

Fontenay-aux-Roses, le 23 février 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis/IRSN N°** 2016-00057

**Objet :** Etude de la stratification du tritium dans la nappe du Centre de stockage de la Manche (CSM)

**Réf.** Lettre CODEP-DRC-2015-012715 du 8 avril 2015

Par lettre citée en référence, vous demandez l'avis de l'IRSN sur le document présentant l'étude de la stratification du tritium dans la nappe du Centre de stockage de la Manche (CSM) menée en 2012-2013, dénommé « mémo tritium » et transmis par l'Andra en novembre 2014, au regard notamment des conclusions établies par l'Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest (ACRO) en mai 2013 dans un rapport intitulé « *Etude du protocole de prélèvement d'eaux souterraines et de la mise en évidence d'une éventuelle stratification sur les niveaux de tritium mesurés dans les piézomètres du CSM* ». Vous demandez plus particulièrement à l'IRSN de vous faire part de ses observations sur (i) les conclusions éventuelles tirées des résultats des mesures effectuées, (ii) le caractère suffisant du Plan Réglementaire de Surveillance (PRS) applicable au CSM, (iii) l'opportunité de poursuivre de telles campagnes de mesures. Vous demandez également de tenir compte, pour cette analyse, des résultats de l'étude poursuivie par l'Andra en 2014 et figurant dans le bilan annuel de la surveillance du Centre et de son environnement (ci-après dénommé « bilan annuel 2014 »).

## 1. Contexte

Une contamination en tritium de la nappe du CSM a été mise en évidence en 1976. Cette contamination provenait d'après l'exploitant d'un relâchement important depuis l'ancienne tranchée bétonnée appelée TB2 (cf. Figure 1 en annexe au présent avis) dans laquelle avaient été stockés en 1971 des déchets contenant 2 220 TBq de tritium. La majeure partie de ces déchets ont été repris entre 1976 et 1978. Il n'a pas été possible à l'Andra d'estimer, de manière fiable, la quantité de tritium relâchée dans la partie supérieure insaturée des terrains sous-jacents à partir du bilan comptable des activités mobilisées lors de la reprise des déchets. Toutefois, une quantité relâchée d'au moins 800 GBq a été estimée sur la base de mesures de l'activité volumique et du niveau de l'eau présente à l'intérieur de la tranchée. Depuis cette date, le tritium toujours présent dans les terrains supérieurs continue de migrer de manière très lente et ainsi d'alimenter régulièrement la nappe à un taux estimé, par l'IRSN, à environ 20 GBq/an.

Dans le mémo tritium, l'Andra évoque deux autres sources possibles de contamination en tritium de la nappe, que sont la présence d'un ancien cheminement canalisé d'eaux du site, potentiellement fuyard, dans lequel ont pu circuler des eaux contaminées pendant la phase d'exploitation du Centre,

**Adresse courrier**  
BP 17  
92262 Fontenay-aux-Roses  
Cedex France

**Siège social**  
31, av. de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
Standard +33 (0)1 58 35 88 88  
RCS Nanterre B 440 546 018

ainsi que les relâchements dits « diffus » en provenance de l'ensemble du stockage, liés aux infiltrations d'eau (devenues très faibles depuis la pose de la couverture) qui se sont chargées en tritium dégazé des colis. Ces relâchements diffus de tritium, qui ne présentent pas de caractère anormal par rapport au comportement attendu du stockage, ont été estimés par l'IRSN à environ 40 GBq/an.

La qualité des eaux de la nappe fait l'objet d'un suivi régulier défini dans le cadre du PRS<sup>1</sup> du Centre. Cette surveillance est réalisée au moyen de soixante-deux piézomètres, à une profondeur unique et toujours identique (appelée « profondeur de surveillance »). Elle montre que l'activité volumique moyenne en tritium, de l'ordre de  $10^3$  Bq/L depuis 1998, est en constante décroissance depuis 2001. En termes de maximas, des valeurs de l'ordre de  $10^5$  Bq/L étaient mesurées sur un seul piézomètre jusqu'en 2013, puis de l'ordre de  $10^4$  Bq/L sur un à quatre piézomètres entre 2010 et 2014. Ces mesures sont détaillées dans le Tableau 1 en annexe au présent avis.

