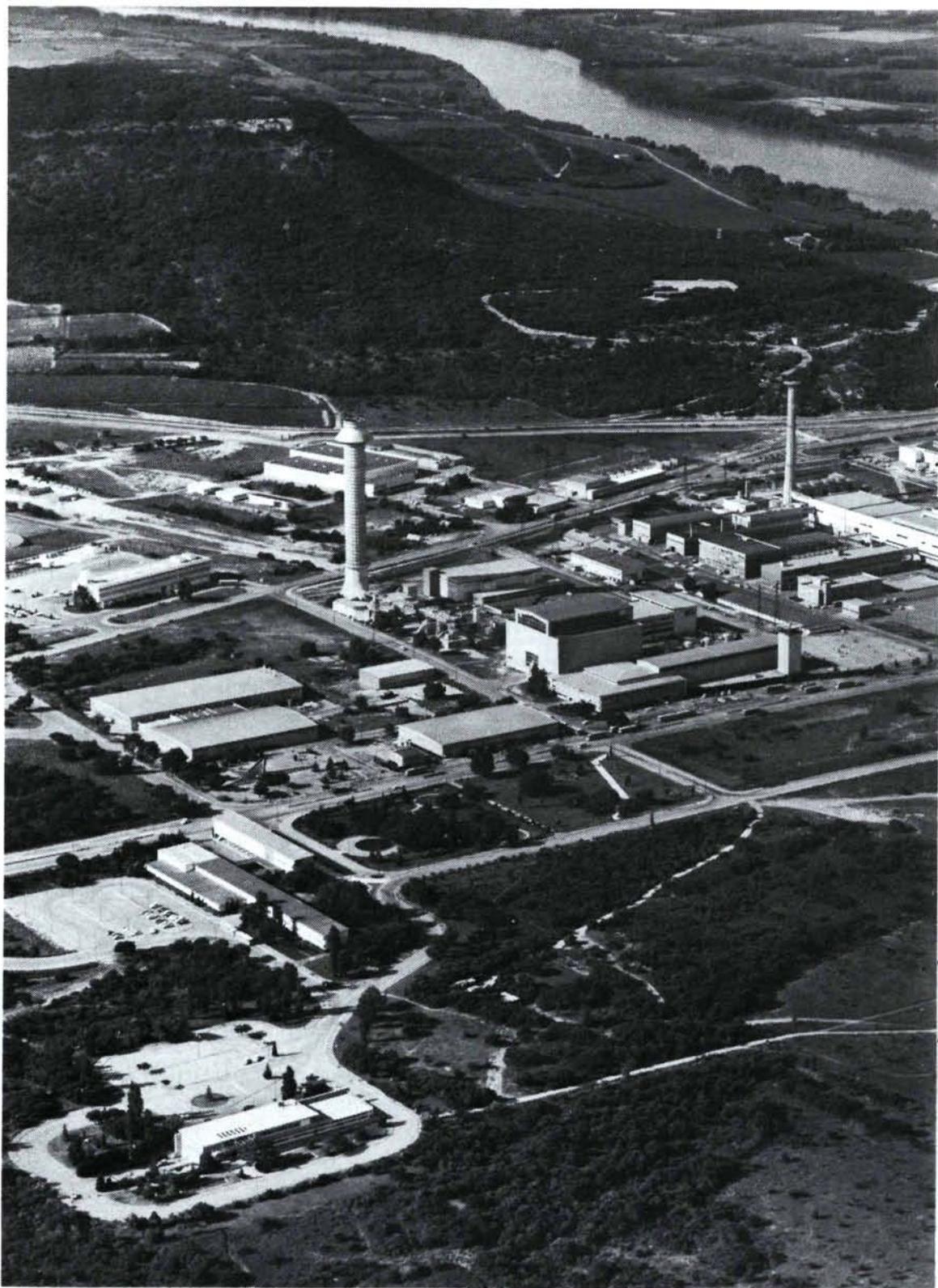
C'est la raison pour laquelle ce sont désormais les autorités de Santé Publique qui, dans tous ces pays, jouent le rôle déterminant en matière de surveillance des centrales nucléaires.

