

Il était une fois une nappe phréatique, très méchante et riche en actinium 227, et la gentille petite centrale nucléaire de Brennilis : AUTOPSIE D'UN RAPPORT DE COMPLAISANCE

Nicole JACQUIN - © 

10 décembre 2009

<http://cosmoenergie.infini.fr/docs/CEACRO-2008.pdf>

Laboratoire de Cosmoénergétique



02.98.59.57.34 nicole@delestage.org

Introduction

Si nous donnons un titre ironique et un brin provocateur à cet article, c'est pour répondre à la provocation, plus insidieuse mais surtout plus néfaste, que constitue la fable qui a été servie dans un rapport à « l'observatoire du démantèlement » de l'ancienne centrale nucléaire des Monts d'Arrée, le 28 novembre 2006 [1]. Cette première communication « [relançait] l'hypothèse d'une origine naturelle, comme des infiltrations d'eau souterraine qui auraient la particularité d'être "riches" en actinium 227 » (sic). Qualifiée de « rebondissement majeur », elle annonçait une nouvelle recherche qui promettait une avancée de la science hydrogéologique. En effet, un phénomène d'« infiltrations » (sic) d'eau souterraine remontant en surface contre la gravité est pour le moins inédit pour expliquer la présence d'un radionucléide jusque là jamais rencontré au niveau de la litière organique et de l'horizon lessivé du sol, milieu plus propice à une percolation gravitationnelle des eaux météoriques. Des « eaux souterraines riches en actinium-227 » mais pas en uranium-235 sont tout aussi inédites. Les auteurs reconnaissent d'ailleurs qu'il « n'existe aucune publication scientifique, (...), qui font état d'observations similaires dans l'environnement et/ou fournissent des informations de compréhension quant au(x) processus artificiel(s) ou naturel(s) pouvant expliquer une telle manifestation radiologique ».

On s'attendait donc à ce que cette nouvelle recherche, par ses conclusions présentées à l'observatoire du 28 novembre 2007 [2], fournisse ces « informations de compréhension » d'un phénomène jusqu'ici inconnu en sciences de la Terre. Hélas, si cette fois il **affirmait que son origine est naturelle**, le rapport inversait la charge de la preuve en fondant sa démonstration sur son échec à mettre en évidence une origine industrielle (mais peut-on trouver ce qu'on ne recherche pas ?), sans avancer la moindre hypothèse sur le processus naturel qui pourrait conduire à un tel résultat, ce qui eût obligé à la vérifier. Donc sans même un début de démarche scientifique, une hypothèse inexistante ne pouvant être récusée, elle est donc inattaquable.

Il suffisait dès lors de communiquer, à l'observatoire et dans la presse, que des laboratoires « indépendants » (sic) avaient conclu que l'actinium-227 découvert dans l'environnement de la centrale, orphelin de ses parents naturels de très longue durée de vie (uranium-235 et protactinium-231) avait une origine

naturelle. EDF pouvait ensuite tranquillement enterrer – ou noyer dans la nappe phréatique – le problème en mentionnant, dans toutes ses publications ultérieures, l’actinium-227 dans la « *radioactivité naturelle* » comme appartenant à la chaîne de désintégration de l’uranium-235, mentionnés ensemble dans ces communications, **même si l’uranium-235 n’a pas été mis en évidence** avec l’actinium dans l’environnement. Ainsi, ces pages du dossier d’étude d’impact [3], présenté par EDF à enquête publique, constituent une **double tromperie**, une en classant l’actinium descendant de l’uranium dans un carré vert légendé « *radioactivité naturelle* », et l’autre en les présentant comme « *potentialité de présence de radionucléides dans l’environnement* » (sic) alors que la présence d’actinium-227 y est largement attestée.

Le décryptage que nous tentons ici de ce rapport, co-signé par l’ACRO ¹ et le LSCE ², nous semble une contre-information indispensable qui relève du devoir d’alerte le plus élémentaire des populations des Monts d’Arrée, voire au delà, sur les dangers radio-écologiques qu’elles encourent et que ce rapport rassurant entend leur dissimuler, au moment où l’exploitant s’apprête à rompre irréversiblement le confinement du réacteur et à libérer les millions de milliards de becquerels qu’il contient dans la nature et des confinements incertains.

Cette parole de l’académicien Jean Rostand est plus que jamais de mise : « *L’obligation de subir nous donne le droit de savoir* ». Nous dédions la présente étude à toutes les victimes connues et inconnues, mais toujours pas reconnues, passées présentes et à venir, des intérêts économiques jugés à notre insu supérieurs à la vie et couverts par les secrets défense, industriel et autres secrets qu’on ne manquera pas de nous opposer.

1 Historique : quand l’actinium 227 surgit dans le cours tranquille d’un dossier « sous contrôle »

Réalisant, le 29 mars 2006, un dosage par spectrométrie γ de radioéléments dans un échantillon de mousses aquatiques, prélevé le 22 mars 2006 par l’association SORTIR DU NUCLEAIRE CORNOUAILLE dans le chenal de rejet à l’aval de la station de traitement des effluents (STE) de l’ancienne centrale nucléaire des Monts d’Arrée, en cours de démantèlement (INB n°162) ; le laboratoire de la CRIIRAD ³ mit en évidence des activités significatives, outre de césium-137 (^{137}Cs) et de cobalt-60 (^{60}Co) – produits de fission habituels de l’uranium 235 (^{235}U) dans les réacteurs nucléaires – de l’actinium 227 (^{227}Ac) à un taux de 176 Bq/kg sec [4], alors que ce radionucléide, le quatrième dans la chaîne de désintégration de l’uranium 235 (^{235}U), ne se trouve qu’à l’état de traces dans le minerai d’uranium et jamais en quantité pondérable dans la nature ⁴.

Mais surtout, le laboratoire nous alertait sur la très forte radio toxicité du radionucléide ^{227}Ac qui présente un *coefficient de dose* par inhalation ⁵ 5 fois supérieur à celui du plutonium-238 (^{238}Pu).

Comparant son résultat avec les analyses faites antérieurement par les laboratoires officiels à l’aval de cet émissaire (qui débouche dans un fossé se jetant dans le ruisseau ELLEZ qui irrigue le site), la CRIIRAD trouvait, par rapport à ces mesures, des activités 30 fois supérieure en ^{137}Cs et 5 fois supérieure en ^{60}Co . L’exploitant nucléaire peut difficilement nier la responsabilité du réacteur EL4 quant à la présence dans l’environnement de ces radionucléides de synthèse qui signent une réaction nucléaire (réacteur ou explosion nucléaire). Il la reconnaît d’ailleurs, même s’il cherche à en minimiser les quantités et l’impact.

Mais ici, nous allons plutôt nous concentrer sur le radionucléide que cette analyse de la CRIIRAD mettait en évidence pour la première fois [4]. Parce que, d’une part, le ^{227}Ac étant qualifié de *naturel* (voir plus loin) et habituellement absent des radionucléides rejetés par un réacteur, l’exploitant n’est

¹ Association pour le contrôle de la radioactivité dans l’Ouest.

² Laboratoire des Sciences du Climat et de l’Environnement au sein du Commissariat à l’Énergie Atomique. Identité qui ne l’empêche pas de se présenter dans la presse comme « *laboratoire indépendant* » (sic)

³ Commission de Recherche et d’Information Indépendante sur la RADioactivité, créée au lendemain de la catastrophe de Tchernobyl en réaction au mensonge de l’état français qui a nié la contamination des produits agricoles par le nuage radioactif (qui se serait arrêté à nos frontières selon les autorités sanitaires) provoquant de nombreux cancers, notamment de la thyroïde dont les malades se sont regroupés en association et ont attaqué l’État en justice.

⁴ Dans le massif de monzogranite du Huelgoat la teneur moyenne en uranium est de 8 ppm (min. 4,4 ; max. 15,8) [7, p. 57] soit $8 \times 0,0072 = 0,0576$ ppm ou 57,6 mg de ^{235}U par tonne de granite.

⁵ « Le coefficient de dose (dose factor) dépend du radionucléide, du type d’incorporation (inhalation/ingestion), du composé chimique de radionucléide et de l’âge de la personne » (<http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/d/dosecoefficient.htm>). Il s’exprime en sievert par becquerel (Sv/Bq), voir plus loin l’explication de ces unités.

pas prêt d'en assumer quelque responsabilité. C'est d'ailleurs pour s'en exonérer qu'il a commandé une étude, que nous dénonçons ici, qui accuse sans preuve Dame Nature à sa place. Parce que, d'autre part, l'excès de ^{227}Ac n'est pas *supporté* par ses parents (i.e. ni le ^{235}U ni le ^{231}Pa ne sont mesurés dans les échantillons où le ^{227}Ac est mis en évidence). Cela révèle un déséquilibre séculaire dans la chaîne de désintégration de l'uranium-235 et suggère des transferts de ce radionucléide dans l'environnement où il ne s'est, jusqu'ici, jamais rencontré naturellement ⁶, et dont les mécanismes rentent à expliciter. La CRIIRAD s'étonnait pareillement que la présentation de ses mesures, faites par l'IRSN ⁷ à l'Observatoire du démantèlement le 14 novembre 2003, « *ne fait pas état des résultats concernant la chaîne de l'uranium 235 dans les végétaux aquatiques* ». Par contre, dans une étude réalisée en 2003 pour la Communauté urbaine de BREST ⁸, l'ACRO ⁹ faisait état, dans des mousses aquatiques collectées en octobre 2001 dans l'Ellez en aval de la centrale, de 209 Bq/kg de radium-223 (^{223}Ra), petit fils de l' ^{227}Ac (6ème dans la chaîne de désintégration de ^{235}U). Mais ce radionucléide n'était plus détecté par ce laboratoire sur un échantillon prélevé au même endroit en février 2003, mais apparaissait de nouveau à 115 Bq/kg sur un échantillon collecté plus en aval en mars 2003. Par contre, et plus étonnant, sur aucun de ces échantillons, ce laboratoire n'a fait état de son parent beaucoup plus toxique ^{227}Ac ¹⁰. Ce que la CRIIRAD qualifiait de « *différence majeure avec les résultats de la CRIIRAD qui mesure ces 2 radionucléides à des niveaux d'activité comparables* » [4].

En l'absence de l'ancêtre naturel ^{235}U dans l'échantillon analysé et de mécanismes de transfert physico-chimiques spécifiques en l'état des connaissances actuelles, la CRIIRAD formait l'hypothèse de l'activation neutronique du radium-226 (^{226}Ra) présent dans les bétons qui ont été enlevés de la centrale ¹¹.

2 Contexte et enjeux politico-économiques

Ce constat de la CRIIRAD pourrait sembler insignifiant. Après tout, l'essentiel n'est-il pas que l'EDF reconnaisse que le fonctionnement passé de la centrale est responsable de la présence de certains radionucléides artificiels retrouvés dans son environnement immédiat ? Non ! car premièrement EDF ne peut pas accuser la nature d'avoir produit des isotopes de synthèse tels que ^{137}Cs , ^{60}Co ou des isotopes de plutonium. Deuxièmement ces isotopes sont imputables au fonctionnement passé du réacteur sur lequel on ne peut plus agir, et ce constat fournit à EDF un argument plutôt en faveur de la nécessité

⁶excepté dans les abysses océaniques où les conditions anoxiques permettent une accumulation, à des concentrations considérables de l'uranium dans les sédiments. Ainsi l'isotope ^{235}U ($t_{\frac{m}{2}} = 7,038 * 10^8 \text{ ans}$) va produire ^{231}Pa ($t_{\frac{m}{2}} = 3,276 * 10^4 \text{ ans}$) qui produit à son tour ^{227}Ac ($t_{\frac{m}{2}} = 21,77 \text{ ans}$). L'activité de la source de ^{227}Ac , le ^{231}Pa augmente avec la profondeur : de 0,1 cpm (0,0017 Bq) par gramme de sédiments de plateau continental à 2,8 cpm (0,047 Bq) par gramme de sédiment marin profond (Yang et al., 1986 ; Nozaki, 1993). Le ^{227}Ac est utilisé comme traceur dans l'étude des mélanges profonds et des remontées des eaux froides en raison de sa période de même échelle de temps que le brassage océanique (Geibert et al., 2002 ; Nozaki, 1984 ; Nozaki, 1993) [8].

⁷Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, organisme officiel actuel chargé de la radioprotection de la population française et qui succède au tristement célèbre SCPRI qui a menti en 1986 sur la contamination déposée sur le sol Français par le nuage de Tchernobyl, entraînant la consommation par la population de produits contaminés et de nombreux cancers qui auraient pu être évités. La CRIIRAD fut créée à cette époque en réaction à ce mensonge. L'IRSN est aujourd'hui l'expert unique dévoué à l'autorité de sûreté nucléaire (ASN).

⁸CUB, qui a maintenant abandonné la notion de *communauté* pour celle de *métropole* en devenant BREST MÉTROPOLÉ OCÉANE (BMO).

⁹Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, par ailleurs co-signataire du rapport dont l'objet du présent article est de mettre en lumière la complaisance avec le pollueur-commanditaire de l'étude.

