



**METHODE D'EVALUATION DE L'IMPACT  
DES SITES DE STOCKAGE  
DE RESIDUS DE TRAITEMENT  
DE MINERAIS D'URANIUM**

A.C. SERVANT, B. CESSAC

IPSN/DÉPARTEMENT DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Novembre 2001

Rapport DPRE/SERGD 01-53

Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire  
Département de Protection de l'Environnement



INSTITUT DE PROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DÉPARTEMENT DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Service d'Études et de Recherches sur la Géosphère et l'élimination des Déchets

BP 6, 92265 FONTENAY-AUX-ROSES CEDEX, France - Télécopie : 01.47.35.14.23 - Téléphone : 01.46.54.71.70

Demandeur	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
Référence de la demande	Convention MATE / IPSN n° 56/2000
Numéro de la fiche d'action	

**METHODE D'EVALUATION  
DE L'IMPACT DES SITES DE STOCKAGE  
DE RESIDUS DE TRAITEMENT DE MINERAIS D'URANIUM**

IPSN/Département de Protection de l'Environnement

Rapport DPRE / SERGD / 01-53

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur *	Chef d'Unité	Chef du DPRE	Directeur de l'IPSN
Noms	A.C. SERVANT B. CESSAC	A. DESPRES	J.M. PERES	J.C. BARESCUT	M. LIVOLANT
Dates	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	20/01/01	22/11/2001	
Signatures			<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

\* rapport sous assurance de la qualité

## SOMMAIRE

<b>I. LE ROLE DES ETUDES D'IMPACT</b> .....	7
1. LE CADRE REGLEMENTAIRE .....	7
2. LES OBJECTIFS DES ETUDES D'IMPACT .....	7
<b>II. CONTENU D'UNE ETUDE D'IMPACT APRES REAMENAGEMENT</b> .....	8
1. PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE .....	8
1.1. Climatologie.....	8
1.2. Géologie.....	8
1.3. Hydrogéologie .....	9
1.4. Réseau hydrographique .....	9
1.5. Description de l'environnement agricole .....	9
1.5.1. Agriculture - Elevage - Productions agro-alimentaires.....	9
1.5.2. Pêche - aquaculture.....	9
1.6. Utilisation des eaux .....	9
1.7. Description de l'environnement démographique .....	10
1.7.1. Démographie .....	10
1.7.2. Habitat, activités et habitudes .....	11
1.8. Elaboration du modèle conceptuel du site .....	11
2. DESCRIPTION DU SITE .....	12
2.1. Les produits stockés.....	12
2.2. Les dispositifs de stockage.....	13
2.3. Les chantiers exploités sur le site .....	14
2.4. Les bâtiments .....	14
2.5. La gestion des eaux sur le site .....	15
2.5.1. Réseau hydrographique sur le site.....	15
2.5.2. Gestion des eaux souterraines .....	15
2.5.3. Gestion des eaux de surface .....	15
3. EVALUATION DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE APRES REAMENAGEMENT ET DETERMINATION DU (DES) GROUPE(S) DE REFERENCE .....	16
3.1. Les voies d'atteintes à considérer.....	17
3.1.1. L'exposition externe.....	17
3.1.2. L'exposition interne par inhalation.....	17
3.1.3. L'exposition interne par ingestion.....	18
3.2. Groupes de population et scénarios associés.....	18
3.2.1. Localisation des groupes de population .....	18
3.2.2. Composition des groupes de population .....	19

3.2.3.	Détermination des scénarios.....	20
3.2.4.	Coefficients de dose .....	23
3.3.	Les mesures dans l'environnement .....	24
3.3.1.	Localisation et fréquence des mesures .....	24
3.3.2.	Présentation des résultats des mesures .....	27
3.3.3.	Sensibilité et incertitudes .....	28
3.4.	Le point zéro ou niveau radiologique initial .....	30
3.5.	Le calcul de l'impact lié au site .....	31
3.6.	Comparaison des impacts aux limites réglementaires .....	31
3.7.	Détermination du (des) groupe(s) de référence .....	31
<b>III.</b>	<b>SUIVI DE L'IMPACT DU SITE A COURT TERME - SYSTEME DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT, COMPORTEMENT DES DISPOSITIFS DE STOCKAGE AU COURS DU TEMPS.....</b>	<b>32</b>
1.	IMPACT DU SITE SUR LE GROUPE DE REFERENCE .....	32
1.1.	Groupes de référence, scénarios associés et voies d'atteinte.....	32
1.2.	Mesures dans l'environnement.....	32
1.2.1.	Débit de dose exposition externe.....	32
1.2.2.	EAP du radon 222 et du radon 220.....	33
1.2.3.	Emetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières en suspension dans l'air .....	33
1.2.4.	Eau .....	33
1.2.5.	Chaîne alimentaire.....	33
1.3.	Le calcul de l'impact lié au site .....	33
1.4.	Comparaison des impacts aux limites réglementaires .....	34
2.	IMPACT DU SITE SUR L'ENVIRONNEMENT.....	34
2.1.1.	Suivi des eaux .....	34
2.1.2.	Analyse des sédiments .....	36
2.2.	Présentation des résultats des mesures .....	36
2.3.	Durée du suivi.....	37
3.	COMPORTEMENT AU COURS DU TEMPS DES DIFFERENTS DISPOSITIFS DE STOCKAGE.....	37
<b>IV.</b>	<b>IMPACT A LONG TERME.....</b>	<b>38</b>
3.1.	Efficacité et stabilité des dispositifs de stockage dans le long terme.....	38
3.2.	Scénarios .....	39
3.2.1.	Méthode de génération des scénarios .....	39
3.2.2.	Scénarios retenus.....	40
3.3.	Groupes de référence.....	42
3.3.1.	Scénarios 1, 2, et 3.....	42
3.3.2.	Scénarios 4 et 6.....	42
3.3.3.	Scénario 5 .....	42

3.4. Evolution du terme source [13] [14] [15] [16].....	42
3.5. Evaluation des doses dues aux différents scénarios - modélisations nécessaires .....	44
3.5.1. Scénario 1 : évolution normale.....	44
3.5.2. Scénario 2 : perte de couverture .....	45
3.5.3. Scénario 3 : perte d'intégrité de la digue- absence de couverture .....	46
3.5.4. Scénario 4 : résidence sur le stockage avec couverture .....	47
3.5.5. Scénario 5 : chantier de terrassement ou de creusement sur le stockage .....	47
3.5.6. Scénario 6 : résidence sur le stockage sans couverture .....	48
3.6. Calcul de l'impact radiologique .....	51
<b>V. CONCLUSION.....</b>	<b>52</b>
<b>VI. REFERENCES .....</b>	<b>53</b>

## LISTE DES TABLEAUX

tableau 1 : gestion des eaux sur le site.....	16
tableau 2 : dose efficace engagée par ingestion ( $mSv.an^{-1}$ ) - mise en évidence de l'influence du paramètre autoconsommation sur les résultats par classe d'âge.....	20
tableau 3 : emploi du temps moyen pour un adulte en France d'après [1] .....	21
tableau 4 : dose efficace annuelle - mise en évidence de l'influence du paramètre emploi du temps sur les résultats .....	21
tableau 5 : consommation annuelle par personne pour un actif du secteur agricole et 3 classes d'enfants dans une commune rurale - d'après [4], [5], et [6] .....	22
tableau 6 : dose efficace engagée par unité incorporée par ingestion ( $Sv.Bq^{-1}$ ) - détail .....	23
tableau 7 : dose efficace engagée par unité incorporée par ingestion ( $Sv.Bq^{-1}$ ) - par famille naturelle .....	23
tableau 8 : dose efficace engagée par unité incorporée par inhalation – clairance pulmonaire considérée : M ( $Sv.Bq^{-1}$ ).....	24
tableau 9 : évolution d'une variable mensuelle - calcul de la moyenne annuelle.....	30
tableau 10 : exemple de modalités de surveillance du rejet de l'usine de traitement des eaux .	34
tableau 11 : modalités de surveillance du réseau hydrographique.....	35
tableau 12 : modalités de surveillance des eaux souterraines .....	35
tableau 13 : scénarios d'exposition à considérer pour évaluer l'impact radiologique du stockage des résidus de traitement de minerai d'uranium. ....	41
tableau 14 : voies d'expositions qui nécessitent une modélisation pour évaluer l'impact radiologique du stockage des résidus de traitement de minerai d'uranium. ....	50

## LISTE DES FIGURES

figure 1 : exemple de modèle conceptuel .....	12
figure 2 : exemple d'un stockage en comblement d'un talweg naturel barré par une digue.....	13
figure 3 : coupe d'un stockage type de résidus miniers dans un talweg barré par une digue ....	14
figure 4 : schéma des différentes voies d'exposition .....	17
figure 5 : scénario 1 - évolution normale .....	45
figure 6 : scénario 2 - perte de couverture .....	45
figure 7 : scénario 3 - perte d'intégrité de la digue .....	47
figure 8 : scénario 4 - résidence sur le stockage avec couverture.....	47
figure 9 : scénario 6 - résidence sur le stockage sans couverture.....	49

## INTRODUCTION

L'extraction et le traitement des minerais génèrent des effluents liquides et des déchets solides (résidus miniers d'extraction et de traitement) en quantités importantes. Ainsi, sur une cinquantaine d'années d'exploitation, 50 millions de tonnes de résidus miniers ont été stockés sur une vingtaine de sites en France.

Du point de vue radiologique, les résidus de traitement de minerai d'uranium ne contiennent que des radionucléides naturels, descendants des familles de  $^{238}\text{U}$ , de  $^{235}\text{U}$  et pour une faible part descendants de la famille du  $^{232}\text{Th}$ . Leur activité massique demeure faible à très faible, en tout état de cause inférieure à celle du minerai traité. De plus, elle ne décroît que très lentement du fait de la longue période de certains radionucléides présents ( $^{230}\text{Th}$ , 75 000 ans ;  $^{226}\text{Ra}$ , 1600 ans).

Stockés généralement sur le site d'exploitation, ces résidus constituent un « terme source »<sup>1</sup> radiologique dont il faut évaluer l'impact sur l'homme et l'environnement.

A la fermeture d'un site d'exploitation de minerai d'uranium, l'exploitant est tenu de déposer auprès du préfet de sa région un dossier de réaménagement présentant notamment les dispositions prises ou à prendre pour limiter l'impact radiologique du stockage.

C'est dans ce cadre que La Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN) ont établi une convention, référencée 56/2000, relative à des investigations en matière d'évaluation de l'impact radiologique des sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium, afin que soit rédigé un document permettant de juger de la pertinence des différents dossiers contractuels établis par COGEMA dans le cadre du réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium

Le présent document constitue le rapport prévu à l'article 3 - troisième alinéa - de ladite convention. Il expose les informations nécessaires à l'évaluation des études d'impact des sites de stockage de résidus de traitement de minerai d'uranium. Bien que spécifique à ce type de stockage, cette méthode est développée en s'assurant de la cohérence avec les études réalisées dans d'autres domaines (déchets industriels notamment).

---

<sup>1</sup> Par terme source, on entend l'activité présente sur le site, susceptible d'atteindre l'homme.

## I. LE ROLE DES ETUDES D'IMPACT

Quel que soit le concept de stockage retenu pour les résidus de traitement de minerais d'uranium, la démonstration devra être faite de l'efficacité des différentes barrières naturelles ou artificielles, interposées entre les déchets et l'environnement. Cette démonstration se fait sur la base d'une évaluation d'impact radiologique.

### 1. LE CADRE REGLEMENTAIRE

La réglementation française en vigueur relative à la protection des personnes du public contre les expositions aux rayonnements ionisants se fonde sur le décret n° 66-450 du 20/06/66 modifié par le décret 88-521 du 18/04/88. Toutefois, la Commission Européenne a adopté depuis cette date la directive 96/29, qui fixe les normes de base relatives à la protection sanitaire des populations et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants. Pour ce qui concerne la problématique visée dans le présent rapport, le point essentiel de cette directive est qu'elle limite l'exposition des personnes du public à  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$ . Même si la transcription en droit français de cette directive n'est pas encore finalisée, il est évident que les documents relatifs aux sites miniers doivent démontrer le respect de cette exigence.

Par ailleurs, les ouvrages miniers et les installations de surface associées doivent également satisfaire au décret 90-222 du 09/03/90, qui complète le Règlement Général des Industries Extractives.

Ce décret est également en cours de révision pour intégrer les évolutions apportées par la directive européenne 96/29.

### 2. LES OBJECTIFS DES ETUDES D'IMPACT

L'évaluation de l'impact radiologique d'un site de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium a pour but de démontrer la capacité de ces stockages à assurer une protection durable des personnes et de l'environnement, au regard de la réglementation en vigueur.

Cette démonstration s'appuie sur une description du site et de son environnement et permet :

- d'identifier les substances et les déchets radioactifs de natures diverses présents sur le site,
- de décrire les dispositifs de stockage mis en œuvre lors du réaménagement du site,
- d'identifier les éventuelles voies de transfert ainsi que les caractéristiques du site et les mécanismes physico-chimiques pouvant intervenir pour faciliter, retarder, voire empêcher la migration de la contamination,
- d'apprécier la vulnérabilité à la contamination, et ce pour les différents milieux concernés (eau, air, sol) et les différentes cibles possibles (principalement l'homme, et éventuellement faune, flore, ressources naturelles),
- d'apprécier, si besoin est, les particularités du site à prendre en compte.

Les études d'impact ont pour but de démontrer le respect de la réglementation, pour les situations existantes ou envisageables. C'est sur la base de ces études que sont définis les plans de surveillance (localisation des prélèvements, type et fréquence des mesures,...).

Les études d'impact doivent également permettre de justifier la recommandation de servitudes.

## **II. CONTENU D'UNE ETUDE D'IMPACT APRES REAMENAGEMENT**

### **1. PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE**

L'objectif de la description de l'environnement naturel dans ce contexte est essentiellement le support des évaluations d'impact. Toutes les composantes de l'environnement naturel susceptibles d'influer sur le résultat du calcul d'impact (choix méthodologiques, valeurs des paramètres) sont abordées.

#### **1.1. CLIMATOLOGIE**

Le transport atmosphérique des poussières mises en suspension et du radon émis par la source est étroitement lié aux caractéristiques météorologiques locales. Il convient donc de connaître avec une bonne précision les processus météorologiques qui conditionnent la dispersion atmosphérique.

Il convient de fournir une rose des vents détaillée indiquant la probabilité des vents répartis par secteur de 20° et par classes de vitesse de vent (le nombre de classes de vitesse de vents est à déterminer en fonction de la climatologie locale, mais ce nombre ne devrait pas en général être inférieur à 3).

Il convient également de déterminer avec précision la pluviométrie (durée des épisodes pluvieux, moment de l'année, quantité moyenne des précipitations). Eventuellement, les précipitations sous forme de neige sont étudiées.

Ces données doivent être représentatives d'une année « moyenne » et avoir été établies à partir de la compilation de relevés réalisés sur plusieurs années.

Par ailleurs les événements pluvieux exceptionnels (pluies décennales et centennales) doivent être connus car leur influence sur la gestion des eaux sur le site est primordiale.

Il convient que les données proviennent du site ou d'un point peu éloigné et représentatif des conditions sur le site.

#### **1.2. GEOLOGIE**

Une description générale de la géologie de la région et une description plus détaillée de la géologie locale doivent être présentées.

En relation avec la description hydrogéologique, les données pertinentes (par exemple densité, granulométrie, indice des vides, perméabilité, etc.) sont précisées.

Toute information pouvant permettre de comprendre les mouvements d'eau dans les aquifères liés aux couches géologiques doit être mentionnée (présence de failles, de couches discordantes...).

Les divers chantiers autrefois présents sur le site, ainsi que le stockage de résidus, doivent être situés par rapport à ces accidents (sous/sur les plans de failles...).

### **1.3. HYDROGEOLOGIE**

Une description des aquifères et de leurs principales caractéristiques (localisation, écoulement, communication entre les nappes et l'hydrologie de surface, etc.) est présentée.

Les données quantifiées sont fournies (niveau moyen et variabilité du toit des nappes, vitesse d'écoulement, transmissivité) ainsi que les données sur leurs propriétés physiques (par exemple résistivité, degré hydrotimétrique, titre alcalimétrique, température) et leurs propriétés chimiques (par exemple bicarbonates, chlorures, nitrates, sulfates, sodium, potassium, calcium, magnésium).

Si une modélisation hydrogéologique locale a été réalisée, une synthèse est présentée afin d'offrir une meilleure compréhension des flux d'eau observés sur le site.

### **1.4. RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

Une description détaillée des différents cours d'eau traversant le site et des exutoires des eaux souterraines est présentée. Cette description est accompagnée de cartes d'échelles pertinentes.

Le profil et le régime (particulièrement les crues et étiages) des cours d'eau, la surface drainée, les aménagements (endiguement, canalisations, barrages), les affluents sont précisés. Localement, les échanges avec les nappes sont indiqués.

### **1.5. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT AGRICOLE**

#### **1.5.1. Agriculture - Elevage - Productions agro-alimentaires**

Les activités agricoles, les activités d'élevage et les activités économiques en relation avec les filières de production agro-alimentaire sont décrites sur le plan local.

La nature et l'importance des productions, les cheptels, l'occupation des sols, les transformations et la distribution des productions sont précisés. Les pratiques utilisées sont mentionnées (par exemple il convient de préciser si la production agricole est de plein champ ou de serres, les méthodes d'irrigation en aspersion ou à la raie...). La constance ou au contraire la variabilité des productions d'une année à l'autre est décrite.

#### **1.5.2. Pêche - aquaculture**

Les activités de pêche, les activités d'aquaculture et les activités économiques associées sont décrites sur le plan régional et de manière détaillée sur le plan local.

### **1.6. UTILISATION DES EAUX**

Seules les utilisations des eaux susceptibles d'être marquées par les rejets liquides sont concernées.

La zone concernée peut s'étendre loin du point de rejet, notamment lorsque les eaux ayant traversé le site aboutissent à une rivière. En effet, après la dilution totale dans le débit de la rivière, la concentration des nucléides peut être faiblement variable, influencée seulement par les apports d'eau aux points de confluence, par les échanges d'eau avec les nappes

phréatiques et par les rétentions de nucléides par les sédiments de fond. L'utilisation de l'eau très en aval des installations peut donc être déterminante, la distance au point de rejet n'ayant rapidement qu'une influence faible sur la concentration dans l'eau.

L'utilisation de l'eau pour les usages domestiques est décrite : prises d'eau (superficielles ou phréatiques), réseaux de distribution, traitements de l'eau, quantités d'eau associées, qualités d'eau brute requises. Cette description doit en général être assez détaillée car l'utilisation domestique de l'eau est une voie d'atteinte directe des populations.

Les prélèvements d'eau pour les usages industriels sont décrits : prises d'eau (superficielles ou phréatiques), traitements de l'eau éventuels, quantités d'eau associées, qualités d'eau brute requises. En règle générale, cette description peut être sommaire.

De même, les utilisations de l'eau pour des usages agricoles sont décrites : prises d'eau (superficielles ou phréatiques), quantités d'eau associées, mode d'utilisation (aspersion, irrigation à la raie), aspects saisonniers; localisation des utilisations, productions agricoles affectées (natures et quantités). En règle générale, cette description doit être aussi exhaustive que possible car les transferts aux productions agricoles peuvent résulter en une reconcentration des activités.

Les utilisations éventuelles pour la pisciculture, les loisirs ou le tourisme sont décrites.

## **1.7. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DEMOGRAPHIQUE**

L'objectif de la description de l'environnement démographique dans ce contexte est essentiellement le support des évaluations d'impact. Le niveau de détail requis varie considérablement selon que les populations sont susceptibles d'être des groupes de référence<sup>2</sup> ou non. Pour les zones les moins soumises aux expositions, seules les populations importantes sont décrites, comme premier élément d'appréciation de l'exposition collective due aux rejets.

### **1.7.1. Démographie**

Les données démographiques sont fournies, pour les zones soumises à l'impact des transferts atmosphériques et pour les zones soumises à l'influence des transferts par l'eau, en relation avec les utilisations de l'eau.

