



## Fiche GT1-2

### Effacité des couvertures des stockages de résidus – Enseignements tirés de l'analyse du site de Bellezane

#### 1. Contexte et objectif

Suite aux conclusions de l'expertise menée par l'IRSN concernant l'évaluation de l'efficacité, vis-à-vis du vecteur air, de la couverture des stockages de Bellezane, en regard de l'exposition aux résidus [1], le GEP a souligné, dans son premier rapport d'étape [5] :

*« L'importance d'une évaluation de la pérennité de l'efficacité de la couverture vis-à-vis du risque d'exposition dans une optique de long terme, en tenant compte de son épaisseur actuelle et de la position en pente des différentes couches constitutives du stockage. Selon le GEP, cette analyse implique d'améliorer la représentativité des données de surveillance de la qualité radiologique de l'air et d'étudier le comportement à long terme des recouvrements. »*

*A ce titre, le GEP recommande de réaliser une cartographie du site afin d'évaluer la représentativité des résultats de la surveillance. Cette cartographie concerne les débits de doses relativement simples à réaliser et le potentiel d'exhalation radon. Les points proches du sol où le débit de dose gamma est élevé, constituent des points particulièrement indiqués pour effectuer des mesures d'EAP et/ou d'exhalation radon. Cette cartographie serait, de plus, un outil important en vue d'une évaluation de l'utilisation possible du site dans le futur ou d'une évaluation d'impact sur la base de scénarios long terme. »*

Pour apporter des éléments de réponse, Areva NC a entrepris, dès 2007, des campagnes de mesures sur le site de Bellezane visant à apprécier la représentativité spatiale des mesures de la qualité de l'air faites dans le cadre de la surveillance réglementaire des sites de stockage de résidus.

Les résultats obtenus, rapportés dans la présente fiche, ont contribué à valider les conclusions quant à l'efficacité de la couverture. A noter que la question de l'efficacité de la couverture ne se pose pas tant qu'elle conserve une épaisseur suffisante mais elle se pose en cas de non maintien de ses performances que ce soit suite à une modification significative de son épaisseur ou suite à l'apparition de réseaux de fracturation susceptibles de constituer des voies de transfert préférentielles.

Pour ce qui concerne l'étude de la faisabilité d'une modélisation de l'évolution des couvertures de stockage, cette évolution étant prise en compte par Areva NC sous la forme de scénarii à long terme, elle n'a pas donné lieu à des travaux spécifiques. Une description de ces scénarii et une application seront présentées par Areva NC, en 2009, dans l'étude sur l'impact à long terme des stockages de résidus de traitement de minerai d'uranium, en application de la loi sur la gestion durable des matériaux et déchets radioactifs du 28 juin 2006.

## 2. Actions entreprises

Areva NC a sollicité, dès 2007, la société Algade pour qu'elle réalise une série de mesures sur les MCO 68 et 105 du site de Bellezane. La nature des mesures effectuées ainsi que les résultats obtenus sont décrits aux paragraphes 2.1 et 2.2 respectivement.

### 2.1. Nature des mesures réalisées

Trois types de mesures ont été réalisés par la société Algade :

1. Mesures de **flux surfaciques d'exhalation de radon 222** (exprimés en  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) sur l'ensemble des MCO 68 et 105. Ces mesures ont été réalisées par mailles de  $400\text{ m}^2$  comprenant, chacune, 5 points de mesure ponctuelle. « Conformément à la norme NF M60-768, ces mesures ont nécessité la mise en œuvre de chambre d'accumulation, de matériel de prélèvement ponctuel et d'appareils de comptage alpha ». Après une période d'accumulation d'environ 3 heures, un double prélèvement ponctuel au moyen de fioles scintillantes est effectué. « Les mesures sont corrélées aux conditions météorologiques du moment dont elles dépendent fortement » [3].
2. Mesures de **débits de photons gamma** sur l'ensemble des deux MCO. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un scintillomètre portatif prospectif SPP Gamma équipé d'un cristal d'iodure de sodium sensible au rayonnement gamma. Le signal de ce détecteur est traité via un photomultiplicateur par une électronique de comptage permettant une lecture directe. La grandeur mesurée est un nombre d'impulsions électriques par unité de temps et s'exprime<sup>1</sup> en coups ou chocs par seconde (c/s). On retient, à titre indicatif, une correspondance de l'ordre de 1000 c/s pour  $1\text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ .
3. Mesures en continu de **l'activité volumique du radon 222** en un point de la partie haute de la MCO 105, là (cf. figure 1) où l'épaisseur de la couverture de stériles est la plus faible (2 mètres). Trois appareils ALGADE type Barasol MC2 ont été placés respectivement (cf. figure 2) :
  - à 2 m de profondeur, à l'interface résidus/couverture de stériles ;
  - à 10 cm de profondeur<sup>2</sup>, à l'interface couverture de stériles/terre végétale ;
  - en surface.

---

<sup>1</sup> Le taux d'impulsions par seconde est habituellement exprimé en « coups » ou « chocs » par seconde car les appareils de mesures, utilisés sur le terrain, sont équipés d'un générateur qui fait correspondre, aux impulsions électriques, des impulsions sonores.

<sup>2</sup> Mesure effectuée uniquement au cours de la campagne humide (deuxième campagne).

Figure 1 : Présentation conceptuelle du stockage de résidus dans les MCO 105 et 68 de Bellezane et localisation des dosimètres de la surveillance (▲) et des barasols

