

ÉTUDES SCIENTIFIQUES

Les centrales nucléaires et l'environnement

par Yves LE GAL*

L'accélération soudaine du programme nucléaire civil en France et en Europe suscite un grand nombre d'interrogations de la part du public et de la part des milieux scientifiques mal préparés à y répondre.

De leur côté, les promoteurs de l'équipement électrique sur la base du « tout-nucléaire » semblent avoir délibérément écarté la notion de doute et de risque, que ce soit sur la rentabilité vraie du système ou sur les incidences du fonctionnement de la chaîne nucléaire sur les populations.

Nous tentons ici de faire le point sur les conséquences biologiques possibles de l'implantation des centrales nucléaires de grande puissance dans nos régions.

I. POLLUTIONS THERMIQUES

Ce problème n'est pas lié nécessairement à l'énergie nucléaire, mais est amplifié par l'importance des installations. 4 tranches de 1 000 MW nécessitent un débit de 200 m³/s pour assurer un refroidissement correct du condenseur. C'est le débit de la Seine à Paris, la température de ce fleuve sera élevée en moyenne de 8-10° C. Il n'y a actuellement sur ce sujet aucune étude écologique faite ou publiée. Un programme de recherches doit débiter prochainement, mais celui-ci n'aura pas d'influence sur la décision d'implanter ou non une centrale nucléaire mais seulement sur les modalités de l'implantation. On dispose cependant à l'heure actuelle d'un certain nombre de faits d'expérience en ce domaine.

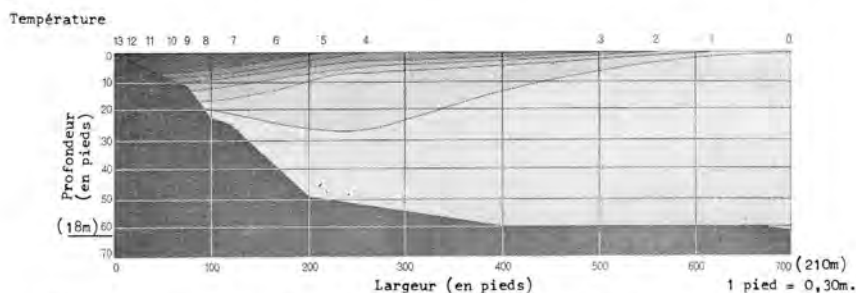
* Laboratoire de Biologie Marine, Collège de France, Concarneau.

Les effets des pollutions thermiques en rivière sont souvent de grande amplitude : Delaware river jusqu'à 37°-40° au lieu de 27° en été, Mahoning river (Ohio) 60°, de même au lieu de glace en hiver, on peut avoir + 6° dans le port de Copenhague (1).



Thermophotographie aérienne dans l'infrarouge montrant l'injection du rejet thermique de la centrale nucléaire de Haddam, sur la Connecticut River (U.S.A.). Réacteur P.W.R. de 600 MWe.

(D'après J.R. CLARK in Scientific American, 1969, T. 220, 3)



Etude expérimentale de la diffusion dans le fleuve Hudson de la « plume » d'eau chaude issue du refroidissement de la centrale nucléaire de Indian Point I (U.S.A.). Réacteur de 275 MWe. Coupe transversale du fleuve montrant sa structure thermique.

(D'après J.R. CLARK, op. cit.)

Considérations a priori :

— MORT. Beaucoup d'organismes sont tués à des températures qui ne sont pas beaucoup plus élevées que la température d'acclimatation. Cependant, ceci est variable selon l'habitat et l'espèce, les mollusques intertidaux sont plus tolérants. Les espèces d'estuaire ont une plus grande tolérance que les espèces littorales car les conditions naturelles des estuaires présentent déjà de larges fluctuations naturelles.

