

DUTREVE Julien
4^{ème} année Matériaux



STAGE TECHNICIEN 4^{ème} année ESIREM

Etude de la teneur atmosphérique de tritium autour du CEA de Valduc



Stage effectué du 04/04/2011 au 01/07/2011

Tuteurs de stage :
SAUT Catherine
MAVON Christophe

Tuteur universitaire :
BRACHAIS Claire-Hélène



INTRODUCTION

J'ai effectué un stage de technicien à la SEIVA dans le cadre de ma 4^{ème} année d'école d'ingénieur à l'ESIREM. Celui-ci fut réalisé en collaboration avec le laboratoire de l'UT MARIO en charge des mesures du tritium dans l'eau à l'université de Franche-Comté de Besançon.

Lors de ce stage j'ai réalisé la campagne de mesure de la SEIVA du tritium dans l'atmosphère au voisinage du CEA de Valduc.

Le CEA possède sa propre structure d'analyse des rayonnement, le SPR, qui utilise des barboteurs pour mesurer l'activité volumique du tritium dans l'atmosphère. Ces systèmes permettent de capter à la fois l'eau tritiée et le tritium sous forme gazeuse mais présente plusieurs inconvénients : la nécessité d'une alimentation par le secteur, un temps de prélèvement d'une semaine donc peu sensible aux variations de courtes durées ainsi qu'un coût élevé.

C'est pour cela que la SEIVA s'est doté d'un système de prélèvement autonome depuis 2005 conçu par Ivan Litvinenko-Morel, lui aussi dans le cadre d'un stage de 4^{ème} année à l'ESIREM. Ce système a été ensuite amélioré et validé au fil des années par différents stagiaires. Il permet la capture de l'eau tritiée et donne des résultats à partir de 8h de prélèvement mais malgré une incertitude assez importante. Son alimentation est assurée par une batterie facilitant sa mobilité.

Cette année, le prototype étant au point, je me suis concentré sur la détermination de facteurs d'accumulation du tritium atmosphérique.

Je présenterais dans ce rapport les différents organismes impliqués dans ce projet, suivie d'une rapide présentation du tritium, ses propriétés et son environnement.

La suite sera composée de la présentation des méthodes d'analyses que j'ai pu utiliser dans ce stage, puis le résultat et les conclusions des analyses de la campagne de mesure. Et pour finir je présenterais les suites envisagées aux conclusions de ce stage.

La SEIVA

SEIVA signifie Structure d'Echange et d'Information sur Valduc. Créée en 1996, c'est une association indépendante d'ouverture qui laisse la parole à chacun. Elle est constituée d'élus locaux, de représentants d'administrations, d'organismes régionaux, d'associations et de personnalités qualifiées. Son rôle est d'évaluer et d'informer sur l'impact du fonctionnement de Valduc, que ce soit sur l'environnement, la recherche, l'économie locale et tous les sujets ne portant pas sur les éléments confidentiels couverts par son classement d'installation nucléaire de base secrète par le Premier Ministre. Par ailleurs, la SEIVA réalise chaque année des campagnes d'analyse de la radioactivité sur l'environnement autour de Valduc. Cela concerne les eaux autour du centre, les animaux et les végétaux. Pour cela, elle dispose de commissions Environnement et Economie et d'un comité scientifique, d'un budget lui permettant d'effectuer des analyses et études indépendantes, de publier son bulletin, d'organiser des conférences et des visites, de participer à différents événements locaux et nationaux et de financer des stages étudiants.

L'UT-MARIO

L'UT MARIO, créée en 2005 qui signifie Unité Technique Métrologie et Analyse des Rayonnements Ionisants au sein de la SERAC (SERVICE d'Analyse et de Caractérisation). Cette unité a pour but d'apporter son soutien aux activités d'enseignement et de recherche dans le domaine des rayonnements ionisants de Franche-Comté. Elle contribue aussi à la surveillance de l'environnement en faisant des analyses sur l'eau en tritium et en activité α et β par exemple. Cette unité est agréée par l'autorité de sûreté nucléaire (ASN)

C'est au sein de cette unité que nous avons réalisé les mesures des prélèvements effectués au cours de mon stage.

Le CEA Valduc

Le centre de Valduc est l'un des dix établissements du Commissariat à l'Energie Atomique. Créé en 1957, le centre CEA de Valduc est situé dans le centre de la Côte d'Or, à 45 km au nord-ouest de Dijon.

Valduc conçoit, fabrique et assure la maintenance des composants nucléaires des armes de la force de dissuasion française.

Le centre de Valduc dépend de la Direction des Applications Militaires du CEA.

Le SPR (Service de Protection contre les Rayonnements) effectue, notamment, sur le centre et dans un périmètre proche les analyses de surveillance et de contrôle réglementaires de l'environnement.

I - Le Tritium

Mon stage consistant à mesurer des concentrations de tritium il convient de la définir ainsi que son impact sur l'environnement.

I – 1 - Propriétés

Le tritium est l'isotope radioactif de l'hydrogène, son noyau comportant 1 proton et 2 neutron il est noté T, ${}^3\text{H}$ ou H_3 .

Le tritium se désintègre par émission β^- (émission d'un électron) pour donner de l'hélium 3 selon la réaction nucléaire (Fig.1).

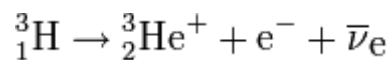


Fig. 1 Equation de désintégration du tritium

L'antineutrino $\bar{\nu}$ est une particule neutre, de masse voisine de 0 ce qui le rend pratiquement indétectable. L'énergie maximum des β^- caractéristique de cet isotope est égale à 18,6 keV avec une énergie moyenne de 5,7 keV. Le rayonnement β^- est peu pénétrant, il est arrêté par 5 millimètres d'air ou par 6 μm d'eau.

Il a une période radioactive est de 12.32, plutôt faible par rapport à d'autre radioélément à longue durée de vie (de l'ordre de millions d'années pour le plutonium, l'uranium ou l'iode). Il se désintègre selon la loi de décroissance radioactive suivante :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Avec : N_0 : nombre de noyaux non désintégrés initial

λ : constante radioactive de l'élément (qui se calcule $\lambda = \ln(2)/t_{1/2}$)

I – 2 – Tritium dans l'environnement

Il est présent naturellement dans l'atmosphère en très faible quantité, principalement produit par le rayonnement cosmique sur l'azote (Fig. 2).

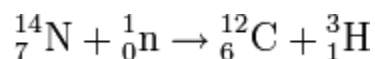


Fig. 2 Equation de formation naturelle de tritium

Le tritium est l'un des principaux radionucléides émis par les réacteurs nucléaires, l'armement nucléaire et les installations de traitement du combustible nucléaire usé. On peut noter que l'industrie horlogère l'utilise en faible quantité pour ses propriétés luminescentes avec le phosphore.

On en retrouve 3 à 4 kg sur terre d'origine naturelle alors que les essais nucléaires on en rejetés plus de 650 kg entre 1952 et 1963. Le CEA Valduc en rejette quant à lui un peu moins d' 1 gr/an sous forme gazeuse contre 40 gr/an pour tout le parc nucléaire français sous forme liquide et gazeuse, le CEA n'ayant que le droit de rejets gazeux. On compte la teneur en tritium selon son activité par volume ou par masse (Bq/m^3 , Bq/kg ...).

La norme française indique une teneur maximum dans les eaux potable de 100Bq/L maximum, mais aucune loi n'est en vigueur quand à l'activité de celui-ci dans l'air.

Etant isotope de l'hydrogène il ne présente pas de risque chimique et seule sa désintégration a un effet sur l'organisme. L'épaisseur de l'épiderme étant plus important que la pénétration du rayonnement une exposition cutanée ne présente pas risques radiologique forts mais s'il est ingéré par l'organisme sa présence peut avoir des conséquences néfastes, mais qui ne sont pas encore quantifiées.

II – Campagne de mesure

Durant ce stage j'ai effectué une campagne de mesure afin de relever l'influence de différents facteurs qui pourraient influencer la dispersion du tritium rejeté par le CEA. Ceci dans le but de trouver les endroits qui pourraient accumuler le tritium sous forme gazeuse et donc être plus dangereux pour l'être humain et son environnement.

II – 1 - Manipulations

1 - Système de prélèvement

Les mesures sont prises sur le terrain avec deux systèmes autonomes et portatifs qui permettent de récupérer l'eau contenue dans l'air. Ces systèmes ont été comparés aux barboteurs du CEA lors de ses précédentes utilisations, j'ai donc pu m'en dispenser cette année.

Il est constitué d'un tube de desséchant, ici du gel de silice (en forme de granulés), dans lequel on fait passer l'air ambiant via l'aide d'une pompe. L'eau contenue dans l'air est captée par le gel de silice dû à la nature polaire des deux éléments (groupes silanol Si-OH en surface du gel très poreux), il adsorbe donc l'eau H₂O et l'eau tritiée HTO.