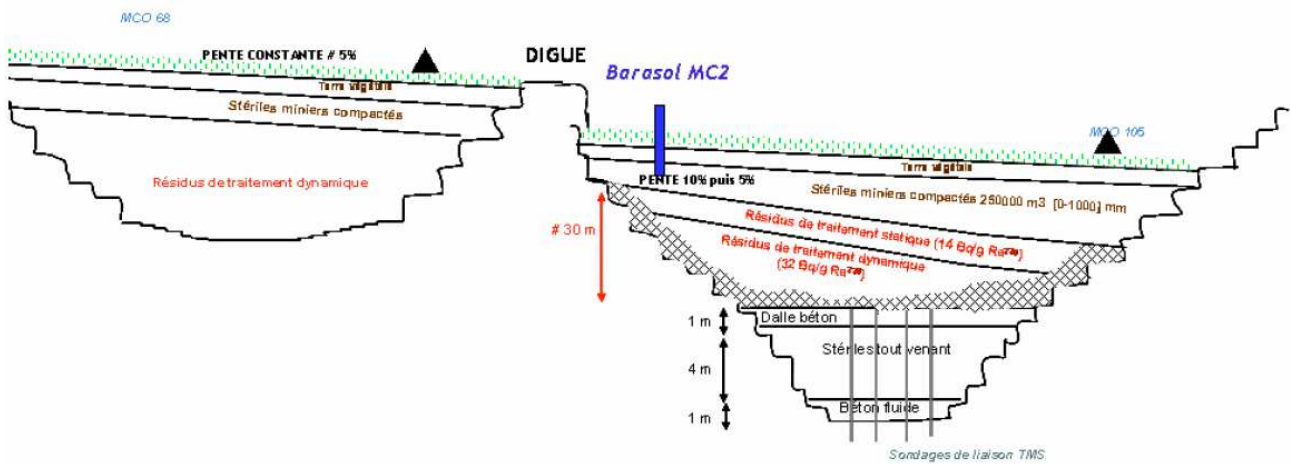
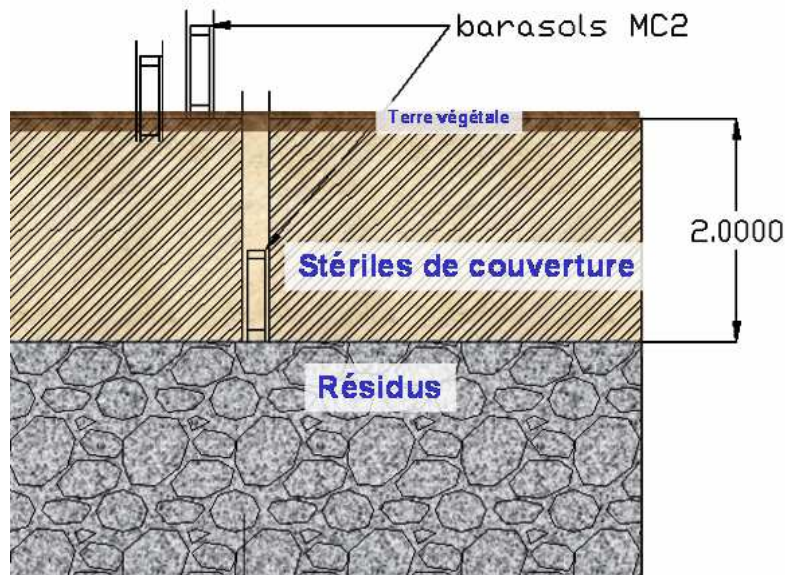


Figure 2 : Dispositif de mesure de l'activité volumique du radon sur la MCO 105



Les mesures de flux surfaciques d'exhalation de radon 222 et les mesures en continu de l'activité volumique du radon 222 ont été réalisées au cours de **deux campagnes**, l'une en 2007 et l'autre en 2008. En effet, il est apparu important de tenir compte de l'influence des conditions d'humidité du sol sur l'exhalation du radon et sa mesure. Ainsi, le radon, qui est un gaz rare, s'échappe plus aisément d'une terre sèche qui présente des microfissures que d'une terre humide dont la majorité des pores et des

fissurations est partiellement ou totalement obturée par l'eau. La mesure de l'exhalation du radon pour ces deux conditions permet ainsi d'illustrer les variations saisonnières des flux.

La campagne réalisée en 2007 correspondait à des conditions météorologiques caractéristiques d'une **période sèche** et s'est déroulée du 13 juin au 27 juillet 2007. La campagne de 2008, conduite entre le 20 mars et le 23 juin, se caractérisait par des conditions météorologiques représentatives d'une **période humide**.

Pour ce qui concerne la mesure du flux de photons, les conditions météorologiques, et notamment les conditions d'humidité du sol, sont bien moins influentes sur le flux de photons, pour lequel ce sont essentiellement les phénomènes d'atténuation au sein des matériaux qui interviennent. De ce fait, la campagne de cartographie n'a été planifiée initialement que pour une seule campagne en 2007. Une réactualisation de la cartographie de flux de photons alors obtenue s'est néanmoins avérée nécessaire du fait des anomalies observées sur le terrain ; ces anomalies ont été attribuées à des dépôts de résidus mis au jour lors des travaux récents de forage de piézomètres. La réactualisation, opérée en 2008 suite à l'enlèvement par Areva NC des matériaux en cause, a confirmé qu'ils étaient bien à l'origine des anomalies.

La connaissance d'autres paramètres s'est révélée nécessaire à l'interprétation des résultats du fait de leur influence en particulier sur la mesure du flux d'exhalation et de l'activité volumique du radon. Ces autres paramètres ont par conséquent également été analysés au cours des deux périodes d'investigation :

- la **température** et la **pression atmosphérique** dans l'environnement du site. Ces paramètres ont été mesurés en continu à l'aide d'une station météo « heavy weather » type WS2300 sur la MCO 105 à 1,50 mètre du sol et à l'aide d'une Barasol MC2 à 15 cm du sol ;
- l'**humidité pondérale** du sol. La mesure correspondante a été réalisée au laboratoire Algade sur un échantillon moyen prélevé sur chaque maille de mesurage et au cours de chaque campagne.

Les résultats des mesures réalisées dans le cadre du suivi piézométrique du site de Bellezane ont été utilisés pour prendre en compte le positionnement du niveau hydrostatique par rapport à l'interface résidus/couverture, exprimé sur la figure 3 en termes de « résidus saturés » (niveau piézométrique au dessus de l'interface) ou « résidus désaturés » (niveau piézométrique en dessous de l'interface). Le niveau de saturation en eau des résidus est en effet un paramètre influant sur la migration du radon au sein de la porosité des résidus : des conditions désaturées étant plus favorables que des conditions saturées. En l'absence de couverture efficace, on observerait ainsi un flux d'exhalation du radon plus élevé au dessus de résidus désaturés qu'au dessus de résidus saturés.

En complément, la société Algade a effectué, au titre d'une référence du milieu naturel non influencé par des résidus, des mesures ponctuelles de flux d'exhalation du radon 222 sur un point situé à l'extérieur du site, en bordure sud ouest de la MCO 105. Considérant que les données acquises en un point unique ne constituent pas un référentiel adéquat du fait notamment de la non prise en compte de la variabilité spatiale des paramètres, le GEP a préféré se fonder sur d'autres résultats de mesures, acquises en 2000, dans les villages proches des sites miniers, dans des conditions géologiques et climatiques comparables. Ce point est repris plus en détail au paragraphe 3.