**C: Responsabilités des exploitants des centrales nucléaires** – La responsabilité de l'exploitant d'une centrale nucléaire n'est autre que celle de tout citoyen au regard du principe très général du droit selon lequel nul ne doit, volontairement ou non, porter, par ses activités, atteinte à la santé ni d'ailleurs au patrimoine d'autrui. L'implantation d'une centrale nucléaire dans une région donnée introduit un élément nouveau dans un équilibre préexistant. Elle ne peut donc être admise que si elle ne perturbe pas cet équilibre, notamment sur le plan de la santé de l'homme et de l'intégrité du milieu dans lequel il vit.

Bien entendu, les aspects considérés comme négatifs – et nous verrons qu'ils sont généralement très réduits – ne sont pas les seuls à prendre en considération dans ce nouveau équilibre. Il y a lieu d'y introduire aussi les avantages de toutes natures qu'entraînera cette implantation sur le plan économique, l'élévation du niveau de vie et du niveau sanitaire, la suppression de pollutions beaucoup plus dangereuses liées à la production thermique d'électricité, la disparition des problèmes dramatiques liés au déplacement de populations parfois nécessité par la construction de barrages hydroélectriques, etc. ... Mais ce sont là des problèmes ressortissant plutôt à la responsabilité des autorités gouvernementales qui devront prendre la décision de construction en pleine connaissance de ces différents éléments.

Pour ce qui concerne l'exploitant, à qui revient généralement l'initiative du projet, il lui appartient de fournir aux autorités de contrôle une étude préalable des conséquences du fonctionnement de la centrale, en particulier de celles des rejets qu'elle doit effectuer dans le milieu, et d'apporter la preuve que la faune, la flore, aussi bien que la santé de toutes les populations vivant à son voisinage n'en subiraient aucun dommage.

Les autorités de Santé Publique procéderont à une critique approfondie de ces études et entreprendront elles-mêmes, le cas échéant, certaines vérifications. Elles pourront, si nécessaire, demander de nouvelles études préalables à l'exploitant ou une modification de ses prévisions en matière de rejets.



Vue aérienne du Centre d'études nucléaires de Marcoule (France). Photo: Pierre Jahan



Si la construction de la centrale est autorisée, et lorsqu'elle entrera en fonctionnement, l'exploitant devra disposer sur place de tous les moyens lui permettant de vérifier, dès l'origine, que ses rejets respectent effectivement les limites fixées par la Santé Publique en toutes circonstances. Il importe en effet qu'il contrôle en permanence les conséquences de ses activités, qu'il soit pleinement conscient de leur importance exacte afin de pouvoir prendre à tout moment les dispositions nécessaires pour les maintenir dans les limites fixées. L'inventaire détaillé des rejets et de leur composition devra être constamment mis à jour et tenu à la disposition des autorités de Santé Publique auxquelles l'exploitant devra rendre compte périodiquement de ses activités: il ne peut en effet «être juge et partie», notamment au regard de la population intéressée et, s'il est de toutes façons astreint aux contrôles dont le principe vient d'être défini, les résultats de ceux-ci ne peuvent être validés que par les services de Santé Publique, en particulier après une confrontation avec les résultats des contrôles que ces dernières effectuent de leur côté.

Dans tous les cas, l'exploitant devra prendre les dispositions nécessaires pour étaler les rejets liquides ou gazeux de la centrale en vue de leur dilution la plus grande. Les concentrations maximales fixées ne doivent en effet être considérées que comme une limite extrême au-dessous de laquelle on devra toujours se tenir aussi bas que possible.

Enfin, lors des contrôles qu'il est tenu d'effectuer dans l'environnement, si l'exploitant venait à constater que les limites fixées risquent d'être dépassées, ou que les populations avoisinantes risquent d'être exposées à des équivalents de dose anormaux, il va de soi que sa responsabilité serait gravement engagée s'il n'en avertissait sans délai les autorités de Santé Publique et ne prenait immédiatement les dispositions permettant de remédier à cet état de choses.

#### Organisation pratique de la surveillance

Les centrales nucléaires ne rejettent pratiquement aucun polluant chimique ou biologique dans le milieu récepteur. Elles sont par contre susceptibles d'y rejeter de faibles quantités d'effluents radioactifs et des quantités de chaleur un peu plus élevées que les centrales thermiques, à puissance électrique équivalente.

