

# Connaissance des transferts de l'eau tritiée atmosphérique dans les différents compartiments de l'environnement

## Apports de la surveillance du centre CEA-Valduc

P. Guétat<sup>1</sup>, A. Tognelli<sup>2</sup>, L. Vichot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR CEA E4, VALDUC

<sup>2</sup> CEA, Bruyères le Chatel

### Introduction

Le Centre de Valduc se situe en région Bourgogne, Côte d'Or (21), à environ 30 km au nord-ouest de Dijon, sur le plateau de Langres, à une altitude d'environ 450 m.

Acquis en 1957, il abrite aujourd'hui, entre autres, des installations « tritium » qui concernent le traitement, la purification du tritium et son conditionnement, le traitement des déchets tritiés, et leur entreposage.

Seules ces installations sont génératrices de rejets atmosphériques conduisant à un marquage mesurable de l'environnement. Ceux-ci sont passés d'environ 100 g/an au maximum à un peu moins de 1 g/an aujourd'hui, grâce à une réflexion portant sur la conception des installations, qui a conduit à la mise en place d'un traitement de l'air (détritiation), et d'une politique de traitement des déchets. Les rejets des installations sont essentiellement constitués d'eau tritiée. La Figure 1 présente l'évolution des rejets des origines à aujourd'hui.

Les objectifs principaux de ce document sont :

- de présenter le bilan des quantités émises depuis l'origine par le centre de VALDUC, et de leur devenir dans l'environnement hydrogéologique.
- de fournir des données observées macroscopiquement in situ sur les mécanismes de transfert de l'eau entre les différents compartiments de l'environnement et la chaîne alimentaire, grâce au traceur exceptionnel que constitue l'eau tritiée et,
- de confronter les résultats de modèles mathématiques à la réalité du terrain.

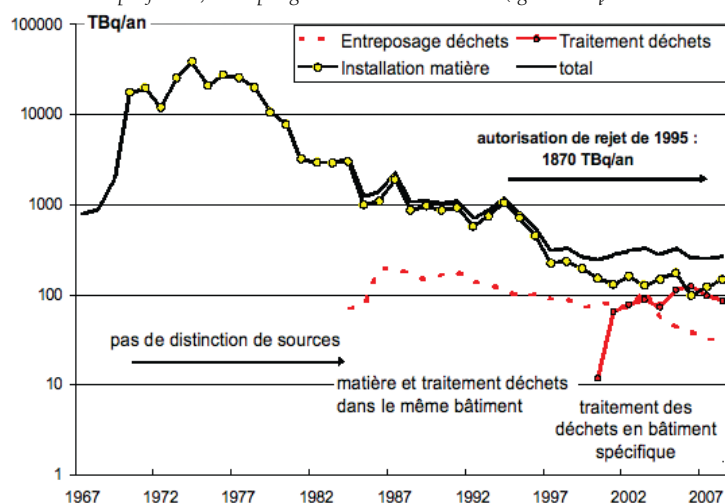
### 1 | Données relatives à l'environnement du site

La région de Valduc est constituée par des niveaux de calcaires karstifiés séparés par un horizon marneux peu perméable épais d'une vingtaine de mètres. Cet horizon peu perméable sépare deux aquifères, un aquifère d'épaisseur moyenne de 10 mètres et qui s'écoule vers les rivières de la Douix et de l'Ignon, et un aquifère inférieur soutenu par les argiles noires du Lias. La surface d'affleurement de ce dernier est réduite aux flancs et aux fonds des vallées ce qui limite son alimentation directe par infiltration des précipitations. Il s'agit d'une nappe régionale peu affectée par la topographie, dont l'épaisseur est de 24 mètres en moyenne et utilisable comme ressource en eau.

Trois voies de communication sont possibles entre les deux nappes : les failles et rejets de faille, l'infiltration verticale à travers les marnes, et enfin la réinfiltration de l'eau, après écoulement en surface sur les marnes, dans le calcaire contenant la nappe inférieure.

D'un point de vue climatique, le climat est continental, légèrement tempéré par une influence océanique. La météorologie présente un intérêt important pour la définition des flux d'eau entrant dans le système d'une part et pour la répartition des dépôts au sol via la dispersion des effluents atmosphériques d'autre part.

Figure 1 : Evolution des rejets (échelle logarithmique) de tritium et répartition entre installation de purification, d'entreposage et de traitement de déchets (1g = 358TBq).