Afin de vérifier le caractère représentatif des prélèvements réalisés par l'Andra dans le cadre du PRS, la commission locale d'information du CSM a mandaté l'ACRO en 2012 pour réaliser des mesures de la concentration en tritium à différentes profondeurs dans certains piézomètres du CSM et ainsi étudier une éventuelle stratification. Le rapport de l'ACRO mentionné ci-dessus traite des résultats obtenus sur l'année 2012. L'Andra a doublé en 2012 les mesures réalisées par l'ACRO puis les a poursuivies en 2013 et 2014 en vue de consolider les résultats de l'étude.

## 2. Etude de la stratification du tritium dans les piézomètres

### Modalités de l'étude

Des échantillons d'eau ont été prélevés en 2012 par l'ACRO et l'Andra dans huit piézomètres (PO113, PO114, PO120, PO135, PO136, PO139, PO157, PO166), dont sept situés en limite du Centre et un (PO166) situé à 300 m au Nord de la limite du Centre, à l'aval hydraulique (cf. Figure 1 en annexe au présent avis). Chaque piézomètre a fait l'objet de quatre prélèvements à des profondeurs différentes, la deuxième profondeur correspondant à chaque fois à la « profondeur de surveillance » retenue par l'Andra dans le cadre du PRS. Quatre campagnes de prélèvements ont eu lieu (avril, juin, septembre et novembre) pour représenter les périodes de hautes et de basses eaux. En 2013 et en 2014, l'Andra a renouvelé l'étude sur ces huit piézomètres en respectant le même protocole (mêmes profondeurs et quatre mêmes mois de l'année) et en ajoutant, en 2013, un piézomètre en limite du Centre (PO158) ainsi qu'un piézomètre à 500 m au Nord (PO165), puis en 2014 un piézomètre en limite ouest du Centre (PO151) ainsi qu'un piézomètre à 500 m au Nord-Est (PO167).

### Ampleur de la stratification du tritium

Sur la base des mesures effectuées de 2012 à 2014, l'Andra conclut, comme l'ACRO suite aux mesures de 2012, à une stratification du tritium dans sept des huit piézomètres de l'étude initiale et à une absence de stratification dans le huitième (PO157), ainsi qu'à l'absence de stratification dans les piézomètres ajoutés en 2013 et 2014. L'Andra constate que la stratification observée est un phénomène fluctuant, qui se traduit souvent par une augmentation des concentrations en profondeur,

---

<sup>1</sup> Le PRS du CSM préconise, pour le suivi de la nappe, un certain nombre de mesures radiologiques, physico-chimiques et radiochimiques dans les piézomètres. La fréquence de ces mesures peut être mensuelle, bimestrielle, semestrielle ou annuelle.

mais pas systématiquement (cas de PO166 notamment). L'Andra constate en outre que des inversions de stratification peuvent également apparaître au cours de l'année (cas du PO136 notamment).

L'IRSN convient que la plupart des piézomètres étudiés dans l'étude initiale peuvent être considérés comme stratifiés, notamment pour ce qui concerne les piézomètres PO113 et PO136. Cette stratification peut être qualifiée de « *notable* » si l'on considère les concentrations mesurées aux différentes profondeurs de chaque piézomètre à une date donnée comme le fait l'ACRO (soit en considérant chaque campagne prise individuellement). En revanche, si l'on tient compte des différentes campagnes menées sur une année, l'influence des variations saisonnières amoindrit cette observation. En effet, des variations de concentrations en tritium de plus d'un ordre de grandeur ont été mesurées sur un même niveau au cours d'une même année (certains piézomètres pouvant aller jusqu'à perdre leur caractère stratifié lors de certaines campagnes - cas du PO120 notamment) et que ces variations sur un même niveau sont parfois aussi importantes que les variations observées en fonction de la profondeur (e.g. PO120, PO136). Plus globalement, la mise en perspective de ces résultats avec ceux acquis par l'Andra dans le cadre du PRS montre que les ordres de grandeur maximaux de concentration atteints au droit de chaque piézomètre dans l'étude de la stratification ont été atteints au moins une fois à la « profondeur de surveillance » au cours des cinq dernières années ; ceci conduit à lisser le phénomène de stratification.

