

LES DÉCHETS RADIOACTIFS

On appelle déchet radioactif toute matière radioactive qui ne peut être ni recyclée ni réutilisée et qui doit être stockée.

1. LES TYPES DE DÉCHETS RADIOACTIFS

Deux paramètres permettent d'appréhender le risque que représentent les déchets radioactifs :

- la radioactivité qui traduit la toxicité du déchet c'est-à-dire son impact sur l'homme et l'environnement
- la durée de vie ou période de décroissance qui permet de définir la durée de leur nuisance potentielle

Les déchets sont classés en grandes familles selon leur niveau de radioactivité et leur durée de vie.

- les déchets de très faible radioactivité à durée de vie courte (TFA) proviennent principalement du démantèlement d'installations nucléaires et pour une plus faible part de l'exploitation de ces installations
- les déchets de faible et moyenne activité à durée de vie courte (déchets FMA-VC) avec les TFA, ils forment plus de 90% du volume des déchets radioactifs produits à ce jour. Ils proviennent notamment de l'exploitation des centrales nucléaires, des labs de recherche, des hôpitaux ... Ce sont essentiellement des objets contaminés
- les déchets moyennement radioactifs à durée de vie longue (MA-VL). Ils représentent près de 5 % du volume des déchets radioactifs et proviennent principalement des usines de fabrication et de traitement du combustible nucléaire
- les déchets hautement radioactifs et à durée de vie longue (HA-VL) représentent moins de 1% du volume des déchets radioactifs en France. Ils proviennent principalement des usines de fabrication et de traitement du combustible nucléaire et contiennent des quantités significatives d'éléments hautement radioactifs à vie longue qui dégagent de la chaleur et dont la décroissance radioactive peut s'étendre jusqu'à des centaines de milliers d'années
- les déchets faiblement radioactifs à durée de vie longue (FA-VL) sont constitués principalement de déchets radifères provenant de l'extraction de terres rares et de graphite provenant des réacteurs de la filière UNGG
- les déchets tritiés contiennent du tritium qui est un élément à durée de vie courte caractérisé par une très grande mobilité

En comparaison, chaque année l'industrie nucléaire française produit 1kg de déchet radioactif par habitant alors que l'industrie chimique produit 100kg de déchets chimiques toxiques.

Les déchets hautement radioactifs représentent 5 g par an et habitant.

Un examen sérieux des problèmes posés par la gestion des déchets radioactifs, et plus particulièrement par celle des déchets de l'industrie nucléaire ayant une longue durée de vie et une forte activité, nécessite que l'on se projette dans le contexte de l'avenir lointain de l'humanité qui comporte de grandes incertitudes.

Pour apprécier à sa juste valeur l'importance des problèmes posés par la gestion à très long terme de ces déchets, il faut bien connaître les modalités de gestion et avoir présent à l'esprit un certain nombre de données et des repères utilisables dans une perspective très lointaine.

2. LE TRAITEMENT ET LE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS

Dès le début du développement de l'énergie nucléaire, le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs ont été au cœur des préoccupations et une approche rationnelle a été mise en œuvre :

- réduction des quantités de déchets à la source
- tri des déchets en fonction de leur activité et de leur décroissance radioactive
- traçabilité à tous les niveaux depuis la production jusqu'à la mise en stockage avec en particulier la gestion des stockages par un organisme national central, l'ANDRA (**A**gence **N**ationale pour la gestion des **D**échets **R**adioactifs)
- traitement des déchets adapté à leur nature et à leur niveau de radioactivité.

Lorsqu'ils sont produits, les déchets sont solides ou liquides ; ce sont les déchets bruts.

Les effluents radioactifs liquides et gazeux sont traités sur le lieu d'émission ; les produits issus de ce traitement constituent des déchets solides secondaires.

