

## **Problèmes possibles dus aux radionucléides naturels dans le cadre de projets de géothermie**

Le présent rapport s'appuie sur l'expertise du même nom du 18.12.2012, dans laquelle il a déjà été démontré que les conséquences possibles d'un système EGS sur la population, le personnel et l'environnement sont si faibles que la plupart des points ont pu être traités de manière exhaustive dans l'étude préliminaire à l'EIE.

Le présent rapport prend en compte les avis des cantons relatifs à l'expertise du 18.12.2012, ainsi que les nouvelles limites attendues de l'ORaP révisée.

Il constitue également un document d'accompagnement pour le rapport d'impact de l'EIE, auquel on pourra se référer afin d'éviter les répétitions et qui contient à cet effet, sous forme d'annexe, des indications sur la mesure du débit de dose et le rapport entre le débit de dose et l'activité spécifique.

Les mesures organisationnelles, les campagnes de mesure et les collectes d'échantillons sont abordées de manière plus détaillée dans les différents chapitres du rapport d'impact de l'EIE.

### **Résumé**

Chaque roche en Suisse, qu'elle soit cristalline ou sédimentaire, contient des traces d'uranium, de thorium et de l'isotope de potassium  $^{40}\text{K}$ . L'énergie libérée lors de la désintégration de ces radionucléides fournit environ 50% du flux thermique présent dans le manteau terrestre. Les radionucléides naturels sont ainsi indispensables à la géothermie, mais peuvent également poser des problèmes de radioprotection lors de l'exploitation de la chaleur terrestre.

Bien entendu, l'eau présente à l'état naturel ou acheminée artificiellement peut, par contact avec la roche, dissoudre une partie de ces radionucléides. Les teneurs en radium parfois fortement accrues dans les eaux thermales suisses prouvent que ce phénomène se produit réellement. - Le radium est un membre soluble des chaînes de désintégration de l'uranium et du thorium.

Pour les systèmes dans lesquels l'eau est acheminée artificiellement (systèmes EGS), on ne dispose pas encore de suffisamment de données, mais les processus géochimiques qui se déroulent dans le sous-sol à des températures élevées sont les mêmes que dans le cas d'un système d'eaux thermales naturelles. Ainsi, même dans un système EGS, on peut s'attendre, après quelques années d'exploitation, à des teneurs accrues en radionucléides dans l'eau de circulation.

Les concentrations en radionucléides dans toutes les eaux thermales suisses, ainsi que dans le fluide en circulation d'une centrale d'essai géothermique en France, se situent toutefois en dessous des limites suisses pour l'eau potable. D'éventuelles fuites dans les installations de surface d'un système EGS ne menacent ainsi ni le personnel, ni l'environnement.

Les concentrations du gaz inerte radioactif qu'est le radon sont faibles dans les eaux thermales. Une fuite ne peut donc entraîner aucun dépassement des limites suisses, ni pour le personnel, ni pour l'environnement.

Des problèmes de radioprotection peuvent toutefois se poser là où les radionucléides s'accumulent, au niveau des croûtes qui se forment dans le réseau de conduites ou dans les résidus de filtration. Cela peut se traduire par des radiations accrues sur les postes de travail. Néanmoins, le risque le plus important est celui d'une contamination lors de la manipulation de ces dépôts, par exemple lors de réparations, de nettoyages ou de remplacements des filtres. L'élimination de ces «déchets radioactifs» pose un problème supplémentaire.

Ces problèmes de radioprotection surviennent également lors de la préparation d'eaux minérales ou lors du creusement de tunnels dans des roches à forte teneur en uranium. Quelques exemples en Suisse montrent que ces problèmes sont maîtrisables, en mettant en œuvre des mesures simples.

Cela restera possible en respectant les limites plus basses de l'Ordonnance sur la radioprotection (ORaP) révisée. Les matériaux naturellement radioactifs relèvent en effet désormais également de l'ORaP. Cependant, la manipulation de matériaux présentant des concentrations en radionucléides inférieures aux nouvelles limites d'exemption pour les radionucléides d'origine naturelle n'est soumise à aucune restriction.

Si les limites d'exemption sont dépassées, une autorisation est nécessaire pour la manipulation de ces matériaux. Les conditions de l'autorisation doivent garantir le respect de l'objectif de protection de 0,3 mSv/an, à la fois pour le personnel et pour la population (auparavant 1 mSv/an).

## **Bases légales et compétences dans le domaine de la radioprotection**

On estime qu'au moment des premiers travaux de réalisation des installations EGS, l'Ordonnance fédérale révisée sur la radioprotection (ORaP) sera déjà en vigueur. C'est pourquoi on utilisera ici, dans la mesure des connaissances actuelles, les principes et limites de l'ordonnance révisée.

Désormais, tout matériau radioactif relèvera de l'ORaP, même les matériaux naturellement radioactifs. Les limites d'exemption pour les matériaux naturellement radioactifs, dont la composition en nucléides n'a pas été modifiée par des processus industriels, sont néanmoins nettement plus élevées que pour les radionucléides produits de façon artificielle.

La manipulation de matériaux présentant des concentrations en radionucléides inférieures à la limite d'exemption n'est soumise à aucune restriction.

“

#### Art. 3bis

Limite d'exemption pour les radionucléides d'origine naturelle dans des solides se trouvant en équilibre séculaire avec leurs nucléides descendants:

Radionucléides naturels de la chaîne U-238	1000 Bq kg <sup>-1</sup>
Radionucléides naturels de la chaîne Th-232	1000 Bq kg <sup>-1</sup>
K-40	10 000 Bq kg <sup>-1</sup>

“

Une comparaison avec les activités d'uranium et de thorium mesurées en Suisse pour différentes roches (Illustr. 1) montre que ces limites sont loin d'être dépassées dans les débris de forage. L'isotope <sup>40</sup>K présent dans les débris de forage ne posera assurément aucun problème, car la limite de 10 000 Bq/kg correspond à environ 33% en masse de potassium, valeur qui n'est jamais atteinte même en présence de parts extrêmement élevées de feldspaths potassiques.

On ne sait pas encore très bien si les limites d'exemption selon l'art. 3bis s'appliqueront également aux boues et dépôts présents dans les conduites. La pratique montrera si les autorités considéreront également ces matériaux comme des «matériaux naturellement radioactifs dont la composition en nucléides n'a pas été modifiée par des processus industriels».

On peut supposer que ce sera le cas, car des boues et dépôts de ce type surviennent également de manière naturelle dans les sources et captages d'eaux thermales, ainsi que dans le traitement des eaux.

Si les limites d'exemption sont dépassées, une autorisation de la SUVA est nécessaire pour la manipulation de ces matériaux. Les conditions de l'autorisation doivent garantir le respect de l'objectif de protection de 0,3 mSv/an, à la fois pour le personnel et pour la population (auparavant 1 mSv/an). Si le matériau doit être mis en décharge, une autorisation de l'OFSP sera probablement également nécessaire. Cela se décidera dans le cadre de l'application de l'ORaP révisée.

Les mesures organisationnelles permettant de respecter la limite des 0.3 mSv/an dans la zone de travail consistent à stocker la matière première ayant une radioactivité élevée de sorte qu'aucun accès libre ne soit possible et que le séjour à proximité d'éléments de l'installation fortement radioactifs soit limité dans le temps.