De l'étude menée sur l'année 2012 l'ACRO conclut, compte tenu de la stratification du tritium dans la plupart des piézomètres étudiés, qu'un prélèvement à une profondeur unique « *ne peut être représentatif de l'aquifère étudié et n'apporte donc qu'une information partielle de la situation radiologique présente* ». L'IRSN considère qu'effectivement, les prélèvements effectués à une profondeur unique ne permettent pas de connaître l'état radiologique exact de la nappe mais qu'étant donné les variations importantes de concentration pouvant être observées à tout niveau au cours du temps, un échantillonnage des piézomètres à différentes profondeurs ne permettra pas d'apporter une image beaucoup plus précise de cette situation. Ceci traduit la grande complexité des écoulements dans les terrains sur lesquels repose le CSM. Ce point est repris plus en détail au chapitre 3 du présent avis.

#### Origine de la stratification du tritium

L'Andra explique la stratification du tritium observée dans certains piézomètres par plusieurs hypothèses, combinées ou non : (i) les contrastes géologiques du site qui engendrent des vitesses de circulation des eaux différentes entre les terrains sains et les terrains altérés ou fissurés, (ii) les battements de la nappe liés aux variations saisonnières des infiltrations d'eaux pluviales et (iii) leur position par rapport à TB2. Les deux premiers points sont également mentionnés par l'ACRO.

S'agissant des contrastes géologiques, l'Andra explique la stratification du tritium par les différences de vitesses d'écoulement que la nappe présente à différentes profondeurs. En effet, le site sur lequel est implanté le CSM présente des caractéristiques hydrogéologiques très contrastées entre les zones de roches saines et les zones d'altération superficielle. Ainsi, la présence de zones d'altération où l'eau peut plus facilement circuler tend à renouveler plus rapidement l'eau à ces niveaux et donc à diminuer la concentration en tritium. Les zones saines présentent quant à elles différentes tendances d'écoulement et de transfert de substances polluantes selon qu'ils se produisent à la faveur de

fractures ou via la porosité matricielle de la roche. Comme pour la zone altérée, les écoulements dans les fractures tendent à diminuer la concentration en tritium alors que les concentrations sont a priori plus élevées dans la porosité matricielle. Sur cette base, l'Andra présente, pour chaque piézomètre, des liens qu'elle considère possibles entre la répartition du tritium observée et la géologie (stratigraphie et position des zones potentiellement plus circulantes) des terrains traversés par le piézomètre.

S'agissant des battements de la nappe, l'Andra explique que les remontées de la nappe peuvent, pour les piézomètres situés dans des secteurs où la zone non saturée présente une quantité importante de tritium encore piégé, remobiliser ce tritium, ou au contraire, pour d'autres piézomètres, diluer les concentrations présentes dans la nappe par des apports d'eaux pluviales non tritiées. A cet égard, dans son analyse du phénomène de stratification, l'Andra tient compte du caractère atypique des années 2012 et 2014 en termes de pluviométrie. Celles-ci ont en effet été largement excédentaires par rapport aux vingt dernières années, conduisant ainsi à une recharge bien plus importante de la nappe et consécutivement à une diminution globale des niveaux de concentration dans les niveaux supérieurs de la plupart des piézomètres.

**L'IRSN estime que malgré la complexité du fonctionnement hydrogéologique du site, les contrastes géologiques et les battements de la nappe sont vraisemblablement les deux origines majeures du phénomène de stratification du tritium observé sur ce site.**

S'agissant de la position des piézomètres par rapport à TB2, l'Andra estime que les piézomètres situés à l'aval hydraulique de cette tranchée ont été contaminés, à tous les niveaux géologiques, par le tritium issu de l'incident de 1976, considéré comme origine essentielle de la contamination de la nappe. L'Andra précise qu'une absence de stratification (cas du PO157 par exemple) pourrait s'expliquer par un positionnement à l'amont de TB2 avec une contamination en tritium « *due à un effet de diffusion gazeuse [depuis les ouvrages] dont la répartition est plus homogène sur la colonne d'eau* ».