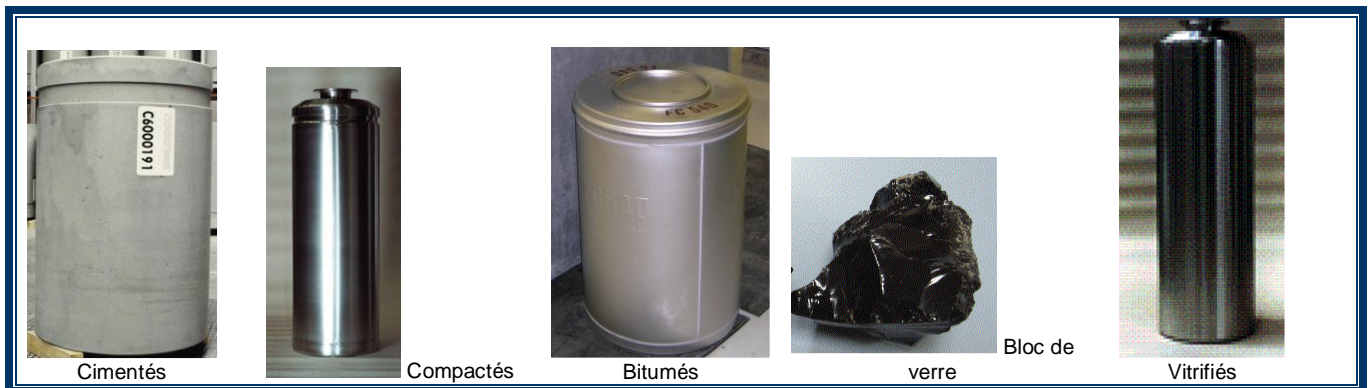
Les déchets combustibles sont incinérés, pour en réduire le volume ; les fumées sont traitées et les gaz sortant ne sont libérés à l'atmosphère qu'après passage sur des filtres de très haute efficacité (THE). Les cendres sont conditionnées dans du béton.

Tous les déchets solides sont mis sous forme de colis pour empêcher la dispersion des éléments radioactifs.

Les colis de déchets solides constituent une première barrière entre les éléments radioactifs et l'environnement. Ils doivent satisfaire aux normes de transport, d'entreposage et de stockage, édictées par l'ASN. Le conditionnement dépend du contenu radioactif du déchet brut.

Trois méthodes sont utilisées pour le conditionnement :

- les déchets solides sont directement placés dans le conteneur et immobilisés par du ciment, qui est coulé dans ce conteneur
- pour réduire le volume, certains déchets solides peuvent être compactés par une presse. Les blocs ainsi obtenus sont placés dans un conteneur et généralement immobilisés par du ciment
- les déchets liquides après traitement (évaporation, coprécipitation, traitement thermique) doivent être mélangés à un matériau pour les solidifier avant d'être introduits dans un conteneur. Ce matériau est du ciment, du bitume ou du verre



Différents types de colis de déchets

3. LES STOCKAGES

Ces différents colis de déchets sont entreposés **temporairement** ou stockés **définitivement** sur des sites aménagés en fonction de leurs caractéristiques.

3.1. LES DÉCHETS DE TRES FAIBLE ACTIVITÉ

Les déchets de très faible radioactivité (TFA) sont stockés par l'ANDRA depuis l'été 2003 à Morvilliers dans l'Aube. Ce stockage du CSTFA (Centre de Stockage de déchets Très Faiblement Actifs) accueille, en particulier, les déchets de démantèlement des installations nucléaires françaises.

3.2. LES DÉCHETS DE FAIBLE ACTIVITÉ OU MOYENNE ACTIVITÉ ET DE COURTE PÉRIODE

Les déchets de faible et moyenne radioactivité (FMA-VC) à vie courte (inférieure à 30 ans) sont stockés dans des centres en surface, comme ceux de l'ANDRA à La Hague et, depuis 1992 dans l'Aube à Soulaines. Ils sont destinés à être surveillés pendant une période de 300 ans avant leur remise dans le domaine public (300 ans = 10 fois 30 ans c'est-à-dire 10 fois la période des radionucléides à durée de vie la plus longue stockés en quantité significative).

Les précautions prises dans ce centre reposent sur un conditionnement dans le béton, le drainage des eaux, une couverture étanche ... qui permettent d'aboutir à un impact sur l'environnement régulièrement contrôlé et négligeable.