La limite attendue de 0,3 mSv/an signifie que le personnel présent sur le chantier n'est pas considéré comme étant «professionnellement exposé aux radiations», si les limites de débit de dose suivantes sont respectées:

Poste de travail occupé en permanence, 2000 h/an: 150 nSv/h

Poste de travail occupé temporairement, 400 h/an: 750 nSv/h

L'objectif de protection de 0.3 mSv/an s'applique également à l'introduction des eaux usées dans les eaux accessibles au public (collecteurs). Cette limite est aisément respectée lorsque les eaux usées présentent, en termes de radioactivité, une qualité équivalente à celle de l'eau potable. Les limites pour l'eau potable sont déterminées dans l'Ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). Si l'on se base sur les expériences

réalisées avec des eaux usées issues de constructions de tunnels en Suisse, ces limites ont jusqu'à présent pu être respectées sans problème.

Cela ne devrait pas changer, malgré la limite plus basse de 30 microgrammes d'uranium par litre d'eau potable, prévue pour la prochaine révision de l'OSEC. Seules quelques eaux souterraines en Suisse contiennent naturellement plus de 30 µg/l (Illustr. 2).

Désormais, la limite pour la concentration en radon sur les postes de travail sera de l'ordre de 1000 Bq/m<sup>3</sup> en moyenne mensuelle (contre 3000 Bq/m<sup>3</sup> auparavant).

En matière de radioprotection dans le domaine du travail, la compétence revient à la SUVA. Cela inclut, sur le chantier, la manipulation des débris de forage, de la boue de forage et des eaux usées avant leur rejet dans un collecteur.

L'OFSP, quant à lui, est compétent pour la surveillance de la radioactivité environnementale, avec le soutien des cantons pour tout ce qui touche au domaine agro-alimentaire.

### **Radionucléides naturels dans les roches suisses**

Lors de la solidification de roches magmatiques, de l'uranium et du thorium, notamment, sont emprisonnés dans des minéraux lourds. L'isotope du potassium <sup>40</sup>K se retrouve majoritairement dans les feldspaths potassiques. Un granite typique des Alpes suisses contient de 10 à 15 ppm de Th et environ 5 ppm d'U. Les granites suisses sont ainsi plutôt faiblement actifs, du moins en ce qui concerne l'U et le Th.

On observe des radioactivités nettement plus importantes dans les zones frontalières des massifs cristallins. A ces endroits, les fluides hydrothermaux ont provoqué une accumulation. En raison d'accumulations de ce type induites par des processus géothermiques, les gneiss sont également globalement plus actifs que les granites. Les limites de l'ORaP pour U et Th, de 1000 Bq/kg, ne sont toutefois que rarement atteintes pour U, et jamais pour Th (Illustr. 1).

Pour ce qui est des sédiments, les calcaires jurassiques et crétacés sont très faiblement radioactifs, avec en général moins de 1 ppm d'U et de Th. Le Dogger semble être une exception, car on a souvent retrouvé dans les eaux souterraines issues du Dogger des teneurs élevées en radium.

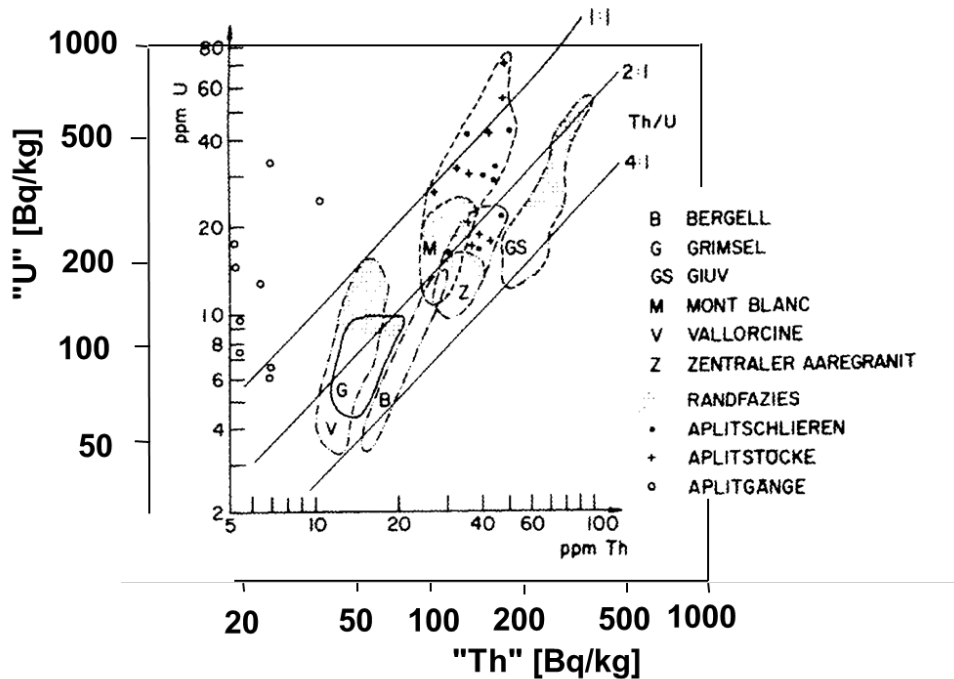
On en trouve également un peu plus, en général, dans le trias, notamment dans le Buntsandstein.

Dans la molasse, on trouve fréquemment des accumulations d'uranium très localisées dans les fossiles, notamment dans la zone de contact entre la molasse d'eau douce et la molasse marine. Les charbons molassiques affichent généralement des teneurs en uranium plutôt élevées. Ces accumulations ont pour origine des conditions anoxiques dans l'environnement des fossiles. L'uranium dissout dans l'eau se dépose, par manque d'oxygène.

D'importantes radioactivités d'uranium ont été trouvées dans les sédiments du Permo-carbonifère, notamment dans le Verrucano du Bas-Valais et dans le Verrucano glaronnais. Dans ce cas, l'uranium est la plupart du temps finement disséminé dans le liant du sédiment

clastique.

Lors de forages profonds effectués dans le Plateau suisse, mais aussi dans le Jura, la probabilité est relativement élevée de rencontrer des sédiments du Permo-carbonifère. On ne sait pas exactement si les radioactivités d'uranium sont également accrues dans ces cuvettes du Permo-carbonifère. Les importantes radioactivités relevées dans le Verrucano du Bas-Valais et dans le Verrucano glaronnais appellent cependant à la prudence lors de la manipulation des débris de forage et de la boue de forage.



**Illustr. 1 :** Distribution selon: Labhart T.P. et Rybach L.,  
Granite und Uranvererzungen in den Schweizer Alpen  
(Granites et dépôts d'uranium dans les Alpes suisses),  
Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen, Nr.  
60, Kümmerly & Frey, Berne, 1974

## Radionucléides naturels dans les eaux souterraines suisses

Parmi les nombreux radionucléides dans les chaînes de désintégration de l'uranium et du thorium, seuls quelques-uns sont suffisamment solubles et ont une durée de vie suffisamment élevée pour se retrouver dans les eaux souterraines. Il s'agit des isotopes  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{222}\text{Rn}$  de la chaîne de désintégration de l'uranium et occasionnellement également de l'isotope  $^{228}\text{Ra}$  de la chaîne de désintégration du thorium.  $^{235}\text{U}$  et ses produits de désintégration peuvent être négligés, car le rapport de radioactivité naturelle  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  s'élève à seulement 1/20.

