





85	856
2031	2032



886	268
1052	1005



Fig. 1. En permanence 20 000 tonnes de fine poudre de composés de métal lourd radioactif (35 000 t en 2020). **Arrêtés préfectoraux** du 08/11./2017 et 26/07/2018 **légalisent** un stockage en extérieur, arrivage *yellow cake* et produit fini UF4 correspondant à un contenu en uranium de 37 000 tonnes, dont 1250 pour UF4 ; reste 35 750 t-U ; pour U  $\approx$  80 % des composés cela correspond à  **$\sim$  45 000 tonnes en *yellow cake***. A coté de ça 16 000 m<sup>3</sup> d'**acide nitrique** sont nécessaires pour dissoudre 12 000 t de *yellow cake* ( $\sim$  1 an) avec à coté une consommation annuelle de l'ordre de 5000 t d'**acide fluorhydrique** et de 4000 t d'**ammoniac**.

**Bonjour**, vous êtes à Malvésy "Sévésou-jeuil-haut", à coté de Narbonne.

La CriiRad (2006, p. 34) a calculé la quantité qu'il faut inhaler de cette poudre *yellow cake* pour recevoir une dose de 1 mSv, qui est la limite entre admissible et inadmissible pour la population : pour un enfant de 7-12 ans : au plus 73 milligrammes; pour une personne > 17 ans : au plus 105 milligrammes.

Pour faire l'usage du charbon avec le nucléaire dit "de puissance", c'est-à-dire faire bouillir de l'eau pour faire tourner des turbines, **il faut déjà transformer l'uranium en or.**

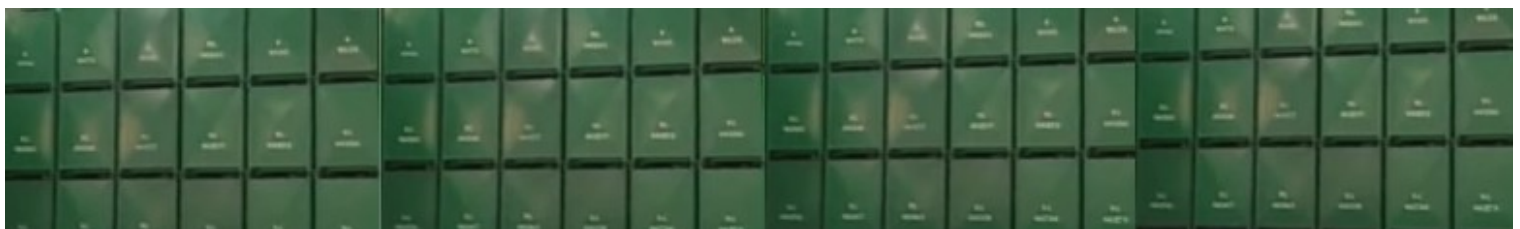
Pas moins de quatre usines chimiques spécifiques dont 3 *Sévésos-seuil-haut* à manipuler l'atome dans tous ses états, solide, liquide, même gaz, d'oxydation, valences, des montées-descentes incessantes de températures avec toutes sortes de produits chimiques dans différents états à toutes sortes d'endroits sont nécessaires à la queue leu leu.

Il est beaucoup plus complexe de faire des pastilles uranium "qualité nucléaire" que des bijoux ou lingots en or. C'est aussi par conséquent beaucoup plus polluant (ce qui n'est pas peu dire) et un peu partout.



Les 8/9<sup>ème</sup> de ces concentrés\* d'uranium importés finissent en poudre très fine, par bouffées de 9 tonnes (dont 7,6 t de métal lourd uranium) dans des cubes de 3 m<sup>3</sup> ↓. C'est entassé dans des hangars de tôle à Bessines et Pierrelatte/Tricastin. Notre élite a déjà imposé en ces lieux **360 000 tonnes-U**, 47 000 cubes, en quelques décennies. Elle nous promet que ça n'est que le début. Ce cadeau s'appelle "uranium appauvri".

par exemple juste dans le "sévéso seuil-haut" de Pierrelatte/Tricastin chacun de ces centaines de milliards de grammes a du passer dans un jet de fluor gazeux > 500°C, pour être refroidi à la sortie à -15°C et, après être passé dans 1400 modules de concentration, devra encore remonter à 250 °C puis 700°C lâchant de l'acide fluorhydrique ; et les 8/9<sup>ème</sup> de cela pour fabriquer du déchet à empiler



\* 9 kg U-naturel avec 64 g d'U-235 donne 1 kg d'U enrichi-4% avec 40 g U-235 et 8 kg d'U.A. avec 24 g U-235

## I. Les origines

● "Au milieu de l'année 1957, le Secrétaire d'État à la Présidence du Conseil chargé des questions atomiques donnait son accord pour la construction à Narbonne d'une usine capable de raffiner 1000 tonnes d'uranium par an et de les transformer en uranium métal... de pureté nucléaire... Par ailleurs devait être ménagé la possibilité de doublement de capacité de production de l'usine." (Roux 1961). Du 13 juin au 06 nov 1957 le Ministre des finances est Felix Gaillard, et il passe alors Président du Conseil. C'est déjà cet inspecteur des finances (où il a été admis dans Paris occupé sous Vichy), et député du parti Radical, Secrétaire d'État à la Présidence du Conseil de plusieurs présidents successifs au début des années 1950s qui a réussi en 1951 à faire adopter un très gros budget pour le CEA. Et à cette occasion, devant la chambre : " L'intervention du ministre est un véritable hymne à la gloire du plutonium : « Fabriquer de l'or est peu de choses auprès de ce qu'a réussi l'alchimie moderne en fabriquant du plutonium, qui vaut beaucoup plus que l'or et qui deviendra plus vite que l'or la source de la richesse et de la puissance de pays qui en posséderont et sauront l'utiliser »" (Barrillot 2012, p. 28).

Ce personnage politique clé du nucléaire français a raison, il est considérablement plus difficile d'avoir du plutonium que de l'or, il faut pas moins de 7 usines *Sévésou seuil haut* où surveillées militairement à la queue leu leu : usine chimique à yellow cake, usine chimique de Malvési, usine chimique de Pierrelatte/Tricastin, usine chimio-métallurgique de Romans-sur-Isère, passage en usine chimio-atomique que sont les réacteurs EDF, mega usine chimique de La Hague (Marcoule auparavant), usine métallurgique Melox. C'est sans parler du "on en fait quoi", après "usage".

Pendant cette période de la IV<sup>e</sup> République de 1951 à 1958 les effectifs du CEA sont multipliés par plus de cinq, de 1500 personnes en 1950 à 5000 personnes en 1955, 10 000 personnes en 1958...

Pour Malvési, "Les premières études furent entreprises en août 1957, la construction commença en mars 1958. En Juillet 1959, les principaux ateliers tournaient et fin 1959 l'ensemble de l'usine était en production industrielle." (Roux 1961).

En 1957 lorsque les services du Ministre donne ce feu-vert pour une nouvelle usine d'uranium, le reste du pays est en souffrance. Et parallèlement, Ministre des finances, Félix Gaillard majore de 20% l'impôt sur les sociétés, les droits de timbre et d'enregistrement, et relève les tarifs de la SNCF (economie.gouv, là). Mais c'est la banqueroute, il le sait bien, il y a nécessité immédiate d'une aide du FMI et des États-Unis, et c'est avec lui comme Président du Conseil que la IV<sup>ème</sup> République s'effondre.

▪ C'est à l'usine du Bouchet au sein d'une poudrerie militaire située dans le triangle Ballancourt-sur-Essonne/Vert-le-Petit/Itteville dans l'Essonne que dans la ligne directe du projet US Manhattan, avec les scientifiques qui y ont appris les bases, que le raffinage a débuté dès le début des années 1950s. L'usine du Bouchet a aussi produit de l'UF<sub>4</sub>. Elle arrêtera le raffinage en 1969 (fermeture 1971) tout partant alors à Malvési.

● Le site Orano-Malvesi est situé à très basse altitude (la plaine de la Livière est à  $\approx 9$  m NGF ou moins) sur des alluvions quaternaires fluvio-lacustres entre la rivière Aude qui est 3 km au Nord et le centre ville de Narbonne à moins de 4 km au Sud. C'est la bordure de la vallée alluviale de l'Aude. Le site est le long de la petite ligne de chemin de fer Narbonne à Bize-Minervois construite en 1867 pour le transport des vins, et de la route D169.

"La nappe phréatique se situait à - 0,5 m par rapport au sol naturel et il a fallu remblayer pour l'amener à - 2m. La plate-forme générale de l'usine de 140 000 m<sup>2</sup> a nécessité un déplacement de 130 000 m<sup>3</sup> de terre, tant en remblais qu'en déblais." (in Barrillot et Davis, 1994, p. 31). D'où dans la situation actuelle : "la nappe des alluvions est présente sous le site à faible profondeur (1 m à 2 m sous le terrain naturel selon les saisons)." (Areva 2013, p. 64).

Le site actuel s'étend sur une centaine d'hectare (stockage du concentré d'uranium + zone usine + bassins). Il est contre un "oppidum" (c'est un relief géologique, butte ovale dont l'altitude maxi est 49,7 m), habité au moins 500 ans avant notre ère, par la principale tribu à l'Ouest du Rhône, les liguriens Elisicy (selon Gailledrat 2020, §7, "Il est possible que l'oppidum de Montlaurès était accessible par des petits bateaux qui remontaient la rivière Atax (Aude) à l'âge du fer". Oppidum actuel sur lequel sont des vestiges de l'ancienne ville de Naro on Narbo. Ce relief est calqué sur un relief géologique d'axe NE-SW, un affleurement de calcaire gris-bleu attribué au Jurassique moyen (les couches à soufre dont on va parler étant au NW de cet axe/ligne pendent vers le NW). Une source karstique, l'Oeillal, se trouve au pied de ce petit relief, d'un débit moyen 600 m<sup>3</sup>/heure selon Antéa, Areva (2013 p. 150) qui la prélève pour son site (200 000 m<sup>3</sup>/a; Areva 2013, p. 225) ne cite qu'une valeur particulièrement élevée : 1 500 m<sup>3</sup>/h. Mais B. Vuchner, dir. du site en 1992 (in

Rev. Gen Nuc, cité in Barillot & Davis 1994, p. 31) donnait "500 à 1000 m<sup>3</sup>/h selon la saison". Antea (2014, p. 34-6) :

"source de l'Oeillal, résurgence karstique dont la provenance des eaux est sujette à diverses interprétations. Cette source serait l'exutoire principal des infiltrations ayant lieu sur les affleurements calcaires observés dans le secteur de Montredon... La structure reliant ces affleurements et la source est relativement complexe. Les écoulements se font en charge sous couverture oligocène. Des échanges sont probables en profondeur avec les formations évaporitiques de l'Oligocène et/ou du Trias profond. La source participe ensuite à l'alimentation de la nappe alluviale."

Et Areva (2014 p. 31) :

"Les débits observés et leur évolution annuelle, à savoir une augmentation des débits sur la période hivernale et des débits d'étiage soutenus en période estivale, militent en faveur d'un vaste aquifère bien connecté, dont la recharge par les précipitations s'effectuerait pour l'essentiel plus vers l'ouest sur le secteur de Néviau."

Les campagnes de forages entre 2005 et 2009 que l'effondrement 2004 de la digue et la demande officielle Criirad de passer le site en INB ont rendu nécessaires avant travaux, apportent des données. Le prestataire Burgeap trouve le terrain faillé. L'oppidum" Montlaurès, comme la résurgence de l'Oeillal, semblent lier à une faille qui passe sous les bâtiments industriels du site chimio-nucléaire "sévésou seuil haut" de Malvési :

"Une discontinuité majeure, mettant latéralement en contact les séries rouge et grise de l'Oligocène, traverse le secteur d'étude. L'analyse des coupes géologiques des nombreux sondages réalisés au niveau du site a permis de localiser cette zone fracturée. Cette faille, d'orientation nord-est/sud-ouest, passe au sud du bassin de régulation, traverse le site industriel de Malvési et semble se poursuivre au sud de la colline de Montlaurès... Le pendage est mal connu, il s'agit vraisemblablement d'une faille normale à fort pendage sud-est, son rejet vertical avoisinerait 200 m. la source de l'Oeillal est probablement située sur cette structure et la colline de Montlaurès pourrait constituer un horst de calcaire jurassique." (Areva 2013, p. 47; ces nouvelles données et interprétation viennent apparemment d'un rapport Burgeap 2009).

Cette faille à fort rejet est tracée sur les coupes Areva (2014, fig. 5, 6 et 7) à propos du stockage à long terme de ces déchets.

De plus, en se déplaçant un peu de cette zone faillée vers le Sud, le contact entre alluvions quaternaires et "socle" Oligocène a une variation d'altitude de 5 mètres avec une étrange poche aquifère présente à cet endroit (Fig. 2).