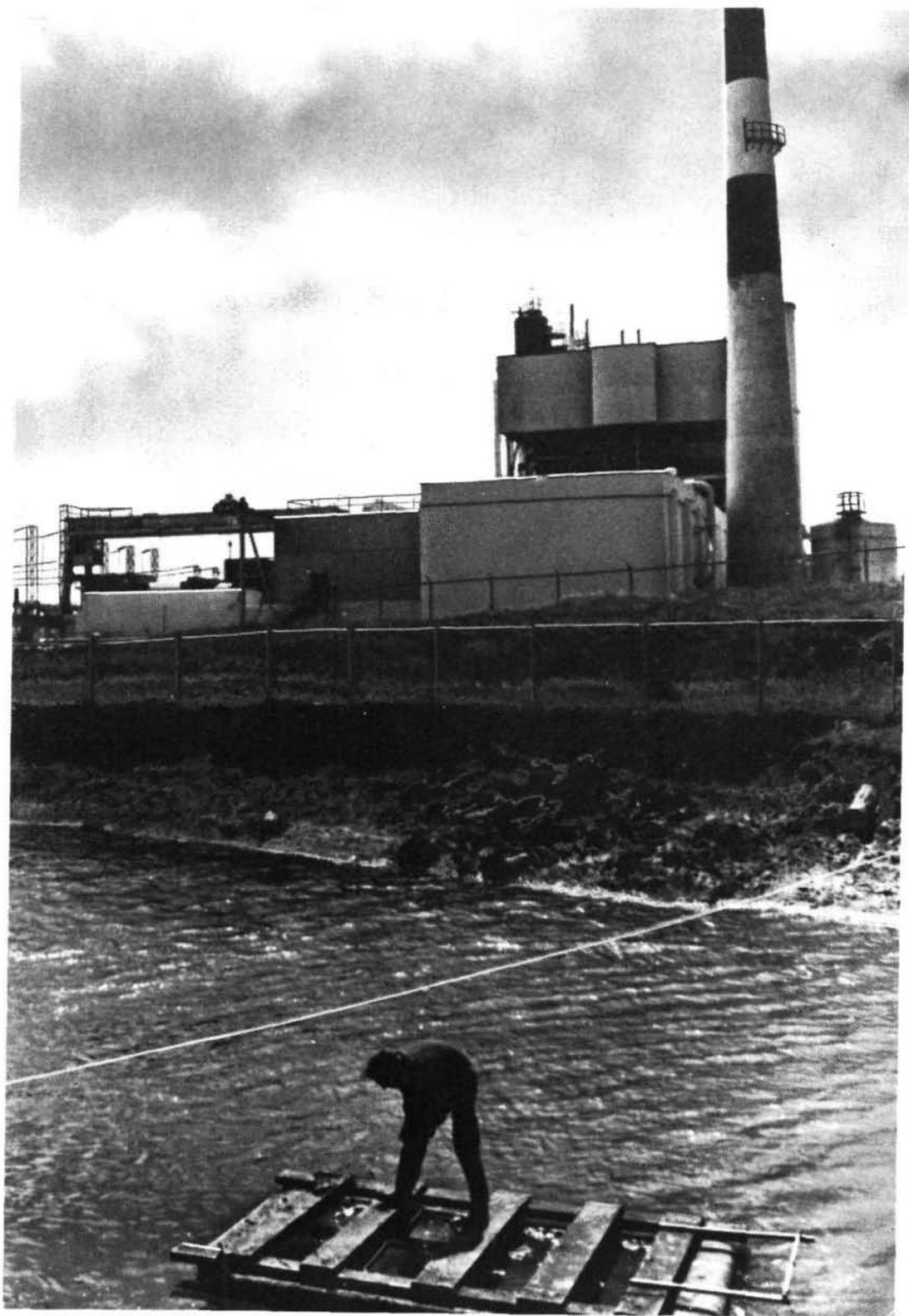
C'est donc la première de ces deux pollutions que nous allons étudier maintenant sous l'angle de l'organisation rationnelle de son contrôle.