Les données démographiques dans le champ proche doivent être très détaillées car elles fournissent en règle générale les bases de la détermination des groupes de référence pour l'évaluation de l'impact radiologique. Les données issues du recensement sont généralement insuffisantes, car limitées à l'échelle de la commune. Une enquête locale est donc souvent indispensable, pour acquérir des données à une échelle plus fine (hameaux, fermes isolées, etc...). Ces données concernent non seulement l'habitat mais aussi les populations de travailleurs (zone industrielles, usines, ateliers, bâtiments administratifs), éventuellement d'autres populations (écoliers, touristes, etc...). Ces données décrivent la structure de la

---

<sup>2</sup> Groupes comprenant des individus dont l'exposition à une source est assez uniforme et représentative de celle des individus qui, parmi la population, sont plus particulièrement exposés à ladite source.  
Directive européenne 96/29 Euratom – article premier

population en fonction des âges, en détaillant particulièrement les populations jeunes (nourrissons, jeunes enfants, adolescents).

Des données moins détaillées sont présentées pour une zone plus large (par exemple une zone de 10 km de rayon). L'échelle typique de description de la démographie dans cette zone est la commune.

### **1.7.2. Habitat, activités et habitudes**

En association aux données démographiques sont fournies des données relatives aux populations identifiées : elles concernent les paramètres relatifs aux activités de ces populations qui influencent l'exposition de ces population (par exemple travail aux champs, pêche, activités de loisirs nautiques, etc...).

Ces données concernent enfin toutes les habitudes susceptibles de modifier l'exposition des populations (par exemple, ramassage de champignon, etc...).

Elles sont détaillées pour les populations identifiées dans la zone la plus proche des rejets, et indiquées de façon plus sommaire dans les autres zones. Ces données sont également détaillées en fonction de chaque sous-catégorie des populations concernées (par exemple, pour chaque classe d'âge identifiée).

## **1.8. ELABORATION DU MODELE CONCEPTUEL DU SITE**

Le modèle conceptuel est une représentation discursive et graphique de la situation. Cette représentation traduit la synthèse des connaissances acquises jusqu'à cette étape concernant le site, ses bâtiments et son environnement et concernant la vulnérabilité de l'environnement, et ce de façon à comprendre et expliquer la situation en termes de sources de contamination, voies de transfert et voies d'exposition réelles et potentielles des individus.

Un modèle conceptuel doit comprendre :

- une description de la source, en tant que point d'origine des transferts ; elle est composé des matériaux contaminés à partir desquels les substances radioactives peuvent se disperser, d'où la nécessité d'insister en particulier sur leur forme physico-chimique ;
- un descriptif des voies de transfert, en soulignant la nature de ces transferts et en identifiant les processus susceptibles d'entrer en jeu entre les compartiments de l'environnement constituant ces voies ;
- un descriptif des voies d'exposition des individus aux substances radioactives, en insistant sur leur caractère réel (actuellement identifié) ou potentiel (susceptible de se produire dans le futur), ainsi que sur leur nature physique, comme l'exposition interne (ingestion, inhalation) ou l'exposition externe.

La construction d'un modèle conceptuel répond à des objectifs variés :

- compréhension par les experts de la situation et des risques associés ;
- orientation des programmes de caractérisation. Même si l'échantillonnage est défini pour une large part de façon systématique (par exemple, cartographie de surface), il est nécessaire d'affiner son degré de précision sur les zones dont l'intérêt semble évident, le long des voies de transfert identifiées, ainsi qu'autour des récepteurs qui seront parfois localisés hors du site.

Les représentations graphiques associées aux modèles conceptuels sont variées et définies en fonction de besoins particuliers. Elles intègrent de manière générale les compartiments principaux de l'environnement qui vont de la source à l'homme. On y fera figurer les voies de transfert et d'exposition, voire certains processus fondamentaux d'échange ou d'accumulation. La figure 1 donne un exemple de représentation par compartiments.

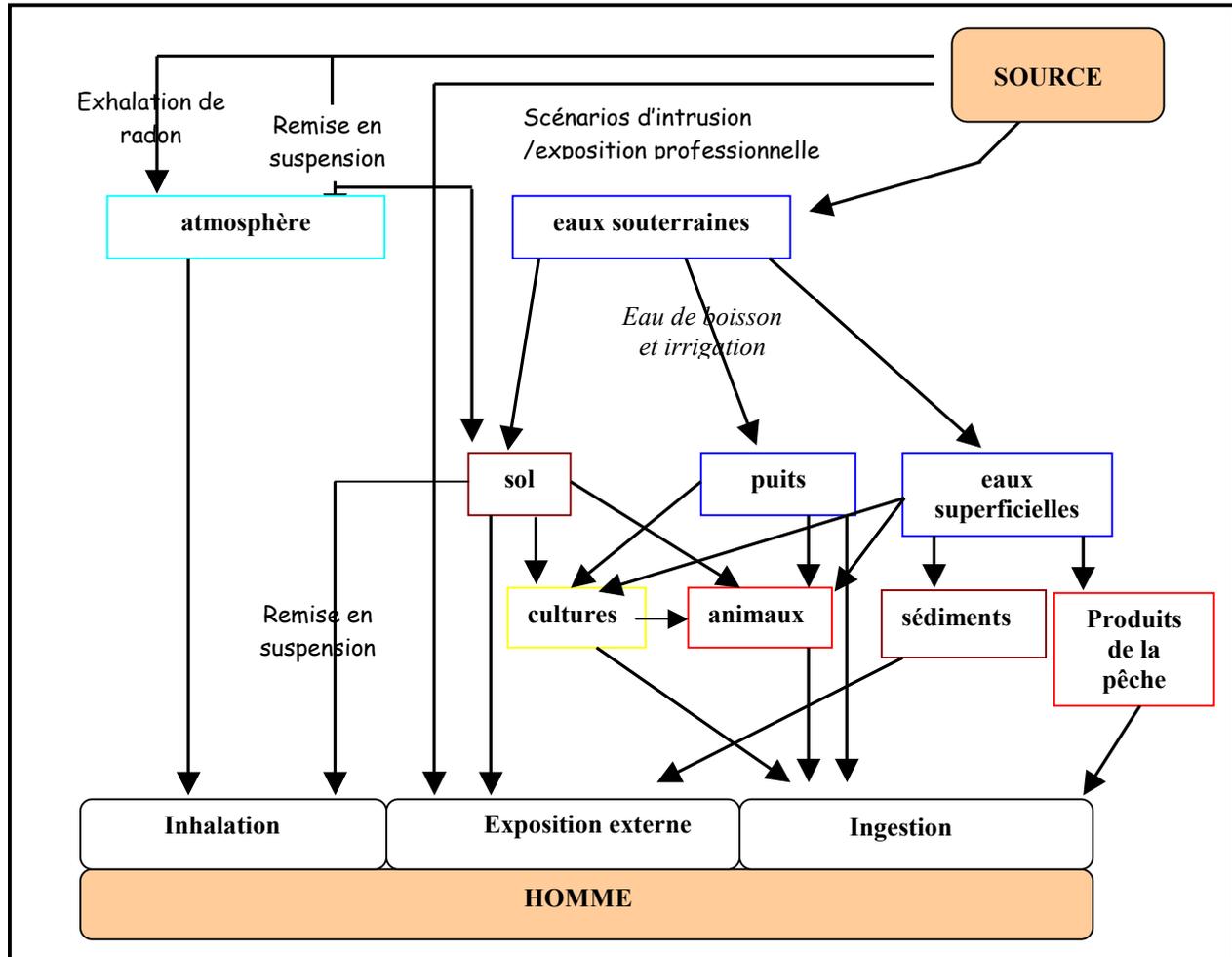


figure 1 : exemple de modèle conceptuel

## 2. DESCRIPTION DU SITE

### 2.1. LES PRODUITS STOCKES

Le dossier d'étude d'impact doit présenter toutes les sources potentielles de radioactivité en distinguant les différentes catégories de résidus miniers, à savoir :

- les stériles
  - stériles francs (roche encaissante du gisement) de teneur moyenne en uranium comprise entre 10 et 50 ppm
  - stériles de sélectivité séparés par tri radiométrique de teneur moyenne en uranium comprise entre 50 et 300 ppm
- les résidus miniers de traitement.

Pour chaque source, doivent être précisées les quantités en jeu ainsi que les activités massiques caractérisant les résidus et les traitements chimiques éventuellement subits.

Des documents cartographiques doivent par ailleurs indiquer la répartition des résidus et des stériles sur le site.

Si le stockage comporte également d'autres éléments, tels des produits de démantèlement, leurs quantités, activités massiques, et localisation doivent être précisées.

Les études minéralogiques et géochimiques des résidus de traitement et des eaux interstitielles sont essentielles pour comprendre les phénomènes de migration et de rétention des radioéléments.

## 2.2. LES DISPOSITIFS DE STOCKAGE

Le stockage correspond à la zone dédiée au dépôt des résidus de traitement de minerai d'uranium et ses réaménagements.

Tous les dispositifs de stockage mis en œuvre ainsi que les options de réaménagement du site à la fin de l'exploitation doivent être décrits dans le dossier d'étude d'impact.

Actuellement, les réaménagements réalisés sur les sites français mettent en œuvre les principaux dispositifs de stockage suivants :

- le réceptacle d'accueil comme une ancienne mine à ciel ouvert (MCO), un bassin constitué par une dépression naturelle existante dont la fermeture est assurée par une digue (figure 2), ou un bassin aménagé ceinturé par une digue ;
- les digues de rétention filtrantes et drainantes en sable ou en terre et enrochement. Elles sont construites afin de barrer une dépression, augmenter la capacité de stockage d'une MCO ou constituer des bassins de stockage. Elles doivent assurer la rétention des produits stockés pour éviter leur dispersion dans l'environnement (figure 3) ;
- la couverture finale constituée de matériaux solides (résidus d'extraction) ou sous forme de lame d'eau. Elle doit permettre de limiter, les intrusions humaines et animales, l'érosion, la dispersion des produits stockés ;
- les ouvrages de drainage, que ce soit au niveau des digues ou au sein même des résidus.

Ces dispositifs de stockage doivent être conçus avec les techniques disponibles et en fonction des facteurs économiques du moment, de façon à ralentir et minimiser les transferts vers la biosphère des polluants éventuellement relâchés par les produits stockés.

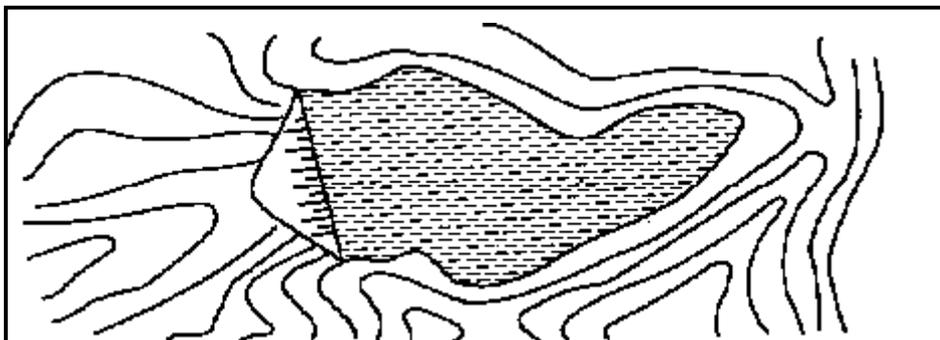


figure 2 : exemple d'un stockage en comblement d'un talweg naturel barré par une digue

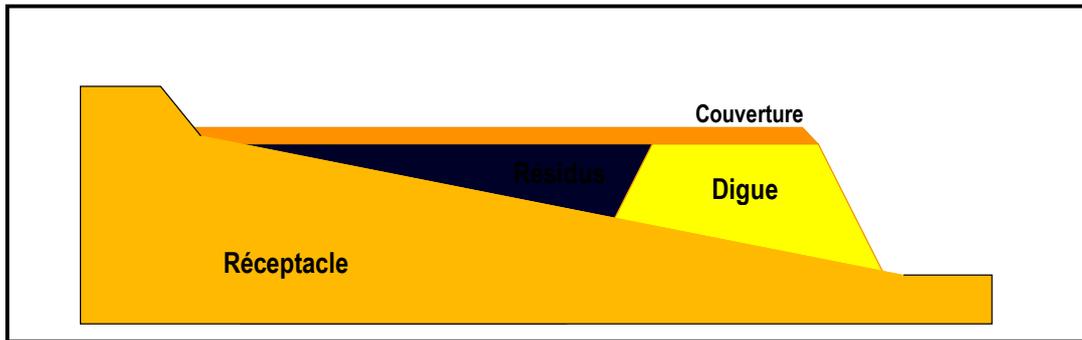


figure 3 : coupe d'un stockage type de résidus miniers dans un talweg barré par une digue

Les stockages avec couverture solide (majeure partie des cas) sont conçus pour être drainant afin d'éviter la mise en charge de la digue qui pourrait alors se rompre. Même si le ruissellement et le drainage des eaux météoriques par la couverture sont maximaux, il reste la possibilité de percolation et d'essorage naturel des résidus. Les eaux récupérées en pied de versé pour l'ensemble des stockages français existants sont encore traitées avant rejet (les concentrations en uranium, radium, métaux lourds, le pH devant respecter les limites de rejets prescrites par la réglementation en vigueur).

La stabilité géotechnique des différents ouvrages de stockage n'est pas traitée dans ce document. Elle fait l'objet d'un autre volet de la convention 56/2000, développé par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

### **2.3. LES CHANTIERS EXPLOITES SUR LE SITE**

Une liste précise de tous les chantiers (mines à ciel ouvert, travaux miniers souterrains, verses à stériles) exploités sur le site est présentée.

Chaque chantier est localisé, et les travaux de réaménagement réalisés sont décrits. Les liens éventuels avec le stockage (par exemple chantier souterrain situé à la verticale du stockage, ou verse dont les eaux de ruissellement alimentent le ruissellement sur la couverture du stockage) sont précisés.

### **2.4. LES BATIMENTS**

Si le site comporte des bâtiments ou des zones susceptibles d'être utilisés par la suite, sans lien avec l'activité minière, une description précise est nécessaire.

Chaque bâtiment ou zone identifiée doit faire l'objet d'une fiche d'identité retraçant l'historique des activités qui y étaient pratiquées, ainsi que l'ensemble des résultats des analyses environnementales qui y ont été pratiquées (air, sol, poussières, débits de dose...).

## **2.5. LA GESTION DES EAUX SUR LE SITE**

La gestion des eaux a pour objectif la récupération sélective des eaux non contaminées afin d'éviter leur percolation dans le stockage, et afin de se prémunir des phénomènes d'érosion liés aux pluies.

Tous les systèmes permettant une gestion sélective des eaux, donc une séparation entre les eaux ayant ruisselé sur la couverture du stockage des résidus, et celles ayant percolé à travers les résidus, doivent être décrits. Leur efficacité et leur pérennité doivent être discutés.

### **2.5.1. Réseau hydrographique sur le site**

Le réseau hydrographique sur le site est décrit en détail et le régime hydrique de chaque cours d'eau est précisé.

L'historique des modifications dans le tracé des cours d'eau est rappelé, et la raison, de ces déviations précisée, s'il y a lieu.

### **2.5.2. Gestion des eaux souterraines**

#### ***2.5.2.1. Remontée des eaux dans les travaux miniers souterrains : suivi piezométrique***

Les résultats du suivi piezométrique de la remontée des eaux dans les travaux miniers souterrains sont indiqués, s'il y a lieu.

S'il y a nécessité de pomper afin de maintenir le niveau des eaux de la mine en deçà de la cote de débordement, les débits observés depuis la mise en service sont présentés.

#### ***2.5.2.2. Les travaux destinés à éviter une pollution des eaux souterraines***

Tous les travaux effectués afin de limiter les transferts d'un compartiment hydrologique à un autre sont décrits et leur localisation précisée sur des plans en 3D.

#### ***2.5.2.3. Surveillance des émergences éventuelles***

Les éventuelles émergences significatives depuis le remplissage de la mine sont indiquées, localisée sur un plan et détaillées (débit, événement climatique éventuellement corrélé...).

### **2.5.3. Gestion des eaux de surface**

Les informations telles que présentées dans le tableau 1 ci-après doit être fournies. Si d'autres types d'eau sont mis en évidence (ruissellement sur un stockage de produits de démantèlement, sur une ancienne zone industrielle...), ils doivent être intégrés à ce tableau.

tableau 1 : gestion des eaux sur le site

	Débit maximal	Pré-contrôle	Traitement	Post - contrôle	Localisation du rejet
Eaux de ruissellement sur la couverture du stockage					
Eaux de ressuyage des résidus					
Eaux d'exhaure des travaux miniers souterrains					

Le traitement des eaux contaminées, s'il y a lieu, doit être détaillé :

- nombre et types d'unités de traitement de l'uranium,
- nombre et types d'unités de traitement du radium,
- nombre et types d'unités de traitement de polluants chimiques,
- capacité des bassins de collecte, de secours...
- devenir des boues.

Les calculs ayant mené au dimensionnement de la station de traitement sont rappelés, ainsi que les débits et les flux massiques traités et rejetés depuis la mise en service.

Les dispositifs de surveillance (prélèvement automatique, dispositifs de mesures en continu, fréquence et types d'analyses ponctuelles..) sont décrits.

### 3. EVALUATION DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE APRES REAMENAGEMENT ET DETERMINATION DU (DES) GROUPE(S) DE REFERENCE

Une étude d'impact radiologique consiste à évaluer différentes situations d'expositions radiologiques individuelles prenant en compte toutes les voies d'exposition possibles de groupes de population représentatifs de la population vivant autour d'un site.

L'évaluation de l'impact radiologique du stockage des résidus de traitement de minerai d'uranium est basée sur la détermination de la dose efficace totale ajoutée résultant de l'exposition de ces groupes de population.

Le(s) groupe(s) de population identifiés (composition, mode de vie, localisation) comme étant ceux pour lesquels l'impact du site est maximal forment le(s) groupe(s) de référence qui sont surveillés par la suite pour s'assurer que l'impact du site reste acceptable.

La notion de dose ajoutée traduit le fait que l'impact du stockage vient s'additionner au bruit de fond naturel relativement élevé des régions uranifères où sont généralement implantés les anciens sites miniers. En effet, toutes les voies d'exposition à l'uranium et à ses descendants existent également dans le milieu naturel en dehors de toute activité humaine. La démonstration de l'exploitant doit donc porter uniquement sur la part anthropogénique de cette exposition.

Les très longues vies des éléments radioactifs présents et la lenteur des transferts par l'eau impliquent qu'il est indispensable d'introduire une échelle de temps dans tout raisonnement relatif à l'évaluation de l'impact d'un stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium.

L'évaluation de l'impact radiologique après réaménagement repose principalement sur le réseau de surveillance mis en place par l'exploitation dans l'environnement proche du site.

### 3.1. LES VOIES D'ATTEINTES A CONSIDERER

Globalement, les voies d'atteinte qui doivent être prises en compte dans l'évaluation de l'impact radiologique dû aux sites de stockage de résidus miniers ne diffèrent pas d'évaluations similaires réalisées sur d'autres installations du cycle. Seule la contribution respective de chacune des voies varie.

La figure 4 ci-après schématise ces voies d'atteinte.

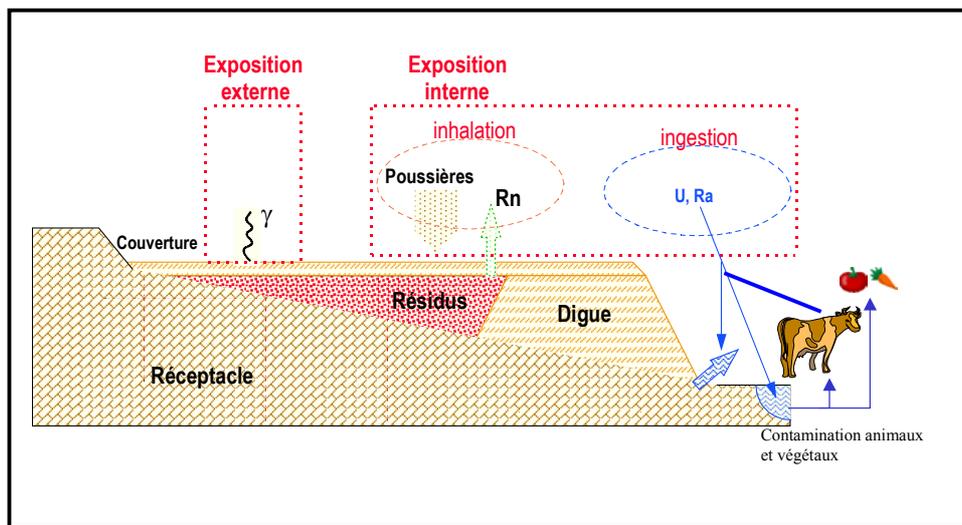


figure 4 : schéma des différentes voies d'exposition

#### 3.1.1. L'exposition externe

L'exposition externe est due aux particules déposées et aux rayonnements (photons gamma) issus du site, cette dernière voie d'atteinte étant le plus souvent largement prépondérante. Elle est calculée à partir des valeurs des débits de dose mesurés sur les zones de présence des individus des groupes de population étudiés.