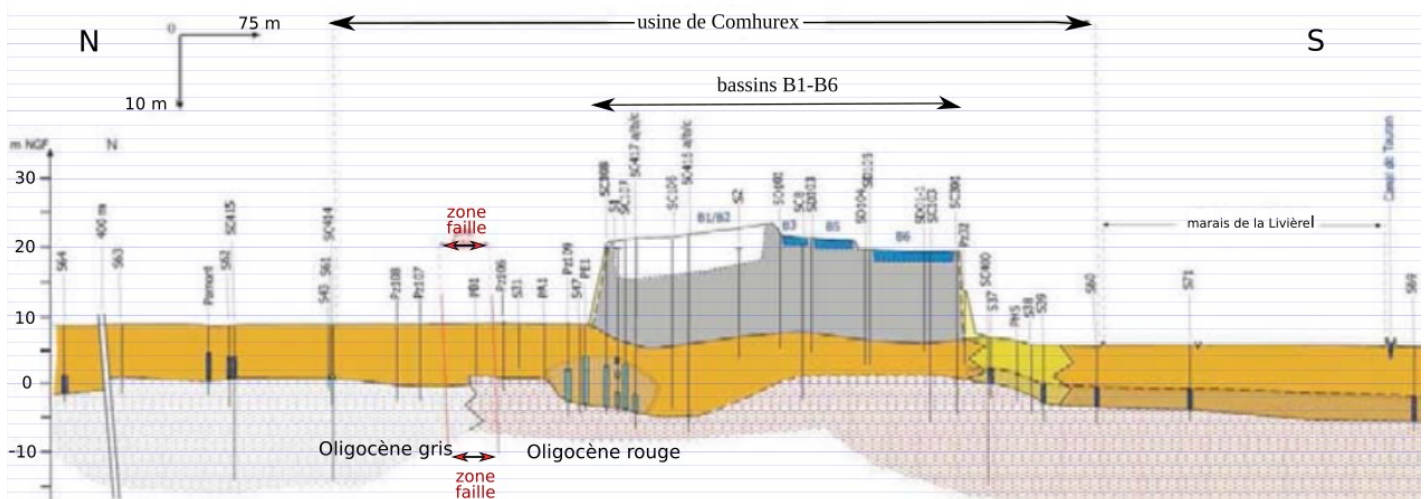


Fig. 2. Coupe Nord-Sud à travers le site Orano-Malvési passant par le dôme de stériles supportant les bassins B1 à B6. Les campagnes de forages entre 2005 et 2009 ont révélé la présence d'une zone faillée, alors interprétée comme une faille d'un rejet estimé de 200 mètres sous les bâtiments de l'usine. Elles ont aussi dévoilé un contact alluvions quaternaires-soubassement Oligocène tourmenté avec une ondulation de  $\approx 5$  mètres. De plus la société Burgeap qui a fait cette coupe peut dessiner une étrange bulle aquifère contre le socle juste sous la bordure Nord du dôme de stérile sous le bassins B1 faible distance de sa zone faillée (Areva 2013, fig. II.3.11, p. 49, coupe de Burgeap, quelques ré-écritures pour lisibilité).

▪ "D'après les études existantes, ce monoclin [ils parlent des couches Oligocène de la zone s.l.] est recoupé par plusieurs failles de direction nord-est/sud-Ouest" (Areva 2013, p. 45).

La "discontinuité majeure" décrite par un intervenant et Areva 2013 et 2014, sous 20 000 m<sup>3</sup> de yellow cake doublé d'une usine chimique "Sévésou-seuil-haut" était géologiquement, pour ne pas dire industriellement, intrigante. Aussi en 2013 Areva a fait faire deux petits profils de sismiques (explosif comme source) le long des grillages Nord et Est du site avec deux petits forages carottés de 100 m pour le calage (Fig. 3).

Le forage SC340 n'a rencontré que la série Oligocène rouge, le SC431 que la série Oligocène grise. Cette dernière est perméable : mesures de perméabilité en forage :  $10^{-4}$  à  $10^{-6}$  m/s avec une porosité de 0,25 à 0,50 variable avec la fracturation (Areva 2014, p. 28-30).

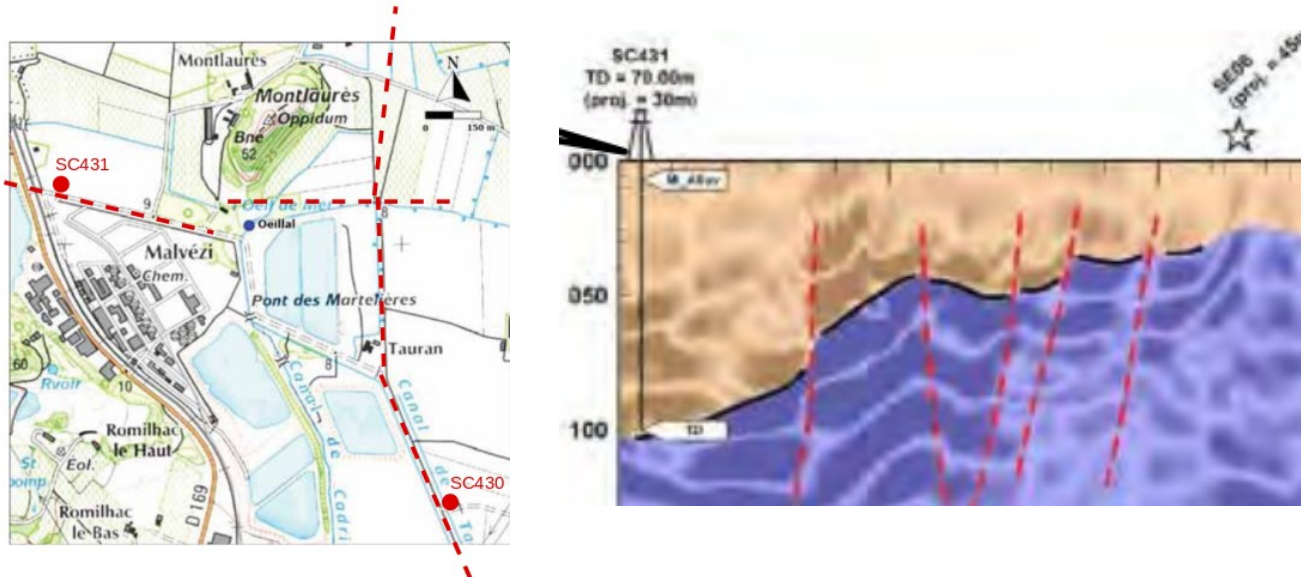


Fig. 3. A gauche, en pointillés rouges, les deux lignes sismiques le long des grillages Nord et Est du site et leurs forages de calage. A droite l'interprétation sismique du tracé entre le forage SC431 et MontLaurès/source karstique de l'Oeillal, i.e à  $\approx 230$  m au Nord du centre de l'usine chimique, et presque au niveau du parc à fût de yellow cake. L'interprétation s'arrête 25 m en dessous de la surface; mis en bleu les calcaires karstiques du Jurassique, en rose-marron l'Oligocène (gris et rouge) indifférencié (Areva 2014, p. 26-7; Areva 2016-a p. 123-4).

- Pour le segment allant de SC431 à la source karstique de l'oeillal, qui est le plus proche des ateliers et substances chimiques, cette sismique pointe à un faisceau de failles, séparées en moyenne de à peine 70 mètres, quelques unes avec un rejet d'un bon 10 mètres, interprétation qui n'est pas forcément aisée si les failles sont WSW-ENE, i.e., coupent ce tracé en un angle aigu (Fig. 3).
  - Des failles aussi au long de la ligne de sismique N-S, mais plus espacées et une, au milieu du profil, d'une bonne trentaines de mètres de rejet (visible au contact Jurassique-Oligocène).
  - Dans tous les cas la coupe la plus précise pour l'usine est la Fig. 2. La sismique un peu plus loin apporte des explications qualitatives aux curieux changements d'altitude du contact Oligocène-alluvion dans la région de la partie Nord du dôme de stériles : il est clair qu'on est sur un terrain faillé. La bulle aquifère au niveau d'un changement d'altitude a certainement à voir avec ça.
  - reste à expliquer le parallélisme entre le contact Oligocène - alluvion quaternaire et leur topographie de surface (Fig. 2). Le  $> 1,3$  million de m<sup>3</sup> déposé là peut avoir tassé ou déformé les alluvions mais cela n'explique pas le parallélisme. Alors ? le site nucléaire de Malvézi est-il posé sur des failles quaternaires qu'on peut suspecter d'être potentiellement actives ?
- Sur le plan géologique l'endroit est sur la bordure NW du Golfe du Lion (dont la formation a commencé à l'Oligocène) zone qui a tectoniquement à voir avec les Pyrénées au SW et les deux grandes failles des Cévennes et de Nîmes au NE (Fig. 4 gauche). Deux petits séismes historiques en dehors de ceux "pyrénéens" sont connus de la région (Fig. 4 droite).

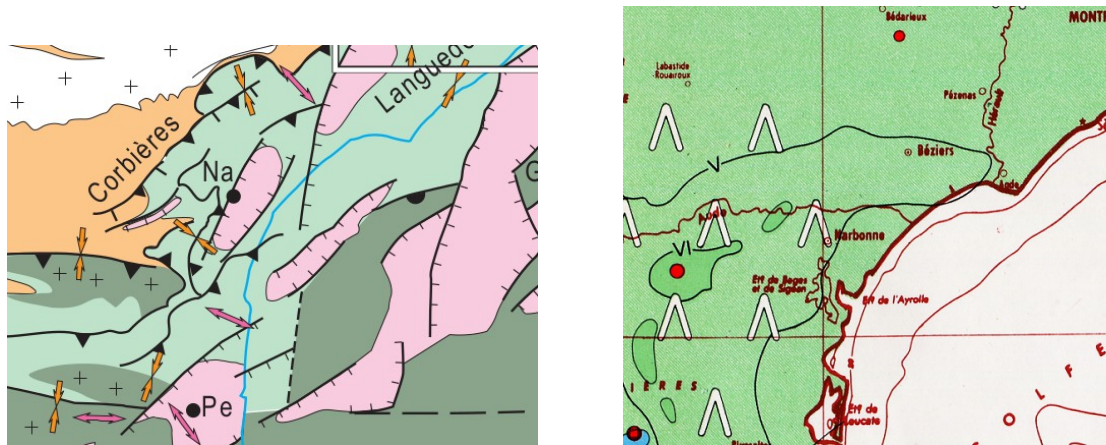


Fig. 4. A gauche bordure NW par failles du Golfe du Lion au sens géologique (rivage = fine ligne bleu, Na=Narbonne, Pe=Perpignan; in Serrane et al. 2021); à droite, deux petits séismes historiques (ronds rouges) dans la région (en plus de ceux pyrénéens un peu plus au Sud plus conséquents, dont un est visible en bas) : 28 juin 1950 à coté de Lagrasse à 33 km à l'Ouest de Narbonne, profondeur 13 km,  $\geq$  VI échelle MSK, et au Nord à Bédarieux V MKS (in BRGM 1979).

Les séismes pyrénéens ne sont pas loin, exemple celui de Saint-Paul-de-Fenouillet (magnitude 5,2; et VI-VII sur l'échelle MSK le 18/02/1996) 40 km à l'W-NW de Perpignan. Il a généré un certain nombre de fissures jusqu'à Narbonne incluse dans les 78 communes reconnues en catastrophe naturelle (il se trouve que à Malvésí une digue descendra après un peu de pluie 8 ans plus tard). Les configurations géométriques en bassin comme une vallée alluviale, sont pénalisantes en cas de séisme, cela avait été montré par la ville de Mexico.

▪ Un problème redoutable pour le bâti en cas de séisme, même loin de l'épicentre, est la liquéfaction. Cela se produit à partir de couches aquifères saturées qui ont une couverture imperméable (se comportant comme tel sur le bref moment d'un séisme). Avec les cisaillements les grains de la roche se ré-arrangent réduisant le volume qu'ils supportaient. C'est alors l'eau sous pression qui porte le poids sur-incomant et cette couche géologique perd sa résistance latérale au cisaillement. Pour cela aussi l'usine chimique est implantée sur une vraie zone à risque. Areva (2016-a, p. 46) :

*"En considérant l'abaque recommandé par Seed et al. (2003)... alluvions... présentent de nombreux points avec des sols potentiellement liquéfiables.*

*... campagne complémentaire datant d'octobre 2010. L'analyse des données... a montré la présence dans les alluvions d'un horizon sablo-silteux liquéfiable continu d'environ 2m d'épaisseur en partie basse de la formation, coté est des bassins. Cet horizon se prolonge au Nord des bassins en s'amincissant (épaisseur environ 1,5 m) Il est également présent coté Ouest... Un deuxième horizon liquéfiable est détecté essentiellement coté Est du bassin en partie haute des alluvions, mais il est discontinu."*

C'est-à-dire qu'à Malvésí, avec un séisme de quelque importance, même qui n'est pas proche, il y a un risque avéré que le sol puisse se substituer sous les bassins "d'en bas", sous partie du massif B1/B6, sous les milliers de tonnes importés de fûts de yellow cake, voir sous des bâtiments de l'usine, avec toutes les bascules et ruptures que cela produit classiquement.

▪ Et par ailleurs il faudra attendre 70 ans avant que les autorités admettent que le CEA a été installé (et que la Comurhex/Areva choisissent ensuite de rester là pour décupler son activité) un de ses sites Sévésó seuil-haut dans une plaine alluviale basse en zone notoire de risque d'épisodes pluvieux cévenols.