## 2.2. Résultats

Les résultats obtenus à l'issue des mesures faites par la société Algade, et présentés ci-après, fournissent des éléments d'appréciation de la représentativité des valeurs de la surveillance effectuées par Areva NC dans un cadre réglementaire, via des dosimètres de sites. Ces éléments ont par ailleurs permis de vérifier qu'une épaisseur de 2 mètres de matériaux était un écran efficace vis-à-vis du transfert du radon.

### 2.2.1. Flux surfacique d'exhalation du radon 222

Les résultats obtenus au cours des 2 campagnes sont reportés sous forme de deux cartographies de flux d'exhalation du radon 222 (figure 3), une pour chaque campagne de mesures, et d'un tableau de synthèse présentant les valeurs moyennes, médianes, minimales et maximales du paramètre ainsi que les conditions d'humidité du sol (tableau 1).

Tableau 1 : Flux moyen, médian, minimal et maximal, écart type associé et humidité pondérale moyenne du sol

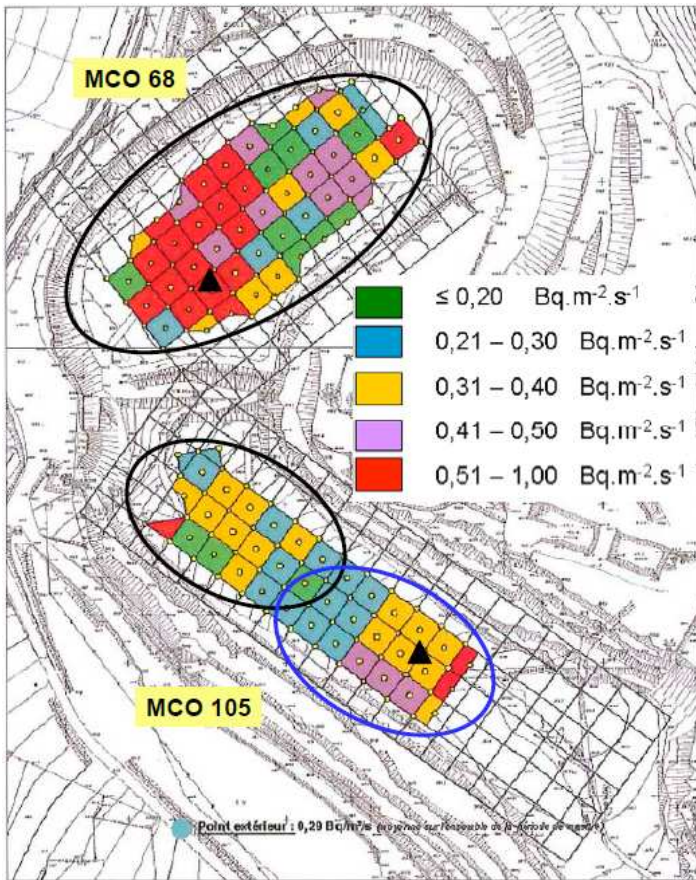
	Campagne 2007 Période sèche		Campagne 2008 Période humide	
	MCO 68	MCO 105	MCO 68	MCO 105
Flux moyen (Bq.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,49	0,30	0,23	0,16
Ecart type	0,49	0,19	0,17	0,18
Flux max (Bq.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	2,59	1,29	0,96	1,22
Flux min (Bq.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	0,05	0,04	0,02	0,01
Flux médian (Bq.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ) *	0,31	0,26	0,20	0,12
Humidité pondérale moyenne du sol (%)	22,9	21,0	24,3	24,0
Humidité pondérale maximale du sol (%)	26,5	24,3	29,9	30,0
Humidité pondérale minimale du sol (%)	18,6	15,4	20,4	18,9

\* valeur telle que la moitié des mesures est inférieure à cette valeur et l'autre moitié supérieure

D'une manière générale, on remarque que la dispersion des valeurs de flux d'exhalation du radon 222 est plus prononcée en période sèche qu'en période humide, en particulier pour la partie aval de la MCO 68 qui présente également les valeurs les plus élevées. Ces valeurs demeurent néanmoins assez faibles et peu différentes de ce qui est mesuré dans l'environnement naturel (cf. paragraphe 3).



Figure 3 : Cartographies des flux surfaciques d'exhalation du radon 222 mesurés en 2007 et 2008 sur les MCO 105 et 68 de Bellezane



CAMPAGNE SECHE (2007)

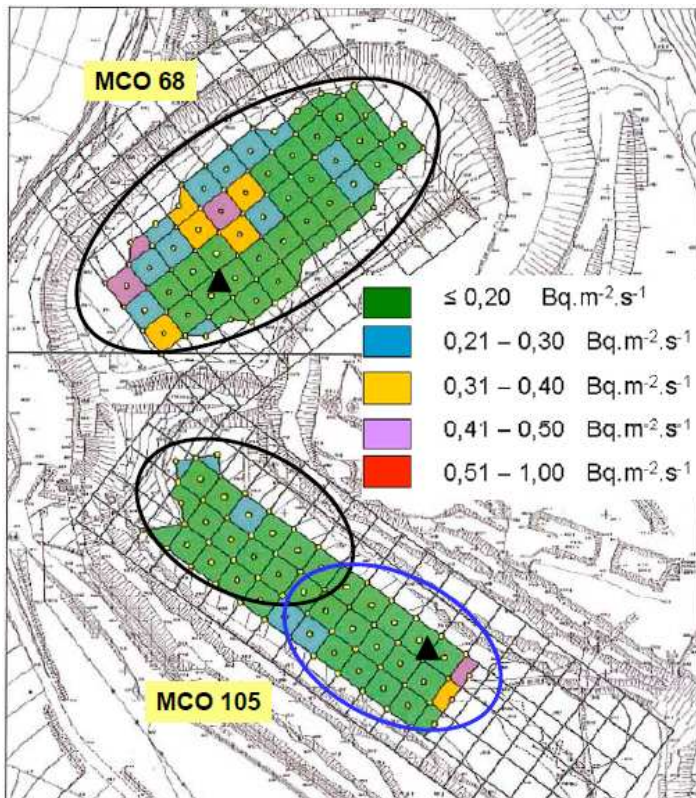
Légende :