¹⁰Contrairement à ce qu'écrit mensongèrement la DPI de la centrale : « [en 2003 le laboratoire de l'ACRO] met en évidence la présence d'actinium 227 dans les Monts d'Arrée », dans sa lettre de [dés]information de décembre 2007 "Expli'site" n° 2. Nous n'avons pourtant trouvé nulle part dans ce rapport [9], de quelconque "mise en évidence" d'un excès de ^{227}Th (fils de l' ^{227}Ac disparaissant de moitié en 18,7 jours, le ^{227}Th révèle donc l'existence de ce parent dans l'échantillon mesuré s'il ne décroît pas rapidement). Il n'est question dans ce rapport que du ^{223}Ra qui est 63 fois moins toxique par inhalation ($8,7 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{Bq}}$) que ^{227}Ac ($550 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{Bq}}$) qui est encore 5 fois plus radiotoxique que le plutonium 238 (^{238}Pu : $110 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{Bq}}$).

¹¹Le ^{226}Ra est un descendant (le 5ème dans la chaîne de désintégration, mais le premier à vie longue : $t_{\frac{m}{2}} = 1622 \text{ ans}$) de l'uranium-238 ^{238}U le plus abondant dans la nature (99,2745% de la masse d'uranium naturel contre 0,72% pour l' ^{235}U) notamment dans les granites utilisés comme granulats composant ces bétons. L'ACRO a d'ailleurs mesuré le ^{226}Ra à des activités anormalement élevées lors de ses précédentes études du bassin versant de la rade de Brest, notamment en 2003 des mousses aquatiques à l'aval du barrage du Drennec présentant une activité de $6316 \frac{\text{Bq}}{\text{Kg}_{\text{sec}}}$ en ^{226}Ra , sans toutefois s'inquiéter de la teneur de ce réservoir d'eau potable en radon 222 (^{222}Rn), gaz émanant de la désintégration du ^{226}Ra et très soluble dans l'eau froide.

de décontaminer pour réhabiliter rapidement le site ¹². D'autant que, troisièmement, l'exploitant du réacteur nucléaire, donc le signataire de ces contaminations, n'était pas EDF mais le CEA jusqu'au 19 septembre 2000. Ainsi, reconnaître des contaminations passées, dont elle ne peut être tenue directement pour responsable, met plutôt EDF dans la situations d'un « Zoro » de cette installation.

Par contre, c'est le démantèlement lui-même qui se trouve sous le projecteur de l'hypothèse suggérée par la CRIIRAD, notamment les opérations passées d'assainissement de la STE ¹³ et du BCI ¹⁴, sous ingénierie CIDEN donc EDF, qui ont généré 5 400 tonnes de déchets évacués vers le CSTFA de l'ANDRa à MORVILLIERS dans l'AUBE, dont essentiellement des bétons – renfermant du ²²⁶Ra – contaminés et potentiellement activés par le combustible irradié ¹⁵. Et si le démantèlement partiel n'a pu être réalisé sous les conditions fixées par le décret du 31 octobre 1996 modifié ¹⁶, à cause de la dispersion inopinée et inédite de ²²⁷Ac dans l'environnement, c'est le démantèlement lui-même qui se trouve remis en cause. Et comme ce démantèlement est pilote¹⁷ de celui du parc nucléaire français, c'est le renouvellement de ce parc qui se trouve avec lui remis en cause par cette découverte.

Voilà qui rend moins insignifiant ce constat de la CRIIRad, et fournit à l'industrie de l'électronucléaire le mobile suffisant de tout moyen qui pourrait le réduire au silence.

La CRIIRAD demanda donc à la direction de la centrale de communiquer « *la liste exhaustive des radionucléides contenus dans les bétons de l'installation et des précisions sur leur activité massique* » [5]. Bien que ces données soient communicables de droit, EDF refusa au motif que « *l'hypothèse d'une contribution des bétons activés du SMA à l'apport d'actinium 227 dans l'environnement n'est pas retenue, compte tenu des caractéristiques de l'installation et de l'état d'avancement des travaux* » sic ! [6].

Un expert demande donc à un producteur de déchets, auquel incombe la charge de les neutraliser, la caractérisation de ceux-ci aux fins de rechercher l'origine d'une contamination qui vient d'être découverte. Au lieu de s'exécuter comme il est tenu de le faire, le producteur de déchets refuse au motif que la conclusion, à laquelle il anticipe que l'expert arrivera, est écartée « *compte tenu des caractéristiques de l'installation et de l'état d'avancement des travaux* ».

Autrement dit : « Monsieur le commissaire, je refuse de répondre à vos questions car, compte tenu de mes dispositions actuelles, je ne retiens pas l'hypothèse de mon implication dans l'affaire qui vous occupe ». Que ferait en pareil cas le commissaire ? que doivent faire dans le cas présent les citoyens irradiables, qui ne savent toujours pas comment l'actinium qu'ils ont peut-être dans leur jardin y est parvenu ? Et si les bétons d'assainissement du BCI et de la STE sont innocents, pourquoi refuse-t-on de produire l'alibi qui les disculpe ?

Quelles sont les raisons, au moment où il écrit, du chef d'aménagement du site des Monts d'Arrée d'affirmer aussi catégoriquement « l'hypothèse d'une contribution des bétons activés du SMA... est écartée » ?

¹²Tout le monde tombe d'accord sur le fait qu'il est de première nécessité de décontaminer ? Mais nous ne mettons pas au même niveau de priorité la réhabilitation qui ne peut être que l'aboutissement d'une décontamination intégrale. Or la première condition de cette décontamination serait l'identification et la caractérisation des contaminations radioactives qui sont présentement l'objet de toutes les omissions et dissimulations de la part de l'exploitant.

¹³Station de traitement des effluents radioactifs, aux sous-sols fortement contaminés ayant empêché la poursuite de son assainissement lors de la première phase de démantèlement. Cette zone contaminée a été inondée par la montée de la nappe phréatique ("rabattue" depuis par pompage permanent) en décembre 2000.

¹⁴Bâtiment des combustibles irradiés. Déclassé suite au "*nihil obstat*" donné le 9 août 2006 par les inspecteurs de l'ASN, à l'exception du local 4.3 sur lesquels les inspecteurs ont prélevé deux échantillons de béton aux fins d'analyses contradictoires par l'IRSN. Suite à quoi le BCI a été démolit et déclaré au public comme ayant été déclassé (i.e. ce n'est plus un emplacement nucléaire) sans que celui-ci n'ait jamais plus entendu parler du local exclu du déclassement par l'ASN, ni des résultats des analyses de l'IRSN. Les 12 et 13 juillet 2007 EDF déclarait à l'ASN avoir découvert de terres contaminées dans l'emprise d'un bloc regard de béton qui venait d'être extrait de la galerie (par laquelle transitait le combustible usé) reliant le BCI démolit à l'enceinte réacteur. Ces terres contaminées ont été couvertes d'une bâche et d'un remblai par dessus.

¹⁵Le combustible irradié émet des neutrons qui, capturés par le ²²⁶Ra contenu dans le béton, synthétisent du ²²⁷Ac selon la réaction ${}^{226}_{88}\text{Ra}(n, \beta^{-}){}^{227}_{89}\text{Ac}$. Voir section 3.

¹⁶Cette non réalisation est déjà avérée par l'échec du déclassement de la STE, prévu dans le démantèlement partiel qui aurait dû être terminé le 8 novembre 2006, et qui a été suspendu et remis en cadeau dans la corbeille de la (mariée ?) demande d'autorisation de démantèlement complet.

¹⁷en terme de communication du moins. Car sur la faisabilité technique dans des conditions sanitaires et environnementales acceptables, c'est une autre histoire.

- À ce moment, 23 novembre 2006, aucun élément ne permettait d'écarter *a priori* cette "hypothèse" – qui n'en était pas encore une mais une simple vérification investigatrice. En effet, l'étude LSCE/ACRO sur la recherche de l'origine de l'actinium en excès était lancée mais n'avait pas encore produit de résultat. Ce n'est que 5 jours plus tard qu'un premier rapport d'étape allait être présenté à l'observatoire du démantèlement. Il y était notamment déclaré :

« D'après les faits rapportés ci-avant, on pourrait croire à une origine artificielle [...] Mais il y a un constat récent qui force à douter ¹⁸ [...] l'excès en ²²⁷Ac (non supporté) est manifeste [...] Une telle observation "relance" ¹⁹ d'abord l'hypothèse d'une origine naturelle, comme des infiltrations d'eaux souterraines qui auraient la particularité d'être "riches" en actinium-227 et se rencontreraient à plusieurs endroits du bassin versant de Saint-Herbot, à commencer sur le site du SMA. »

La voilà donc posée maintenant pour la première fois, l'hypothèse : "origine naturelle", "des infiltrations d'eau souterraine" (des profondeurs vers la surface ??) "qui aurait la particularité d'être riches..." d'un élément particulièrement rare ! voilà en effet une hypothèse hardie qui promet des recherches ambitieuses ; mais "qui se rencontreraient à plusieurs endroits" : au hasard, là où l'on va les trouver par la suite et pas là où on n'en trouvera pas ; et "à commencer sur le site du SMA" fortuitement, bien sûr !.

À ce point, ce n'est plus une hypothèse, c'est une prophétie. Il ne reste plus qu'à prier (ou à "aider" un peu la nature) pour qu'elle se réalise ! Mais pour nous c'est plutôt une aporie. On nous dit que si de l'actinium existe "hors toute influence" du SMA²⁰, alors il est naturel, et alors l'actinium est naturel partout "à commencer sur le site du SMA". Cette formulation dissimule mal la conclusion qu'attendaient les commanditaires de l'étude.

Ce rapport d'étape concluait :

« En conséquence, il a été décidé de suspendre momentanément toute interprétation, le temps de consolider cette observation qui est incontestablement un rebondissement majeur. » (sic).

Ainsi quand le chef de centre du SMA écrit que « l'hypothèse ... est écartée » ce la ne signifie en rien qu'elle a été invalidée après examen scientifique, mais que c'est cet examen même qui a été écarté. L'hypothèse en elle même reste bien ouverte, et son rejet *a priori* par l'exploitant ne peut que nous renforcer dans la recherche de la cause réelle de cette anomalie radiologique, sans *a priori* ni tabou.

- L'hypothèse de l'activation des bétons de la centrale était écartée d'entrée par EDF « *compte tenu des caractéristiques de l'installation et de l'état d'avancement des travaux* ». Cet argument, totalement incompréhensible en regard de la demande formulée et, surtout, du moment auquel cette lettre [6] est écrite. En effet, à cette date EDF avait déclaré à l'observatoire avoir expédié dans l'Aube (CSTFA et/ou CSFMA, non précisé) 2800 tonnes en 2005 et 1300 tonnes en 2006 de ces bétons provenant de l'assainissement de la STE et du BCI. Nous apprendrons plus tard que pour EDF seuls les bétons du bloc réacteur pourraient avoir subi une telle activation neutronique. Et comme le bloc réacteur n'avait pas encore été "attaqué", CQFD !

Mais si en faisant référence à l'avancement des travaux EDF admet la possibilité d'activation ²²⁶Ra(n, β)²²⁷Ac dans les bétons du bloc réacteur. Alors pourquoi, bien que la présente demande d'autorisation de son démantèlement présente un calcul de l'activation de ces bétons (fond de cuve cf. étude d'impact ch.8.10 [11] page 6), ce calcul ne prend-t-il pas en compte le ²²⁶Ra dans le béton. L'argument d'avancement des travaux est donc fallacieux, puisque quel que soit l'avancement des

¹⁸Ce constat était la découverte de ²²⁷Ac ailleurs que dans le lit de l'Ellez, à 4 km sous le vent de la cheminée de la centrale. De quoi cela peut-il "forcer" les limiers de l'actinium à douter ? L'exploitant déclare ne plus rejeter d'effluents liquides dans l'environnement depuis 1993. Pourquoi depuis lors le panache de rejets atmosphériques de la centrale suivrait-il sagement le cours de l'Ellez suivant l'exemple de son aîné, le nuage de Tchernobyl qui, selon la légende, aurait eu le bon goût de s'arrêter à nos frontières ?

¹⁹les guillemets sont de l'auteur du rapport. On comprend sa prudence, vu qu'il n'était pas approprié de parler de *relance* alors qu'aucune hypothèse de cette nature n'avait encore, à notre connaissance, été « lancée ». Mais un déséquilibre séculaire dans la chaîne ²³⁵U militera *a priori* (i.e. à investiguer en premier dans un ordre logique) d'autant plus pour un transfert à l'environnement d'origine anthropique que le déséquilibre est prononcé.

²⁰les auteurs se garderont bien, par la suite, de définir selon quel critère ils vont décider que tel prélèvement était sous ou bien hors influence du SMA. Cela leur permettra de se soustraire à l'obligation scientifique et de prendre cette décision en fonction du résultat attendu. Voir section 4.

travaux, EDF ignore totalement toute possibilité de réaction d'activation du ^{226}Ra ²¹ contenu dans le béton, voire même que ce béton puisse contenir naturellement ce radionucléide ?