● L'endroit est contre une ancienne mine de soufre.

Le soufre est dans des marnes gypsifères riches en matière organique de l'Oligocène (Stampien, Chattien, 37 à 22 Ma). Il s'agissait de faciès de lagune saumâtre, anciens marais, étangs, lacs..., ce que montrent des variations sédimentaires latérales très rapides, faciès qui ont comblé une étroite fosse subsidente de cette région intermédiaire entre Pyrénées et Provence, dont la structure est complexe.

▪ Le soufre a été exploité en carrière ouverte là où les marnes étaient les moins profondes et par puits galerie plus à l'Ouest où elle s'enfoncent.

La mine était immédiatement à l'Ouest de la ligne de chemin de fer Narbonne-Bize-Minervois et les stériles (a priori en majorité des marnes gypsifères) avaient été déposées de l'autre coté, Est, de cette voie ferrée. Des

bassins de décantation avec des digues au-delà de 10 mètres de haut avaient été aménagés au sein de ces stériles.

*"... une société française : la Société Languedocienne de Recherche et d'Explorations Minières\*... Quatre gisements de soufre natif étaient connus en France depuis longtemps... ...Découvert en 1829 par Tournal, le gisement de Narbonne... ... à cause de relatives facilités d'exploitation, qui devaient amener la Société précédemment citée à lancer dès 1941 un travail de reconnaissance du gisement et un travail de mise en exploitation.*

*Ce gisement se présente sous forme d'un monoclinal de 40 à 60 mètres d'épaisseurs, orienté Nord-nord-est et couvrant la zone de Malveyz à coté de Narbonne... La carrière d'extraction fut ouverte en 1943, tandis que l'atelier d'enrichissement par flottation était mis en service en 1945.*

*Le minerai après concassage, est broyé en une pulpe épaisse qui est traitée par flottation; le soufre surnage sous forme d'une mousse homogène contenant de 40 à 50 % de soufre. Des cellules de finissage, basées sur le même principe, conduisent à un concentré final à 80 % d'élément, tandis qu'une purification finale, par fusion, isole un soufre de haute pureté à 99,5 %." (Bapsères 1966, p. 33).*

\* siège social 10 av. George V, Paris 8<sup>e</sup>, et 18 av. Gl.. Foch, Narbonne

- Le CEA s'est installé coté Est de la ligne de chemin de fer et au nord des terrils et de ces bassins tout prêts dont justement il avait usage.

Les bâtiments industriels ont été implantés contre la route à la pointe Nord-Ouest de cette emprise CEA. Petit à petit des nouveaux bassins seront aménagés de là vers le SE, plaine agricole de la Livière. La très grande majorité de l'année le vent vient de l'W-NW, débouché local de la tramontane. Ce sont donc les bassins qui sont sous le vent des cheminées de l'usine, et non pas les bâtiments et bureaux qui sont sous le vent des bassins d'évaporation-stockage (et on comprendra pourquoi dans le présent document). La plaine agricole de Livière, avec ses vignes, céréales, fruits..., bénéficie elle du cumul de ces deux sources, évaporation-embruns, rejets des cheminées.

La bordure Est de ce site est le canal artificiel nommé Tauran alimenté à son origine par la résurgence de l'Oeillal qui a un débit de 500 à plus de 1 000 m<sup>3</sup>/h suivant les saisons et météo. Ce canal a été creusé en 1999 pour remplacer celui de Cadariège (qui était celui qui portait les eaux de l'Oeillal) bouché par Areva en mai 2000 et qui a étendu son site vers l'Est (et qui pompe son eau industrielle de l'Oeillal via cette sortie originelle Cadariège, 200 000 m<sup>3</sup>/a; Areva 2013, p. 225). C'est une chance in extremis pour les 46 000 habitant-e-s de Narbonne, sans quoi des tonnes de boues de nitrates, hydroxydes, fluorine et métaux, oranges, auraient défilées au milieu de la ville. Ce canal était pollué, par ex. 141 Bq/kg en Tc-99 (produit de fission et de capture donc d'uranium de retraitement, période 210 000 ans) dans ses sédiments au début des années 1990s (in Pourcelot 2009, p. 23, 26). L'usine se sert aussi du lac qui s'est formé en comblement de l'ancienne mine de l'autre coté du chemin de fer-route, qu'Areva/Orano appelle *Bassin de Régulation*, dont les sédiments sont maintenant pollués par la chimie nucléaire (par exemple 271 Bq/kg en Tc-99 in Pourcelot 2009, p. 22).



## II. La Comurhex-Areva/Orano

L'usine à Malvési a été construite en **1960** par le CEA avec St Gobain et les Potasse et Engrais Chimique, PEC pour prendre la relève de l'usine du Bouchet, produire de l'uranium sous forme métallique en passant par UF<sub>4</sub> par voie humide, pour 1000t/an.

- A partir de 1964 une partie de l'UF<sub>4</sub> produit partait à Pierrelatte pour enrichissement (Davis 2001, p. 191) qui était alors exclusivement militaire ("bombe" et en vue réacteurs de sous-marins et au début des années 1970s, combustibles des deux réacteurs Célestins qui faisaient le tritium pour la *bombe H*). Dans tous les cas l'usine travaillait en partie pour le militaire, pour fournir l'uranium métal pour les dites "piles" de Marcoule, exclusivement militaires (120-150 tonnes d'uranium-métal chacune, à renouveler rapidement). Si G1 a surtout été un essai, G2 et G3 ont fonctionné de 1958 à 1980 et 1984 et la DAM en a tiré 2780 kg de plutonium qualité militaire et EDF-1 (= Chinon A1) y a contribué pour 200 kg. Dans cet usage il fallait changer souvent l'uranium, donc il en fallait beaucoup, puisque pour avoir le "bon" plutonium *bombatomiquement* parlant, il fallait peu irradier le combustible. C'est une raison pour laquelle après extraction le CEA-militaire-Marcoule renvoyait les nitrates d'uranium peu *appauvri, décontaminés*, à Malvési.

- L'usine de Malvési devient Comurhex en **1970** en lien avec Pierrelatte (51% Pechiney Ugine Kuhlmann, 39 % Cogema, 10 % Mokta). Barrillot et Davis (1994 p. 35) : "*En janvier 1971, les activités de l'usine de Malvési et celles des usines chimiques de Pierrelatte (conversion du tétrafluorure en hexafluorure) ont été fusionnées dans le cadre d'une nouvelle société pour la CONversion de l'URanium en métal et en HEXafluorure (Comurhex). A sa création la Comurhex est constituée par la société des usines chimiques de Pierrelatte (51 %), le CEA (34 %), Azote et Produits chimiques (10 %) et Saint Gobain Techniques nouvelles (5 %).*"

La production d'U-métal a diminué peu à peu à partir de 1970, pour s'achever en 1991 vu l'arrêt de la filière UNGG

- **En 1987** (de mars 1986 à mai 1988 c'est la cohabitation Mitterrand-Chirac, Balladur à l'économie), la Comurhex fait de grosses transformations pour que **l'usine plus de quadruple sa production**. Mais c'est juste dans la foulée de Tchernobyl. "*En 1990, la Comurhex dont le capital était détenu à 49 % par la Cogema et à 51 % par Pechiney a vu son chiffre d'affaire chuter : ce dernier est passé de 592,8 MF en 1989 à 492,8 MF en 1990. Dans le cadre de la restructuration de l'industrie nucléaire française, la Comurhex était rachetée [donc à Pechiney] par Cogema le 1<sup>er</sup> juillet 1992... En 1993, l'usine de Malvési employait 310 personnes et le chiffre d'affaire des deux unités "Comurhex-Cogema" de Malvési et Pierrelatte se montait à 540 MF.*" (Barillot et Davis 1994, p. 36).

- **Années 1990s**, "*Afin de résorber les volumes d'effluents nitrates contenus dans les bassins d'évaporation, AREVA NC a lancé dans les années 90 des études pour définir les traitements envisageables...*" : (Areva (2016-b p. 5), projet qui est connu aujourd'hui sous le nom de TDN. Cela concerne les "*bassins d'en bas*" (i.e. § VII-4.).

- **2004**, en mars **rupture d'une digue**. Il s'agit là d'un autre problème, celui des "bassins d'en haut". Une activité frénétique de vastes travaux public sur tout l'espace bassin du site va suivre sur plusieurs années.

- **En 2007**, malgré ces problèmes, se fait le "**Lancement des études pour le projet Comurhex II relatif au renouvellement de l'outil industriel.**" (Areva 2015; N. Sarkozy élu en mai, F. Fillon Premier ministre, J.L. Borloo environnement ; et en mai 2007, Areva/A. Lauvergeon lâche \$ 2,5 milliards pour acheter uranium). L'usine Comurhex de Tricastin déjà n'était plus aux normes et il sera émis en 2010 un arrêté préfectoral que sa fermeture devait être faite sous 5 ans (ce qui ne sera pas respecté, un autre arrêté prolongera...). Comurhex II est souvent écrit "CX2".

A Malvési des photos de 2010 montrent l'arrivée sur le site de nouveaux immenses appareils de Chimie.

- **2012**, l'arrêté préfectoral n°2012107-0006 du 01/août **autorise/légalise** de passer d'une capacité de **production annuelle** de 14 000 à **21 000 tonnes "de tétrafluorure UF<sub>4</sub>"**, une augmentation de 50 % chose qui était annoncée de manière officieuse dans la presse nucléaire depuis 2007.

- **2017** l'arrêté préfectoral n° DREAL-UID11-2017-39 du 08 nov (puis l'arrêté "complémentaire" du 26 juil. 2018) écrit "*capacité maximale annuelle de production équivalente à 21 000 tonnes d'uranium sous forme de...*" ce qui, en terme de UF<sub>4</sub> par ex. autorise une production de **27 700 tonnes** Ce décret (et le "complémentaire" du 26 juil. 2018) autorise/légalise la présence là de 37 000 tonnes d'uranium sous forme de yellow cake + UF<sub>4</sub>/UO<sub>2</sub>. Et donc, dans l'Avis irsn 2012 : "*Comurhex prévoit, dans*

le cadre d'un projet dont la mise en service est prévue en 2013 (projet "Comurhex II"), et pour une exploitation **jusqu'à 2050**, d'augmenter sa capacité de production (passage d'une exploitation de 14 000 à 21 000 t/an d'uranium naturel) et de...", soit de 2024 à 2050 ( $26 \times 27\,500\text{t} = 715\,000$  tonnes de UF<sub>4</sub>).

- En **2008**, sur la question de résorber les volumes d'effluents nitratiés des "bassins d'en bas", le coeur d'Areva (2016-c p. 76) penche pour un procédé **THOR**<sup>®</sup>. Fonctionne une petite unité privée aux USA, le procédé n'a pas encore été appliqué pour des nitrates.
- En 2012-2013, la Comurhex fait creuser des tranchées drainantes et deux puits de pompage entre des bâtiments de l'usine lui permettant de contrôler le devenir de l'eau sous ses ateliers (Fig. 5.). On apprendra plus tard, par exemple lors d'une séance d'Appel au tribunal de Marseille, qu'il y avait à l'endroit où a été installé un nouvel atelier dit NVH (voir § III-6) une zone très contaminée "une pollution record par uranium au niveau de l'installation NVH avec 590 mg/kg soit 1 kg d'uranium par m<sup>3</sup>" (Rubresus 2024). C'était au niveau d'un sondage nommé SC3 et le puisard de cet endroit a été supprimé.



Fig. 5. Aménagements pour le contrôle de la nappe phréatique alluvionnaire entre des ateliers de l'usine chimique et en bordure Nord et Est en 2012-2013, tranchées et puits (in Areva 2013, p. 233).

- **2013-2016, Comurhex II**, essais des nouveaux ateliers. Orano-Malvési affiche que la première unité a été mise en production en 2014 et que la "**Mise en exploitation de la totalité des unités de Comurhex II**" a eu lieu en 2016. Le rapport Orano-Malvesi sur 2022 écrit que cela a coûté 1/2 milliard d'euros. Il y a un changement technique important, la dénitrification est faite par voie thermique au gaz naturel pour produire le trioxyde UO<sub>3</sub> avec le dit ISOFLASH comportant 3 unités. En effet le procédé de dénitrification chimique avec de l'ammoniac par précipitation de diuranate d'ammonium est abandonné dans ces années là, en tout cas pour la production de UF<sub>4</sub> puisque au contraire il est recréé en neuf à côté avec NVH.
  - Le 06 juin 2017, Euratom donne avis à projet Comurhex II avec notamment : "*le projet modifié prévoit une augmentation des limites de rejet autorisées pour les effluents radioactifs gazeux, toutes les autres limites de rejet autorisées demeurant inchangées;*"
  - **2014-2016** sur la question de résorber les volumes d'effluents nitratiés des "bassins d'en bas", en 2014 Areva a décidé de lancer à échelle industrielle le projet TDN/THOR<sup>®</sup> de Studsvick (Areva 2016-c p. 76). En février 2014 Studsvick vend pour \$ 23 millions une grosse partie de ses opérations sur les déchets radioactifs aux USA, notamment le seul exemple du procédé THOR en fonctionnement (privé à Erwin, USA), à une autre Compagnie de services, EnergySolutions (qui gère une paire de sites de type "Soulaines" aux USA : Barnwell contre le site Savannah River, Clive dans l'Utah). "*De plus, Studsvick va transférer ses brevets ayant rapport à THOR en Chine et permettre à EnergySolutions d'utiliser les brevets dans le marché commercial d'Amérique du Nord. Studsvick garde les brevets et les droits pour THOR sur les autres marchés.*", dont... la France. Studsvick reste présent aux USA en conseiller sur les déchets avec dix employés (WNN, 12/02/2014, [là](#)).
- L'enquête publique sur la construction de l'installation industrielle TDN/THOR sur le site de Malvési qui se déroule du 06 sept au 06 oct 2016 s'adresse aux 3 communes à moins de 2 km du bâtiment prévu (Narbonne, Moussan et Cuxac), avis favorable du commissaire enquêteur.
- En déc. 2016 Areva signe un contrat avec Studsvick pour la poursuite du support d'ingénierie pour TDN ([là](#)). Par ailleurs, cette année 2016, EDF rachète pour \$ 44 millions les opérations de déchets faiblement radioactifs de Studsvick, celui de Suède à Nyköping, recyclage de métaux, incinération et pyrolyse et celui du

Royaume Uni, près de Workington, recyclage des métaux. "Sylvain Granger, directeur des opérations de démantèlement et de gestion des déchets a déclaré : "En combinant Socodei et les affaires de Studsvik, EDF sera en mesure d'offrir une large gamme de service dans la gestion des déchets..." (Nuclear Engineering International, 22/04/2016, [là](#); WNN 20/04/2014, [là](#)).