#### 3.1.2. L'exposition interne par inhalation

L'exposition interne due à l'inhalation des descendants à vie courte du radon 222 et du radon 220 constitue une voie d'atteinte essentielle, et l'identification de la contribution du site aux concentrations mesurées dans l'environnement constitue une des difficultés principales de ce type d'étude. Cette exposition est calculée à partir des valeurs des concentrations volumiques en énergie alpha potentielle des descendants à vie courte du radon 222 et du radon 220 dans l'air respiré par les individus des groupes de population étudiés.

Les poussières véhiculées par le vent depuis le site, ou la remise en suspension de particules contaminées, contribuent également à l'exposition interne par inhalation. Cette exposition est calculée à partir de l'activité volumique due aux émetteurs alpha à vie courte présents dans les poussières en suspension dans l'air.

### 3.1.3. L'exposition interne par ingestion

L'ingestion de produits alimentaires issus de parcelles soumises au dépôt ou issus du site lui-même est également une source d'exposition interne qui doit être prise en compte. L'utilisation d'eau ayant traversé le site à des fins d'arrosage ou d'irrigation peut constituer une source essentielle de la contamination des végétaux.

Dans quelques cas, l'activité de cueillette (champignons) et de chasse doit être considérée.

Bien évidemment, on s'intéresse au niveau de contamination de l'eau consommée, qu'elle soit issue d'un réseau de distribution ou d'un puits. Les produits de la pêche sont également l'objet d'une attention particulière.

Cette exposition est calculée à partir des concentrations en radioéléments présents dans les produits consommés.

Enfin, des voies d'atteinte, dont l'influence est le plus souvent faible doivent être considérées de façon à démontrer, le cas échéant, leur caractère secondaire : c'est par exemple le cas de la baignade en rivière ou du séjour sur les berges.

## 3.2. GROUPES DE POPULATION ET SCENARIOS ASSOCIES

### 3.2.1. Localisation des groupes de population

Pour améliorer la détermination des groupes de référence associés à ses différentes zones minières, COGEMA a mis au point une méthode systématique de recensement des zones habitées entourant les sites miniers en exploitation, en cours de réaménagement, ou les sites accueillant des stockages de stériles miniers ou de résidus de traitement de minerais d'uranium.

Son objectif est de déterminer la localisation géographique de la zone habitée dont les résidents sont susceptibles d'être soumis à l'impact maximum de la zone minière concernée (cette zone minière peut comporter plusieurs sites distincts sur lesquels sont éventuellement stockés des résidus de traitement de minerai).

La méthode comporte plusieurs étapes :

❶ le recensement de la totalité des lieux de vie, ou zones habitées, dans l'environnement proche des sites de la zone minière sur la base d'une étude de « terrain », et leur description à travers cinq facteurs géographiques :

- la proximité par rapport aux sites COGEMA dont dépend l'irradiation externe,
- la localisation sur la rose des vents, afin de traduire la fréquence d'exposition de chaque zone habitée au transfert atmosphérique de particules ou de radon émis par le site,
- la topographie locale traduisant les possibilités locales d'accumulation du radon,
- la présence ou non d'un relief s'interposant entre les sites et chaque zone habitée considérée ayant pour effet la diminution de l'irradiation externe,
- la localisation de chaque zone habitée par rapport à l'aval hydrologique des sites ;

❷ l'attribution, pour chacune de ces zones habitées, et pour chacun des facteurs géographiques, d'une note (sur une échelle de 1 à 4) ;

Par exemple, pour la topographie, une zone habitée au fond d'une dépression recevra la note 4 alors qu'un point situé au sommet d'une crête recevra la note 1 ; pour le facteur « proximité »,

un groupe de population recevra une note d'autant plus forte que sa distance au site est petite (<250 m : 4 ; >750 m : 1) ;

⑤ la pondération de chaque facteur géographique, compte tenu de son poids relatif dans le calcul de la dose ;

④ l'attribution d'un « indice d'exposition » pour chaque zone habitée, en sommant les notes pondérées attribuées à chacun des cinq facteurs géographiques ;

⑤ dans le cas où le site minier considéré comprend un stockage de résidus, la multiplication de l'indice de la zone habitée par deux ;

⑥ dans le cas où la zone habitée est soumise à l'influence de plusieurs sites, la sommation des indices calculés pour chacun des sites.

La (ou les) zone(s) habitée(s) présentant l'« indice d'exposition » le plus élevé sont retenues par COGEMA comme étant celle(s) où vivent les groupes de population à étudier et où doivent être implantées les stations de mesures afin d'évaluer l'impact radiologique de la zone minière.

Dans le cas où plusieurs zones seraient ainsi mises en évidence, COGEMA met en œuvre des mesures aux différents points.

Cette analyse ne doit pas faire oublier que la mobilité géographique des individus doit être prise en compte : les activités professionnelles (agriculture ou bureau) ne sont pas systématiquement pratiquées dans le village-même de résidence des individus concernés. Il faut ainsi veiller à ne pas omettre des cas où l'activité professionnelle des individus les amène à fréquenter des lieux (bureaux ou champs) éloignés des zones habitées, ou situés dans des villages différents de leurs lieux de résidence. En effet, leur temps de présence sur ces lieux pourrait les amener à recevoir des doses ajoutées supérieures à celles présentées dans le dossier.

A priori, aucun groupe potentiel ne doit être écarté avant qu'un calcul de dose, même sommaire, ait démontré le caractère négligeable des doses reçues par ce groupe de population par rapport à d'autres. La première étape de l'identification des groupes de population sera donc une identification très soignée des différents groupes de population, qui prendra en compte non seulement les populations résidentes, mais aussi les populations intermittentes (villages de vacances par exemple) ou les zones d'activité. La connaissance approfondie du site est donc un élément préliminaire indispensable.

### **3.2.2. Composition des groupes de population**

#### **3.2.2.1. Taille des groupes de population**

Il est concevable qu'un tel groupe ne soit constitué que de quelques individus (voire d'un seul). On peut également concevoir que plus les niveaux d'exposition sont élevés et plus il est nécessaire de disposer d'une évaluation fine des doses. En d'autres termes, plus les doses sont élevées et plus les groupes de référence sont petits.

#### **3.2.2.2. Classes d'âge concernées**

Les individus composant les groupes de population peuvent aussi bien être des adultes que des enfants. Toutefois un groupe ne peut contenir que des individus appartenant à une même classe d'âge.

Il n'existe aucune méthode qui permette de déterminer par avance, c'est-à-dire avant toute mesure dans l'environnement et calcul de la dose ajoutée, qu'une classe d'âge doit être retenue plus qu'une autre pour former un groupe de référence.

En effet, même si les coefficients de transfert pour les différentes classes d'âge sont connus (voir en paragraphe II 3.2.4), le résultat du calcul de la dose ajoutée due au site dépend :

- des emplois du temps ;
- des lieux fréquentés ;
- de la consommation d'aliments produits localement ;
- de la concentration en radioéléments de chaque type de produit alimentaires.

A titre indicatif, le tableau 2 résume les doses annuelles ajoutées dues à l'ingestion de denrées alimentaires obtenues, dans deux situations différentes, pour des personnes du secteur agricole vivant dans une commune rurale (menus détaillés en paragraphe 3.2.3.3). Selon le cas où l'eau et les produits laitiers consommés sont contaminés ou non contaminés, la différence de dose due à l'ingestion entre les adultes et les enfants varie significativement

tableau 2 : dose efficace engagée par ingestion ( $mSv.an^{-1}$ ) - mise en évidence de l'influence du paramètre autoconsommation sur les résultats par classe d'âge

Dose efficace engagée par ingestion ( $mSv.an^{-1}$ )	adulte	enfant (10 ans)	enfant (5 ans)	enfant (2 ans)
Cas 1 : toutes les denrées auto consommées sont contaminées à $0,1 Bq.kg^{-1}$ en U238, Th230, Ra226 et Pb210	0,19	0,21 (+10 %)	0,34 (+79 %)	0,48 (+153 %)
Cas 2 : toutes les denrées auto consommées sont contaminées à $0,1 Bq.kg^{-1}$ en U238, Th230, Ra226 et Pb210 L'eau et le lait ne sont pas produits localement	0,03	0,05 (+67 %)	0,04 (+33%)	0,06 (+100 %)

Aucune classe d'âge ne peut donc être négligée tant qu'un calcul complet de la dose ajoutée reçue n'a pas été réalisé.

### 3.2.3. Détermination des scénarios

#### 3.2.3.1. Degré de réalisme

Le souci de réalisme, conformément à l'article 45<sup>3</sup> de la directive européenne 96/29/Euratom, doit conduire à déterminer des scénarios qui reflètent des modes de vie locaux réels.

Or il n'est pas toujours possible de disposer de données suffisamment précises à l'échelle des communes situées autour du site. Il est alors conseillé de se reporter aux diverses enquêtes statistiques réalisées à d'autres échelles plutôt que de chercher à créer les paramètres des scénarios sur la base d'hypothèses subjectives.

#### 3.2.3.2. Emplois du temps

Le souci de réalisme doit conduire à déterminer des scénarios pour lesquels les emplois du temps reflètent des modes de vie locaux réels.

<sup>3</sup> Les autorités compétentes veillent à ce que les doses [...] soient estimées de façon aussi réaliste que possible [...].

La répartition du temps passé à l'intérieur et à l'extérieur des habitations, doit être réaliste, et correspondre au mode de vie de la classe d'âge concernée.

La répartition moyenne entre temps passé à l'extérieur des habitations, temps passé à l'intérieur des habitations et temps passé au bureau, déterminée par l'INSEE [1] est présentée à titre indicatif dans le tableau 3 ci après.

tableau 3 : emploi du temps moyen pour un adulte en France d'après [1]

	retraité		salarié	
	h.an <sup>-1</sup>	%	h.an <sup>-1</sup>	%
temps passé à l'intérieur	7930	90,5	6280	71,7
temps passé à l'extérieur	810	9,2	480	5,5
temps passé au bureau	20	0,2	2000	22,8
Total	8760	100	8760	100

Un tableau plus détaillé, issu de [1] est placé à titre indicatif en ANNEXE A.

Le tableau 4 ci-après montre l'importance de la prise en compte d'un emploi du temps réaliste : négliger pour un enfant le temps passé à l'école induit dans le cas présenté une surestimation de la dose annuelle ajoutée due au site de plus de 20%.

tableau 4 : dose efficace annuelle - mise en évidence de l'influence du paramètre emploi du temps sur les résultats

	enfant 10 ans	enfant 10 ans scolarisé
temps passé : à l'intérieur de l'habitation ou du bureau, situé près du site à l'extérieur, près du site en promenade sur le site	12 h /j soit 4380 h /an  10 h50 /j soit 3980 h /an  1 h10 /j soit 400 h /an	maison : 16 h /j soit 5840 h /an + école : 3 h10 /j soit 1200 h /an  3 h40 /j soit 1320 h /an  1 h10 /j soit 400 h /an
exposition externe ajoutée (nGy.h <sup>-1</sup> )	lieu d'habitation : 40 site : 20	
radon 222 extérieur EAP ajoutée (nJ.m <sup>-3</sup> )	lieu d'habitation : 41 site : 5	
radon 222 intérieur EAP ajoutée( nJ.m <sup>-3</sup> )	lieu d'habitation : 33	
radon 220 EAP ajoutée (nJ.m <sup>-3</sup> )	lieu d'habitation : 4 site : 3	
dose efficace ajoutée due à l'ingestion (mSv.an <sup>-1</sup> )	0,21	0,21
<b>dose efficace ajoutée (mSv.an<sup>-1</sup>)</b>	<b>0,73</b>	<b>0,60</b>

### 3.2.3.3. Consommation

Les données concernant le régime alimentaire des populations identifiées, essentiellement dans la zone la plus proche des rejets, sont fournies. Ces données sont aussi détaillées que nécessaires pour chaque catégorie d'aliment susceptible d'être contaminé. Ces données doivent autant que possible refléter les habitudes alimentaires locales.

Ces données peuvent utilement comporter plusieurs éléments statistiques (moyenne, écart type, plus gros consommateur aux percentiles 95 ou 97,5 par exemple).

L'origine des produits alimentaires consommés est précisée aussi finement que possible quand il s'agit d'une origine locale. De même, l'origine des eaux de boisson est précisée.

Si des transformations issues de l'industrie agro-alimentaires ont été effectuées sur ces produits avant consommation, celles-ci sont précisées.

Dans la détermination des régimes alimentaires associés à chaque scénario, il est nécessaire de tenir compte :

- de la classe d'âge;
- de l'activité professionnelle ;
- du lieu de vie ;
- du degré d'autarcie, qui représente la part des produits alimentaires provenant de la production locale, et donc potentiellement contaminée.

A titre d'exemple le tableau 5 présente la consommation annuelle par personne pour un actif du secteur agricole et pour les enfants de 2, 5 et 10 ans vivant dans une commune rurale.

tableau 5 : consommation annuelle par personne pour un actif du secteur agricole et 3 classes d'enfants dans une commune rurale - d'après [4], [5], et [6]

	quantités annuelles ingérées (denrées produites localement)							taux d'autarcie pris en compte
	adulte*	enfant 10 ans		enfant 5 ans		enfant 2 ans		
	quantités annuelles ingérées	consommation relative par rapport à l'adulte**	quantités annuelles ingérées	consommation relative par rapport à l'adulte**	quantités annuelles ingérées	consommation relative par rapport à l'adulte**	quantités annuelles ingérées	
eau (l)	602***	0,56	337,12***	0,49****	294,98	0,43****	258,86	1
céréales (kg)	0,21	0,68	0,14	0,49	0,10	0,33	0,07	0,03
pomme de terre	33,4	0,66	22,04	0,45	15,03	0,29	9,69	0,77
légumes racinaires (kg)	7,46	0,66	4,92	0,45	3,36	0,29	2,16	0,68
légumes fruits et feuilles (kg)	29	0,76	22,04	0,61	17,69	0,49	14,21	0,68
fruits (kg)	7,7	0,69	5,31	0,49	3,77	0,33	2,54	0,22
viande (kg)	15,56	0,63	9,80	0,4	6,22	0,22	3,42	0,32
lapin-gibier (kg)	6,5	0,63	4,10	0,4	2,60	0,22	1,43	0,93
volaille (kg)	13,17	0,63	8,30	0,4	5,27	0,22	2,90	0,73
oeufs (kg)	10,41	0,63	6,56	0,4	4,16	0,22	2,29	0,63
lait et produits laitiers (kg)	33,37	0,73	24,36	0,56	18,69	1,3	43,38	0,15
poisson (kg)	0,8	0,63	0,50	0,4	0,32	0,22	0,18	0,15
<b>total (kg)</b>	<b>759,58</b>		<b>445,20</b>		<b>372,20</b>		<b>341,13</b>	

\* D'après [4]    \*\*D'après [5]    \*\*\*D'après [6]    \*\*\*\*Estimation

D'autres tableaux de données concernant la consommation, d'après [4], sont placés à titre indicatif en ANNEXE B.

### 3.2.4. Coefficients de dose

Ces coefficients permettent de relier les quantités incorporées (par inhalation et ingestion) et les débits de dose d'exposition externe aux doses efficaces. Ils sont fonction de l'âge.

Les coefficients de doses appliqués sont ceux détaillés dans la directive 96/29 Euratom qui fixe les normes de base relatives à la protection sanitaire des populations et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants.

#### 3.2.4.1. Exposition externe

Un coefficient de  $1 \text{ mSv.mGy}^{-1}$  est appliqué quelle que soit la classe d'âge.

#### 3.2.4.2. Ingestion

Le tableau 6 ci après détaille les coefficients de dose à appliquer pour le calcul de la dose ajoutée due à l'ingestion pour chaque classe d'âge.

Les radioéléments analysés dans le cadre des études étant généralement  $^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{210}\text{Pb}$ , le tableau 7 résume les coefficients par famille radioactive naturelle.

tableau 6 : dose efficace engagée par unité incorporée par ingestion ( $\text{Sv.Bq}^{-1}$ ) - détail

	Adulte	12-17 ans	7-12 ans	2-7 ans	1-2 ans	< 1 an
<b><math>^{238}\text{U}</math></b>	4,50E-08	6,70E-08	6,80E-08	8,00E-08	1,20E-07	3,40E-07
<b><math>^{234}\text{Th}</math></b>	3,40E-09	4,20E-09	7,40E-09	1,30E-08	2,50E-08	4,00E-08
<b><math>^{234}\text{Pa}</math></b>	5,10E-10	6,40E-10	1,00E-09	1,70E-09	3,20E-09	5,00E-09
<b><math>^{234}\text{U}</math></b>	4,90E-08	7,40E-08	7,40E-08	8,80E-08	1,30E-07	3,70E-07
<b><math>^{230}\text{Th}</math></b>	2,10E-07	2,20E-07	2,40E-07	3,10E-07	4,10E-07	4,10E-06
<b><math>^{226}\text{Ra}</math></b>	2,80E-07	1,50E-06	8,00E-07	6,20E-07	9,60E-07	4,70E-06
<b><math>^{214}\text{Pb}</math></b>	1,40E-10	2,00E-10	3,10E-10	5,20E-10	1,00E-09	2,70E-09
<b><math>^{214}\text{Bi}</math></b>	1,10E-10	1,40E-10	2,10E-10	3,60E-10	7,40E-10	1,40E-09
<b><math>^{210}\text{Pb}</math></b>	6,91E-07	1,90E-06	1,90E-06	2,20E-06	3,60E-06	8,40E-06
<b><math>^{210}\text{Bi}</math></b>	1,30E-09	1,60E-09	2,90E-09	4,80E-09	9,70E-09	1,50E-08
<b><math>^{210}\text{Po}</math></b>	1,20E-06	1,60E-06	2,60E-06	4,40E-06	8,80E-06	2,60E-05

tableau 7 : dose efficace engagée par unité incorporée par ingestion ( $\text{Sv.Bq}^{-1}$ ) - par famille naturelle

	Adulte	12-17 ans	7-12 ans	2-7 ans	1-2 ans	< 1 an
<b><math>^{238}\text{U}</math></b>	9,79E-08	1,46E-07	1,50E-07	1,83E-07	2,78E-07	7,55E-07
<b><math>^{230}\text{Th}</math></b>	2,10E-07	2,20E-07	2,40E-07	3,10E-07	4,10E-07	4,10E-06
<b><math>^{226}\text{Ra}</math></b>	2,80E-07	1,50E-06	8,01E-07	6,21E-07	9,62E-07	4,70E-06
<b><math>^{210}\text{Pb}</math></b>	1,89E-06	3,50E-06	4,50E-06	6,60E-06	1,24E-05	3,44E-05

#### 3.2.4.3. Inhalation de radon

Pour les descendants du radon  $^{222}\text{Rn}$  et du radon  $^{220}\text{Rn}$  sont appliqués les facteurs de conversion conventionnels exprimant la dose efficace par unité d'exposition à l'énergie alpha potentielle.

Radon  $^{222}\text{Rn}$  dans les habitations :  $1,1 \text{ Sv.}(J.h.m^{-3})^{-1}$

Radon  $^{222}\text{Rn}$  sur les lieux de travail :  $1,4 \text{ Sv.}(J.h.m^{-3})^{-1}$

Radon 220 sur les lieux de travail :  $0,5 \text{ Sv} \cdot (\text{J} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$

Pour le radon 220, la directive ne précise pas d'équivalence pour les populations mais uniquement pour les lieux de travail. Si l'on considère le même ratio « travailleurs-population » que celui pris en compte pour le radon 222, on obtient Radon 220 dans les habitations :  $0,39 \text{ Sv} \cdot (\text{J} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$ .