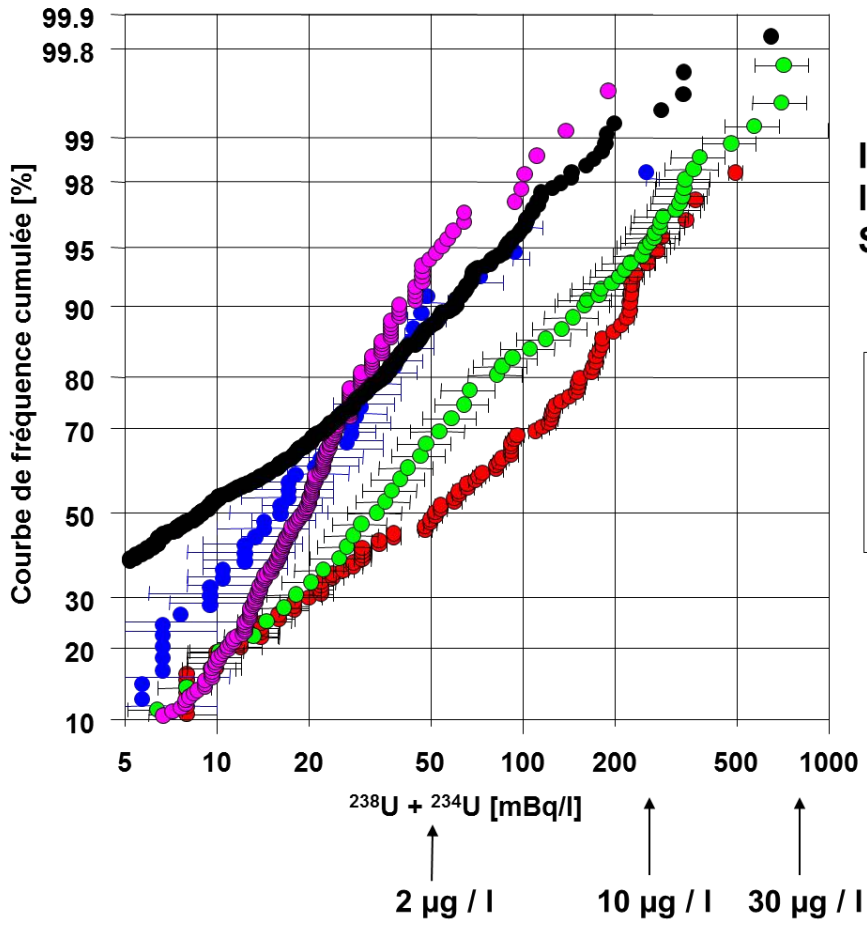
Dans des conditions pauvres en oxygène, telles que celles régnant dans les eaux souterraines profondes, l'uranium est très peu soluble, mais le radium l'est facilement. Dans des conditions riches en oxygène, dans les eaux souterraines peu profondes, on retrouve sous forme d'hydroxyde de fer ou de manganèse, présents au moins sous forme de traces.

Les hydroxydes de fer et notamment de manganèse absorbent très efficacement le radium. C'est pourquoi on ne trouve que rarement des traces de radium dans les eaux souterraines riches en oxygène. L'uranium domine (Illustr. 2):

Les conditions sont légèrement plus complexes en ce qui concerne le gaz inerte radioactif qu'est le  $^{222}\text{Rn}$  (Radon). En tant que gaz inerte, il est facilement soluble, avec ou sans oxygène. On ne le retrouve cependant en concentrations élevées que là où le  $^{226}\text{Ra}$ , mère du radon, a été accumulé pendant un temps relativement long avec des hydroxydes de Mn ou de Fe. Le cas se présente par exemple lorsque les eaux thermales pauvres en oxygène se mélangent à des eaux souterraines riches en oxygène.

Pour résumer, cela signifie que les eaux profondes généralement pauvres en oxygène, caractérisées par des températures élevées, présentent des teneurs élevées en radium, de faibles concentrations d'uranium et de faibles concentrations de radon (Illustr. 3,4). Les eaux peu profondes riches en oxygène contiennent à l'inverse plutôt de l'uranium, presque pas de radium et au-dessus des zones de mélange avec les eaux profondes, des concentrations accrues en radon.

Pour les systèmes EGS, cela signifie qu'à la fois dans les fluides naturels susceptibles d'être rencontrés et dans les eaux circulant artificiellement, on peut s'attendre à de faibles concentrations d'uranium, à de faibles concentrations de radon mais à des concentrations de radium accrues. Les analyses des fluides issus de la centrale d'essai géothermique française confirment ces hypothèses (Tab. 1).



**Illustr. 2 : Uranium dans les eaux souterraines de Suisse**

- NAQUA-trend 2005, n = 51
- VS, n = 113
- GR Diss. Deflorin, n = 360
- G\_Tipp, n = 221
- TI\_06, n = 630

Tab.1: Données d'analyse pour des échantillons de fluide issus de la centrale d'essai EGS de Soutz-sous-Forêts

Echantillon	$^{226}\text{Ra}$ [mBq/l]	$^{228}\text{Ra}$ [mBq/l]	$^{238}\text{U}$ [mBq/l]	$^{234}\text{U}$ [mBq/l]
Puits-2	844 ± 26	716 ± 41	5 ± 3	12 ± 4
Puits-4	64 ± 8	69 ± 13	10 ± 4	< 5

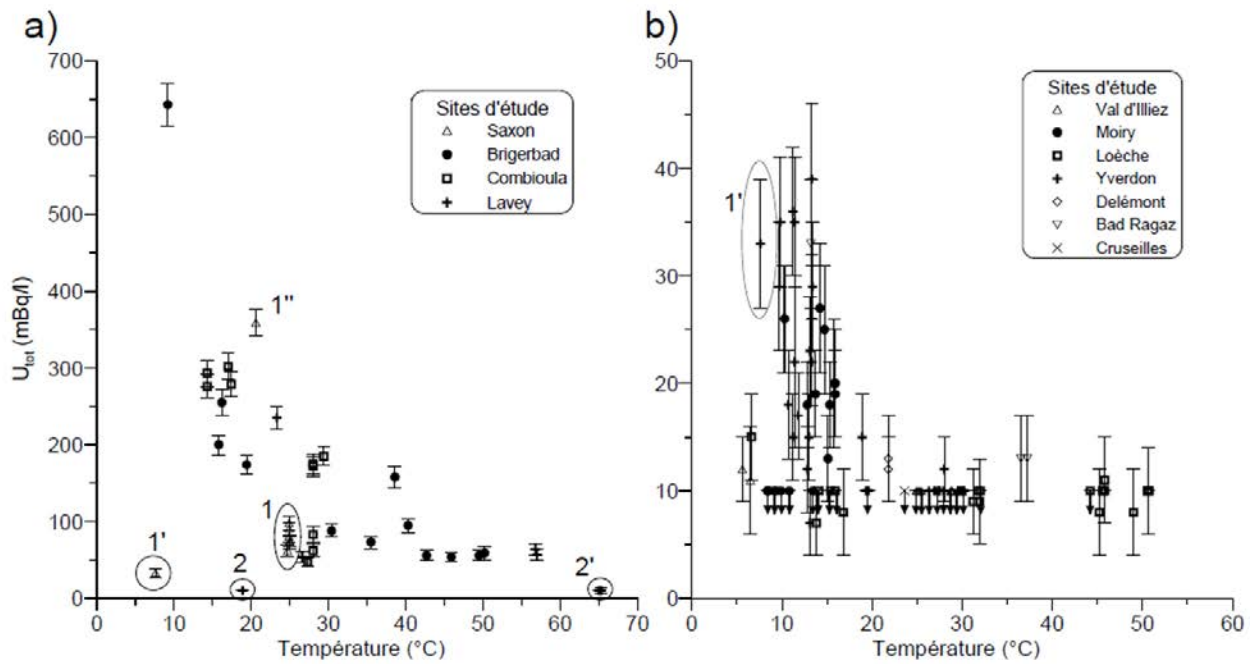


Figure 5.5 : Teneur en uranium en fonction de la température. Les sites ont été séparés en deux groupes (graphes a et b) en fonction de leur teneurs en uranium. Saxon : 1 : source Thermale, 1' : source de l'Apleyeux, 1'' forage du terrain de football et Lavey : 2 : forage P14 et 2' : P201 et P600.