- Les **années 2018, 2019 et 2020** l'usine de Malvési produit 1/10ème de sa production des années antérieures, 1 050 à 1 400 tonnes à comparer à 12 000 tonnes "UF<sub>4</sub>". Il est annoncé que cela est dû à la fermeture de Comurhex-I fin 2017 à Tricastin/Pierrelatte alors que Comurhex-II n'y *démarrera* qu'en 2019 sachant, dit Orano : "dont la qualification des équipements s'est poursuivie jusque fin 2020.". Les *Échos* du 18 sept. 2018, parlant de Tricastin : "... l'ex-Areva inaugure ce lundi l'usine de conversion d'uranium, **Comurhex 2. Avec un coût doublé par rapport aux prévisions initiales. ... sa nouvelle usine de conversion d'uranium naturel en hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>)...**". Le chantier avait 6 ans de retard sur ce qu'avait annoncé Areva initialement. C'est un bâtiment de 6 étages haut de 30 mètres. Un vaste bardage s'était déjà envolé avec le vent, il y a eu des problèmes de soudures... C'est une usine "Sévéro-seuil-haut" encore à plus fortes raisons que celle de Malvési.
- En **2017** un arrêté préfectoral du 08 nov a autorisé la réalisation du projet industriel **TDN** à Malvési.
- En "**2019** a vu notamment : ... - la conduite durant l'arrêt d'été & de la première tranche des travaux de **modernisation** de notre atelier **hydrofluoration** qui se poursuivra à l'été 2020" et "la sortie de terre de notre futur atelier **UO<sub>2</sub>**..." (Orano 2020 intro).
- En 2021, Orano (2023-b, p. 6) (qui a à ce moment là a près de € 2 milliards de dettes bien qu'il ait été renfloué de € 4,5 milliards d'argent public en 2017) dit avoir racheté la licence THOR® à Studsvik. Cela n'apparaît pas chez Studsvik ([là](#)) ni ailleurs.
- En 2022 ont démarrés les premiers tests, annoncés encore sur un an, d'un atelier dit NVH (Nlle Voie Humide) pour mettre de l'uranium sous forme de dioxyde UO<sub>2</sub>. Il s'agit là de 300t/an une activité du site ajoutée par un des plus discrets arrêté préfectoral "**complémentaire**" n°DREAL-UID11-2018-032 en date du 26 juillet 2018, qui fait rentrer Malvési dans la filière-plutonium, cet UO<sub>2</sub> étant annoncé pour Melox.
- Le 21 oct. 2022 par 2 arrêts la cour administrative de Marseille relève des vices de procédure de l'arrêté du 08 nov. 2017 et donne 12 mois au préfet pour régulariser. Il y a une nouvelle enquête publique du 05 au 19 juin 2023, indécise. En réponse aux commissaires enquêteurs Orano (2023-b, p. 6-7) : "... à la suite des difficultés de démarrage de l'installation IWTU [une application du procédé THOR sur des nitrates à Idaho, USA] dont Orano avait eu connaissance... enseignements... pris en compte... améliorations... Lors de la reprise du projet, Orano prévoit de réaliser de nouveaux essais de pilotage du procédé..."

● **La production de Malvési**

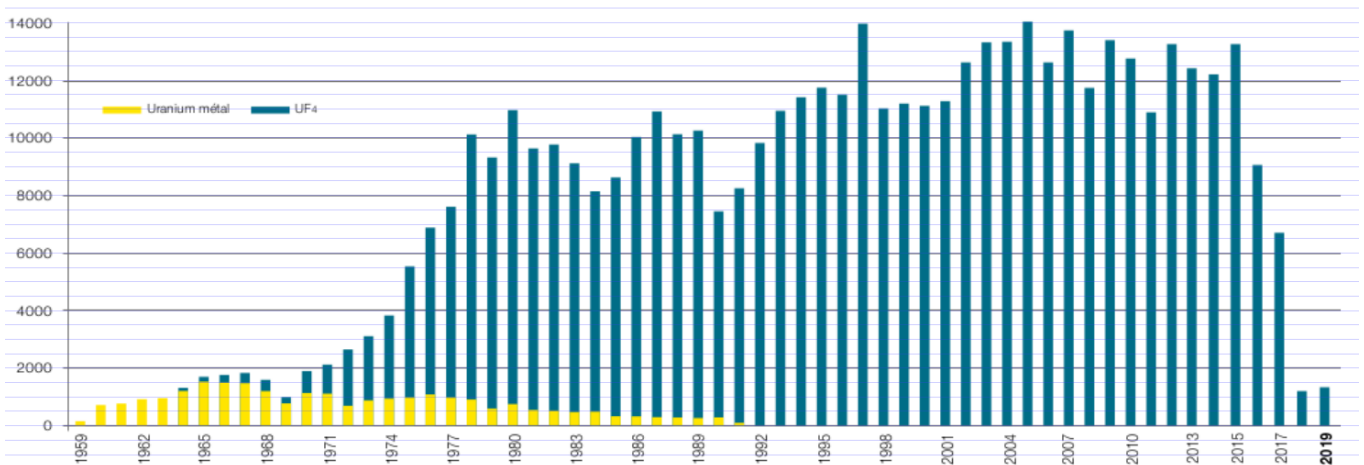


Fig. 6. "Evolution de la production d'UF<sub>4</sub> depuis 1959 (en tonnes)" (Orano 2020, p. 8)

Et,

- en 2020 : 1 268 t
- en 2021 : 8 522 t

en 2022 : 9 285 t

Sur l'unité employée par Orano : les valeurs annuelles ci-dessus ne changent pas d'un document Orano/Areva/Comurhex à l'autre, mais leur label change. Ils sont intitulés soit tU, tonne d'uranium, soit t UF<sub>4</sub> tonne de tétrafluorure d'uranium. Inimaginable qu'on ne sache pas ce qu'on écrit au plus haut niveau. Ça ne peut pas être les deux.

Le poids molaire de l'uranium  $\approx 238$ , celui du fluor = 19, on a donc les poids molaires 238 et 314 :

1 tonne d'UF<sub>4</sub> contient 76 % d'uranium et 24 % de fluor,

1 tonne d'uranium contenu correspond à 1,32 tonne d'UF<sub>4</sub>.

On suppose... qu'il s'agit d'uranium

Dés lors une production moyenne de 12 000 tonnes de 1992 à 2015 correspond à  $(12\ 000 \times 314 \div 238 =)$

15 800 tonnes d'UF<sub>4</sub> comme la légende originale Orano-Reva de la figure 2 ne l'indique pas.

Ni d'ailleurs les décrets préfectoraux. Bien que cet arrêté ne soit plus accessible, selon ses citations officielles (ASN, etc.) le décret du 01 août 2012 autorisait 21 000 tonnes "de tétrafluorure d'uranium", celui du 08 novembre 2017 *corrige* semble-t-il : 21 000 tonnes d'uranium "sous forme de" UF<sub>4</sub> ce qui fait 27 700 tonnes d'UF<sub>4</sub>...

## III. La chimie Malvési



Fig. 7. Usine chimique Orano-Malvés de raffinage et conversion  
(Orano 2019 ; France bleu 01/10/2019)

Malvési est une chimie d'étape qui suit celle "de masse" d'élaboration des concentrés yellow cakes ([là](#)). La plus grosse partie des émetteurs gamma fils d'uranium irradiants à distance n'est plus là, laissée dans les boues issu du traitement près de cette première série d'usines chimiques (il en reste un peu et il s'en reformera). La chimie de Malvési (Fig. 7.) en précède une autre faite à Pierrelatte/Tricastin qui elle même précède une autre faites à Romans-sur-Isère avec manufacture.

### III-1. Raffinage

Pour le raffinage ils ne font plus une dissolution à l'acide sulfurique + oxydants comme dans les usines chimiques près des mines (moins cher, plus polyvalent, idem pour l'extracteur amine, procédé dit AMEX). Il s'agit déjà d'un concentré qu'ils dissolvent à l'**acide nitrique**,  $\text{HNO}_3$ . La raison est essentiellement que c'est un usage binôme avec l'extracteur TBP : ce doit être du nitrate, d'où ce lien nucléaire-azote.

#### III-1-1. Dissolution

Chaque lot de concentré doit être échantillonné et analysé en détail, il faut ouvrir des fûts, touiller un peu. "D'après le CEPN, les 6 travailleurs de ce poste étaient 4 fois plus exposés que la moyenne de tous les travailleurs de l'usine. Leur exposition interne (incorporation d'uranium) était 7 fois plus élevée que la moyenne." (CriiRad 2006, p. 33). En effet, il faut savoir avant de démarrer la chimie s'il y a du thorium par ex. il est alors nécessaire de rajouter de l'acide phosphorique, etc. La cheminée de l'atelier *Échantillonnage*, la n°11, n'est guère haute (4 m) mais son débit est de  $8\,900\text{ Nm}^3/\text{h}$ . Elle a autorisation légale de rejeter dans l'atmosphère de l'usine 15 mg de poussières et 0,2 mg d'uranium par  $(\text{N})\text{m}^3$  (arrêté préf. 08/11/17) soit respectivement  $\sim 1$  tonne et 14 kg par an.

La dissolution est faite en cuves dans lesquelles sont mises des quantités pré-calculées. En raffinage, "les concentrés contenant jusqu'à 80 % d'uranium sont d'abord dissous à l'acide nitrique dans des cuves en acier inoxydable, **chauffées** par vapeur, et **avec agitation**. La boue est alors passée dans un groupe de **filtres rotatifs** à vide où la silice et des petites quantités d'autres insolubles sont enlevées. Ces filtres sont du type pré-couverts, le médium filtrant étant une couche de 7 cm de diatomite d'aide à la filtration, supportée sur tissu et qui s'en va de quelque chose comme 0,07 mm à chaque tour. Le [contre] lavage se fait sur le cylindre, ce qui est lavé étant mélangé avec la partie principale du filtrat pour donner une liqueur claire pour l'extraction TBP à une concentration uranium de 300 g/l et une acidité libre de jusqu'à 3N." (Jamrack 1963, p.

173). Au départ l'acide est concentré (13 M, finit à 2M en acide libre en fin de digestion) et des raffineries d'uranium ont un système de digestion à deux cuves qui marche en continu (Blind River), le nitrate étant ensuite stocké dans d'autres cuves tampons en aval.

Pour Malvési, Roux (1961, p. 5) : "les uranates... sont... mis sous forme de solution : pour cela ils sont attaqués avec de l'acide nitrique à 63 p. 100. Après un temps convenable de maturation, les jus d'attaque sont filtrés. On obtient alors une solution claire de nitrate d'uranyle et des insolubles qui, après plusieurs repulpages et filtrations, sont rejetés.". Et en 1979 pour Malvési, Perez (p. 208) : "... attaque du concentré par l'acide nitrique, à une **température de 90°C**, et élimination des insolubles par filtration, on obtient un « jus d'attaque » titrant de 600 à 800 g/l d'uranium.".

- Ce procédé dissout aussi bien de la poudre que des pastilles, d'oxydes d'uranium.



Fig. 8 « Arrivée sur site des cuves de nitrate d'uranyle »  
(in Orano Malvési 2022, p. 15).

Cela produit donc du nitrate, essentiellement d'uranyle,  $UO_2(NO_3)_2$  jaune, claire mais impur, il y a du nitrate d'ammonium, ou de magnésium ou de sodium, et d'autres substances qui varient avec le type et origine du yellow cake d'importation.