○ résidus désaturés

○ résidus saturés

▲ dosimètre  
de la surveillance  
Areva

Echelle : 1 cm - 50 m



CAMPAGNE HUMIDE (2008)

Concernant la MCO 68, on note que les différences entre les flux d'exhalation du radon 222 de la partie amont et de la partie aval, observées sur les deux campagnes, ne s'expliquent ni par des différences

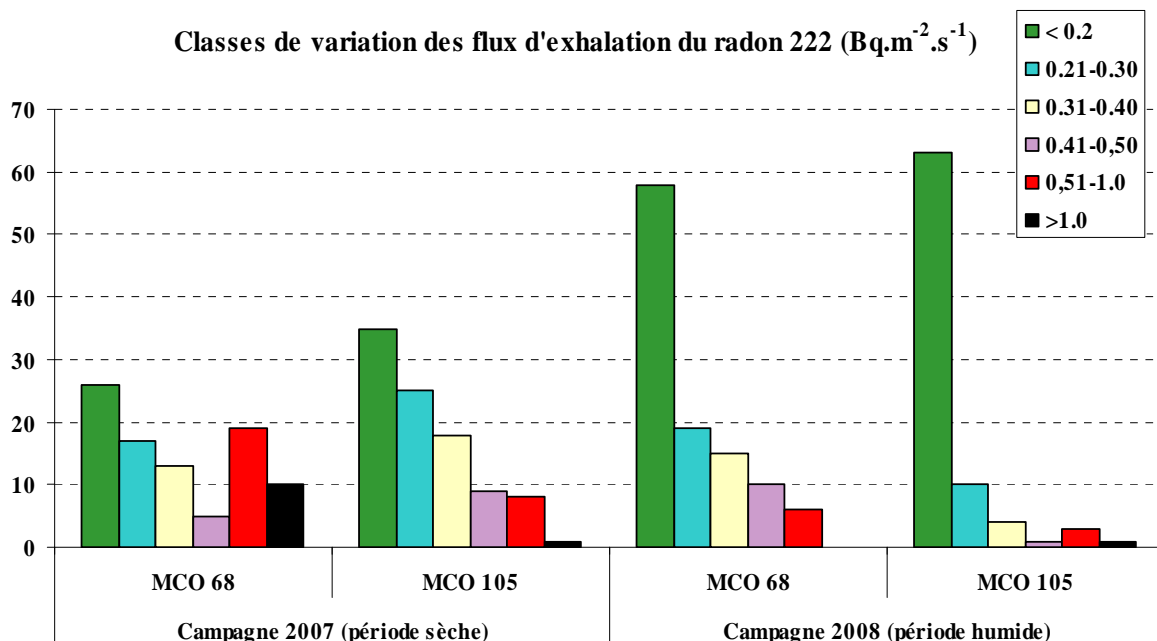
d'épaisseur de la couverture de stériles, ni par des différences de niveau de la nappe par rapport à l'interface résidus/couverture. Ces paramètres étant identiques sur l'ensemble de la MCO 68, plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer la variabilité des flux d'exhalation de radon mesurés en surface :

- il existe une variabilité de l'activité massique de la source ;
- il existe des différences locales de perméabilité liées aux tassements et/ou à la granulométrie des matériaux de la couverture ;
- il existe des variations locales de l'humidité pondérale du sol. Cette dernière hypothèse ne peut être testée en l'absence de connaissance précise de la correspondance entre les valeurs du taux d'humidité du sol et la localisation exacte de la mesure sur la MCO.

Concernant la MCO 105, on note qu'il existe une légère variabilité spatiale des valeurs sur l'ensemble de la MCO en période sèche, sans mise en évidence de secteur plus marqué comme dans le cas de la MCO 68. Des flux d'exhalation de l'ordre de  $0,5 \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  à  $2,6 \text{ Bq.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , sont considérés comme peu élevés. La variabilité spatiale n'est plus observable en période humide. Ceci est dû vraisemblablement à la diminution de la perméabilité de la couverture sous l'effet de la présence d'eau.

Contrairement à la MCO 68, sur la MCO 105 l'épaisseur de la couverture de stériles (2 à 12 mètres du nord ouest au sud est) et le niveau piézométrique par rapport à l'interface résidus/couverture (situé en dessous de l'interface dans la partie nord ouest et au dessus dans la partie sud est) sont variables. Ainsi, l'aval de la MCO 105 a une couverture plus épaisse (jusqu'à 12 mètres) avec des résidus noyés, c'est-à-dire situés en dessous du niveau piézométrique (deux conditions agissant en faveur d'une limitation du transfert du radon vers la surface) tandis que l'amont a une couverture moins épaisse (à partir de 2 mètres) avec une partie des résidus située au dessus du niveau piézométrique (favorable à la migration du radon dans la porosité des résidus). L'absence de gradient de flux d'exhalation, entre la partie amont et la partie aval, confirme que le radon mesuré en surface de la MCO 105 ne provient pas des résidus, mais des stériles de la couverture qui, dans leur configuration actuelle, constituent la principale source d'exposition au radon. L'humidité du sol, plus élevée en 2008 qu'en 2007 (respectivement 24 % et 22 % en moyenne sur les 2 MCO), pourrait être un élément justifiant, pour partie, les différences observées entre les flux d'exhalation mesurés en 2007 (période sèche) et 2008 (période humide). L'exploitation des données locales par maille permettrait de vérifier la pertinence de cette hypothèse.