A cet égard, l'IRSN considère que la localisation d'un piézomètre donné à l'aval d'une source de contamination peut certes expliquer la présence plus importante de tritium dans ce piézomètre et par conséquent mettre le cas échéant davantage en évidence le phénomène de stratification, mais n'en constitue pas une cause directe au même titre que les contrastes géologiques et les battements de nappe. L'IRSN constate sur ce point que les deux piézomètres situés dans la zone Ouest-Nord-Ouest du Centre (PO120 et PO135) ne présentent pas de stratification plus importante que les autres alors que cette zone inclut les piézomètres présentant les niveaux de tritium les plus élevés parmi tous les piézomètres suivis dans le cadre du PRS (PO120 et PO131, cf. Tableau 1 en annexe au présent avis). L'IRSN rappelle à cet égard que TB2 ne peut pas être l'unique source de contamination en tritium de la nappe (cf. Figure 1 en annexe au présent avis). En effet, pour la zone Ouest-Nord-Ouest du Centre, outre l'ancien cheminement canalisé d'eaux du site datant de la phase d'exploitation mentionné ci-avant qui a pu contribuer à contaminer la nappe dans ce secteur, il est envisageable que les ouvrages de stockage P8 et P9, situés à proximité de PO120 et PO131, aient également contribué à cette contamination étant donné que d'importants relâchements de tritium ont eu lieu en 1988 dans le réseau collectant les eaux à la base de ces ouvrages de stockage avant qu'ils ne soient recouverts.

### 3. Caractère suffisant du PRS et opportunité de poursuivre les campagnes de mesures à différentes profondeurs dans les piézomètres

L'Andra considère, malgré la mise en évidence d'une stratification du tritium dans certains piézomètres (phénomène non quantifié avant cette étude), que le PRS actuellement en vigueur n'a pas lieu d'être modifié. En effet, l'Andra indique que sa méthode d'interprétation des résultats, basée sur le suivi de la nappe par zones cohérentes avec les directions d'écoulement (comprenant chacune de neuf à seize piézomètres) ainsi qu'à ses exutoires<sup>2</sup>, permet actuellement une surveillance fiable de l'évolution de l'aquifère, dont celle de sa contamination en tritium. L'Andra ajoute que la « profondeur de surveillance » a été retenue, pour chaque piézomètre suivi dans le cadre du PRS, en privilégiant une profondeur proche de celle des ouvrages de stockage et des conditions suffisamment circulantes des eaux de la nappe. Elle précise que, comme convenu avec l'ASN, les piézomètres ne doivent pas être purgés avant prélèvements d'eaux pour ne pas perturber les lignes d'écoulement. Pour sa part, l'ACRO indique qu'afin de certifier la représentativité d'échantillons d'eaux souterraines, il est préconisé, d'après les normes ISO 5667-11 et FD T90-523-3, soit de purger les piézomètres avant prélèvements, soit de vérifier l'homogénéité de la colonne d'eau à l'intérieur du piézomètre. L'ACRO conclut donc, ainsi qu'indiqué ci-avant, que compte tenu de la stratification du tritium, un prélèvement à une profondeur unique sans purge préalable « *ne peut être représentatif de l'aquifère étudié et n'apporte donc qu'une information partielle de la situation radiologique présente* ».

L'IRSN rappelle que, d'après l'article 5 du décret n°2003-30 du 10 janvier 2003 autorisant le passage du CSM en phase de surveillance, l'objectif du plan de surveillance du Centre est de décrire l'ensemble des dispositions mises en œuvre par l'Andra pour surveiller l'installation et son environnement et notamment de permettre :

- « *de vérifier le bon comportement du système de stockage ;*
- *de détecter toute situation ou évolution anormale afin d'en localiser l'origine, d'en identifier les causes et d'engager les actions correctives nécessaires ;*
- *d'évaluer l'impact radiologique et chimique de l'installation sur la population et l'environnement et de suivre son évolution ».*

L'IRSN considère, comme indiqué précédemment, que la complexité du système hydrogéologique du site sur lequel repose le CSM, qui conduit à une migration hétérogène du tritium dans la nappe, ne permet pas de posséder une connaissance exacte de son état de contamination, en particulier des concentrations maximales en tout point. Néanmoins, la densité du réseau de surveillance, constitué de nombreux piézomètres répartis autour du Centre et de points de mesure aux différents exutoires des eaux de la nappe ayant circulé sous le Centre, ainsi que la fréquence de ce suivi (mensuelle à semestrielle pour le tritium), permettent actuellement, selon l'IRSN, de disposer d'une connaissance globale suffisante de l'état de contamination de la nappe au regard des objectifs du PRS. L'IRSN estime en effet que la stratification observée dans certains piézomètres n'empêche pas d'acquérir une vision convenable de l'évolution de la situation radiologique de la nappe et estime comme l'Andra que des prélèvements répétés à une profondeur toujours identique dans chaque piézomètre du PRS