Calcul de coin de table d'ordre de grandeur : « jus d'attaque » à  $\sim 700$  gU/l. Or la densité de l'uranium est  $19 \text{ kg/dm}^3$  donc 0,7 kg correspond à un volume de 3,7cl ; le yellow cake étant composé de 70 % d'uranium :  $3,7/0,7 = 5,2$  cl, on arrondit à 5,5. A priori 0,945 cl/l du « jus d'attaque » ont été apportés comme acide nitrique. Pour 1 kg U il faut  $0,945/0,7 \times 1 = 1,35$  l de  $HNO_3$  ou pour 1 t U il faut  $1,35 \text{ m}^3$   $HNO_3$ . Pour une production annuelle de 12 000 t U il faut **16 200 m<sup>3</sup>** d'acide nitrique et, pour la nouvelle autorisation de 21 000 t U il faudra 28 350 m<sup>3</sup> de  $HNO_3$ . Ça néglige les vapeurs qui sont parties (ils commencent à  $HNO_3$  13 M à 90°C) et le fait qu'il y a une perte d'uranium (il en faut plus au départ que la production annoncée).

▪ De cet atelier se dégage des composés réactifs de l'azote : fumées d'acide nitrique  $HNO_3$ , beaucoup de  $NO_x$  brunâtre qui doivent être récupérés par laveur-épurateur et remis dans le circuit (et/ou transformés en  $N_2$  ?). Mais pour 2021 "atelier de dissolution", c'est un rejet d'ammoniac  $NH_3$  que donne Orano, autre substance chimique probablement impliquée dans le traitement des gaz : 110 kg dans l'atmosphère de l'usine et rejet qui a été 510 kg en 2020 (Atmo Occitanie 2022, annexe 3). Ces deux années là l'usine est loin du rythme auquel elle est désormais autorisée, 1200 et 8500 contre 21 000. Dans l'arrêté préfectoral du 08/11/2017, la cheminée de l'atelier Dissolution, "Événements ventilation des cuves", est la n° 8. Haute de 17 m son débit est de  $20\,000 \text{ (N)m}^3/\text{h}$ . De fait ses limites légales de rejet sont pour l'année (calcul sur 337 j) 8 tonnes pour l'ammoniac, 2 tonnes de poussière (en général semble-t-il nitrate et ammonium), 32 kilos d'uranium et  $1,6 \cdot 10^9$  Bq (qui correspond à uranium et fils immédiats), ainsi que 17 tonnes de COV, Composés Organiques Volatiles, dont certains halogénés (Table 1).

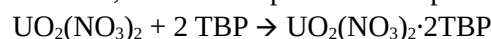
Paramètres	concentration mg/Nm <sup>3</sup>	kg par an (337 j)
poussières	15	2426
NH <sub>3</sub>	50	8088
COV	110	17 794
COV annexe III	20	3235
COV risque	2	323
uranium	0,2	32
Rejets radioactifs	10 Bq/Nm <sup>3</sup>	1,6 milliard Bq

Un débordement de 4,5 m<sup>3</sup> sur le sol de l'usine de juillet 2016 contenant 110 kg d'uranium soit 24 g/l, probablement d'un rinçage quelconque (?) et dont les déchets (absorbants) de nettoyage ont apparemment finis à Morvilliers dans l'Aube à 750 km, rappelle les diverses manipulations nécessaires en permanence (ASN 13/10/2016, [là](#)).

### III-1-2. Purification

La solution de nitrate impur est ramenée souvent pour cette étape à 300 g/l uranium et 2-3 N acide nitrique mais Perez (1979 p 208) pour Malvési : "... *extraire l'uranium de la phase aqueuse titrant 400 g/l d'uranium à l'aide... tributylphosphate (40 %) et de dodécane (60 %)*".

Cela se fait en "colonnes pulsées". Il y avait deux colonnes (beaucoup moins hautes) pour cela au démarrage de Malvési (et deux autres de réextraction; Roux 1961, p. 6). Celles actuelles sont hautes de près de 30 m. La solution est introduite en partie haute, la substance organique appropriée est introduite en partie basse, et la circulation se fait à contre courant vertical. La substance extractrice est la molécule Tri-butyl-Phosphate, TBP, O=P(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>3</sub>, qui avait été employée comme agent de séparation pour des terres rares. Elle a été prise alors dans le dit procédé Purex des usines atomiques militaires américaines de Savannah River à commencer en 1954, puis à Hanford à commencer en 1956 et cela n'a pas changé depuis. Le TBP est en mélange entre 20 et 40% dans un alcane (chaîne carbonée linéaire) inerte qui fait le complément à 100 % de la partie organique, par ex. isoparaffine, kérosène, dodécane... C'est lui qui assure les faibles densité et viscosité nécessaires parce que le TBP est visqueux et de densité 0,98 kg/l. Orano refait ça à La Hague, cette fois sur de l'hyper-radioactif. Le nitrate d'uranyle spécifiquement a cette propriété très particulière de former un composé avec ce TBP, 2 molécules de TBP, et il est complexé dans la phase organique :



De plus cette capture spécifique (et par la suite détachement) se trouve être rapide, ce qui explique qu'elle est réalisable en un passage linéaire dans une (ou des) très grosse colonne (cela n'est pas possible pour le cuivre et le nickel par exemple, les vitesses de capture et détachement avec les substances organiques appropriées pour le cuivre étant trop lentes, il faut des méthodes plus énergiques).

La colonne (Fig. 9) comporte en interne des plateaux perforés horizontaux (ou quelques uns coniques) avec les nombreuses perforations d'un diamètre de 2-3 mm dont la surface est de l'ordre de 20%. Ils sont régulièrement espacés, dans certaines colonnes de seulement quelques cm, sinon moins de 30 cm.

Dans chaque étage la phase organique, la plus visqueuse, arrive dispersée en gouttelettes en étant forcée par le bas dans les perforations, la solution aqueuse nitrate moins visqueuse étant la phase continue. La phase organique se reconstitue/concentre en partie haute de chaque compartiment. Un mouvement réciproque est obtenu en envoyant la phase organique (ou l'autre phase, ou alternance...) en à-coup, d'où le terme de colonnes pulsées, un brevet d'application très générale du hollandais Van Dijck qui date de 1935 et qui prévoit deux cas, pulsés avec plateaux fixés ou que ce soit les plateaux qui bougent ([là](#)). La phase organique étant en partie haute de chaque intervalle, au "coup retour", c'est la phase aqueuse en descendant qui la traverse de manière dispersée.

Les canadiens (usine de *Blind River* au Nord de l'Ontario) rapportent qu'ils le font à la température maintenue à 60°C et un rapport phase organique sur phase aqueuse, O/A proche de 4 (Ashbrook 1986). Le mouvement généré par chaque pulsion dans la colonne était rapporté être de 1 à 2 cm (colonnes moins hautes à l'époque). La fréquence est variable mais souvent aussi rapide que de 60 c/mn (Jamrack 1963, p. 148). Tout en haut et tout en bas il y a des zones de décantation où l'on trouve les surfaces d'interphases.

Outre l'amplitude, la fréquence et la forme des impulsions, et la vitesse d'injection choisie, il y a tout un tas de variantes possibles comme l'introduction de la solution avec le métal voulu en partie moyennement haute de la colonne et un courant aqueux du sommet de la colonne. Le dessus des plaques peut être en matériel mouillable par la phase aqueuse, le dessous par la phase organique, certaines variations en écoulement et propriétés peuvent être organisées sur la longueur de la colonne., etc.

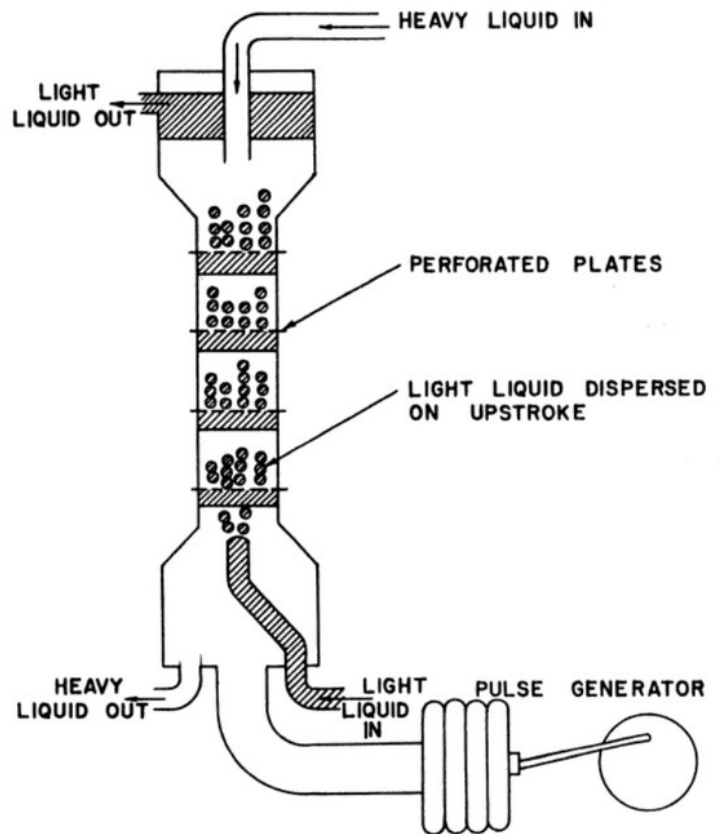
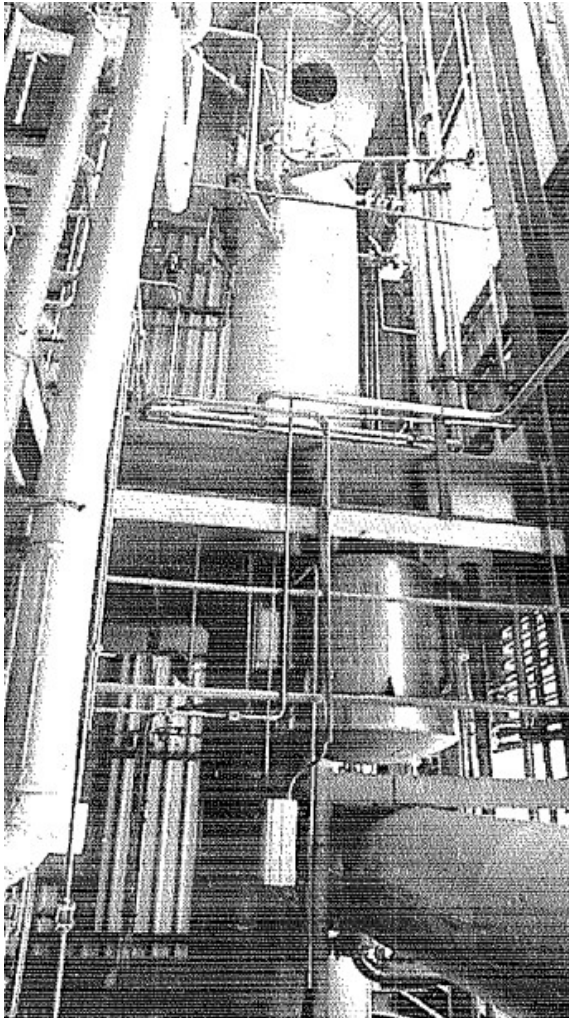


Fig. 9. Colonne d'extraction à Malvési (© Comurhex/Cogema 1996) et principe de fonctionnement, au moment d'une pulsion vers le haut (Burkhart et Fahien 1956)

Roux (1961 p. 6) dit que cette pulsation était obtenue à Malvési au moyen d'air comprimé commandé par un système électronique. Dans l'usine du Bouchet au moins, ce n'était pas des grilles perforées mais un intérieur d'anneaux Raschig, i.e. composés de métal finement découpé en lanière enchevêtrées au même but de disperser les phases l'une dans l'autre, et avec un TBP concentré à 40 % (in Jamrack 1963, p. 176).

La phase organique, qui contient le nitrate d'uranium, est tirée en partie haute de la colonne.

▪ La phase aqueuse est soutirée en partie basse. Elle est riche en nitrate et souvent contient de l'ordre de 2N libre de  $\text{HNO}_3$  et avec des  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , silicates, sulfate, Zr, Th, Mo, V, TR., fils de l'Uranium restant et ceux qui se sont reformés et uranium résiduel. Et c'est un déchet. Par exemple, Arvea (2016-c, p. 77) : "... récupération d'acide nitrique... abandonné à cause de la présence de calcium et l'impossibilité de recycler l'acide (présence de Tc-99)."

Par ailleurs, comme de 1960 à 1983, Comurhex a mélangé au nitrate d'uranium d'origine minière du nitrate issu de l'extraction de plutonium à Marcoule de combustible de la filière militaire et civile UNGG, 17 500 t, cela a introduit un peu de produits de fission, d'activation et des transuraniens artificiels (Davis 2001, p. 32, 83; CriiRad 2006 p. 11).

- La solution aqueuse entrée en colonne étant, disons  $\sim 350\text{g U/l}$ , à 1 kg d'uranium à extraire correspond  $1/0,35 \times 1 \approx 2,9\text{ l}$  soit  $\approx 2,9\text{ m}^3$  pour une tonne et  $34\ 000\text{ m}^3$  pour une production annuelle de 12 000 t, qui



sont essentiellement rejetés. En fait, probablement en ajoutant les quelques autres flux de l'usine, "Selon l'Andra l'activité de raffinage produit 4,5 m<sup>3</sup> d'effluents pour chaque tonne d'uranium traité. Le flux annuel en 1998 s'élevait à environ 49 000 m<sup>3</sup> d'effluents concentrés en 19 000 tonnes de dépôts nitrates contenant 3,2 t d'uranium." (in Davis 2001, p. 193). Voilà ce qui arrive pour évaporation au soleil et vent de Narbonne dans ces immenses bassins de Malvési.