Afin de récupérer assez d'eau nous disposons dans les tubes 280 gr de gel de ainsi qu'une seconde couche de gel de silice avec indicateur de saturation coloré dans le fond afin de s'assurer que le tube de prélèvement ai bien récupéré la totalité de l'eau atmosphérique (si le gel n'a pas viré de couleur, alors le prélèvement est bon). Les tubes sont préparés au laboratoire de Besançon.

Mes prélèvements se sont fait sur 8h, qui correspond à la capacité maximale de la batterie de la pompe à son débit maximum. Ce temps est souvent satisfaisant pour récupérer suffisamment d'eau pour l'analyse. (Mode opératoire en [Annexe 1])



Fig. 3 Système de prélèvement

2 - Régénération

Une fois le prélèvement fait il faut ensuite récupérer l'eau adsorbée par le gel de silice en effectuant une régénération, opération consistant à désorber le gel en faisant chauffer celui-ci à la température de 140°.

On utilise pour cela un montage de distillation classique, la seule différence étant l'utilisation d'un ballon en acier inox afin d'éviter l'explosion de celui-ci, les ballons en verre ne résistent pas au couple température et pression élevés.

Le gel est disposé dans le ballon en inox, relié à un tube réfrigérant qui débouche sur la fiole de scintillation. Une fois le ballon à 140°, on récupère une partie de l'eau adsorbée qui est condensée dans le fiole de scintillation. L'eau ainsi obtenue est ensuite diluée avec de l'eau de référence afin d'arriver à 10 ml, ou s'il on a plus on récupère 10 ml pour préparer une fiole viable pour la scintillation. (mode opératoire en [Annexe 1])

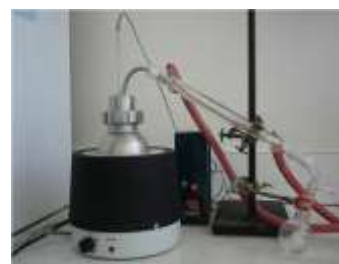


Fig. 4 Système de régénération

3 - Scintillation liquide

Le principe de la scintillation liquide est la transformation partielle de l'énergie cinétique de la particule bêta du tritium, dans un mélange échantillon-liquide scintillant, en photons lumineux dont le nombre est proportionnel à l'activité volumique du tritium :

- Un des atomes de tritium de l'échantillon va se désintégrer ① en libérant un β^- ②.
- Le β^- excite les molécules scintillantes ③.
- Elles émettent alors un ou des photons ④ afin de retrouver leur stabilité. Le nombre de photons émis est proportionnel à l'énergie du β^- .
- Ces photons sont alors détectés par deux photomultiplicateurs ⑤ ⑥.
- On obtient alors le spectre β^- ⑦.

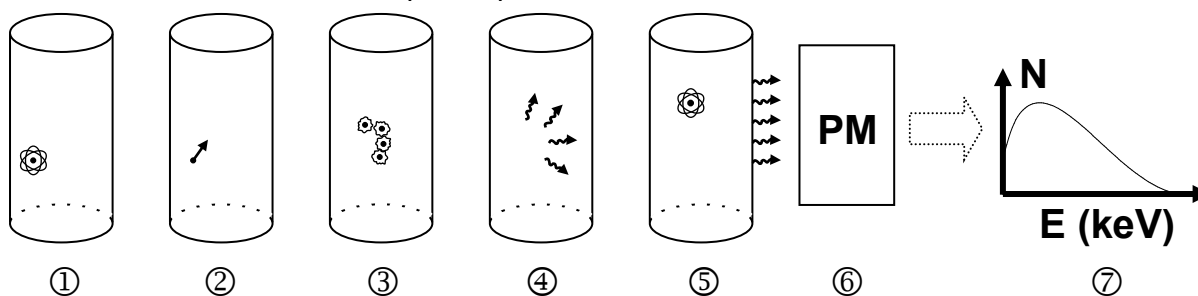


Fig. 5 Principe de la scintillation liquide

La manipulation consiste à préparer des fioles de 20 mL en polyéthylène de référence contenant 10 mL de liquide scintillant (un éthoxylate d'alkylphénol) et 10 mL d'eau à analyser.

Une fiole de référence est préparée avec seulement de l'eau de référence (de l'eau à très faible teneur en tritium venant de nappe phréatiques profondes), puis les fioles échantillons sont préparées (si possible en faire deux identiques, mais ce ne fut pas possible dans mon cas). Les flacons sont secoués afin d'homogénéiser les solutions. L'identification des fioles se fait sur leur bouchon. Pour éviter une éventuelle formation d'électricité statique, on tamponne les flacons avec un chiffon humide. Les fioles sont ensuite placées dans une cassette, qui est disposée dans l'appareil à scintillation nommée « tricarb ». La position n°1 de la cassette est réservée à la fiole contenant l'eau de référence. Chaque fiole est comptée pendant 200 minutes.

On récupère ainsi le tSIE et le CPM de chaque échantillon pour le calcul de l'activité. Le tSIE renseigne sur le phénomène de « quenching » dans la fiole tandis que le CPM correspond au nombre de coups par minutes. Le « quenching » est dû à la présence de molécules dans la fiole qui captent les photons mais libèrent l'énergie sous forme de chaleur ou de mouvement moléculaire interne. Ce phénomène peut causer un « raccourcissement » de la vague de photons, ce qui fait paraître une désintégration comme ayant un niveau énergétique inférieur à la réalité. Cela peut aller jusqu'à la disparition complète du signal engendré par des émissions faibles, ce qui diminue le compte obtenu.



Fig. 6 Appareil de scintillation liquide

4 - Calculs et conversions

Une fois chaque échantillon compté on peut calculer l'activité volumique de l'eau récupérée en Bq/L ainsi que l'incertitude de la mesure [voir annexe 2]. La dilution apporte une incertitude supplémentaire sur la mesure mais le taux de dilution appliqué à l'incertitude majore l'erreur. Une fois cette activité calculée il faut la convertir en Bq/m³ pour avoir l'activité dans l'air. Pour cela on passe par les conditions de prélèvement qui nous mène à l'activité finale dans l'air et son incertitude [Annexe 3].

5 - Piégeage des aérosols émetteurs α et β

Suite aux travaux de l'année précédente, j'ai réitéré l'essai du filtre afin de récupérer sur le temps de pompage les poussières radioactives (Uranium, Plutonium et descendants) qui sont rejetées par Valduc. Celles-ci étant en très faible quantités, leur pollution est moindre que celle au tritium, mais une mesure de celle-ci nous permet de confirmer cet état de fait.

Pour cela un filtre composé d'une toile filtrante en nylon (taille de maille d'environ 5 micromètres), et d'un porte filtre composé simplement d'un entonnoir, le tout relié au tube de gel de silice. Le dispositif ainsi rajusté ne change rien à la procédure de prélèvement ni même au rendement d'eau tritiée récupérée selon un comparatif mené en 2010.

Ce filtre est ensuite analysé en laboratoire avec un spectromètre à rayonnements, les pics d'énergie détecté nous permettant de retrouver les éléments radioactifs correspondants.

Une première mesure fut faite sur un prélèvement de 8h à Salives. Ce premier prélèvement n'a pas piégé suffisamment d'aérosol pour permettre une quantification ou même une détermination du type d'aérosol radioactif présent.

Une seconde mesure fut menée sur une période de 20 heures, celui-ci après presque 6 jours d'analyses au spectromètre a révélé du potassium 40 et les descendants naturels du radon, les éléments radioactifs naturellement présents, ne montrant donc pas les rejets particuliers du CEA de Valduc en matière d'éléments hors tritium. Le spectre est disponible en [Annexe 4].

II – 2 – Facteurs étudiés

Cette année j'ai profité d'avoir deux pompes pour les prélèvements afin de réaliser des mesures comparatives, le système étant portatif et de temps de prélèvement assez court pour me permettre aussi un nombre de mesures assez grand.

Le CEA dispose de son propre système de prélèvement (des barboteurs, fonctionnement en [Annexe 5]), mais celui-ci nécessitant une prise de courant et un temps de prélèvement de 7 jours il n'est adapté pour ce genre d'analyse.

Dans un premier temps les mesures concernant ces facteurs ont été effectuées à Salives qui se situe en direction des vents dominant (au Nord-Est). Les concentrations étant souvent plus élevées elles permettent de mieux cerner les différences entre les facteurs que sur des quantités plus proches du seuil de détection.

Pour chaque facteur un minimum de paramètres ont été changés, mais n'étant pas en conditions de laboratoire il n'a pas toujours été permis de faire cela. Notons aussi que le temps sec de ce printemps 2011 n'a pas permis de toujours récupérer assez d'eau pour faire de bonnes mesures.

