

LES CAHIERS DE
« EAU ET RIVIÈRES DE BRETAGNE »

L'EAU L'URANIUM ET LA SANTÉ

N° 4 — Mars 1987
Supplément à la revue « Eau et Rivières de Bretagne »
1 impasse Camille Pelletan
56100 LORIENT
C.P.A.P. n° 52518

30 Francs

« EAU et RIVIÈRES de BRETAGNE - A.P.P.S.B. »

Créée en 1969, afin de protéger les Salmonidés (saumons et truites) qui sont des poissons particulièrement sensibles à la dégradation des rivières, l'Association « Eau et Rivières de Bretagne — A.P.P.S.B. » a peu à peu étendu son action et sa réflexion à l'ensemble des problèmes relatifs à la gestion de l'eau, des sources aux estuaires.

Très rapidement, l'Association a été amenée à prendre conscience des atteintes graves, voire irréversibles, que nos modèles actuels de production et de consommation faisaient subir à l'environnement.

Il est apparu, en effet, que la dégradation de la qualité de l'eau des sources, des rivières, des estuaires, du littoral,... était la résultante des multiples agressions qui affectent le milieu naturel :

Les pollutions :

- rejets plus ou moins épurés des agglomérations et des industries.
- rejets des effluents des élevages industriels (lisiers).
- lessivage des sols « enrichis » d'engrais chimiques et des produits de traitement des cultures.

L'érosion des sols favorisée par l'arasement des talus et certaines méthodes de culture qui entraînent vers les cours d'eau d'importantes masses de sédiments qui envasent les cours d'eau et colmatent les gravières où se reproduisent les salmonidés.

La rectification des cours d'eau effectuée lors des travaux connexes au remembrement ou à l'occasion des opérations de drainage, cette pratique enlaidit nos paysages, détruit la richesse des cours d'eau et favorise les crues.

La destruction des zones humides dont le maintien serait pourtant nécessaire pour régulariser le débit des cours d'eau, ralentir les crues et éviter les étiages trop accusés en période de sécheresse.

L'enrésinement des vallées qui acidifie l'eau et banalise nos paysages.

La multiplication des plans d'eau qui contribuent au réchauffement des eaux (pollution thermique) et aggravent les pertes par évaporation. Ces retenues impliquent des barrages souvent dépourvus des passes nécessaires aux espèces migratrices (anguilles, lamproies, saumons, truites, aloses...)

Le gaspillage de l'eau engendré par des mentalités et des techniques peu soucieuses d'économiser les ressources naturelles.

Bien d'autres facteurs aggravent encore ces atteintes à l'intégralité et à la richesse des milieux aquatiques que l'association « Eau et Rivières de Bretagne » s'est donnée pour objectifs de défendre.

L'association considère que la protection des ressources en eau est un impératif majeur.

Des secteurs entiers de l'économie régionale exigent en effet une eau de qualité : l'élevage, l'agro-alimentaire, la pisciculture, la conchyliculture, l'aquaculture, la pêche côtière, le tourisme... et tolérer la pollution au nom d'un certain « réalisme économique » c'est, en vérité, faire preuve d'une étrange myopie intellectuelle. Tous ceux qui se rendent ainsi complices de la pollution contribuent à fragiliser, voire à détruire les fondements de l'économie régionale dont les chances reposent sur la diversité et l'autonomie.

Au-delà des questions économiques se posent, bien entendu, de redoutables problèmes de santé sur lesquels il est urgent de lever le voile (nitrates, pesticides, métaux lourds, substances radio-actives...).

En apportant votre contribution aux efforts de l'association « Eau et Rivières de Bretagne » vous lui permettez de poursuivre son action en **totale liberté**.

INTRODUCTION

I - LES MINES D'URANIUM ET LEURS IMPACTS

- 1 - L'emprise au sol
- 2 - L'impact sur le régime des eaux
- 3 - Une pollution chimique
 - 3.1. La lixiviation in situ
 - 3.2. Les opérations de traitement
- 4 - Une pollution radioactive
 - 4.1. La radioactivité ambiante
 - 4.2. La dissolution des éléments radioactifs dans l'eau
 - 4.3. Les poussières radioactives ; le radon
- 5 - Les conséquences de la pollution de l'air et de l'eau

II - L'URANIUM ET LA SANTE

- 1 - L'uranium et la radioactivité
 - 1.1. Quelques définitions
 - 1.2. Radiations naturelles et radiations technologiques
- 2 - La radioactivité et la santé
 - 2.1. Quelques définitions
 - 2.2. Les sources des données
 - 2.3. Les effets des radiations
 - 2.4. Les effets des faibles doses
 - 2.5. Quelques remarques

III - LA REGLEMENTATION

- 1 - L'établissement des normes
- 2 - Le contrôle des normes
 - 2.1. La radioprotection dans les mines d'uranium
 - 2.2. La protection des populations avoisinantes

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE



DEMANDES DE PERMIS DE RECHERCHE DE L'URANIUM CONNUES FIN 1985

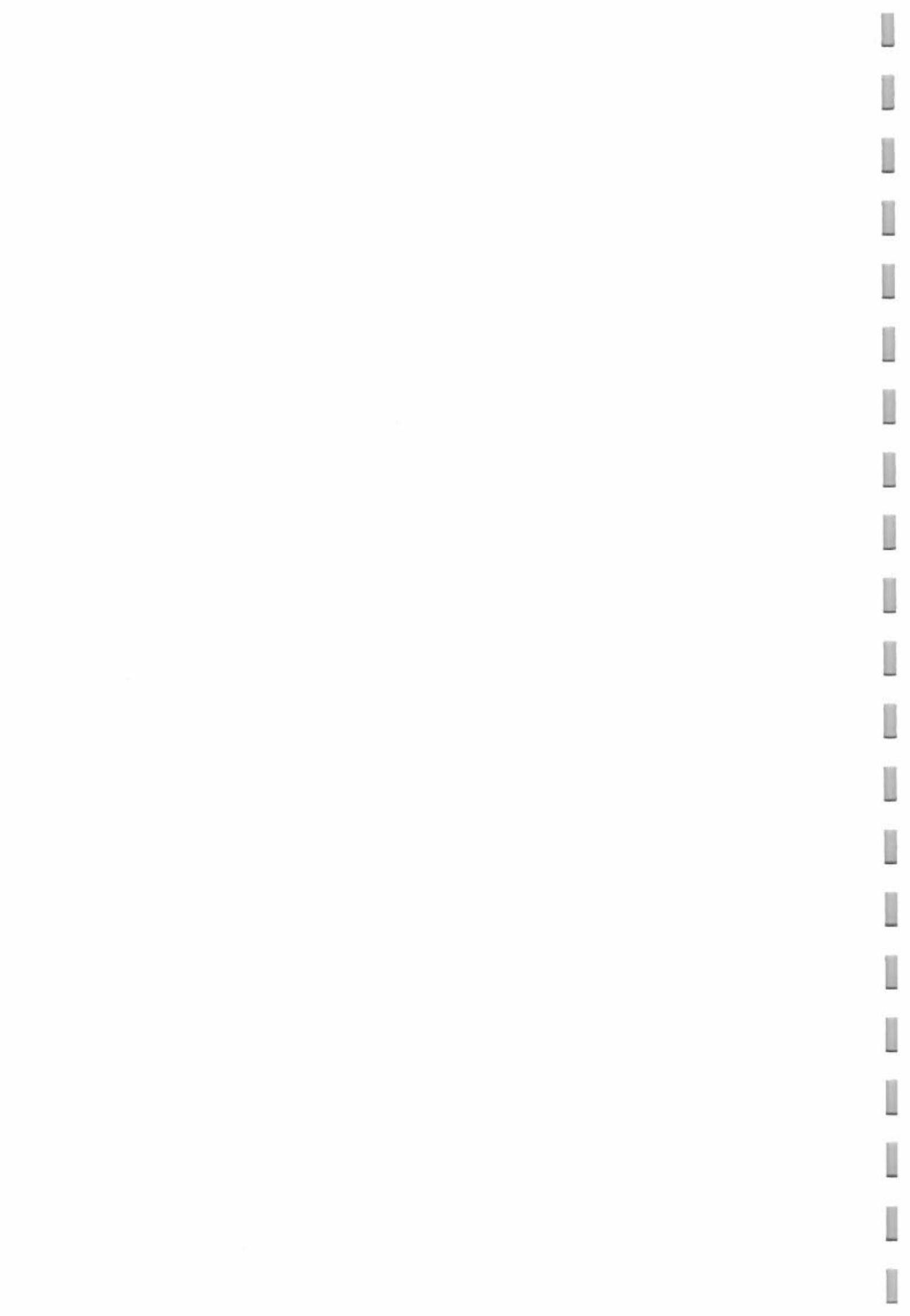
I N T R O D U C T I O N

L'industrie nucléaire est en expansion, que ce soit pour des usages civils (production d'électricité) ou militaires (fabrication de bombes atomiques) et la recherche de l'uranium, matériau de base de l'énergie nucléaire, s'intensifie en Bretagne comme partout en France.

Les inconvénients et les dangers présentés par l'électronucléaire sont multiples, mais en Bretagne nous sommes aujourd'hui plus particulièrement concernés par la première étape du cycle nucléaire, l'extraction de l'uranium.

Les nuisances dues aux mines d'uranium sont bien connues dans certaines régions comme le Massif Central, la Vendée ou l'Hérault où l'on peut constater la destruction des terres et la pollution des eaux.

Les dangers liés à la pollution radioactive de l'air et de l'eau sont, par contre, l'objet de controverses : l'action des "faibles doses" est, en effet, un sujet de bataille d'experts et comme nous l'avons vu récemment avec l'accident de Tchernobyl, à chacun sa vérité, à chacun ses normes... notre protection dépend de l'intime conviction de nos "responsables".