— MÉTABOLISME ET CROISSANCE. Dans les eaux tempérées, la plupart des animaux réduisent leur consommation de nourriture

(1) E. NAYLOR, Advances in Marine Biology, Vol. 3, Acad. Press, London, New York, 1965.

en hiver et cessent leur croissance. De ce fait, des effluents chauffés peuvent accroître la demande en nourriture et le taux de croissance en hiver. Les crabes et saumons ont une croissance plus rapide et atteignent une plus grande taille pour un âge donné. Le *Cyprinodon macularius* a des taux de croissance qui diminuent de 30° à 15° C (KINNE, 1960). Cependant, pour cette même espèce, on a pu constater que la taille maximale et l'âge maximum étaient inchangés. D'ailleurs la plupart des espèces marines atteignent leur plus grande taille finale dans les parties les plus froides de leur zone de distribution. D'une manière générale, on peut prévoir que des effluents chauds entraîneront une croissance initiale importante et une maturité précoce et une diminution de la taille adulte.

— BIOLOGIE DES POISSONS. Les déplacements de thons, de maquereaux, etc., s'effectuent pour des écarts de température de l'ordre du 1/2 degré centigrade. On peut donc prévoir des réactions de fuite de certaines espèces vagiles. Quant à la production du milieu, il est bien connu qu'elle est accrue dans les zones de remontées d'eau froide (upwelling des côtes du Maroc ou du Chili).

— REPRODUCTION. La reproduction se produit en général dans une gamme de températures beaucoup plus étroite que celle qui est tolérée par les adultes. Inversement, un réchauffement artificiel peut encourager la reproduction d'espèces étrangères. Pour un certain nombre d'espèces de tendance méridionale ou septentrionale, les effets peuvent être différents : le chauffage peut empêcher la reproduction d'espèces nordiques alors que les espèces de basse latitude deviennent plus prolifiques. Ainsi le fait de maintenir au-dessus de 10° C la température de l'eau empêche la reproduction de *Balanus balanoides*.

— MATURATION DES ŒUFS. Chez de nombreuses espèces, la ponte est déclenchée par un choc thermique et des conditions particulières de lumière. On peut dans ces conditions envisager des déclenchements de ponte à tort et à travers sans que les autres supports physiques ou biologiques soient là pour assurer le développement des larves.

— ACCLIMATATION. Pour beaucoup d'animaux de type poikilotherme, une acclimatation peut se produire de manière à maintenir constante l'activité métabolique. Ceci a été démontré pour un grand nombre de vers, mollusques et crustacés marins.

— AU NIVEAU CELLULAIRE. L'adaptation à la température des espèces à sang froid s'effectue par un processus génétiquement déterminé. Ainsi la crevette Bouquet (*Palaemon serratus*) possède deux stocks d'enzymes. L'un est utilisé pendant la saison froide avec un optimum de réponse à 7° C. L'autre qui remplace progressivement le premier en été fonctionne préférentiellement à 17° C. Ces températures correspondent respectivement à celles des eaux des côtes du Sud-Finistère en hiver et en été. Mais il n'existe chez cette crevette aucun système capable de fonctionner avec efficacité à 25° C, c'est-à-dire dans un milieu naturel artificiellement réchauffé (1). Les gènes correspondants n'existent pas et une duplication de gène, mutation favorable éventuelle, n'interviendrait pas avant plusieurs millions d'années.

— EFFETS MÉCANIQUES. Un mètre cube d'eau de mer contient en moyenne 10 g de matière vivante (plancton végétal et animal,

(1) M.-T. LE BULZE et Y. LE GAL, C.R. Acad. Sc., 279 (1974), 1637.

poissons, etc.). Pour une centrale de $4 \times 1\,000$ MW, ce seront par jour près de 200 tonnes de matière vivante qui passeront par turbine, seront mécaniquement détruites, chauffées et chlorées. Cet ensemble se déposera sur le sédiment et contribuera à l'anoxie d'un milieu déjà appauvri en oxygène du fait de l'augmentation de température. Les mesures effectuées en conditions réelles montrent dans de nombreux cas que les eaux chaudes ne se dispersent pas d'une manière homogène. Des conditions locales (courants) et météorologiques font que dans certains cas un fleuve se retrouve en mer jusqu'à une distance de 200 km (cas de la Vilaine au large de Belle-Ile). Il est fort concevable que le courant créé par le système de refroidissement des centrales nucléaires se comportera selon les mêmes lois physiques : des masses d'eau de propriétés physiques différentes se mélangeront toujours difficilement. De ce fait, certaines régions risquent d'être balayées de temps à autre par un « faisceau thermique » beaucoup plus important que celui qui avait été prévu par ce calcul.