Figure 4 : Répartition des mesures de flux surfacique d'exhalation du radon 222 relevés sur les MCO 68 et 105 au cours des campagnes de mesures de 2007 et 2008

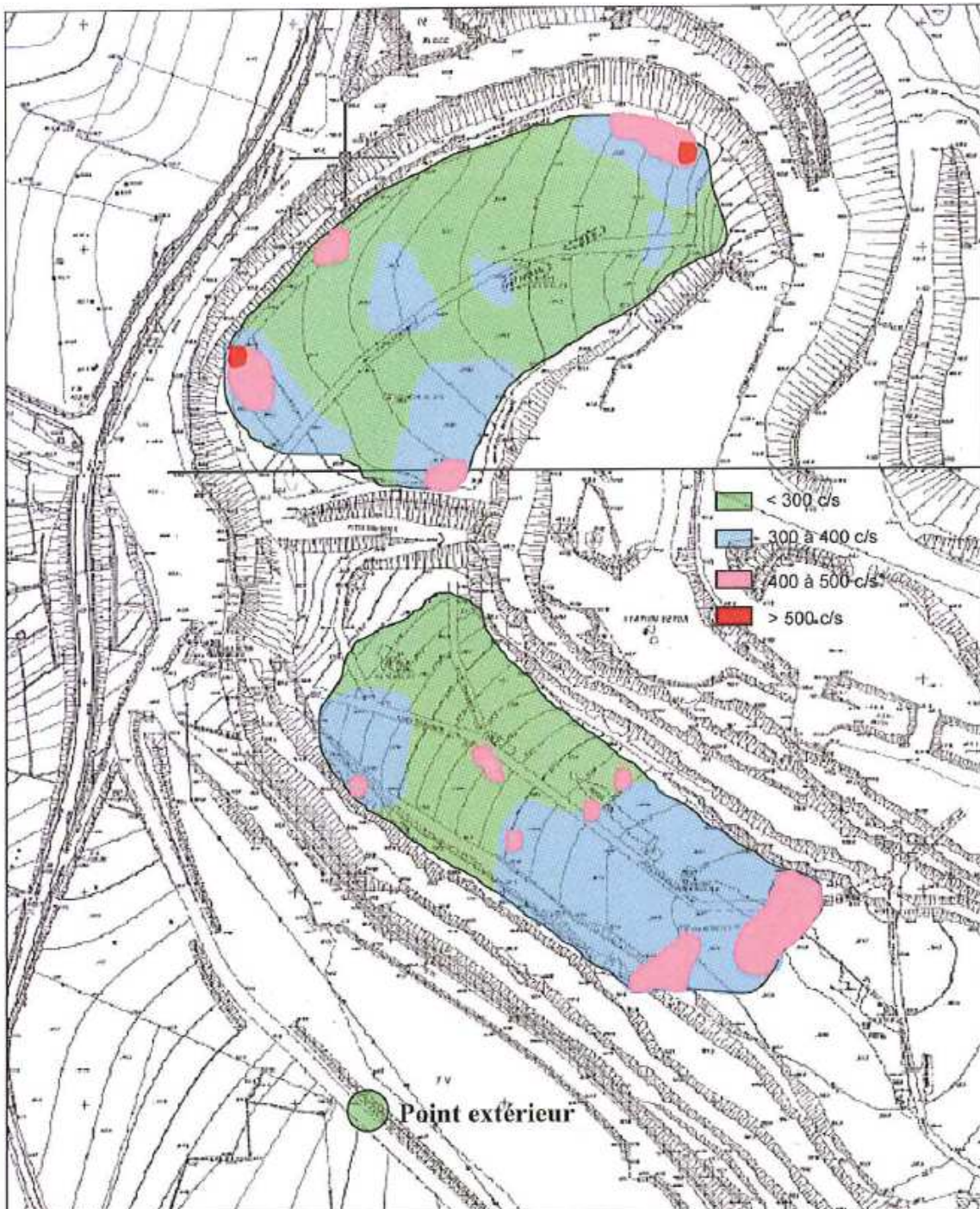




### 2.2.2. Débits de photons gamma

La cartographie des débits de photons gamma, réalisée par la société Algade en 2008 après assainissement par Areva NC des zones sur lesquelles des résidus avaient été mis au jour suite aux travaux de forage de piézomètres, est présentée à la figure 5.

Figure 5 : Cartographie des débits de photons sur les MCO 68 et 105 réalisée en 2008 après assainissement de surface suite à la mise au jour de résidus lors de travaux de forages de piézomètres



L'objectif initial des mesures de débits de photons, pour Areva NC, était d'obtenir une mise à jour du plan compteur effectué en 1996 [4] et de vérifier l'absence d'évolution du rayonnement gamma sur le site.



La cartographie obtenue est tout à fait comparable à celle de 1996. Elle permet d'avoir un aperçu de la variabilité spatiale des débits de photons. On remarque que les valeurs sont relativement homogènes et présentent une faible variabilité sur l'ensemble des deux MCO avec des valeurs majoritairement inférieures à 400 c/s. Il n'existe pas de singularité des valeurs au niveau de la partie aval de la MCO 68 comme cela était le cas pour le flux d'exhalation de radon.

Des anomalies très localisées (> 500 c/s) existent aux extrémités nord-est et sud-ouest de la MCO 68 correspondant, pour la plupart, au passage, dans le parement, de la structure minéralisée (lamprophyre).

Aucune corrélation entre la variabilité spatiale du flux d'exhalation de radon 222 et celle du débit de photons n'est à rechercher puisque les facteurs influençant ces paramètres sont de nature différente (épaisseur de l'écran et porosité moyenne pour le premier et phénomènes d'atténuation liés à la nature des matériaux pour le second).

### 2.2.3. Activité volumique du radon 222 mesurée en continu

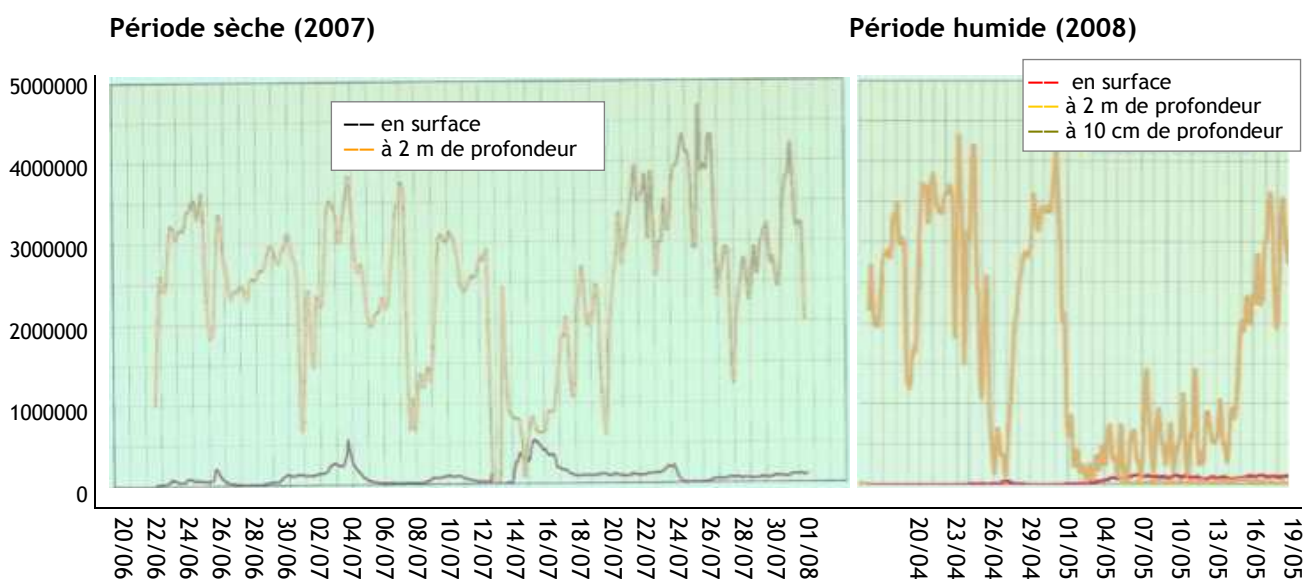
Les chroniques de l'activité volumique du radon 222, enregistrées par la société Algade, sont présentées aux figure 6 et figure 7 (voir la localisation des barasols sur la figure 1). L'activité volumique moyenne du radon 222, calculée sur toute la période de mesure, est reportée dans le tableau 2.