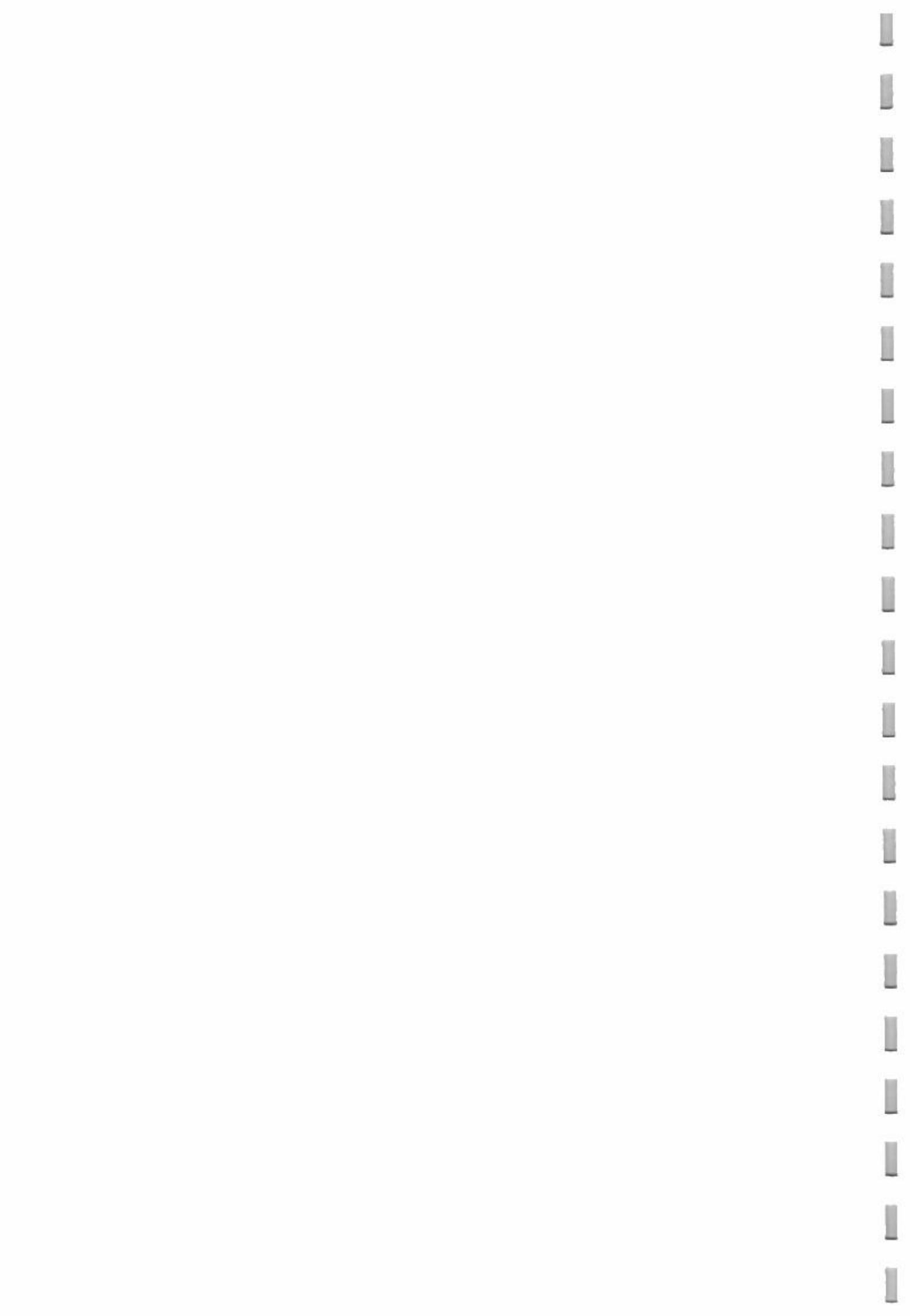
I
L E S M I N E S D ' U R A N I U M
E T
L E U R S I M P A C T S

L'exploitation des gisements d'uranium entraîne de multiples nuisances ; d'une part les nuisances classiquement attachées aux mines et aux carrières (tirs d'explosifs, transports lourds, émission de poussières, bouleversement du paysage et du système hydrologique), d'autre part, des pollutions de natures chimique et radioactive.

1 - L'EMPRISE AU SOL

La teneur en uranium des minerais uranifères est très faible, de l'ordre de 1 à 5 pour 1000 (1 à 5 Kg d'uranium pour 1 tonne de minerai), ce qui oblige à déplacer d'énormes quantités de roches. Il existe deux types d'exploitation, les galeries souterraines ou les carrières à ciel ouvert, mode d'exploitation le plus rentable. Après extraction, un tri est effectué pour séparer les roches contenant suffisamment d'uranium (le minerai) des roches stériles. Une mine d'uranium entraîne donc la formation d'excavations et de montagnes de déblais stériles particulièrement importantes, ce qui a pour conséquences une stérilisation de la terre sur des surfaces importantes et une atteinte à l'esthétique du paysage.

Des terres agricoles, des bois, des forêts sont détruits et une fois épuisées, les exploitations sont rarement remblayées. Dans les tas de minerais traités sur place, la présence d'acide sulfurique rend très difficile la réinstallation d'une végétation. En fait la "reconstitution" des sites miniers pose des problèmes qui n'ont pas encore de solution comme en témoigne M. Sousselier (chargé de mission au CEA, 9) : "Les déchets des mines représentent des quantités très importantes. (). Pour stocker définitivement ces résidus l'idée la plus simple serait de les remettre en place dans les mines. (). Mais deux facteurs s'opposent



à cette solution. En premier lieu, l'état physicochimique du minerai a été modifié lors des opérations d'extraction et de traitement. Une certaine atteinte a été portée au confinement du radium dans sa situation naturelle. (). Le second facteur tient au volume des déchets. (). Par ailleurs, pour des motifs de génie minier il n'est pas possible de remettre tous ces résidus au fond des mines".

2 - L'IMPACT SUR LE REGIME DES EAUX

Les exploitations peuvent avoir pour conséquence la disparition ou l'abaissement des nappes phréatiques, le tarissement des puits, la réduction du débit des sources et des cours d'eau, ce qui signifie que l'alimentation en eau des populations et du cheptel ainsi que l'irrigation des cultures sont compromises.

3 - UNE POLLUTION CHIMIQUE

3.1. La lixiviation* in situ

La lixiviation in situ est un procédé d'extraction utilisé lorsque le minerai est pauvre qui a été expérimenté dans le Forez (Massif Central) : des forages sont effectués et on y injecte de l'acide sulfurique ou de la soude qui dissolvent l'uranium contenu dans le minerai. La solution uranifère est récupérée par pompage.

Cette technique présente de gros risques de pollution pour les eaux souterraines.

* lixiviation : synonyme de percolation. Opération qui consiste à faire passer lentement un solvant (l'acide sulfurique le plus souvent dans le cas de l'uranium) à travers des couches de minerai pour en extraire un constituant soluble (l'uranium)

Il existe différents procédés de concentration, tous de nature chimique. Voici à titre d'exemple, les différentes étapes d'un procédé qui utilise l'attaque par acide sulfurique (pour un minéral de teneur 1,5 pour 1000) :

- concassage
- broyage (obtention de particules d'un demi-millimètre de diamètre)
- adjonction d'eau (0,8 m³ par tonne de minéral) on obtient une sorte de boue dense
- attaque acide à 60° C : 40 kg d'acide sulfurique plus 1,5 kg de chlorate de sodium par tonne de minéral (consommation de 10 000 tonnes d'acide sulfurique/an pour une usine d'une capacité de 250 tonnes d'uranium/an). L'uranium contenu dans le minéral est solubilisé.
- séparation liquide - solide sur filtres à bande :
La partie "solide" est constituée de la gangue stérile, qui se présente sous forme de sable contenant 25 % d'humidité. Elle est envoyée dans le bassin de décantation.
La partie "liquide" est la solution uranifère. Elle subit ensuite :
- l'extraction de l'uranium par solvant aminé dilué dans du kérosène
- précipitation : la solution d'ammonium est chauffée à 95° et on ajoute de l'ammoniac. L'uranium précipite sous forme de diuranate d'ammonium
- filtrage et lavage du diuranate d'ammonium
- séchage
- enfûtage : fûts métalliques de 200 litres.

LES PRINCIPALES ETAPES D'UN TRAITEMENT DE CONCENTRATION (6)

3.2. Les opérations de traitement

Le minerai contenant entre 1 et 5 pour 1000 d'uranium, il faut lui faire subir des traitements de concentration, que l'on effectue dans une usine qui peut se trouver à proximité ou sur un autre siège d'exploitation.

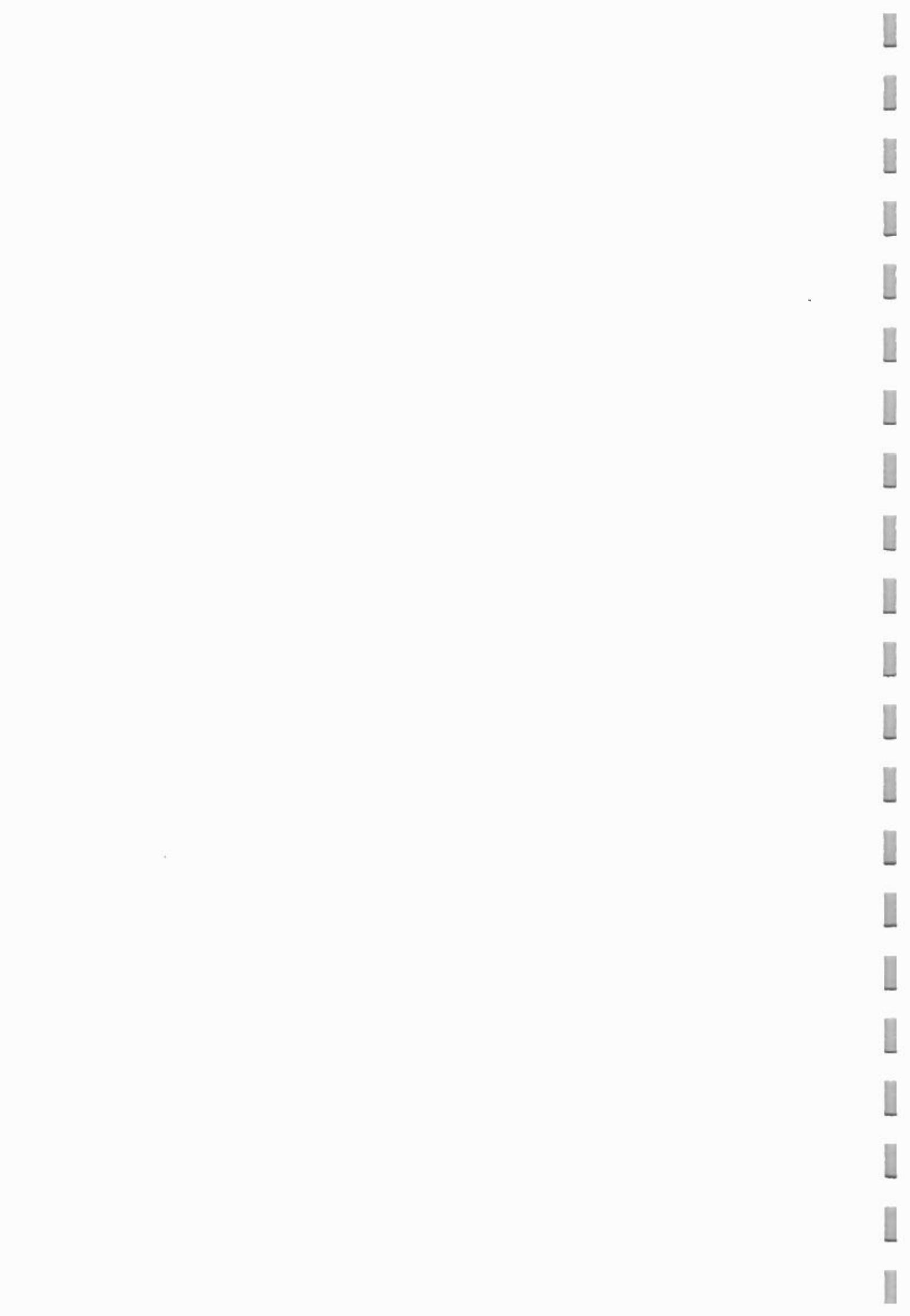
Ci-contre les principales étapes d'un traitement de concentration (6).