---

<sup>2</sup> Ruisseaux du Grand-Bel, de la Sainte-Hélène, des Roteurs et drainage permanent situé au niveau du bâtiment EEV-SE d'Areva la Hague.

constitue un moyen fiable de mise en évidence d'une situation ou évolution anormale du stockage et *in fine* de vérifier le bon comportement du stockage.

Par ailleurs, l'IRSN rappelle que du fait de la localisation du CSM sur une butte et de la présence de nombreuses sources à proximité, l'évaluation de l'impact radiologique du Centre s'appuie non pas sur l'activité maximale de l'eau de la nappe mais sur une mesure directe de l'eau de surface aux exutoires de la nappe, en particulier à la confluence des ruisseaux de la Sainte-Hélène et du Grand-Bel (point R6.10), localisation la plus significative pour l'estimation de l'impact radiologique du Centre. De ce fait, l'IRSN considère que tant que l'absence d'utilisation des eaux de la nappe situées entre le stockage et les différents exutoires de la nappe demeure garantie, la maîtrise de l'impact radiologique du Centre est assurée et qu'une connaissance plus détaillée du niveau de contamination de la nappe n'apporterait pas d'élément nouveau pour l'estimation de l'impact radiologique lié au CSM.

**En conséquence, l'IRSN estime que la surveillance du Centre mise en œuvre par l'Andra dans le cadre du PRS permet de remplir les trois objectifs qui lui sont fixés dans le décret n°2003-30 précité et que le PRS n'a donc pas lieu d'être modifié.**

Pour ce qui concerne la poursuite des campagnes de mesures de tritium à différentes profondeurs dans les piézomètres, l'IRSN prend note de l'intention de l'Andra, dans le bilan annuel 2014, de continuer à mesurer tous les cinq ans la stratification du tritium dans les piézomètres de l'étude initiale et à étudier en 2015 de nouveaux secteurs afin de consolider les tendances observées et de cartographier l'ensemble des différents secteurs du Centre. **L'IRSN considère que la poursuite de ces campagnes n'est pas indispensable au titre de la maîtrise des risques mais peut toutefois apporter des éléments d'information complémentaires sur l'état de contamination de la nappe. A ce titre, l'IRSN considère que la proposition de l'Andra est satisfaisante.**

Enfin, pour ce qui concerne la purge des piézomètres préalablement à leur échantillonnage, qui ne relève pas *stricto sensu* du PRS mais d'une méthodologie décrite dans une procédure associée, l'IRSN constate que les normes évoquées supra ne préconisent une telle purge que lorsque les piézomètres ne sont pas crépinés sur toute leur hauteur (configuration ne permettant pas un renouvellement suffisant de l'eau piégée à l'intérieur du tubage), ou lorsque l'on ne connaît pas le type d'équipement utilisé, ce qui n'est pas le cas des piézomètres du CSM qui possèdent des crépines sur quasiment toute leur hauteur. En outre, l'IRSN observe que la norme FD T90-523-3 précitée précise que « *la purge de plusieurs volumes de colonne d'eau est parfois à éviter [...] en cas d'aquifères multiples que la purge risque de perturber et de mélanger* », ce qui se rapproche du cas de l'aquifère du CSM, de type fissuré. Enfin, l'IRSN attire l'attention sur le fait que le rabattement induit par la purge d'un piézomètre risque, et ce d'autant plus que la purge est effectuée par pompage :

- de modifier la concentration en polluant, en ramenant vers le piézomètre une eau soit de plus faible concentration soit de plus forte concentration pouvant entraîner, respectivement, une sous-estimation ou une surestimation des mesures ; la purge n'est donc pas susceptible d'améliorer la représentativité du prélèvement ;
- de modifier les écoulements sur une étendue inconnue compte tenu du caractère hétérogène de l'aquifère et donc de rendre l'interprétation du comportement de la nappe plus

complexe. L'IRSN observe ainsi que le comportement du piézomètre PO113, qui présente habituellement à la « profondeur de surveillance » des concentrations plus faibles lorsque le niveau de la nappe est élevé, a été modifié temporairement, entre mars et juillet 2011 (cf. Figure 2 en Annexe au présent avis), suite à des pompages réalisés par Greenpeace dans ce piézomètre, sans que l'étendue de la perturbation induite ne soit à ce jour totalement appréhendée ;