Les mesures ont été effectuées deux par deux afin de pouvoir comparer les valeurs dans les mêmes conditions météorologiques qui sont un facteur influent de la mesure, ainsi que les mêmes rejets de centre du CEA, tout aussi déterminants.

Les mécanismes de dispersion d'un constituant dans l'atmosphère sont diverses, mais principalement influencés par les vents. J'ai donc centré mon étude sur différentes cinétiques de vents et de rugosité de terrain, tout en considérant les études précédentes.

La totalité des paramètres des mesures et d'analyses sont disponibles en [Annexe 6], la carte des alentours de Valduc est disponible en [Annexe 7].

1 - Le relief

Les villages autour du CEA de Valduc étant presque tous situés dans une cuvette il m'a semblé intéressant de mesurer si le tritium se concentrait plus dans la zone habitée (au fond de la cuvette), ou dans les zones moins peuplées (en hauteur de ces cuvettes).

Pour cela j'ai identifié à Salives deux lavoirs qui présentaient donc les mêmes conditions d'environnement hormis leurs placements au fond et au bord du relief considéré. Un point est toutefois notable pour cette analyse car les deux emplacements sont placés à 1km de distance et dans l'axe de Valduc, il faudra donc considérer l'augmentation de la dispersion du à cette distance accrue.

La conclusion obtenue à la vue des résultats est que les hauteurs de Salives sont légèrement plus exposées au tritium (sans correction dû à la dispersion qui creuserait l'écart) que le fond de la cuvette. Celle-ci se présenterait comme un obstacle au panache de rejet du CEA, le panache contournant la dépression de relief et limitant l'exposition. Une seconde explication probable est que la diffusion du panache atteint ses limites de dispersion verticale avant le village (<5km), ce qui limiterait les retombées plus bas, laissant la dispersion dû à la circulation normale de l'air plutôt qu'au passage du panache. Mais l'incertitude sur les mesures et le petit nombre de mesures ne permet pas de conclusion définitive.

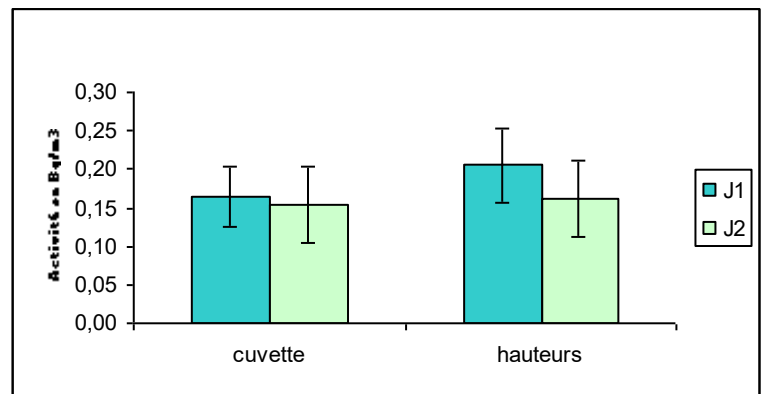


Fig. 7 Différence d'activité du tritium selon le relief

2 - La végétation

Les zones végétales présentent deux aspects différents sur la prise de ma mesure. Le premier étant la rugosité de la zone qui influe sur le mouvement des vents et le second étant l'évapotranspiration des plantes qui peut avoir une influence sur la provenance de l'eau captée par le système.

L'évapotranspiration est un mécanisme végétal permettant la circulation de l'eau dans les plantes et résultant une évaporation de l'eau absorbée par la plante. Le système récupérant l'eau de l'atmosphère il a donc capté cette eau en plus de celle circulant normalement dans l'air (20% de plus). Ceci me permettant de récupérer aussi l'eau retenue par le sol et les plantes, me permettant d'avoir une idée de la rétention du tritium par l'environnement.

Cette fois-ci le terrain choisi fut une haie avec à sa proximité un terrain de tennis vierge de toutes plantes.

Une seule analyse fut menée à bien et l'on constate que dans la végétation l'on retrouve une concentration plus importante de tritium. Cette différence peu s'expliquer grâce à la rétention d'eau des plantes qui favorise l'accumulation à leur proximité combiné au phénomène d'évapotranspiration restituant cette eau tritiée.

La conclusion n'est pas certaine avec les incertitudes qui sont importantes et l'unicité de la mesure mais donne une idée approximative des différences d'activités et de la rétention locale.

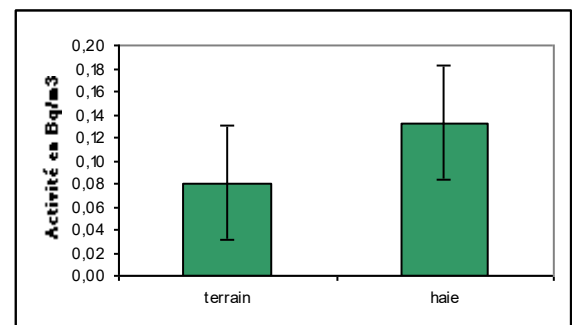


Fig. 8 Différence d'activité du tritium selon la végétation

3 - L'exposition au vent

Cette partie de la campagne de mesure consiste à voir l'influence de l'exposition au vent sur la quantité de tritium reçue.

L'écoulement local du vent peut avoir un effet important sur la diffusion de particules suivant leur comportement cinétique et celles-ci peuvent se retrouver en plus grande concentrations aux endroits ralentissant le vent ou au contraire ne pas être présente, ou tout simplement ne pas être influencé. L'eau tritiée n'ayant qu'un rapport de masse différent avec l'eau, elle doit sans doute suivre le même chemin que celle-ci, mais à quel niveau en retrouve-t-on le plus ?

Ici, j'ai choisi un endroit plutôt exposé au vent sur les remparts de Salives à peu près au même niveau avec un mur protégeant le second système du vent.

Mais les deux mesures traitant uniquement de la différence d'exposition au vent ont été perdues suite aux régénérations avec un assez faible rendement et n'étaient donc pas exploitables.

4 - Moment de la journée

J'ai aussi mené une étude sur la concentration de tritium au cours d'une journée en milieu de semaine, ici un mardi, afin de connaître les variations qui peuvent s'effectuer. Lors d'une journée de nombreux facteurs interviennent tel que la variation de température et de pression, plus légèrement celle de l'hygrométrie, le vent qui change de direction et de vitesse, mais aussi les rejets du CEA. Ces périodes sont l'aube, la journée, le crépuscule et la nuit. Afin de récupérer plus d'eau pour les analyses ces mesures ont été faites sur deux mardis de suite, on obtient ainsi la moyenne des deux jours sans interférence avec le facteur étudié.

La mesure de l'aube fut perdue à la régénération sans doute dû à un problème d'étanchéité. Pour le reste on note que les valeurs ne sont pas significativement différentes les incertitudes de mesures ne permettant pas de différencier de façon évidente le résultat. On peut donc conclure que les rejets du CEA sont donc plutôt bien répartis au cours d'une journée complète, malgré une légère augmentation possible en fin de journée. Encore une fois le nombre de mesures plutôt faible ne permet pas une distinction évidente des résultats.

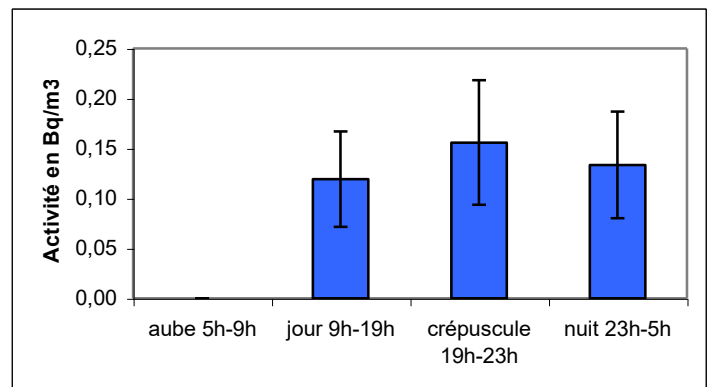


Fig. 9 Différence d'activité du tritium selon le moment de la journée

5 - Différents Villages

Je me suis enfin intéressé aux paramètres de direction et de distance, cela impliquant ici une différence de relief. Seuls 3 villages ont été retenus, afin de limiter le nombre de mesures :

- Salives, pour sa position dans les vents dominants
- Echalot, qui présente aussi dans de précédentes campagnes de mesures une forte concentration
- Léry, dans la direction opposée à Salives, donc à l'opposé des vents dominants

Deux séries de 3 mesures ont été effectuées sur ces villages afin de pouvoir comparer les résultats dans les mêmes conditions météorologiques, la seconde série venant conforter la première.