Une fois l'uranium extrait du minerai, il reste des déchets constitués du minerai broyé et imprégné de substances chimiques. Cette boue est envoyée dans un bassin de stockage où les solides se décantent et s'accumulent. Dans certaines installations, on traite le minerai sans le réduire en poudre fine et les résidus sont transportés à l'état presque sec jusqu'à une aire de stockage.

Les effluents liquides provenant du bassin de décantation sont rejetés après traitement dans un cours d'eau. Ces effluents, quoique traités, contiennent des substances polluantes (acide sulfurique, métaux lourds, nitrates, sulfates, amines, chlorures) et des produits radioactifs (uranium, radium, radon, thorium, plomb).

Le bassin de décantation présente lui-même des dangers :

- risque de débordement, par exemple en cas de gros orage,
- risque d'infiltration dans le sous-sol et donc de pollution des eaux souterraines ou des sources,
- lorsque l'usine est fermée, "le contrôle et l'entretien des dispositifs de retenue continueront longtemps à



poser des problèmes" (21). Les boues déposées au fond contiennent du radium, du thorium, de l'uranium, corps dangereux et radioactifs pour une période pratiquement illimitée.

4 - UNE POLLUTION RADIOACTIVE

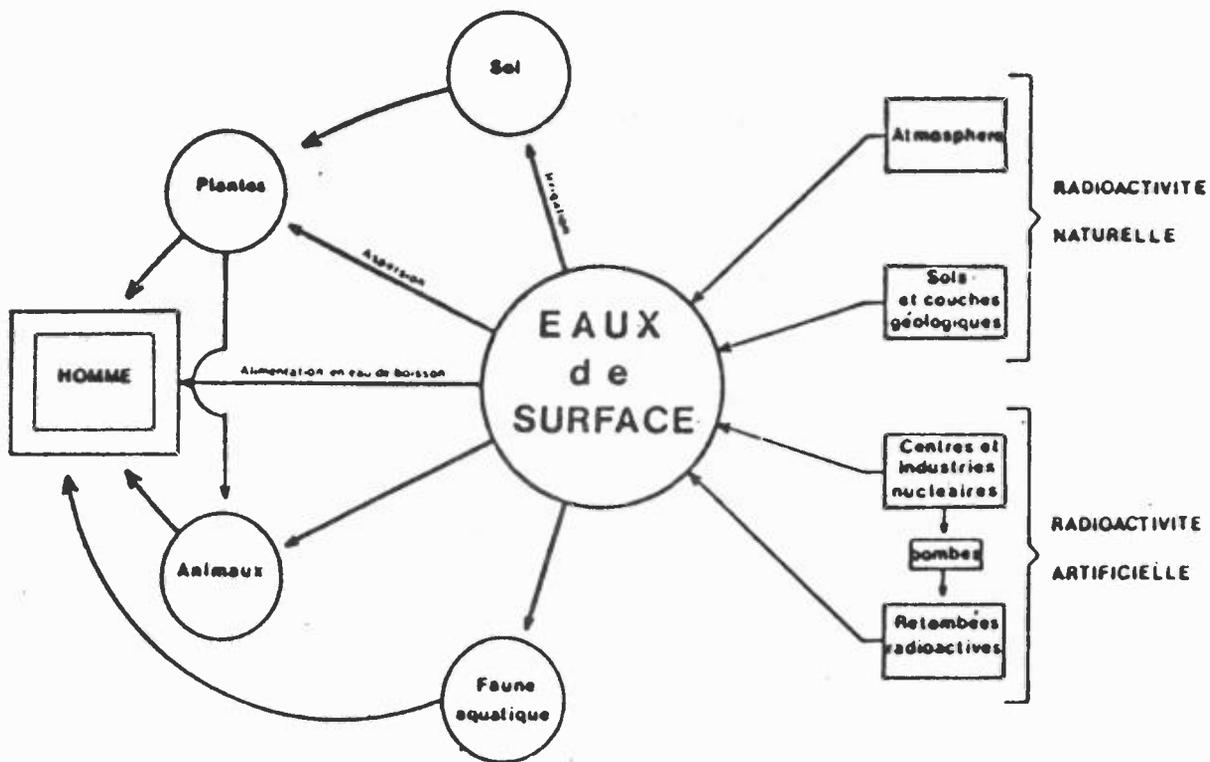
La mine et l'usine de traitement présentent plusieurs sources de pollution radioactive :

- . une augmentation de la radioactivité ambiante
- . la libération d'éléments radioactifs dans l'eau
- . l'émission de poussières radioactives et du radon, gaz radioactif.

"Tant que le minerai reste en bloc, recouvert par des couches géologiques ayant fait l'épreuve du temps, la surface exposée à l'air et à l'eau reste extrêmement faible. Alors que pour un même volume, le minerai extrait et concassé offre une bien plus grande surface d'attaque et donc un grand risque de pollution. C'est le principe du café : versez de l'eau pure sur du café en grain et sur la même quantité de café moulu... comparez les résultats !!" (15)

4.1. La radioactivité ambiante

Dans le minerai, l'uranium est accompagné des éléments de sa chaîne de désintégration (ils sont au nombre de 13 : thorium, polonium, radium, bismuth, plomb...). A l'état naturel les éléments radioactifs sont emprisonnés dans les roches et les rayonnements sont arrêtés par les terrains de recouvrement. L'extraction met les gisements à découvert.



INTERVENTION DES EAUX DE SURFACE DANS LA CONTAMINATION
EVENTUELLE DE L'HOMME (4)

4.2. La dissolution des éléments radioactifs dans l'eau

La mine et l'usine de traitement utilisent beaucoup d'eau. Dans les mines, on utilise de l'eau pour arroser le minerai lors du forage. Il y a également des eaux d'infiltration.

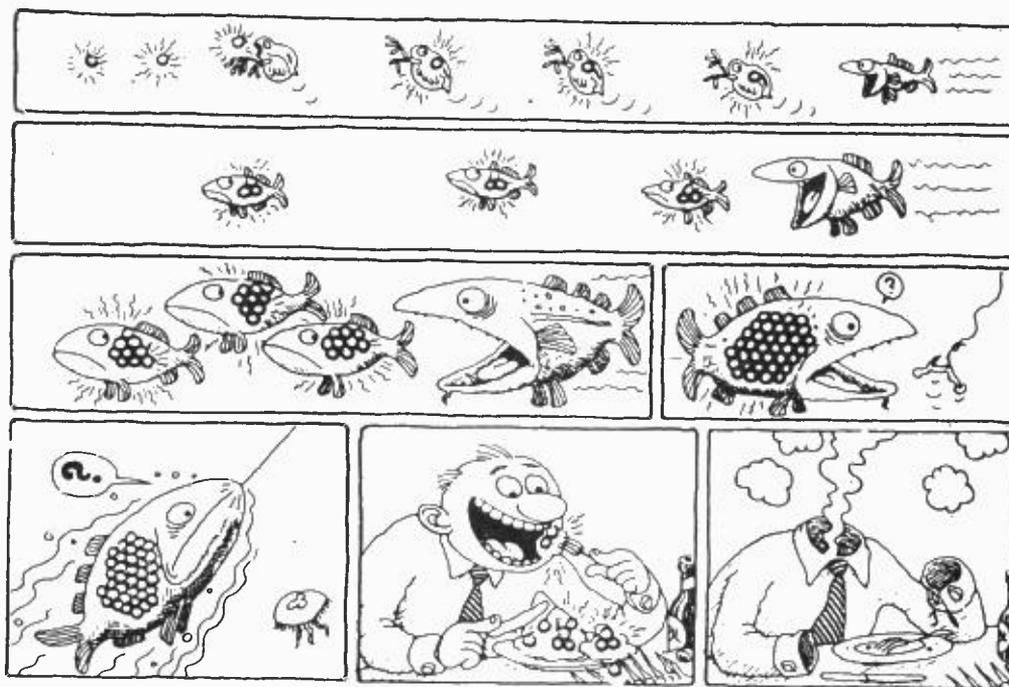
Les eaux issues du bassin de décantation sont rejetées dans le ou les cours d'eau voisins. L'augmentation de la concentration en radium dans l'eau est fonction des processus de dilution et de sédimentation. "Les mécanismes de transfert du radium sont mal connus et des recherches dans ce domaine sont encore nécessaires" (17).

Outre la pollution due au rejet du bassin de sédimentation, les cours d'eau et les nappes phréatiques sont également menacés par le lessivage des stériles et des tas de minerais traités.

4.3. Les poussières radioactives ; le radon

Le concassage, la manutention du minerai, le roulage des engins sur les pistes, les dépôts exposés aux vents sont à l'origine de poussières. Celles-ci contiennent tous les éléments de la chaîne de désintégration de l'uranium et notamment le radium. Elles sont inhalées par les mineurs et les populations proches ou retombent sur le sol, l'eau et les végétaux. Formé par la désintégration du radium, le radon est un gaz radioactif dont "le dégagement est d'autant plus important que la roche est plus divisée" (17). Il se trouve donc en grande concentration dans les mines.

Quant aux résidus de traitement, leur teneur en radium n'est que très légèrement inférieure à celle du



Légumes	Césium 137			Strontium 90		
	Sable	Calcaire	Argile	Sable	Calcaire	Argile
Choux	4			78		20
Haricots verts ..		12			5	
Pommes de terre	50		2	15		2,5
Salades		42	9	51	14	28
Tomates	5		0,4	2,5		0,5

VALEURS DU FACTEUR DE CONCENTRATION POUR QUELQUES VEGETAUX, SELON LA NATURE DU TERRAIN (20)

Radioélément	Période	Facteur de concentration dans le plancton végétal marin
Cobalt 60	5 ans	1 000
Carbone 14	5 800 ans	4 000
Zinc 65	245 jours	20 000
Phosphore 32	14 jours	30 000
Fer 55	3 ans	40 000
Plomb 210	21 ans	40 000
Cérium 144	285 jours	90 000

minéral (97 %) ; la présence de radium entraîne une production continue de radon.

Le radon est un gaz lourd qui se disperse difficilement dans l'air et en l'absence de vent ou en période de brouillard, il peut atteindre dans l'atmosphère des concentrations dangereuses. Par ailleurs, il se dissout dans l'eau.

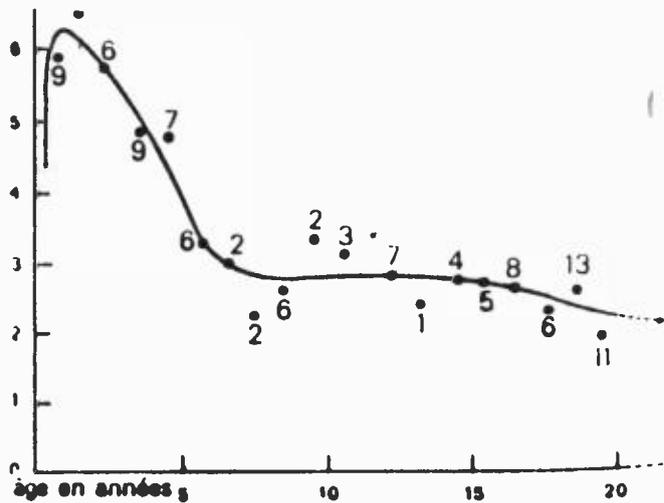
5 - LES CONSEQUENCES DE LA POLLUTION DE L'AIR ET DE L'EAU

L'air et l'eau pollués contaminent directement la population mais aussi les aliments : la pollution du sol et des eaux d'arrosage et d'alimentation est concentrée par les végétaux et par les animaux. Nous sommes donc également contaminés par les plantes, la viande, le lait.