La capacité de rétention des bassins B7+B8+B9 est de 210 000 m<sup>3</sup>, celle du bassin B10 de 120 000 m<sup>3</sup>, celle du bassin B11 de 70 000 m<sup>3</sup>. Orano en 2023 (p. 65) annonce qu'il y a "400 000 m<sup>3</sup> d'effluents liquides nitrates." dans ses 8 bassins.

▪ Perez (1979 p 208-209) : "L'atelier d'extraction liquide-liquide comporte trois colonnes pulsées à plateaux perforés :

- un colonne d'extraction;
- une colonne de lavage du solvant;
- une colonne de réextraction.

La régénération du solvant nécessite en outre une colonne de lavage alcalin suivie d'une colonne de réacidification."

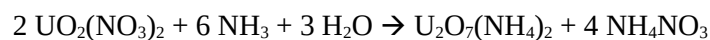
Pour l'étape et colonne d'extraction, le solvant porteur d'uranium est traité à l'eau déminéralisée par voie inverse (canada rapport O/A de 1,2), cela libère le nitrate d'uranyle UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> purifié.

Le TBP coûte cher et ils le récupèrent tant que possible. La récupération est certainement bien plus élevée à Malvési que à La Hague où il est sous une irradiation violente. Roux (1961, p. 6) : "On opère un lavage systématique du solvant après réextraction pour abaisser au minimum la teneur en uranium résiduaire... et éliminer les produits de décomposition du tributyl phosphate." (canada rapport O/A de 15). Ces produits d'hydrolyse acide du TBP sont DBP, MBP et acide phosphorique, les deux premiers formant des complexes forts avec l'uranium qui tendent à résister à la régénération.

▪ L'arrêté préfectoral du 08/11/2017 nomme une cheminée de l'atelier *Purification, Événements procédés après traitement* (la n° 13bis). Haute de 12 m, avec un débit de 2000 Nm<sup>3</sup>/h, elle est autorisée à rejeter 110 mg/Nm<sup>3</sup> de COV, Composés Organiques Volatiles ≈ 1,8 tonne/an, qui s'ajoutent au 17 tonnes de COV autorisés de la cheminée n°8 du dit atelier *Dissolution*.

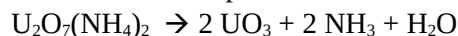
### III-2. Atelier Précipitation (jusqu'en 2017)

Jusqu'à 2016 inclus, à la purification a suivi une précipitation intermédiaire. La solution est reconcentrée, chauffée, et par injection d'ammoniac gazeux le nitrate d'uranyle est précipité sous forme de diuranate d'ammonium, DUA, réaction en plusieurs étapes (démarre en pH acide, passe par l'hydroxyde à pH neutre, termine en pH basique) dont le bilan est :



**Les voilà retournés au yellow-cake...**, mais purifié, le nitrate d'ammonium étant lui dans la solution aqueuse ("eaux mères"). Cela produit "4 500 tonnes de nitrate d'ammonium pour 10 000 tonnes d'uranium" qui, disait Comurhex (Schaal et Faron 1997) "jusque là... a été vendu comme engrais, mais comme c'est un produit secondaire de l'industrie nucléaire, il est très possible que dans les prochaines quelques années, bien qu'il contienne seulement quelque ppm d'uranium, il ne soit plus vendable.". Mais dix ans après Comurhex (2010) indique toujours sur ses schémas que ce nitrate d'ammonium part comme "fertilisant".

● Le DUA est filtré, séché, puis calciné dans deux fours électriques tunnel à sole mobile (dits *Comessa*) à une température de 350 à 450° C pour obtenir du **trioxyde anhydre d'uranium UO<sub>3</sub>** en mini-plaquettes (solide donc) de couleur orange, et relâchement d'une partie d'ammoniac :



- On traitera plus loin, avec les émissions de composés réactifs d'azote, la production de protoxyde d'azote qui se forme en même temps parce que le cake n'est pas sec en entrant dans le four, donc contient un peu de nitrate d'ammonium NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> qui en est responsable. Mais une description de la sortie des gaz de cet atelier est : "un flux à traiter très chargé en eau et de composition complexe, d'environ 17 000 Nm<sup>3</sup>/h et qu'on ne peut pas freiner sans mettre en cause le bon fonctionnement de l'atelier" (Comurhex 2010 p. 11). Par contre au sein des références d'un rapport VERITAS (2011 p. 62) sur la destruction de N<sub>2</sub>O on lit : "2 fours en dépressions afin de ne pas avoir de contamination dans l'atelier. 12 000-12 500 Nm<sup>3</sup> fixé en consigne. Afin de ne pas avoir trop de dépression afin de limiter la perte de charge."

Nm<sup>3</sup> est pour Normo mètre cubes, i.e. le volume ramené aux conditions standard, 0°C et 1013 hPa, vu que le volume d'un gaz dépend de la température et de la pression.

- Dussoubs est al. (2003) écrivent que le trioxyde d'uranium est en grains de 2 microns de diamètre. Il sera compacté ensuite pour faire des billes (poreuses) de 2,5 cm qui serviront de matériel de départ l'étape suivante de fluoration.

- Cette méthode via l'ammoniac est décrite comme aboutissant à un trioxyde  $UO_3$  avec une surface spécifique de  $15 \text{ m}^2/\text{g}$  donc très réactif, propriété qu'ils recherchent pour la suite.  $UO_3$  peut être obtenu par décomposition thermique du nitrate d'uranyle (+ A. nitrique) simple, mais la surface des grains obtenue, au moins dans les connaissances du CEA au moment du choix au passage années 1950s-1960s,  $\sim 5 \text{ m}^2/\text{g}$ , ne le rendait pas suffisamment réactif pour certains des traitements à suivre.

### III-3. Comurhex-2, dénitrification thermique, procédé ISOFLASH (2017-2018)

La principale nouveauté de CX2-Malvési est la suppression de l'étape de précipitation en diuranate d'ammonium. Un système a été installé qui fait passer le nitrate d'uranyle directement en tri-oxyde d'uranium  $UO_3$ ,

Il n'y a rien de nouveau en soi. En 1961 Vertès présentait les méthodes utilisées alors (connaissances de "recettes" expérimentales qui "fonctionnaient" beaucoup plus que de compréhension fine de leur chimie) :  
*"Les solutions industrielles peuvent se classer en deux catégories :*

*a) Avec recyclage de l'acide nitrique : le nitrate est concentré puis décomposé par chauffage en  $UO_3$  et vapeurs nitreuses, ces dernières retournant dans le circuit après transformation classique en acide nitrique; [méthode employée par les 2 plus grosses usines américaines en 1958]*

*b) Précipitation de l'uranium, soit par l'ammoniaque... précipite le diuranate qui ... peut être transformé par simple chauffage en  $UO_3$  anhydre... l'acide nitrique est perdu dans les eaux-mères."*

Suit l'explication du choix par la France de la méthode b) pendant plus de 55 ans (Vertès 1961) :

*"Les procédés opérant par décomposition thermique, tout en réalisant une économie substantielle, donnent un oxyde plus ou moins dense qui convient parfaitement à la production de l'uranium métallique, mais moins bien à la préparation d'éléments combustibles en  $UO_2$ . (On sait que l'uranium n'est pas toujours employé à l'état métallique dans les piles et que l'oxyde  $UO_2$  sous la forme de comprimés cuits à haute température présente de gros avantages, surtout quand on travaille avec l'uranium enrichi).*

*En contrepartie de son prix de revient plus élevé, l'oxyde  $UO_3$  préparé par précipitation convient à tous les usages."*

▪ Sur le procédé adopté pour CX2, un brevet avait par exemple été déposé au milieu des années 1980s mais, dit Poncelet (2020), la société Vicarb l'a développé bien avant à la fin des années 1960s pour faire réagir une phase gaz avec une phase liquide visqueuse ou chargée, au nom de Rhône Poulenc/Rhodia-chimie. Il consiste essentiellement à utiliser les tourbillons d'un gaz chaud (souvent de l'air) pour pulvériser un liquide. Commercialisé sous le nom de LEAFLASH, il a depuis des usages variés fonctionnels dans les industries agro-alimentaires et pharmaceutiques.

- Le CEA a acquis ce brevet et faisait au début des années 1990 des essais à Cadarache sur des problématiques variées de déchets nucléaires liquides, le gaz chaud étant pour cela le propane en combustion. En 1993, Augustin et al écrivent : *"Le séchoir calcinateur ISOFLASH a été développé par Rhône Poulenc... Une unité ISOFLASH s'est montrée très efficace pour la dénitrification des concentrés, incluant  $NaNO_3$ , afin de prendre le produit final dans du ciment"*.

- Poncelet (2020) : *"Un pilote a été acheté à Vicarb en 1993, implanté à Malvési il a permis un co-développement Comurhex-SGN (surface spécifique, pureté...) adaptée à la dernière étape d'hydrofluoruration de production d' $UF_4$ . D'autres applications comme la dénitrification des effluents de l'Usine TU5 de Pierrelatte de conversion de l'uranium de retraitement ont également été mises au point sur ce pilote... (...) le procédé de l'usine de Malvési a été modifié et un nouvel atelier a été construit en 2016, 2017 pour intégrer la concentration du nitrate d'uranyle, le procédé de dénitrification ISOFLASH et le traitement des gaz associé pour recombinaison et recycler l'acide nitrique....."*

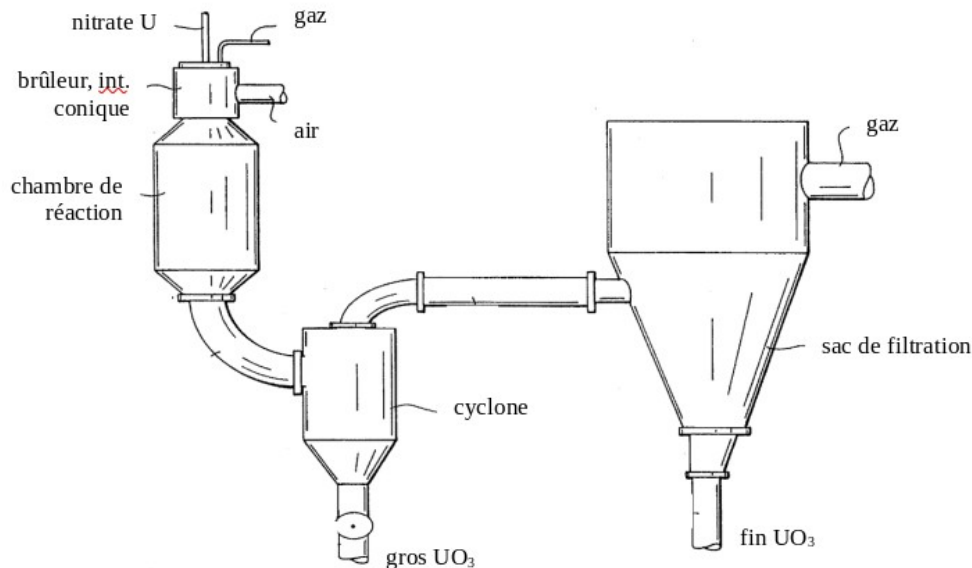


Fig. 10. Schéma de principe du "procédé pour obtenir le trioxyde d'uranium par dénitration thermique directe du nitrate d'uranyle", breveté en 1997 (Schaal et Faron 1997). A droite aperçu apparemment un cône de réception d' $\text{UO}_3$  (© Orano Malvési)

- Brun mentionne (1997, p. 1 ; on met en gras) : "**Pour des raisons économiques...** un nouveau procédé est étudié par la société Comurhex; il consiste à obtenir le trioxyde d'uranium par calcination directe du nitrate d'uranyle hexahydraté, et son développement est réalisé sur un pilote au sein du site de Malvési." p. 137 : "Le stockage à l'air ambiant, sous la pression résiduelle de vapeur d'eau à 25°C d'un échantillon de poudre issue du pilote "ISOFLASH" a mis en évidence un phénomène de vieillissement caractérisé en première observation par un changement de couleur de poudre. Le trioxyde d'uranium de couleur marron-rouge se transforme progressivement en un solide de couleur jaune. Cette transformation a été identifiée comme une hydratation du trioxyde d'uranium." Si on le réchauffe à 300 °C ça revient, mais (p. 162) : "Après un cycle d'hydratation et déshydratation successives, la surface spécifique du solide a chuté d'un facteur dix."

- Pour mémoire, à la question de l'usage de ce procédé dans un autre cadre (TDN-THOR) par les associations locales, Areva a répondu : "La destruction thermique par atomisation du type isoflash (dénitration thermique) mais ce procédé s'est révélé difficilement applicable compte tenu de la présence de nitrates d'ammonium et de sodium ;" (l'un explosif, l'autre collant).