**Illustr. 3** : U vs. T pour les eaux thermales de Suisse.  $U_{tot} = U-238 + U-234$ . Tiré de: F. Gainon, Les isotopes radioactifs de la série de l'uranium-238 ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$ ) dans les eaux thermales de Suisse. Diss. Univ. Neuchatel, 2008



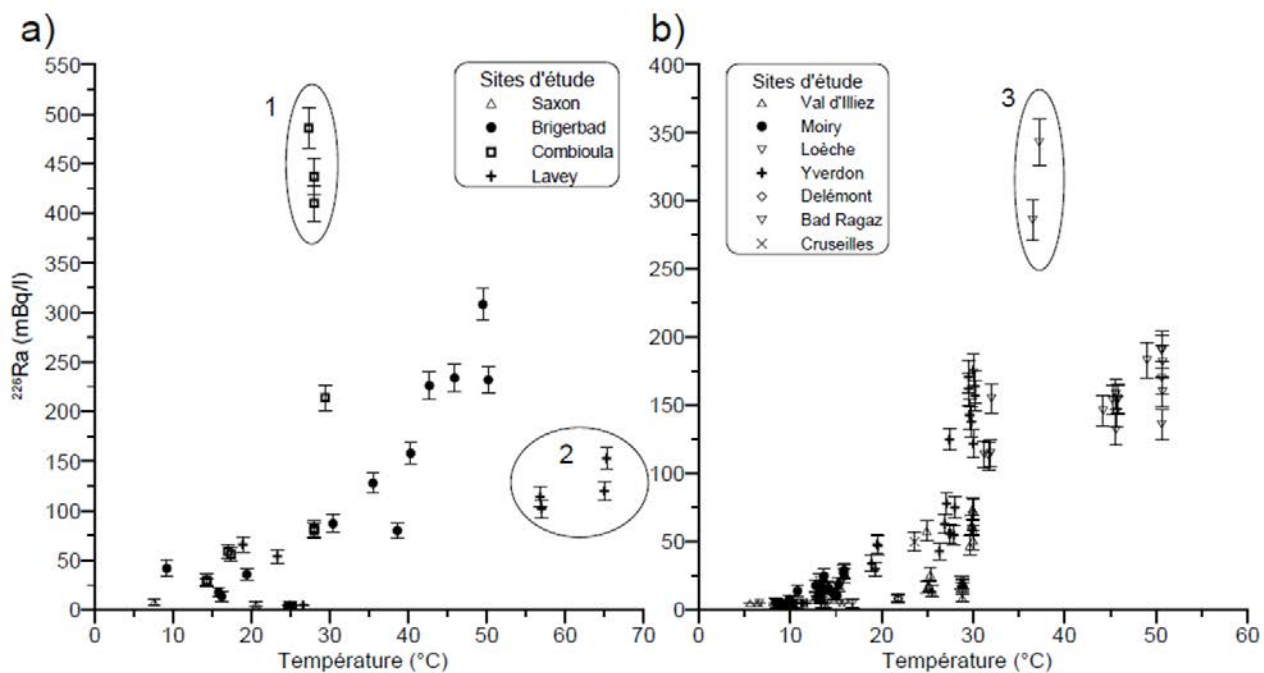


Figure 5.6 : Teneur en  $^{226}\text{Ra}$  en fonction de la température. Les deux groupes (graphes a et b) sont les mêmes que ceux de la figure 5.5. 1: forage C3 de la Combioula, 2 : Forage P201 et P600 de Lavey-des-Bains 3 : source thermale de Bad Pfäfers.

Illustr. 4 : Ra-226 vs. T pour les eaux thermales de Suisse. Tiré de: F. Gainon, Les isotopes radioactifs de la série de l'uranium-238 ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$ ) dans les eaux thermales de Suisse. Diss. Univ. Neuchâtel, 2008

## Radionucléides naturels dans les dépôts et les boues

Dans une installation de géothermie, on extrait la chaleur des eaux profondes chaudes afin de produire de l'énergie. Ce refroidissement peut entraîner le dépôt des substances dissoutes à des températures élevées. Le radium dissout peut ainsi se déposer, notamment avec le baryum qui lui est chimiquement apparenté, mais également parfois avec le calcium. Dans les deux cas, cela se produit généralement sous forme de sulfate. Les produits de désintégration du radium, à la durée de vie brève, émettent alors des radiations accrues dans la zone des croûtes. Après quelques années d'exploitation, les produits de désintégration ayant des demi-vies plus longues se sont tant accumulés que les croûtes sont également contaminées par  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{210}\text{Po}$ .

En principe, la partie d'une installation EGS située à la surface est un système entièrement confiné. Sans entrée d'oxygène, il ne devrait donc y avoir aucun hydroxyde de Fe ou de Mn. Comme cela a été observé dans le cas de la centrale d'essai française, on obtient toutefois en exploitation réelle continuellement des boues contenant des hydroxydes, contaminées par du radium et ses produits de désintégration (Tab. 2).

Les valeurs très élevées du tableau 2 ne sont pas à craindre dans les installations EGS prévues en Suisse. En effet, les conditions géologiques sont différentes de celles du haut fossé rhénan. En outre, on ne sait pas exactement après combien d'années d'exploitation les échantillons ont été prélevés. Ces données montrent toutefois que la prudence est requise avec de tels dépôts.

Pour les croûtes comme pour les boues, on peut ainsi s'attendre à des radiations localement accrues. Les travaux de nettoyage sont également exposés à un risque de contamination important.

Tab. 2: Données d'analyse pour des échantillons de solides issus de la centrale d'essai EGS de Soultz-sous-Forêts

Résidus de filtration:

Nucléides	Activité [kBq/kg frais]
$^{238}\text{U}$	< 0.1
$^{226}\text{Ra}$	$16 \pm 1$
$^{228}\text{Ra}$	$7 \pm 1$
$^{210}\text{Pb}$	$137 \pm 7$

Croûte issue d'une conduite:

Nucléides	Activité [kBq/kg frais]
$^{238}\text{U}$	< 0.1
$^{226}\text{Ra}$	$8 \pm 1$
$^{228}\text{Ra}$	$4 \pm 1$
$^{210}\text{Pb}$	$178 \pm 1$

## **Problèmes spécifiques rencontrés dans les différentes phases d'un projet de géothermie.**

**Résumé. Informations détaillées à ce sujet dans les différents chapitres du rapport d'impact de l'EIE.**

### **Travaux de forage**

Ces travaux génèrent de grandes quantités de boue de forage, de débris et d'eaux usées, dont la radioactivité doit être contrôlée régulièrement avant leur élimination. Dans le cas de la boue de forage et des débris de forage, une simple mesure du débit de dose à l'aide d'un compteur Geiger est suffisante (voir annexe). Pour les eaux usées, l'analyse d'échantillons sera requise.