La hauteur de pluie mensuelle est assez stable entre 60 et 90 L.m<sup>-2</sup>.mois<sup>-1</sup>, pour une moyenne annuelle de 850 mm.an<sup>-1</sup> sur la période 1988-2007. Il pleut environ 3 % du temps. L'évapotranspiration potentielle des végétaux a été évaluée à 667 mm.an<sup>-1</sup>, ce qui conduit à un ensemble « infiltration et ruissellement » voisin de 200 mm.an<sup>-1</sup>.

Les roses des vents révèlent principalement une différence entre vents de pluie venant surtout du sud ouest à l'ouest (en direction de Salives), et vents secs, assez bien répartis, avec une légère prédominance de vent du nord observée à hauteur de 10m. Les vents forts sont peu fréquents.

En moyenne mensuelle, sur la période de végétation (mai à octobre), la teneur en vapeur d'eau de l'air est de 9 g.m<sup>-3</sup>. L'intensité de la pluie a par ailleurs un effet sur le transfert entre les gouttes de pluie et la vapeur d'eau de l'air. Pour 78% du temps de pluie, les pluies sont d'intensité inférieure à 2,5 mm.h<sup>-1</sup>.

## 2| Bilan hydrogéologique des transferts d'eau tritiée

Les rejets atmosphériques d'eau tritiée de VALDUC conduisent à un marquage secondaire des eaux du sol, des nappes et des cours d'eau, par les phénomènes de dépôts de vapeur d'eau et d'infiltration d'eau de pluie. Plus fort dans un rayon de quelques kilomètres autour du point d'émission le marquage s'affaiblit ensuite jusqu'à se perdre dans le bruit de fond de l'eau de l'atmosphère du globe. Le bassin versant de la Douix de Léry, sur lequel se situe le centre de VALDUC, est un système hydrauliquement fermé, qui a été suivi sur 3 décennies. Il est particulièrement intéressant d'effectuer le bilan tritium sur cette zone géographique finie.

Sur une surface de 40 km<sup>2</sup>, la quantité de tritium déposée d'environ 7g (2600 TBq) et infiltrée est de l'ordre de 1% de l'activité rejetée aux cheminées, environ 700g (270000 TBq). Le bilan des entrées et sorties de tritium sur ce bassin versant met en évidence la présence d'un stock (corrige de la décroissance radioactive en 2008) de 1,4g (500 TBq), en migration dans la roche insaturée et saturée. A titre de comparaison, le centre de VALDUC a rejeté 0,7g (250 TBq) de tritium en 2008.

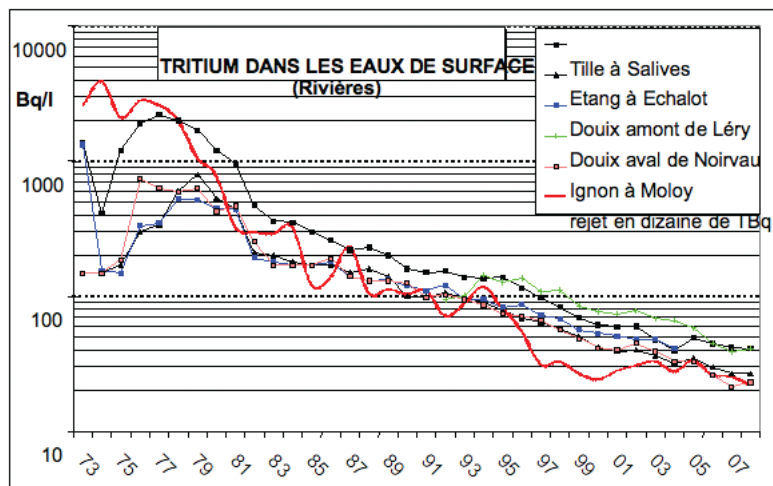
L'existence d'un stock explique le fait que la diminution des activités en tritium dans les eaux de nappe et de rivières ne suit pas rigoureusement l'évolution des rejets atmosphériques.

Sur un peu plus de 30 ans, 7% de l'activité infiltrée est ressortie du bassin versant (incluant le ruissellement et les écoulements rapides en milieu fracturé), 74% a disparu par décroissance radioactive et 19% se trouve encore dans le milieu matriciel de la roche.

On considère que le tritium traverse sous forme d'eau libre le milieu fracturé sur une durée totale comprise entre 1 et 3 ans. Par contre, dans le milieu matriciel, le complément de tritium migre lentement (environ 1 m/an), créant un stock matriciel.

La figure 2 montre l'évolution des concentrations des eaux de surface autour du site et l'évolution des rejets annuels. Toutes les activités des eaux sont, même à l'origine, en dessous du seuil de potabilité de l'OMS (10<sup>4</sup> Bq/L). Les concentrations dans les deux nappes sont assez voisines, et aujourd'hui se situent entre 30 et 300 Bq/L.