Le lieu choisi à l'intérieur du village a été en fonction des similitudes possibles entre les différents lieux et non des précédents résultats, ceux-ci n'étant pas encore disponibles (ces résultats auraient permis de se placer dans une situation de plus grande concentration). J'ai donc choisi un endroit au plus près de la population, c'est à dire le centre du village, présentant une humidité, une exposition au vent, une végétation similaire. Et toutes les mesures se sont faites en journée pour des raisons pratiques.

Quelques prélèvements furent inutilisables mais l'on remarque aisément que Salives

concentre une plus grande quantité de tritium sur cette période. Ne possédant pas encore les relevés météo que doit me fournir le CEA on ne peut que supposer que cette différence est due au vent qui poussait le panache sur Salives.

Comparés aux analyses précédentes, menées sur Salives et Léry en 2010, on retrouve des concentrations légèrement inférieures et sans taux anormalement importants sur ma période de prélèvement. Les résultats exhaustifs des précédentes campagnes sont en [Annexe 8].

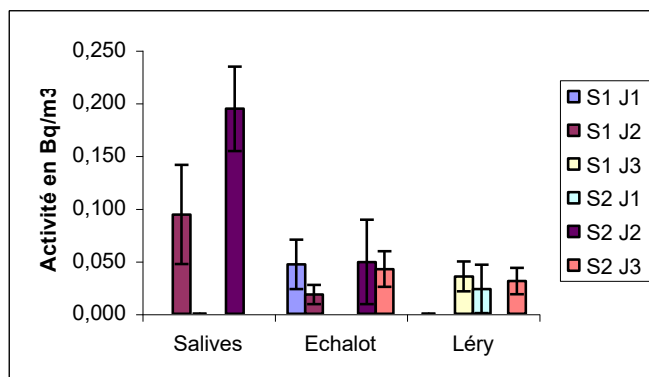
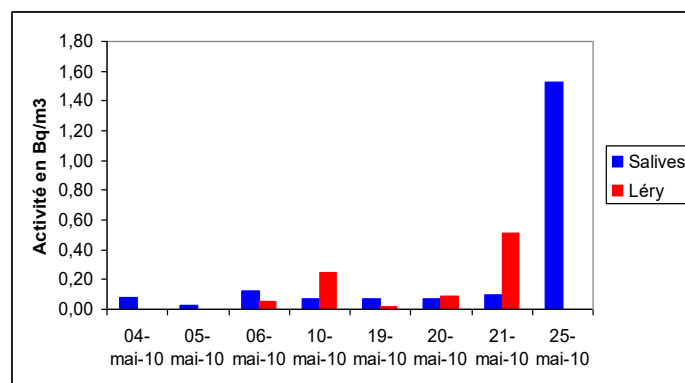


Fig. 10 Différence d'activité du tritium pour différents villages en 2011



6 - Relevés d'eaux naturelles

J'ai effectué des relevés sur les points d'eau tout autour de Valduc [voir carte en annexe 7]. Cette eau n'étant pas bue elle donne toutefois des indices quand à la dispersion des rejets gazeux de Valduc et ses échanges avec la surface. L'est de Valduc n'a pas pu être mesuré de cette façon dû au manque de points d'eau atteignables.

La source n°1 sortant directement du lac de Valduc il est normal d'y trouver une concentration importante en tritium. Elle se dilue dans la source n°5 donnant le prélèvement n°2. L'eau est donc rapidement diluée pour arriver en dessous de la norme de 100 Bq/L.

Les résultats obtenus dans les eaux des villages sont proche des relevés effectués par le CEA, ce qui revient à confirmer ces valeurs.

On remarque encore une fois que la distance (Ru de Lochère à 2.25 km) joue un rôle important dans la dispersion, ainsi que la direction dominante des vents (la Tille à Salives au Nord-Est et le ru de Léry au Sud Ouest). Les eaux de Poiseul la Grange qui sont plus éloignées et hors des vents sont elles, très peu au dessus de la normale.

Toutes ces eaux (sauf une) sont inférieures à la norme de 100 Bq/L, mais avec une activité très supérieures aux eaux naturelles loin du site (moins de 10 Bq/L) donc des échanges important avec le tritium gazeux rejeté par Valduc par la vapeur d'eau et les eaux de pluie, le tout dans un périmètre assez restreint (ex Poiseul la grange, peu contaminé mais aussi loin du CEA que Salives qui est bien plus marqué). Cela peut aussi s'expliquer par un marquage plus ancien de l'activité de Valduc, possibilité qui n'est pas à laisser pour compte.

De cette analyse on peut constater une dispersion du tritium peu uniforme qui favorise des accumulations locales.

	Lieu	Direction	Distance (km)	Date	Teneur Bq/L		Moyenne
1	Ru source Valduc	Sud	3,75	09-juin	178,2	180,8	179,5
2	Ru Source Valduc+ Ru Léry	Sud	3,75	10-juin	64,1	60,1	62,1
3	Lochère (ru)	Ouest	2,25	09-juin	58,8	52,7	55,75
4	Salives (Tille)	Nord-Est	5,5	09-juin	40,4	39	39,7
5	Léry (ru entrée)	Sud-Ouest	3,25	09-juin	29,8	28,9	29,35
6	Echalot (étang)	Nord-Ouest	4,75	09-juin	31,2	27,2	29,2
7	Larçon (étang)	Nord	6,25	09-juin	29,6	26,1	27,85
8	Ferme de Charme	Nord	8,25	09-juin	19,2	18,6	18,9
9	Moloy (Igon)	Sud-Est	6,5	09-juin	16,3	16,3	16,3
10	Poiseul la Grange (étang)	Ouest	5	09-juin	7,3	6,5	6,9

III – Perspectives envisagées

Pour la suite de ce stage il reste de nombreux facteurs à mettre en évidence dans le cadre de la radioprotection autour du CEA, et éventuellement à vérifier la validité de mes mesures faites sur de faibles quantités d'eau dû au temps sec qui régnait cette année. Les mesures sur les poussières peuvent continuer à se faire pour confirmer les conclusions de cette année, celles-ci ne perturbant en rien les prélèvements de tritium mais demandant un temps de mesure plus long que les précédents afin d'augmenter la précision. Cela étant, il est difficile de quantifier l'état d'une très faible augmentation de radioactivité, mais permet de s'assurer que la contamination n'est pas présente.

De plus, la surveillance peut être plus poussée en prenant des mesures à d'autres périodes de l'année, toutes celle effectuées à la SEIVA se limitant aux mois de Mai-Juin.

En parallèle un stagiaire à Besançon a étudié l'échange isotopique du tritium avec le gel de silice utilisé. Ces données seront peut-être exploitables afin d'améliorer la précision de la conversion de l'activité liquide à l'activité atmosphérique.

Conclusion

Ce stage m'a permis de découvrir à la fois une association et un laboratoire de recherche universitaire, leur fonctionnement et leur mode de vie. C'est dans ces différents cadres que j'ai pu appliquer une partie de mes connaissances et compétences acquises à l'ESIREM, malgré que le sujet, ici la radioprotection, ne soit pas traité dans l'école.

Lors de ce stage j'ai donc repris un prototype précédemment réalisé pour effectuer une recherche sur des facteurs complexes incluant la météo et la géographie, peu maîtrisable et donc assez éloigné du contexte de laboratoire.

J'ai pu profiter d'une large autonomie pour organiser et mener mes analyses. Je fut un peu enthousiaste sur le nombre de facteurs analysables et des problèmes techniques (notamment de faible rendements de régénération) perturbèrent les résultats. Mais globalement le sujet principal du stage, relever l'impact des rejets de Valduc sur ses alentours, a été mené à bien.

J'ai pu mettre en avant, mais sans évidence, des facteurs de dispersion et d'accumulation des rejets tritiés de Valduc. Et cela étant, j'ai pu confirmer cette année encore l'influence encore faible de ces rejets qui concordent avec les mesures des années précédentes et celle du CEA. Ma conclusion finale quand a ces résultats est que la faible quantité de tritium rejeté n'a pas d'impact sanitaire selon les études récentes, et aucunes évidence ne s'étant présenté sur une potentielle accumulation de tritium ou d'autres éléments, hormis une dépendance peut être trop importante sur la direction du vent dominant.

Glossaire

Radioactivité

Isotopes : On appelle isotopes des atomes d'un même élément chimique dont les noyaux ne diffèrent que par le nombre de neutrons. Des isotopes possèdent les mêmes propriétés chimiques et atomiques. Par contre les propriétés nucléaires sont différentes, car le nombre de neutrons influe sur la stabilité du noyau. La majorité des atomes présents dans la nature sont des isotopes stables. Les isotopes radioactifs, beaucoup plus nombreux, ont généralement disparu en raison de leur instabilité. Ils peuvent être recréés artificiellement par exemple pour des applications médicales.

Radioactivité : C'est la propriété que possèdent certains éléments naturels ou artificiels d'émettre spontanément des particules β , α et/ou un rayonnement γ .
Il y a émission de rayonnement lors de la désintégration d'un élément instable ou de la fission.