#### 3.2.4.4. Inhalation de poussières

Quelle que soit la méthode employée pour la mesure de l'activité des poussières, les coefficients de dose à appliquer sont ceux issus de la directive 96/29 Euratom (voir tableau 8).

tableau 8 : dose efficace engagée par unité incorporée par inhalation - clairance pulmonaire considérée : M ( $\text{Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ )

	Adulte	12-17 ans	7-12 ans	2-7 ans	1-2 ans	< 1 an
<b>238 U</b>	2,90E-06	3,40E-06	4,00E-06	5,90E-06	9,40E-06	1,20E-05
<b>234 Th</b>	6,60E-09	7,70E-09	1,00E-08	1,50E-08	2,90E-08	3,90E-08
<b>234 Pa</b>	3,80E-10	4,70E-10	6,80E-10	1,00E-09	2,00E-09	2,80E-09
<b>234 U</b>	3,50E-06	4,20E-06	4,80E-06	7,00E-06	1,10E-05	1,50E-05
<b>230 Th</b>	4,30E-05	4,20E-05	4,30E-05	5,50E-05	7,40E-05	7,70E-05
<b>226 Ra</b>	3,50E-06	4,50E-06	4,90E-06	7,00E-06	1,10E-05	1,50E-05
<b>214 Pb</b>	1,40E-08	1,40E-08	1,90E-08	2,60E-08	4,60E-08	6,40E-08
<b>214 Bi</b>	1,40E-08	1,70E-08	2,20E-08	3,10E-08	6,10E-08	8,70E-08
<b>210 Pb</b>	1,10E-06	1,30E-06	1,50E-06	2,20E-06	3,70E-06	5,00E-06
<b>210 Bi</b>	9,30E-08	1,10E-07	1,30E-07	1,90E-07	3,00E-07	3,90E-07
<b>210 Po</b>	3,30E-06	4,00E-06	4,60E-06	6,70E-06	1,10E-05	1,50E-05

### 3.3. LES MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les mesures réalisées dans l'environnement proche du site ont pour objectif le calcul de la dose ajoutée annuelle reçue, après réaménagement, par les individus des groupes de populations identifiés.

Elles sont réalisées sur une période de 1 an.

Le choix de certaines analyses dépend bien évidemment des voies d'atteinte mises en évidence et des modes de vie locaux ; ainsi, si des lieux de baignades spécifiques ont été identifiés et si cette activité a été incluse dans un scénario, les mesures nécessaires à l'évaluation de la dose reçue à travers ce scénario devront être réalisées (analyses d'eau, éventuellement de sédiments...).

#### 3.3.1. Localisation et fréquence des mesures

##### 3.3.1.1. Débit de dose exposition externe

Les mesures sont effectuées à l'aide de Détecteurs Thermo Luminescents (DTL) qui fournissent des valeurs en  $\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Les emplacements de mesure nécessaires sont :

- sur le site :
  - au moins une station de mesure sur le stockage de résidus ;
  - une station de mesure sur toute zone de stockage de produits potentiellement contaminants autres que des résidus miniers ;
  - au moins une station de mesure sur une zone du site non concernée par le stockage ;
  - au moins une station de mesure sur toute zone potentiellement utilisée par la suite pour une autre activité professionnelle ;
- dans l'environnement proche du site :
  - dans les zones habitées par les groupes de population ;
  - dans les zones où travaillent les groupes de population ;
  - dans les zones de loisirs des groupes de population .

Le DTL doit être placé :

- le plus possible en vue directe du site ; dans les villages il sera placé dans la zone la plus proche du site ;
- à distance des murs (plus de 10 mètres) et dans une zone d'influence (20 × 20 m) sans anomalie ;
- de telle sorte que la radiométrie à l'intérieur de sa zone d'influence soit représentative de la radiométrie autour des habitations du groupe de référence ;
- à 1,5 m au dessus du sol, selon les normes NF M 60-763 et M 60-764.

L'objectif est de disposer au minimum d'une moyenne de débit de dose exposition externe par trimestre pendant l'année étudiée.

### **3.3.1.2. EAP du radon 222 et du radon 220**

Les mesures sont effectuées à l'aide d'un dosimètre de site et fournissent des résultats en nJ.m<sup>-3</sup>.

#### **Mesures à l'extérieur des bâtiments :**

- sur le site
  - au moins une station de mesure sur le stockage de résidus ;
  - une station de mesure sur toute zone de stockage de produits potentiellement contaminants autres que des résidus miniers ;
  - au moins une station de mesure sur une zone du site non concernée par le stockage ;
  - au moins une station de mesure sur toute zone potentiellement utilisée par la suite pour une autre activité professionnelle ;
- dans l'environnement proche du site
  - dans les zones habitées par les groupes de population ;
  - dans les zones où travaillent les groupes de population ;
  - dans les zones de loisirs des groupes de population.

Le dosimètre est implanté au même endroit que le DTL (voir paragraphe 3.3.1.1). Les contraintes suivantes sont appliquées :

- vue directe sur le site, dans la mesure du possible, en fonction de la topographie ;
- contrôle de la représentativité de l'implantation ;
- mise en place de la tête de mesure à 1,5 m de la surface support, selon les normes NF M 60-764 et NF M 60-763.

#### **Mesures à l'intérieur des bâtiments :**

- sur le site
  - dans les bâtiments potentiellement utilisés pour occupation professionnelle ;
- dans l'environnement proche du site
  - dans les habitations des groupes de population ;
  - dans les bâtiments où travaillent les groupes de population (bureaux, ateliers, granges, écoles) ;
  - dans les bâtiments de loisirs des groupes de population.

L'objectif est de disposer au minimum d'une moyenne d'EAP du radon 222 et d'une moyenne d'EAP du radon 220 par mois pendant l'année étudiée.

#### **3.3.1.3. Emetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières en suspension dans l'air :**

Les mesures sont effectuées par le dosimètre alpha de site ou le dispositif d'aspiration de poussières atmosphériques (DAPAF).

Une fois le site totalement réaménagé avec la mise en place d'une couverture, les risques de présence de poussières potentiellement contaminées dans l'environnement proche du site sont infimes. Une seule station de mesure est donc installée à titre de contrôle préventif en bordure du site, sous le vent dominant.

Si cette mesure fait apparaître une réelle présence de poussières contaminées, alors des stations de mesures sont installées :

- sur le site
  - au moins une station de mesure sur le stockage de résidus ;
  - une station de mesure sur toute zone de stockage de produits potentiellement contaminants autres que des résidus miniers ;
  - au moins une station de mesure sur une zone du site non concernée par le stockage ;
  - au moins une station de mesure sur toute zone potentiellement utilisée par la suite pour une autre activité professionnelle ;
- dans l'environnement proche du site
  - dans les zones habitées par les groupes de population ;
  - dans les zones où travaillent les groupes de population ;
  - dans les zones de loisirs des groupes de population.

L'objectif est de disposer au minimum d'une moyenne de l'activité volumique due aux émetteurs alpha à vie courte présents dans les poussières en suspension dans l'air par mois pendant l'année étudiée.

#### **3.3.1.4. Eau**

Des prélèvements pour analyses doivent être effectués :

- au niveau des captages pour l'eau destinée aux utilisations agricoles (irrigation, et eaux d'abreuvement des animaux) ;
- aux robinets des consommateurs pour l'eau destinée à la consommation humaine (autant de points de prélèvement que d'origines d'eau différentes sur la zone étudiée) ;
- si nécessaire, au niveau des zones de baignade.

L'objectif est de disposer au minimum, pour les eaux de boisson, d'une valeur de concentration en chaque radioélément par mois pendant l'année étudiée.

#### **3.3.1.5. Chaîne alimentaire**

Les radioéléments retenus pour être analysés sont <sup>238</sup>U, <sup>230</sup>Th, <sup>226</sup>Ra, <sup>210</sup>Po et <sup>210</sup>Pb.

Les prélèvements doivent être réalisés :

- pour les fruits et légumes de jardins privés : dans les jardins potagers des groupes de population (autant de jardins analysés que de zones d'habitation clairement identifiées) ;
- pour les fruits, légumes et céréales produits et consommés localement : dans les champs et les serres, (autant d'analyses que de produits et de zones de cultures clairement identifiées) ;
- pour les produits transformés mais cultivés ou produits sur place (exemple du vin et des produits laitiers) : analyse du produit fini acheté localement ;
- pour la viande, volaille : prélèvements du produit fini acheté localement ;
- pour les produits de la cueillette, de la chasse et de la pêche : prélèvements dans les zones concernées.

L'objectif est de disposer au minimum d'une valeur de concentration en chaque radioélément par type d'aliment pendant l'année étudiée.

### **3.3.2. Présentation des résultats des mesures**

Les résultats des mesures doivent être accompagnés :

- de la localisation de la station de mesure ou du prélèvement ou du lieu de culture s'il s'agit d'un produit transformé ;
- d'une description de la station de mesure ou de la localisation du prélèvement à travers les cinq facteurs géographiques :
  - la proximité par rapport aux sites de stockage de résidus
  - la localisation sur la rose des vents, afin de traduire la fréquence d'exposition de chaque zone habitée au transfert atmosphérique de particules ou de radon émis par le site
  - la topographie locale
  - la présence ou non d'un relief s'interposant entre les sites et chaque zone habitée considérée
  - la localisation par rapport à l'aval hydrologique des sites;
- de la période de prélèvement (date de début et de fin) ;
- de tous les paramètres qui permettent de passer du résultat de la mesure brute au résultat fourni (par exemple, volume d'air prélevé... ).

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler un certain nombre de règles dont le respect est impératif pour que les résultats des mesures soient utilisables :

- l'influence des données climatiques locales sur la variabilité des mesures d'EAP justifie que ces dernières soient systématiquement accompagnées des paramètres météorologiques recueillis lors de l'acquisition, conformément à la méthode de mesure intégrée de l'EAP décrite dans la norme NF M 60-754 ;
- les mesures dans les végétaux et les produits animaux peuvent être fournies par kg frais ou par kg sec. Dans ce dernier cas, on indiquera la teneur en eau des échantillons ;
- les mesures doivent être réalisées sur les parties consommables ;
- les analyses de végétaux produit en terre sont systématiquement accompagnées d'une analyse de cette terre et de l'eau d'irrigation ;
- les analyses de produits animaux sont accompagnées d'analyses des aliments consommés par ces animaux s'ils sont produits localement ;
- enfin, la granulométrie des particules doit impérativement être associée à la mesure de l'activité des sédiments et des sols.

Tous les résultats intermédiaires relatifs à la contamination des compartiments de l'environnement terrestre et aquatique sont fournis, pour tous les radionucléides. Cette présentation exhaustive a deux objectifs :

- permettre la vérification indépendante des calculs ;
- donner l'ordre de grandeur des contaminations maximales attendues, afin de vérifier l'application éventuelle d'autres législations (législation du commerce : produits aptes à la vente au public par exemple) et de préparer la surveillance de l'environnement.

### **3.3.3. Sensibilité et incertitudes**

En règle générale, l'évaluation dosimétrique fait intervenir un certain nombre de paramètres qui ne sont connus qu'imparfaitement. Le calcul de dose est donc nécessairement entaché d'une certaine incertitude. Cette incertitude n'est pas forcément symétrique en plus et en moins : il est fréquent d'adopter une démarche majorante dans le choix des hypothèses simplificatrices.

Le dossier doit contenir une estimation de l'incertitude des résultats dosimétriques. Une analyse d'incertitude complète sort du champ du dossier. Une analyse d'incertitude sommaire fondée sur une analyse de sensibilité aux paramètres qui influencent le plus la dose et aux paramètres les plus incertains est en revanche nécessaire, notamment pour estimer la dose maximum susceptible d'être reçue par les populations.

Par ailleurs, dans les études d'impact relatives aux sites de stockage de résidus de traitement de minerai d'uranium, l'évaluation de la contamination de la chaîne alimentaire repose sur des mesures dans différents aliments, végétaux ou animaux. Les mesures exploitées proviennent généralement de différents sites géographiquement distincts ou de différentes campagnes étalées dans le temps.

De plus, les niveaux de radioactivité mesurés sont souvent très bas, proche du bruit de fond naturel et des niveaux inférieurs de détection des appareils de mesures.

Dans les études antérieures, pour lesquelles une approche pénalisante d'évaluation de l'impact était adoptée, la valeur de contamination était souvent la valeur découlant de la limite de sensibilité de l'appareil de mesure. Il en résultait une surestimation de la contamination des

produits entrant dans le régime alimentaire des individus des groupes de population et donc une maximalisation de la dose correspondante.

Aujourd'hui, l'application des recommandations de la Directive européenne 96/29 nécessite la prise en compte d'un plus grand degré de réalisme.

### 3.3.3.1. *Recommandations du GTN 5 / CTHIR*

Des recommandations ont été formulées par le Groupe de travail de Normalisation n°5 (GTN 5) du Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation en Radioprotection (CTHIR) sur les modalités d'expression et d'exploitation des résultats de mesures, particulièrement dans le cas des très faibles radioactivités ([7], [8], [9], [10] et [11]).

Ces travaux reposent en partie sur la définition de deux grandeurs statistiques :

Le *seuil de décision* (SD) est utilisé en tant que critère a posteriori pour décider si une grandeur a été détectée ou non. En cas de non détection de la grandeur recherchée, il est fait appel à la *limite de détection* (calculée a posteriori). Elle correspond ici à la plus forte activité qu'aurait pu avoir l'échantillon analysé et qui a été déclarée non détectée.

La définition de la limite de détection est aussi employée pour qualifier la sensibilité d'une technique de mesure utilisant un appareillage déterminé et pour des conditions expérimentales données. Cette *limite de détection* (LD), calculée cette fois a priori, correspond à la plus faible activité que doit avoir l'échantillon à analyser pour pouvoir être systématiquement déclarée détectée (valeur observée supérieure ou égale au seuil de décision) dans ces conditions.

L'utilisation du seuil de décision et des limites de détection résulte d'un processus de décision qui peut être l'objet de deux sources d'erreur :

- la première est de décider qu'il y a présence de la grandeur recherchée alors qu'elle est absente, avec une probabilité  $\alpha$  de décider à tort (erreur de première espèce) ;
- la seconde est de décider qu'il y a pas présence de la grandeur cherchée alors qu'elle est présente, avec une probabilité  $\beta$  de décider à tort (erreur de deuxième espèce).

Par convention, le GTN 5 / CTHIR propose de prendre  $\alpha$  et  $\beta$  égaux à 2,5 %.

Dans ce cas on peut retenir la relation suivante :

$$\boxed{LD \approx 2 SD}$$

- Si l'activité mesurée est égale ou supérieure au seuil de décision alors l'activité mesurée est déclarée égale à l'activité trouvée,

$$A = A_i \pm \varepsilon$$

où  $A_i$  est l'activité mesurée et  $\varepsilon$  l'incertitude sur cette mesure.

- Si l'activité mesurée est déclarée inférieure ou égale à la limite de détection alors l'activité est prise égale à la valeur du seuil de décision SD, telle que :

$$A = SD \pm \varepsilon_{SD}$$

$$\text{Soit encore } A = LD/2 \pm \varepsilon_{SD}$$

où  $\varepsilon_{SD}$  est l'incertitude associée à la définition du seuil de décision SD.

### 3.3.3.2. Application aux études d'impact

La méthode exposée ci-dessus est particulièrement appropriée au cas où différentes valeurs doivent être comparées entre elles, voire sommées. L'exemple détaillé dans le tableau 9 présente une comparaison des deux approches, pénalisante et réaliste, pour une grandeur mesurée sur l'année.

tableau 9 : évolution d'une variable mensuelle - calcul de la moyenne annuelle

	valeur mesurée	valeur retenue en adoptant la valeur de la limite de détection	valeur retenue selon les recommandations du GTN 5 /CTHIR
janvier	0,775	0,775	0,775
février	≤ 0,408 *	≤ 0,408	0,204
mars	≤ 0,450 *	≤ 0,450	0,225
avril	0,543	0,543	0,543
mai	≤ 0,408 *	≤ 0,408	0,204
juin	1,395	1,395	1,395
juillet	0,853	0,853	0,853
août	≤ 0,370 *	≤ 0,370	0,185
septembre	0,465	0,465	0,465
octobre	≤ 0,420 *	≤ 0,420	0,210
novembre	1,279	1,279	1,279
décembre	0,736	0,736	0,736
<b>MOYENNE</b>		<b>0,675</b>	<b>0,589</b>

(\*) valeurs inférieures ou égales à la limite de détection.

Dans l'exemple, l'application des recommandations du GTN 5 /CTHIR conduit à réduire d'environ 15 % la moyenne annuelle calculée à partir des valeurs mensuelles mesurées.

Dans tous les cas, le contexte de la mesure devra être précisé. De même, les incertitudes associées à chacune des mesures devront être indiquées.

## 3.4. LE POINT ZERO OU NIVEAU RADIOLOGIQUE INITIAL

La radioactivité « naturelle » provient des rayonnements cosmiques et telluriques et éventuellement, des rejets passés ou des retombés d'accidents nucléaires. L'irradiation due aux rayonnements cosmiques est fonction essentiellement de l'altitude du lieu. L'irradiation due aux rayonnements telluriques dépend de la nature du sol et peut donc présenter de véritables discontinuités locales dans les zones où se situaient des gisements uranifères.

Deux voies sont envisageables :

① il existe un état radiologique détaillé de la région (cartographie des débits de dose, concentrations dans les cours d'eau, empoussièrement, taux d'émanation du radon,...) aux différents stades de l'activité minière. L'expérience montre toutefois que les données environnementales initiales sont souvent trop fragmentaires pour permettre ce type d'approche. Pour cette raison, on peut recourir à la méthode suivante :

② des stations de mesure de référence ont été installées dans le milieu naturel, permettant la mesure des paramètres pertinents en dehors de l'influence du site.

L'implantation de ces stations doit se faire selon des critères bien définis, en particulier :

- dans un contexte géologique similaire à celui du groupe de référence

- en amont des sites miniers par rapport aux vents dominants,
- en amont hydrographique des sites ou sur un autre bassin versant,
- sur un réseau d'alimentation en eau différent de celui du groupe de référence.

Le nombre de mesures et analyses à effectuer est variable. Il faut chercher à définir pour chaque station de mesure (exposition externe, EAP, poussières) une station de mesure « milieu naturel » correspondante, c'est-à-dire située dans un même contexte géologique et dans une situation topographique similaire.

En ce qui concerne les prélèvements d'eau et de produits de la chaîne alimentaire, ils doivent également être réalisés dans un même contexte géologique, et être aussi nombreux que nécessaires afin de disposer pour chaque type de produit d'une référence « milieu naturel ». Des comparaisons de mesures réalisées sur une même catégorie de produits (par exemples légumes feuilles) mais sur des types de produits différents (par exemple une salade et des haricots verts) sont à éviter autant que possible.

### **3.5. LE CALCUL DE L'IMPACT LIE AU SITE**

L'évaluation de l'impact radiologique du stockage des résidus de traitement de minerai d'uranium est basée sur la détermination de la dose efficace totale ajoutée résultant de l'exposition des différents groupes de population identifiés.

### **3.6. COMPARAISON DES IMPACTS AUX LIMITES REGLEMENTAIRES**

La limite annuelle de l'exposition ajoutée par le stockage est définie par l'article 6 du décret 90-222 et fixée à  $5 \text{ mSv.an}^{-1}$ . Cette limite de dose sera révisée à  $1 \text{ mSv.an}^{-1}$  compte tenu de la Directive européenne 96/29 Euratom. C'est évidemment cette dernière valeur qu'il convient de respecter.

### **3.7. DETERMINATION DU (DES) GROUPE(S) DE REFERENCE**

Le(s) groupe(s) de population identifié(s) (composition, mode de vie, localisation) comme étant ceux pour lesquels l'impact du site est maximal forment le(s) groupe(s) de référence qui sont surveillés par la suite pour s'assurer que l'impact du site reste acceptable.

Si un groupe de population aux habitudes différentes est mis en évidence par la suite (par exemple dans le cas de la construction d'une nouvelle zone d'habitation proche du site, de l'installation d'un camping ...), les populations concernées font l'objet d'un calcul de la dose ajoutée due au site afin vérifier si elles ne représentent pas un nouveau groupe de référence.

### **III. SUIVI DE L'IMPACT DU SITE A COURT TERME - SYSTEME DE SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT, COMPORTEMENT DES DISPOSITIFS DE STOCKAGE AU COURS DU TEMPS**

Les objectifs de la surveillance de l'environnement et des dispositifs de stockage sont multiples, et la définition d'un plan de surveillance doit intégrer l'ensemble de ces objectifs :

- s'assurer que l'impact du site reste acceptable pour le(s) groupe(s) de référence identifiés ;
- s'assurer que les concentrations en radioéléments dans l'environnement restent en dessous de valeurs prédéfinies ;
- mettre en évidence l'évolution de la radioactivité des différents compartiments de l'environnement au cours du temps ;
- apporter des éléments pertinents pour l'évaluation de l'impact radiologique ;
- apprécier le comportement au cours du temps des différents dispositifs de stockage ;
- améliorer la connaissance des phénomènes de transfert.