**A: Evaluation de la capacité radiologique limite du milieu récepteur** — Il s'agit de déterminer la quantité maximale tolérable de polluant radioactif que peut accepter ce milieu récepteur. Son évaluation est fondée sur celles des rejets radioactifs, dans le milieu, qui délivreraient aux individus l'équivalent de dose maximal admissible tel qu'il a été défini précédemment. Dans le cadre d'un exposé aussi court, un exemple concret permettra de mieux saisir l'essentiel des problèmes à résoudre, et nous nous bornerons à l'étude de la capacité radiologique limite d'un bassin fluvial:

Considérons un fleuve ayant un débit moyen de  $1200 \text{ m}^3$  par seconde, ce qui correspond à quelque 40 milliards de  $\text{m}^3$  par an. La CMAP fixée par la CIPR pour un mélange émetteur  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  de composition totalement inconnue est de 10 picocuries par litre. Ce fleuve pourra donc accepter à la limite 400 curies par an d'un mélange de radioéléments totalement inconnus.

Cette norme est la plus sévère car, pour des raisons évidentes de sécurité, la CIPR considère que ce mélange de radioéléments inconnus pourrait être entièrement constitué par le plus

Dans ce canal d'évacuation de la centrale nucléaire de Humboldt Bay (Etats-Unis), un parc à huîtres a été installé. Les premiers résultats de cette expérience montrent que l'eau chaude accélère la croissance des huîtres et que la concentration dans ces huîtres des radioisotopes présents dans les eaux évacuées ne présente aucun risque du point de vue sanitaire: un homme pourrait se nourrir exclusivement de ces huîtres pendant toute sa vie. Photo: Pacific Gas and Electric Company



dangereux d'entre eux, le radium-226. Les normes correspondant aux autres radioéléments sont toutes moins sévères (certaines d'un facteur 1000), mais il est évident qu'on ne peut les appliquer que si l'on effectue la mesure séparée de l'activité de chacun d'entre eux dans le mélange.

Or ces radioanalyses détaillées sont parfois très longues à pratiquer, et conduiraient à des délais incompatibles à la fois avec une bonne surveillance du milieu et un fonctionnement rationnel des installations. Aussi se contente-t-on, dans la plupart des cas, de déterminer à part les éléments les plus dangereux (radium-226, plutonium-239, strontium-90, etc.) ou les plus encombrants (tritium).

En particulier, si l'on prend soin de mesurer à part l'activité du tritium, dont la CMAP est de 3 microcuries par litre d'eau, le fleuve que nous avons pris comme exemple pourrait accepter jusqu'à 100 mégacuries de tritium par an! La disponibilité resterait de toutes façons d'une capacité radiologique maximale pratique de près de 400 curies pour l'ensemble de tous les autres radioéléments qu'il ne sera pas nécessaire d'analyser en détail dans les contrôles courants.

En effet, un réacteur à eau sous pression d'une puissance de 1000 mégawatts électriques (ME(e)) ne rejette, compte tenu des traitements que l'on fait subir aux effluents, pas plus de 20 curies par an d'émetteurs  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ , le tritium étant compté à part et correspondant aux maximum à 5 000 curies par an. Le fleuve considéré pourrait donc, du point de vue des seuls effluents radioactifs, théoriquement accepter vingt installations du même type, soit 20 000 MW(e) au total.

Cette estimation est, rappelons-le, de très loin la plus pessimiste puisqu'elle est fondée sur la norme la plus sévère, et qu'une radioanalyse détaillée des effluents permettrait d'appliquer des CMAP, élément par élément, beaucoup plus élevées.

Mais il se trouve que l'on arrive, avec 20 000 MW(e), à peu près en même temps, au voisinage de la capacité maximale de refroidissement du fleuve considéré. En effet, 1000 MW(e) nucléaires correspondent à peu près à un réchauffement d'un degré pour 2000 m<sup>3</sup> d'eau par seconde, et l'on admet qu'une vingtaine de kilomètres du cours d'eau sont nécessaires pour dissiper la chaleur correspondante. Ainsi, même en tolérant pour chaque installation une augmentation de 2 ou 3 degrés de la température de l'eau du fleuve, pourrait-on difficilement installer en pratique plus de 3000 MW(e) tous les 30 ou 40 kilomètres.