Le problème de Comurhex était donc à double face : 1) baisser ses coûts, 2) ce qui pourrait se faire en trouvant un moyen de décomposition thermique du nitrate d'uranyle qui produise des grains de  $\text{UO}_3$  à surface spécifique importante. Cela a été obtenu sur le pilote Vicarb à Malvési suite à quoi Comurhex a déposé un brevet en 1997, présente Fig. 10. (Schaal et Faron 1997).

Une chambre de réaction cylindrique bicone est alimentée par le haut par un brûleur à structure interne conique alimenté tangentiellement en air par une pompe. Si bien que les gaz de combustion (les flammes restant internes au brûleur) en sortent en jet spiralé juste là où est émis le nitrate au centre. L'ensemble s'épand dans la chambre de réaction plus large. A l'entrée de cette chambre où se produit le contact les gaz sont à **1400 °C**, 300 m/s. Le reste du volume de la chambre sert à l'évaporation de l'eau et la formation des particules de  $\text{UO}_3$ . La température en bas de chambre est entre 350 et 500°C. Suit un cyclone dans lequel les plus grosses particules de  $\text{UO}_3$  sont récupérées. Les plus fines continuent le trajet avec introduction d'air pour refroidir jusqu'à un vaste sac-filtre conique, Fig. 10 (les vapeurs nitreuses sont récupérées, transformées puis recyclées en acide nitrique dont, dit Orano, théoriquement 50 % est recyclé).

Dans ce système, c'est un nitrate d'uranium hexahydraté qui est envoyé,  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , qui fond à 65°C. Aussi à l'entrée du processus il est amené à 80°C, concentration 1200 gU/l, densité 2,4.

Le mot *flash* vient de ce que c'est lors du contact entre une petite quantité de nitrate d'uranyle concentré avec la masse tourbillonnante de gaz de combustion chauds que la fragmentation se produit et cela sur une

fraction de seconde, et *leaf* ou *iso* parce que cela se répète en produisant des couches similaires qui ne se croisent pas.

▪ **Production** : La nouvelle usine Comurhex-2 est annoncée comme fonctionnelle à partir de l'été 2016.

Mais pour ce qui est production (en UF<sub>4</sub> final) il est difficile de faire la part des choses entre le démarrage de ce nouveau procédé (*ISOFLASH*) et ce que produit encore l'ancienne usine, la question étant de savoir quand cette dernière a cessé de produire (fin 2017 ?) et ce qui se passe à Tricastin/Pierrelatte. La production d'UF<sub>4</sub> des années 2018, 2019 et 2020 de Malvési est divisée par dix par rapport aux années antérieures (1 051, 1 404 et 1268 tonnes à comparer à ≈ 12 000 tonnes/an UF<sub>4</sub>). Selon Orano-Malvési cette baisse a été nécessaire parce que ça bloquait à Orano-Pierrelatte-Tricastin au même moment.

La production descend de 13 000 t, ancienne usine, en 2015, à 9000 t en 2016 (ancienne usine fonctionne encore cette année là au moins jusqu'en novembre; en fait un thésard CEA, Er-Rakki 2021, fait même ses calculs comme si les 9000 tonnes 2016 ont été produites entièrement par la vieille usine; par ailleurs Poncelet 2020 parle de "2016, 2017" pour la construction d'un atelier nécessaire à *ISOFLASH*). En 2017 la production est de 6500 t (mixte ancien-nouveau ?), et suit donc le creux de production de 2018 et 2019 et 2020. Un démantèlement des anciennes installations a commencé courant 2018, annoncé comme devant s'étaler sur 7 ans (Orano 2000, p. 49). La production UF<sub>4</sub> remonte à 8500 t en 2021, 9300 t en 2022.

C'est 3 isoflashs qui ont été installés, au gaz naturel, de puissance totale de 6,9 MW (Areva 2016-d p. 53). Il y avait déjà sur le site deux chaudières à gaz de 9,7 MW, une seule fonctionnant à la fois.

- Cette *Atelier de denitration thermique* à 3 isoflash (Arr. Préf. 08/11/17 § 1.2.1 et 1.2.4 et 3.2.3.6.2.) et *Dissolution* est muni de la cheminée n°23, haute de 29 m, avec le débit le plus important du site 40 091 Nm<sup>3</sup>/heure. Elle a autorisation légale d'émettre 15 mg/m<sup>3</sup> soit 4,8 tonnes de "poussières"/an avec 0,2 mg/m<sup>3</sup> d'uranium soit 65 kg/an (correspondant à 3,3 milliards de Bq avec deux premiers fils).

### III-4. Réduction et fluoruration : UO<sub>2</sub> et UF<sub>4</sub>

La suite de ce qui est fait à Malvési est dans la continuité technique de ce qui a été fait à l'usine du Bouchet dans les années 1950s. Il y a rupture d'atelier une fois le trioxyde d'uranium, UO<sub>3</sub> raffiné, obtenu. Sa poudre (obtenue par la voie de précipitation) d'un grain de 2 microns a été amenée à un compacteur qui en fait des billes poreuses de 2,5 cm. Et il faut à ce stade comme à Pierrelatte/Tricastin des réacteurs "gaz-solide" et avec des produit dangereux, acide fluorhydrique et gaz ammoniac, chauds.

Vertès avait donné le principe de cet assemblage dans sa version 1961 (Fig. 11 gauche) : "*La transformation de UO<sub>3</sub> en UF<sub>4</sub> est réalisée en un seul appareil. Il s'agit d'un four en forme de « L » dont la partie supérieure effectue la réduction UO<sub>3</sub> → UO<sub>2</sub> et la partie inférieure la fluoruration en deux stades, dont le dernier dans la partie horizontale servant de vis d'extraction.*"

● Ce sont des réacteurs tubulaires agencés en forme de L hauts de plusieurs mètres, d'un diamètre interne de 25 à 50 cm. Dedans descend lentement (ordre de 1 mm/sec) un "lit coulant" de billes de trioxyde d'uranium, pile de billes tirée progressivement par le bas via par une vis sans fin.

"*L'usine de Malvési dispose de quatre petits fours et d'un cinquième, de plus gros diamètre, qui fournit un tetrafluorure de moins bonne qualité.*" Le four LC06 est haut de 9 mètres (Patisson 2008, p. 64). Pourcelot et Le Roux (2008, tab. 2) les appellent 40, 50, 60, 70 et 80.

Ces réacteurs sont formés de plusieurs zones sur le plan chimique.

▪ **Zone de réduction**

L'oxyde UO<sub>3</sub> en billes poreuses oranges de 2,5 cm est versé dans le haut. Il descend lentement (1 mm/sec) en étant exposé à un contre-courant de l'ordre de 60 cm/sec d'ammoniac. La réduction du trioxyde d'uranium UO<sub>3</sub> en dioxyde UO<sub>2</sub> se décompose en deux étapes, avec la formation au dessus de 600°C du composé intermédiaire octooxyde de triuranium, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, puis la réduction de ce dernier en UO<sub>2</sub>. Ces deux réductions sont fortement exothermiques, mais se produit aussi une calcination de UO<sub>3</sub> en U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> qui est endothermique. Une bonne partie de cette zone est entourée de résistances chauffantes (à cause notamment des deux réactions endothermiques, craquage de l'ammoniac et calcination) mais ils doivent prendre garde à une trop haute température qui dans cette zone est supérieure à 750 °C dépassant 1000 °C au niveau le plus chaud (ils doivent éviter de ramollir leurs pastilles gênant les réactions et pouvant provoquer des blocages).

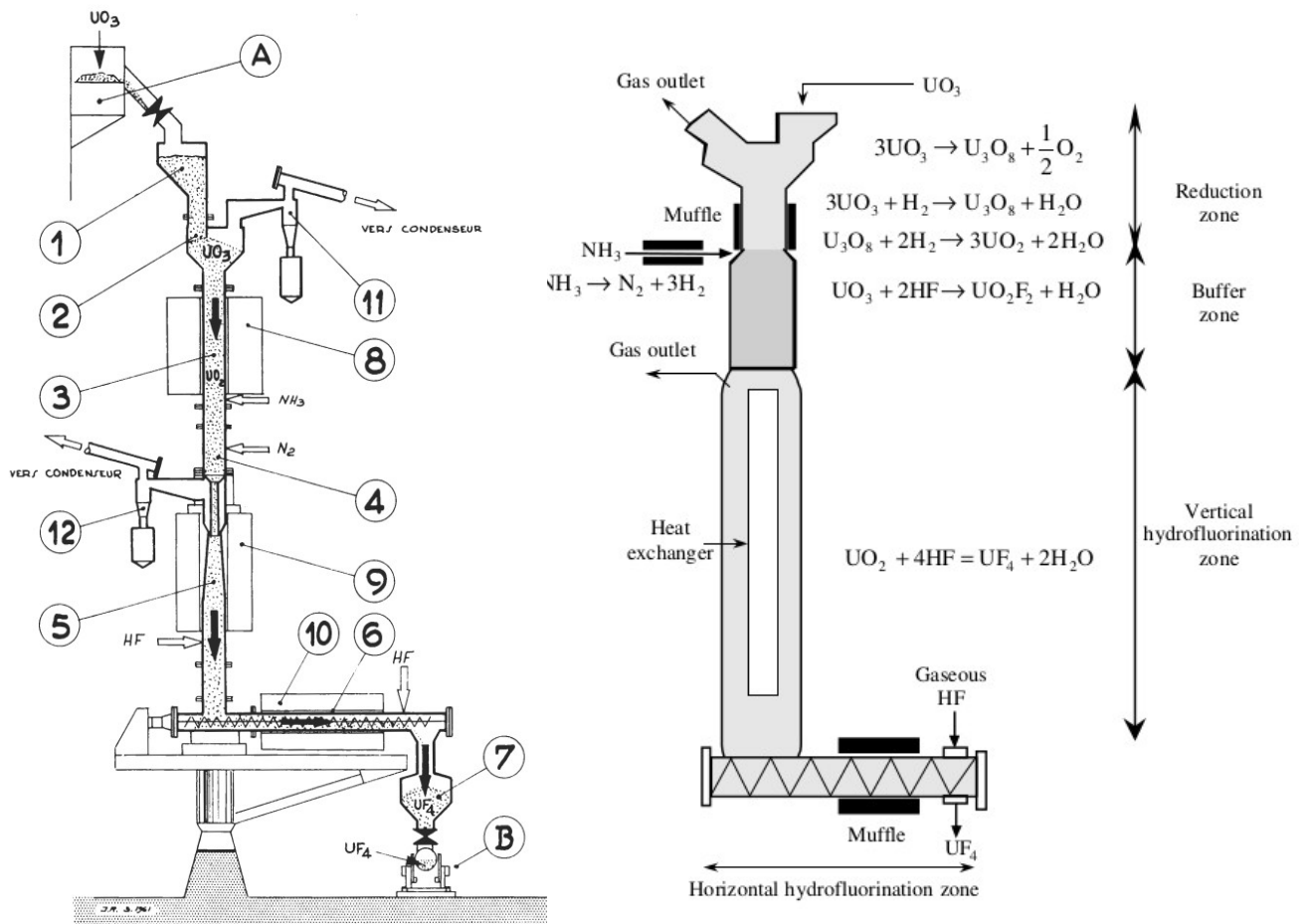
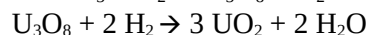
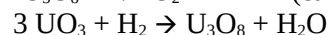
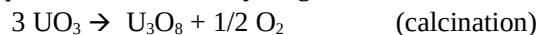


Fig. 11. Deux schémas des réacteurs tubulaires pour la transformation de  $\text{UO}_3 \rightarrow \text{UF}_4$ , à gauche époque CEA de l'usine du Bouchet (in Huet 1961, dit d'une 10<sup>aine</sup> de m de haut), à droite époque Comurhex Malvési (in Dussoubs et al 2003-II muffle=moufle=four cylindrique). Sont injectés à haute température ( $> 400^\circ\text{C}$  et  $200^\circ\text{C}$ ) des gaz très toxiques, ammoniac et acide fluorhydrique. Il y a deux événements de gaz-poussières de réactions, une au sommet de l'appareil, une au sommet de la zone de fluoruration. L'uranium démarre vers  $750^\circ\text{C}$ , pic à  $1000^\circ\text{C}$ , descend vers  $250^\circ\text{C}$  remonte vers  $750^\circ\text{C}$  dans un trajet qui dure  $\sim 6$  heures.

L'ammoniac qui contient 17,65 % d'hydrogène en poids arrive par le dessous, à partir d'un four de préchauffage adjacent, à demi craqué (à  $\sim 60\%$ , donc une température  $> 400^\circ\text{C}$ ). Il est pleinement craqué ( $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$ ) réaction endothermique, dans la zone chauffée (à  $600^\circ\text{C}$ ) qui descend plus bas que la zone où se concentrent les réactions qui reçoit donc de l'hydrogène.



UO<sub>3</sub> étant peu stable, la réduction se fait rapidement au début de cette zone à la sortie de laquelle elle est complète. "...cette calcination permet d'éliminer les impuretés contenues dans le trioxyde d'uranium, ions nitrate et eau." (Brun 1997, p. 61). Par contre il peut s'y former de l'oxyfluorure inerte (ne changera plus dans le réacteur) sous l'effet de remontées HF :  $\text{UO}_3 + 2\text{HF} \rightarrow \text{UO}_2\text{F}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

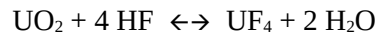
La zone d'entrée de cette zone fait aussi office d'événement gaz-poussières (incluant ammoniac, oxydes d'azote, uranium).