### **Essais des pompes**

Lors de ces essais, on récolte des eaux usées et potentiellement des boues et les premières croûtes. Mesures comme ci-dessus et en supplément mesures du débit de dose sur les canalisations.

## **Constructions des installations de surface et première phase d'exploitation**

Etant donné que des pannes et fuites ne sont pas à exclure dans cette phase, il convient de veiller à ce que les eaux usées et déchets éventuellement produits soient contrôlés avant d'être stockés ou éliminés. Pour le stockage des déchets suspects, il convient de définir une zone à accès restreint.

Dans cette phase, il faut s'attendre à ce que des premiers postes de travail dans des espaces confinés soient créés. Bien que, étant donné les faibles concentrations en radon dans les eaux profondes, on ne s'attende pas à trouver d'importantes concentrations en radon dans l'air ambiant, quelques prises d'échantillons sont recommandées.

## **Phase d'exploitation**

Les croûtes présentant des teneurs élevées en radium et l'accumulation de produits apparentés au radium à longue durée de vie peuvent émettre des radiations accrues à proximité des conduites. Des mesures du débit de dose permettent de déterminer quelles sont les zones dans lesquelles l'accès doit être restreint. Lors des travaux de nettoyage, il convient de prendre les précautions nécessaires afin d'éviter toute contamination du personnel. L'air des locaux confinés doit être testé par une prise d'échantillons afin de relever la concentration en radon.

Un contrôle régulier du débit de dose au niveau des installations de surface permet de détecter suffisamment tôt les éventuels problèmes et de remplacer les composants pollués avant que des produits de désintégration à durée de vie élevée puissent s'accumuler.

## **Démantèlement**

Pour le démantèlement, les expériences acquises lors de l'exploitation de l'installation seront prises en compte.

Il faut s'attendre à ce que certaines parties de l'installation possèdent des teneurs élevées en radium et des produits descendants du radium à durée de vie élevée. Des mesures du débit de dose permettent de décider quelles parties seraient susceptibles de présenter un dépassement des limites d'exemption. Ces parties doivent être stockées dans une zone à accès restreint. Toute manipulation de ces parties requiert une autorisation de la SUVA. Lors des travaux de démantèlement, il convient de prendre les précautions nécessaires afin d'éviter toute contamination du personnel.

Cordast, le 22.11.2013

Dr Heinz Surbeck, directeur Nucfilm GmbH



## Annexe:

### Mesures du débit de dose et rapport entre le débit de dose et l'activité spécifique

Appareil recommandé pour la mesure du débit de dose:

Automess 6150AD6/E, y c. sonde externe 6150 AD-17, option sonde externe 6150 AD-b/E

Cet appareil est adapté au travail sur le terrain et homologué à l'étalonnage. En Suisse, il s'agit de l'appareil standard pour la radioprotection dans l'armée, la protection contre les catastrophes, le service du feu et la police.

A l'aide d'un tube compteur Geiger, il mesure le rayonnement gamma et affiche le débit de dose instantané. Etant donné que le débit de dose instantané est soumis à de fortes variations statistiques, cet appareil permet également de déterminer la valeur moyenne sur une période plus longue que la mesure instantanée. Pour les débits de dose à proximité du sous-sol naturel (~ 100 nSv/h), la valeur moyenne doit être déterminée sur env. 5 minutes afin d'obtenir une valeur statistiquement pertinente (incertitude de mesure <15%).

On peut s'attendre à ce que l'uranium présent dans les débris de forage soit à l'équilibre avec ses produits de désintégration. L'uranium lui-même, en tant qu'émetteur alpha, ne doit pas être déterminé à l'aide d'une mesure du débit de dose. Le rayonnement gamma mesurable provient des produits dérivés  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  et  $^{214}\text{Bi}$ .

Dans le cas des boues et croûtes «jeunes», l'activité spécifique peut également être déterminée via le débit de dose pour les produits susmentionnés  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  et  $^{214}\text{Bi}$ .

Pour les croûtes «vieilles», une mesure du débit de dose ne suffit pas pour déterminer l'activité spécifique. Après quelques années, l'isotope  $^{210}\text{Pb}$  s'est accumulé mais ne contribue que très faiblement au débit de dose gamma, même pour des activités spécifiques élevées.

Le tableau suivant illustre le débit de dose attendu pour la limite de 1000 Bq/kg pour  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  et  $^{214}\text{Bi}$ , dans trois scénarios différents.

Scénario de la décharge: Terril d'une épaisseur d'au moins 50 centimètres et d'un diamètre d'au moins 10 mètres, mesure à 1 m de hauteur

Scénario du transport: Chargement de camion, remplissage de la benne, mesure à 1 m de distance

Scénario de la pièce unique: Tas ouvert avec au moins 100 kg de matériau, pièce tubulaire, filtre, croûte en général, mesure à 30 cm de distance

Toutes les valeurs sont des élévations par rapport au sous-sol naturel, qui doit être mesuré respectivement à au moins 5 m de distance des matériaux suspects.

Scénario	Distance de mesure [m]	Débit de dose [nSv/h]
Décharge	1	420
Transport	1	100
Pièce unique	0.3	280

Temps de mesure minimal pour que l'incertitude de mesure de la valeur moyenne soit < 15%:

Débit de dose [nSv/h]	Temps de mesure [min]
100	4
200	3
300	2

Des temps de mesure plus courts et des incertitudes de mesure plus faibles sont possibles avec la sonde externe 6150 AD-b/E.

La sonde externe 6150 AD-17 permet de localiser les «hot spots» p. ex. au niveau des conduites.

Référence pour les valeurs de débit de dose:

Calcul des limites d'exemption et des seuils de libération pour les nucléides pour lesquels il n'existe aucune valeur dans le BSS AIEA, rapport final

Annexe «External Dose Factor for various geometries»

Projet BS n° 1110-01

Référence 434.0000-101/11.007303/7918731

Contrat n° 11.007303

Etabli à la demande du Département fédéral de l'intérieur

Office fédéral de la santé, Domaine de direction Protection des consommateurs

Schwarzenburgstr. 165, CH-3003 Berne

par la société

Brenk Systemplanung GmbH (BS)

Heider-Hof-Weg 23

52080 Aachen

20.04.2012

## Surveillance et élimination des eaux usées (boue de forage prétraitée, eaux thermales)

### Valeurs limites

Les limites pour les teneurs en radionucléides lors de l'introduction des eaux usées dans les eaux accessibles au public (collecteurs) sont, selon l'Ordonnance sur la radioprotection actuellement en vigueur, proches des limites applicables à l'eau potable.

Il est probable que cela restera le cas dans l'ORaP révisée. Les limites pour les radionucléides naturels ne seront probablement pas inférieures aux limites pour l'eau potable.

Les précédentes expériences acquises avec des eaux usées issues de constructions de tunnels en Suisse ont montré que pour ce qui est des radionucléides naturels, les limites relatives à l'eau potable pouvaient être respectées même dans les eaux usées.

Pour les eaux usées, on reprendra ainsi sans changement les limites attendues à l'avenir pour l'eau potable de l'Ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC).

Dans le cas des radionucléides pertinents pour les projets de géothermie, ces limites sont les suivantes

Nucléides	Valeur limite
$^{226}\text{Ra}$	1 Bq/l
$^{238}\text{U}$	0,37 Bq/l, calculé à partir de la limite de 30 µg/l pour l'uranium
$^{234}\text{U}$	0,37 Bq/l, dans l'hypothèse d'un équilibre avec $^{238}\text{U}$

A l'inverse de l'eau potable, on ne table pas, pour les eaux usées, sur des concentrations accrues de  $^{222}\text{Rn}$ . Le radon dissous dans l'eau se trouve à l'équilibre avec les concentrations de radon très basses dans l'air extérieur.