- dans le cas de purges trop fréquentes, d'accélérer la migration du tritium vers les exutoires alors qu'il est préférable, étant donné la demi-vie relativement courte de ce radionucléide (12,3 ans), de limiter autant que possible sa migration pour permettre sa décroissance jusqu'à des concentrations négligeables.

Aussi, de telles purges dans les piézomètres du CSM conduiraient à perturber les mesures et dégraderaient les capacités d'interprétation du comportement de la nappe.

**En conséquence, l'IRSN considère que la purge des piézomètres du CSM doit demeurer proscrite.**

#### **4. Conclusion**

L'IRSN estime que l'étude de la stratification du tritium réalisée sur trois années dans des piézomètres du CSM a été convenablement menée par l'Andra. L'interprétation qu'elle en a faite apporte des connaissances nouvelles sur la répartition locale du tritium dans la nappe et met en exergue la complexité hydrogéologique du site. Cette complexité ne permet pas d'acquérir une connaissance exacte de l'état de contamination de la nappe. Néanmoins, l'IRSN estime que la surveillance de la nappe effectuée dans le cadre du PRS en vigueur reste suffisante pour détecter une évolution anormale de la contamination et évaluer l'impact radiologique du Centre sur l'environnement et la population. Le PRS n'a donc pas lieu d'être modifié.

Pour le Directeur général, par ordre

François BESNUS

Le Directeur des déchets et de la géosphère

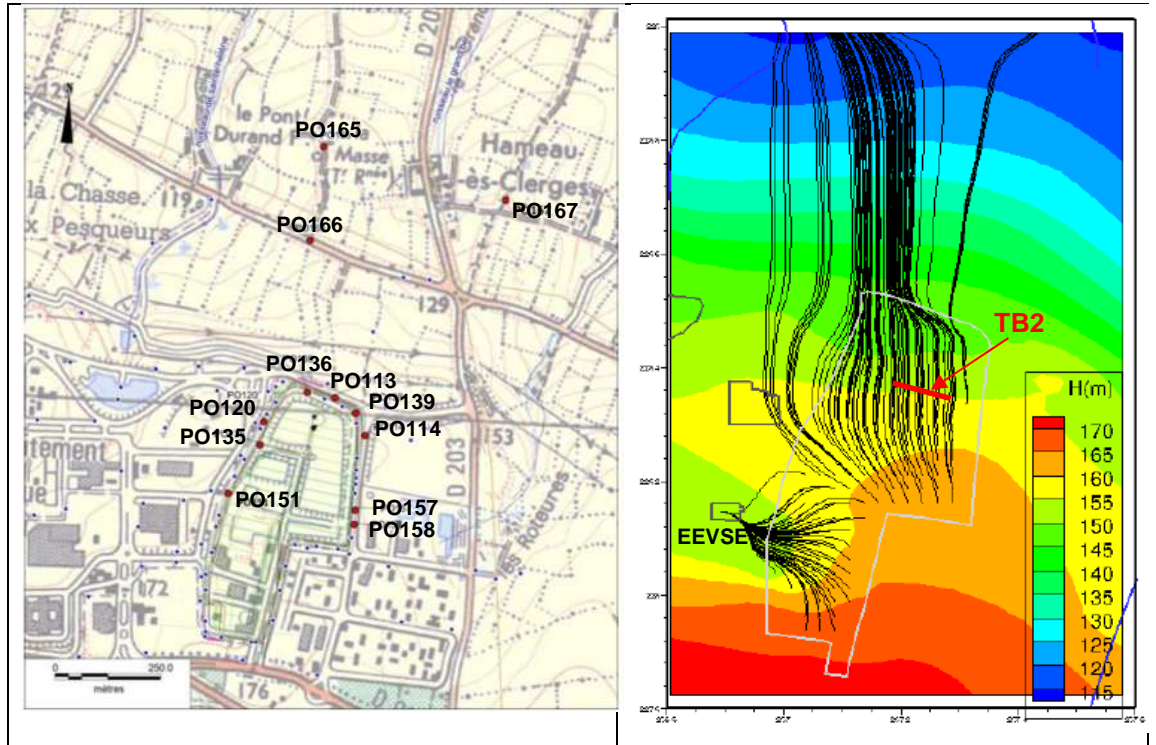


Figure 1

Gauche : emplacement des piézomètres échantillonnés lors de l'étude de la stratification du tritium.  
Droite : localisation de TB2 et directions des écoulements dans la nappe en période de hautes eaux.  
(Figures Andra, modifiées)