Radioactivité alpha : Le rayonnement alpha est constitué de noyaux d'hélium comprenant 2 protons et 2 neutrons. Ceux-ci portent 2 charges positives. Des atomes dont les noyaux radioactifs sont trop chargés en protons et en neutrons émettent souvent un rayonnement alpha. Ils se transforment en un autre élément chimique dont le noyau est plus léger. Par exemple, l'uranium 238 est radioactif alpha et se transforme en thorium 234. Les particules composant le rayonnement alpha sont fortement ionisantes mais très peu pénétrantes. Une simple feuille de papier les arrête.

Radioactivité bêta : On appelle électrons « bêta » les électrons émis spontanément par certains noyaux radioactifs.

Radioactivité bêta moins : Le rayonnement bêta moins est constitué d'électrons chargés négativement. Un des neutrons au sein du noyau se désintègre en un proton plus un électron, ce dernier étant éjecté.

Radioactivité bêta plus : Le rayonnement bêta plus est constitué de positons (particules de même masse que l'électron mais chargées positivement). Un des protons au sein du noyau se désintègre en un neutron plus un positon, ce dernier étant éjecté. La radioactivité β^+ est beaucoup plus rare dans la Nature que la radioactivité β^- . Pour les deux types de désintégration bêta, le noyau garde le même nombre de nucléons (donc la même masse atomique) mais la nature de l'élément chimique est modifiée ; celui-ci se transforme en l'élément $Z+1$ ou en l'élément $Z-1$. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffisent pour arrêter les rayons β .

Radioactivité gamma : Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique comme la lumière visible, les ondes radios, les rayonnements infrarouges et ultraviolets, les rayons X mais plus énergétique (de l'ordre du million d'électronvolts). Ce rayonnement suit souvent une désintégration alpha ou bêta. Après émission de la particule alpha ou bêta, le noyau est encore excité car ses protons et ses neutrons n'ont pas trouvé leur équilibre. Il se libère alors d'un trop-plein d'énergie par émission d'un rayonnement gamma.

Décroissance radioactive : L'activité d'un échantillon radioactif diminue avec le temps du fait de la disparition progressive des noyaux instables qu'il contient. La désintégration radioactive d'un noyau donné est un phénomène aléatoire.

Période radioactive : La « période » ou « demi-vie » d'un élément radioactif est le temps nécessaire pour que sa radioactivité diminue de moitié. Ce temps caractéristique ne dépend pas de l'âge de l'échantillon. La radioactivité décroît très vite avec le nombre de périodes : elle est divisée par 1000 au bout de dix périodes.

Pour les déchets radioactifs, on parle de « vie courte » lorsque la période est inférieure à 5 ans et de « vie moyenne » lorsqu'elle est comprise entre 5 et 100 ans ; les noyaux dont la période dépasse 100 ans sont dits « à vie longue ». Les isotopes utilisés pour les diagnostics médicaux sont à vie très courte.

Les unités

Unités d'activité :

- Le Becquerel (Bq). Un becquerel équivaut à une désintégration par seconde au sein d'une quantité de matière radioactive. C'est une unité extrêmement petite. Le becquerel remplace une unité historique longtemps employée, le Curie.
- Le Curie (Ci). C'est l'activité d'un gramme de radium. Un Curie vaut 37 milliards de Bq.

Unités de dose absorbée :

- Le Gray (Gy). Un Gray correspond à une quantité d'énergie absorbée de 1 Joule par Kg de matière irradiée.

Equivalent de dose absorbée :

- Le Sievert (Sv). Grandeur utilisée en radioprotection pour tenir compte des différences d'effets biologiques des différents rayonnements. L'unité la plus couramment utilisée est le millisievert (mSv). Les limites d'équivalent de dose efficace annuelle sont de 20 mSv/an pour les travailleurs dans les domaines du nucléaire et de 1 mSv/an pour le public.

Doses et radioprotection

Faibles doses : On appelle faibles doses des expositions pour lesquelles aucun effet nuisible n'a été observé chez l'adulte. La limite supérieure délimitant le domaine des faibles doses n'est pas définie précisément. Elle se situerait à une centaine de millisieverts. Selon cette définition les expositions de l'ordre du millisievert, rencontrées dans la vie courante, constituent de très faibles doses.

L'absence d'observations n'est pas une preuve d'une absence d'effets des rayonnements ionisants. Elle signifie que ces effets sont trop faibles pour se manifester d'une manière claire.

Dose efficace : La « dose efficace » est une dose biologique. Très utilisée en radioprotection, elle mesure l'exposition d'une personne individuelle aux rayonnements. Elle tient compte de la sensibilité des tissus affectés. C'est la dose à considérer quand il s'agit d'estimer le risque résultant d'une exposition à la radioactivité. Elle s'exprime en sieverts ou millisieverts.

Radiotoxicité : La radiotoxicité mesure la nuisance d'un noyau radioactif assimilé par l'organisme à la suite d'une inhalation ou ingestion. Elle tient compte du devenir de la substance dans le corps humain mais non de la probabilité que ce radioélément soit assimilé par l'organisme. Cette probabilité dépend des précautions prises et de l'environnement. Pour une même quantité ingérée, la radiotoxicité varie d'un facteur 1 à 10 000 entre des émetteurs bêta de faible énergie comme le tritium et des noyaux lourds émetteurs alpha.

Bibliographie

Précédents rapports de stage à la SEIVA :

- Ivan LITVINENKO-MOREL 2005

-Véronique Guehl 2006

- Sébastien Berchet 2009

-Yoann Pinot 2010

Le livre blanc du tritium 2010, IRSN

J.C Couillet. Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels, (DRA-006). Dispersion atmosphérique (mécanismes et outils de calcul). INERIS, Décembre 2002

Vray F, Salaun G. dispersion des rejets atmosphériques tritiés de Valduc : approche utilisant le marquage des feuilles de chênes dans l'environnement du site. DPRE/SERNAT, 2003

<http://www.astrosurf.com/luxorion/menu-meteo.htm>

Annexes

Annexe 1 – Mode opératoire du système de prélèvement de l'eau atmosphérique

Annexe 2 – Interprétation de la feuille du tricarb

Annexe 3 – Conversion et calcul d'incertitude

Annexe 4 – Analyse spectroscopique des poussières sur Salives

Annexe 5 – Fonctionnement des barboteurs

Annexe 6 – Tableau des analyses 2011

Annexe 7 – Carte des alentours du CEA Valduc

Annexe 8 – Analyses précédentes

ANNEXE 1

MODE OPERATOIRE SYSTEME DE PRELEVEMENT DE L'EAU ATMOSPHERIQUE

PREPARATION

Les tubes contenant le gel de silice sont préparés au laboratoire.

- Un tampon est déposé dans le haut du tube (bouché), il est alors recouvert de gel de silice blanc d'une masse d'environ précisément 280g (*noter la masse précise*).
- Un autre tampon est alors placé sur celui-ci afin de le séparer du gel de silice bleu, une petite quantité du gel coloré suffit (2cm environ).
- Un tampon est positionné par-dessus. Le tube est alors rebouché.
- *Peser le tube et noter sa masse.*
- *Si fonctionnement autonome, la pompe doit être préalablement rechargée pendant 8 heures.*

MODE OPERATOIRE

Mise en place du système

- tube contenant le gel de silice
 - pompe
 - tuyau de raccord en plastique
 - tournevis
-
- Le lieu de prélèvement doit comporter un abri pour protéger la pompe en cas de pluie (généralement la caisse suffit).
 - Retirer le système d'étanchéité du tube et ouvrir le robinet.
 - Raccorder le tube et la pompe à l'aide du tuyau en plastique.
 - Un tuyau en plastique est mis à la sortie du tube pour sortir de la caisse.
 - Programmation de la pompe :
 - Dévisser la plaque de protection à l'aide du tournevis.
 - Activer le bouton **ON/OFF** sur la position 'on'.
 - Appuyer sur la touche **START/HOLD** afin de stopper le pompage le temps de la programmation.
 - Utiliser la touche **SET UP** afin de régler les différents temps (la touche **MODE** permet de passer d'un réglage à l'autre) :
 - **Delayed Start** : délai initial avant que la période de prélèvement ne commence
 - **Sample Period** : durée totale du prélèvement
 - **Pump Period** : la durée de pompage (inférieure ou égale à la durée totale de prélèvement)
 - Régler les durées à l'aide des boutons **DIGIT SET** et **DIGIT SELECT**, le premier permettant de modifier le chiffre (0 à 9) et le deuxième de passer au chiffre suivant. (le maximum est de 9999 minutes soit environ 7 jours).

- Une fois les réglages terminés, activer la pompe en appuyant sur **START/HOLD**, le délai (s'il est différent de 0, sinon le pompage) commence à cet instant, l'écran affiche le décompte toute les minutes.