Figure 2 : Evolution des concentrations en tritium des eaux de surface (échelle logarithmique).



## 3| Transferts entre les compartiments de la biosphère et dans la chaîne alimentaire

La figure 3 présente l'évolution mesurée du coefficient de transfert atmosphérique établissant la relation entre la concentration de l'air et le débit de rejet, en moyenne mensuelle pour les quatre stations de 2005 à 2008. Les valeurs théoriques calculées par le code Gascon utilisé au CEA sont respectivement de 7.10<sup>-8</sup>, 1.4 10<sup>-7</sup>, 9.10<sup>-8</sup> et 6.4 10<sup>-8</sup>. On trouve ainsi une assez bonne concordance, à un facteur 2 près.

Figure 3 : Coefficients de transfert atmosphériques mesurés de 2005 à 2008. (1.00E-08 : lire 1. 10<sup>-8</sup>)

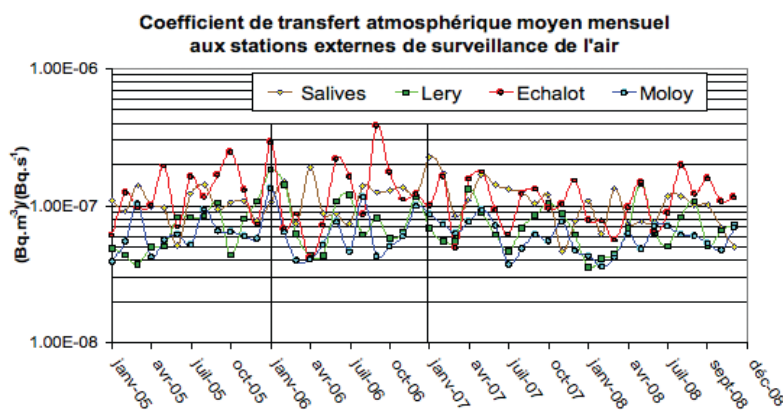
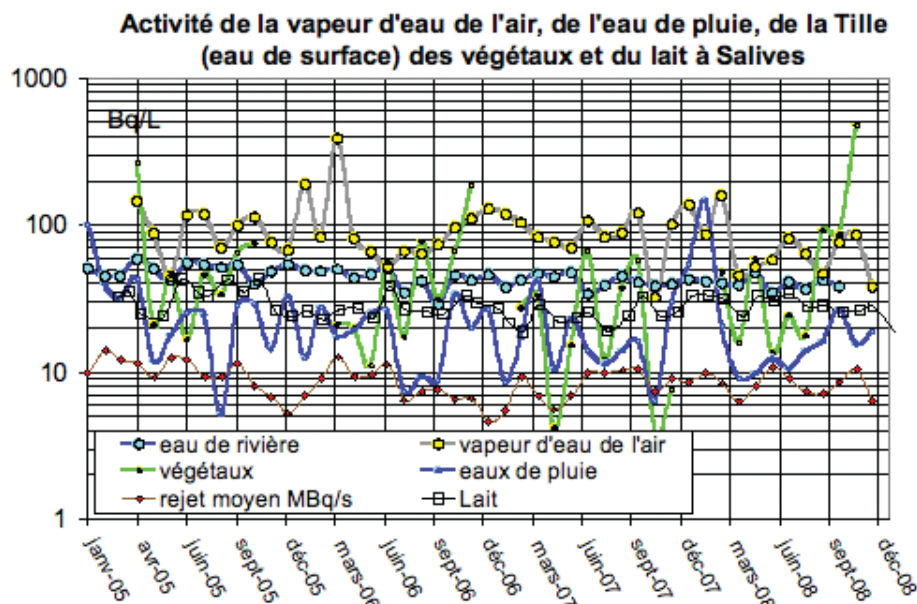


Figure 4 : activités des eaux libres de la biosphère mesurées de 2005 à 2008 à Salives (sous les vents du temps de pluie).



Les mesures d'eau de combustion de la matière organique (OBT en Bq/L) ne font pas partie du plan de surveillance du fait des difficultés pratiques de réalisation. Des campagnes sont cependant régulièrement réalisées souvent en parallèle avec l'association indépendante locale (Structure d'échange et d'information sur Valduc). Seules les valeurs détaillées de l'association ont été reportées ici (Figure 5), sachant que les valeurs pour l'eau libre sont généralement très voisines entre les deux entités. Les divergences éventuelles entre les mesures d'eau de combustion apparaissent sur les ratios OBT/eau libre. D'une manière générale, on constate qu'il n'y a pas de différence très significative entre eau libre et eau liée en terme de concentration. Le cas des pommes et pommes de terre mérite une itération. Dans les quelques cas où l'on peut croiser ces données avec des données de l'air ou de la pluie, on constate que la valeur concernant l'eau de combustion est relativement voisine et de celle de la vapeur d'eau de l'air, mais assez largement au dessus de l'eau de pluie.