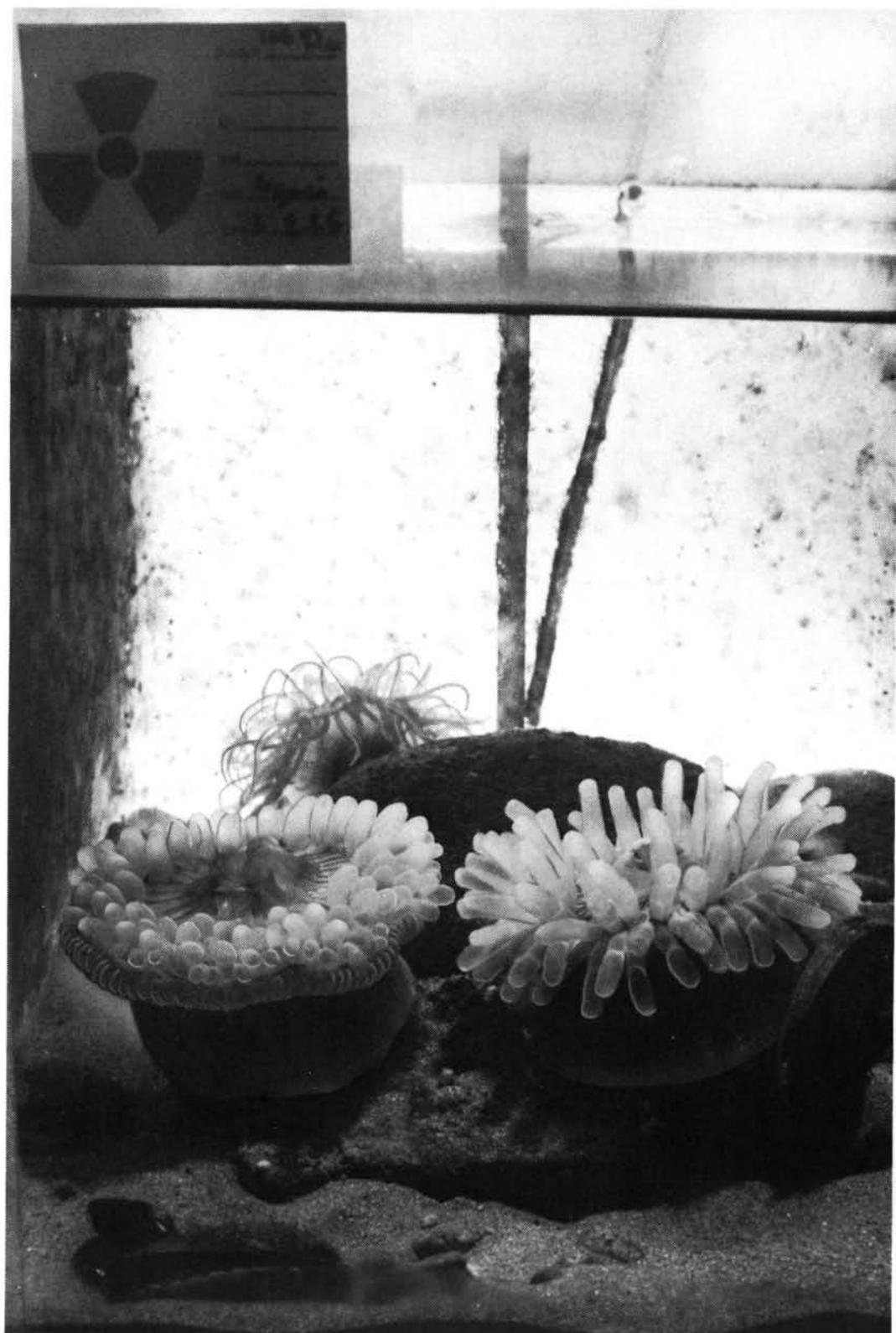
Il ressort de cet exemple qu'une planification des puissances réparties sur un bassin donné est nécessaire, sur le plan de la limitation de la pollution radioactive. Cette planification doit réserver une fraction précise de la capacité radiologique totale, fixée par la Santé Publique pour le bassin, à chacune des centrales nucléaires qu'il comportera.