Les expositions externes provenant de ces stockages sont inférieures à celles que l'on rencontre dans de nombreuses régions de par la radioactivité naturelle.

Les populations qui s'installeraient sur un centre de stockage seraient de 2 à 10 fois moins irradiées que celles vivant sur les sites naturels présentant des traces d'uranium et de thorium naturels, et il en résulterait des doses bien plus faibles.

Il en est de même pour les expositions internes dues à l'ingestion de radionucléides artificiels qui sont très inférieures à celles provenant des radionucléides naturels comme le radon et ses descendants ^{210}Pb et ^{210}Po plus toxiques que le plutonium à activités égales.

Il faut savoir aussi que l'on exige que les eaux de surface ou les eaux rejetées dans l'environnement près de certains sites de stockage (ou les anciens sites, notamment les sites miniers) puissent être potables et donc consommables à raison de 2 litres par personne et par jour pendant 50 ans.

Cette exigence est très supérieure à celle demandée pour les autres rejets d'eaux (rejets en fossés ou canalisations de rejet en rivière) et même pour les rivières, comme la Seine.

3.3. LES DÉCHETS DE HAUTE ACTIVITÉ ET DE PÉRIODE LONGUE

En réponse aux lois sur les déchets de 1991 et 2006 (voir § 4), l'ANDRA prépare un stockage géologique des déchets de moyenne et haute activité (MA-VL et HA) à vie longue (c'est-à-dire contenant en majorité des radionucléides dont la période radioactive est supérieure à 30 ans) donc qui ne peuvent être stockés dans les stockages de déchets de faible et moyenne radioactivité (FMA-VC) à vie courte décrits ci dessus.

Les lieux de stockage envisagés sont situés à 500 ou 600 mètres de profondeur, dans des terrains particulièrement bien choisis et notamment à l'abri des circulations d'eaux souterraines (voir annexe).

Les déchets sont conditionnés avec soin : les produits vitrifiés sont placés dans des conteneurs métalliques bien étudiés quant à leur comportement dans le site jusqu'à quelques milliers d'années.

Les études de comportement permettent, en effet, aujourd'hui, d'estimer que les colis de déchets vitrifiés mettront, s'il y a contact avec de l'eau, plusieurs centaines de milliers d'années à se "dissoudre" dans des conditions proches de celles que l'on rencontre en stockage géologique.

Ces colis seront enfin stockés dans des cavités rebouchées ensuite avec des matériaux choisis pour leur qualité de barrière étanche, empêchant ainsi toute migration significative.

3.4. LES DÉCHETS DE FAIBLE ACTIVITÉ ET DE PÉRIODE LONGUE

Les déchets FA-VL sont entreposés sur les sites de production. L'ANDRA réalise actuellement des études pour un centre de stockage de ces déchets en réponse à la demande de la loi du 28 juin 2006 (voir § 4). La mise en service d'un tel stockage est reportée à l'horizon 2020.

3.5. LES DÉCHETS TRITIÉS

En réponse aux demandes de la loi du 28 juin 2006 (voir §4), la solution de référence retenue pour ces déchets contaminés par du tritium (période ou demi-vie 12,3 ans) est, avant prise en charge dans les futurs centres de stockage de l'ANDRA, un entreposage de décroissance pendant une cinquantaine d'années dans des installations à construire à proximité des principaux sites de production (Marcoule, Valduc et Cadarache).

Pour garantir un impact aussi faible que possible, compte tenu des caractéristiques du tritium et de sa mobilité, les déchets dégazants seront détritiiés ou conditionnés dans des conteneurs étanches aux gaz préalablement avant leur prise en charge dans les entreposages.

4. LES LOIS DE PROGRAMMATION RELATIVES A LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Les recherches sur la gestion et le traitement des déchets à vie longue ont été menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, elles se poursuivent dans le cadre de la loi N°2006-739 du 28 juin 2006.