— EFFETS DE SYNERGIE. La sensibilité des systèmes biologiques à certains polluants (DDT, métaux, etc.) est accrue pour des températures supérieures à la normale. Compte tenu de l'état actuel de nos mers, il convient de rester extrêmement prudent face à la multiplication des sources de pollutions diverses dont les effets risquent d'être cumulatifs. Il n'est plus possible de considérer chaque cas de pollution isolément.

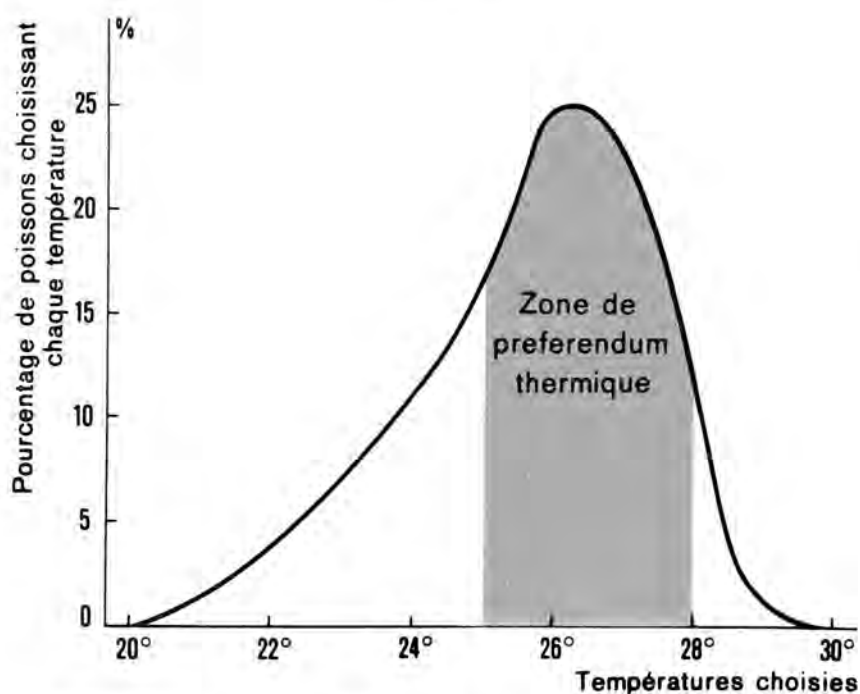
Effets observés :

— PERTURBATION DE L'ÉQUILIBRE NATUREL DU MILIEU. L'effet de la température peut jouer différemment sur les divers constituants du milieu marin. Mais la disparition des maillons les plus sensibles peut entraîner la diminution progressive de tous les autres, par exemple si un poisson résistant ne trouve plus sa nourriture habituelle composée, elle, de plancton plus sensible. Le milieu biologique est déjà en équilibre précaire et les effets cumulés du chlore (ajouté massivement pour nettoyer les canalisations de leur contenu en moules, espèce extrêmement résistante à toutes sortes de pollutions) et de l'élévation de température sont catastrophiques. Tel est le cas à Vandellos (Catalogne espagnole) où le rejet du chlore entraîne la disparition sur plusieurs km du plancton végétal, premier maillon de la chaîne alimentaire.

— ELIMINATION D'ESPÈCES ET FAUNES DE REMPLACEMENT. Si les tuyaux d'amenée d'eau sont souvent encombrés d'espèces de fouling, rien de semblable n'arrive dans les tuyaux de sortie. Ceci est dû à l'élévation de température du fouling. On peut ainsi envisager d'éliminer le fouling (moules en particulier) par une simple renverse périodique du courant. Des études effectuées en Grande-Bretagne ont, d'une manière générale (1), montré l'exclusion des espèces fixées autochtones (bernaques en particulier) au voisinage de rejets thermiques.

En ce qui concerne un crustacé, le crabe *Carcinus moenas*, on a observé qu'il se trouvait en abondance dans les eaux réchauffées mais qu'il ne pouvait s'y reproduire, le renouvellement de la population étant effectué à partir d'apports extérieurs.