Par ailleurs, la surveillance de l'environnement sera effectuée à différents niveaux :

- la surveillance « en routine », qui doit être réalisée de façon permanente ;
- les campagnes périodiques, destinées à établir un bilan radioécologique visent davantage à mettre en évidence les variations d'un paramètre au cours du temps.

#### **1. IMPACT DU SITE SUR LE GROUPE DE REFERENCE**

##### **1.1. GROUPES DE REFERENCE, SCENARIOS ASSOCIES ET VOIES D'ATTEINTE**

Le(s) groupe(s) de population identifié(s) par l'étude d'impact après réaménagement comme étant ceux pour lesquels la dose ajoutée due au site est maximale forment le(s) groupe(s) de référence qui sont surveillés pour s'assurer que l'impact du site reste acceptable.

Le(s) scénario(s) associés à ce(s) groupe(s) de référence lors de la phase d'étude d'impact après réaménagement sont conservés.

Les voies d'atteintes à prendre en compte sont identiques à celles déterminées lors de l'étude d'impact après réaménagement.

##### **1.2. MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT**

###### **1.2.1. Débit de dose exposition externe**

Les mesures sont effectuées à l'aide de Détecteurs Thermo Luminescents (DTL) et fournissent des valeurs en nGy.h<sup>-1</sup>.

Les préconisations pour la localisation des stations de mesure sont identiques à celles formulées au paragraphe II 3.3.1.1. Toutefois, les mesures concernant la zone extérieure au site ne sont réalisées que dans les lieux de vie des individus du (des) groupe(s) de référence.

### **1.2.2. EAP du radon 222 et du radon 220**

Les mesures sont effectuées à l'aide d'un dosimètre de site et fournissent des résultats en  $nJ.m^{-3}$ .

Les préconisations pour la localisation des stations de mesure sont identiques à celles formulées au paragraphe II 3.3.1.2. Toutefois, les mesures concernant la zone extérieure au site ne sont réalisées que dans les lieux de vie des individus du (des) groupe(s) de référence.

### **1.2.3. Emetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières en suspension dans l'air**

Les mesures sont effectuées par le dosimètre alpha de site ou le dispositif d'aspiration de poussières atmosphériques (DAPAF).

Une fois le site totalement réaménagé avec la mise en place d'une couverture, les risques de présence de poussières potentiellement contaminées dans l'environnement proche du site sont infimes.

Si les mesures réalisées pour la détermination de l'impact du site après réaménagement ont fait apparaître une réelle présence de poussières contaminées, alors des stations de mesures sont installées comme préconisé au paragraphe II 3.3.1.3. Toutefois, les mesures concernant la zone extérieure au site ne sont réalisées que dans les lieux de vie des individus du (des) groupe(s) de référence.

### **1.2.4. Eau**

Des prélèvements pour analyses doivent être effectués :

- au niveau des captages pour l'eau destinée aux utilisations agricoles (irrigation, et eaux d'abreuvement des animaux) ;
- aux robinets des consommateurs pour l'eau destinée à la consommation humaine (autant de points de prélèvement que d'origines d'eau différentes sur la zone étudiée) ;
- si nécessaire, au niveau des zones de baignade.

### **1.2.5. Chaîne alimentaire**

Les radioéléments retenus pour être analysés sont 238 U, 230 Th, 226 Ra, 210 Po et 210 Pb.

Les préconisations pour la localisation des stations des prélèvements sont identiques à celles formulées au paragraphe II 3.3.1.5. Toutefois, seuls les produits intégrés à la chaîne alimentaire des individus du (des) groupe(s) de référence sont analysés..

## **1.3. LE CALCUL DE L'IMPACT LIE AU SITE**

L'évaluation de l'impact radiologique du stockage des résidus de traitement de minerai d'uranium est basée sur la détermination de la dose efficace totale ajoutée résultant de l'exposition du (des) groupe(s) de référence.

## 1.4. COMPARAISON DES IMPACTS AUX LIMITES REGLEMENTAIRES

La limite annuelle de l'exposition ajoutée par le stockage est définie par l'article 6 du décret 90-222 et fixée à 5 mSv.an<sup>-1</sup>. Cette limite de dose sera révisée à 1 mSv.an<sup>-1</sup> compte tenu de la Directive européenne 96/29 Euratom. C'est évidemment cette dernière valeur qu'il convient de respecter.

## 2. IMPACT DU SITE SUR L'ENVIRONNEMENT

### 2.1.1. Suivi des eaux

#### 2.1.1.1. Surveillance des rejets

La conduite de rejet des eaux après traitement est équipée de dispositifs de mesure en continu du débit, du pH, et de la concentration en uranium. Un appareil de prélèvement automatique permet de constituer un échantillon moyen sur trois jours.

Un exemple de modalités de surveillance est présenté dans le tableau 10 ci-dessous.

tableau 10 : exemple de modalités de surveillance du rejet de l'usine de traitement des eaux

paramètre	modalité d'échantillonnage
pH	échantillon moyen sur 3 jours
Uranium	
Extrait Sec (ES)	
Radium soluble <sup>4</sup>	
Baryum <sup>4</sup>	
Arsenic <sup>5</sup>	
Température	échantillon instantané hebdomadaire
Radium soluble <sup>6</sup>	
Arsenic <sup>7</sup>	
Sulfates	
Matières En Suspension	échantillon instantané mensuel
Demande Chimique en Oxygène	
Demande Biologique en Oxygène	
Hydrocarbures Totaux	échantillon instantané semestriel
Métaux Totaux	

<sup>4</sup> en cas de traitement du radium au chlorure de baryum

<sup>5</sup> en cas de traitement de l'arsenic

<sup>6</sup> sauf en cas de traitement du radium (dans ce cas échantillon moyen sur trois jours)

<sup>7</sup> sauf en cas de traitement de l'arsenic (dans ce cas échantillon moyen sur trois jours)

### 2.1.1.2. Surveillance du réseau hydrographique

Elle consiste en une surveillance de la qualité des eaux :

- des cours d'eau qui drainent le site ;
- du cours d'eau dans lequel se fait le rejet des eaux après traitement, en amont et en aval du rejet.

Des modalités de surveillance sont proposées à titre d'exemple dans le tableau 11 ci-dessous.

tableau 11 : modalités de surveillance du réseau hydrographique

paramètre	modalité d'échantillonnage
pH	échantillon instantané mensuel
Uranium	
Extrait Sec (ES)	
Radium soluble	
Sulfates	
Arsenic	échantillon instantané trimestriel
Demande Chimique en Oxygène	
Demande Biologique en Oxygène	échantillon instantané semestriel <sup>8</sup>
Métaux Totaux	

### 2.1.1.3. Surveillance des eaux souterraines

Les piézomètres installés sont surveillés suivant les modalités proposées à titre d'exemple dans le tableau 12 ci-dessous.

tableau 12 : modalités de surveillance des eaux souterraines

paramètre	modalité d'échantillonnage
Température	échantillon instantané trimestriel
pH	
Uranium	
Extrait Sec (ES)	
Radium soluble	
Sulfates	
Arsenic	
Niveau	Echantillon instantané semestriel <sup>9</sup>
Métaux Totaux	

<sup>8</sup> en période de basses eaux et en période de hautes eaux

<sup>9</sup> en période de basses eaux et en période de hautes eaux

### 2.1.2. Analyse des sédiments

Sont réalisées, en complément des analyses d'eau, des mesures radiologiques et des mesures du spectre granulométrique des sédiments, qui représentent des compartiments privilégiés d'accumulation de la radioactivité.

## 2.2. PRESENTATION DES RESULTATS DES MESURES

Là encore, la présentation des résultats de mesure est fonction de l'usage qui doit en être fait.

Les résultats des mesures doivent être accompagnés :

- de la localisation de la station de mesure ou du prélèvement ou du lieu de culture s'il s'agit d'un produit transformé ;
- d'une description de la station de mesure ou de la localisation du prélèvement à travers les cinq facteurs géographiques :
  - la proximité par rapport aux sites de stockage de résidus,
  - la localisation sur la rose des vents, afin de traduire la fréquence d'exposition de chaque zone habitée au transfert atmosphérique de particules ou de radon émis par le site,
  - la topographie locale,
  - la présence ou non d'un relief s'interposant entre les sites et chaque zone habitée considérée,
  - la localisation par rapport à l'aval hydrologique des sites ;
- de la période de prélèvement (date de début et de fin) ;
- de tous les paramètres qui permettent de passer du résultat de la mesure brute au résultat fourni (par exemple, volume d'air prélevé...).

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler un certain nombre de règles dont le respect est impératif pour que les résultats des mesures soient utilisables :

- les mesures destinées au contrôle de routine peuvent se satisfaire de mesures globales. Par contre, si elles sont destinées à des évaluations dosimétriques, elles doivent fournir des mesures spécifiques obtenues par spectrométrie ;
- l'influence des données climatiques locales sur la variabilité des mesures d'EAP justifie que ces dernières soient systématiquement accompagnées des paramètres météorologiques recueillis lors de l'acquisition, conformément à la méthode de mesure intégrée de l'EAP décrite dans la norme NF M 60 754 ;
- les mesures dans les végétaux et les produits animaux peuvent être fournies par kg frais ou par kg sec. Dans ce dernier cas, on indiquera la teneur en eau des échantillons ;
- les mesures doivent être réalisées sur les parties consommables ;
- les analyses de végétaux produit en terre sont systématiquement accompagnées d'une analyse de cette terre et de l'eau d'irrigation ;
- les analyses de produits animaux sont accompagnées d'analyses des aliments consommés par ces animaux s'ils sont produits localement ;
- enfin, la granulométrie des particules doit impérativement être associée à la mesure de l'activité des sédiments et des sols.

Tous les résultats intermédiaires relatifs à la contamination des compartiments de l'environnement terrestre et aquatique sont fournis, pour tous les radionucléides. Cette présentation exhaustive a deux objectifs :

- permettre la vérification indépendante des calculs ;
- donner l'ordre de grandeur des contaminations maximales attendues, afin de vérifier l'application éventuelle d'autres législations (législation du commerce : produits aptes à la vente au public par exemple) et de préparer la surveillance de l'environnement.

### **2.3. DUREE DU SUIVI**

Cette surveillance de l'impact sur l'homme et sur l'environnement doit être maintenue

- au minimum tant que l'usine de traitement des eaux doit rester en fonctionnement, c'est-à-dire tant que les eaux ne pourront pas être rejetées sans traitement ;
- pendant toute période pendant laquelle des travaux sur le site en vue d'une réutilisation seraient susceptibles de provoquer une perturbation et d'engendrer un relâchement de radionucléides dans l'environnement (que ce soit par la voie air ou eau).

## **3. COMPORTEMENT AU COURS DU TEMPS DES DIFFERENTS DISPOSITIFS DE STOCKAGE**

Les résultats des études de la stabilité géotechnique à court terme (jusqu'à quelques dizaines d'années) en liaison avec les tassements, y compris différentiels, évolution des pentes et des matériaux mis en place, (modification de la porosité, migration des fines, changements de volume ou pertes de cohésion), les fluctuations du niveau piézométrique (risque de saturation) sont détaillés.

Les moyens mis en œuvre pour assurer l'entretien et la stabilité des dispositifs de stockage et de ceux destinés aux contrôles sont présentés, et leur durabilité précisée.

Enfin, les dispositions prises ou prévues en matière de restriction d'usage pour éviter les activités humaines qui peuvent engendrer une altération du dispositif de stockage, ou un risque de surexposition directe des individus concernés, sont décrites.

La période d'efficacité des dispositifs de stockage doit ainsi être évaluée : cette efficacité doit au minimum être garantie sur une durée de 300 ans et reposer sur les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable. Une période de 1000 ans paraît envisageable compte tenu des performances que l'on peut attendre des meilleures techniques d'ingénierie disponibles.

## IV. IMPACT A LONG TERME

Trois phases de vie du stockage peuvent être définies au cours du temps :

- une phase de surveillance active, a priori de quelques dizaines d'années, pendant laquelle le contrôle et la surveillance du site sont garantis, de même que les possibles servitudes ;
- une phase de surveillance passive (quelques centaines d'années) durant laquelle seules les servitudes d'accès ou d'usage sont maintenues ;
- une période de banalisation durant laquelle les restrictions liées au site ne peuvent plus être garanties, du fait d'une possible perte de la mémoire du stockage.

La méthodologie à prendre en compte pour l'évaluation de l'impact d'un stockage à long terme s'appuie sur les réflexions menées entre les autorités, COGEMA et l'IPSN, dans le cadre d'un groupe de travail constitué sur la Doctrine en matière de réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium [2].

L'évaluation de l'impact radiologique est fondée sur la prise en compte de scénarios d'exposition du groupe de référence. Un scénario d'exposition représente un ensemble d'*hypothèses réalistes* décrivant une situation d'exposition de l'homme dans son environnement à des polluants provenant du stockage.

### 3.1. EFFICACITE ET STABILITE DES DISPOSITIFS DE STOCKAGE DANS LE LONG TERME

Les situations hypothétiques traitées dans le cadre des évaluations d'impact à long terme prennent en compte certains événements aléatoires, d'origine naturelle ou associés à des actions humaines pouvant perturber l'évolution normale du stockage et éventuellement conduire à des doses efficaces ajoutées plus élevées.

Les contrôles et études réalisées au cours du temps durant la phase d'exploitation et lors de la phase de surveillance du stockage après réaménagement permettent d'apprécier le comportement au cours du temps des dispositifs de stockage sous les aspects géotechniques, géologiques, hydrogéologique et géochimique.

Pour la stabilité géotectonique à moyen terme, les facteurs de risque relèvent surtout d'événements climatiques et de leurs conséquences en terme d'érosion, et d'altération des matériaux constitutifs.

La stabilité géotechnique à long terme relève de l'histoire géologique connue, des éléments de géoprospective disponibles et des phénomènes géodynamiques associés susceptibles de modifier le réaménagement du stockage. Compte tenu de l'échelle de temps, elle ne peut être envisagée qu'à titre indicatif.

Les actions humaines (résidence sur le site, chantier sur le site, activité industrielle sur le site...) peuvent, elles, conduire très rapidement à une dégradation des dispositifs de stockage.

Pour tenir compte du caractère aléatoire de ces situations hypothétiques, chaque fois que cela est possible on associe à la situation concernée sa probabilité d'occurrence de manière à permettre une estimation du risque.

## 3.2. SCENARIOS

Les scénarios sont utilisés pour gérer l'incertitude sur l'évolution d'un système complexe. Les méthodologies employées pour leur génération, permettent d'organiser l'information et offrent ainsi un support à la réflexion et à la traçabilité du raisonnement.

Dans le cas d'un stockage de concept simple, l'IPSN a développé, en marge des réflexions menées sur la doctrine en matière de réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium, une méthodologie qui satisfait pleinement ces besoins, et qui prend en considération de manière distincte l'évolution du stockage d'une part, et l'évolution du comportement humain d'autre part.

L'application de cette méthodologie a permis la définition des six scénarios retenus par la suite dans le cadre de la doctrine.

### 3.2.1. Méthode de génération des scénarios

Cette méthodologie repose sur trois étapes :

- la première a pour but de caractériser les exutoires. Elle s'appuie sur une description des états possibles du stockage selon une démarche bottom-up : le stockage est défini à partir de 5 composants (déchets, substrat, couverture, barrage, contraintes d'usages), ayant chacun plusieurs états possibles. Un état du stockage est alors donné par une combinaison des états de chacun de ses composants. Certaines combinaisons générées sont ensuite éliminées ou regroupées à partir de règles systématiques (causalité, incompatibilité, domination, probabilité...) ou sur la base de discussions avec les experts. Enfin, grâce à une modélisation du comportement hydrique du stockage par matrice d'interaction, une caractérisation des exutoires est obtenue, notamment en termes de potentialité et de date d'occurrence, en fonction des configurations du système.
- la seconde étape a pour objectif de caractériser les intrusions possibles dans le stockage. Dans cette optique, elle s'attache à définir un ensemble de comportements humains que l'on pourrait rencontrer à proximité du site de stockage. Là encore sont définis dans un premier temps les composants de base du comportement : lieu d'habitation, lieu et type de loisirs, lieu et type de travail, provenance de la nourriture; et sont attribués à chacun de ces composants un ensemble d'états possibles. La démarche utilisée à l'étape précédente permet de définir ici un ensemble de comportements. Là encore cet ensemble est réduit de la même façon qu'à l'étape précédente.
- la troisième étape enfin concerne la description des interfaces possibles entre l'homme et le stockage, sur la base des résultats des deux premières étapes. De même que précédemment, les états de chacun de ces deux éléments (comportement humain et état du stockage) sont combinés, afin d'obtenir les situations les plus plausibles. Quelques règles simples de cohérence, ainsi que des discussions entre experts permettent de réduire le nombre de situations à explorer. Un graphe de transition représentant les évolutions possibles du système d'un état vers un autre permet également d'évaluer la potentialité d'occurrence des situations en fonction du temps, et d'identifier ainsi des tendances dans les évolutions possibles.

La méthodologie développée a permis de structurer les informations relatives l'étude : il est possible d'éliminer rapidement des situations invraisemblables mais aussi de mettre en évidence des situations critiques. Cette méthodologie fournit non seulement un ensemble restreint de situations à étudier, mais offre aussi une bonne base de discussion et de réflexion pour les experts.

### 3.2.2. Scénarios retenus

Six scénarios ont ainsi été proposés [2], classés en deux types selon la nature des événements et des processus considérés (voir le tableau 13 ci-après) :

- **un scénario de référence** correspondant à une situation d'évolution normale du stockage qui devra considérer :
  - l'évolution normale du milieu naturel en présence du stockage;
  - l'ensemble des événements naturels qui peuvent conduire, pour des raisons diverses, à la modification lente dans le temps du niveau de performance et de la stabilité des dispositifs de stockage et des produits stockés ;
  
- **cinq scénarios altérés** correspondant à des situations hypothétiques liées à des événements aléatoires, qui peuvent être soit de même nature que ceux retenus dans la situation de référence, mais d'ampleur exceptionnelle, soit des événements très incertains quant à leur date d'occurrence et leur déroulement. Ces cinq scénarios visent à prendre en compte les dégradations des éléments constitutifs du stockage et de son environnement suite à deux causes principales :
  - un phénomène naturel, mais d'ampleur exceptionnelle,
  - une intervention humaine, source de danger pour les intervenants ou source de dégradation des dispositifs de stockage.

Certains événements pourront, selon les cas, ne pas être retenus après analyse justificative en considérant leur probabilité d'occurrence et l'appréciation qualitative de leurs conséquences sur l'état du stockage. Les scénarios correspondants n'auront pas à être évalués.

tableau 13 : scénarios d'exposition à considérer pour évaluer l'impact radiologique du stockage des résidus de traitement de minerai d'uranium.