Bien entendu, les progrès technologiques sont susceptibles de permettre dans l'avenir l'installation d'une puissance plus élevée sur un fleuve de même débit par la réduction de la radioactivité des rejets pendant leur traitement, et par la réduction de l'échauffement (amélioration de rendement, addition éventuelle de réfrigérants atmosphériques, etc.).

Mais la capacité de tous les bassins dont l'équipement serait rentable est loin d'être illimitée, et l'on sera inévitablement conduit à terme à reporter les installations de puissance sur les côtes, les eaux des océans offrant des possibilités beaucoup plus grandes de refroidissement et de dilution compatibles avec le respect des règles de Santé Publique.

**B: Mise en pratique de la surveillance** — Les différentes étapes de la surveillance de l'environnement au cours de la vie d'une centrale nucléaire sont bien connues et correspondent successivement au choix du site puis à la période de fonctionnement en routine industrielle. Il est bien évident que c'est la deuxième phase (fonctionnement industriel) qui sera de beaucoup la plus

Au laboratoire de radioécologie marine de la Haye, des études sont faites en aquarium sur les effets de la contamination du milieu marin par le plutonium, et l'on cherche à mesurer la fixation des radioisotopes par les organismes aquatiques. Photo: Pierre Jahan



longue puisqu'elle est le but même de cette réalisation. Les centrales nucléaires actuelles sont construites pour une durée moyenne de 20 à 30 ans.

1. *Etude préalable du site avant la construction de la centrale* — Elle doit permettre, dans le cadre de la fraction de la capacité radiologique du bassin allouée, d'une part la meilleure adaptation de l'installation au respect des règles de Santé Publique, d'autre part la détermination de la radioactivité naturelle du site avant toute pollution afin de mettre en évidence ultérieurement celles qui pourraient lui être ajoutées.

Le type de l'installation nucléaire (réacteur refroidi par gaz, réacteur à eau sous pression ou à eau bouillante) conditionne la composition des rejets qui devront être effectués, mais dans des limites qui n'excèdent pas les chiffres donnés précédemment. La technologie même du réacteur peut intervenir dans cette composition, et il est intéressant de noter par exemple que le gainage des combustibles en zircaloy au lieu d'acier permet, pour les réacteurs à eau, une réduction de près d'un facteur 100 de la libération du tritium par sa combinaison avec cet alliage au lieu même de sa production.

Bien entendu l'autorisation de construire la centrale et de la mettre en route ne peut être approuvée par les autorités de Santé Publique que si les résultats de l'étude préalable confirment que l'installation sera correctement adaptée au site.

2. *Surveillance pendant la période de fonctionnement industriel* — Elle porte sur la vérification de l'application effective des dispositions qui doivent être prises par l'exploitant pour assurer le respect des limites autorisées.

Pour ce qui concerne les effluents gazeux, les rejets ne peuvent être effectués que sous réserve de disposer sur la canalisation de rejet des moyens de mesure appropriés, et d'enregistrer les paramètres météorologiques habituels pendant chaque rejet.

Pour les eaux, la détermination préalable de la composition physico-chimique, des volumes, des activités à rejeter, et un contrôle à l'émission pendant chaque rejet sont indispensables. Périodiquement, les boues du fleuve doivent aussi faire l'objet de vérifications.

Quant aux déchets solides de moyenne activité, leur stockage sur le site doit apporter toutes les garanties nécessaires pour qu'ils ne contaminent ni les sols, ni la nappe phréatique, même en cas de crue du fleuve récepteur.

Une surveillance périodique des éléments de la chaîne alimentaire (lait notamment) complètera ce contrôle permanent.

L'ensemble de ces dispositions doit faire l'objet d'accords d'application entre l'exploitant et les autorités responsables de la Santé Publique. Ces dernières devront pouvoir accéder en toutes circonstances aux installations. Elles procéderont, indépendamment des contrôles qu'elles effectuent elles-mêmes en routine, à des prélèvements « au vol » dont les résultats insolites pourraient entraîner des analyses plus approfondies et, éventuellement, une révision des conditions de fonctionnement autorisées pour la centrale.