Nous avons interrogé l'ACRO par téléphone en avril 2007 sur l'absence d'examen de cette hypothèse dans leur présentation à l'observatoire du 28 novembre 2006. Il nous a été répondu que cette piste avait été écartée car le LSCE "avait fait les calculs" qui concluaient à son impossibilité. Où sont ces calculs ? si tant est qu'ils aient réellement été menés, puisque ceux menés pour l'étude d'impact sur les bétons du BR, pourtant présenté comme seule source possible d'actinium-227, ignorent celui de $^{226}\text{Ra} (n, \beta) ^{227}\text{Ac}$. La mauvaise foi est hurlante ici. Cette section s'intéressant aux enjeux de cette "omission", il reste à poser la question : « à qui, ou à quoi, cela profite-t-il » ?

Avant de tenter une analyse critique, et compréhensible par un maximum de lecteurs, des différentes versions du rapport LSCE/ACRO et de ses différentes formulations qui nous posent problème ; quelques rappels de physique sur la radioactivité nous semblent utiles. Le lecteur familier du sujet pourra aller directement à la section 4, quoique ?...

3 Éléments sur la radioactivité et ses dangers

Le laboratoire de cosmoénergétique DÉLESTAGE n'est pas spécialiste en physique nucléaire mais, comme son nom l'indique, il est généraliste en énergétique. Concernant le problème qui nous occupe ici, nous dirons que cela tombe plutôt bien pour au moins deux raisons.

D'une part, une vision généraliste, c'est à dire ouverte sur le monde (*cosmo-*), s'avère nécessaire pour porter un regard critique sur la radioprotection telle que pratiquée de plus en plus dogmatiquement par les spécialistes de la techno-industrie nucléaire qui s'entoure de secret pour se protéger de toute analyse critique.

D'autre part, les effets néfastes de la radioactivité sur la matière vivante, comme de tant d'autres toxiques, se mesurent en terme d'*énergie* impactant les tissus et ne sont que très peu déterministes, surtout aux faibles doses, contrairement à ce que véhicule la culture techniciste.

La radioactivité fait donc partie intégrante de notre discipline, *la cosmoénergétique*. Pour aider le lecteur à comprendre et à s'emparer de cette critique tout en s'émancipant d'une confiance aveugle, mais néanmoins pas toujours sereine en « ceux qui savent », il nous a semblé utile de replacer la radioactivité dans la cadre des notions de la matière, qui nous constitue et nous entoure, que sont la masse et l'énergie.

3.1 Matière et Énergie

La matière apparaît au physicien par deux grandeurs, appelées fonctions d'état, qui se conservent l'une dans l'autre : la *masse* et l'*énergie*. En partant du macroscopique (i.e. à notre échelle géométrique de perception, sans utiliser d'artefact instrumental ou mathématique) allant vers le microscopique (voire encore plus petit), on distingue d'abord des molécules composées elles-mêmes d'atomes²² plus petits liés entre eux par des forces appelées *énergie chimique*.

Les atomes sont en fait eux-mêmes composés de particules élémentaires :

les plus massives composant le noyau de l'atome – appelées pour cela les *nucléons*²³ – contiennent la quasi-totalité de la *masse* de l'atome²⁴. On distingue deux espèces de nucléons selon leur charge

²¹ qui est pourtant le seul moyen de production industrielle du ^{227}Ac vu son occurrence naturelle extrêmement faible. Ainsi, en juin 1952, 7,751 Ci (*) d'actinium a été séparé au laboratoire de Mound (USA) de 10,6 g de ^{226}Ra préalablement irradié de neutrons à Hamford, puis 14,9 Ci ^{227}Ac et 24,6 Ci ^{228}Th furent purifiés à partir de 48 g de ^{226}Ra (47,5 Ci) fin 1954. L'expérience a été ensuite arrêtée à cause de la trop forte contamination de la casemate : « *the health physics surveys indicated surface and airborne contamination so high that instrument readings could not be evaluated* » [12]. (*) 1Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.

²² du grec *ατομος* "qu'on ne peut diviser". Une molécule est constituée de plusieurs atomes soit de même nature, par exemple dans les gaz monoatomiques comme l'hydrogène (H_2), l'oxygène (O_2) ou encore l'azote (N_2), dont les molécules sont composées de plusieurs (2 ici) atomes du même élément ; soit de natures différentes comme l'eau (H_2O : une molécule d'hydrogène liée à un atome d'oxygène) ou le dioxyde de carbone (CO_2 : 1 atome de carbone lié à une molécule d'oxygène) très diabolisé actuellement.

²³ Les nucléons font partie des particules appelées *baryons* du grec *βαρυς* qui signifie *lourd*.

²⁴ la masse du proton est de $1,6726231 \times 10^{-27}$ kg alors que celle du neutron est de $1,6749286 \times 10^{-27}$ kg. On constate donc un déficit de masse du proton par rapport au neutron en compensation de sa charge électrique que ne possède pas le neutron et qui vérifie le principe d'équivalence masse-énergie. On se souviendra à l'occasion que la norme

électrique : les *neutrons* qui ne portent aucune charge (neutres) et les *protons* qui portent une charge positive²⁵.

Les particules les plus légères gravitent autour du noyau. Ce sont les *électrons* qui portent une charge négative²⁶. Dans un *atome* on compte autant de protons que d'électrons de telle sorte que l'atome est électriquement neutre. On dit alors que l'atome est dans son *état fondamental*. Les électrons gravitent autour du noyau sur des orbites à différentes distances du noyau appelées *couches électroniques*²⁷ correspondant à différents *niveaux d'énergie* liant les électrons au noyau atomique. L'ensemble forme le *nuage électronique* de l'atome, appelé parfois *cortège électronique*. Le diamètre de ce nuage électronique est de l'ordre de 10 000 fois le diamètre du noyau qui concentre la masse de l'atome. Il en appert que, dans l'espace, la matière est principalement constituée de vide !

Parlons d'énergie :

Dans l'univers il y a quatre forces fondamentales qui s'exercent sur les particules et qui sont décrites par quatre théories :

1. la *force de gravitation* proportionnellement à leur *masse*, décrite par la *relativité générale* ;
2. la *force électromagnétique* proportionnellement à leur charge électrique, décrite par l'*électrodynamique quantique* ;
3. la *force nucléaire faible*, qui concerne seulement certains *quarks* (constituants élémentaires des nucléons) et *leptons* (cf note 26), est responsable des radioactivités β^- et β^+ , elle est décrite par la *théorie électrofaible* qui englobe la précédente ;
4. la *force nucléaire forte* s'exerce entre les *quarks* et assure la cohésion du noyau atomique, elle est décrite par la *chromodynamique quantique* (QCD).

Sans nous aventurer dans le détail, d'où il serait très difficile de sortir vu que la connaissance de la matière évolue sans cesse, et pour ce qui nous intéresse ici, nous nous contenterons de distinguer entre forces faible (2 et 3) et forte (4).

ISO 31-8 définit l'*unité de masse atomique* relative comme 1/12 de la masse atomique du nucléide ^{12}C , c'est à dire de la masse moyenne d'un nucléon dans un atome de carbone-12 (constitué de 6 protons et 6 neutrons) soit $u = 1,660\,540 \times 10^{-27}\text{kg}$ qui est plus légère que les masses des nucléons libres données ci-dessus. Autrement dit un nucléon libre est plus lourd qu'un nucléon lié, la perte de masse de ce dernier représentant l'énergie qui a été libérée par la fusion des nucléons lors de la formation de l'atome égale à $E = m \cdot c^2$ selon la célèbre égalité d'ALBERT EINSTEIN, dans laquelle m est ici la perte de masse Δm du nucléon lié. C'est cette même quantité d'énergie qu'il faudra fournir au noyau pour rompre cette liaison.

²⁵ $e = 1,602\,177\,33 \times 10^{-19}\text{C}$ appelée *charge élémentaire* exprimée en coulombs, unité qui mesure la quantité d'électricité transportée par un courant de 1 ampère pendant une seconde : $C = A \cdot s$. Les physiciens parlent de *force coulombienne*.

²⁶ environ 1 850 fois plus léger que le proton ou le neutron, la masse de l'*électron* est $m_e = 9,109\,389\,7 \times 10^{-31}\text{kg} = 5,485\,799 \times 10^{-4}u$ (énergie de masse $E = m_e \times c^2$). Les particules légères comme l'électron ou le neutrino sont des *leptons* du grec $\lambda\epsilon\pi\tau\omicron\varsigma = \text{léger}$. L'électron porte la même charge élémentaire que le proton mais de signe contraire soit $-e$. Voir note 25.

²⁷ Un atome peut avoir jusqu'à 7 couches électroniques dénommées par les lettres K à Q en partant de la plus proche du noyau vers l'extérieur, chacune associée à un niveau d'énergie W proportionnel à $-\frac{1}{n^2}$ n étant le *nombre quantique principal* $n = 1$ pour le niveau K à $n = 7$ pour le niveau Q. Une couche donnée peut comporter un nombre maximum d'électrons égal à $2n^2$ pour la $n^{\text{ième}}$ couche (*principe d'exclusion de Pauli*). Les couches sont "remplies" prioritairement en commençant par la couche K. Ainsi l'atome d'hydrogène, dont le noyau n'est qu'un proton, n'a qu'un électron sur sa couche K qui ne peut en compter que $2 \times 1^2 = 2$. Par exemple, l'atome d'oxygène qui compte 8 électrons en comptera 2 sur sa couche K et 6 sur sa couche L qui peut en compter $2 \times 2^2 = 8$. On notera la structure électronique de l'atome d'oxygène $(K)^2(L)^6$, on dit que la couche K est *saturée* (ne peut contenir d'électron supplémentaire). La structure électronique générale de l'atome est finalement $(K)^2(L)^8(M)^{18}(N)^{32}(O)^{50}(P)^{72}(Q)^{98}$ "remplie" de K vers Q avec le nombre d'électrons de l'atome donné. C'est la dernière couche qui donne à l'atome ses propriétés chimiques.

Force faible dans un atome isolé à l'état fondamental les charges positives du noyau (*protons*) sont en équilibre électrostatique avec les charges négatives du nuage (*électrons*), l'atome est électriquement neutre.

- Si un atome isolé absorbe une énergie extérieure (choc, chaleur, rayonnement), des électrons vont changer d'orbitale pour compenser l'énergie absorbée ΔW . L'atome est alors dans un *état excité* qui est instable. Il reviendra spontanément à son état fondamental en émettant un rayonnement d'**énergie électromagnétique** (*photon*) d'énergie ΔW de fréquence caractéristique de l'atome (entre l'infrarouge et les rayons X). C'est ce phénomène qu'utilise le *laser*.
- Si l'énergie ainsi absorbée par l'atome est suffisante, il peut soit perdre soit capturer un ou plusieurs électrons. La parité proton-électron est alors rompue et l'atome n'est plus électriquement neutre, c'est le processus d'*ionisation*. Un atome ou une molécule en déficit d'électron(s) est un *ion positif*, à l'inverse s'il est en excès d'électrons c'est un *ion négatif*. L'**énergie de première ionisation** est l'énergie nécessaire à extraire l'électron de plus faible énergie de liaison. Une fois créé, un *ion* peut être *réactant* et ioniser d'autres molécules. C'est le cas des réactions en chaîne de la combustion d'hydrocarbures (**énergie chimique**) dans laquelle la première ionisation est obtenue par apport de chaleur externe. La radioactivité qui nous occupe ici ionise pareillement la matière qu'elle touche et change sa nature, c'est pourquoi elle est classée dans les **rayonnements ionisants**.
- Dans deux atomes voisins, chimiquement caractérisés par leur couche électronique superficielle (note 27), des électrons peuvent se trouver dans l'espace entre les deux noyaux atomiques. Les électrons négatifs sont soumis à la charge positive de deux noyaux au lieu d'un seul, ainsi se forme un doublet d'électrons, chaque atome partageant un électron avec l'autre (ex. la molécule de dihydrogène H_2). On appelle cette *liaison covalente*, qui met en jeu une **énergie chimique** : la formation de la liaison est un processus *exothermique*^a tandis qu'il faudra fournir de l'énergie pour la briser (processus *endothermique*)^b.

Force forte La répulsion coulombienne tend à séparer les protons (note 25) mais au sein du noyau elle est beaucoup plus faible que l'interaction forte (portée par les *gluons*^c) qui assure la stabilité du noyau. L'**énergie de liaison** E_l d'un noyau atomique est l'énergie qu'il faut fournir au noyau pour vaincre cette force et le dissocier en ses *nucléons*. La figure 1 donne l'**énergie de liaison** par nucléon $-E_l/A$ pour toutes les *masses atomiques* A de l'hydrogène ($A = 1$) à l'uranium ($A = 235$). Pour les énergies de liaison $|E_l| < 8 \text{ MeV}$ ^d les noyaux sont peu stables. C'est le cas des noyaux légers pour $A < 20$ qui auront tendance à *fusionner* en noyaux plus lourds, et à l'opposé des noyaux lourds de masse $A > 190$ qui auront tendance à *fissionner* en noyaux plus légers. Ces deux réactions suivent l'attracteur que sont les noyaux les plus cohérents fer et cuivre. Dans les deux cas les réactions convertissent de la masse en énergie dissipée par le système, par augmentation de l'**énergie de liaison** totale du système, d'une faible valeur unitaire par de nombreux nucléons pour la *fission*, d'une très forte valeur par de moins nombreux nucléons dans le cas de la *fusion*. C'est dans les deux cas de **l'énergie nucléaire**. On voit également sur la courbe 1 le faible potentiel énergétique de la *fission* par rapport à la *fusion*. Mais le rendement énergétique de cette dernière est négatif aux conditions terriennes de température et de pression, sauf dans les bombes H !