	Phase de vie du stockage	Etat des dispositifs de stockage	Activités humaines			
			Résidence	Autarcie	Loisir	Travail
<b>Scénario de référence</b>	<i>Scénarios évalués systématiquement pour une durée au moins égale à la période d'efficacité démontrée du stockage. Les personnes du groupe de référence ne doivent pas être exposées du fait de l'ensemble des activités industrielles en situation d'évolution normale à une dose efficace ajoutée supérieure à la limite annuelle réglementaire).</i>					
<b>SC1</b> « Evolution normale »	Surveillance active	Présence de couverture Caractéristiques actuelles du stockage	Hors stockage	Actuelle	Promenade sur le stockage possible	Activité de bureau sur le stockage possible
	Surveillance passive	Présence de couverture Caractéristiques liées à la modélisation de l'évolution du stockage	Hors stockage	Actuelle	Promenade sur le stockage possible	Activité de bureau sur le stockage possible
	Surveillance non garantie	Présence de couverture Caractéristiques liées à la modélisation de l'évolution du stockage	Hors stockage	Hypothétique liée à la ressource en eau et la biosphère de référence	Promenade, jeux, bains sur le stockage	Activité de bureau sur le stockage
<b>Scénarios altérés</b>	Les évaluations des doses efficaces ajoutées résultant du traitement des scénarios altérés seront complétées, chaque fois que possible, par l'appréciation de la probabilité d'occurrence de la situation hypothétique considérée.					
<b>SC2</b> « Perte de couverture »	Surveillance passive	Absence de couverture du fait d'événements naturels exceptionnels	Hors stockage	Actuelle	Promenade sur le stockage	Activité de bureau sur le stockage possible
	Surveillance non garantie	Absence de couverture du fait d'événements naturels exceptionnels, d'activités humaines ponctuelles ou de défauts de conception	Hors stockage	Hypothétique, liée à la ressource en eau et à a biosphère de référence	Promenade, jeux, bains sur le stockage	Activité de bureau sur le stockage possible
<b>SC3</b> « Perte d'intégrité de la digue »	Surveillance passive	Perte d'intégrité de la digue avec absence de couverture et entrainement des produits stockés selon la topographie locale	Hors stockage	Actuelle	Promenade sur le stockage	Pas d'activité de bureau sur le stockage
	Surveillance non garantie	Idem	Hors stockage	Hypothétique, liée à la ressource en eau et à a biosphère de référence	Promenade, jeux, bains sur le stockage	Pas d'activité de bureau sur le stockage
<b>SC4</b> « Résidence sur le stockage avec couverture »	Surveillance non garantie	Présence de couverture	Sur le stockage	Hypothétique, liée à la ressource en eau et à a biosphère de référence	Promenade, jeux, bains sur le stockage	Pas d'activité de bureau sur le stockage
<b>SC5</b> « Chantier de terrassement ou de creusement sur stockage »	Surveillance non garantie	Absence de couverture du fait des travaux	Sur le stockage	Hypothétique, liée à la ressource en eau et à a biosphère de référence	Pas de loisir sur le stockage	Pas d'activité de bureau sur le stockage, chantier sur le stockage
<b>SC6</b> « Résidence sur le stockage sans couverture »	Surveillance non garantie	Absence de couverture	Sur le stockage	Hypothétique, liée à la ressource en eau et à a biosphère de référence	Promenade, jeux, bains sur le stockage	Pas d'activité de bureau sur le stockage

### **3.3. GROUPES DE REFERENCE**

#### **3.3.1. Scénarios 1, 2, et 3**

Les groupes de référence étudiés pour les évaluations de l'impact à long terme sont ceux retenus à l'issue de l'étude d'impact post réaménagement, ou ceux définis lors de la phase de surveillance si cette dernière fait apparaître de nouveaux groupes de populations soumis à un impact du site supérieur.

Seront donc retenus :

- les mêmes classes d'âge ;
- les mêmes emplois du temps ;
- les mêmes lieux de vie ;
- les mêmes régimes alimentaires ;
- la même autarcie.

#### **3.3.2. Scénarios 4 et 6**

Les groupes de référence étudiés sont des groupes hypothétiques dont l'habitation est localisée sur le site.

Seront retenus :

- toutes les classes d'âge car avant calcul il est impossible de déterminer laquelle conduira au scénario le plus conservatif ;
- des emplois du temps conservatifs ;
- une habitation située sur le stockage, avec jardin potager ;
- des régimes alimentaires adaptés à chaque classe d'âge ;
- une autarcie liée à la quantité d'eau disponible sur le site.

#### **3.3.3. Scénario 5**

Le groupe de référence étudié est constitué par les travailleurs du chantier. Toutefois, dans la mesure où un tel chantier entraîne la dégradation de la couverture et la production de poussière, il paraît nécessaire d'évaluer également l'impact d'un tel scénario sur les populations alentours et donc sur les groupes de références identifiés post réaménagement.

### **3.4. EVOLUTION DU TERME SOURCE [13] [14] [15] [16]**

Compte tenu de la période radioactive du radium 226, il est nécessaire de quantifier la part de radium relâché par les résidus sur une période de temps de 10 000 ans. Au delà, la quantité de radium présent dans les résidus sera faible (provient de la décroissance U et Th).

La quantité de radium libéré par les résidus dépend d'un certain nombre de paramètres qui tous varient dans le temps :

#### **1. Epaisseur et nature de la couverture mise en place au moment du réaménagement.**

La couverture soumise à l'érosion verra son épaisseur diminuer, l'ampleur de cette diminution dépendant de sa nature (granulométrie des matériaux, compactage).

## 2. Infiltration de l'eau météorique dans les résidus

La vitesse d'infiltration de l'eau dépend de la pluviométrie, de l'épaisseur de couverture à traverser et de la perméabilité des résidus. Cette dernière caractéristique dépend de la granulométrie et du compactage de ces matériaux. En effet avec le temps les résidus se tassent, et la perméabilité diminue d'autant. Un phénomène contraire peut se produire, à savoir la néoformation de phases plus organisées (cristallines) provoquant une modification de la perméabilité. Enfin cette perméabilité varie sur l'ensemble de l'épaisseur des résidus (plus élevée au sommet et plus réduite à la base du stockage).

## 3. Quantité de radium présent dans la solution interstitielle des résidus

La quantité de radium mobile dans les résidus dépend de la composition de la solution interstitielle (pH, cations et anions) et de la nature des phases solides au contact de cette solution. Suivant son affinité pour les deux compartiments solide et solution, le radium se répartit entre ces deux phases. Cette répartition est traduite par le coefficient de distribution  $K_d$  (= quantité de radium fixé par gramme de solide / quantité de radium par ml de solution). Plus ce coefficient est élevé, plus le radium est retenu par le solide, la quantité de radium mobile devenant très faible. Ce coefficient traduit une répartition dans des conditions données. Si l'un des paramètres (de la solution ou du solide) change, une autre valeur de coefficient est obtenue. L'évaluation du  $K_d$  requiert donc une connaissance aussi précise que possible de la nature de la phase solide et de la composition de la solution.

La nature des phases solides présentes dépend de la nature du minerai traité et des conditions d'attaque de ce minerai et varie donc d'un site de stockage à l'autre.

On peut malgré tout dégager quelques traits communs.

Minéraux hérités du minerai (ayant résistés à l'attaque chimique) : quartz, feldspaths, micas, argiles résultant de l'altération des feldspaths et des micas (illite, smectite, kaolinite). Dans les minerais sédimentaires (Lodève) s'ajoute à cette liste une forte proportion de phases carbonatées ( calcite, dolomite..).

Phases néoformées : gypse, barytine, oxyhydroxydes de fer amorphes et cristallisés.

La solution au contact de ces phases solides contient des ions sulfates, chlorures, sodium et magnésium. Le pH varie beaucoup du fait de la neutralisation des résidus acides au moment de la mise en place ( 4-8).

Au moment de la mise en place des résidus, le radium se trouve principalement dans la fraction solide, dans les minéraux ayant résisté aux attaques (2%), coprécipité avec le gypse et la barytine (40%-60%) et associé aux oxyhydroxydes de fer (60%-40%) (valeurs moyennes correspondant aux minerais de type granitique). Dans ces conditions dites initiales, le coefficient de distribution du radium est de l'ordre de  $10^4$  ml.g<sup>-1</sup>. La quantité de radium susceptible de migrer dans les résidus est donc très faible.

Cependant ce système solide/solution interstitielle évolue dans le temps sous l'effet de l'infiltration d'eau météorique. Cette eau, peu chargée en ions, provoque dans un premier temps une dissolution des phases les plus solubles, le gypse en premier lieu suivi de la barytine. La dissolution de ces minéraux provoque la mise en solution du radium initialement coprécipité. Dans un second temps (durée beaucoup plus longue et mal connue), les phases amorphes comme les hydroxydes de fer évoluent vers des formes plus cristallines comme la goethite. Or, si la capacité de rétention du radium par les hydroxydes de fer est importante, celle par la goethite est plus faible et très dépendante de la composition de la solution, en particulier le pH. Si le pH est alcalin (>8), la rétention du radium par la goethite est très élevée. Si, au contraire, le pH est plus acide (<6), la rétention est beaucoup plus faible.

A long terme, l'infiltration d'eau peut provoquer une augmentation significative de la quantité de radium mobile.

Si les résidus contiennent des minéraux de type argileux, la quantité de radium mobile peut être réduite du fait de l'affinité du radium pour ces argiles. Cependant une grande incertitude existe quant à la nature et à la quantité d'argiles présentes. Par ailleurs la rétention du radium par les aluminosilicates dépend également de la composition de la solution, en particulier de la teneur en calcium et en magnésium qui peuvent entrer en compétition avec le radium pour la sorption.

Vu la complexité des phénomènes intervenant dans les résidus, et le manque de données sur certains d'entre eux (cinétique de cristallisation des oxydes de fer amorphes), il est très délicat de déterminer précisément en fonction du temps la quantité de radium mobile.

Néanmoins, une estimation est possible moyennant l'acquisition d'un nombre minimal de caractéristiques des résidus : pH de la solution, nature des phases minérales présentes et répartition du radium sur ces phases (en particulier d'estimer la quantité de radium associé aux phases solubles gypse et barytine).

Un séquençage des réactions permet d'estimer les quantités maximales de radium relâché en fonction du temps : dissolution du gypse, dissolution de la barytine, cristallisation des oxydes de fer amorphes.

Les valeurs obtenues sont surestimées puisque que l'on suppose qu'aucune autre phase ne peut retenir le radium.

Si avec ces valeurs de radium mobile, l'impact est trop important il est nécessaire d'affiner et pour cela de procéder à une caractérisation plus fine des résidus.

### **3.5. EVALUATION DES DOSES DUES AUX DIFFERENTS SCENARIOS - MODELISATIONS NECESSAIRES**

Les paragraphes suivants détaillent pour chaque scénario les voies d'exposition qui nécessitent une modélisation et pour lesquelles des mesures peuvent être réalisées actuellement afin de déterminer les paramètres nécessaires à l'utilisation des codes de calculs appropriés. L'ensemble du chapitre est résumé dans le tableau 14.

#### **3.5.1. Scénario 1 : évolution normale**

##### **3.5.1.1. Phase de surveillance active**

Au début de cette phase, le dispositif de surveillance de l'environnement est toujours en place et l'impact du stockage sur les groupes de référence peut être calculé à l'aide des mesures effectuées dans l'environnement.

Après l'arrêt des mesures, il est possible de considérer que l'impact du stockage sur les groupes de référence ne peut pas être supérieur à celui calculé précédemment :

- le dispositif de stockage n'est pas dégradé ;
- la lenteur des phénomènes d'évolution des résidus permet de considérer que les concentrations en radioéléments qui seraient observables dans les eaux ne peuvent pas être supérieures à celles mesurées juste après réaménagement.

##### **3.5.1.2. Phases de surveillance passive et de surveillance non garantie**

Etant données les périodes radioactives de l'uranium 238, de l'uranium 234 et du thorium 230, il n'y a pas d'augmentation significative de la teneur en radium dans le tas de résidus depuis le réaménagement. Par conséquent, les valeurs d'EAP du radon 222 et du radon 220, ainsi que le rayonnement gamma ne sont pas supérieurs à ceux mesurés dans l'environnement proche du

site lors des campagnes de mesures ; retenir ces valeurs pour un calcul d'impact est donc conservatif.

Toutefois, la lixiviation progressive du tas de résidus et les phénomènes géochimiques associés (voir l'évolution des résidus en paragraphe IV 3.4) peut entraîner une augmentation des concentrations en certains radioéléments dans les eaux rejetées et il y a absence de traitement des eaux. Ces phénomènes doivent être modélisés afin de calculer la dose ajoutée par ingestion des produits cultivés et des animaux élevés localement et de l'eau consommée (voir la figure 5).

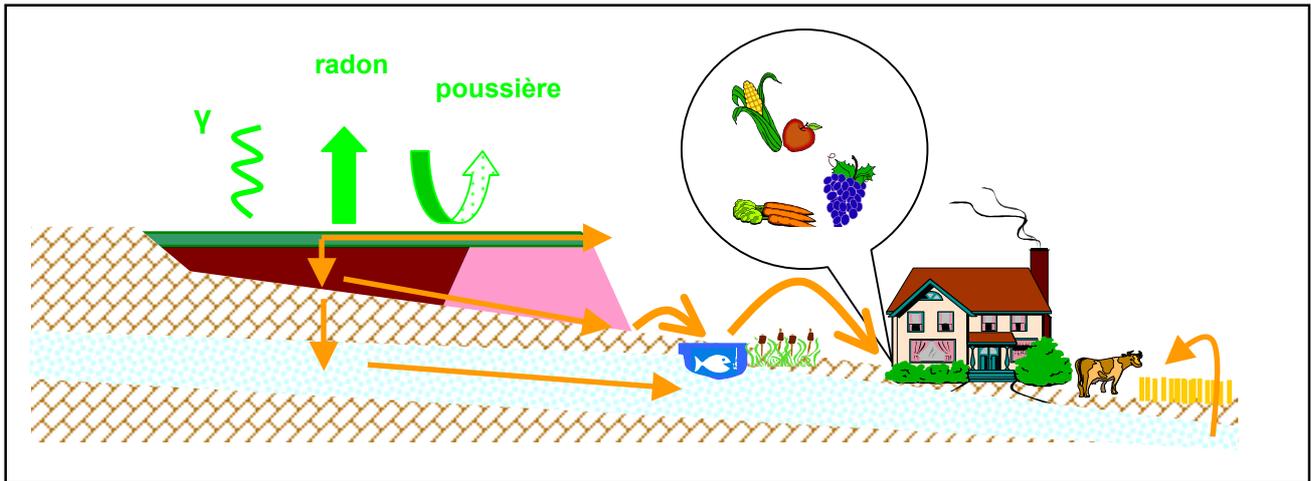


figure 5 : scénario 1 - évolution normale

### 3.5.2. Scénario 2 : perte de couverture

La disparition de la couverture entraîne des modifications du flux de radon, du débit de photons émis, et augmente les infiltrations d'eau dans le tas de résidus (voir la figure 6).

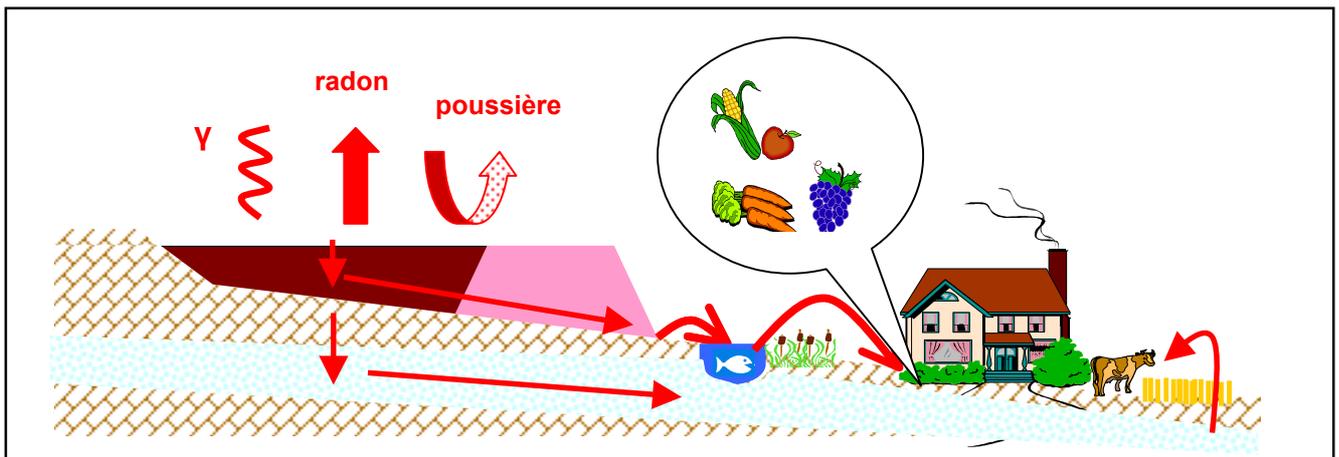


figure 6 : scénario 2 - perte de couverture

#### 3.5.2.1. Evaluation du débit de dose d'exposition externe

L'évaluation du débit de photons émis en l'absence de couverture peut être effectuée :

- soit par modélisation en supprimant l'écran constitué par la couverture ;



figure 7 : scénario 3 - perte d'intégrité de la digue

Pour la modélisation, dans un souci de conservatisme et de simplification, il peut être considéré que la totalité des résidus est entraînée dans le cours d'eau le plus proche selon la topographie locale.

### 3.5.4. Scénario 4 : résidence sur le stockage avec couverture

Etant données les périodes radioactives de l'uranium 238, de l'uranium 234 et du thorium 230, il n'y pas d'augmentation significative de la teneur en radium dans le tas de résidus depuis le réaménagement. Par conséquent, les valeurs d'EAP du radon 222 et du radon 220, ainsi que le rayonnement gamma ne sont pas supérieurs à ceux mesurés sur le stockage lors des campagnes de mesures ; retenir ces valeurs pour un calcul d'impact est donc conservatif (voir la figure 8).

L'utilisation de codes de calculs permet, à partir des valeurs d'EAP à l'extérieur, d'obtenir les valeurs d'EAP à l'intérieur des bâtiments sur le stockage.

En ce qui concerne l'ingestion, les végétaux consommés sont cultivés dans les potagers ou en plein champ sur le stockage. La lixiviation progressive du tas de résidus et les phénomènes géochimiques associés (voir l'évolution des résidus en paragraphe IV 3.4) peut entraîner une augmentation des concentrations en certains radioéléments dans les eaux rejetées et dans la nappe sous-jacente utilisées sans traitement pour l'irrigation du jardin et éventuellement des champs et l'abreuvement des animaux.

Ces phénomènes sont modélisés afin de calculer la dose ajoutée par ingestion des produits cultivés localement et de l'eau consommée.

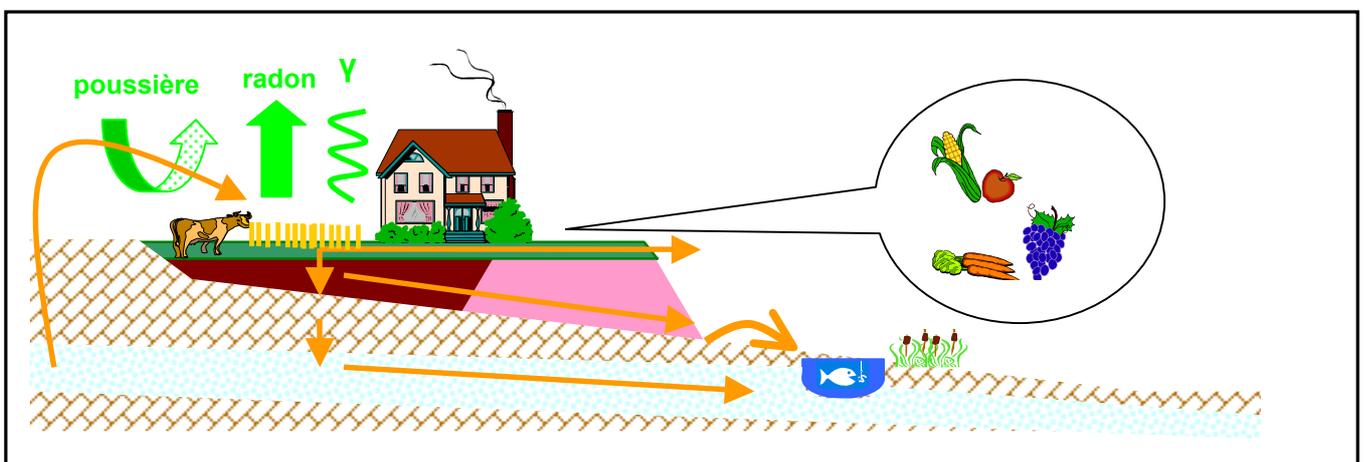


figure 8 : scénario 4 - résidence sur le stockage avec couverture

### 3.5.5. Scénario 5 : chantier de terrassement ou de creusement sur le stockage

#### 3.5.5.1. Evaluation du débit de dose d'exposition externe

L'évaluation du débit de photons émis en l'absence de couverture peut être effectuée :

- soit par modélisation en supprimant l'écran constitué par la couverture ;

- soit en s'appuyant sur d'éventuels tests d'efficacité de la couverture qui auraient été réalisés sur des planches d'essai avant le réaménagement du site et qui contiendraient des valeurs de flux de photon avant la mise en place de la couverture.

Les valeurs de débit de dose dû à l'exposition externe sur le stockage (groupe de référence « chantier ») et dans l'environnement proche du site (groupe de référence « post réaménagement ») avec la présence éventuelle d'écrans, sont ensuite modélisées à l'aide des codes de calculs appropriés.