Une étude effectuée sur un site minier (12) précise que c'est essentiellement l'herbe (où la concentration en radium est 10 à 100 fois supérieure à la concentration dans l'eau) qui apporte le radium au lait. Dans la rivière qui reçoit le rejet du bassin de décantation, la concentration en radium est jusqu'à 10 fois plus élevée en aval du rejet qu'en amont. Dans le poisson, la concentration moyenne est 66 fois plus forte à 1 kilomètre en aval qu'en amont.

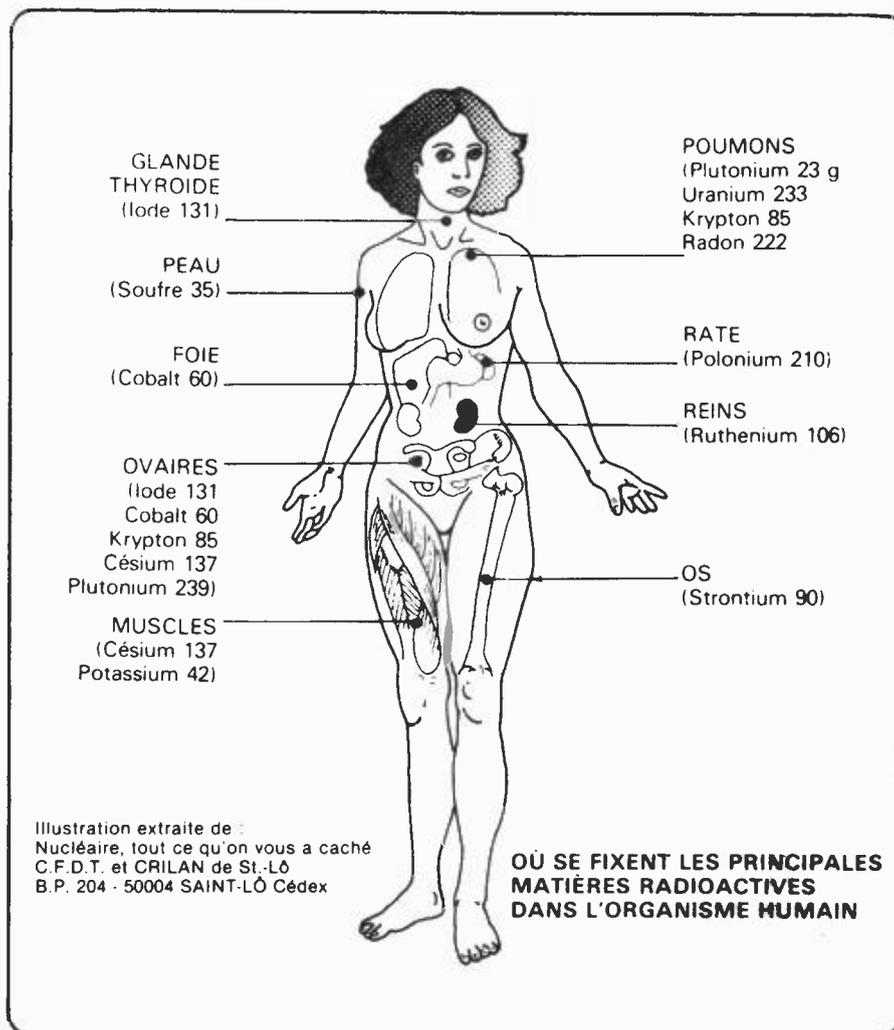
Il y a concentration des éléments radioactifs dans les chaînes alimentaires et aussi dans le corps humain : le strontium* s'accumule dans les os en se substituant au calcium; le césium* et le potassium s'incorporent aux muscles... etc, (fig. au verso).

* Certains radioéléments sont absorbés par les végétaux et les animaux parce qu'ils sont des isotopes d'oligo éléments nécessaires à la vie, d'autres sont absorbés parce qu'ils présentent une parenté chimique très étroite avec des éléments entrant dans la composition des tissus biologiques.



Concentration du strontium 90 (en picocurie* par gramme de calcium) dans le squelette humain en fonction de l'âge en 1966. Les chiffres indiquent le nombre d'échantillons analysés. D'après Loutit in "Environmental contamination by radioactive materials", Vienne AIEA ed. 1969, p. 27 (18)

LES ENFANTS ONT UN POTENTIEL DE RETENTION POUR LE STRONTIUM SUPERIEUR A CELUI DES ADULTES

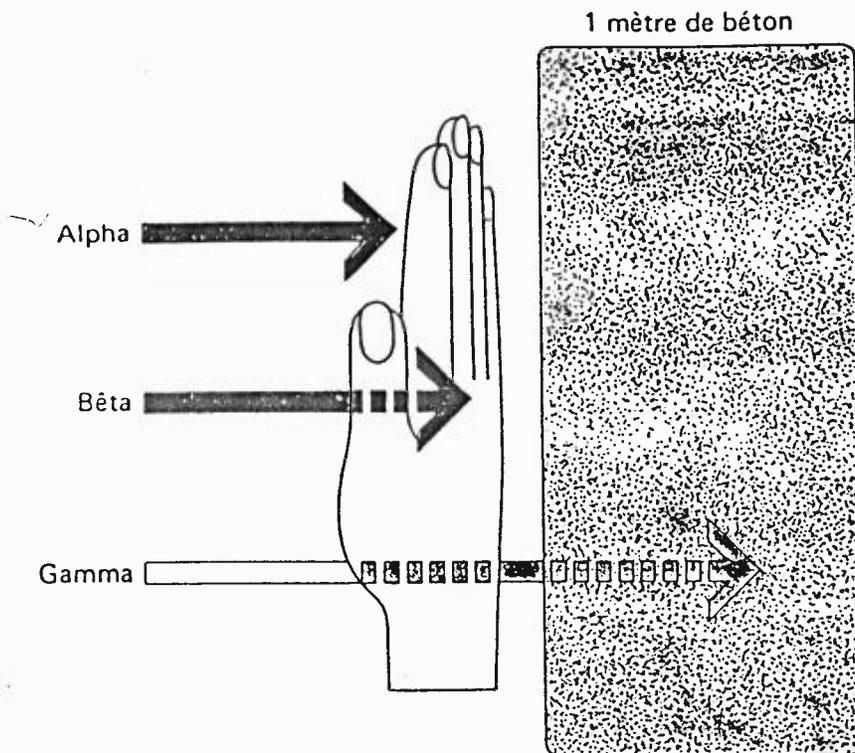


II

L ' U R A N I U M

E T

L A S A N T E



TYPES DE RAYONNEMENTS

Le terme "rayonnement", qui a une acception très vaste, couvre des domaines aussi divers que la lumière et les ondes hertziennes, mais on l'emploie le plus souvent pour désigner les rayonnements ionisants, c'est-à-dire des rayonnements capables de donner naissance à des particules chargées (ions) dans les matières qu'ils frappent. Cette remarque vaut tant pour la matière inerte que pour la matière vivante et c'est pourquoi les rayonnements ionisants peuvent présenter un danger pour la santé de l'homme.

Il existe plusieurs types de rayonnements ionisants: rayonnements alpha, bêta et gamma, rayons X et neutrons, dont chacun a des caractéristiques différentes. On dit des atomes qui émettent de tels rayonnements qu'ils sont radioactifs.

POUVOIR DE PENETRATION DES RAYONNEMENTS (2)

1 - L'URANIUM ET LA RADIOACTIVITE

1.1. Quelques définitions

Dans les conditions naturelles, nous sommes exposés en permanence à des radiations qui émanent de la terre (des minerais en particulier), de la mer et de l'espace (ce sont les rayons cosmiques que nous envoient le soleil et les étoiles).

Constituées d'électrons* (rayons X ou γ ou β) ou de particules élémentaires nucléaires* (rayons α) les radiations sont invisibles, se déplacent à des vitesses très élevées et pénètrent dans les organismes vivants à des profondeurs variant selon leur nature.

- les rayons α (alpha) sont arrêtés par les couches superficielles de la peau
- les rayons β (beta) peuvent traverser plusieurs centimètres de tissu
- les rayons γ (gamma) et les rayons X peuvent traverser plusieurs mètres de plomb.

Ces radiations sont dites ionisantes car elles possèdent la propriété d'arracher les électrons aux couches périphériques des atomes* et ainsi de les ioniser. Les ions ainsi produits sont capables de modifier les constituants cellulaires. Plus la dose d'irradiation est forte, plus le nombre d'ions apparus est grand et plus les dommages causés aux tissus sont importants.

* La matière est constituée de particules extrêmement petites appelées atomes, qui se composent d'un noyau (composé de protons et de neutrons) autour duquel gravitent des électrons. L'assemblage des atomes constituent les molécules.

Les unités de mesure de rayonnement

- La quantité d'énergie absorbée par un tissu irradié s'exprime en gray (Gy). Autrefois, on l'exprimait en rad. $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$.
- Pour tenir compte de la qualité de chaque type de rayonnement (α , β , γ , ...), on utilise le sievert (Sv) ou le rem. $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.
- Le sievert est la dose en gray multipliée par le facteur de qualité du rayonnement. 1 rem vaut 1 rad pour les rayons X et γ et 10 rad pour les rayons α .
- le débit s'exprime en rems par heure, par an, etc...
- Le Curie mesure le nombre de désintégrations par seconde qui se produit dans un matériau radioactif. La nouvelle unité internationale est le Becquerel. $1 \text{ curie} = 37 \text{ milliards de Becquerel}$.