(1) NAYLOR E. (1965), Proc. Zool. Soc., London, 144, 253-268.



Preferendum thermique du poisson *Gisella nigricans*. Environ 75 % des individus se groupent dans la zone de température correspondant à l'aire en grisé entre 25° et 28°.

(D'après R. DAJOZ in Science Progrès Découverte, Juin 1970)

Utilisation possible des effluents :

Outre l'emploi des eaux réchauffées pour le chauffage domestique, il existe relativement peu d'exemples de leur utilisation.

Quelques expériences de culture d'espèces comestibles ont été effectuées, mais aucune généralisation n'a été jusqu'à présent envisagée. En réalité, les applications dans ce sens des pollutions thermiques dépendent du développement de l'aquaculture et des conditions particulières à chaque espèce.

Par contre, face à ces possibilités il convient également d'envisager la recrudescence de « blooms phytoplanctoniques » (eaux rouges en particulier) qui peuvent entraîner des mortalités importantes dans les établissements conchylicoles.

II. ACTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Les rayonnements émis peuvent être des particules α , β^+ , β^- ou des rayonnements électromagnétiques γ . La radioactivité est liée à l'instabilité de certains noyaux. On assiste au départ de particules pour rétablir l'équilibre. Ceci s'accompagne d'une variation du numéro atomique N, de la charge α ou des deux à la fois.

La comparaison des effets des centrales nucléaires avec ceux de la radioactivité ambiante ne veut absolument rien dire. Nous sommes en effet entourés de multiples sources de radiations : rayons cosmiques, terres granitiques contenant des minerais radioactifs, etc., qui entraînent des effets directs. Les rayonnements α , γ , les neutrons provoquent l'introduction de radicaux libres et ont pour conséquence des dommages beaucoup plus importants que les rayons X déjà dangereux (P^r PELLERIN, S.C.P.R.I.). Ces rayonnements ne sont pas utilisables par la matière vivante qui s'en protège par les pigments de la peau, par des enzymes de réparation qui remettent en partie en ordre le matériel génétique endommagé (acide désoxyribonucléique). Il y a de bonnes utilisations de ces rayonnements, par exemple la stérilisation des êtres unicellulaires (utilisation des produits de fission) ou la destruction des tumeurs par l'Iode, le Phosphore, le Cobalt, le Radium autrefois. Mais en même temps on cause des dommages quelquefois irréversibles sur les tissus sains : on observe des aberrations chromosomiques près des thyroïdes traitées par l'Iode.

Ceci a été montré par BOYD et coll. (Rad. Res. 57 (1974), 482-7) dans le cas du traitement de la tyrotoxicose.

Par ailleurs, on ne compte plus les publications scientifiques reportant des effets mutagènes expérimentaux dans le cas d'incorporation chronique de radionucléides tels que ¹³⁷Cs ou ⁹⁰Sr.

L'IRRADIATION NATURELLE A DES EFFETS NOCIFS.

Les radiations naturelles ont aussi des effets nocifs. L'irradiation naturelle (rayons cosmiques, minerais, radon) n'est pas différente en nature des rayons X et des rayonnements liés à l'utilisation de l'énergie nucléaire et correspond à une irradiation de 170 m Rem (1) (ou par an 1/5 de röntgen (r)). Ceci provoque des mutations : 1 r provoque environ 100 mutations (1 000 r = 9.10⁻³ joules/cm sont mortels). Ces mutations sont visibles et entrent pour une certaine part dans les avortements spontanés, les malformations congénitales, certains cancers. Ce sont souvent des effets à long terme : la cancérisation chez les mineurs d'Uranium intervient 10-20 ans après.