La figure 4 permet, sur l'exemple des données de Salives, de visualiser l'ensemble des transferts air, pluie, eaux de surface, végétal et lait. L'eau de la vapeur d'eau de l'air a, pendant la très grande majorité du temps, la concentration la plus forte. Les fluctuations sont liées principalement à la variabilité des directions de vents. L'activité de l'eau de pluie est sensiblement plus faible d'un facteur 3 à 10, ce qui est conforme aux modèles mathématiques pour l'échange entre vapeur d'eau de l'air et gouttes de pluie à ces distances. Les fluctuations sont assez importantes, la proportion de temps de pluie étant faible et la répartition en direction et intensité des vents, très inhomogène sur la semaine. L'eau libre des plantes se situe en règle générale entre les deux précédentes. L'eau de pluie semble avoir une influence assez faible dans les transferts du tritium. Ceci peut se comprendre soit par l'importance des dépôts de vapeur de l'air au sol par temps sec soit par une prédominance de la voie air - feuille. La concentration de l'eau de la Tille apparaît très stable sur toute la période et peu sensible à la pluie. Elle dépend en pratique pour une grande part de celles des eaux d'infiltration et de la nappe phréatique, d'activité plus élevée que celle de l'eau de pluie pour les raisons indiquées dans le bilan hydrogéologique précédent. Enfin, l'activité du lait apparaît cohérente avec l'activité des végétaux.

Figure 5 : activités de divers produits alimentaires en tritium organique et eau libre de végétal.

Commune	Distance de Valduc en km	Année	Aliment ou végétal	ratio CEA	ratio SEIVA	Tritium eau libre Bq/l	OBT eau de combustion Bq/L	Vapeur d'eau de l'air Bq/L	Eau de pluie Bq/L
Salives	4	1988	Feuilles de chêne				400	425	
		1998				80	94.8	14	
		2001				157	106	24	
		2006				40	105	17	
Le Meix	2	2001	Girolles	0.7	0.4	214	91.15		
Poiseul-les-S	9	2001		2.3	1.9	7	13.4		
Frénois sud	4	2001	Blé	0.4	0.5	142	77.34		
Salives N.E.	4	2001		0.5	2.0	19	37.16	106	24
Auxonne	35	2003	Salades	0.6	1.8	1.33	2.41		
Lamargelle	15	2003		1.6	2.8	4.17	11.58		
Salives	4	2003		1.6	1.7	31.75	52.63	59	23
Auxonne	58	2003	Poireaux	1.7	0.7	1.55	1.09		
Lamargelle	4	2003		2.6	8.1	2.98	24.09		
salives	5	2003		0.9	1.1	27.55	30.59	59	23
Salives	4	2004	Pommes de terre 1	0.92	4.6	33.6	155.36	87	15.6
Lamargelle	5	2004		1	5.4	6.5	34.78		
Auxonne	58	2004		0.8	4.9	1.8	8.75		
Salives	4	2004	Pommes 1	0.9	11.4	47.2	540.32	87	15.6
Grancey-	15	2004		0.89	10.5	8.9	93.36		
Arcelet	35	2004		0.94	11.2	1.6	18		
Echalot	2	2008	Carottes			15.5		61	13.9

<sup>1</sup> Le CEA n'a mesuré que l'eau de combustion. Les ratios présentés utilisent l'eau libre des échantillons mesurés par la SEIVA

#### 4 | Conclusion

Bien que l'activité rejetée par Valduc soit, depuis près de 10 ans, stabilisée à un niveau désormais difficile à réduire, celles des nappes et eaux de surface ont continué à décroître, faisant apparaître ainsi le rôle et l'influence du tritium encore en stock dans la géosphère.

La comparaison mesures – modèle montre que les évaluations sont satisfaisantes, même si la multiplicité des voies ne permet pas d'affirmer avec certitude l'importance relative des phénomènes en jeu. La pluie semble avoir une influence faible pour la chaîne alimentaire. Il n'apparaît pas de différence manifeste entre les activités de l'eau de combustion et de l'eau libre, compte tenu des difficultés de mesure du tritium organique à ces faibles niveaux.