^ap.ex. formation d'eau par combustion d'hydrogène dans l'oxygène $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$.

^bÀ cause du rendement des transformations qui ne sont **jamais** sans pertes, Il faut apporter plus d'énergie à la molécule d'eau pour la briser (p.ex. par électrolyse) que n'en a produit la combustion d'hydrogène qui l'a formée (impossibilité du mouvement perpétuel).

^c*bosons de jauge*, comme le *photon*, qui confinent les *quarks* ensemble, ce qui permet l'existence des protons et des neutrons.

^dDans le système SI, l'énergie se mesure en joules (J) qui correspond au travail d'une force de 1 newton effectuant un déplacement de 1 mètre $1 J = 1 N.m$ ou l'énergie dépensée en 1 seconde sous une puissance de 1 watt $1 J = 1 W.s$ (d'où $1 kWh = 3600 kJ$). Mais le joule est une unité bien trop grande pour mesurer l'énergie des particules, aussi utilise-t-on une mesure à leur échelle : l'*électron-volt* qu'on note eV (et ses multiples le keV , le MeV etc.). C'est l'énergie nécessaire à un électron pour franchir une barrière de potentiel de 1V. $1 MeV = 0,16.10^{-12} J$. Suivant l'équivalence masse-énergie $E = m.c^2$ et comme c est une constante universelle (vitesse de la lumière dans le vide), on utilise aisément l'électronvolt pour mesurer la masse du nucléon : $u = 931,48 MeV.c^{-2}$.

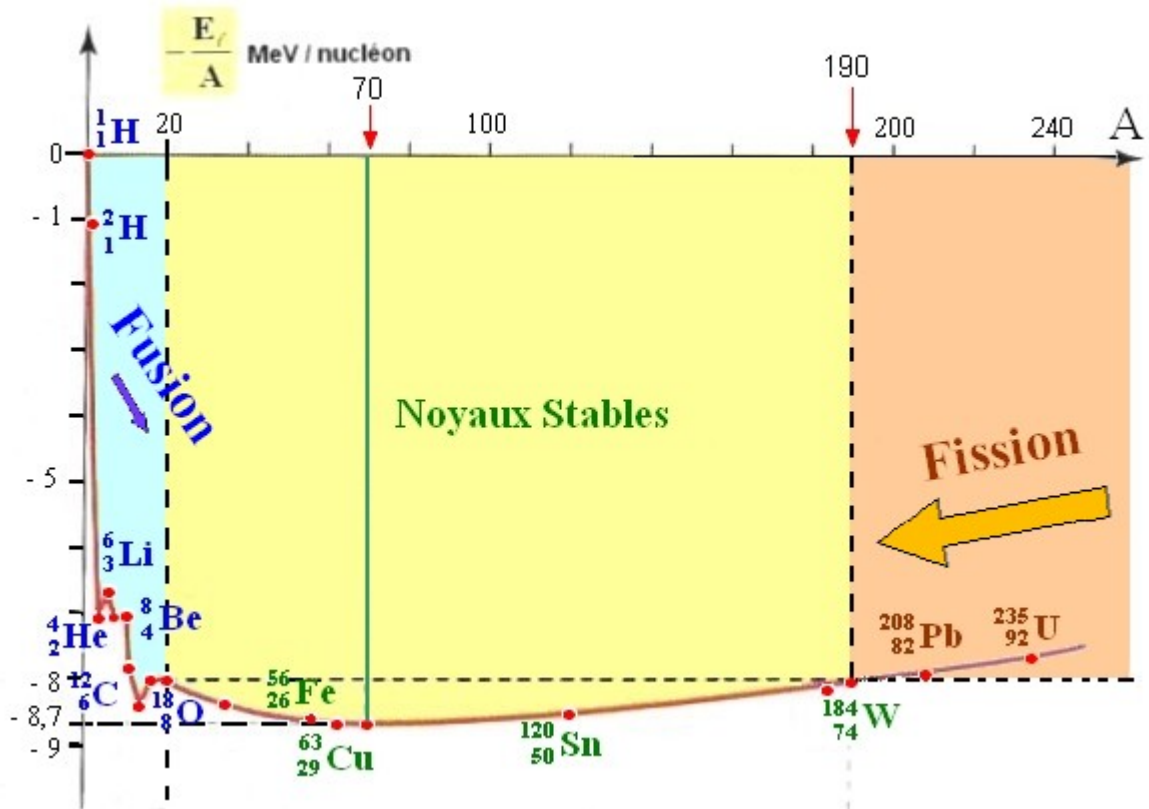


FIG. 1: Courbe d'Aston $\frac{E_b}{A}(A)$

3.2 Représentation de l'atome

Le nombre de protons du noyau, égal au nombre d'électrons du cortège dans l'atome à l'état fondamental et qui définit ses propriétés chimiques, est appelé *numéro atomique* dans la table de classification périodique des éléments. Il est par convention désigné par la lettre Z . Le nombre total de nucléons (protons + neutrons) est appelé nombre de *masse atomique* et désigné par la lettre A . Bien que le numéro atomique suffise à caractériser chimiquement l'élément, on le désigne également par un symbole qui évoque son nom, par exemple Fe pour le fer, C pour le carbone etc. Si X désigne ce symbole, on écrira conventionnellement pour représenter aussi bien un atome que son seul noyau (appelé alors *nucléide*) :

A_ZX

qui nous indique immédiatement que l'atome d'élément X a un noyau comportant Z protons et qu'il s'agit de l'*isotope*²⁸ A de cet élément dont le noyau comporte donc $A - Z = N$ neutrons, atome complété par un nuage de Z électrons. Ainsi des atomes et nucléides naturels on trouve [dans la nature] du plus léger l'hydrogène 1_1H ²⁹ dont le noyau se compose d'un seul proton, au plus lourd l'uranium ${}^{238}_{92}U$ caractérisé par un noyau de 92 protons et d'un nombre variable de 138 à 146 neutrons. Tous ces *isotopes* de l'uranium sont radioactifs³⁰, le plus stable étant l'uranium-238, le plus abondant dans la nature (99,2745% de l'uranium naturel).

²⁸ du grec *ισο* "même" et *τοπος* "place" : même emplacement dans la classification périodique des éléments, même nombre Z de protons qui lui confère son identité et la constance de ses propriétés chimiques, mais un nombre différent de neutrons $N = A - Z$.

²⁹ qui comprend 3 isotopes : l'hydrogène 1_1H constitué d'un seul proton (et 1 électron pour faire l'atome), l'hydrogène 2_1H ou *deutérium* constitué de 1 proton et 1 neutron et l'hydrogène 3_1H ou *tritium* constitué de 1 proton et 2 neutrons. Ce dernier isotope est *radioactif* (noyau instable).

³⁰ On dit que l'uranium est un *radio-élément* car tous ses isotopes sont radioactifs. Les isotopes radioactifs (p. ex. ${}^{40}K$) d'éléments dont certains isotopes sont stables (p.ex. ${}^{39}K$) sont appelés *radio-nucléides*.

3.3 Alors, qu'est-ce que la radioactivité ?

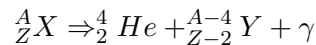
Nous venons de présenter les principales pièces du "mécano" qui constitue la matière que sont les neutrons, les protons et les électrons ; ainsi que les "boulons" subtils (les physiciens les nomment *gluons*, voir note *c*) que sont les forces d'interaction énergétiques qui lient ces pièces de manière organisée de façon à former des atomes et molécules ayant chacun leur identité et leur comportement. Cependant, cette organisation n'est pas figée mais évolue dans l'espace et le temps et on peut dire alors que la radioactivité est une manifestation de cette évolution à travers divers *brisements de symétrie* et *sauts quantiques* accompagnés d'échanges d'énergie.

Nous venons de voir que le phénomène d'ionisation correspondait à un ré-arrangement énergétique [faible] de l'atome par échange d'électrons. On peut dire de la même manière que la radioactivité est le rayonnement énergétique produit spontanément par le ré-arrangement de noyaux énergétiquement déséquilibrés vers un état énergétique plus faible. Elle se produit par échange soit de nucléons [neutrons, protons, rayonnement α] ou de leur charge *électrofaible* [électrons/positons, rayonnements β] ou encore par émission de rayonnement électromagnétique [photons, rayons X et γ]. Ce sont ces désintégrations de noyaux avec émission de rayonnements associés de caractéristiques et d'énergies fort différentes, qu'on désigne sous le terme générique de **radioactivité**³¹, et que ceux qui les produisent comptabilisent en tonnes ou en m^3 de matière qui les contient pour les comparer aux déchets ménagers, ce qui n'a aucun sens ! Tous ces rayonnements sont *ionisants* de la matière qu'ils touchent.

3.3.1 Radioactivité α (alpha)

Nous avons vu sur la courbe d'Aston figure 1 que les noyaux dont les nucléons ont une énergie de liaison inférieure à 8 MeV avaient une cohésion faible et les noyaux légers ($A < 20$) avaient tendance à fusionner en noyaux plus lourds et les noyaux lourds ($A > 190$) à fissionner en noyaux plus légers. Les noyaux de masse atomique $A \approx 70$ étant les plus stables. Mais les réactions de *fission* et encore moins de *fusion* ne sont pas spontanées et doivent être provoquées³². Par contre pour les noyaux lourds ayant un nombre important de nucléons, la force nucléaire forte est insuffisante pour maintenir la cohésion du noyau, surtout en surface (modèle de la goutte liquide).

Il y a alors "éjection" d'un noyau d'hélium ($2p + 2n$) qu'on appelle particules α et le rayonnement associé *rayon α* .



Ce qui s'explique facilement par la stabilité particulière du noyau d'hélium en regard d'un noyau père ${}^A_Z X$ avec des protons répulsifs en surnombre. La particule α est émise à grande vitesse ($\approx 104\text{ km/s}$), avec une énergie de l'ordre de 5 MeV mais son parcours dans l'air n'est que de quelques cm et elle est arrêtée par une simple feuille de papier. En raison de leur polarisation positive les rayons α sont déviés par un champ magnétique. Le nucléide fils engendré ${}^{A-4}_{Z-2} Y$ est originellement dans un état excité, il se stabilise en émettant un photon γ .

3.3.2 Radioactivité β^- (bêta négatif)

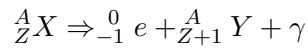
Elle concerne les noyaux ayant un excès de neutrons par rapport au nombre de protons³³. Un neutron transmute en proton en émettant une particule β^- (*électron énergétique*) et un *antineutrino* qui sont

³¹étymologiquement : *activité rayonnante ou irradiante*. Ce qui pourrait aussi qualifier l'émission d'ondes électromagnétiques comme la radiotéléphonie, l'éclairage ou le chauffage aux rayons infrarouges. Avec l'explosion de la téléphonie mobile, on découvre progressivement les effets délétères sur le vivant des champs électromagnétiques (CEM) et que les *rayons non ionisants* ne sont pas non plus sans dangers, même s'ils sont d'un autre ordre. C'est pourquoi on distingue *rayons ionisants* et *non ionisants*. Si le terme de *radioactivité* est réservé pour désigner les premiers, et qu'on désigne les seconds par *CEM*, la notion de *radioprotection* actuellement "confinée" à la radioactivité devrait s'élargir à tous les champs.

³²Noter toutefois que la fission spontanée est possible pour les noyaux de masse $A > 230$. Par ex. ${}^{238}\text{U}$ peut se casser spontanément en un atome d'étain ${}^{133}\text{Sn}$ et un atome de molybdène ${}^{103}\text{Mo}$. Mais ce mode de désintégration n'a qu'une probabilité de 5.10^{-3} contre une désintégration α de se produire.

³³excès qui peut toucher les noyaux lourds comme les légers comme c'est le cas du troisième isotope de l'hydrogène, le tritium ${}^3_1\text{H}$ (rapport $\frac{Z}{A} = \frac{1}{3}$). Dans le cas des noyaux légers dont les isotopes radioactifs sont plus rares que les lourds, la radio-activité est essentiellement de type β^- c'est à dire, dans le cas du tritium, qu'un neutron du noyau va devenir proton en émettant un électron (β^-) et le noyau va transmuter en ${}^3_2\text{He}$ (hélium-3). Le rapport $\frac{Z}{A}$ se maintient $\leq 50\%$ pour les noyaux légers et tend vers $\approx 40\%$ pour les noyaux les plus lourds.

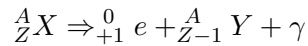
éjectés du noyau.