**Tableau 2 :** Activités volumiques moyennes du radon 222 ( $\text{kBq.m}^{-3}$ ) en un point de la surface de la MCO 105, au toit des résidus et à l'interface stériles / terre végétale (valeur approchée)

Période d'acquisition	21/06/07 au 01/08/07 (42 jours)	06/03/08 au 19/03/08 (14 jours)	07/05/08 au 23/06/08 (47 jours)
En surface	100	3	40
Interface stériles/terre végétale	Non mesurée	10	24
Au toit des résidus	2 500	2 100	1 800

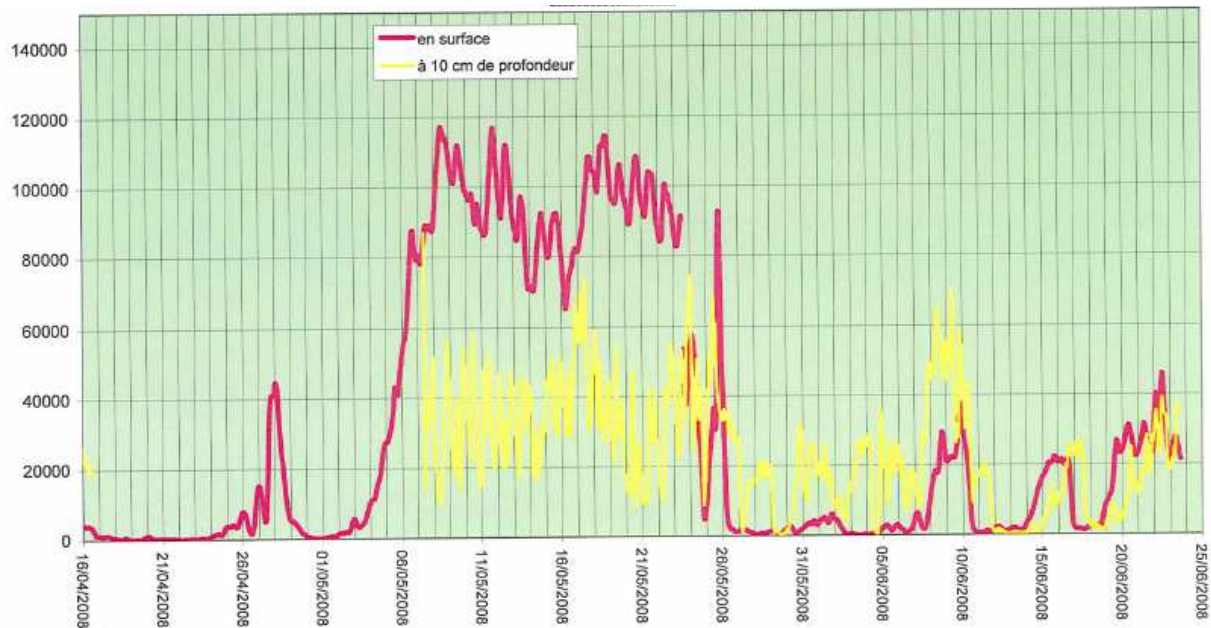
La société Algade a également réalisé des mesures de température et de pression du milieu durant les mesures en continu de l'activité volumique du radon 222. Les résultats acquis n'ont pas fait l'objet d'une interprétation à ce jour.

**Figure 6 :** Activité volumique du radon 222 ( $\text{Bq.m}^{-3}$ ) mesurée en continu sur la MCO 105  
A gauche : résultats de la première campagne de mesures effectuée en période sèche (2007)  
A droite : résultats de la seconde campagne de mesures effectuée en période humide (2008)



La Figure 7 est un zoom de la partie droite de la Figure 6, sur les valeurs mesurées en surface et à 10 cm de profondeur.

**Figure 7 :** *Activité volumique du radon 222 (Bq.m<sup>-3</sup>) mesurée en continu sur la MCO 105 au cours de la seconde campagne (période humide, 2008), en surface et à 10 cm de profondeur*



Les résultats des mesures en continu de l'activité volumique moyenne en surface ou à l'interface stériles/couverture végétale sont très inférieurs aux valeurs mesurées à l'interface résidus/stériles de couverture, attestant, en première lecture, de l'efficacité de la couverture vis-à-vis de l'exposition au radon issu des résidus.

Les fortes fluctuations de l'activité volumique du radon 222 au cours d'une même période d'acquisition rendent difficile l'évaluation quantitative de ce bénéfice.

Les valeurs journalières montrent une grande variabilité, qui s'explique, pour ce type de mesure délicate, par sa réponse complexe, dépendante des conditions climatiques du moment mais également, de leur historique. La mesure en continu, sur des périodes de plusieurs semaines, montre que :

- l'activité volumique en surface ou à l'interface stérile/terre végétale est très largement inférieure à celle mesurée au toit des résidus (entre 1/1000<sup>ème</sup> et 4/10<sup>ème</sup>) ;
- les variations de l'activité volumique du radon au toit des résidus sont indépendantes des variations mesurées en surface ou à l'interface.