### **3.5.5.2. Evaluation de l'EAP du radon**

L'évaluation du flux de radon en l'absence de couverture peut être effectuée :

- soit par modélisation en s'appuyant sur les paramètres géochimiques des résidus ;
- soit en s'appuyant sur d'éventuels tests d'efficacité de la couverture qui auraient été réalisés sur des planches d'essai avant le réaménagement du site et qui contiendraient des valeurs d'exhalation avant la mise en place de la couverture.

Les valeurs d'EAP à l'extérieur sur le stockage (groupe de référence « chantier ») et dans l'environnement proche du site, à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments (groupe de référence « post réaménagement ») sont ensuite modélisées à l'aide des codes de calculs appropriés.

### **3.5.5.3. Evaluation des concentrations en radioéléments dans la chaîne alimentaire**

Les produits cultivés dans les potagers ou en plein champ et les animaux élevés dans l'environnement proche du site et consommés par les personnes des groupes de référence sont soumis à deux voies de contaminations :

- la lixiviation accentuée du tas de résidus et les phénomènes géochimiques associés (voir l'évolution des résidus en paragraphe 3.4) peut entraîner une augmentation des concentrations en certains radioéléments dans les eaux rejetées sans traitement et dans la nappe sous-jacente utilisées pour l'irrigation du jardin et éventuellement des champs et l'abreuvement des animaux .
- les produits cultivés localement en pleine terre sont directement au contact avec les résidus, ce qui entraîne un transfert sol plante.

Ces phénomènes sont modélisés afin de calculer la dose ajoutée par ingestion des produits cultivés localement et de l'eau consommée.

### **3.5.5.4. Evaluation des concentrations en poussières radioactives**

En l'absence de couverture, la remise en suspension de poussières de résidus contaminées et leur présence dans l'air inhalé par les personnes des groupes de référence doivent être modélisés.

## **3.5.6. Scénario 6 : résidence sur le stockage sans couverture**

### **3.5.6.1. Evaluation du débit de dose d'exposition externe**

L'évaluation du débit de photons émis en l'absence de couverture peut être effectuée :

- soit par modélisation en supprimant l'écran constitué par la couverture ;
- soit en s'appuyant sur d'éventuels tests d'efficacité de la couverture qui auraient été réalisés sur des planches d'essai avant le réaménagement du site et qui contiendraient des valeurs de flux de photon avant la mise en place de la couverture.

Les valeurs de débit de dose dû à l'exposition externe dans l'environnement proche du site, à distance variable du tas de résidus et éventuellement avec la présence d'écrans, sont ensuite modélisées à l'aide des codes de calculs appropriés.

### 3.5.6.2. Evaluation de l'EAP du radon

L'évaluation du flux de radon en l'absence de couverture peut être effectuée :

- soit par modélisation en s'appuyant sur les paramètres géochimiques des résidus ;
- soit en s'appuyant sur d'éventuels tests d'efficacité de la couverture qui auraient été réalisés sur des planches d'essai avant le réaménagement du site et qui contiendraient des valeurs d'exhalation avant la mise en place de la couverture.

Les valeurs d'EAP sur le stockage, à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments sont ensuite modélisées à l'aide des codes de calculs appropriés.

### 3.5.6.3. Evaluation des concentrations en radioéléments dans la chaîne alimentaire

Les produits cultivés dans les potagers ou en plein champ sur le stockage et consommés par les personnes du groupe de référence sont soumis à deux voies de contaminations :

- la lixiviation accentuée du tas de résidus et les phénomènes géochimiques associés (voir l'évolution des résidus en paragraphe 3.4) peut entraîner une augmentation des concentrations en certains radioéléments dans les eaux rejetées sans traitement et dans la nappe sous-jacente utilisées pour l'irrigation du jardin et éventuellement des champs .
- les produits cultivés localement en pleine terre sont directement au contact avec les résidus, ce qui entraîne un transfert sol plante.

Ces phénomènes sont modélisés afin de calculer la dose ajoutée par ingestion des produits cultivés localement et de l'eau consommée.

### 3.5.6.4. Evaluation des concentrations en poussières radioactives

Les travaux sur le stockage et l'a destruction progressive de la couverture entraînent la remise en suspension de poussières de résidus contaminées ; leur présence dans l'air inhalé par les personnes des groupes de référence doit être modélisée (voir la figure 9).

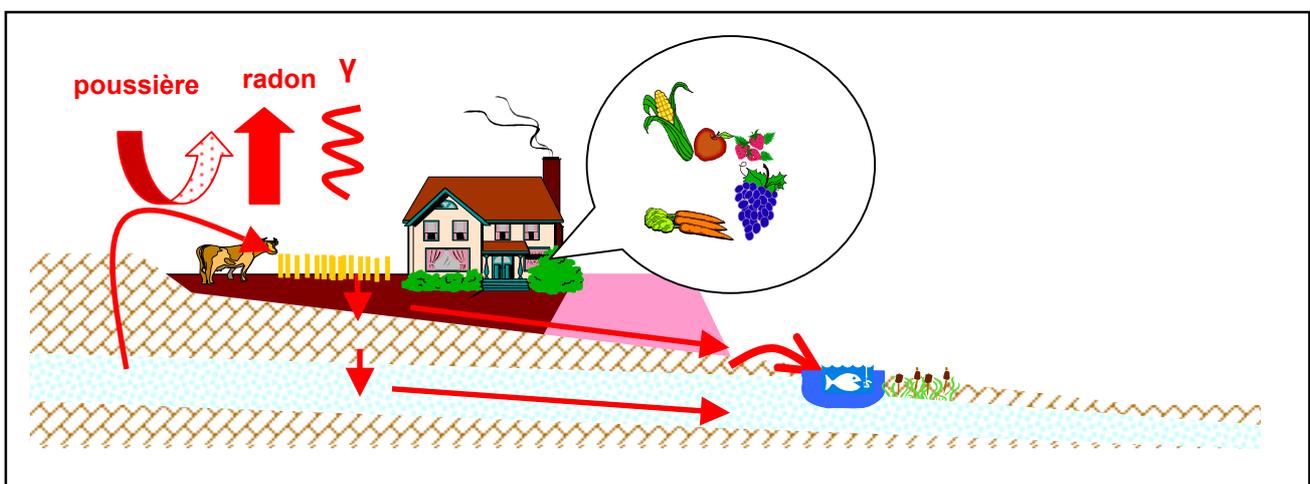


figure 9 : scénario 6 - résidence sur le stockage sans couverture

tableau 14 : voies d'expositions qui nécessitent une modélisation pour évaluer l'impact radiologique du stockage des résidus de traitement de minerai d'uranium.

	Phase de vie du stockage	Etat des dispositifs de stockage	groupe de référence	Evolution des résidus	exposition externe	Inhalation de radon	Inhalation de poussières	ingestion
<b>SC1</b> « Evolution normale »	Surveillance active	Présence de couverture Caractéristiques actuelles du stockage	Groupe de référence identifié dans la phase post réaménagement	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement
	Surveillance passive	Présence de couverture		A modéliser	Identique aux études après réaménagement*	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	A modéliser
	Surveillance non garantie	Caractéristiques liées à la modélisation de l'évolution du stockage		A modéliser	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	A modéliser
<b>SC2</b> « Perte de couverture »	Surveillance passive	Absence de couverture du fait d'événements naturels exceptionnels	Groupe de référence identifié dans la phase post réaménagement	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser
	Surveillance non garantie	Absence de couverture du fait d'événements naturels exceptionnels, d'activités humaines ponctuelles ou de défauts de conception		A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser
<b>SC3</b> « Perte d'intégrité de la digue »	Surveillance passive	Perte d'intégrité de la digue avec absence de couverture et entraînement des produits stockés selon la topographie locale	Groupe de référence identifié dans la phase post réaménagement	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser
	Surveillance non garantie			A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser
<b>SC4</b> « Résidence sur le stockage avec couverture »	Surveillance non garantie	Présence de couverture	Groupe de référence vivant sur le stockage	A modéliser	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	Identique aux études après réaménagement	A modéliser
<b>SC5</b> « Chantier de terrassement ou de creusement sur stockage »	Surveillance non garantie	Absence de couverture du fait des travaux	Groupe de référence identifié dans la phase post réaménagement + groupe de référence constitué par les travailleurs du chantier	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser
<b>SC6</b> « Résidence sur le stockage sans couverture »	Surveillance non garantie	Absence de couverture	Groupe de référence vivant sur le stockage	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser	A modéliser

### **3.6. CALCUL DE L'IMPACT RADIOLOGIQUE**

L'impact radiologique doit être apprécié pour le scénario de référence pour une durée au moins égale à la période d'efficacité démontrée des dispositifs de stockage. Pour cette période, la valeur des résultats pourra être explicitée sur la base d'incertitudes explicites. Au-delà, ces résultats auront une valeur indicative et devront être complétés par des appréciations qualitatives des facteurs d'évolution des dispositifs de stockage et des produits stockés. Les doses efficaces ajoutées devront respecter les limites de doses définies au paragraphe I1.

Afin de maintenir une cohérence entre la limitation de dose efficace ajoutée appliquée aux scénarios de référence et les évaluations de dose résultant du traitement des scénarios altérés, il peut être envisagé d'utiliser la notion de risque. Ainsi, y aura t il lieu chaque fois que possible, de compléter les évaluations de dose efficace ajoutée résultant du traitement des scénarios altérés par l'appréciation de la probabilité d'occurrence des situations hypothétiques considérées.

## V. CONCLUSION

Si l'évaluation de l'impact radiologique potentiel à moyen ou long terme est indispensable, il est indéniable qu'il s'agit d'un exercice difficile nécessitant une très bonne connaissance du site à évaluer et la synthèse d'une très grande quantité d'informations.

Par rapport aux autres stockages de déchets radioactifs, les sites de stockage de résidus de traitement de minerais d'uranium présente différentes spécificités :

- les volumes stockés sont très importants,
- les activités sont faibles et ne concernent que des radionucléides appartenant à des chaînes de filiation naturelles,
- les principaux radionucléides à prendre en compte pour l'évaluation de l'impact ont des durées de vie très longues.

Ces caractéristiques font que la méthode d'étude d'impact à appliquer présente elle-même des spécificités, en particulier elle doit permettre de calculer des doses individuelles pour les personnes du groupe de référence, en faisant la part de l'impact dû au stockage et de celui inhérent à la présence naturelle des descendants de l'uranium et du thorium dans l'environnement.

La nécessité de prendre en compte différentes échelles de temps, du court au long terme, implique qu'une seule approche n'est pas suffisante :

- l'évaluation de l'impact à court terme repose en priorité sur les contrôles radiologiques menés par l'exploitant sur le site et dans son environnement ;
- l'évaluation de l'impact à long terme ne peut s'affranchir de l'exploitation de modèles prévisionnels et repose donc sur la définition de scénarios d'exposition générique pour le groupe de référence.

Il est cependant important de noter que ces deux approches sont imbriquées et indissociables, les mesures pouvant servir à étayer les travaux de modélisation, et réciproquement, les évaluations à long terme pouvant influencer la surveillance à mettre en place dans l'environnement du site.

## VI. REFERENCES

- [1] En 13 ans, moins de temps contraint et plus de loisirs - F. DUMONTIER, J.L. PAN KE SHON – INSEE Première n°675 – octobre 1999
- [2] Doctrine en matière de réaménagement des stockages de résidus de traitement de minerais d'uranium - Rapport IPSN SERGD 99-42 - 1999
- [3] Energie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Air - Radon 222 : Méthodes de mesure intégrée de l'énergie alpha potentielle volumique des descendants à vie courte du radon dans l'environnement atmosphérique - AFNOR - Ed., 1997 - NF M 60-754
- [4] Consommations et lieux d'achats des produits alimentaires en 1991- M. BERTRAND - INSEE Résultats, Consommation-Modes de vie n° 54-55 - 1993
- [5] Assessment of Doses to the Public From Ingested Radionuclides - IAEA Safety Reports Series N° 14 - IAEA, Vienna - 1999
- [6] Report of the Task Group on Reference Man- ICRP publication 23- 1975
- [7] Détermination du seuil et de la limite de détection en spectrométrie gamma - Groupe de travail de normalisation n°5 du Comité d'Instrumentation de Radioprotection - Rapport CEA-R-5506 - 1989
- [8] Limites de détection a priori  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  des laboratoires d'analyses nucléaires du CEA et de la COGEMA - Comité d'Instrumentation de Radioprotection et Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation de Radioprotection - Rapport CIRP-CTHIR-GTN 5 n°27 - 1989
- [9] Document d'analyse et de réflexion faisant le point sur l'avancement de nos travaux concernant les définitions « Seuils de détection » et « Limite de détection » et leurs conséquences sur l'expression des résultats et les cumuls - Comité d'Instrumentation de Radioprotection et Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation de Radioprotection - Rapport CIRP-CTHIR-GTN 5 n°28 - 1989
- [10] Détermination du seuil et de la limite de détection en spectrométrie alpha - Comité d'Instrumentation de Radioprotection et Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation de Radioprotection - Rapport CIRP-CTHIR-GTN 5 n°40 - 1990
- [11] Fiches de synthèses : Seuil de décision, Limite de détection, Expression des résultats, Etablissement d'un cumul - Comité d'Instrumentation de Radioprotection et Centre Technique d'Homologation de l'Instrumentation de Radioprotection - Rapport CIRP-CTHIR-GTN 5 n°41 - 1990
- [12] Larousse Agricole - J.M. CLEMENT- Librairie Larousse - Paris - 1981
- [13] Tailings and mine waste'95, ed A.A. BALKEMA - 1995
- [14] Tailings Management. Problems and solutions in the mining industry - G.M RITCEY - ed. Elsevier - 1989
- [15] Radium, uranium et métaux dans les résidus de traitement dynamique, acide et alcalin de minerais d'uranium - S. SOMOT - thèse de l'université H.Poincaré - 1997

- [16] Mobilité du radium et de l'uranium dans un site de stockage de résidus issus du traitement de minerais d'uranium - BASSOT S.- thèse de l'université de Franche Comté - 1997

## ANNEXE A : une journée moyenne en France en 1999 - d'après [1]

	Etudiants, lycéens		Salariés		Indépendants		Chômeurs		Femmes au foyer	Retraités		Ensemble		
	H	F	H	F	H	F	H	F		H	F	H	F	Total
<b>Temps physiologique dont</b>	12h03	12h22	11h23	11h36	11h13	11h21	12h24	12h27	12h20	12h59	12h55	11h56	12h11	12h04
Sommeil	9h21	9h27	8h25	8h38	8h15	8h23	9h21	9h13	9h14	9h45	9h38	8h55	9h09	9h03
Toilette, soins	38min	53min	42min	49min	40min	44min	45min	53min	50min	50min	55min	44min	51min	48min
Repas dont	2h04	2h03	2h16	2h08	2h19	2h13	2h16	2h20	2h16	2h24	2h12	2h17	2h11	2h14
repas avec amis, parents, etc.	40min	42min	44min	39min	38min	33min	41min	49min	32min	28min	25min	39min	35min	37min
<b>Temps prof. et de form.<sup>1</sup> dont</b>	4h58	4h46	6h02	4h57	8h16	5h35	29min	19min	4min	6min	1min	4h12	2h38	3h23
Travail professionnel	19min	12min	5h20	4h23	7h46	5h19	21min	9min	2min	5min	1min	3h14	1h53	2h32
Trajets domicile-travail	30min	26min	39min	31min	28min	15min	2min	2min	0min	1min	0min	25min	15min	20min
Études	4h04	4h00	1min	0min	1min	0min	0min	1min	0min	0min	0min	31min	28min	29min
<b>Temps domestique dont</b>	53min	1h37	2h07	3h46	1h15	4h04	3h31	5h33	6h27	3h49	5h05	2h24	4h23	3h26
Ménage, cuisine, linge, courses, etc.	38min	1h23	1h08	3h04	45min	3h20	2h18	4h26	5h10	1h51	4h24	1h18	3h37	2h30
Soins aux enfants et adultes	3min	6min	11min	28min	7min	21min	13min	42min	55min	5min	12min	9min	26min	18min
Bricolage	9min	4min	32min	4min	13min	8min	37min	7min	5min	51min	5min	33min	5min	18min
Jardinage, soins aux animaux	4min	4min	15min	10min	10min	15min	23min	18min	17min	1h01	25min	25min	15min	20min
<b>Temps de loisirs dont</b>	4h08	3h19	3h04	2h22	2h18	1h50	5h09	3h36	3h32	5h33	4h44	3h55	3h17	3h35
Télévision	1h58	1h52	1h51	1h27	1h22	59min	2h55	2h18	2h19	3h21	2h49	2h12	2h02	2h07
Lecture	15min	17min	16min	18min	16min	16min	26min	24min	25min	51min	43min	25min	25min	25min
Promenade	18min	20min	15min	14min	9min	11min	30min	18min	20min	39min	25min	22min	18min	20min
Jeux	40min	16min	14min	6min	3min	6min	28min	11min	10min	25min	19min	20min	11min	16min
Sport	25min	10min	10min	5min	9min	6min	14min	6min	5min	11min	2min	12min	5min	9min
<b>Temps de sociabilité (hors repas) dont</b>	1h17	1h14	49min	44min	35min	36min	1h35	1h14	57min	1h00	1h00	57min	56min	56min
Conversations, téléphone, courrier	18min	26min	14min	16min	9min	14min	24min	28min	19min	19min	19min	16min	19min	18min
Visites, réceptions	53min	47min	27min	22min	17min	17min	57min	38min	30min	22min	27min	31min	28min	29min
<b>Temps libre (loisirs et sociabilité)</b>	5h24	4h33	3h53	3h06	2h52	2h26	6h44	4h50	4h29	6h33	5h34	4h52	4h12	4h31
Transport (hors trajets domicile-travail)	40min	42min	35min	34min	24min	34min	51min	52min	39min	33min	25min	35min	35min	35min

Champ : personnes de 15 ans et plus de France métropolitaine

<sup>1</sup> La prise en compte des samedis et dimanche pour le calcul des moyennes rend surprenant les temps de travail ou d'études ; multipliés par 7, ils sont plus conformes au sens commun.

Source : enquête emploi du temps 1998-1999, INSEE

ANNEXE B : tableaux de consommation

## **Exploitation des données INSEE [4] pour la définition des niveaux d'autarcie des groupes de références considérés pour les évaluations.**

Les tableaux présentés ci-après sont une compilation des données INSEE [4] Pour certaines denrées, les chiffres fournis par l'INSEE ont été convertis dans d'autres unités. Le détail des modifications est explicité ci-dessous. (Le numéro précédant chaque remarque correspond à l'annotation qui figure en regard du nom de l'aliment correspondant dans les tableaux ci-après.)

(1) La consommation d'œufs est donnée en kilogrammes - Pour convertir le nombre d'œufs consommés figurant dans les statistiques INSEE, le poids moyen d'un oeuf a été pris égal à 65 g [12].

(2) La consommation de lait est donnée en litres. La consommation totale de produits laitiers est donnée dans la même unité. Pour ce faire, les quantités de produits laitiers consommées ont été exprimées en équivalent litre de lait à partir des données de fabrication précisées ci-dessous. Pour la transformation en kilogramme, on considère que 1 litre de lait pèse environ 1 kg.

(3) Un kilogramme de fromage équivaut à 8 litres de lait (sur la base de fabrication du camembert).

(4) Un yaourt équivaut à 0,125 litres de lait.

(5) Un kilogramme de beurre équivaut à 20 litres de lait avec récupération de 19 litres de lait écrémé. Sachant qu'il y a 40 g de matières grasses par litre de lait, l'équivalence lait du beurre sera prise égale à  $44/25$ .

Pour chaque famille d'aliments (Céréales, Légumes Feuilles, Viande,...), l'autarcie moyenne pour l'ensemble de la famille a été calculée à partir de l'autoconsommation, divisée par la valeur de la consommation totale.