### Compétence

L'OFSP est compétente pour la surveillance de la radioactivité environnementale. Néanmoins, les eaux de surface sont également contrôlées par des organes cantonaux, par exemple les services de protection des eaux.

### Concept de surveillance

L'objectif de la surveillance est l'élimination conforme à la législation de la boue de forage et des eaux thermales.

Les concentrations d'activité de l'ordre du Bq/l ne peuvent pas être déterminées à l'aide d'une mesure du débit de dose. Une mesure du débit de dose au niveau de la citerne contenant de la boue de forage prétraitée ne fournit ainsi aucune information sur la concentration d'activité dans la boue de forage.

Seules des analyses en laboratoire peuvent fournir des informations sur les concentrations d'activité dans la boue de forage et dans l'eau du bassin de décantation.

La surveillance de la radioactivité naturelle des eaux usées est intégrée dans la surveillance chimique des eaux usées. Outre les paramètres chimiques, les produits ( $^{238}\text{U}$  +  $^{234}\text{U}$ ),  $^{226}\text{Ra}$  (tous sous forme dissoute) sont analysés en laboratoire.

## **Programme de mesure**

### Phase de forage

Le géologue du site de forage prélève, avant l'élimination de la boue, des échantillons destinés à des analyses en laboratoire.

Les eaux thermales acheminées sont stockées de manière intermédiaire dans des bassins de rétention. La surveillance préalable à l'élimination s'effectue via l'analyse d'échantillons d'eau au laboratoire

### Phase d'exploitation

Les eaux usées éventuelles sont stockées de manière intermédiaire dans des bassins de rétention. La surveillance préalable à l'élimination s'effectue via l'analyse d'échantillons d'eau au laboratoire

### Phase de démantèlement

Les eaux usées éventuelles sont stockées de manière intermédiaire dans des bassins de rétention. La surveillance préalable à l'élimination s'effectue via l'analyse d'échantillons d'eau au laboratoire

## **Analyse**

Un seuil de détection de 10% de la limite est requis. Néanmoins, les laboratoires d'analyse sont libres d'utiliser la méthode d'analyse qu'ils préfèrent pour atteindre ce seuil de détection. Dans le cas de l'uranium, une détermination de la concentration des éléments, ou une détermination de  $^{238}\text{U}$ , est considérée comme suffisante.

Les résultats des analyses doivent être disponibles au plus tard 5 jours ouvrables après la collecte de l'échantillon.

## **Informations et mesures à prendre**

Les résultats des analyses doivent être communiqués à l'OFSP et au service cantonal compétent (service de protection des eaux). L'OFSP et/ou le service cantonal sont décisionnaires en ce qui concerne la libération des eaux usées.

## Surveillance et élimination des solides (débris de forage et boue de forage)

### Valeurs limites

Les valeurs d'exemption pour les matériaux naturellement radioactifs dont la composition en nucléides n'a pas été modifiée par des processus industriels sont égales, conformément au projet d'Ordonnance révisée sur la radioprotection (ORaP) à:

Art. 3bis

Limite d'exemption pour les radionucléides d'origine naturelle dans des solides se trouvant en équilibre séculaire avec leurs nucléides descendants:

Radionucléides naturels de la chaîne U-238	1000 Bq kg <sup>-1</sup>
Radionucléides naturels de la chaîne Th-232	1000 Bq kg <sup>-1</sup>
K-40	10 000 Bq kg <sup>-1</sup>

La manipulation de matériaux présentant des concentrations en radionucléides inférieures à la limite d'exemption n'est soumise à aucune restriction.

La limite attendue de 0.3 mSv/an signifie que le personnel présent sur le chantier n'est pas considéré comme étant «professionnellement exposé aux radiations» si les limites de débit de dose suivantes sont respectées (après déduction du sous-sol naturel):

Poste de travail occupé en permanence, 2000 h/an: 150 nSv/h  
Poste de travail occupé temporairement, 400 h/an: 750 nSv/h

### Compétence

En matière de radioprotection dans le domaine du travail, la compétence revient à la SUVA. L'OFSP est compétent pour la surveillance de la radioactivité environnementale, c'est-à-dire entre autres pour l'élimination conforme des éventuels solides.

Si les limites d'exemption sont dépassées, une autorisation de la SUVA est nécessaire pour la manipulation de ces matériaux. Les conditions de l'autorisation doivent garantir le respect de l'objectif de protection de 0,3 mSV/an, à la fois pour le personnel et pour la population. Pour la mise en décharge de matériaux présentant une radioactivité supérieure à la limite d'exemption, une autorisation de l'OFSP est requise.

### Concept de surveillance

Les objectifs du concept de surveillance sont d'une part la sécurité du travail (exposition aux radiations) et d'autre part l'élimination conforme à la législation des débris de forage et des boues de forage.

Les mesures sont effectuées manuellement (appareil de mesure du débit de dose portable), pendant la phase de forage par le géologue du site de forage, pendant la phase d'exploitation et lors du démantèlement par un collaborateur qualifié.

Ces mesures permettent de garantir la sécurité du travail.

Elles permettent également de détecter à temps les matériaux présentant des radioactivités supérieures à la limite d'exemption. Le rapport entre le débit de dose et



l'activité spécifique est décrit dans le document d'accompagnement «Problèmes possibles dus aux radionucléides naturels dans le cadre de projets de géothermie».

## **Programme de mesure**

### Phase de forage

Mesures du débit de dose par le géologue du site de forage, respectivement lors de la collecte géologique des débris de forage. Mesure à 1 m de distance de la benne de débris de forage et à 1 m de distance de la benne à déposer.

A chaque service du géologue du site de forage, mesure du sous-sol naturel, à au moins 5 m de distance de la benne de débris de forage, de la benne à déposer et des matériaux mis en décharge.

Toutes les mesures à 1 m de hauteur.

Durée de la mesure jusqu'à ce que l'appareil affiche une incertitude de mesure <15%.

Pour plus de détails sur l'appareil de mesure, reportez-vous au document d'accompagnement «Problèmes possibles dus aux radionucléides naturels dans le cadre de projets de géothermie».

### Phase d'exploitation

Mesures mensuelles du débit de dose par un collaborateur qualifié sur les postes de travail, à 1 m de hauteur et au niveau des parties de l'installation pour lesquelles on peut s'attendre à une accumulation de radionucléides, à 30 cm de distance.

Durée de la mesure jusqu'à ce que l'appareil affiche une incertitude de mesure de <15%.

### Phase de démantèlement

La phase d'exploitation montrera quelles sont les parties de l'installation susceptibles de présenter des débits de dose élevés. Lors du démantèlement, il conviendra, avant le démontage de ces parties, de faire réaliser des mesures du débit de dose par un collaborateur qualifié, sur les postes de travail, à 1 m de hauteur et au niveau des parties concernées de l'installation, à 30 cm de distance.