- Revisser la plaque de protection.

Procédure standard :

Prélèvement 8h en continu :

- **Delayed Start** : pour arriver à l'heure souhaitée
- **Sample Period** : 480min (8h)
- **Pump Period** : 480min (8h)

Récupération du système :

- Vérifier que la pompe affiche la durée totale de prélèvement programmée, sinon:

- si elle affiche un message d'erreur ou qu'elle n'affiche rien c'est qu'il y eu un dysfonctionnement pendant le prélèvement (par exemple batterie vide).

- si elle affiche une durée inférieure, le prélèvement n'est pas terminé .

- Vérifier que le gel de silice coloré, n'a pas viré au rose, pour la validité de la mesure.
- Dévisser la plaque de protection et placer le bouton **ON/OFF** sur 'off'.
- Revisser la plaque de protection.
- Enlever le tuyau de raccordement entre le tube et la pompe.
- Remettre le système d'étanchéité et fermer le robinnet.
- Ranger le matériel et apporter le tube au laboratoire pour la régénération. Conserver les échantillons au frais (entre 1 et 5°C) pour une meilleure conservation.

REGENERATION

- tube réfrigérant
 - ballon en métal
 - chauffe-ballon
 - régulateur de température
 - fiole de scintillation
- *Peser le tube* pour avoir la prise de masse.
 - *Peser la fiole de scintillation* pour avoir la tare.
 - Récupérer le gel de silice blanc. (Enlever en priorité le gel bleu pour éviter tout mélange).
 - Insérer cette partie du gel de silice dans le ballon en métal (dans le cas où il y a plus de 300g, prendre seulement la partie supérieure du tube). Le fermer et le relier au tube réfrigérant, lui-même relié à une fiole de scintillation (mettre du para film afin de s'assurer de la liaison entre les eux élément et limiter les pertes).

Attention, toute la verrerie doit être parfaitement emboîtée, pour éviter toute fuite éventuelle.

- Faire circuler l'eau dans le réfrigérant et allumer le régulateur de température ainsi que le chauffe ballon. Régler la température du chauffe ballon au maximum et le régulateur à 100°C (le régulateur prend le pas).
- Une fois les 100°C atteints, augmenter la température du régulateur jusqu'à 140°C.
- Laisser régénérer pendant 30 minutes environ.
- Arrêter les appareils et l'arrivée d'eau.
- *Peser la fiole de scintillation* pour avoir la masse d'eau récupérée.
- *Placer la fiole rebouchée au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.*
- La verrerie est lavée puis rincée à l'eau distillée et finalement séchée. Afin de sécher au plus vite entre 2 manipulations, on peut rincer à l'acétone et essuyer à l'essuie-tout.

ANNEXE 2

Interprétation de la feuille du tricarb

Après chaque analyse, un fichier résultat est créé sous Windows et les données sont imprimées.

Analyse d'une feuille de résultats donnés par le Tricarb :

```

01 Jun 2005 22:12      ALPHA/BETA = 1.09      Page #1
Protocol #:38          eau source=400g         User : Ivan

Time: 200.00
Data Mode: CPM        Nuclide: MANUAL
Background Subtract: None

      LL      UL      LCS      25%      BKG
Region A: 0.0 - 5.5    0      0.0      0.00
Region B: 5.5 - 18.6   0      0.0      0.00
Region C: 18.6 - 2000  0      0.0      0.00

Quench Indicator: tSIE
Ext Std Terminator: Count
ge! ss indic
Luminescence Correction On
Low Level Count Mode On
Coincidence Time(ns): 20
Delay Before Burst(ns): Normal
Protocol Data Filename: c:\utilisat\ivan0106\p38.dat
Count Data Filename: c:\utilisat\ivan0106\c38.dat
Spectrum Data Drive & Path: c:\utilisat\ivan0106

S#   TIME   CPMA   CPMB   CPMC   tSIE FLAG   LUM
1 200.00    0.81    0.70    1.98 289.15      32
2 200.00   25.98    2.88    1.79 308.03       6
3 200.00   25.18    2.53    1.73 274.66       8
4 200.00   25.46    2.46    1.54 274.71       7
C14 CHI SQUARE IPA DATA PROCESSED - 02-Jun-2005 09:13
C14 Chi Square = 15.81

SYSTEM NORMALIZED

C14 IPA DATA PROCESSED - 02-Jun-2005 09:18
C14 Eff (0-156 keV) = 95.88 %
H3 IPA DATA PROCESSED - 02-Jun-2005 09:19
H3 Eff (0-18.6 keV) = 57.78 %

WARNING: Questionable H3 Efficiency value - Please view historic data

H3 CHI SQUARE IPA DATA PROCESSED - 02-Jun-2005 09:30
H3 Chi Square = 23.02

```

Calcul de l'activité volumique CA en Bq/L à partir des résultats du Tricarb :

- on calcule l'efficacité de comptage E (%) grâce à l'équation de la courbe de quenching (E(%) en fonction du tSIE), le tSIE étant donné dans les résultats du Tricarb.

- on sait que le nombre de désintégrations par minute (DPM) est tel que : $DPM = CPM/E$

Avec : $CPM = CPM \text{ (mesuré)} - CPM \text{ (ref)}$

(CPM : nombre de coups par minute, donné par le Tricarb).

On obtient CA par la relation : $CA = (DPM/60) \times 100$

Ainsi CA est en Becquerel (nombre de désintégration par seconde) par litre.

ANNEXE 3

Conversion et calcul d'incertitude

Par Yoann Pinot 2010

Les incertitudes sur l'activité en Bq/m³ seront calculées d'après la formule de conversion Bq/L en Bq/m³ suivante :

$$C_{Aair} = \frac{(C_A + \delta_c) \times \Delta m}{R \times D \times t \times \rho_e}$$

- D : débit de la pompe, (m³/mn)
- t : temps de prélèvement, (mn).
- R : rendement du gel de silice, (%).
- ρ_e : masse volumique de l'eau, (g/L).
- δ_c : correction liée à l'échange isotopique, (Bq/L).
- m_1 : masse de gel dans le dispositif avant le prélèvement, (g).

$$\Delta m = m_2 - m_1$$

- m_2 : masse de gel dans le dispositif après le prélèvement, (g).
- C_A : Activité volumique en tritium d'un échantillon liquide (Bq/L).

Détermination de δ_c :

Numéro du tube de prélèvement	Masse d'eau absorbée (g)	Activité en Bq/L	Incertitude en Bq/L (k=2)
10	24,96	34	4,3
8	31,1	45,5	5,3
4	25,91	43,2	5,1
6	25,38	39,4	4,7
9	27,77	40	4,8

Pour calculer l'activité moyenne de la manipulation, les tubes 8 et 9 seront écartés en raison d'une masse d'eau absorbée trop importante. Cet écart de masse est sans doute dû à l'eau atmosphérique de la salle de manipulation, à cause d'un problème d'étanchéité.

Pour les trois autres tubes on obtient une moyenne de 38,8 Bq/L avec une valeur minimale de 34 et une valeur maximale de 43,2 soit un écart 9,2 Bq/L. En théorie, on aurait dû trouver une activité inférieure à l'eau référence qui est de 38,7 Bq/L. Cela peut s'expliquer par le problème d'étanchéité, l'utilisation d'un gel de silice qui a déjà servi, donc qui est susceptible d'être pollué et par le faible nombre de mesure. Les mesures réalisées ne permettent pas de déterminer une valeur de correction isotopique, des mesures complémentaires seraient nécessaire pour obtenir une valeur acceptable. Nous prendrons une valeur de correction isotopique nulle, $\delta_c = 0$, mais

cette indétermination sera pris en compte par une incertitude de : $u(\delta_c) = \frac{9,2}{2\sqrt{3}}$.

Dans le calcul de l'incertitude finale, les incertitudes sur le temps de comptage, le volume du liquide scintillant, le temps de pompage et la masse volumique de l'eau seront négligées.

On suppose qu'il n'y a pas de corrélation entre les paramètres mesurés.

La loi de propagation des incertitudes (exprimées sous forme de variance) est de la forme suivante :

$$u^2(C_{Air}) = \left(\frac{\partial C_{Air}}{\partial C_A} \right)^2 \times u^2(C_A) + \left(\frac{\partial C_{Air}}{\partial \delta_C} \right)^2 \times u^2(\delta_C) + 2 \times \left(\frac{\partial C_{Air}}{\partial \Delta_m} \right)^2 \times u^2(\Delta_m) + \left(\frac{\partial C_{Air}}{\partial R} \right)^2 \times u^2(R) + \left(\frac{\partial C_{Air}}{\partial D} \right)^2 \times u^2(D)$$

L'incertitude donnée sur nos mesures sera élargie par un facteur $k=2$, correspondant à un niveau de confiance de 95% pour une loi de distribution normale.