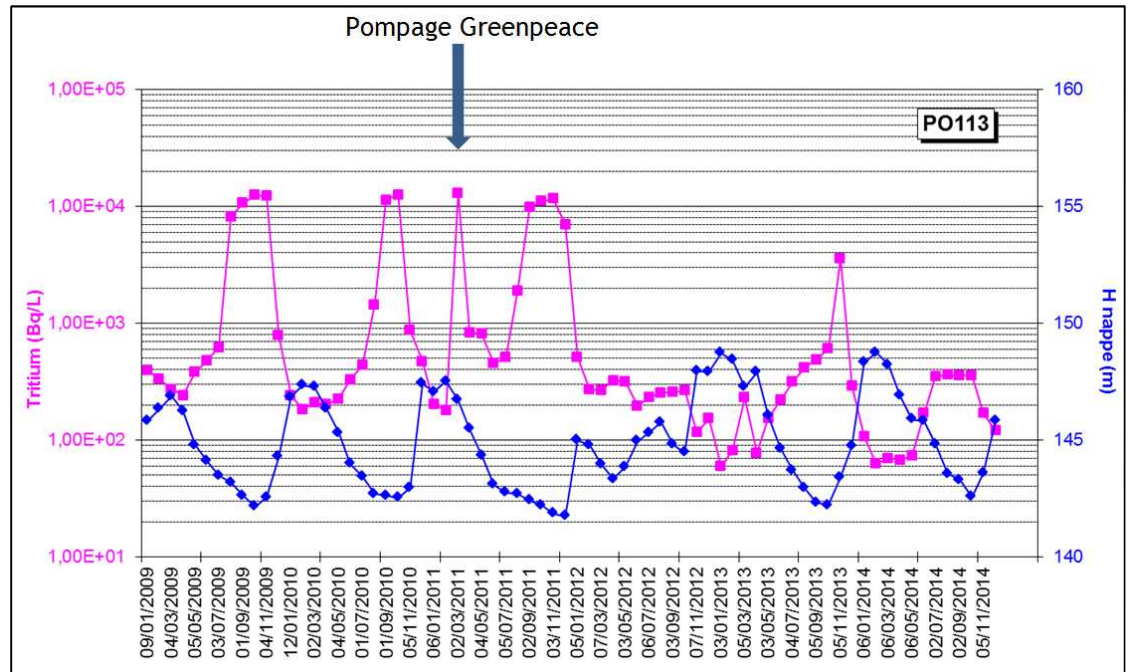


Figure 2

Concentrations en tritium (échelle logarithmique) et hauteur de la nappe (échelle linéaire) à la « profondeur de surveillance » dans le PO113



<b>Année</b>	<b>Activité moyenne des 62 piézomètres</b>	<b>Piézo mètres de l'ordre de 10<sup>4</sup> Bq/L</b>	<b>Piézo mètres de l'ordre de 10<sup>5</sup> Bq/L</b>
<b>2010</b>	3,54 x 10 <sup>3</sup> Bq/L	PO120, PO113, PO137	PO131
<b>2011</b>	3,46 x 10 <sup>3</sup> Bq/L	PO120, PO113, PO137	PO131
<b>2012</b>	3,13 x 10 <sup>3</sup> Bq/L	PO120, PO137, PO138, PO153	PO131
<b>2013</b>	2,41 x 10 <sup>3</sup> Bq/L	PO120	PO131
<b>2014</b>	2,05 x 10 <sup>3</sup> Bq/L	PO131, PO120	-

*Tableau 1*

*Activités volumiques moyennes en tritium des piézomètres du CSM depuis 2010 et identification des piézomètres présentant les plus fortes activités*