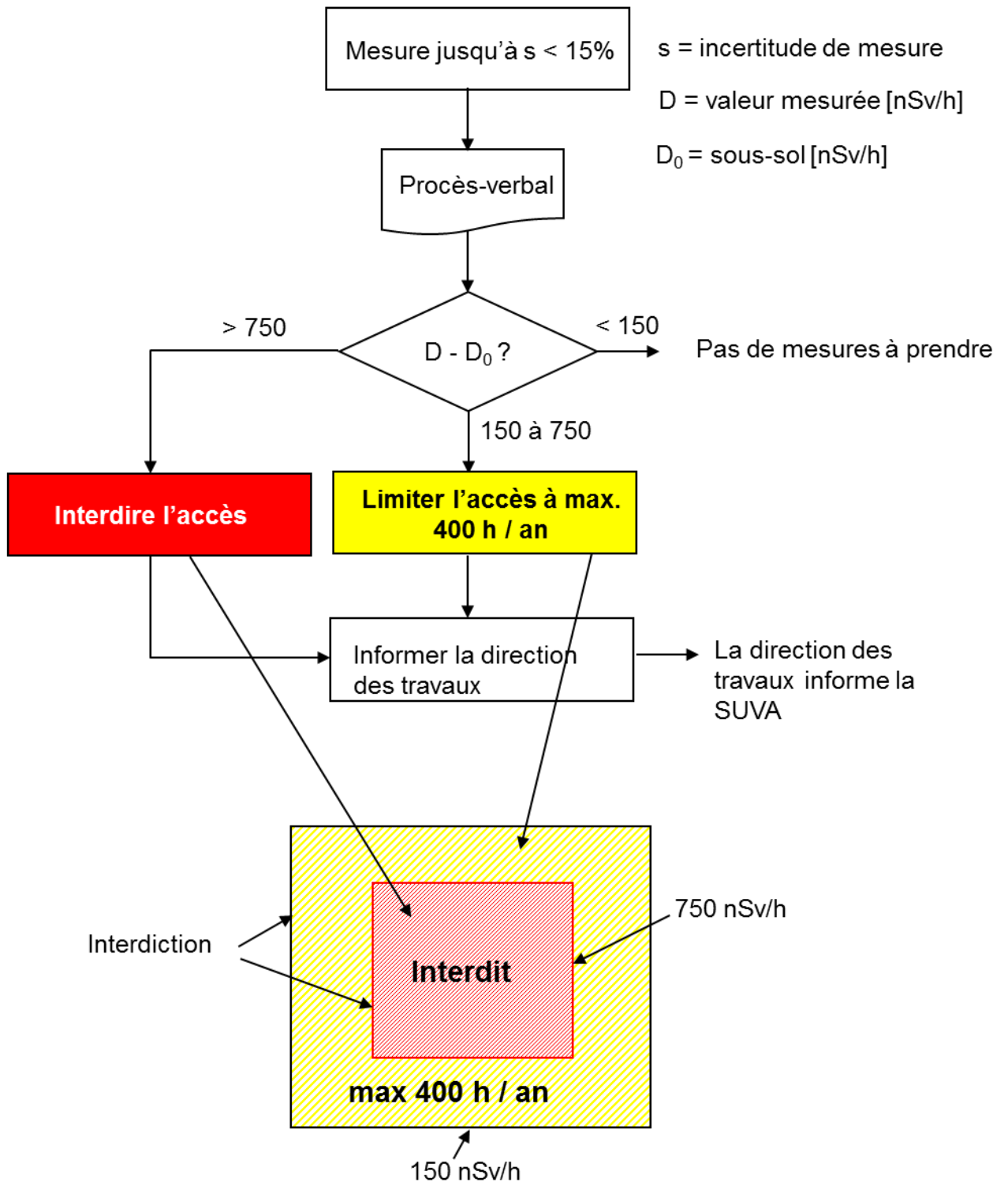
Chaque chargement de camion doit être contrôlé, avant de quitter le chantier, à l'aide d'une mesure du débit de dose à 1 m de distance du chargement.

## **Appareils de mesure**

Voir le document d'accompagnement «Problèmes possibles dus aux radionucléides naturels dans le cadre de projets de géothermie».

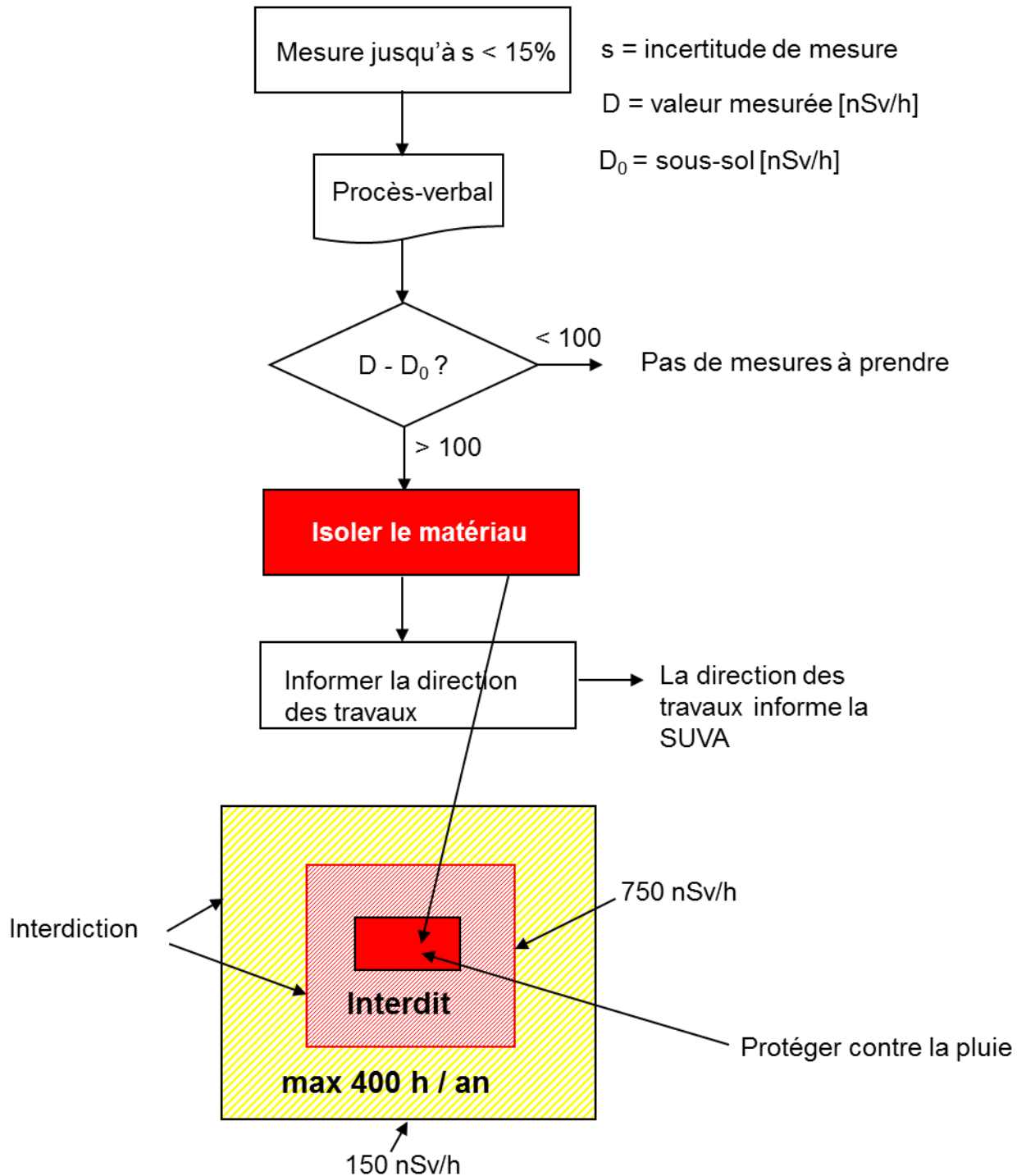
## **Informations et mesures à prendre :**