D'après le mode opératoire en annexe 8, le volume de prise d'essai V pour la préparation des échantillons avant la scintillation liquide est considéré comme égal à 10 ml et prélevé à l'aide d'une pipette de classe A d'incertitude $u(V_1)=0,02\text{ml}$.

Cette considération n'est pas suffisante pour notre manipulation, en effet on peut être amené à faire une dilution du volume lorsqu'on a un volume d'eau tritiée inférieur à 10 ml. De plus, la pipette utilisée n'est pas adaptée pour effectuer une prise d'essai de 10 ml en une seule fois. D'après la fiche de la pipette, la tolérance correspondant au volume de prélèvement le plus faible (500 μl) est de $\pm 2\%$. En utilisant cette tolérance pour déterminer l'incertitude sur le volume prélevé, on aura tendance à surestimer cette incertitude sur un volume de prise d'essai supérieur à 500 μl . Le volume de prise d'essai aura une incidence sur l'exactitude du compteur à scintillation, plus on réduit le volume de prise d'essai plus on réduit l'activité de l'eau tritiée, donc plus on est proche du seuil de détection du compteur. L'incertitude sur le volume de prise d'essai est prise en compte dans la formule du mode opératoire annexe 8 pour déterminer l'incertitude sur C_A . L'incertitude type sur le volume de prise d'essai est la

somme quadratique de $u(V_1)=0,02\text{ ml}$ et $u(V_2) = \frac{0,02 \times V}{\sqrt{3}}$.

$$u(V) = \sqrt{u(V_1)^2 + u(V_2)^2}$$

La valeur de C_A ainsi que son incertitude doivent être multipliées par le coefficient de dilution de l'échantillon. Ces deux valeurs seront utilisées dans l'incertitude $u(C_{Air})$.

L'incertitude liée à la prise de masse est déterminée d'après la fiche technique de la balance. Nous avons utilisé une balance Pionner, modèle PA2102C, avec une linéarité de $\pm 0,02\text{ g}$, une reproductibilité de 0,01g et un échelon réel (résolution) $d=0,01\text{g}$.

$$u_r = 0,01 ;$$

$u_d = \frac{d}{2\sqrt{3}} ; u_l = \frac{0,02}{\sqrt{3}}$ (Incrtitude déterminée d'après une loi de distribution rectangulaire ou uniforme).

On obtient l'incertitude type sur m par la somme quadratique suivante :

$$u_m = \sqrt{\left(u_r^2 + u_l^2 + 2u_d^2 + \frac{S^2}{n}\right)}$$

- S : écart type d'échantillon (incertitude sur n'importe quelle valeur de mesure.)
- n : nombre de pesées effectuées.

Pour déterminer l'incertitude type sur Δm , il faut multiplier u_m par $\sqrt{2}$ pour obtenir $u_{\Delta m}$.

Démonstration : $u(\Delta m) = u(m_2 - m_1)$

$$u(\Delta m) = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta m}{\partial m_2}\right)^2 \times u_m^2 + \left(\frac{\partial \Delta m}{\partial m_1}\right)^2 \times u_m^2}$$

$$\left(\frac{\partial \Delta m}{\partial m_2}\right)^2 = \left(\frac{\partial \Delta m}{\partial m_1}\right)^2 = 1$$

$$\text{Donc, } \sqrt{2} \times u_m = u(\Delta m)$$

D'après la fiche technique de la pompe (annexe 4), l'incertitude sur le débit est de $\pm 5\%$ du débit réglé. $u_D = \frac{0,05 \times D}{\sqrt{3}}$; (Loi de distribution rectangulaire ou uniforme).

Coefficient de sensibilité :

$$\frac{\partial C_{Air}}{\partial C_A} = \frac{\partial C_{Air}}{\partial \delta_C} = \frac{\Delta m}{R \times D \times t \times \rho_e}$$

$$\left| \frac{\partial C_{Air}}{\partial \Delta m} \right| = \frac{C_A + \delta_C}{R \times t \times D \times \rho_e}$$

$$\frac{\partial C_{Air}}{\partial R} = - \frac{(C_A + \delta_C) \times \Delta m}{R^2 \times t \times D \times \rho_e}$$

$$\frac{\partial \mathcal{C}_{Air}}{\partial D} = - \frac{(C_A + \delta \mathcal{C}) \times \Delta m}{R \times t \times D^2 \times \rho_e}$$

ANNEXE 8

Analyses précédentes

Résultats : campagne d'analyse 2010.

Date prélèvement	lieu	période	Activité en Bq/L	Activité en Bq/m ³	Incertitude en Bq/m ³ (k=2)
04/05/2010	Salives	Jour semaine	13	0,077	0,0239
05/05/2010	Salives	Jour semaine	5,1	0,024	0,0119
06/05/2010	Salives	Jour semaine	20,4	0,120	0,0347
06/05/2010	Léry	Jour semaine	9,3	0,049	0,0195
10/05/2010	Salives	Jour semaine	7,9	0,075	0,0215
10/05/2010	Léry	Jour semaine	33,9	0,250	0,0361
19/05/2010	Salives	Jour semaine	13,9	0,072	0,0251
19/05/2010	Léry	Jour semaine	4,2	0,019	0,0193
20/05/2010	Salives	Jour semaine	10,3	0,071	0,0187
20/05/2010	Léry	Jour semaine	13,4	0,086	0,0177
21/05/2010	Salives	Jour semaine	13,7	0,100	0,020
21/05/2010	Léry	Jour semaine	82,9	0,515	0,068
25/05/2010	Salives	Jour semaine	177,2	1,530	0,174

Résultats : campagne d'analyse 2009.

Date prélèvement	lieu	période	Rejets journalier en 10 ¹¹ Bq	Heure début prélève ment	Activité en Bq/L	Activité en Bq/m ³	Vent dominant (°)
08/06/2009	Salives	Jour semaine	5,35	9h	17,3	0,21	105
09/06/2009	Salives	Jour semaine	8,5	9h	81,9	0,87	248
10/06/2009	Salives	Jour semaine	5,4	9h	49,1	0,57	189
11/06/2009	Salives	Jour semaine	5,1	9h	12,8	0,15	288
12/06/2009	Salives	Jour semaine	5,6	9h	19,5	0,22	282
15/06/2009	Salives	Nuit semaine	3,475	22h	37,5	0,45	281
16/06/2009	Salives	Nuit semaine	3,75	22h	318,6	3,85	43
19/06/2009	Salives	Nuit weekend	4,5	22h	7	0,08	180

Les autres paramètres météorologiques ont été écartés ; ils n'ont pas montré de corrélation apparente avec l'activité en Bq/m³ mesurée, contrairement à la direction du vent. Pour que les rejets du CEA soient dirigés sur Salives, il faut une direction de vent proche de 37°. Pour la mesure du 16/06/2009, on se trouve avec une direction moyenne de vent de 43°, donc voisine de 37°. Cela explique, la haute activité en Bq/m³ mesurée sur Salives.

ANNEXE 5

Fonctionnement des barboteurs

1. PRINCIPE

Le prélèvement est réalisé en continu, par pompage et barbotage dans l'eau (après filtration des aérosols) de la vapeur d'eau tritiée et éventuellement du tritium-gaz converti en vapeur d'eau tritiée.

2. PRELEVEMENT

But de l'échantillonnage : recueillir dans un milieu absorbant le tritium atmosphérique en vue d'une mesure différée en laboratoire, de manière à ce que la concentration en activité volumique soit représentative de celle de l'air à contrôler.

3. METHODE

Prélèvement en continu d'un volume connu d'air à débit constant.

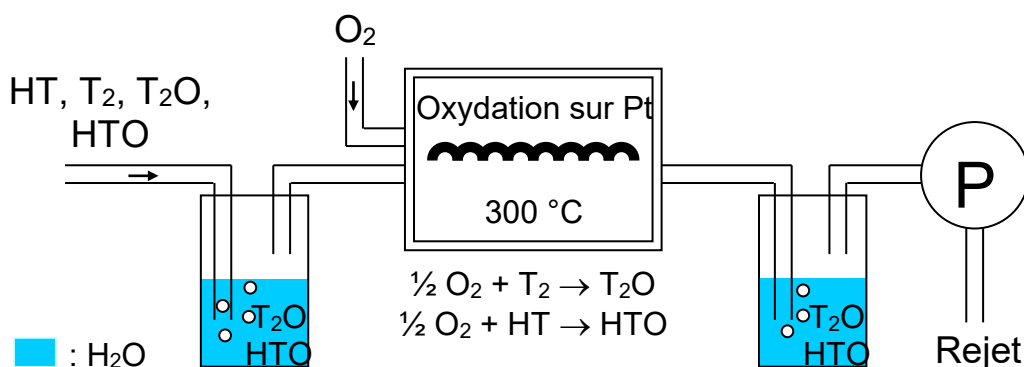
4. QUANTITE PRELEVEE, PERIODICITE ET DUREE

Les barboteurs du SPR du CEA de Valduc, sont réglés de telle sorte qu'ils prélèvent à un débit de $0,5 \text{ L.min}^{-1}$ sur une durée de 7 jours. Le volume d'air prélevé est donc de $5,04 \text{ m}^3$.