Le nucléide fils Y a le même nombre de masse A que le nucléide père X mais il avance d'une case dans le tableau de classification périodique des éléments.

3.3.3 Radioactivité β^+ (bêta positif)

Elle concerne les noyaux ayant un excès de protons par rapport au nombre de neutrons. Un proton transmute en neutron en émettant une particule β^+ (*positon énergétique* = antimatière) et un *neutrino* qui sont éjectés du noyau.



Le nucléide fils Y a le même nombre de masse A que le nucléide père X mais il recule d'une case dans le tableau de classification périodique des éléments.

Comparable à la radioactivité β^+ mais moins courante, mentionnons ici la *capture électronique* ϵ qui concerne surtout des isotopes lourds instables par déficit de neutrons ou excès de protons. Un proton du noyau capture alors un électron de l'orbitale la plus interne et se transmute en neutron.

Les particules β^- et β^+ sont émises à grande vitesse ($\approx 105\text{km/s}$), elles sont plus pénétrantes que les particules α mais une plaque métallique de quelques mm d'épaisseur suffit pour les arrêter. Étant chargés électriquement, les rayons β sont déviés par les champs magnétiques.

3.3.4 Radioactivité γ (gamma)

Lors de toute transmutation nucléaire, il y a conservation de l'énergie dans le système. Si l'énergie emportée par les particules émises n'est pas suffisante pour ramener l'atome à son état de plus basse énergie, l'excédent est émis sous forme de rayonnement électromagnétique à ultra haute fréquence (*photon* γ) au delà des rayons X . Les rayons γ sont très pénétrants et il est très difficile de s'en protéger. N'étant pas polarisés, ils ne sont pas déviés par les champs magnétiques.

3.3.5 Loi de décroissance radioactive

La désintégration nucléaire et les rayonnements α , β^- , β^+ , γ , $\frac{1}{0}n$ qui l'accompagnent sont spontanés et obéissent à des mécanismes qui sont propres au nucléide considéré et insensibles aux influences extérieures comme la pression, la température, les rayonnements etc.. Aucune force normale connue à bord de notre vaisseau spatial Terre, et depuis que celle-ci existe, n'a encore réussi à changer de manière mesurable le taux de désintégration intrinsèque aux radionucléides³⁴.

Cependant ce taux n'est pas linéaire mais il suit une *loi statistique*. Cela veut dire que, sur un échantillon de matière renfermant une quantité N ³⁵ de nucléides X , il est impossible de dire si un noyau donné de X va se désintégrer dans les 5 minutes qui viennent ou dans 1 000 ans! Tout ce qu'on peut dire avec précision, c'est au bout de quelle durée $t - t_0$ la moitié $\frac{N}{2} \times X$ d'atomes pères se seront désintégrés et auront formé $\frac{N}{2} \times Y$ atomes fils³⁶.

Cette durée est appelée *période* radioactive. On trouve fréquemment dans la littérature l'expression *demi-vie*. C'est un raccourci fâcheux car il peut induire en erreur en laissant penser que la durée de vie du radionucléide serait seulement double de la période³⁷. La période radioactive est en réalité la durée de vie de la moitié de la masse du radionucléide considéré. Nous préférons dire *vie de demi-masse* plutôt que *demi-vie* et écrire $t_{\frac{m}{2}}$ plutôt que $t_{\frac{1}{2}}$ et encore moins $T_{\frac{1}{2}}$ (ce n'est pas une température!). Elle est propre à chaque radionucléide et constitue une de ses caractéristiques fondamentales.

³⁴ au grand dam des industriels du nucléaire qui cherchent toujours la pierre philosophale de la transmutation pour se débarrasser à grands frais des produits de fission.

³⁵ pour passer de l'échelle micro à macro, on prend en général une *mole* de particules soit $N = N_A = (6,022\,137) \cdot 10^{23} \cdot \text{mol}^{-1}$. N_A est le nombre d'Avogadro. 1mol d'atomes de carbone ${}^{12}\text{C}$ pèse 12 grammes.

³⁶ cela tient au fait que sur une courbe de Gauss (en cloche) représentant l'intégrale des désintégrations dans le temps, on ne peut repérer avec précision sur l'échelle de temps correspondant au passage de la courbe par le maximum qui correspond à l'instant t auquel la moitié des atomes de l'échantillon a disparu. À aucun autre instant entre t_0 et t on ne peut dire combien d'atomes se sont désintégrés entre les limites N et $\frac{N}{2}$.

³⁷ **Humour** (noir ?) à moins que ce soit pour nous rappeler qu'on ne vit qu'à moitié avec la radioactivité ou que celle-ci réduit notre vie de moitié...

Le nombre de nucléides dN qui se désintègrent par unité de temps dt est $dN = -\lambda.N.dt$ où $\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{\frac{m}{2}}} \approx \frac{0,693}{t_{\frac{m}{2}}}$ est la constante de désintégration en s^{-1} propre au radionucléide X . On peut alors calculer l'activité (i.e. *radioactivité*) moyenne³⁸ d'une population de N noyaux d'un radionucléide dont on connaît la période $t_{\frac{m}{2}}$:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda.N$$

en désintégrations par seconde qui est l'unité du Système International de mesure de la radioactivité dénommée *becquerel*, du nom de Henri Becquerel le découvreur de la radioactivité, dont le symbole est *Bq*.

Le radionucléide fils Y , produit par la désintégration du père X , est le plus souvent radioactif. Il va se désintégrer à son tour selon sa propre constante λ pour produire un nouveau radionucléide, et ainsi de suite jusqu'à obtention d'un noyau stable. On a ainsi une chaîne de désintégration radioactive que l'on appelle *famille* à laquelle on donne le nom de l'isotope parent, le père de famille. Ainsi dans la nature on trouve trois familles radioactives :

- la famille de l'uranium-238 ($^{238}_{92}U$) avec 14 descendants dont le dernier, le plomb-206 ($^{206}_{82}Pb$), est stable ; abondance dans l'écorce terrestre $2,7.10^{-6} \times 0,993 = 2,68.10^{-6}$ soit 2,68 grammes par tonne ;
- la famille de l'uranium-235 ($^{235}_{92}U$) avec 11 descendants (dont $^{227}_{89}Ac$) dont le dernier, le plomb-207 ($^{207}_{82}Pb$), est stable ; abondance dans l'écorce terrestre $2,7.10^{-6} \times 0,007 = 1,89.10^{-8}$ soit 18,6 mg/t ;
- la famille du thorium-232 ($^{232}_{90}Th$) avec 11 descendants dont le dernier, le plomb-208 ($^{208}_{82}Pb$), est stable ; abondance dans l'écorce terrestre $9,6.10^{-6} = 9,6 g/t$.

À l'exception notable de radionucléides légers comme le tritium (3H), le béryllium-7 (7Be), le carbone-14 (^{14}C) d'origine cosmogénique ou le potassium-40 (^{40}K), tous les radionucléides susceptibles de se trouver naturellement dans l'environnement appartiennent à ces trois familles.

On trouvera une synopsis de ces trois chaînes de radionucléides naturels page 6 du premier rapport (2006) de l'ACRO [1] avec pour chaque radioélément sa période de désintégration. Sur ce tableau, les flèches descendant de 2 numéros atomiques Z correspondent à une désintégration α , les flèches remontant en biais vers la droite d'un niveau atomique Z sans changement de nombre de masse A représentent une désintégration β^- .

3.3.6 Radioactivité naturelle ou industrielle ?

Outre ces radionucléides, il en est qu'on ne rencontre dans la nature seulement depuis que l'homme "joue" avec l'atome. C'est le cas des transuraniens, c'est à dire au delà de l'uranium ($Z > 92$, $A > 233$) mais également de noyaux plus légers comme les produits de fission tels le césium-137 (^{137}Cs) qui a fait et continue de faire après Tchernobyl tant de victimes silencieuses, et qu'on retrouve en quantité significative dans l'environnement du SMA. Il en est de même des produits d'activation, c'est à dire des matériaux normalement non radioactifs (constituées d'isotopes stables comme ^{54}Fe ou ^{59}Co) mais qui le sont devenus suite à irradiation³⁹.

Ces radionucléides ont donc 2 caractéristique. 1) ils sont *synthétiques*, c'est à dire produits par l'industrie, 2) ils ne se rencontraient pas dans la nature avant cette production par *synthèse*. Depuis que l'homme existe du moins, car l'homme est apparu sur Terre au moment où la radioactivité est devenue suffisamment basse pour être compatible avec la forme de vie qu'il concrétise. En effet la radioactivité "naturelle" ne fait que décroître au cours du processus de formation de la Terre, et des radionucléides qui sont aujourd'hui synthétiques comme le plutonium ont existé aux temps géologiques. Par exemple le ^{239}Pu , constituant de la bombe qui a détruit le 9 août 1945 la ville de Nagasaki, avec une période radioactive de 24 100 ans avait diminué de 1024 fois, 241 000 ans après que sa production tellurique

³⁸c'est bien une moyenne statistique car les désintégrations ne sont pas régulières. Par exemple pour une activité moyenne de 2 coups par seconde, on peut avoir deux secondes successives sans désintégrations, 3 désintégrations dans la seconde suivante, puis 5 la suivante etc. C'est pourquoi une mesure de radioactivité doit intégrer une durée d'autant plus longue que l'activité est faible.

³⁹soit pour le fer $^{54}Fe + {}^1_0n \rightarrow {}^{55}Fe + (\nu_e \sim \beta^+)$ de période 2,73 ans ; et pour le cobalt $^{59}Co + {}^1_0n \rightarrow {}^{60}Co + \beta^-$ de période 5,27 ans.

ait cessé⁴⁰. Nous avons vu que l'uranium-238 représentait 99,3% de l'uranium naturel alors que ²³⁵U ne constitue que les 0,7% restants. Ce phénomène est expliqué par les durées de vies respectives de ces isotopes : $t_{\frac{m}{2}} = 4,47$ milliards d'années pour le ²³⁸U et $t_{\frac{m}{2}} = 703,8$ millions d'années pour ²³⁵U qui disparaît donc 6 fois plus rapidement que ²³⁸U actuellement le plus abondant. C'est d'ailleurs grâce à la radioactivité naturelle qu'on a pu établir que la Terre a plus de 5 milliards d'années et non 3000 ans comme on le croyait en se basant sur les récits bibliques.

Pourquoi alors, si des radionucléides aujourd'hui "artificiels" furent "naturels" en leurs temps géologiques – il est vrai peu compatibles avec la vie humaine, des radionucléides dits aujourd'hui "naturels" ne pourraient-ils être synthétisés ? et ils le sont ! On voit à quel point il est pernicieux de confondre radionucléides et radioactivité pour faire une distinction, artificielle celle-là, entre "*radioactivité naturelle*" et "*radioactivité artificielle*", alors que la radioactivité est en soi, nous venons d'y insister, un phénomène naturel. Et comme tout phénomène naturel, on peut s'efforcer de le comprendre pour s'y "*éco loger*" au mieux, on ne peut en aucun cas le maîtriser⁴¹.

Pourtant, nos "Prométhée" ont pris l'habitude simplificatrice de désigner par *radioactivité naturelle* les radionucléides qui ont une occurrence naturelle (passés en revue en 3.3.5), qu'ils aient été synthétisés ou non. Ils peuvent alors qualifier, par défaut, tout ce qui reste de radioactif avec l'oxymore de "*radioactivité artificielle*". C'est bien un oxymore puisque la radioactivité est un phénomène naturel. Mais avec ce qualificatif, ils s'affranchissent à bon compte des perturbations infligées au milieu. Car ce qui est artificiel, ce n'est pas la radioactivité mais les artefacts de l'homme qui la manipule, ce n'est pas le platane au bord de la route mais l'automobile que le chauffard a envoyé dedans. Et d'inventer le concept de "*radioactivité naturelle renforcée*" (sic), encore un oxymore, si c'est renforcé ce n'est pas naturel.

En l'occurrence la question n'est pas "naturel" vs "pas naturel", mais bien dans le "renforcé". Homo est apparu sur Terre au moment de l'évolution où la décroissance radioactive de la Terre était arrivée à un niveau compatible avec son espèce qui a évolué avec cette lente décroissance radioactive. Et voilà que brusquement, violemment à l'échelle de temps géologique, *Homo-industrialis (capitalibus)* inverse cette décroissance radioactive en inventant la "*radioactivité naturelle renforcée*". Et nul besoin de produire des radionucléides de synthèse pour renforcer la radioactivité environnante, l'extraction de radionucléides "naturels" (qui ne le sont dès lors plus) du sol, leur concentration, leurs traitements et enrichissements de toutes sortes, tel le cycle du combustible, sont la principale source de ce renforcement qui est, quant à lui, bien artificiel.

Pour sortir de ce labyrinthe sémantique où l'on nous promène depuis des années et dans lequel nous perd le rapport LSCE/ACRO critiqué ici, nous nous attacherons uniquement au processus de production (filiation naturelle ou produit de synthèse) des radionucléides trouvés dans l'environnement du SMA et qui nous dérangent, non parce qu'ils sont d'origine artificielle mais parce qu'ils renforcent la radioactivité (ajouter "naturelle" serait faire un pléonasme) environnante.