**Consommation annuelle par personne pour un actif du secteur agricole vivant dans une commune rurale (INSEE [4])**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Végétaux</b>				
<b>Céréales</b>				
pains	61,31	61,2	0,11	0,2%
pâtes	6,78	6,78	0	0,0%
riz	2,52	2,52	0	0,0%
farine	3,97	3,87	0,1	2,5%
<b>Total</b>	<b>74,58</b>	<b>74,37</b>	<b>0,21</b>	<b>0,3%</b>
<b>Légumes feuilles</b>				
laitues	5,8	1,04	4,76	82,1%
endives	3,79	2,27	1,52	40,1%
autres salades	5,87	1,02	4,85	82,6%
poireaux	6,65	0,44	6,21	93,4%
<b>Total</b>	<b>22,11</b>	<b>4,77</b>	<b>17,34</b>	<b>78,4%</b>
<b>Pomme de terre</b>	<b>43,56</b>	<b>10,16</b>	<b>33,4</b>	<b>76,7%</b>
<b>Légumes racines</b>				
carottes	10,89	3,43	7,46	68,5%
<b>Total</b>	<b>10,89</b>	<b>3,43</b>	<b>7,46</b>	<b>68,5%</b>
<b>Légumes fruits</b>				
tomates	8,3	4,87	3,43	41,3%
choux fleurs	3,61	2,27	1,34	37,1%
artichauts	1,29	0,73	0,56	43,4%
haricots verts	6,41	0,63	5,78	90,2%
légumes secs	1,03	0,46	0,57	55,3%
<b>Total</b>	<b>20,64</b>	<b>8,96</b>	<b>11,68</b>	<b>56,6%</b>
pommes	22,69	17,79	4,9	21,6%
poires	3,29	2,69	0,6	18,2%
raisin de table	1,58	1,52	0,06	3,8%
pêches et brugnons	4,44	4,03	0,41	9,2%
confitures et compotes	3,02	1,45	1,57	52,0%
<b>Total</b>	<b>35,02</b>	<b>27,48</b>	<b>7,54</b>	<b>21,5%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif du secteur agricole vivant dans une commune rurale (INSEE [4])  
(suite)**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Produits animaux</b>				
<b>Viande</b>				
boeuf	15,14	9,37	5,77	38,1%
veau	3,46	2,07	1,39	40,2%
mouton	1,92	0,89	1,03	53,6%
porc	10,67	6,56	4,11	38,5%
charcuterie	9,16	6,65	2,51	27,4%
jambon	3,84	3,69	0,15	3,9%
saucisse fraîche	2,12	1,76	0,36	17,0%
saucisson	2,18	1,94	0,24	11,0%
<b>Total</b>	<b>48,49</b>	<b>32,93</b>	<b>15,56</b>	<b>32,1%</b>
Volailles	17,87	4,7	13,17	<b>73,7%</b>
oeufs [1]	10,41	3,84	6,57	<b>63,1%</b>
<b>Lapins</b>	<b>5,53</b>	<b>0,35</b>	<b>5,18</b>	<b>93,7%</b>
<b>Gibier</b>	<b>1,49</b>	<b>0,17</b>	<b>1,32</b>	<b>88,6%</b>
<b>Produits laitiers</b>				
Lait [2]	88,39	61,77	26,62	30,1%
Fromage [3]	14,33	13,62	0,71	5,0%
Yaourt [4]	104,41	100,5	3,91	3,7%
Beurre [5]	6,47	6,14	0,33	5,1%
<b>Total eq. lait</b>	<b>227,47</b>	<b>194,10</b>	<b>33,37</b>	<b>14,7%</b>
<b>Poissons</b>	<b>5,13</b>	<b>4,35</b>	<b>0,78</b>	<b>15,2%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif du secteur agricole vivant dans une commune urbaine (INSEE[4])**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Végétaux</b>				
<b>Céréales</b>				
pains	57,24	56,92	0,32	0,6%
pâtes	8,63	8,63	0	0,0%
riz	2,78	2,78	0	0,0%
farine	2,48	2,48	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>71,13</b>	<b>70,81</b>	<b>0,32</b>	<b>0,4%</b>
<b>Légumes feuilles</b>				
laitues	4,54	1,33	3,21	70,7%
endives	3,36	2,86	0,5	14,9%
autres salades	7,85	2,42	5,43	69,2%
poireaux	6,79	1,23	5,56	81,9%
<b>Total</b>	<b>22,54</b>	<b>7,84</b>	<b>14,7</b>	<b>65,2%</b>
<b>Pomme de terre</b>	<b>39,15</b>	<b>14,59</b>	<b>24,56</b>	<b>62,7%</b>
<b>Légumes racines</b>				
carottes	11,28	5,09	6,19	54,9%
<b>Total</b>	<b>11,28</b>	<b>5,09</b>	<b>6,19</b>	<b>54,9%</b>
<b>Légumes fruits</b>				
tomates	15,54	10,54	5	32,2%
choux fleurs	4,61	3,62	0,99	21,5%
artichauts	0,86	0,86	0	0,0%
haricots verts	8,08	1,3	6,78	83,9%
légumes secs	1,47	0,63	0,84	57,1%
<b>Total</b>	<b>30,56</b>	<b>16,95</b>	<b>13,61</b>	<b>44,5%</b>
pommes	17,31	15,28	2,03	11,7%
poires	6,28	5,71	0,57	9,1%
raisin de table	2,31	2,21	0,1	4,3%
pêches et brugnons	12,91	9,18	3,73	28,9%
confitures et compotes	3,25	1,55	1,7	52,3%
<b>Total</b>	<b>42,06</b>	<b>33,93</b>	<b>8,13</b>	<b>19,3%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif du secteur agricole vivant dans une commune urbaine (INSEE [4])  
(suite)**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Produits animaux</b>				
<b>Viande</b>				
boeuf	13,12	12,39	0,73	5,6%
veau	3,25	3	0,25	7,7%
mouton	3,75	2,59	1,16	30,9%
porc	8,66	7,23	1,43	16,5%
charcuterie	9,03	8,26	0,77	8,5%
jambon	4,36	4,32	0,04	0,9%
saucisse fraîche	3,01	2,64	0,37	12,3%
saucisson	1,98	1,91	0,07	3,5%
<b>Total</b>	<b>47,16</b>	<b>42,34</b>	<b>4,82</b>	<b>10,2%</b>
<b>Volailles</b>				
oeufs [1]	15,99	8,58	7,41	<b>46,3%</b>
	12,00	6,67	5,33	<b>44,4%</b>
Lapins	5,56	1,34	4,22	<b>75,9%</b>
Gibier	0,18	0	0,18	<b>100,0%</b>
<b>Produits laitiers</b>				
Lait [2]	72,27	69,54	2,73	3,8%
Fromage [3]	20,04	20,04	0	0,0%
Yaourt [4]	168,42	168,42	0	0,0%
Beurre [5]	6,47	6,26	0,21	3,2%
<b>Total eq. lait</b>	<b>265,03</b>	<b>261,93</b>	<b>3,10</b>	<b>1,2%</b>
<b>Poissons</b>	<b>7,88</b>	<b>7,88</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune rurale (INSEE [4])**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Végétaux</b>				
<b>Céréales</b>				
pains	46,26	46,16	0,1	0,2%
pâtes	6,22	6,22	0	0,0%
riz	2,41	2,41	0	0,0%
farine	2,86	2,86	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>57,75</b>	<b>57,65</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2%</b>
<b>Légumes feuilles</b>				
laitues	3,76	1,69	2,07	55,1%
endives	3,55	3,11	0,44	12,4%
autres salades	4,6	1,97	2,63	57,2%
poireaux	4,13	1,24	2,89	70,0%
<b>Total</b>	<b>16,04</b>	<b>8,01</b>	<b>8,03</b>	<b>50,1%</b>
<b>Pomme de terre</b>	<b>31,03</b>	<b>17,36</b>	<b>13,67</b>	<b>44,1%</b>
<b>Légumes racines</b>				
carottes	9,41	5,84	3,57	37,9%
<b>Total</b>	<b>9,41</b>	<b>5,84</b>	<b>3,57</b>	<b>37,9%</b>
<b>Légumes fruits</b>				
tomates	9,23	6,35	2,88	31,2%
choux fleurs	2,58	2,28	0,3	11,6%
artichauts	1,39	0,91	0,48	34,5%
haricots verts	3,69	0,47	3,22	87,3%
légumes secs	0,88	0,8	0,08	9,1%
<b>Total</b>	<b>17,77</b>	<b>10,81</b>	<b>6,96</b>	<b>39,2%</b>
<b>Fruit du verger</b>				
pommes	12,95	11,64	1,31	10,1%
poires	2,88	2,38	0,5	17,4%
raisin de table	2,43	2,23	0,2	8,2%
pêches et brugnons	4,49	4,35	0,14	3,1%
confitures et compotes	3,1	2,34	0,76	24,5%
<b>Total</b>	<b>25,85</b>	<b>22,94</b>	<b>2,91</b>	<b>11,3%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune rurale (INSEE [4])  
(suite)**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Produits animaux</b>				
<b>Viande</b>				
boeuf	11,49	11,41	0,08	0,7%
veau	2,9	2,86	0,04	1,4%
mouton	2,08	1,89	0,19	9,1%
porc	7,91	7,55	0,36	4,6%
charcuterie	9,56	9,1	0,46	4,8%
jambon	4,78	4,71	0,07	1,5%
saucisse fraîche	2,14	2,12	0,02	0,9%
saucisson	2,82	2,75	0,07	2,5%
<b>Total</b>	<b>43,68</b>	<b>42,39</b>	<b>1,29</b>	<b>3,0%</b>
<b>Volailles</b>	13,18	9,99	3,19	<b>24,2%</b>
<b>Oeufs</b> [1]	9,34	6,86	2,48	<b>26,5%</b>
<b>Lapins</b>	2,67	1,07	1,6	<b>59,9%</b>
<b>Gibier</b>	0,53	0,11	0,42	<b>79,2%</b>
<b>Produits laitiers</b>				
Lait [2]	70,99	67,67	3,32	4,7%
Fromage [3]	15,39	15,33	0,06	0,4%
Yaourt [4]	145,26	145,26	0	0,0%
Beurre [5]	5,49	5,48	0,01	0,2%
<b>Total eq. lait</b>	<b>221,9</b>	<b>218,1</b>	<b>3,82</b>	<b>1,7%</b>
<b>Poissons</b>	<b>5,79</b>	<b>5,51</b>	<b>0,28</b>	<b>4,8%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune de moins de 10 000 habitants (INSEE [4])**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Végétaux</b>				
<b>Céréales</b>				
pains	43,2	43,17	0,03	0,1%
pâtes	5,33	5,33	0	0,0%
riz	3,11	3,11	0	0,0%
farine	3,22	3,22	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>54,86</b>	<b>54,83</b>	<b>0,03</b>	<b>0,0%</b>
<b>Légumes feuilles</b>				
laitues	3,74	2,18	1,56	41,7%
endives	4,47	4,19	0,28	6,3%
autres salades	5,24	2,72	2,52	48,1%
poireaux	3,93	1,83	2,1	53,4%
<b>Total</b>	<b>17,38</b>	<b>10,92</b>	<b>6,46</b>	<b>37,2%</b>
<b>Pomme de terre</b>	<b>32,09</b>	<b>22,73</b>	<b>9,36</b>	<b>29,2%</b>
<b>Légumes racines</b>				
carottes	8,73	5,76	2,97	34,0%
<b>Total</b>	<b>8,73</b>	<b>5,76</b>	<b>2,97</b>	<b>34,0%</b>
<b>Légumes fruits</b>				
tomates	9,84	6	3,84	39,0%
choux fleurs	2,71	2,54	0,17	6,3%
artichauts	0,82	0,74	0,08	9,8%
haricots verts	4,28	0,92	3,36	78,5%
légumes secs	0,49	0,46	0,03	6,1%
<b>Total</b>	<b>18,14</b>	<b>10,66</b>	<b>7,48</b>	<b>41,2%</b>
<b>Fruit du verger</b>				
pommes	15,09	11,99	3,1	20,5%
poires	2,08	1,91	0,17	8,2%
raisin de table	3,79	3,75	0,04	1,1%
pêches et brugnons	5,11	4,77	0,34	6,7%
confitures et compotes	3,3	2,49	0,81	24,5%
<b>Total</b>	<b>29,37</b>	<b>24,91</b>	<b>4,46</b>	<b>15,2%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune de moins de 10 000 habitants (INSEE [4])  
(suite)**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Produits animaux</b>				
<b>Viande</b>				
boeuf	12,2	12,17	0,03	0,2%
veau	3,1	3,05	0,05	1,6%
mouton	1,62	1,57	0,05	3,1%
porc	7,44	7,35	0,09	1,2%
charcuterie	7,77	7,67	0,1	1,3%
jambon	4,69	4,67	0,02	0,4%
saucisse fraîche	1,89	1,88	0,01	0,5%
saucisson	2,21	2,21	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>40,92</b>	<b>40,57</b>	<b>0,35</b>	<b>0,9%</b>
Volailles	13,77	11,72	2,05	<b>14,9%</b>
Oeufs [1]	8,99	7,26	1,73	<b>19,2%</b>
<b>Lapins</b>	2,68	1,54	1,14	<b>42,5%</b>
<b>Gibier</b>	0,31	0,02	0,29	<b>93,5%</b>
<b>Produits laitiers</b>				
Lait [2]	64,91	64,63	0,28	0,4%
Fromage [3]	15,47	15,45	0,02	0,1%
Yaourt [4]	155,11	155,11	0	0,0%
Beurre [5]	4,9	4,9	0	0,0%
<b>Total eq. lait</b>	<b>216,68</b>	<b>216,24</b>	<b>0,44</b>	<b>0,2%</b>
<b>Poissons</b>	<b>6,84</b>	<b>6,32</b>	<b>0,52</b>	<b>7,6%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune urbaine de 10 000 à 100 000 habitants (INSEE [4])**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Végétaux</b>				
<b>Céréales</b>				
pains	40,84	40,82	0,02	0,0%
pâtes	6,14	6,1	0,04	0,7%
riz	3,73	3,73	0	0,0%
farine	2,84	2,84	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>53,55</b>	<b>53,49</b>	<b>0,06</b>	<b>0,1%</b>
<b>Légumes feuilles</b>				
laitues	2,94	2,29	0,65	22,1%
endives	4,02	3,91	0,11	2,7%
autres salades	4,23	2,8	1,43	33,8%
poireaux	3,52	2,27	1,25	35,5%
<b>Total</b>	<b>14,71</b>	<b>11,27</b>	<b>3,44</b>	<b>23,4%</b>
<b>Pomme de terre</b>	<b>33,84</b>	<b>30,34</b>	<b>3,5</b>	<b>10,3%</b>
<b>Légumes racines</b>				
carottes	7,22	6,03	1,19	16,5%
<b>Total</b>	<b>7,22</b>	<b>6,03</b>	<b>1,19</b>	<b>16,5%</b>
<b>Légumes fruits</b>				
tomates	9,83	8,11	1,72	17,5%
choux fleurs	2,2	2,13	0,07	3,2%
artichauts	1,15	0,98	0,17	14,8%
haricots verts	2,22	1,29	0,93	41,9%
légumes secs	0,97	0,95	0,02	2,1%
<b>Total</b>	<b>16,37</b>	<b>13,46</b>	<b>2,91</b>	<b>17,8%</b>
<b>Fruit du verger</b>				
pommes	13,89	13,07	0,82	5,9%
poires	2,91	2,72	0,19	6,5%
raisin de table	2,81	2,72	0,09	3,2%
pêches et brugnons	3,79	3,68	0,11	2,9%
confitures et compotes	3,58	3,18	0,4	11,2%
<b>Total</b>	<b>26,98</b>	<b>25,37</b>	<b>1,61</b>	<b>6,0%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune urbaine de 10 000 à 100 000 habitants(INSEE [4])  
(suite)**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Produits animaux</b>				
<b>Viande</b>				
boeuf	11,84	11,77	0,07	0,6%
veau	3,2	3,14	0,06	1,9%
mouton	2,75	2,71	0,04	1,5%
porc	7,26	7,21	0,05	0,7%
charcuterie	8,51	8,36	0,15	1,8%
jambon	4,59	4,57	0,02	0,4%
saucisse fraîche	1,73	1,73	0	0,0%
saucisson	2,54	2,51	0,03	1,2%
<b>Total</b>	<b>42,42</b>	<b>42,0</b>	<b>0,42</b>	<b>1,0%</b>
<b>Volailles</b>	13,01	12,34	0,67	<b>5,1%</b>
<b>Oeufs</b> [1]	8,82	7,74	1,08	<b>12,3%</b>
<b>Lapins</b>	1,88	1,36	0,52	<b>27,7%</b>
<b>Gibier</b>	0,37	0,05	0,32	<b>86,5%</b>
<b>Produits laitiers</b>				
Lait [2]	67,62	67,48	0,14	0,2%
Fromage [3]	16,07	16,06	0,01	0,1%
Yaourt [4]	166,96	166,83	0,13	0,1%
Beurre [5]	4,83	4,8	0,03	0,6%
<b>Total eq. lait</b>	<b>225,55</b>	<b>225,26</b>	<b>0,29</b>	<b>0,1%</b>
<b>Poissons</b>	<b>6,43</b>	<b>6,05</b>	<b>0,38</b>	<b>5,9%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune urbaine de plus de 100 000 habitants (sauf Paris) (INSEE [4])**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Végétaux</b>				
<b>Céréales</b>				
pains	39,19	39,11	0,08	0,2%
pâtes	5,81	5,81	0	0,0%
riz	4,03	4,03	0	0,0%
farine	2,93	2,93	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>51,96</b>	<b>51,88</b>	<b>0,08</b>	<b>0,2%</b>
<b>Légumes feuilles</b>				
laitues	3,06	2,57	0,49	16,0%
endives	4,55	4,47	0,08	1,8%
autres salades	3,68	2,86	0,82	22,3%
poireaux	3,58	2,94	0,64	17,9%
<b>Total</b>	<b>14,87</b>	<b>12,84</b>	<b>2,03</b>	<b>13,7%</b>
<b>Pomme de terre</b>	<b>35,39</b>	<b>32,7</b>	<b>2,69</b>	<b>7,6%</b>
<b>Légumes racines</b>				
carottes	7,65	6,85	0,8	10,5%
<b>Total</b>	<b>7,65</b>	<b>6,85</b>	<b>0,8</b>	<b>10,5%</b>
<b>Légumes fruits</b>				
tomates	10,44	8,42	2,02	19,3%
choux fleurs	2,43	2,36	0,07	2,9%
artichauts	1,4	1,39	0,01	0,7%
haricots verts	3	1,93	1,07	35,7%
légumes secs	0,63	0,62	0,01	1,6%
<b>Total</b>	<b>17,9</b>	<b>14,72</b>	<b>3,18</b>	<b>17,8%</b>
<b>Fruit du verger</b>				
pommes	14,38	13,57	0,81	5,6%
poires	3,64	3,26	0,38	10,4%
raisin de table	3,7	3,53	0,17	4,6%
pêches et brugnons	4,99	4,91	0,08	1,6%
confitures et compotes	2,96	2,7	0,26	8,8%
<b>Total</b>	<b>29,67</b>	<b>27,97</b>	<b>1,7</b>	<b>5,7%</b>

**Consommation annuelle par personne pour un actif hors du secteur agricole vivant dans une commune urbaine de plus de 100 000 habitants (sauf Paris) (INSEE [4])  
(suite)**

	consommation totale (kg)	hors autoconsommation (kg)	autoconsommation (kg)	Autarcie
<b>Produits animaux</b>				
<b>Viande</b>				
boeuf	11,8	11,79	0,01	0,1%
veau	2,9	2,9	0	0,0%
mouton	6,17	6,12	0,05	0,8%
porc	5,99	5,97	0,02	0,3%
charcuterie	8,33	8,31	0,02	0,2%
jambon	4,77	4,75	0,02	0,4%
saucisse fraîche	2,04	2,04	0	0,0%
saucisson	2,49	2,49	0	0,0%
<b>Total</b>	<b>44,49</b>	<b>44,37</b>	<b>0,12</b>	<b>0,3%</b>
<b>Volailles</b>	12,28	11,85	0,43	<b>3,5%</b>
<b>Oeufs</b> [1]	8,96	8,50	0,46	<b>5,1%</b>
<b>Lapins</b>	1,65	1,37	0,28	<b>17,0%</b>
<b>Gibier</b>	0,27	0,12	0,15	<b>55,6%</b>
<b>Produits laitiers</b>				
Lait [2]	61,77	61,64	0,13	0,2%
Fromage [3]	16,38	16,36	0,02	0,1%
Yaourt [4]	164,39	164,27	0,12	0,1%
Beurre [5]	4,75	4,74	0,01	0,2%
<b>Total eq. lait</b>	<b>221,72</b>	<b>221,40</b>	<b>0,32</b>	<b>0,1%</b>
<b>Poissons</b>	<b>6,9</b>	<b>6,72</b>	<b>0,18</b>	<b>2,6%</b>