Elles sont organisées selon 3 axes généraux :

- la séparation et la transmutation¹ des éléments radioactifs à vie longue avec pour objectif de disposer en 2012 d'une évaluation des perspectives industrielles et de démarrer un prototype d'installation avant le 31 décembre 2020
- le stockage réversible en couche géologique profonde, avec mise en service d'un centre de stockage en 2025
- l'entreposage, avec pour mission de créer de nouvelles installations d'entreposage ou de modifier des installations existantes au plus tard en 2015

Dans son article 4, la loi a institué des échéanciers d'étude pour des déchets particuliers, devant aboutir à :

- la mise en service en 2013 d'un centre de stockage de déchets graphites et radifères
- la mise au point pour 2008 de solutions d'entreposage des déchets contenant du tritium
- la finalisation pour 2008 de procédés permettant le stockage de sources scellées usagées
- un bilan en 2009 des solutions de gestion des déchets du niveau de la radioactivité naturelle
- un bilan en 2008 de l'impact à long terme des sites de stockage de résidus miniers d'uranium

L'article 6 de cette loi a prévu la réalisation d'un Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR) remis à jour périodiquement dont l'objet est de :

- recenser les besoins en installations de stockage et entreposage
- dresser le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets et radioactifs
- organiser la mise en œuvre des études sur les matières et déchets qui ne font pas encore l'objet d'un mode de gestion définitif notamment pour les déchets de haute activité à vie longue (HA), les déchets radifères et graphite (FA-VL), certaines sources scellées usagées, certains déchets tritiés

5. CONCLUSION

Les procédés actuels de traitement et de conditionnement des déchets radioactifs mis en œuvre industriellement ont montré leur fiabilité. Des améliorations notables ont, d'ores et déjà, été acquises. Des progrès continueront d'accompagner le développement de l'énergie nucléaire.

Ainsi les études conduites dans le cadre de l'axe 1 de la loi de 1991 visent, dans une démarche de progrès continu, à diminuer la radiotoxicité et la quantité des déchets ultimes. Les résultats déjà obtenus constituent des avancées considérables.

Les performances de séparation sont très satisfaisantes (99,9 % pour les actinides mineurs américium et curium). Elles vont permettre de diminuer par 100 la radiotoxicité après 500 ans des verres allégés de ces éléments.

Les premiers résultats de transmutation permettent d'envisager plusieurs solutions pour réduire la radiotoxicité et l'émission de chaleur des déchets ultimes grâce à de futurs réacteurs à neutrons rapides de IV^{ème} génération qui devraient compléter le parc des réacteurs à eau sous pression.

Dans le cadre de l'axe 2 de la loi, un laboratoire souterrain a été construit sur le site de Bure sur les départements de la Meuse et de la Marne pour étudier le comportement des déchets en couche géologique profonde.

Par ailleurs, dans le cadre de l'axe 3 de la loi, la faisabilité de l'entreposage de déchets radioactifs durant 300 ans a été démontrée.

¹ Pour réduire la quantité des éléments à vie longue dans les déchets radioactifs de haute et moyenne activité, il faut les extraire de façon spécifique, c'est la séparation, et les éliminer en les transformant en des éléments non radioactifs ou à vie plus courte (par bombardement des éléments radioactifs avec des neutrons produits dans des réacteurs nucléaires) c'est la transmutation.

Dès son démarrage et dans son évolution, le nucléaire s'est inscrit dans le développement durable, en particulier en prenant en compte les intérêts des travailleurs, des populations et des générations futures.

Le problème des déchets radioactifs est important mais, traité de façon rigoureuse, il ne peut menacer l'avenir des générations futures, même de celles qui vivront peut-être sur notre Terre dans des dizaines de milliers d'années.

Dans ce domaine, il convient de donner la parole aux personnes compétentes de la physique ainsi qu'à celles de la santé, comme les membres de l'Académie des Sciences et de l'Académie de Médecine.