## Mesure du débit de dose au poste de travail, à 1 m de hauteur



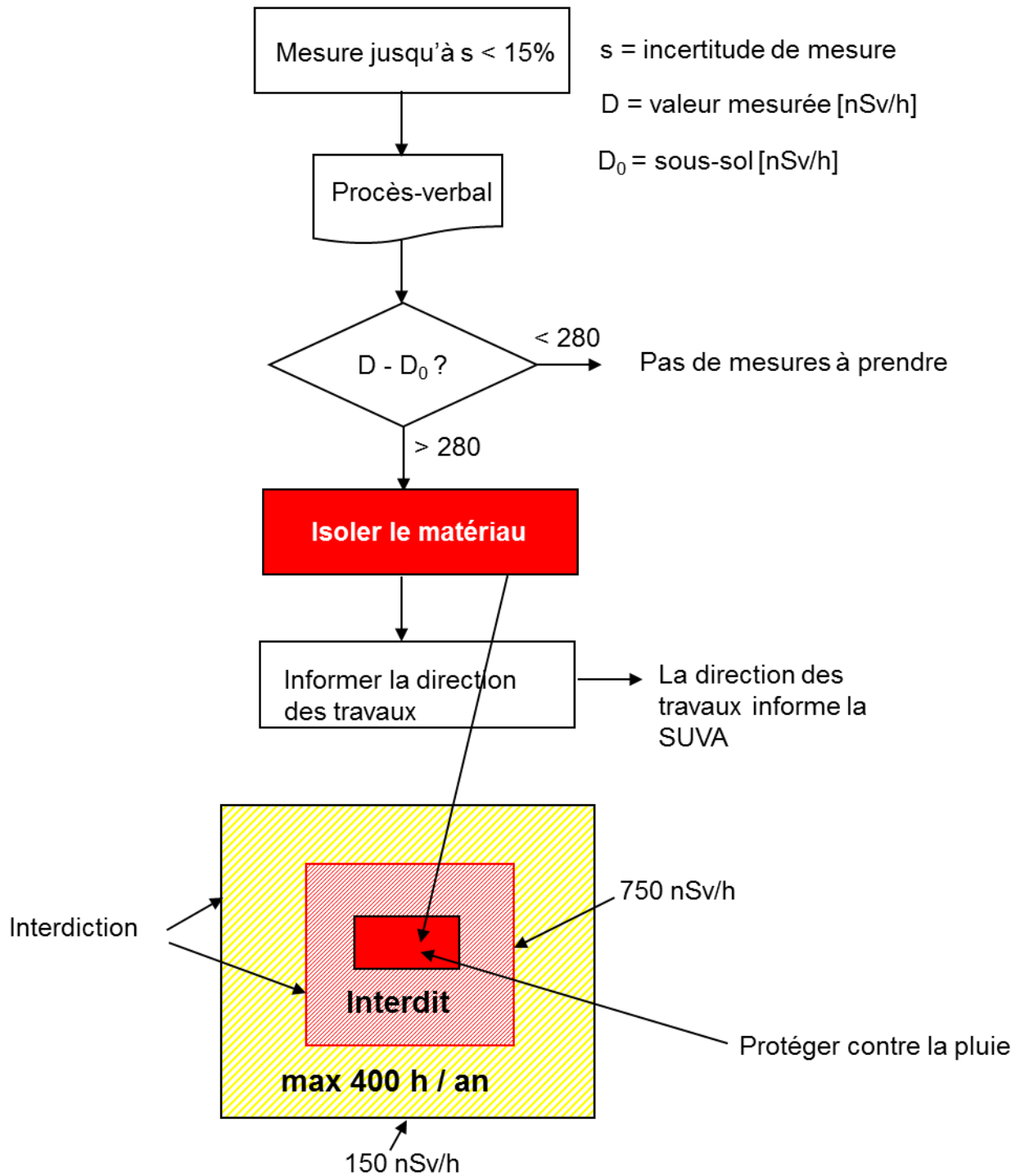
**Doublement de la distance --> Réduction du débit de dose d'un facteur 4**

## Mesure du débit de dose à la benne ou au chargement du camion, à 1 m de distance



**Doublement de la distance --> Réduction du débit de dose d'un facteur 4**

Mesure du débit de dose sur une pièce unique: tas ouvert avec au moins 100 kg de matériau, élément de tube, filtre, croûtes en général, mesure à 30 cm de distance



Doublement de la distance --> Réduction du débit de dose d'un facteur 4

## Surveillance des eaux souterraines proches de la surface et des sources utilisées comme eau potable

### Valeurs limites

Les limites pour les teneurs en radionucléides dans l'eau potable sont fixées dans l'Ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC). Dans le cas des radionucléides pertinents pour les projets de géothermie, ces limites sont les suivantes

Nucléides	Valeur limite
$^{226}\text{Ra}$	1 Bq/l
$^{238}\text{U}$	0,37 Bq/l, calculé à partir de la limite de 30 µg/l pour l'uranium
$^{234}\text{U}$	0,37 Bq/l, dans l'hypothèse d'un équilibre avec $^{238}\text{U}$

Pour  $^{222}\text{Rn}$  dans l'eau potable, il n'existe encore aucune valeur limite en Suisse. On peut s'attendre à ce qu'à l'avenir, une valeur limite ou de tolérance de 100 Bq/l soit imposée.

### Compétence

L'OFSP est compétent pour la surveillance de la radioactivité environnementale. L'eau potable est également surveillée par des services cantonaux (protection du consommateur/laboratoire cantonal).

### Concept de surveillance

La surveillance de la radioactivité naturelle des captages de sources et d'eaux souterraines est intégrée dans la surveillance qualitative des captages de sources et d'eaux souterraines utilisés. Les puits d'eaux souterraines et les sources à surveiller sont indiqués dans la liste de «Surveillance qualitative». Outre les paramètres chimiques, les produits ( $^{238}\text{U} + ^{234}\text{U}$ ),  $^{226}\text{Ra}$  et  $^{222}\text{Rn}$  (tous sous forme dissoute) sont analysés en laboratoire.

### Programme de mesure

Phase de référence

Pendant 1 an avant le début du premier forage, 3 échantillons par an.

Phase de forage

3 échantillons par an

Phase d'exploitation

3 échantillons par an

Phase de démantèlement

3 échantillons par an, y compris 3 échantillons par an au cours de la première année après le démantèlement.

## **Analyse**

Un seuil de détection de 10% de la limite est requis. Néanmoins, les laboratoires d'analyse sont libres d'utiliser la méthode d'analyse qu'ils préfèrent pour atteindre ce seuil de détection. Dans le cas de l'uranium, une détermination de la concentration des éléments, ou une détermination de  $^{238}\text{U}$ , est considérée comme suffisante.

Les résultats des analyses doivent être disponibles au plus tard 20 jours ouvrables après la collecte de l'échantillon.

## **Informations et mesures à prendre**

Les résultats des analyses doivent être communiqués à l'OFSP et au service cantonal compétent (protection du consommateur/laboratoire cantonal). L'OFSP et/ou le service cantonal sont décisionnaires sur les mesures à mettre en œuvre.

Mesure immédiate en cas de dépassement des valeurs limites:

- Information aux communes
- Arrêt de l'injection de l'eau souterraine ou de l'eau de source dans le réseau d'eau potable