Un rapport interne EDF mentionne :

« Certaines populations de Bretagne et du Massif Central intègrent des doses naturelles supérieures aux limites fixées par l'I.C.R.P. de 500 m Rem/an. Il conviendrait de savoir si les Bretons ou les Auvergnats engendrent plus de tarés que le reste de la population française, sont plus souvent sujets aux cancers ou aux leucémies que le reste de la population française. »

Il conviendrait en effet de le savoir réellement et il serait extrêmement intéressant de voir une étude sérieuse rendue publi-

(1) Le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (SCPRI) donne la valeur estimée du « fond » de radioactivité naturelle pour les habitants de terrains granitiques au bord de la mer. Soit : 100 m Rem dus au sol + 30 m Rems dus aux rayonnements cosmiques + 20 m Rems dus à la radioactivité interne due en majeure partie au potassium (40 K). Cette manière de calculer est incorrecte car on ne peut ajouter que des grandeurs de même nature. Or, les effets des radiations émises à l'intérieur de l'organisme sont ressentis par l'organisme d'une manière considérablement plus aiguë que les effets de la radioactivité extérieure.

que sur ce sujet. Or, pour l'instant, les autorités chargées de la radioprotection se gardent de divulguer les résultats en leur possession.

Il n'y a pas de dose seuil et tout accroissement des radiations entraîne une augmentation correspondante des effets biologiques. Mais beaucoup plus graves encore sont les risques de contamination interne. Cet aspect semble assez délibérément ignoré par l'EDF car cette administration n'a aucun argument à apporter pour l'instant sur ce problème. En effet, dans ce cas chaque élément radioactif émet directement dans une cellule, ce qui exclut la protection qui existait dans le cas des irradiations externes. Deux mécanismes concourent à la contamination par voie interne :

a) *La concentration au stade de l'incorporation dans la cellule.*

Tous les organismes disposent de systèmes enzymatiques capables de concentrer des substances organiques minérales. C'est le cas pour certains produits de fission comme le montre le tableau ci-dessous (1) :

Facteurs de concentration	{ 144 Cr 137 Cs	Partie comestible	
		des Mollusques	des Crustacés
		4 - 10 X 100 - 300 moule 1 000	20 - 30

Ce phénomène est tempéré par un phénomène inverse, mais le mécanisme de concentration devient d'autant plus important que la teneur de l'eau de mer en radioéléments s'accroît. Au niveau des usines de retraitement ce phénomène est capital. En effet, ces usines de retraitement (La Hague, Windscale) récupèrent l'Uranium, le Plutonium avec des rendements toujours inférieurs à 100 %. Le reste est expulsé dans l'eau par dilution ou en containers (durée de vie 10 ans : certains déjà fissurés). A titre d'exemple, le Cesium (Cs 137) en mer d'Irlande provient de l'usine de retraitement britannique de Windscale :

Année	1968	1969	1970	1971	1972
radioactivité pci/litre (137 Cs)	3,2	1,7	4,6	14,6	16,2

La diminution en 1968-1969 correspond à l'arrêt des expériences atomiques atmosphériques. Ensuite on assiste à une progression constante (2).

(1) LEGALL, ANCELLIN. La Hague, Note CEA H 1488, Nov. 1971.

(2) Marine Poll¹⁰ Bulltin, vol. 4, août 1973, p. 118. D. JEFFERIES, A. PRESTON et A. STEALE.



Tour de réfrigération humide (en circuit ouvert) d'une centrale nucléaire P.W.R. de 1200 MWe. en construction à Portland, Orégon (U.S.A.).

(D'après R. WILSON, W. JONES in *Energy, Ecology and the Environment*, Academic Press, 1974)

b) *Au niveau des chaînes alimentaires.*

On peut considérer le schéma suivant pour l'utilisation de la matière organique dans une chaîne alimentaire :

plancton V	10 000 g	1 ^{er} carnivore	100 g
plancton A	1 000 g	2 ^e carnivore	10 g
	Homme	1 g	

En définitive, il faudra 10 kg de plancton végétal pour fabriquer 1 g d'Homme. Les éléments non biodégradables qui, au départ, sont présents dans les 10 000 g de plancton végétal, se retrouvent dans un petit espace. On peut ainsi atteindre des concentrations extrêmement importantes et de haute toxicité. C'est le cas du Mercure (Minamata), du DDT, etc. C'est également le cas des produits de fission, qui même dilués au départ se retrouvent très concentrés dans les organismes et peuvent causer au niveau individuel des dommages tels que cancers, leucémies, ou bien tout simplement des décès par maladies diverses du fait de l'affaiblissement des défenses naturelles. En définitive, même si l'on déplace une ou plusieurs centrales, le problème du retraitement au niveau de La Hague demeurera, amplifié de 100 ou 200 fois par rapport aux données actuelles et compliqué par le fait que les centrales de type Westinghouse produisent comme déchet de l'oxyde de Plutonium pour lequel on ne dispose à l'heure actuelle d'aucun moyen de traitement satisfaisant.