## Conclusions

Grâce aux rayonnements qu'elles émettent, les substances radioactives peuvent être détectées, identifiées et mesurées à des concentrations exceptionnellement faibles: les masses correspondantes sont mille à dix mille fois plus faibles que celles que l'on peut mesurer pour tout autre méthode chimique ou physique, si précise qu'elle soit, appliquée à des substances non radioactives.

Il en résulte que les radioéléments peuvent être décelés dans l'environnement à des niveaux très inférieurs à ceux pour lesquels pourraient commencer à se poser des problèmes réels de Santé Publique. On ne peut malheureusement en dire autant de beaucoup de polluants non

radioactifs que l'on ne sait mesurer qu'à des concentrations souvent très proches du seuil de toxicité ou même le dépassant.

Mais il semble qu'il y ait assez fréquemment confusion entre seuil de détection et seuil de toxicité dans l'esprit d'un public non averti, ce qui explique sans doute la situation suivante, pour le moins paradoxale: on craint d'hypothétiques effets de la radioactivité à des niveaux dérisoires alors que, dans le même temps, on ne se préoccupe nullement d'un dépassement quasi-permanent des limites de toxicité de très nombreux polluants non radioactifs mais bien réels. Or la somme de toutes les irradiations artificielles ne dépasse par les fluctuations habituelles de l'irradiation naturelle. et, si les effets génétiques des très faibles doses de rayonnement étaient réellement cumulatifs, l'irradiation naturelle inévitable, qui est de très loin la plus élevée, aurait à elle seule depuis longtemps supprimé toute trace de vie sur la terre.

N'oublions pas enfin que la seule utilisation des rayons X en médecine, et notamment en radiodiagnostic, représente une irradiation artificielle moyenne supplémentaire de la population qui double l'irradiation naturelle (100 millirems par an). ce qui correspond à près de cent fois l'irradiation qui serait liée à l'industrie nucléaire dans son évaluation la plus pessimiste.

Or nous avons vu que les dispositions qui viennent d'être décrites permettent effectivement de maintenir en toutes circonstances la radioactivité dans l'environnement à un niveau parfaitement compatible avec le respect des règles de l'hygiène publique.

Loin de présenter un danger quelconque pour les populations, les installations nucléaires peuvent donc, par la rigueur des contrôles auxquels elles sont soumises, servir de modèle pour la lutte contre de nombreuses pollutions traditionnelles inadmissibles de l'environnement, dont elles ne manqueront d'ailleurs, à terme, de faire disparaître parmi les plus inquiétantes.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- [1] I. C. R. P. - Publication 7: Report by Committee 4, Pergamon Press, 1965.
- [2] Surveillance courante des radionucléides dans l'air et dans l'eau; OMS, Genève, 1969.
- [3] Exploitation des Centrales Nucléaires - Coll. Sécurité n° 31, AIEA, Vienne, 1970.
- [4] Management of radioactive wastes at nuclear power plants. Coll. Sécurité n° 28, AIEA. Vienne, 1968.
- [5] HEDGRAN, A. et LINDELL, B.: On the swedish policy with regard to the limitation of radioactive discharges from nuclear power stations, N. I. R. P. Stockholm, 1970.
- [6] Public Health Service - Radioactive waste discharges to the environment from nuclear power facilities. USA - BRE/DER, 1970.
- [7] Public Health Service - An estimate of radiation doses received by individuals living in the vicinity of a nuclear fuel reprocessing plant in 1968, USA - BRD/NERHL, 1970.
- [8] JONES, J. K. et al.: The experience of the Central Electricity Generating Board in monitoring the environment of its nuclear power stations, I. R. P. A. n° 298, Brighton, 1970.
- [9] JACOBS, D. G.: Sources of Tritium and its behaviour upon release in the environment, Springfield, 1969.
- [10] Environmental contamination by radioactive materials, OMS, AIEA, FAO, Vienne, 1970.
- [11] Environmental Aspects of Nuclear power stations; AIEA. Vienne, 1970.