Ceci s'explique simplement par le fait que le radon, émané des résidus et présent dans l'espace poral, se désintègre au cours de sa migration au sein des matériaux de couverture sus-jacents, avant même d'avoir pu traverser la totalité de l'épaisseur de l'écran constitué par ces matériaux.

### 3. Avis concernant l'efficacité des couvertures du site de Bellezane

Afin de compléter son analyse sur l'efficacité de la couverture, le GEP a comparé les résultats de mesures de flux d'exhalation de radon 222, présentés au paragraphe 2.2.1, aux résultats obtenus lors d'une campagne menée, en 2000, à l'initiative d'Areva NC, dans 26 villages proches des sites miniers de la Division de la Crouzille. La campagne s'est déroulée de septembre à novembre 2000 et a consisté à réaliser 5 mesures par village. Les mesures ayant été réalisées par la société Algade, les appareils et protocoles suivis sont identiques à ceux mis en œuvre sur les MCO 105 et 68 de Bellezane au cours des campagnes de 2007 et 2008.

Les résultats obtenus sont associés aux résultats des campagnes 2007 et 2008 sur la figure 8.

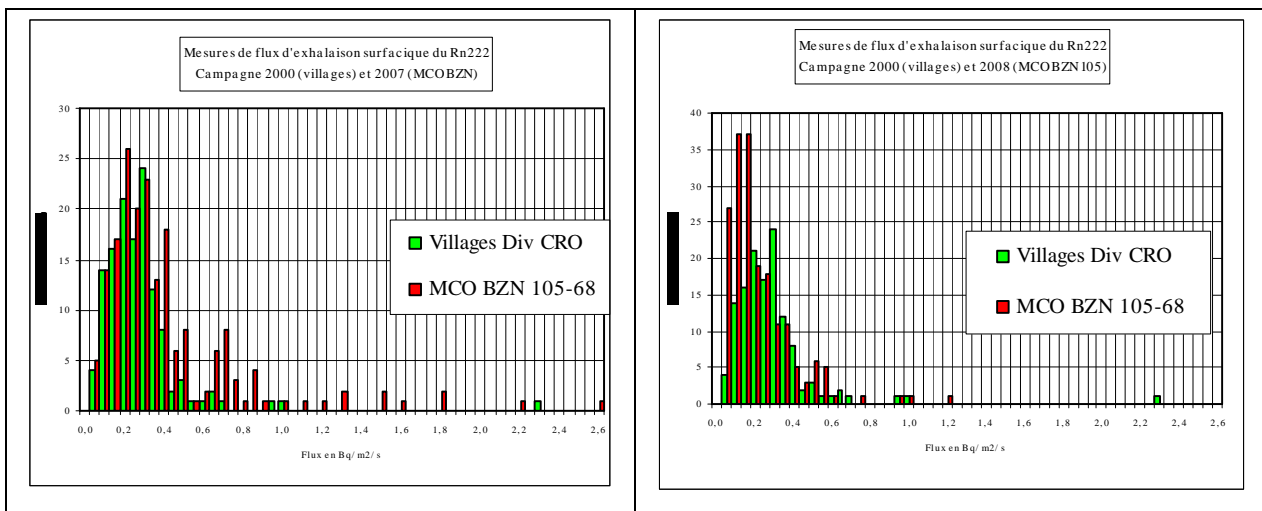
La pluviométrie moyenne et les températures extrêmes observées au cours de chaque campagne (2000, 2007 et 2008) sont indiquées dans le tableau 3 (Source Météo France - Station de Bessines). Elles constituent des éléments de comparaison sur les paramètres météorologiques influant sur la mesure du flux d'exhalation du radon 222.

**Tableau 3 :** *Pluviométrie et températures extrêmes observées au cours des campagnes de mesures faites en 2000, 2007 et 2008*

	Pluviométrie (mm.j <sup>-1</sup> )	T° minimale (°C)	T° maximale (°C)
Septembre à novembre 2000	5,3	7,0	13,7
Juin à juillet 2007	3,3	12,4	23,1
Avril à juin 2008	4,7	6,9	17,8

La période à laquelle ont été effectuées les mesures dans les villages en 2000 peut être assimilable, en termes de pluviométrie et températures, à la période dite « humide » de la campagne de mesures de flux d'exhalation de radon sur Bellezane (campagne de 2008) (cf figure 8, partie droite).

**Figure 8 :** *Répartition des flux d'exhalation du radon 222 mesurés dans les villages environnants en 2000 et sur les MCO 105 et 68 en 2007 et 2008*



La répartition des mesures réalisées en 2007 sur les deux MCO suit pratiquement la même tendance que pour les mesures réalisées dans les villages environnants en 2000. La répartition des mesures réalisées en 2008 est, quant à elle, décalée vers les valeurs basses, avec une quantité de faibles valeurs très supérieure par rapport à 2007.

La variabilité des résultats de mesure est globalement comparable entre le site de Bellezane et les villages. Les valeurs de flux d'exhalation de radon mesurées sur les MCO, sont du même ordre de grandeur que les valeurs mesurées dans l'environnement.

Des mesures ponctuelles en un point unique en bordure de la MCO 105 ont été réalisées par Algade au cours des campagnes de 2007 et 2008. Ces valeurs peuvent être utilisées à titre indicatif pour situer le niveau de flux d'exhalation de radon 222 mesuré sur les MCO et dans les villages. Elles valent en moyenne 0,28 Bq.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> et 0,25 Bq.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> pour les périodes sèche et humide respectivement et varient entre 0,17 Bq.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> et 0,34 Bq.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> pour la campagne de 2007 et de 0,22 Bq.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> à 0,37 Bq.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> pour la campagne de 2008.

La mesure au point « extérieur » présente une bonne répétabilité mais les données ponctuelles acquises en ce lieu ne peuvent pas servir pour une interprétation sur la variabilité spatiale des mesures faites sur les MCO.

Sur la base de l'ensemble des informations disponibles relatives au flux d'exhalation du radon 222 sur les MCO du site de stockage de Bellezane et des données retenues au titre de référentiel du milieu naturel, on retient que l'écran constitué par la couverture mise en place sur les résidus à Bellezane (couche de stériles et terre végétale) est efficace. Les flux d'exhalation du radon 222 en surface, comparables à ce qui est observé dans le milieu naturel, correspondent au flux de radon issu des matériaux constitutifs de la couverture (couche de stériles et couche de terre végétale).