ANNEXE 1 UN STOCKAGE EN PROFONDEUR DE DÉCHETS, RADIOACTIFS POUR DES MILLIONS D'ANNÉES, DANS UNE ROCHE STABLE DEPUIS DES MILLIONS D'ANNÉES

Une formation géologique, dont le comportement est stable depuis des millions d'années est l'endroit le plus adapté à un stockage de matières radioactives de très forte radioactivité et/ou de longue durée de vie.

Cette approche de la gestion à long terme des déchets de ce type est commune aux différents pays « nucléarisés » : Royaume Uni, Allemagne, Belgique, France, Finlande, Suède, USA avec des degrés d'avancement des travaux jusqu'au stade des projets les plus avancés en Suède et Finlande et jusqu'à celui de la mise en exploitation du site de Palo Verde (Nouveau Mexique).

Les couches géologiques (granit, sel, argile) sont choisies pour toute une série de qualités : stabilité, imperméabilité, dureté, résistance, plasticité...

La difficulté est la circulation d'eau qui seule est susceptible de dissoudre et de transporter des matières radioactives, mais ceci en quelques siècles.

Enfin, le stockage est réalisé en profondeur (de l'ordre de 500 m) pour l'éloigner d'éventuels aquifères.



En France, le choix s'est porté sur l'argile dont une formation convenable pour établir un laboratoire expérimental se trouve dans le département de la Meuse, sur le site de Bure.

L'instrumentation d'une galerie d'une centaine de mètres de long permet de recueillir les données nécessaires pour certifier les choix techniques et les prévisions à long terme.

Le principe de la protection des populations et de l'environnement contre les atteintes liées aux déchets radioactifs jusqu'à ce qu'ils ne présentent plus un quelconque risque est d'interposer une série de barrières aptes à confiner les matières radioactives suffisamment longtemps.

Ainsi, les déchets de très forte radioactivité sont intégrés dans du verre, matière dont la longévité est démontrée dans les fouilles archéologiques sous-marines ; le verre est gainé d'acier inoxydable. Ce colis est disposé dans une des alvéoles de la galerie d'accueil creusée dans l'argile à une profondeur de 350 mètres.

Les barrières sont passives : elles ne demandent pas une intervention humaine et se prêtent bien à une exploitation sur la durée.

Les déchets de très forte radioactivité et/ou de longue durée de vie ainsi stockés ne représentent pas une menace pour les générations futures.

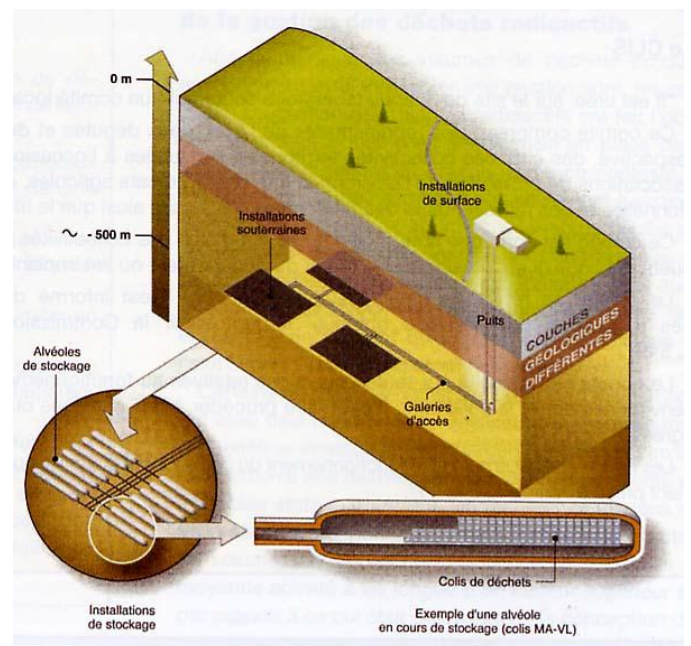


Photo et figure proviennent de publications de l'ANDRA

ANNEXE 2 LA DIABOLISATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

QUE PEUT-IL ARRIVER D'IMPRÉVU ?

Une fuite donnant lieu à une contamination d'un faible débit d'eau qui sera ensuite dilué de façon importante vu la profondeur et la distance à parcourir pour arriver à un point d'émergence ou de captage de nappes ?