3.4 Effets des rayonnements ionisants

Ce n'est donc pas le caractère naturel ou non de la radioactivité qui importe, mais celui de la **dose** de radioactivité reçue par tout un chacun. Contrairement à ce que suggère l'exploitant du SMA dans son bulletin "*Expli-Site*"⁴², la radioactivité n'est pas toxique à son niveau naturel, nous avons grandi avec elle en même temps qu'elle décroissait. C'est le renforcement de cette dose à l'encontre de sa décroissance naturelle qui est toxique. La radioactivité est, comme le pharmakon des anciens, bénéfique à dose subtile et mortelle à toute autre dose. La dose subtile a été élaborée en exponentielle décroissance durant des millénaires, la vie progressant à mesure de cette décroissance. Et voilà qu'on

⁴⁰Nous ne parlons que de la croûte terrestre d'une épaisseur d'environ 16 km, étant entendu que le manteau et à plus forte raison le noyau (dont on ne sait pas grand chose) sont toujours le siège de fissions nucléaires, plutonium et transuraniens doivent s'y trouver en abondance. Il est maintenant établi que la géothermie vient de la radioactivité du noyau terrestre et n'est de ce fait pas renouvelable contrairement à ce que prétend la publicité.

⁴¹c'est pourquoi, entre-autre, les tentatives de transmutation, de fusion contrôlée et autres tentatives de viol des limites imposées par les systèmes, échouent itérativement. On est bien sûr capable de "faire péter la Planète" mais est-ce ce que l'on veut vraiment ?

⁴²en comparant par exemple l'activité interne du potassium-40 dans le corps humain (os) aux limites de détection (par ailleurs beaucoup trop élevées comme l'a déjà pointé la CRIIRAD) de l'activité tritium dans les eaux brutes [13].

nous l'augmente brutalement à coups de « *dose autorisée* » (sic) ⁴³.

C'est l'énergie reçue des rayons dans l'organisme qui provoque des ionisations qui vont être responsables de désordres, notamment d'altération de l'ADN à l'origine de cancers (pouvant se déclarer 30 ans après l'irradiation), de mutations génétiques et autres réjouissances. L'importance des lésions provoquées dépend de la quantité d'énergie absorbée, ou **dose**, qui dépend principalement :

- du produit de l'activité de la source émettrice (les becquerels) par l'énergie des particules émises (les MeV portés par chaque particule) côté source du rayonnement,
- de l'énergie incidente reçue côté récepteur.

La seconde se déduit de la première en lui soustrayant l'énergie perdue entre émetteur et récepteur. Cette énergie dépend de la distance, de la géométrie entre émetteur et récepteur (albédo), du type de rayonnement plus ou moins pénétrant, des obstacles entre les deux plus ou moins transparents aux types de rayons etc. et bien sûr de la durée d'exposition.

L'énergie ainsi reçue par le corps récepteur s'appelle la **dose absorbée** et se calcule en joules par kilogramme (J/kg), unité SI qu'on appelle le gray et qu'on note *Gy*. Ce dépôt d'énergie est responsable de l'ionisation des atomes de la matière exposée. Mais pour la matière vivante, l'effet biologique n'est pas lié à un seul effet thermique et cette dose absorbée n'est pas seule représentative du risque encouru. On procède encore à d'autres corrections de cette mesure pour parvenir à une **dose équivalente** puis à une **dose efficace**.

La dose équivalente tient compte de l'effet de proximité (volume de tissu touché par une énergie donnée) et de la différence de pénétration (parcours moyen d'absorption) dans les tissus selon le type de rayon. La publication 60 de la CIPR a donc attribué un coefficient de pondération en fonction du type de rayonnement à appliquer à la dose absorbée pour déterminer la dose efficace. La grandeur physique est toujours des J/kg mais l'unité de dose équivalente s'appelle le sievert de symbole *Sv*.

Facteurs de pondération W_R proposés dans la publication 60 de la CIPR		
Rayonnement	énergie	W_R
Photons (γ , X)	toutes	1
Électrons et muons (β)	toutes	1
Neutrons	$< 10\ keV$	5
Neutrons	$10 - 100\ keV$	10
Neutrons	$100\ keV - 2\ MeV$	20
Neutrons	$2\ MeV - 20\ MeV$	10
Neutrons	$> 20\ MeV$	5
α , fragments de fission, noyaux lourds	-	20

La dose efficace : permet d'estimer le risque d'induction de cancer dans l'organisme entier en prenant en compte la radiosensibilité des différents tissus concernés qui n'ont pas la même sensibilité aux rayonnements. C'est la somme des doses équivalentes pour chaque organe, ou tissus de l'organisme, pondérées par un facteur W_T dépendant de la sensibilité aux effets stochastiques du tissu irradié. Ces facteurs étant normalisés, leur somme est égale à 1.

Organe	W_T	Organe	W_T
Gonades	0,20	Sein	0,05
Moelle osseuse	0,12	Œsophage	0,05
Côlon	0,12	Thyroïde	0,05
Poumon	0,12	Peau	0,01
Estomac	0,12	Surface osseuse	0,01
Vessie	0,05	Autres tissus ou organes	0,05

Ces coefficients supposent une irradiation externe. Le cas d'exposition interne, par inhalation ou ingestion de radionucléides, est le cas d'exposition du public le plus probable dans le cas de contamination

⁴³En radioprotection, il n'existe pas de dose autorisée mais des *limites de risque maximum acceptable*, au delà desquelles on n'a pas le droit d'imposer ce risque. Car n'importe quelle dose en dessous de ces limites présente un risque qui doit être évalué en regard du bénéfice pour la société entière (et non l'entreprise!) qui doit être supérieur à ce risque. Malheureusement ce risque n'est pas évalué (on ne veut surtout pas faire d'étude épidémiologique sérieuse) puisqu'on considère qu'en dessous de la dose dite « autorisée », il n'existe pas.

de l'environnement par des activités de démantèlement et de transports de déchets. Or une poussière émettant des particules α ou même β n'aura pas le même effet si elle est déposée sur la peau puis lavée ou collée à demeure au fond d'une alvéole pulmonaire (proximité + durée d'exposition).

Pour l'exposition interne, on utilise⁴⁴ la notion de *dose engagée* qui prend en compte le temps de séjour du radionucléide dans l'organisme (période biologique), qui dépend du radionucléide, de l'âge du sujet etc. Elle utilise un modèle biocinétique complexe qui sort du cadre de ce tour d'horizon. La directive Euratom du Conseil du 13 mai 1996 [14] donne les coefficients de dose efficace engagée en $\mu Sv/Bq$, pour les principaux radionucléides incorporé par inhalation et par ingestion pour une personne adulte du public. Ce tableau est reproduit page 12 de la note CRIIRAD du 18 avril 2006 [4].

3.5 Éléments sur l'actinium 227

Sur ce tableau, on voit que l' ^{227}Ac (fils du ^{231}Th fils de ^{235}U) présente un coefficient de dose efficace de $550 \mu Sv.Bq^{-1}$ soit 63 fois plus que les $8,7 \mu Sv.Bq^{-1}$ du ^{223}Ra qui est le radionucléide qu'avait initialement mis en évidence l'ACRO comme élément de la chaîne du ^{235}U non supporté par celui-ci. La découverte de l'ACRO posait surtout la question du transfert de ^{235}U dans l'environnement, donc venant du combustible nucléaire (bien que celui de Brennilis était faiblement enrichi), car l'ACRO ne mesurait pas alors le ^{227}Th parent du ^{223}Ra Le cherchait-elle ? Elle nous semblait alors interpréter la découverte comme un indice de contamination à l' ^{235}U . La radio-toxicité de ces éléments n'était en tout cas pas posée. La découverte de ^{227}Ac en avril 2006 pose clairement cette question de santé publique. Mais elle n'est pas reprise par l'étude LSCE/ACRO qui poursuit la démarche de recherche « *de l'origine des éléments de la famille de l'uranium-235...* » (sic dossier étude d'impact) en passant du ^{223}Ra au ^{227}Ac comme marqueur de l'anomalie mais sans nullement intégrer la dimension toxicité qui est pourtant comme l'écrivait la CRIIRAD « une différence majeure ». La commande de cette étude semble claire : trouver l'origine de ces radioéléments qui ne mette pas en cause les activités du SMA⁴⁵, c'est à dire une origine naturelle.

Pourtant les faits son têtus : que l' ^{227}Ac soit produit par la désintégration de ses parents naturels ou par l'activation neutronique de ^{226}Ra , c'est toujours du ^{227}Ac et sa radiotoxicité reste la même.

Autre problème : si l'origine est comme on nous le dit naturelle, c'est à dire produit de filiation de l' ^{235}U , pourquoi ne trouve-t-on aucune trace de celui-ci dans les échantillons où il est mis en évidence ? et bien qu'on reconnaisse que cette situation est tout à fait inusitée. Pourtant les phénomènes naturels sont ce qu'il y a de plus connu. Il va donc falloir que cette étude nous explique par quel mécanisme l' ^{227}Ac a été extrait de la roche alors qu'il est moins soluble que l' ^{235}U qui n'aurait pas été dissous ?

4 Analyse critique du rapport LSCE/ACRO

Si les "premiers résultats et constats" présentés le 28 novembre 2006 à l'observatoire du démantèlement [1] révélaient une grande perplexité (que nous partageons) vis à vis du problème et décidait « *de suspendre toute interprétation* ». Le préambule du rapport final [10] annonce avec soulagement la conclusion à une origine naturelle du phénomène et sur sa lancée le baptise « phénomène des Monts d'Arrée ». On connaissait le monstre du Lock Ness et la bête du Gévaudan, phénomènes inexplicables mais pour sûr naturels, il y a maintenant « le phénomène des Monts d'Arrée » ! voilà qui ouvre une perspective touristique supplémentaire à cette si belle région.

Pourtant ce triomphe gomme une remarque importante qui était faite en conclusion du premier rapport dans sa version du 28/11/2006 [1] :

« Enfin, il faut être conscient que vouloir élucider un jour l'hypothèse artificielle (si tel est le cas) et expliciter alors le dénominateur commun entre les observations faites dans l'ancien chenal de rejets et à 4 km du site, en milieu terrestre, nécessitera d'avoir accès à des informations relatives aux activités de recherche du site des Monts d'Arrée... »

Les informations relatives aux activités passées, pas plus que la caractérisation qu'avait réclamé la CRIIRAD des déchets évacués lors de la première phase de démantèlement, n'ont réussi à percer le

⁴⁴ou on devrait prendre en compte, car l'étude d'impact du démantèlement complet actuellement soumise à enquête publique ne semble pas prendre ce facteur en compte.

⁴⁵plus précisément la phase de démantèlement passée, puisque l'apparition de ^{227}Ac est récente, comme le montre l'étude LSCE/ACRO, ce qui est d'ailleurs en contradiction avec sa conclusion.

mur du secret. Cette revendication, dans la version consolidée renommée travaux 2005/2006 [1] après publication du rapport final [10] est devenue le souhait

« que les stratégies de mesure de la radioactivité de l'environnement faites à l'échelle du territoire français (et des évaluations sanitaires qui en découlent) ne peuvent faire l'économie des enseignements de cette étude et qu'elles devraient évoluer en conséquence, ne serait-ce que pour fournir des références. »

Qu'est-ce que cela veut dire ?

- qu'il y a des carences dans les stratégies de mesures nationales qui font que la présente étude de l'occurrence d'un radionucléide inédit dans l'environnement est forcément boiteuse ? (on ne peut qu'y souscrire).
- ou bien que les stratégie nationale de mesure de la radioactivité devraient prendre acte de la présence naturelle, donc ubiquitaire (contredirait alors le qualificatif de "phénomène des Monts d'Arrée"), d'actinium dans les eaux souterraines et intégrer ce radioélément dans les critères de potabilité ? (nous souscrivons évidemment à la dernière proposition).

4.1 Constat lié à l'amendement et remblais

Les mesures faites dans la mare du « Rusquec » mettent en évidence une activité en ^{227}Ac aux taux les plus forts de toutes les analyses présentées dans le rapport. Il s'agit d'échantillons de sols à différentes profondeurs, avec une décroissance quasi linéaire avec la profondeur de 1946 Bq/kg_{sec} dans la couche superficielle, l'activité en ^{227}Ac décroît jusqu'à 103 Bq/kg_{sec} dans la strate à 20-25cm de profondeur. Il est précisé que la carotte est de l'humus. Ce qui exclut à priori une sédimentation, il s'agirait plutôt d'un marécage qui ne serait qu'épisodiquement inondé et les dépôts filtreraient dans le sol par ressuyage. Le lieu est déclaré « non influencé par l'Ellez » mais « à quelques centaines de mètres en amont du réservoir de St Herbot » et « en contrebas d'une parcelle boisée et de plusieurs parcelles enherbées ».