#### 4. Enseignements en matière de surveillance de l'efficacité des couvertures

Le premier enseignement, tiré de l'analyse présentée ici, concerne la représentativité des mesures de **débits de dose** faites dans le cadre de la surveillance du site de stockage de résidus de Bellezane par Areva NC. Actuellement, la surveillance est effectuée à l'aide de dosimètres thermoluminescents intégrant les mesures pendant 3 mois, l'un sur la MCO 68, l'autre sur la MCO 105. Les contrôles ainsi effectués ne permettent pas de mettre en évidence les anomalies visualisables sur les cartographies de flux de photons, ni de suivre les performances, dans le temps, des caractéristiques de la couverture vis-à-vis des émissions gamma.

Le deuxième enseignement concerne la représentativité des mesures **d'EAP radon 222** faites dans le cadre de la surveillance par Areva NC et la pertinence du choix de ce paramètre pour le contrôle de l'efficacité de la couverture. Les mesures de flux d'exhalation du radon 222 montrent une variabilité spatiale de ce paramètre, en période sèche notamment, qui s'estompe en période humide. Cette variabilité ne peut être détectée par une surveillance en un point unique d'un stockage de résidus. Par ailleurs, la mesure d'EAP semble ne pas être le paramètre le plus pertinent à contrôler pour vérifier que les caractéristiques de la couverture sont maintenues à un niveau lui permettant de jouer pleinement son rôle d'écran vis-à-vis du radon émanant des résidus. En effet, les mesures d'EAP subissent une forte influence de la situation topographique du dosimètre et le système d'acquisition de l'énergie alpha potentielle, basée sur une intégration sur un mois, ne permet pas de rendre compte des conséquences d'une dégradation locale de la couverture. Le dosimètre placé dans la MCO 105 se trouve en fond de vallée, situation topographique favorisant l'accumulation du radon. La MCO 68 correspond à une situation topographie de type sommitale, favorisant la dispersion du gaz. L'observation de valeurs d'EAP plus élevées sur la MCO 105 par rapport à la MCO 68 ne peut être mise en relation avec les mesures de flux surfacique d'exhalation du radon 222.

Des mesures de flux d'exhalation du radon 222 apparaissent comme mieux adaptées à la mise en évidence **d'anomalies liées à d'éventuels défauts locaux de couverture** que la mesure d'EAP.

Ce travail conduit à s'interroger sur la nécessité d'effectuer des mesures de radon et/ou de rayonnement gamma sur les couvertures. Dans le cas où les mesures de radon seraient jugées nécessaires, elles devront être assorties de mesures des principaux facteurs influents, notamment les températures, le taux d'humidité et la pression atmosphérique.

Enfin, il apparaît de manière évidente qu'une mesure ponctuelle, telle que celles réalisées dans le cadre de la surveillance réglementaire, ne permet pas d'apprécier :

- la dispersion, même faible, des paramètres ;
- une perte locale d'intégrité de la couverture.

Une surveillance adaptée à l'objectif de contrôle de l'efficacité des couvertures de stockage passe par la justification des paramètres à surveiller, de la surface à contrôler et du maillage correspondant, de la fréquence des contrôles et également par un contrôle des paramètres influents. Ces points seront examinés par le GEP au cours de l'année 2009.



## 5. Conclusion

La couverture mise en place sur les résidus stockés dans les mines à ciel ouvert (105 et 68) du site de Bellezane a une épaisseur telle que la migration du radon émanant des résidus est suffisamment ralentie pour que ce gaz disparaisse par désintégration avant d'atteindre la surface. La détection de radon (flux d'exhalation, activité volumique) au toit de la couverture correspond ainsi au signal émanant des matériaux constitutifs de cette couverture (stériles et terre végétale).

La couverture permet également de limiter le rayonnement gamma à des niveaux de flux de photons équivalents aux flux de photons dans l'environnement naturel, aux anomalies liées aux minéralisations en place près.

La garantie de l'absence d'incidence des résidus sur la qualité de l'air au droit des stockages repose par conséquent sur l'intégrité de la couverture de stériles et sa pérennité. L'étude de son évolution à long terme et de la surveillance de ses performances apparaît comme un élément clef de la maîtrise des risques.

Pour ce qui concerne l'évolution à long terme, on peut convenir que la configuration du site de Bellezane est favorable au maintien des performances de la couverture : topographie limitant les phénomènes d'érosion et rendant improbables les intrusions humaines, tassement de la couverture conduisant à un abaissement de la porosité/perméabilité, ...

La topographie favorable du site de Bellezane n'est pas généralisable à l'ensemble des sites de stockages ; ceci rend délicat la transposition des conclusions tirées pour le site de Bellezane aux autres sites.

Pour ce qui concerne la surveillance du maintien des performances de la couverture, on retient que :

- la surveillance par la mesure d'EAP ne permet pas de répondre à cet objectif ;
- la mesure du débit de dose à l'aide de dosimètres thermoluminescents (DTL) est peu sensible aux conditions météorologiques mais elle ne permet pas de mettre en évidence des incidents de faibles amplitudes ;
- le flux de radon est sensible aux conditions météorologiques, notamment de température, pression et humidité ce qui conduit à des difficultés à discriminer une variation due à un incident de couverture d'une fluctuation « naturelle ».
- la surveillance doit permettre de vérifier que le développement de la végétation est compatible avec un maintien de la pérennité de la couverture.

Sur la base de ces constats, le GEP mènera une réflexion approfondie sur la surveillance autour des sites miniers d'uranium réaménagés et proposera une évolution du réseau de surveillance de l'air, notamment sur les sites de stockages de résidus. Les résultats des mesures réalisées dans le cadre de la présente étude pourraient alors constituer un point zéro des connaissances si les paramètres retenus étaient le flux d'exhalation de radon ou le flux de photons.

## Références

- [1] IRSN (2007), Expertise globale du bilan décennal environnemental d'Areva NC - 1<sup>ère</sup> partie : stockage de Bellezane et impact environnemental à l'échelle du bassin versant du Ritord, IRSN/DEI/2007-01
- [2] Areva NC (2004), Bilan Décennal Environnemental 1994-2003
- [3] Algade (2008), Campagnes d'estimation du flux surfacique d'exhalation du radon 222 Juin-Juillet 2007 et Mars-Juin 2008 Rapport final de synthèse
- [4] COGEMA (1996), Site de Bellezane - Déclaration d'arrêt des travaux
- [5] GEP (2007), Rapport d'étape 2007