Il n'est pas raisonnable d'envisager que l'on puisse aboutir à la pollution d'une source qui deviendrait ainsi beaucoup plus radioactive que la plupart de nos sources d'eaux minérales.

Et même si tel était le cas, comment une société future soucieuse de l'impact de si faibles doses, donc nécessairement évoluée, pourrait-elle ne plus disposer d'un organisme de contrôle ?

Elle devra en effet toujours veiller à la qualité de ses eaux potables qui peuvent être naturellement très radioactives. Grâce à cette veille sanitaire, il sera toujours possible d'intervenir en contrôlant les utilisations des sources ou même en traitant l'eau de surface ou, en dernier recours, en intervenant in situ sur le stockage.

Pour que cette intervention puisse être réalisée, de simples dispositions doivent suffire, compte tenu des possibilités techniques actuelles, et la notion de réversibilité exigée par certains n'a donc pas grande signification.

Un forage malencontreux dans le stockage ?

On est en droit de penser qu'une société, nécessairement évoluée pour être capable d'effectuer de tels forages, surveillera les travaux de ce type technologiquement difficiles à mettre en œuvre, et décèlera ainsi assez rapidement un tel événement assez facile à maîtriser et de portée limitée, même si l'on avait perdu la mémoire de l'existence du stockage.

Notons que la probabilité est très faible car les sites sont choisis notamment en fonction de leur absence d'intérêt géologique ou minier.

Des travaux miniers effectués dans le stockage ?

On peut calculer l'exposition de ces mineurs imprudents qui seraient techniquement très compétents pour creuser des galeries à 500 mètres de profondeur mais séjourneraient imprudemment dans un chantier présentant des traces manifestes d'une intervention humaine très ancienne et ne se méfieraient pas de ces containers en plus ou moins bon état, entourés de matériaux spéciaux ou d'argiles apportés à l'évidence par l'homme.

En supposant que ces malheureux demeurent dix heures en face d'un mur constitué uniquement de déchets vitrifiés les plus actifs et fassent des trous dans ce mur en créant un bon empoussiérage, on trouve que dans 1000 ans ils pourront déjà séjourner dans ces conditions au moins une dizaine d'heures avant d'être exposés à une dose pouvant être mortelle.

A noter que le même mineur ne pourrait aujourd'hui rester que deux fois plus longtemps sans aucune précaution dans un chantier identique où les déchets vitrifiés seraient remplacés par de la pechblende, minerai d'uranium naturel très riche comme on a pu en trouver en France (Henriette et Margnac à La Crouzille, les Bois Noirs au Forez) ou ailleurs (Cigar Lake au Canada).

Après 10 000 ans de stockage, l'exposition de ce mineur d'uranium imprudent est 2 à 3 fois supérieure à celle du même imprudent devant le mur de verre.

A noter que dans tous les cas, la gravité de cet accident très improbable est très inférieure à celle d'un coup de grisou, ou de poussières dans une mine de charbon, qui a fait et continue malheureusement de faire parfois des dizaines, voire des centaines de morts.

POURQUOI UNE TELLE PEUR ?

En réponse aux peurs irrationnelles, on peut retenir :

La diabolisation des produits de longue durée de vie

Et pourtant, en réalité, les produits radioactifs de longue durée de vie présentent une activité spécifique (Becquerels par gramme) moindre que les produits à vie courte et présentent donc un risque d'ingestion accidentelle inférieur.

En effet par exemple on peut ingérer 1 gramme de 226 Radon (période 1617 ans) mais il est plus difficile d'ingérer 3 tonnes d'uranium 238 (période de 4,5 milliards d'années) qui correspondent à la même activité.

La diabolisation des produits radioactifs artificiels

- une dizaine de réacteurs naturels a fonctionné il y a environ 2 milliards d'années pendant des milliers d'années au Gabon à Oklo, et l'étude des migrations des produits de fission montre que dans ce site, naturel, ces migrations ont été très limitées. Des données fondamentales ont ainsi été obtenues pour modéliser les migrations dans un site de stockage créé par l'homme et montrent que le risque de migrations intempestives, dans un site bien choisi, est tout à fait minime.