L'uranium est un élément radioactif : il émet des radiations α et γ en se désintégrant. Le temps nécessaire pour que la masse d'un élément diminue de moitié est appelée période ou demi-vie. Pour les 3 isotopes* de l'uranium ces temps sont les suivants :

U_{238} (99,30 %) : 4,5 milliards d'années

U_{234} (0,0054 %) : 250 000 ans

U_{235} (0,70 %) : 700 millions d'années

1.2. Radiations naturelles et radiations technologiques

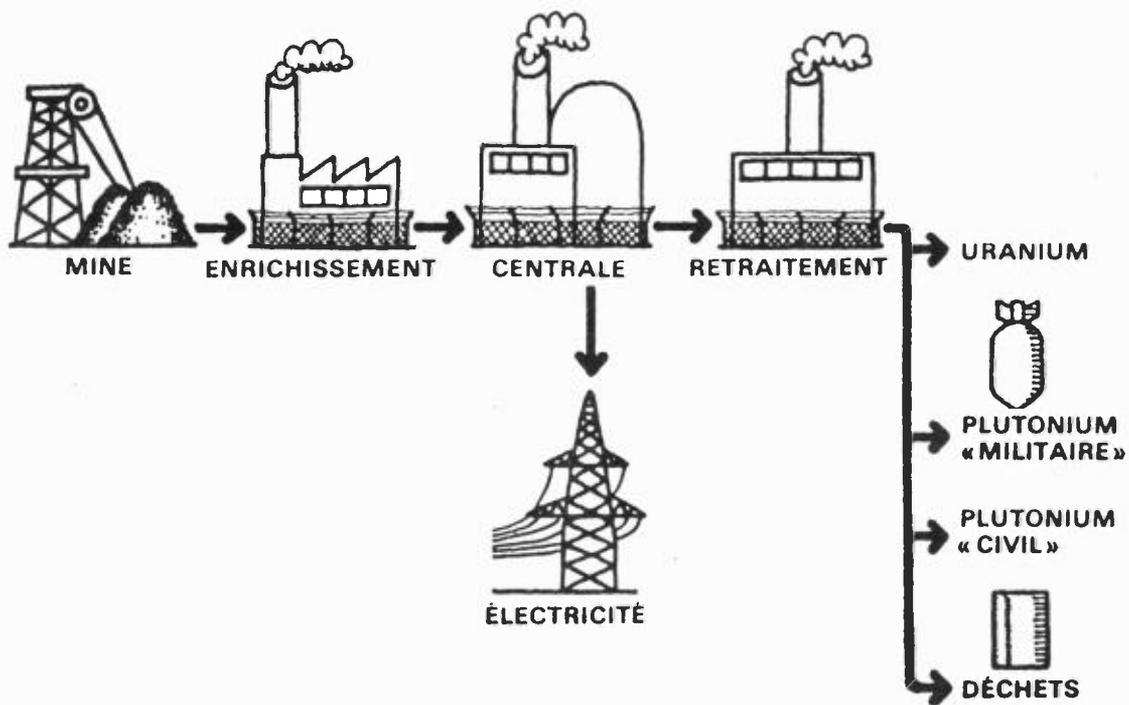
L'intensité de l'irradiation naturelle varie selon l'habitat. Ainsi en mer les rayons ultra violets sont de fortes intensités. Cette radioactivité naturelle est souvent considérée à priori comme inoffensive mais on ignore si elle n'est pas à l'origine de cancers ou de mutations.

La radioactivité naturelle, qui en France est en moyenne de 100 à 120 m rem* par an, comprend principalement une irradiation externe, de 80 à 90 m rem correspondant aux rayonnements terrestres et cosmiques. L'homme subit, en outre, une contamination interne car les matières radioactives qui pénètrent dans son organisme se fixent dans les organes.

Aux sources naturelles d'irradiation s'ajoute une irradiation technologique. Depuis une vingtaine d'années l'utilisation de la radioactivité ne cesse de croître ; outre

* isotopes : atomes d'un même élément qui diffèrent entre eux par le nombre de neutrons

* voir ci-contre



LE CYCLE NUCLEAIRE (5)

Au long du cycle de l'uranium, de la mine à l'usine de traitement, des radionucléides sont diffusés dans l'environnement par les effluents gazeux et liquides

les essais militaires (*) et la production d'électricité (le cycle nucléaire), il faut ajouter la radiologie médicale, les tubes cathodiques de télévision, l'industrie, la recherche scientifique... Les matières radioactives que rejette dans l'air et dans l'eau l'industrie nucléaire induisent des contaminations internes ; cas où les effets de la radioactivité sont les plus graves.

Ces activités conduisent à une augmentation progressive de l'irradiation ambiante.

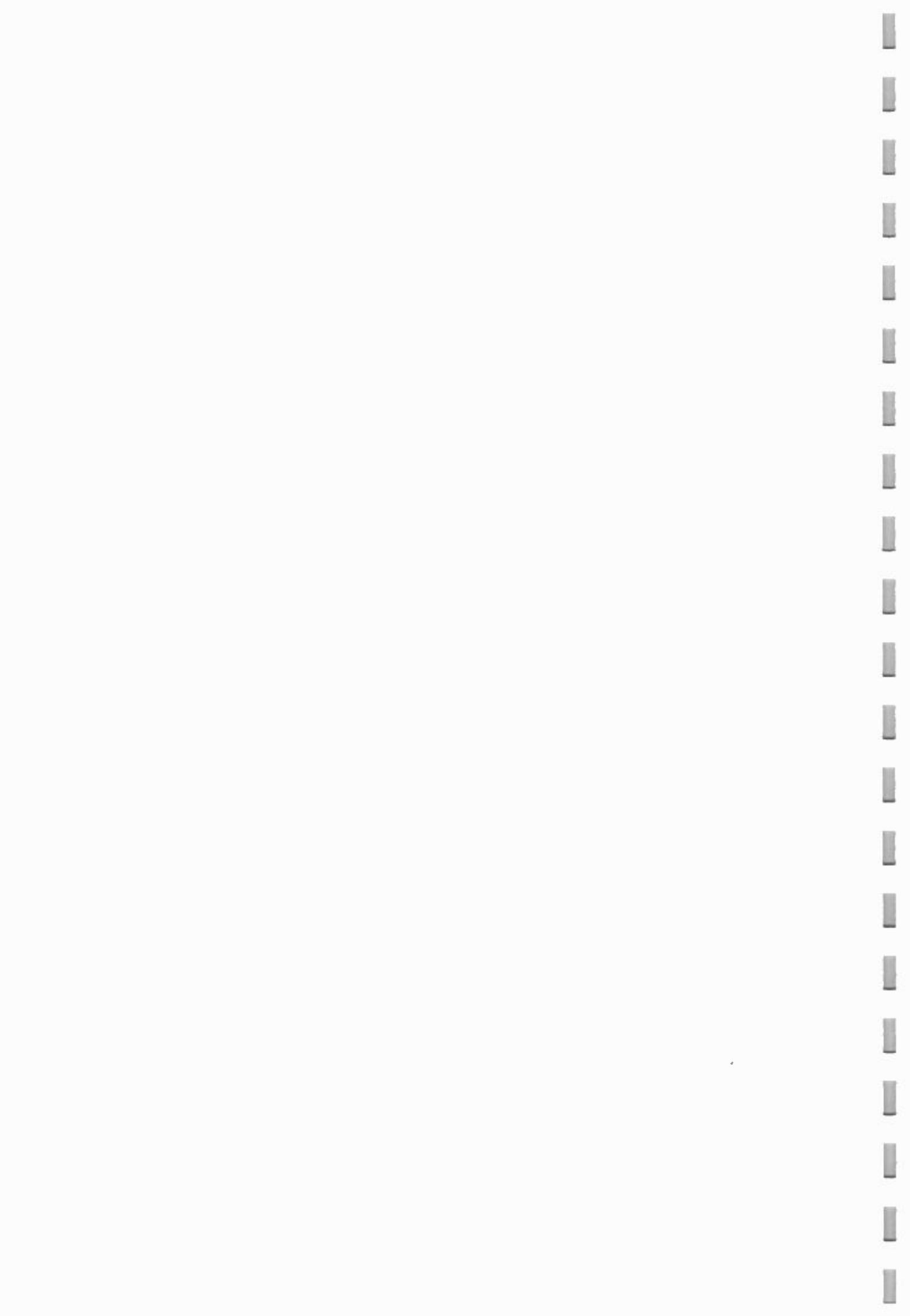
On suppose que le fond de rayonnement naturel (et les rayonnements artificiels) ont certains effets sur la santé ; il est possible, selon les estimations du BEIR Committee (**) qu'ils provoquent jusqu'à 1 % environ de l'ensemble des cas de cancers et de tares génétiques. (3).

(*) En 1962 lorsque fut signé le traité d'interdiction des essais nucléaires dans l'atmosphère, l'équivalent de 8 500 bombes de type Hiroshima avait été libéré dans l'air depuis 1950. Les résidus radioactifs ne se distribuent pas uniformément à la surface de la terre : entraînés dans la circulation atmosphérique globale, ils retombent principalement dans l'hémisphère nord entre 40 et 50° de latitude. (Environ 30 % de la quantité totale retombent au voisinage immédiat du lieu de l'explosion).

Les radioéléments à vie longue n'ont toujours pas disparu et le Comité des Nations Unies estime la dose à 8 m rem/an jusqu'à l'an 2000. Ces radioéléments auront donc eu le temps de s'accumuler dans les organismes. Actuellement encore la majeure partie de la radioactivité artificielle des eaux superficielles est due aux tests nucléaires.

Les essais souterrains engendrent des dégagements gazeux qui ne sont pas négligeables : 10 % des résidus gazeux passent dans l'atmosphère.

(**) BEIR Committee : Comité des effets biologiques des rayonnements ionisants des Etats-Unis.



2 - LA RADIOACTIVITE ET LA SANTE

2.1. Quelques définitions

Les radiations peuvent atteindre l'organisme de deux façons :

- il y a irradiation lorsque le corps est exposé aux radiations sans qu'il y ait contact avec la source. Dans le cas d'une mine le corps est exposé aux rayonnements β et γ émis par l'uranium et ses descendants.
- il y a contamination, respiratoire, cutanée ou digestive lorsque l'individu respire, touche ou ingère des matières radioactives. Dans le cas d'une mine, il y a pollution de l'air par le radon.

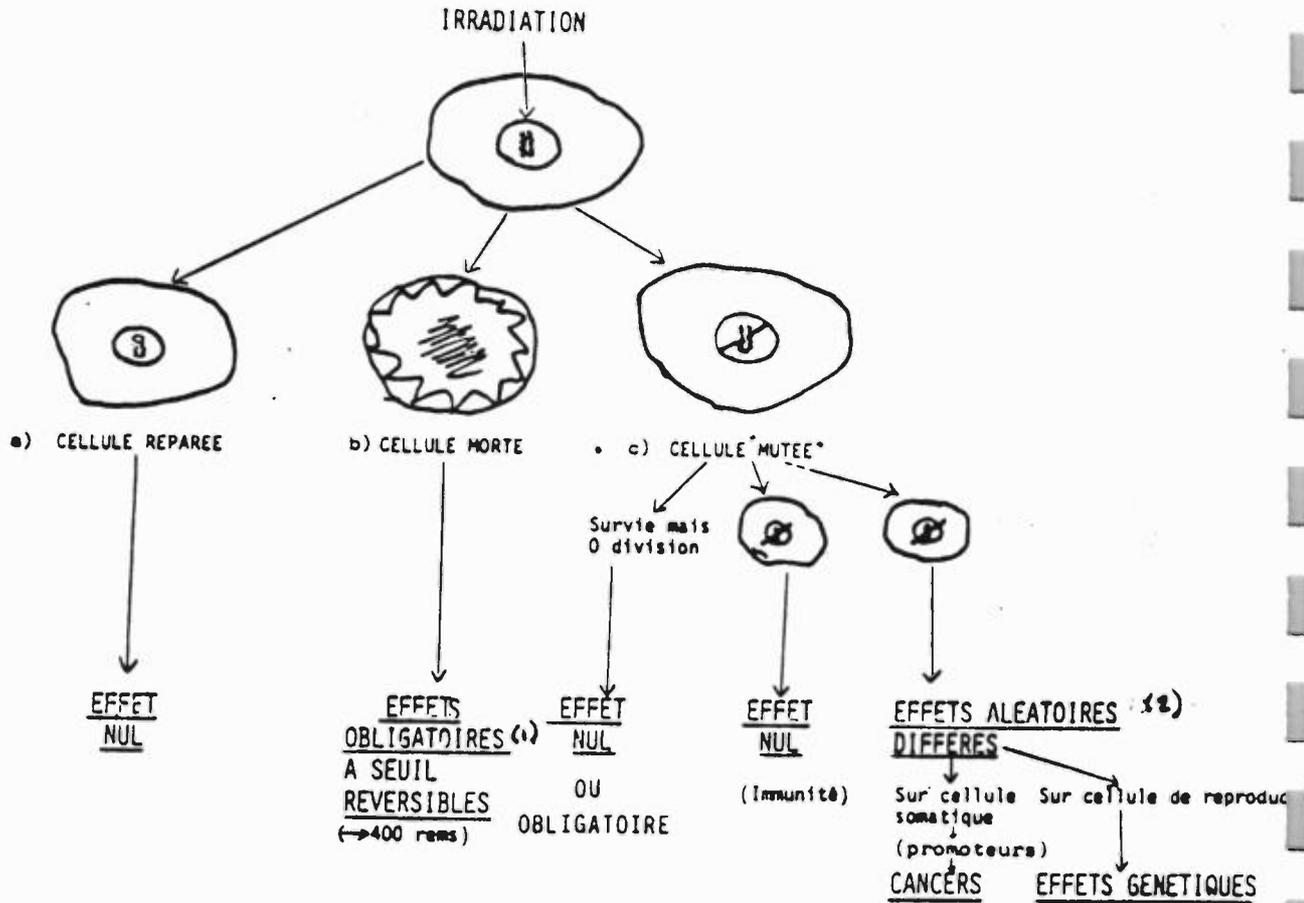
Les effets pathologiques des radiations sont de deux sortes :

- ils sont génétiques ou héréditaires lorsqu'ils se manifestent dans la descendance des individus.
- ils sont somatiques* quand ils concernent l'individu irradié lui-même.