On a donc une configuration typique de concentration d'accumulation dans les creux (dite en taches de Léopard) de dépôts météoriques. D'autre part les mousses aquatiques prélevées 4 mois plus tôt dans cette mare présentaient également des activités de $170 \text{ et } 880 \text{ Bq/kg}_{sec}$ d' ^{227}Ac . L' ^{225}U n'est pas mesuré dans ces mousses mais détecté dans les sédiments à des activités de 10 à 30 fois moindres. Les mesures ont été faites par les deux laboratoires et semblent fiables. Enfin le lieu est dans l'azimut 110° (en plein sous le vent du col entre le Roc Trevezel et la montagne St Michel) à 4,2 km dans le panache du SMA.

On pense donc naturellement à un dépôt atmosphérique d'aérosols assez récents. Surtout si on se souvient que les inspecteurs de l'ASN ont relevé :

- le 29 avril 2004 le signalement d'un colmatage de filtre THE (très haute efficacité) de la station de traitement des effluents le 3 juillet 2003 qui n'a été remplacé que 8 semaines plus tard. Les inspecteurs n'ont pu vérifier que les tests d'efficacité ont été réalisés. Mais les travaux d'assainissement se sont poursuivis durant ce temps et l'ASN s'est contentée de formuler des demandes d'actions correctives dont les suites ne seront jamais connues. Cependant, selon des sources syndicales, l'installation aurait fonctionné des semaines durant sans filtres. C'est invérifiable mais cohérent avec les faits : un tel chantier ne peut fonctionner sans ventilation (filtres bouchés) et cela explique qu'aucun justificatif n'a pu être fourni aux inspecteurs ; naïfs ou complaisants ? cela ne relève-t-il pas de l'incident de niveau 3 sur l'échelle INES ? (très faibles rejets exposant le public) [15].
- Lors de la même inspection, l'ASN demande un complément d'information concernant l'existence de test d'efficacité sur un filtre THE supplémentaire sur le soufflage ER « destiné à éviter les rétro-diffusion en cas de situation dégradée » [15].
- le 9 février 2006 un défaut du dispositif de mesure de l'activité β signalé (depuis combien de temps puisque le délai de signalement était expiré depuis 2 jours ?) mais non remédié [16].
- Lors de la même inspection, l'ASN demande un complément d'information sur les nouveaux seuils de colmatage des filtres THE de la ventilation de l'ER, suite à pose de pré filtres HE pour remédier à un problème de colmatage récurrent de ces filtres (eh oui : un filtre efficace à 100% c'est un bouchon étanche !) [16]. D'autre part le schéma aéraulique de l'ER qui a été présenté à la réunion de l'observatoire du 7 juin 2006 ne m'a pas convaincue : comment peut-on mettre cette enceinte en dépression avec des débits de soufflage et d'extraction identiques ?

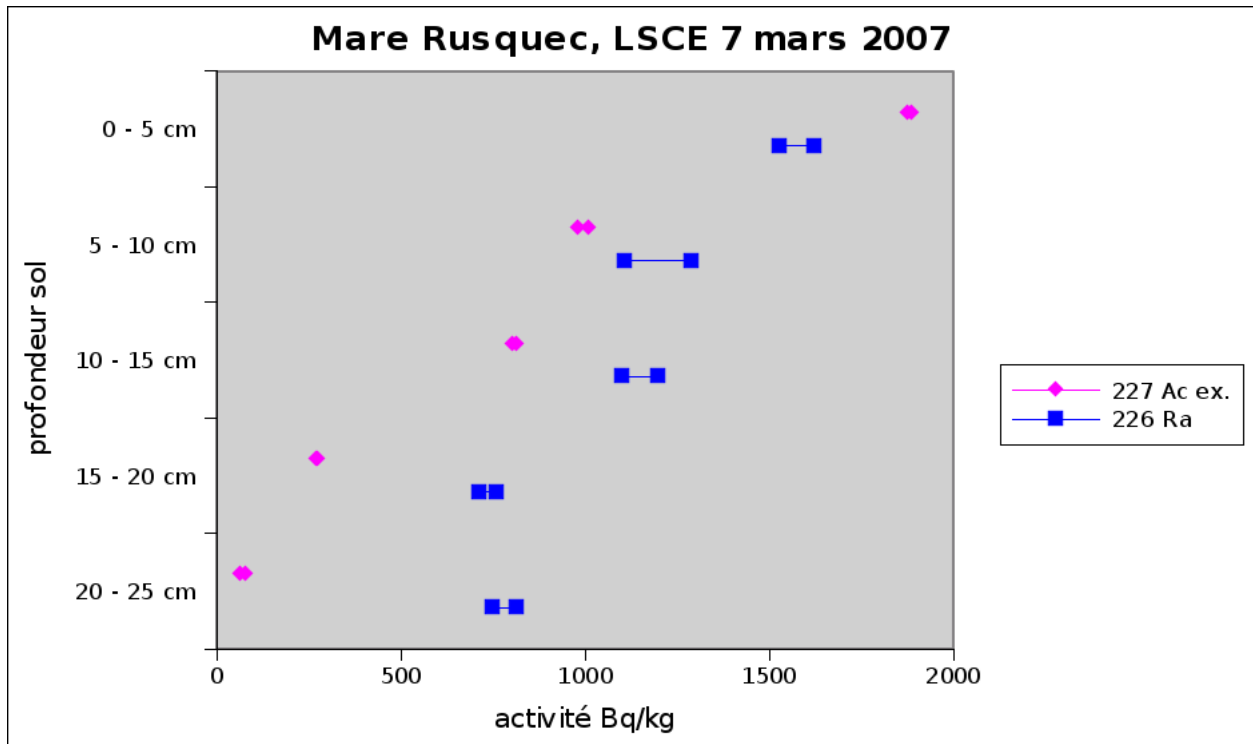


FIG. 2: Excès d'actinium 227 vs radium 226

L'installation ne rejetant plus d'effluents liquides depuis 1993, le parti a été pris du confinement aéroulrique et de rejets aériens après filtrage des particules. Mais le piquage et ponçage à sec du béton contaminé génère beaucoup de poussière et colmatent d'autant plus rapidement les filtres que ceux-ci sont efficaces. Mais ça marche tellement mieux sans filtres ! L'hypothèse d'aérosols contenant du ^{226}Ra et de l' ^{227}Ac n'avait donc rien de farfelu.

Mais les laboratoires ne présentent pas ce résultat pour chercher comment l'actinium a pu arriver là où on le trouve rassemblé, mais pour prouver qu'il ne vérifie pas l'hypothèse qu'on est en train d'examiner, à savoir l'amendement de sols avec le désenvasement du lac St Herbot. L'excès d'actinium s'avère bien plus prononcé dans la mare du Rusquec que dans les sédiments du lac, donc la contamination de la mare du Rusquec « hors influence de l'Ellez » ne peut provenir des sédiments du lac où on ne retrouve pas les mêmes éléments, donc de la centrale via l'Ellez, CQFD.

Ce qui nous a frappé par contre dans cette analyse c'est que l' ^{227}Ac dans cette mare est en concordance avec le ^{226}Ra . Ce qui milite également pour le transfert par poussières de béton activé aéropportées. Nous avons reporté figure 2 l'actinium-227 en excès par rapport à l' ^{235}U aux différentes profondeurs, ainsi que le ^{226}Ra aux mêmes profondeurs en tenant compte des incertitudes de mesure. N'auraient-ils pas voyagé ensemble ces deux là ?

4.2 Constat lié aux rejets liquides

Ici, c'est la carotte de sédiments du lac de St Herbot, au demeurant très intéressante, qui est appelée à la barre. Tout va bien jusqu'ici :

« Il existe également un excès manifeste d' ^{227}Ac dans les strates superficielles, donc « récent » ; il est postérieur au milieu des années 80. Pour autant, il ne peut être corrélé avec la radioactivité artificielle ; l'absence d'un excès marqué pour la strate 25-30 cm (pic de radioactivité artificielle) et d'une évolution synchrone avec cette dernière sont des éléments rédhibitoires. »

Surprenant ! en quoi la non concordance de ^{227}Ac avec des éléments typiques de synthèse en réacteur nucléaire qui n'ont rien à voir avec sa parenté potentielle (filiation du ^{231}Th ou activation du ^{226}Ra qui ne se trouvent pas dans le combustible nucléaire) serait-elle "rédhibitoire" ? Toujours cette obnubilation de l'identité naturelle/artificielle pointée plus haut. Poursuivons.

« L'historique des dépôts radioactifs dans le réservoir Saint-Herbot ne permet donc pas

d'esquisser une quelconque relation entre l'excès d' ^{227}Ac et l'exploitation du réacteur nucléaire. Certes, il est possible d'objecter que cet excès (récent) pourrait être en phase avec les opérations de démantèlement, mais il faut alors être conscient qu'un apport d'origine naturelle entraînerait exactement la même distribution si on tient compte de la décroissance radioactive de l' ^{227}Ac accumulé dans les sédiments. »

L'exploitation certes, il n'y a pas de raison de chercher à priori l' ^{227}Ac dans les produits de synthèse du réacteur. D'ailleurs l'excès en ^{227}Ac apparaît précisément quand l' ^{241}Am disparaît (à la profondeur de 20 cm) qui montrerait clairement que l'actinium commence à être produit quand le combustible a été retiré. En quoi un apport d'origine naturelle entraînerait-il la même distribution, ou est son père le ^{231}Pa ?

« En outre rappelons que l'excès d' ^{227}Ac est parfaitement corrélé à celui de ^{210}Pb , purement naturel. »

Oui, et alors ? quel lien entre ces deux radioéléments sinon qu'ils sont classés "naturels" (CQFD), bien que le premier appartienne à la famille ^{235}U et le second à la famille ^{238}U plus abondant. Comment peut-on passer du ^{210}Pb au ^{227}Ac "naturellement" ? Par contre, le ^{226}Ra qui n'est pas reporté sur ce tableau, est présent aux mêmes activités que ^{210}Pb mais mieux placé en tant que source de ^{227}Ac . Ici non plus, aucune preuve que ce nucléide ne provient pas du SMA en démantèlement.

4.3 Aucune relation évidente avec des rejets atmosphérique ?

« S'intéressant en premier aux résultats obtenus à proximité immédiate de la cheminée du SMA (figure 2), soit à moins de 150 m, et de surcroît sous les vents dits « secondaires » (secteur SO-SE), on note d'abord l'absence de tout excès d' ^{227}Ac . »

Se placer à moins de 150m d'une cheminée haute de 70m soit à $2 \times h$ de distance, est-ce se placer dans le panache ou en dessous ? d'autant que les vents de secteur Nord ne sont pas les plus pluvieux pour précipiter celui-ci rapidement au sol. De l' ^{241}Am et pas d' ^{227}Ac , c'est cohérent avec le constat sur les sédiments de St Herbot. Cela confirmerait que ces nucléides n'ont pas été fabriqués à la même époque. Il s'agit de bioindicateurs, sur un pluton granitique ? (à retenir pour le 5e constat) l'américium a été émis plus longtemps, des poussières de béton sur une période plus courte et plus récente n'auraient-elles pas plutôt tendance à être lessivées par la pluie, à s'infiltrer et à "résurger" au constat n° 5 par exemple ?

« Ces constats s'opposent à l'idée que la présence d' ^{227}Ac (en excès) soit la conséquence d'un rejet d'effluents atmosphériques de la centrale, unique ou continu, récent ou passé. »

À moins que ce ne soit l'idée qui s'oppose à ce que la présence d' ^{227}Ac soit la conséquence d'un rejet atmosphérique ? S'il n'existe pas de relation évidente, il n'existe pas non plus d'évidence du contraire.

4.4 Relation évidente avec la qualité radiologique des eaux souterraines ?

1er constat : la zone étudiée à distance est sous les vents les plus puissants, c'est à dire sous le panache le plus long.

« L'intitulé « sols » décrit ainsi un ensemble (feuilles déposées, brindilles, terre, matière organique en décomposition, etc...) sur une profondeur variable, de l'ordre de quelques centimètres. »

Contrairement aux lichens du pluton granitique de la colline du SMA, on retrouve donc ici, comme dans la mare du Rusquec une trame de sol spongieuse plus apte à accumuler des grains de sable.

« L'eau analysée provient d'une nappe phréatique située à plus de 40m de profondeur et donc non perturbée par les activités humaines. »

Objection votre honneur ! depuis quand l'eau souterraine n'est pas de l'eau météorique infiltrée ? et qui s'infiltrer d'autant plus profondément dans le granite altéré, voir les études géohydrologiques du massif du Huelgoat faites par le BRGM [7]. Et depuis quand les activités humaines ne perturbent plus les sols, par exemple en effectuant des forages comme celui-ci ?

« La figure n°3 fait état à ce sujet, outre de la localisation des sites étudiés, de tous les lieux (en rouge) où un excès en ^{227}Ac est apparu manifeste. »

Voilà dessiné un panache presque parfait sous vent dominant de la cheminée du SMA.

« Croisant ces données avec la géologie propre à la région des Monts d'Arrée, il est également possible de formuler l'hypothèse d'une relation avec le granite d'Huelgoat de type granite porphyroïde à biotite et cordiérite. »

Alors, formulons, formulons! mais où est elle cette formulation? le type de granite du Huelgoat, s'il est typique n'est pas unique et connaît pas mal de petits frères dans l'hexagone. Quel est donc ce mécanisme qui ferait libérer l'actinium de la roche en y gardant ses parents? alors que son grand père ^{235}U est plus soluble que lui? et cela ne se produirait que dans le massif du Huelgoat? Il suffit de prononcer la formule magique *porphyroïde à biotite et cordiérite* pour que le miracle ait lieu?