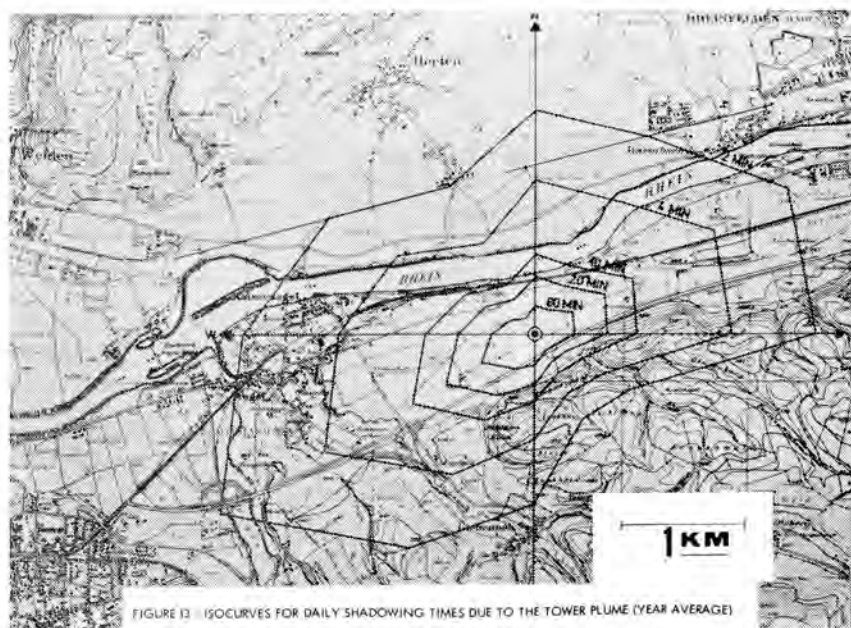
Actuellement, la controverse scientifique se développe (1) au sujet des risques dus au Plutonium (dont, malgré toutes les précautions prises, un pourcentage, minime mais significatif, est rejeté en mer au niveau du retraitement).

C'est ainsi que la conclusion du Medical Research Council (Nature, 253 (1975), 385) est que rien ne permet d'affirmer que l'irradiation des poumons par des particules de haute activité soit plus dangereuse que la même activité uniformément répartie, le D^r TAMPLIN (New Scientist, mars 1975) demande une réduction des normes à cet égard de l'ordre de 1 000.

Or le problème est d'importance car le Plutonium métal ou nitrate peut être oxydé en PuO_2 inhalable. De très nombreux travailleurs ont ainsi été contaminés aux USA et des fuites de Plutonium ont relâché jusqu'à présent des dizaines de grammes de Plutonium au-dehors des centrales américaines.

Malgré toutes les précautions prises jusqu'à présent, des centaines de curies de Plutonium ont été expédiées en mer d'Irlande depuis Windscale, l'usine-sœur de La Hague.

Il convient à cet égard de rappeler qu'alors que les stocks mondiaux de Plutonium ont dépassé le millier de tonnes, quelques microgrammes suffisent à induire un cancer des poumons chez le chien.



Polygones d'absorption du rayonnement solaire au niveau du sol dû au panache de vapeur d'eau issu d'une tour de réfrigération humide.

Résultat d'une étude expérimentale conduite préalablement à l'implantation éventuelle d'une centrale nucléaire à Kaiseraugst (Suisse). Les chiffres représentent des temps quotidiens en moyenne annuelle.

(D'après P. BOGH & al., international Nuclear Industries. Fair Bâle, 1972)

(1) LOVINS et PATTERSON, Nature, 254 (1975) 278-280.

La mise en route des surgénérateurs ne fera qu'accroître le danger. On conçoit alors combien il est important de connaître les effets sur les populations du fonctionnement normal des centrales nucléaires et des centres de retraitement.

On sait déjà, par exemple, que les enfants de la région de Olen où se situe une usine émettant normalement du Radon (^{226}Ra) ont, dans leur dentition, des teneurs en cet isotope de 2 à 3 fois supérieures à la normale (1).