5. MESURE DU TRITIUM DANS L'EAU DES BARBOTEURS

Le tritium est ensuite compté par scintillation liquide. On obtient une activité en Bq/L

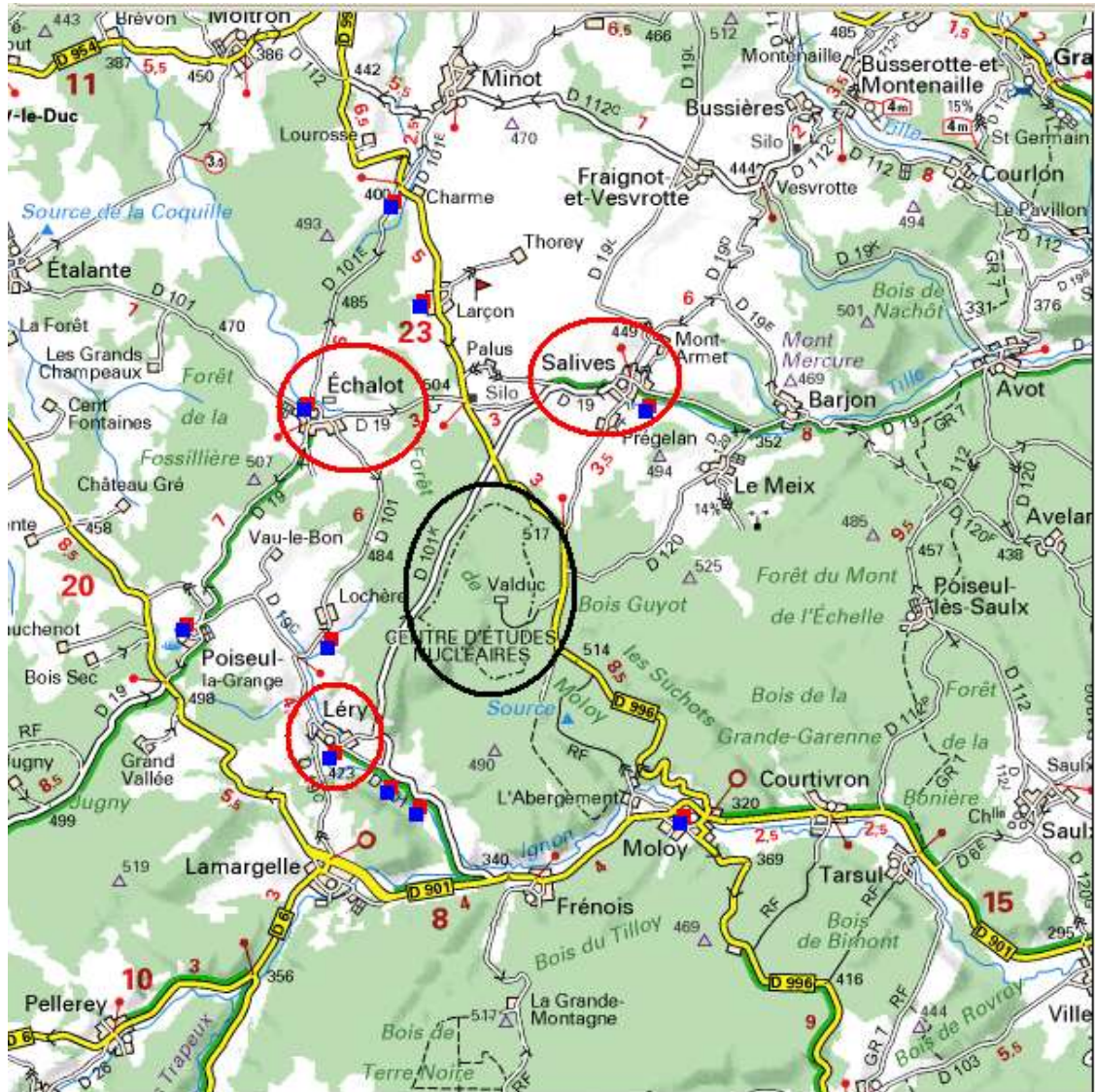
Remarque : le tritium étant piégé dans de l'eau, la solution est diluée. Le facteur de dilution est pris en compte au moment où l'activité est ramenée en Bq.m^3 .



Forme schématisée du barboteur

ANNEXE 7

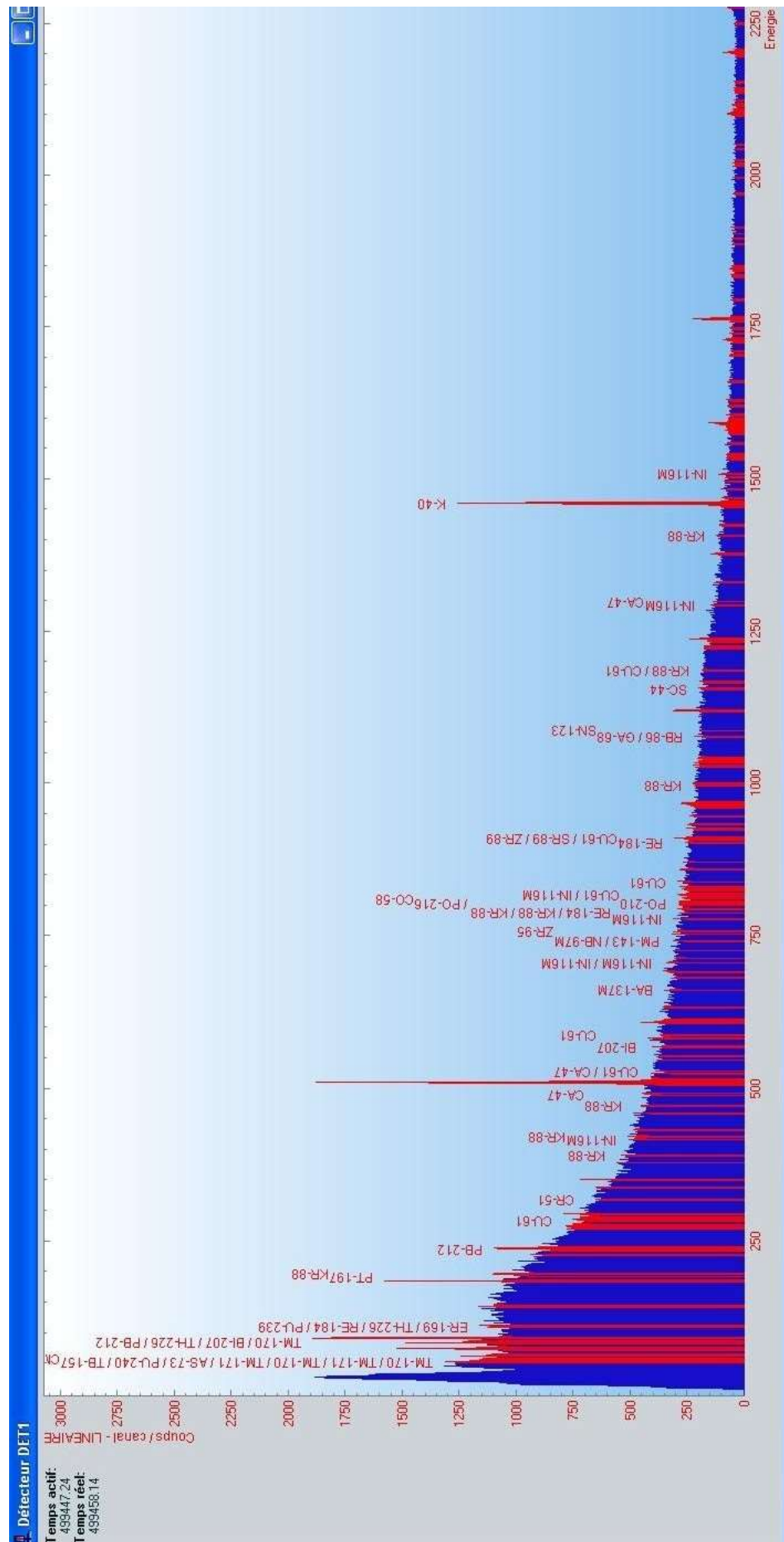
Carte autour de Valduc



- 
**Prélèvements
eaux de surface**
- 
CEA Valduc
- 
**Villages
étudiés**

ANNEXE 4

Analyse spectroscopique des poussières sur Salives



ANNEXE 6

Tableau des analyses 2011

Voir tableau prélèvements