2.2. Les sources des données

Les connaissances concernant les effets des radiations ont deux origines : d'une part, les expérimentations animales, d'autre part les enquêtes humaines.

* somatique : (gr. *sōma*, corps). Qui concerne l'ensemble des cellules non reproductrices des êtres vivants



SCHEMA DES CONSEQUENCES DE L'IRRADIATION D'UNE CELLULE (10)

- (1) Effets obligatoires (ou déterministes) : ce sont des effets qui ne semblent se manifester qu'à partir d'une dose critique. Cette dose ou seuil varie selon les tissus. Les plus sensibles sont la moëlle osseuse, les glandes sexuelles, la peau, l'intestin grêle, le cristallin.
- (2) Effets aléatoires (ou probabilistes) : ce sont des effets qui ne présentent pas de seuil. Toute dose, si petite soit-elle présenterait un risque, toute exposition étant cumulative. Ces effets sont essentiellement les cancers (dont les leucémies) ou les malformations dues à des mutations génétiques.

Ces dernières sont effectuées sur des populations "accidentellement" irradiées :

- les irradiations militaires subies à Hiroshima et Nagasaki ; les irradiations dues aux retombées des essais nucléaires de Bikini en 1954, notamment aux îles Marshall.

- les irradiations médicales subies pour radiothérapie.

- les irradiations professionnelles subies par des mineurs d'uranium (U.S.A., Tchécoslovaquie), des radiologues, des peintres en cadrans lumineux.

Les données disponibles concernent donc des populations soumises à de fortes irradiations. Les conséquences des irradiations à de faibles doses sont calculées par extrapolation de ces données, "ce qui donne lieu à des interprétations divergentes" (18). On utilise également les données issues des expérimentations animales en les extrapolant à l'homme, "ce qui impose de grandes réserves" (Dutrillaux, 8) étant donné les fortes différences de sensibilité entre les espèces.

2.3. Les effets des radiations

La gravité des dégâts causés par les radiations dépend de plusieurs facteurs : l'intensité du rayonnement, sa nature, la dose reçue, le débit de dose, le type de tissu irradié, l'individu (âge, sexe...). Les conséquences au niveau cellulaire sont schématisées ci-contre.

- Les cancers

Chez les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki, par rapport à une population témoin, ce sont près d'un demi-

millier de personnes qui sont décédées des suites d'une tumeur (leucémie, cancer du sein, du tube digestif, de la thyroïde, du poumon, etc...). Chez les survivants d'Hiroshima la fréquence des leucémies est de 20 fois supérieure à la normale.

Chez les mineurs exposés aux émanations de radon (les poussières de minerai et les descendants du radon se déposent sur les parois de l'appareil pulmonaire) : parmi 1 415 suédois ayant travaillé dans les mines de fer, la moitié sont morts de cancers du poumon alors qu'il y a eu 4 fois moins de cas dans une population normale. De même parmi les indiens américains travaillant dans les mines d'uranium, on a constaté une fréquence de cancers du poumon 4 fois supérieure à celle d'une population non exposée (11). La responsabilité du radon dans les cancers pulmonaires est un fait aujourd'hui bien connu qui a fait l'objet de nombreux travaux (tchécoslovaques et américains surtout).

A partir de ces enquêtes ont été tirés les enseignements suivants :

- Le tissu qui apparaît le plus sensible à une cancérisation par rayonnement est le sein, ensuite viennent la thyroïde et la moëlle osseuse (responsable des leucémies) puis les poumons.

- Les enfants et les personnes jeunes sont plus sensibles vis à vis du risque de leucémie, de cancers de la thyroïde et du sein.

- Il existe différents types de relation dose-effet, selon l'efficacité biologique du rayonnement ou selon le tissu.

Le développement d'une leucémie ou d'un cancer résulte de l'apparition de cellules malignes et d'une diminution des réactions de défense.

- Les effets sur le développement prénatal

Le foetus et l'embryon sont particulièrement radio-sensibles.

A Hiroshima et Nagasaki, sur 1500 femmes recensées, il a été constaté de façon systématique une faible diminution de la taille des enfants et de la circonférence crânienne, celle-ci étant souvent accompagnée d'arriération mentale. Rien ne permet d'évoquer un seuil d'irradiation sous lequel on ne constaterait aucun effet. (11).

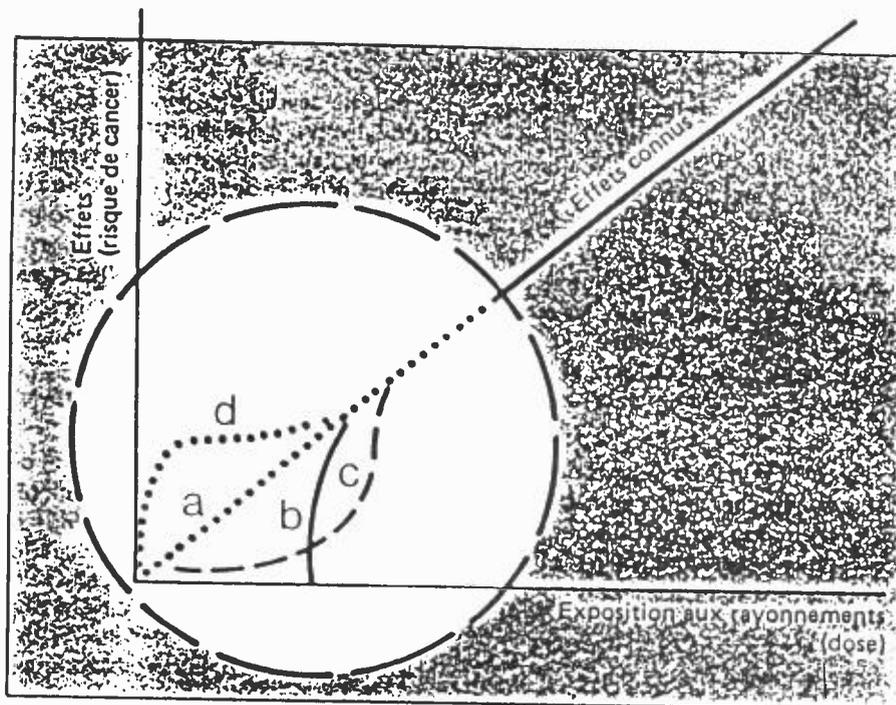
Ces données concordent avec les observations d'enfants nés de femmes ayant subi des examens radiologiques pendant leur grossesse.

- Les effets génétiques

Des lésions de notre appareil génétique peuvent être à l'origine de processus de cancérisation ou de développement embryonnaire anormal ; elles peuvent aussi avoir pour conséquence l'apparition de maladies héréditaires.

Chez les enfants nés de parents irradiés, (d'Hiroshima, de Nagasaki, de radiologues), on n'a pas observé d'accroissement net des maladies héréditaires. Celles-ci ne sont pas toujours faciles à détecter. Certaines mutations, dites récessives, ne se manifestent chez un enfant que si ses deux parents sont porteurs de cette anomalie ; cette anomalie peut n'apparaître qu'à la 2^e ou 3^e génération.

Dans la région de Kérala, en Inde, où la radio-activité naturelle est 6 à 20 fois supérieure à la radio-activité naturelle en France, les cas de mongolisme et de retards mentaux sont dus à des anomalies génétiques.



QUELQUES UNS DES MODELES PROPOSES POUR RENDRE
 COMPTE DE LA VARIATION DES EFFETS POUR
 LES FAIBLES DOSES DE RAYONNEMENTS (3)

Dans la gamme des rayonnements de faible intensité, certains chercheurs admettent un seuil hypothétique en-dessous duquel le risque est effectivement nul (figure 3 b). D'autres soutiennent que les risques sont inférieurs (fig. 3c) ou supérieurs (figure 3 d) à ceux indiqués par le modèle linéaire (figure 3 a).

La plupart des données utilisées pour établir des prévisions chez l'homme sont issues de l'extrapolation des résultats expérimentaux obtenus chez l'animal. "Une telle pratique, pour nécessaire qu'elle soit, n'est pas sans inconvénients dans la mesure où des notions très fondamentales demeurent tout à fait mal connues" - De plus "les critères d'étude de l'intelligence, si souvent atteinte en cas d'anomalie génétique, ne s'appliquent guère qu'à l'homme". (Dutrillaux, 8).

- Et d'autres dommages...

L'irradiation semble également raccourcir l'espérance de vie ; le cancer serait la cause de décès prématurés comme cela semble avoir été le cas des survivants d'Hiroshima et de Nagasaki. La plus grande vulnérabilité aux cancers serait liée à la baisse de la capacité des défenses immunitaires qu'entraîne l'exposition aux rayonnements ionisants.

L'oeil est un organe particulièrement sensible aux rayonnements. On a observé des cas de cataracte (plusieurs années après l'exposition) chez les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki et chez les malades traités au radium.

2.4. Les effets des faibles doses

Ceux-ci nous concernent tous, étant donné l'augmentation de l'irradiation ambiante ; ils concernent tout particulièrement les populations des régions minières.

Les données épidémiologiques évoquées précédemment concernent des populations soumises à de fortes irradiations (égales ou supérieures à 100 rem) ; elles ne sont assorties d'aucun renseignement dosimétrique précis ; elles concernent parfois des irradiations brutales (bombardement, traitement médical...) ; elles sont fragmentaires.