A la British Nuclear Fuel limited (Windscale), 5 employés et ex-employés sont morts de leucémie au cours des 24 ans de fonctionnement (Nature, 253 (1975), 385). Selon un calcul statistique, la mortalité normale aurait dû être de 4. Selon la compagnie il n'est donc pas possible de distinguer le risque dû à l'installation nucléaire, mais il a été démontré par la suite que le risque normal était surévalué d'un facteur 3 et que par ailleurs beaucoup d'employés portaient et qu'on ne retrouvait pas leur trace.

Là encore, les faits indiquent le besoin d'une recherche sérieuse pour évaluer les risques liés à l'utilisation de l'énergie nucléaire.

La sécurité de fonctionnement : En novembre 1967, au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, 55 000 ci sont relâchés dans l'enceinte. En définitive, environ 2 000 ci sont dispersés sur la ville. La population n'est pas avertie de l'incident car il n'aurait pas été possible de lui faire comprendre de quels types de curies il s'agissait.

L'IRRADIATION AUTOUR DES CENTRALES NUCLÉAIRES.

Le Dr STERNGLASS a publié la statistique suivante mettant en relief les risques en cours autour de la centrale nucléaire américaine d'Aliquippa en Pennsylvanie. Jusqu'à présent, aucune statistique infirmant ces données n'est entrée en notre possession.

	1970		1964	
	Aliquippa	Pennsylvanie	Aliquippa	Pennsylvanie
Mortalité infantile	19,1	23	43,9	20,2
Fausses couches	25,6	19,1	37,3	22,9
Naissances prématurées	72	80	121	79
Maladie de la prime enfance	34,9	28,1	53,9	20,3
Leucémies	8,7	7,2	18	7,5

Ces quelques faits montrent clairement qu'en matière de risque nucléaire, l'importance des précautions n'exclut absolument pas un certain risque. Ce risque ne doit pas être béatement ignoré mais faire l'objet d'études sérieuses. Il est fort possible qu'actuellement les effets sur les populations demeurent dans une limite

(1) KIRCHMAN et coll. Rapport CEN Bruxelles, 1973, BLG 477.

acceptable pour les promoteurs du programme nucléaire. Il n'est absolument pas prouvé que dans une décennie cette limite ne soit pas dépassée.

III. CONCLUSIONS

1. Le système proposé n'est pas au point. Il s'agit pour cette puissance de prototypes et la sécurité demeure très hasardeuse. Les populations semblent mettre une confiance infinie dans le savoir des techniciens chargés de mettre en œuvre le programme nucléaire : « Ces gens-là ne sont pas des imbéciles », entendons-nous dire souvent. Peut-être, mais qu'il nous soit possible de discuter des conclusions basées sur des arguments tronqués (lire à ce sujet la conférence du P^r PELLERIN où les problèmes de concentration et de contamination interne sont délibérément passés sous silence (ce que pense la Santé Publique des centrales nucléaires, EDF, GDF, Information cadres, avril 1974)). Qu'il nous soit possible également de nous poser des questions sur le niveau intellectuel qu'il faut atteindre pour mettre en place un système aussi saugrenu que la production de chaleur à partir d'une électricité elle-même issue d'une machine thermique.

2. Il y a des risques non négligeables pour les populations *même* si la sécurité est assurée sur l'usine elle-même (ce qui reste à vérifier). Il y a de nombreux sous-produits toxiques par effet chimique (cas du Plutonium), par leur radioactivité propre :

- directement,
- après induction dans les chaînes alimentaires.

3. Au niveau général la radioactivité est un phénomène inexorable et on ne peut avoir aucune résorption du phénomène. On assiste donc à un accroissement général des pollutions :

- par voie atmosphérique, liquide,
- par risques de transport, accident, etc.

Particulièrement dans le cadre du retraitement, on peut craindre également des effets de synergie au niveau des lésions avec les pollutions chimiques.

4. Les pollutions thermiques ne sont pas propres au nucléaire, mais liées au gigantisme des installations. La logique va pourtant vers la diversification des moyens de production de l'électricité en fonction des utilisations.