L'activité du ^{223}Ra est effectivement élevée (remarquons toutefois que celle du ^{226}Ra l'est 10 fois plus). Il s'agit de Fontinalis SP connues pour se goinfrer de radium n'est-ce pas? cela pourrait-il expliquer l'excès par rapport au ^{227}Th malgré le radon fugeur entre les deux? pourquoi ^{235}U n'a-t-il pas été recherché? Ce constat n'empêche nullement que ^{227}Ac puisse être de dépôt récent, vu les courtes périodes du ^{227}Th et du ^{223}Ra .

Quant aux eaux souterraine $0,0025$ et $0,0034$ Bq/l, vous trouvez cela vraiment anormal par rapport aux 1946 Bq/kg trouvés en surface au Rusquec? On aimerait bien qu'EDF adopte des limites de détection aussi basses dans ses analyses d'eau de nappe!

4.5 Gestion des eaux pluviales (était-ce nécessaire?)

Une fois de plus on trouve de ^{227}Ac non supporté par ses parents et on voudrait que ceux-ci aient été retenus dans les enfers par quelque démon ou "géologie particulière" et que l'enfant actinium se soit sauvé tout seul à l'escalade de la surface. Monsieur Pigré m'a confirmé lors de la réunion publique du 14 octobre 2009 que par "résurgences" il entend d'eau souterraine et non d'eau de surface. Pourtant, les "sources" (le terme est déjà plus correct) ici sont au pied de la colline du SMA (ou de Forc'han). Il s'agit d'un mamelon culminant à 267m qui tombe dans le lac St Michel à l'Ouest, le SMA au nord à 219m et Forc'han au Sud à 225m qui est à peu près le niveau des "sources". Le terrain monte en pente douce au sud vers Loqueffret, mais où diable loger une nappe d'eau souterraine qui aurait sa "résurgence" à la cote 225? Ce qui de toute façon ne résoudrait pas la question de la genèse de l'actinium-227.

Par contre, qu'est ce qui empêche qu'ici comme au Rusquec des dépôts de poudre de béton activés sur la colline du SMA aient été lessivés dans le sol et drainés jusqu'à la zone sourceuse du fossé? Que l'eau s'écoule ensuite dans le fossé en suivant la pente vers l'Ellez en collectant au passage le chenal de rejet de la STE ne nous semble pas extraordinaire. c'est le contraire qui nous surprendrait, comme nous surprend l'évocation d'eau souterraine remontant contre la gravité en surface. Il y a certes des émanations de radon mais pas aptes à créer une telle contre-pression.

« L'étude du rapport $^{227}\text{Ac}/^{137}\text{Cs}$ dans le chenal conforte l'hypothèse de cette arrivée d' ^{227}Ac . Alors qu'en amont de la confluence de la buse et du chenal (BROC 02, soit à proximité de la STE) le rapport d'activité $^{227}\text{Ac}/^{137}\text{Cs}$ est de l'ordre de 0,1; en aval (BROC 24) il est 10 fois plus élevé. »

Nous ne comprenons pas ce que cherche à prouver une telle phrase. Que peut signifier, quel message porte, le rapport $^{227}\text{Ac}/^{137}\text{Cs}$?

5 Faut-il conclure?

Dans la version du 3/12/2007 [2] de ce rapport qui a été communiquée à l'observatoire du 28/11/2007, où il fallait "faire passer" la pilule de « l'origine naturelle du phénomène des Monts d'Arrée », la conclusion s'appelait « Épilogue ». C'est vrai, pour un tel roman ça colle mieux! L'avant dernier paragraphe se terminait par la phrase

« Incidemment, un déséquilibre analogue portant sur la chaîne de l'uranium-235 a été observé dans une autre région : la creuse (tableau 5) »

Et le tableau 5 donnait effectivement une mesure présentant le même déséquilibre. Il n'y avait donc pas que dans les Monts d'Arrée, la preuve était faite. Ouest-France et le Télégramme pouvaient écrire leur article et on allait enfin pouvoir démanteler en rond. Mais pour qui se frotte au problème des anciennes mines d'uranium l'évocation du département de la Creuse fait dresser les neutrons sur la

tête. Le site où « incidemment » le même phénomène a été découvert figure bien à l'inventaire 2006 des sites stockant des déchets radioactifs de l'ANDRA :

« Il existe en Creuse, à La Ribière, commune de Domeyrot, une ancienne mine d'uranium à ciel ouvert abritant près de 200 000 tonnes de résidus d'une radioactivité d'environ 2TBq, dont 1TBq en radium 226. Ce site a fait l'objet d'une exploitation minière de 1959 à 1964, sur laquelle étaient implantées des installations de lixiviation en stalles avec fixation de l'uranium sur résines (1982/1985) représentant 192 000 tonnes et des résidus de lixiviation statique pour 5000 tonnes. Installations démantelées, site réaménagé et clôturé »

Autant dire qu'extraire l'uranium du minerai et laisser les résidus sur place revient à enrichir ces résidus en descendants de l'uranium dont l'actinium-227 non supporté.

Vous avez dit « naturel » ?

Une fois le "message passé" dans l'opinion publique, cette phrase scabreuse ainsi que le tableau 5 qui la supportait ont été enlevés de la version qui a été présentée au printemps 2009 à la CLI qui a succédé à l'observatoire. C'est cette version nettoyée qui fait partie du dossier actuel d'enquête publique [10].

La conclusion de cette actuelle version débute ainsi :

« Parce qu'il existe un réacteur dans les Monts d'Arrée, une attention particulière aura été portée sur cette région aux traits uniques, riche de contes et de fables, ancrée aux portes des enfers dans sa traduction littérale. Cette attention aura été d'autant plus grande que ce même réacteur est à la fois la conclusion et l'avènement d'une filière expérimentale, d'un nouveau type de réacteur et du futur du démantèlement. A situation unique, réponse unique. » . . .

Nous parlions de fable en introduction, mais ce n'est pas nous qui employons les premiers le terme *fable*. Mais nous sommes visés ici pour avoir porté une attention trop particulière sur cette région avec l'outrecuidance de ne pas fermer les yeux sur son réacteur, et notamment sur des radionucléides extrêmement toxiques dont nous avons relevé le caractère anormal de leur présence dans la nature. Évidemment, cette distinction sera différemment perçue selon qu'on connaît et aime les Monts d'Arrée ou si on les voit depuis un bureau situé à Caen, à Lyon ou à Modane.

C'est donc par méchante présomption que nous aurions mis en cause la proximité du réacteur nucléaire, qui a fonctionné de 1967 à 1985 sous le couvert du *secret défense*, alors que nous serions aux portes même des enfers qui recèlent des secrets bien plus terribles qu'EL4, l'arrière petite fille de l'inoffensive pile atomique Zoé.

Une conclusion introduite aussi bucoliquement nous a d'autant plus incités à questionner la valeur scientifique des cheminements qui l'ont amenée qu'elle avait de quoi nous choquer profondément après le refus, par l'exploitant du site, de nous communiquer l'inventaire des radionucléides contenus dans les bétons contaminés/activés qui ont été envoyés dans les centres de stockage spécialisés. Alors même que ces informations, qui concernent des rejets radioactifs dans l'environnement, sont de droit communicables au public qui en fait la demande. À moins que l'exploitant ne les possède pas ? au vu de l'étude d'impact, cette éventualité est en train de devenir notre intime conviction. Dans un cas comme dans l'autre il exploite l'installation dans l'illégalité.

Références

- [1] ACRO/LSCE : « Premiers résultats et constats, extrait du rapport d'étape, communication du 28 novembre 2006 » à l'observatoire du démantèlement, (pdf 977,3 ko) <http://cosmoenergie.infini.fr/docs/ResultatAcroCEA.pdf>. Le rapport d'étape mentionné dans cette communication n'est apparu que récemment sur le site de l'ACRO sous le titre « Résultats et premiers constats - rapport d'étude - travaux 2005/2006 » « Origine des descendants de l'U-235 dans les environs d'EL4 », version 3 du 15 juin 2007 sur le site de l'ACRO (pdf 3,74 Mo) http://www.acro.eu.org/RAP070615_01_-BRE-v3.pdf
- [2] http://cosmoenergie.infini.fr//docs/acro_note_brennilis_nov07.pdf
- [3] Dossier de demande de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement, pièce n°7 chap. 2.3.5.3 figure 7-2-ggg page 189 Étude d'impact http://www.finistere.pref.gouv.fr/J-Actu/brennilis/pdf/piece_7.pdf et Résumé non technique chap. 9 page 21 http://www.finistere.pref.gouv.fr/J-Actu/brennilis/pdf/resume_non_technique_etude_impact.pdf.

- [4] Résultats et interprétations des analyses radiologiques d'eau et de plantes en aval de la centrale de Brennilis / SMA, Note CRIIRAD N° 06-60 / Avril 2006 / version V2 http://www.criirad.org/actualites/dossiers2006/brennilis_centrale/notecriirad_analysbrennilis.pdf
- [5] courrier adressé par la CRIIRAD et Sortir du Nucléaire Cornouaille au directeur du site, le 12 septembre 2006 http://www.criirad.org/actualites/dossiers2006/brennilis_centrale/lettre-brennilis-sept06.pdf
- [6] réponse d'EDF/Site de Brennilis, le 23 novembre 2006 http://www.criirad.org/actualites/dossiers2006/brennilis_centrale/repons-edfbrennilis.pdf
- [7] C. Langevin, F. Pernel, T. Pointet et al. *Recherche de secteurs à potentiel acquifère en zone de socle (phase II) massif granitique de Huelgoat Finistère, analyse multicritère* (BRGM octobre 1989 R 30 000).
- [8] Gerbert Walter, Charette Matt, Kim Guebuem, Moore Willard S., Street Joseph, Young Megan, Paytan Adina, The release of dissolved actinium to the ocean : a global comparison of different end-members, *Marine Chemistry* (2007). doi : 10.1016/j.marchem.2007.07.005 <https://darchive.mblwhoilibrary.org/bitstream/handle/1912/2259/227AcGlobalPrePrint.pdf?sequence=1>
- [9] Bilan radioécologique de l'environnement aquatique du bassin versant et de la rade de Brest, rapport d'étude ACRO, décembre 2003 <http://www.acro.eu.org/rapportCUB03.pdf>
- [10] Rapport d'étude sur l'origine des éléments de la famille de l'uranium-235 dans les environs de la centrale de Brennilis (29), années 2007-2008, 20 février 2009 (pdf - 4,89 Mo) <http://www.acro.eu.org/RAP-ANX090220%2801%29-BRE-v1.pdf>. Se trouvait à l'été 2009, lors de sa production à la CLI, à l'URL http://www.acro.eu.org/note_brennilis_nov07.pdf sous le titre "*Note sur l'origine de l'Actinium-227 dans les environs de la centrale de Brennilis, note technique ACRO/LSCE, décembre 2007 (pdf 1,1 Mo)*". Dans la dernière mise en ligne, cet intitulé qui rendait trop visible la demande des commanditaires du rapport – montrer que le problème ne vient pas du démantèlement – fait place à une étude sur la famille de l'uranium-235, la mention de l'actinium-227 a nominativement disparu.
- [11] Étude d'impact, pièce 7 Chapitre 8.10 *Description de l'état radiologique initial de l'installation* <http://www.finistere.pref.gouv.fr/J-Actu/brennilis/pdf/annexe10.pdf>
- [12] Processes and Characteristics of Major Isotopes Handled at Mound (Federation of American Scientists, anonyme) <http://www.fas.org/nuke/space/mound.pdf>
- [13] La Lettre d'information de la Centrale des Monts d'Arrée. Explicite n°8 : <http://energies.edf.com/fichiers/fckeditor/File/EDF-Nos-Energies/Nucleaire/Deconstruction%20-%20Brennilis/BrennilisExplicite8.pdf> n°7 : <http://www.brennilis.com/demanteler/explicite7.pdf> n°6 : <http://www.brennilis.com/demanteler/explicite6.pdf> n°5 : <http://www.brennilis.com/demanteler/explicite5.pdf> n°4 : <http://www.brennilis.com/demanteler/explicite4.pdf> n°3 : <http://www.brennilis.com/demanteler/explicite3.pdf> n°2 : <http://www.brennilis.com/demanteler/explicite2.pdf> n°1 : <http://www.brennilis.com/demanteler/explicite.pdf>
- [14] Directive 96/29 EURATOM du Conseil du 13 mai 1996 http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/9629_en.pdf
- [15] Inspection ASN du 29 avril 2004 http://www.asn.fr/index.php/content/download/18891/110928/file/INS_2004_EDFARR_0002.pdf
- [16] Inspection ASN du 9 février 2006 http://www.asn.fr/index.php/content/download/15889/101888/file/INS_2006_EDFARR_0001.pdf