Epoque de la contamination	Lieu de l'enquête	Origine de la radioactivité	Effets observés
1964	Handford Washington (U.S.A.)	fabrication de substances radioactives	surmortalité par cancers (+ 6 %)
1959	Portsmouth Massachusetts (USA)	réparation de sous-marins nucléaires	surmortalité par cancers (+ 7,5 %)
1957	Jefferson Colorado (U.S.A.)	fuite de plutonium	surmortalité par cancers (+6 à 16%)
1951	Utah (U.S.A.)	explosions nucléaires	doublément du taux de leucémies
-	Rosyth (G.B.)	réparation de sous-marins nucléaires	augmentation des anomalies chromosomiques

ENQUETES EFFECTUEES SUR LES EFFETS DES FAIBLES DOSES DE RADIATIONS. (1).

L'extrapolation aux faibles doses (inférieures à 25 rem), généralement étalées dans le temps, ne peut par conséquent être établie avec certitude.

Certains chercheurs pensent que les faibles doses sont aussi nocives, sinon plus que les doses plus fortes. Ils appuient cette hypothèse sur des travaux de laboratoire et des enquêtes épidémiologiques effectuées aux U.S.A. et en Angleterre (1). Celles-ci portent sur des travailleurs de l'industrie nucléaire et sur des populations ayant subi les retombées radioactives d'explosions nucléaires. Ces enquêtes sont brièvement citées dans le tableau ci-contre. En France, aucune étude ne semble avoir été mise en route sur les effets de faibles doses.

2.5. Quelques remarques

- Comme nous l'avons vu (p. 28) rien ne permet de penser qu'il existe un seuil pour les effets cancérogènes et mutagènes.

- Les effets dus aux faibles doses sont des effets à retardement : cancers ou malformations dans la descendance.

- Deux doses semblables peuvent avoir des effets différents selon leur étalement dans le temps : irradiation brutale et unique ou lente accumulation de petites doses n'auront pas les mêmes effets car elles ne laissent pas à l'organisme les mêmes facultés de réparation.

- Certaines mutations sont transmissibles ; les actions mutagènes sont donc cumulatives, non seulement au niveau de l'individu mais de la descendance. Le taux de mutation chez un descendant de parents irradiés sera accru proportionnellement à la dose reçue par le descendant lui-même.

- L'action des radiations est synergiste* d'autres facteurs nocifs, ce qui multiplie les risques d'induction de cancers. (18).

- Les matières radioactives qui pénètrent dans le corps humain (voies digestive, respiratoire, cutanée) y restent pendant des durées variables et s'y accumulent.

- Lorsque l'augmentation du taux d'une affection dans la population est réduite, il n'est pas possible de la mettre en évidence statistiquement. Il faut remarquer qu'il existe une ambiguïté quant au sens de l'expression "effets négligeables" qui évoque dans notre esprit des effets "sans gravité" quand il signifie pour les spécialistes des "variations négligeables" du taux des affections. Par exemple, 40 cas sur des milliers d'individus..... c'est statistiquement indécélable, donc "négligeable"...

* Synergie : (gr. sun, avec, et ergon, travail). Association de plusieurs facteurs pour l'accomplissement d'une action.

III

L A R E G L E M E N T A T I O N

1 - L'ETABLISSEMENT DES NORMES

La C I P R, Commission Internationale de Protection Radiologique, créée en 1928 à la suite des accidents dus aux rayons X, est à l'origine des réglementations en vigueur dans presque tous les pays. Ses recommandations sont basées sur les données relatives aux effets des rayonnements mais aussi sur une philosophie du "risque accepté", selon le principe que "la charge qui en résulterait pour la société serait acceptable et justifiée si l'on considère les avantages probablement de plus en plus grands qui résulteront de l'extension des applications pratiques de l'énergie atomique". Les deux objectifs de la radioprotection prévus par la C I P R sont :

- 1) Empêcher les effets aigus des rayonnements,
- 2) Limitier les risques de cancer et de tares génétiques.

Les recommandations de la C I P R sont les suivantes :

- Pour les travailleurs du nucléaire, la D M A Dose Maximale Admissible par an a été fixée à 5 rem.

- Pour la population en général, cette D M A a été divisée par 10 : 500 m rem.

- La dose génétique, c'est-à-dire la dose maximale cumulée jusqu'à l'âge de 30 ans ne doit pas dépasser 5 rem. Ces limites, qui ne prennent pas en compte l'exposition naturelle ni l'exposition médicale, sont des valeurs maximum qui ne doivent pas être dépassées.

Rappelons à titre indicatif que l'irradiation moyenne naturelle est estimée à 120 m rem (0,12 rem) par an.

D'autres organismes ont pour mission de rassembler et d'étudier les données relatives aux effets des rayonnements ionisants :

O.F. 2/14/86

Fuite d'eau radioactive dans une centrale nucléaire espagnole

LA CENTRALE NUCLÉAIRE D'ALMARAZ (sud-ouest de l'Espagne, va arrêter sa production pendant plusieurs jours pour réparer une fuite dans le circuit de refroidissement d'un réacteur. Cette fuite, estimée à 20 litres par heure, s'est déversée pendant une semaine dans une retenue d'eau où s'abreuve du bétail avant que l'on s'en aperçoive.

UNE FUITE D'EAU « FAIBLEMENT RADIO-ACTIVE » s'est produite mercredi à la centrale nucléaire de Gravelines, près de Dunkerque. Selon la direction de l'entreprise l'incident

uite radioactive à La Hague O.F. 9/11/86

traitements des déchets nucléaires

Inquiétudes et colère en Grande-Bretagne après une nouvelle fuite à Sellafield

COMMUNIQUÉ M.A. (compagnies nucléaires) soir, « un s cuve »

poursuit le communiqué, est normalement repris par un journal et recyclé dans l'ins-

QUATRE « ACCIDENTS MINEURS » - comme on dit toujours dans ce cas-là - se sont produits en l'espace de semaines dans l'usine de traitement des déchets nucléaires de Sellafield, au nord-ouest de l'Angleterre. Samedi dernier, cinq employés travaillant dans les bâtiments où est entreposé de l'uranium, ont dû être évacués pour des traces « très légères » de contamination sur la peau, selon les

mières informations données par la société nationalisée British Nuclear Fuels

de 18 employés contaminés, dont un a reçu une dose d'irradiation correspondant à l'exposition maximum tolérée pendant

Pour un tuyau... percé Flamanville s'arrête quinze jours

Immense complexe de 400 bâtiments, dont la construction a commencé en 1946, l'usine s'appelait jusqu'à il y a

Le fer CHERBOURG. - Décidément, Flamanville connaît quelques problèmes de mise en route de sa première tranche. Voilà qu'une fois encore, la centrale nucléaire a dû stopper sa production d'énergie électrique alors qu'elle ne tournait qu'à 30 % de sa puissance, fournissant

au réseau E.D.F. à 1 500 tours de chauffe, de 200 à 300 mégawatts.

C'était p Ouest qui re tion énergi ses moyens

UN DÉVERSEMENT INTERMÉDIAIRE d'eau légèrement radioactive, sans conséquence pour le personnel, s'est produit samedi dans les locaux de la centrale nucléaire de Fessenheim, près de Mulhouse (Haut-Rhin). Un communiqué officiel a précisé que l'eau déversée dans le bâtiment des auxiliaires nucléaires à la suite de l'ouverture d'une vanne a été entièrement récupérée et stockée dans un réservoir en vue de son traitement

Explosion dans une usine américaine de traitement d'uranium : 1 mort, 14 blessés

UN MORT, QUATORZE BLESSÉS : tel est le bilan officiel de la fuite accidentelle d'un gaz radioactif hautement toxique, l'hexafluorure d'uranium, qui s'est produite samedi matin dans une usine de traitement d'uranium américaine, près de Webbers Falls, dans l'Oklahoma. Cette fuite a été provoquée par l'explosion, pour une raison inconnue, d'un réservoir de ce gaz.

O.F. 6/11/86

Essais nucléaires et cancer : le gouvernement américain devra verser des indemnités

catastrophe nucléaire de Tchernobyl

O.F. 12/16/86

Quel est donc le seuil dangereux ?

SIX JOURS DE NÉGOCIATIONS, deux semaines après la catastrophe, alors que le nuage radioactif de Tchernobyl a couvert de ses retombées la bonne partie de l'hémisphère nord de la plaine, les Douze de la C.E.E. ne sont pas encore parvenus à un accord sur le seuil à partir duquel

(Allemagne et Yougoslavie) et d'autre part, la fixation d'un taux de radioactivité acceptable pour les produits en circulation à l'intérieur même de la Communauté.

Si sur le premier point les Douze étaient d'accord - l'Italie et la France ayant même déjà pris des mesures devant eux imposant des interdictions unilatérales - l'interdiction est interdite dès

ries), soulignant que le taux autorisé, pour les normes 150 nanocuries.

La négociation de quelques malentendus incidents qui ont été résolus par la Commission européenne de l'usine de Tchernobyl atteignent les Douze

Fuite de gaz dans la centrale : pilules antiradioactives aux 500 employés

« **MESURE DE PRÉCAUTION** » ont affirmé les responsables de la centrale nucléaire Point B Hinkley dans le Somerset (sud-est de Londres) après la distribution de pilules antiradioactives aux 500 employés de la centrale. Huit tonnes d'un gaz de refroidissement s'étaient échappées. Les pilules d'iodate de potassium jouent un rôle de protection pour la glande thyroïde.

Les derniers incidents à Sellafield

23 janvier. - Après une fausse manœuvre, une demi-tonne d'uranium tombe en mer.

5 février. - Un nuage de nitrate de plutonium se disperse dans un bâtiment : onze employés mis sous surveillance médicale.

18 février. - Une canalisation cède et deux employés sont contaminés malgré leur combinaison de protection.

AUX RISQUES ET AUX DOMMAGES DUS A UNE EXPLOITATION NORMALE S'AJOUTENT CEUX DES ACCIDENTS. POURTANT L'INDUSTRIE NUCLEAIRE EST REPUTÉE ETRE LE DOMAINE TECHNIQUE LE PLUS SUR.

- l'U N S C E A R, comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants,
- l'A I E A, agence internationale de l'énergie atomique, qui fait partie du système des Nations Unies,
- le B E I R Committee, comité des effets biologiques des rayonnements ionisants, créé par la division des sciences médicales du conseil national de recherche des Etats-Unis.

A une époque où l'information officielle a encore beaucoup de mal à transmettre ses "résultats", d'autres organismes savent divulguer une information indispensable et mener des actions pour inciter les pouvoirs publics à plus de transparence, et les citoyens à prendre conscience de la réflexion de fond engagée sur l'énergie atomique.

- le G S I E N, Groupement des Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucléaire, qui publie une revue : "La Gazette Nucléaire" (les derniers numéros sont consacrés à Tchernobyl)
- la C R I I R A D, Commission Régionale Indépendante et d'Information sur la Radioactivité, nouvellement créée.

2 - LE CONTROLE DES NORMES

Les analyses de l'air, de l'eau, du lait, des végétaux et des animaux à proximité des centres atomiques sont effectuées par le S C P R I, Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants, placé sous la tutelle des ministères de la santé et du travail. Les exploitants effectuent également des mesures qu'ils communiquent au S C P R I.

Cet organisme fait preuve de beaucoup de "discrétion" et les résultats sont publiés dans des rapports de diffusion restreinte. Lors de la catastrophe de Tchernobyl survenue en avril dernier, son peu d'empressement à communiquer les informations à la presse et à la population française est apparu clairement et a été unanimement déploré. La crédibilité du S C P R I en est ressortie pour le moins amoindrie.