- du plutonium a non seulement été fabriqué à Oklo mais il existe dans la nature partout où il y a de l'uranium, c'est-à-dire partout dans la croûte terrestre. Ce plutonium, créé par l'action du rayonnement cosmique sur l'uranium, est certes en faible quantité mais il est mesurable dans les minerais riches en uranium où sa radioactivité est de l'ordre de 5 à 30 Bq par kilogramme.
- de plus, ce plutonium est en réalité moins radiotoxique (moins de Sieverts pour une même quantité de Becquerels) que plusieurs produits naturels comme ^{210}Pb , le ^{210}Po ([voir fiche GASN N° 29](#)) qui sont partout présents sur notre sol et dans notre alimentation, avec des teneurs qui dépassent en toxicité de loin celles des retombées de Tchernobyl, en France et même dans certaines zones d'URSS où l'on a procédé à l'évacuation des populations.

La grande sensibilité des techniques de mesure

Elle entraîne le fait que l'on peut mesurer de la radioactivité partout, toutefois seule la radioactivité dite artificielle retient l'attention.

Le refus de prendre en considération le fait que l'homme est soumis à une exposition naturelle très variable (facteur 10 à 100 voire 1000) et parfois très élevée

On accepte à la rigueur de parler de valeurs moyennes d'exposition naturelle et on se limite à effectuer des comparaisons avec les niveaux exceptionnels d'exposition artificielle.

La sévérité dans le domaine de la radioprotection

On a imposé aux acteurs du monde nucléaire une grande sévérité dans l'application du principe ALARA (« as low as reasonably achievable »), qui est maintenant perçue comme la preuve de l'existence d'un grand danger, alors qu'elle paraît souvent excessive aux spécialistes qui peuvent de moins en moins l'appliquer même dans le cas de l'exposition naturelle (parfois un facteur 10 ou 100 et même plus existe entre les exigences réglementaires et cette exposition naturelle).

De nombreuses maisons ne seraient-elles pas ainsi à évacuer à cause du radon ?

L'utilisation abusive d'une loi linéaire hypothétique sans seuil pour évaluer l'effet des très faibles doses à partir de la connaissance de l'effet de doses très fortes

Si cette loi était appliquée dans le domaine chimique et étant donné qu'une personne décède si elle absorbe en 24 heures 50 comprimés d'aspirine, cela conduirait à déduire que la prise d'un seul comprimé par un million d'individus provoque 20 000 décès ($10^6/50$).

L'académie de médecine, l'académie des sciences, le comité UNSCEAR et la CIPR considèrent que cette extrapolation n'est pas légitime même dans le cas des agents potentiellement cancérigènes.

La prise en compte des effets hypothétiques des faibles doses à long terme : uniquement dans le domaine nucléaire

Plus de 6000 morts en Inde à Bhopal très rapidement, mais le nombre est certainement beaucoup plus élevé sur le long terme.

Pour Tchernobyl, on sait que, essentiellement par suite d'une mauvaise gestion de l'accident, 31 personnes sont mortes rapidement et que cet accident a pu induire des cancers de la thyroïde en nombre important chez les enfants. Ces cancers auraient pu être évités si l'on avait procédé comme en Pologne à la distribution de pastilles d'iode.

On omet aussi généralement de préciser que 95% des cancers de la thyroïde apparus dans l'environnement de la centrale et donc liés à l'accident de Tchernobyl ont été traités avec succès.

La diffusion par les médias d'informations erronées

Par exemple sur les conséquences à long terme de Tchernobyl, de telles informations ont été diffusées sans que des personnes compétentes ne puissent apporter les corrections indispensables.

Nombreux sont les médias français qui laissent planer un doute excessif sur les conséquences à très long terme bien qu'ils disposent d'informations internationales suffisantes.

Pourquoi ces médias ne citent-ils pas des sources contradictoires, comme cela se pratique dans les démocraties anglo-saxonnes ?