Le mensonge officiel sur les mesures de radioactivité communiquées au public a été l'objet d'enquêtes parues dans "Que Choisir" n° 219 de juillet-août 1986 et dans "Sciences et Vie" n° 825 de juin 1986 et n° 827 d'août 1986.

2.1. La radioprotection dans les mines d'uranium

Les mineurs sont soumis à :

- une irradiation externe due aux rayonnements émis par le minerai,
- une contamination interne due au radon et aux poussières de minerai.

"L'irradiation est proportionnelle à la teneur du minerai. Il en résulte que contrairement à une idée assez répandue, le risque d'irradiation externe n'est pas toujours négligeable. Sur la base de 2000 heures de travail par an, la dose est environ de 5 rem pour du minerai à 0,5 %. Ce risque est donc à prendre en considération dès que la teneur moyenne aux lieux de travail est de l'ordre de 0,5 % dans les mines et 1 % dans les carrières". (17).

La mesure des doses de rayonnement externe est effectuée individuellement au moyen de films dosimètres. Il n'existe pas d'appareil à lecture directe de l'irradiation interne. Celle-ci est calculée d'après des mesures faites par prélèvement et d'après le temps passé par chaque mineur dans les différents lieux de travail.

Il faut noter qu'en France, les mineurs ne sont plus suivis médicalement par les services miniers après leur départ à la retraite. Il n'existe donc pas d'étude statistique sérieuse des causes de décès.

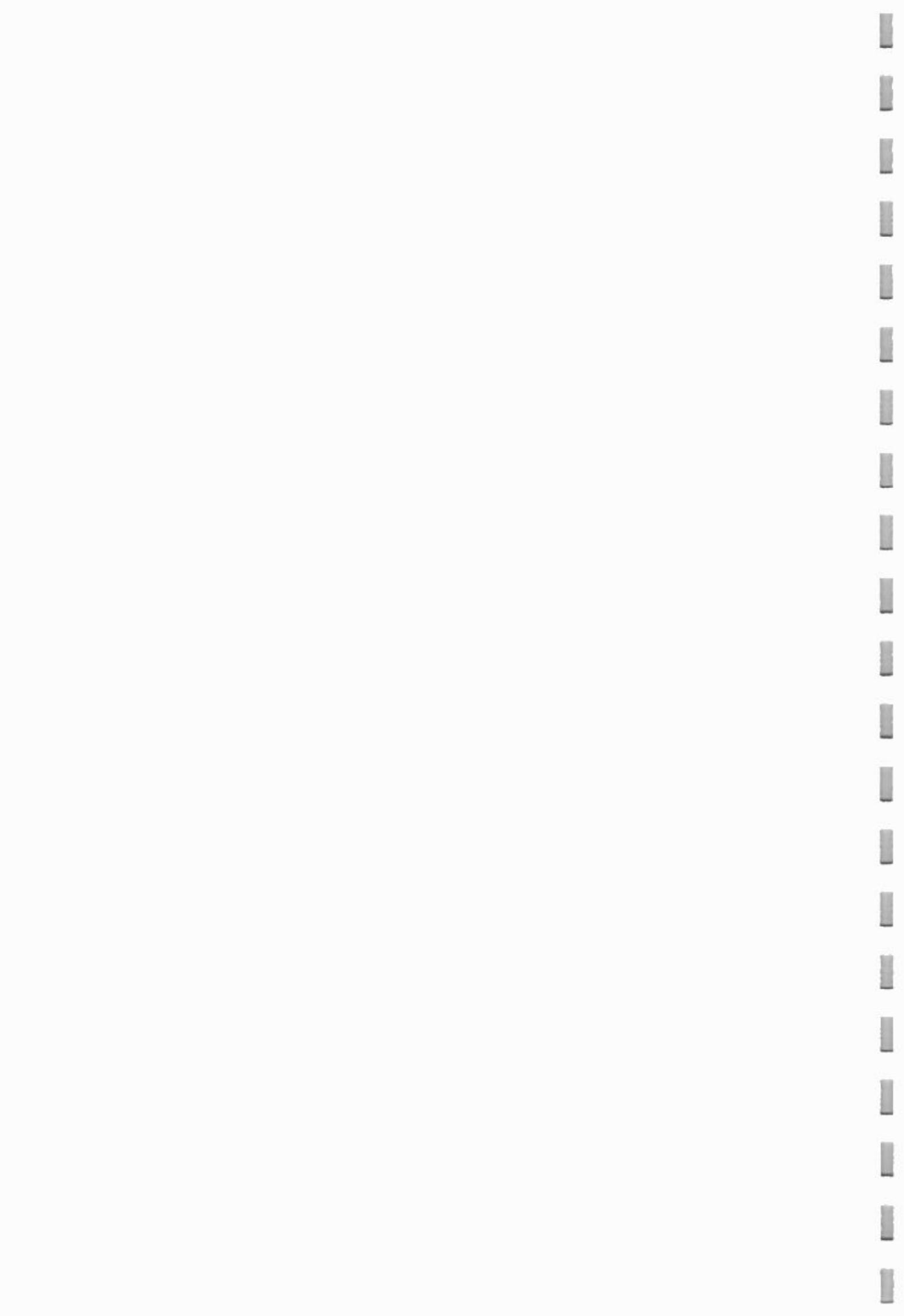
2.2. La protection des populations avoisinantes

Les travailleurs du nucléaire sont des adultes médicalement sélectionnés tandis que la population comprend des malades, des enfants, des femmes enceintes. De plus, on ignore comment les doses se répartissent dans la population.

La "protection" de la population contre les pollutions d'une mine (radon, poussières de minerai, effluents liquides) est basée sur le principe de la "dilution" naturelle dans l'atmosphère et dans les rivières.

Nous avons déjà évoqué les conséquences de ces pollutions (p.), citons M. Ramade : "Une telle attitude face aux problèmes des déchets conduit à renouveler les errements relatifs aux pollutions chimiques. (). Ignore-t-on volontairement les phénomènes de concentration toujours possibles dans les communautés terrestres ou limniques*, qui devraient conduire à l'adoption de normes dix mille fois plus sévères que ce qu'elles sont actuellement ?".

* *Limnique : qui concerne les eaux continentales*



C O N C L U S I O N

Une mine d'uranium occasionne inévitablement de nombreuses nuisances :

- une destruction des terres agricoles
- un préjudice esthétique néfaste pour les habitants et pour l'économie régionale (tourisme)
- une pollution sonore
- une pollution chimique et radioactive de l'eau et de l'air.

Les pollutions radioactives présentent des caractéristiques spécifiques :

- l'organisme humain ne détecte pas les rayonnements. Ce n'est que lorsqu'il y a eu dommage que l'organisme éprouve des effets sensibles.

- la pollution de l'air et de l'eau conduit à une accumulation des éléments radioactifs dans notre organisme.

- la lutte contre la pollution nucléaire ne peut être que préventive : quand une radioactivité est créée, il n'y a aucun moyen de l'arrêter ; il faut attendre que le radioélément se désintègre spontanément.

- le calcul des risques dus aux faibles doses de radiations est basé sur des hypothèses.

- le choix des normes de radioprotection est basé sur ces mêmes calculs ainsi que sur la notion de risque admissible. "Mais qui accepte le risque ? Certainement pas le citoyen qui n'a pas voix au chapitre en l'occurrence. Dans le domaine de la pollution de l'environnement par les radionucléides, comme d'ailleurs dans celui de la contamination chimique (par les pesticides par exemple), la décision revient à des experts, dont le rôle est de faire la balance entre les risques possibles pour la santé humaine et les

bénéfices attendus de telle ou telle technologie.

La prise du risque (pour autrui) est donc le fait d'autorités administratives qui se fondent sur des critères techniques, économiques, politiques et à la rigueur - il faut l'espérer - éthiques. On doit bien convenir dans de telles conditions que des décisions dont les conséquences lointaines pourraient être capitales sont le fait de structures dont le contrôle démocratique est virtuel si l'on songe à la multiplicité des problèmes nouveaux qui surgissent et dont seuls les experts sont avertis" (18).

TRAVAUX CONSULTES

- 1 - Adler M.A. d' - Sciences et Avenir numéro spécial série n° 27 : Le risque nucléaire, pp 72 - 79.
- 2 - Agence Internationale de l'Energie Atomique - 1979 - Les rayonnements, donnée de l'existence.
- 3 - Agence Internationale de l'Energie Atomique - Organisation Mondiale de la Santé - 1981 - Informations de base sur les rayonnements de faible intensité.
- 4 - Bourrier J. - 1967 - La pollution radioactive des eaux de surface. B.T.I., n° 224, pp 794 -807.
- 5 - CFDT et CRILAN de Saint-Lô - 1983 - Nucléaire, tout ce qu'on vous a caché.
- 6 - Comité de Liaison Uranium - Nucléaire de l'Aveyron - 1984 - 10 questions sur l'uranium.
- 7 - Denis - Lempereur J. - 1984 - Des curies et des hommes ou la menace de l'overdose - Sciences et Vie n° 800.
- 8 - EDF - 1975/1978 - Effets génétiques présumés de l'irradiation à faible dose chez l'homme.
- 9 - EDF - 1980 - Les déchets et les effluents des centrales thermiques et nucléaires et l'environnement. 5è colloque Energie électrique et environnement Villeneuve-Lez-Avignon.
- 10 - EDF - 1982 - Effets biologiques des rayonnements ionisants et la philosophie des normes en radioprotection.
- 11 - Errera M. - 1985 - Les effets des radiations nucléaires à faibles doses - La recherche n° 168.
- 12 - Fourcade N., Marple M.L., Zettwoog P. - 1982 - Le radium 226 dans la chaîne alimentaire au voisinage d'un site minier français d'uranium. AIEA symp. Vinocville juillet 1981.
- 13 - Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucléaire. - 1977 - Electronucléaire : danger - Ed Seuil.
- 14 - Jammet H. et Nenot J.C. - 1976 - L'homme et les radiations - Sciences et Vie : hors-série n° 17 - pp 125 - 136.
- 15 - Les amis de la terre du Morvan - 1977 - Histoires d'U - Propos sur les exploitations minières d'uranium en France. Ed Pau vert.
- 16 - Nenot J.C. - 1979 - Les rayonnements ionisants - Effets et sources - Conclusions du Comité Scientifique des Nations Unies. J. Radiol. t - 60 n° 1, pp 22, 32 et 50.

- 17 - Pradel J. et Koch L. - 1976 - La radioprotection dans les mines d'uranium - Annales des mines, mars-avril 1976.
- 18 - Ramade F. 1982 - Eléments d'écologie, écologie appliquée - Mc Graw-Hill, Paris.
- 19 - Samuel P. - 1980 - Le nucléaire en questions - Ed. Entente.
- 20 - Schaeffer R. - 1976 - Les reconcentrations écologiques des radioéléments rejetés par l'industrie nucléaire - Méditerranée médicale n° 98, pp 63 - 74.
- 21 - Thomas K.T. - La gestion des déchets résultant de l'extraction et du traitement des minerais d'uranium - AIEA bulletin - vol. 23, n° 2.