#### ▪ Zone tampon

Par la traversée de ce tronçon cylindrique la température redescend à  $\sim 200^\circ\text{C}$ . Il y a apparemment un refroidissement extérieur autour de cette zone. Il est apparent des schémas que à la base de cette zone doit correspondre à un étranglement, en tout cas un passage géométrique tendant à gêner la remontée des gaz de la zone sous-jacente, afin de les canaliser autant que possible vers l'événement qui se trouve en haut de la zone sous-jacente. En effet la remontée d'acide fluorhydrique dans la zone de réduction leur est indésirable.

#### ▪ Zone d'hydrofluoration verticale

Dans cette zone le volume de réaction est un anneau. Au centre a été mis un échangeur de chaleur co-axial, qui ne va pas jusqu'en bas cependant. Le lit de pastilles  $UO_2$  continue sa lente descente, exposé à un contre-courant gazeux maintenant d'acide fluorhydrique HF pour former du tétrafluorure d'uranium  $UF_4$ . Sur le schéma de Huet (1961, présente Fig. 11, et Vertès 1961 aussi) il y avait une injection de HF dans cette zone. Dans les modélisations de Dussoubs et al. (2003) des procédures actuelles la seule injection est celle au niveau de la sortie de réacteur. L'acide fluorhydrique de la zone verticale arrive alors de la zone horizontale. Comme c'est ici aussi de nouveau une réaction très exothermique la zone de réaction est refroidie, et en périphérie (par air), et au centre par l'échangeur. Mais la température atteint de nouveau  $\sim 750$  °C dans sa moitié inférieure.



Cette zone possède aussi un événement gaz-poussières (incluant acide fluorhydrique, uranium). Dussoubs et al. dans leur modélisation (2003-I, p. 2623) : "*Le gaz qui quitte la zone verticale d'hydrofluoration est partagé entre l'événement d'hydrofluoration et la fraction qui entre la zone tampon*", et (Dussoubs et al. 2003-II p. 2635) : "*... fraction des gaz d'hydrofluoration qui passent par la zone de réduction. Un bon contrôle de la valve placée sur l'événement...*". Les deux événements, réduction et fluoration doivent se rejoindre en conduit commun. Pourcelot et Le Roux (2008, tab. 2) indiquent "*Le débit des cheminées des fours LC (40, 60, 70, 80) a été estimé à 100 Nm<sup>3</sup>/h, celui du four 50 à 150 Nm<sup>3</sup>/h.*". Selon Pourcelot et Le Roux (2008, p. 11-12) les effluents de ces fours sont les grands responsables, à 87 %, de la dissémination atmosphérique d'uranium par cette usine chimique. Ce n'est pas du tout ce qui ressort des autorisations préfectorales qui traitent les isoflashes comme les plus gros émetteurs d'uranium dont les sources potentiellement importantes sont multiples dans l'usine voir Table 17). L'événement de la zone procédé de ces fours est la cheminée n° 21, haute de 30 m, au débit de 3973 Nm<sup>3</sup>/h.

Les arrêtés préfectoraux des 17/11/17 et 26/07/18 (Table 2.) y autorise un lâcher jusqu'à 16 tonnes par an de NOx, 1,6 tonne d'ammoniac, 320 kg de chaque acide fluorhydrique et chlorhydrique ainsi que de "poussières", 6,4 kg d'uranium et même 3,5 tonnes de Composés Organique Volatils.

Paramètres	concentration mg/Nm <sup>3</sup>	kg par an (337 j)
poussières	10	321
NOx	500	16 067
NH <sub>3</sub>	50	1606
HF	10	321
HCl	10	321
uranium	0,2	6,4
radioactif	10 Bq/m <sup>3</sup>	321 millions Bq
COV	110	3 535

#### ▪ Zone d'hydrofluoration horizontale

Il s'agit d'une vis d'Archimède (vis sans fin dans un conduit, qui, pour un composé solide, agit comme une pompe aspirante) qui amène le tétrafluorure  $UF_4$  latéralement vers la sortie. Ils injectent de l'acide fluorhydrique gazeux à contre courant à partir d'un point d'injection près de la sortie, dont ils gardent confidentiel le débit. C'est du HF pur puisque (Dussoubs 2003-I p. 2621) : "*quelques pourcents de N<sub>2</sub> inertes sont introduits dans la zone d'hydrofluoration horizontale avec HF...*".

Ce conduit horizontal, la zone principale de réaction exothermique passée, doit être gardé chaud, il est entouré par un four sur sa plus grande partie. La température chute là où ce four enveloppant s'arrête d'autant que l'acide fluorhydrique est injecté là à 200°C (Dussoubs 2003-II, tab. 1). L' $UF_4$  sort en granules d'une taille moyenne de l'ordre de 6 mm. C'est un constat et il est supposé que la diminution de taille par rapport au 25 mm de l' $UO_3$  de départ se fait dès le début par désagrégation dans la zone de réduction (Dussoubs et al. 2003).

La traversée de l'ensemble du réacteur par l'uranium dure  $\sim 6$  heures. L'intérieur de ces réacteurs étant un petit enfer invisible, ils peuvent seulement suivre des températures très ponctuellement par des

thermocouples. Aussi l'effet d'un réglage (heureux ou malheureux) dans la zone de réduction par exemple, ne sera visible sur le produit final UF<sub>4</sub> que plusieurs heures plus tard.

- Le tetrafluorure UF<sub>4</sub>, est un solide vert-bleu. Orano indique qu'avec UF<sub>4</sub> sort 1,5 % UO<sub>2</sub> et 1,5 % de difluorure d'uranyle UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (jaunâtre).
- Il faut un stock d'acide fluorhydrique HF que ça aussi, les arrêtés préfectoraux gardent confidentiel. Areva (2016-d, p. 51) dit qu'il peut être de 336 tonnes. On sait pour sûr que le 10 mars 2001 il y a eu une livraison de 3 × 55 tonnes = 165 tonnes vu que ces wagons ont déraillé en gare de Narbonne (cf. § VIII-5-2.). Le point de fusion de l'acide fluorhydrique est - 84°C, son point d'ébullition (s'évapore à) + 20°C. Aussi dans cette région chaude le réfrigérer peut éviter des soucis. Bien que ce soit une consommation d'énergie de plus, HF est réfrigéré depuis 1994.

La consommation annuelle de HF par Malvési doit ou peut ressembler à quelque chose du type 5000 tonnes (achetés notamment au chimiste l'allemand Bayer) dont 1000 perdues à cet endroit là (4000 + 200 + 775 de) :

1) quantité de HF pour ce qui quittera Malvési pour Pierrelatte-Tricastin :

Pendant une paire de décennies le site a produit annuellement ~ 12 000 tonnes d'uranium sous forme de UF<sub>4</sub> ce qui correspond à ~ 15 800 t UF<sub>4</sub> dont 24 % sont du fluor, F, soit ~ 3800 t, soit (× 20/19) 4000 tonnes d'acide fluorhydrique HF par an ces années là.

2) Une partie du HF s'échappe dans l'atmosphère ce qu'on voit en § IV-5. : c'était 290 kg/an avant 2010, > 100 kg dans les années 2010s, enfin l'arrêté préfectoral du 08/11/2017 autorise 250 kg/an pour le site, tout en autorisant 320 kg HF/an pour la seule cheminée de ces fours...

3) Enfin une quantité est captée dans la colonne de traitement/épuration des gaz de cet atelier des fours puis traitée à la chaux éteinte pour précipiter de la fluorine, CaF<sub>2</sub>. Areva (2016-a p. 56) "*Les quantités de déchets présents actuellement dans l'entreposage [B1 et B2 transformés en INB n° 157] sont estimées à :*

- boues de fluorine dans les bassins B1/B2 : 76 604 m<sup>3</sup>, (...) [pour un vol. total déchet 240 000 m<sup>3</sup>, Fernandes 2017 p. 23]

En Outre... :

- boues de fluorine déshydratées issues de la vidange des bassins de décantation B5 et B6 : 27 000 m<sup>3</sup>,

Si l'on divise ces (76 400 + 27 000 ~) 100 000 m<sup>3</sup> par les 42 ans principaux de production 1975-2017 (voir Fig. 6) cela fait plus de 2 400 m<sup>3</sup> en boue de fluorine par an (plus car les 27 000 ont été déshydratés) soit ~ 220 m<sup>3</sup>/mois sur 11 mois ou ~ 7 m<sup>3</sup>/jour, boue qui représente une part perdue de l'acide fluorhydrique qui a été consommé dans le procédé et qui part en déchet (radioactif car il n'y a pas que la fluorine).

Si 20 % de ce volume est CaF<sub>2</sub>, 1,4 m<sup>3</sup>, densité 3200 kg/m<sup>3</sup> soit 4500 kg dont 0,49 est du fluor ~ 2 200 kg par jour soit (×20/19) 2,3 tonnes de HF perdu par jour, i.e. 775 tonnes sur 337 jours.

La fabrication de HF en amont déjà a un coût, il faut 2,8 tonne d'acide sulfurique et 2,2 tonne de fluorine pour faire un tonne de HF et chauffer ces grosses quantités à 300 °C et ensuite au contraire les refroidir avec une source froide. Les étapes nécessaires de purification avant et après sont nombreuses.

Une grande prudence est de mise : "*Bien que l'acide fluorhydrique soit un acide faible [ce qui veut dire peu dissocié dans l'eau] c'est une des substances connues les plus toxiques et corrosives connues, capable d'attaquer le verre, les métaux, le béton et la matière organique. Sa manipulation est bien plus dangereuse que les autres acides parce qu'il est très facilement absorbé à travers la peau, et même un contact bref peut amener à une sévère brûlure et nécrose de la peau et des tissus profonds, et à endommager des os par décalcification par formation de CaF<sub>2</sub> à partir du phosphate de calcium.*" (Atkins et al. 2010, p. 422). Il y a une cheminée spécifique pour la zone de stockage/dépotage du HF, la n°7, haute de 15 m, au débit de 964 Nm<sup>3</sup>/h. L'arrêté préfectoral du 17/11/17 y autorise un relâché HF de 2 mg/Nm<sup>3</sup> soit de 16 kg/an (cela à coté de 1,6 kg de poussière d'uranium et 116 kg de "poussières" autres).

- Areva 2011 (p. 13) : "... atelier de **fluoration**. En 2010 le bâtiment a été renforcé pour pouvoir accueillir le **sixième four**... Cet atelier a vu son toit réhaussé, après une opération complexe de grutage.". Par "four" il faut comprendre réacteur complet de fluoration puisqu'on a vu qu'il y en avait déjà cinq.

### III-5. Uranium métal

L'uranium dans les réacteurs UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz), non enrichi était sous forme métallique pour qu'il n'y ait pas de dilution de la faible quantité d'U-235 par de l'oxygène (comme avec UO<sub>2</sub> qui nécessite un combustible enrichi en U-235). Procéder avec du calcium-métal (UF<sub>4</sub> + 2 Ca → 2 CaF<sub>2</sub> + U) comme il a été fait aux débuts au Bouchet était techniquement facile parce que la chaleur de réaction est suffisante pour que le métal uranium produit le soit sous forme fondue. Il n'y avait qu'à récupérer le lingot

(de la taille/poids qu'ils voulaient, pas trop gros vu la vivacité de réaction) en fond du creuset garni de fluorure de calcium fritté . Mais le calcium-métal est particulièrement cher et la chaleur de réaction avec le magnésium-métal qui l'est 8 fois moins n'est pas suffisante d'où la nécessité de système de chauffage.

A Malvési l'uranium métal a donc été produit jusqu'en 1991.

Perez 1979, p. 210 : pour le métal, "un mélange intime d' $UF_4$  et de grenaille de magnésium est placé dans un creuset en acier. Le creuset est introduit dans un four électrique. La montée en température, très lente jusqu'à  $600^\circ C$ , atteint en quelques minutes  $1500^\circ C$  lorsque la réaction s'amorce. L'uranium (point de fusion :  $1130^\circ C$ ) s'accumule au fond du creuset tandis que le fluorure de magnésium (point de fusion  $1260^\circ C$ ) surnage. On sort le creuset qui est placé sur une rampe de refroidissement. On ouvre le creuset, on extrait le lingot d'uranium qui est débarrassé des ses scories et décapé par l'acide nitrique qui élimine en particulier le magnésium qui, parfois le recouvre partiellement. Après sablage le lingot est prêt pour expédition. Le fluorure de magnésium récupéré est utilisé pour fabriquer une brasque réfractaire destinée à protéger les parois du creuset." . diamètre creuset 60 cm, h 1,88 m, vol. 560 l donne lingot de 450 kg (la densité très élevée du métal est de 19).

### III-6. Un nouvel atelier de poudre de dioxyde d'uranium, $UO_2$ , filière plutonium, NVH

Bien qu'une construction comme celle-là se projète sur des années, c'est par une « annonce-surprise », un bref arrêté préfectoral "complémentaire" si discret au coeur de l'été, 26 juil. 2018, qu'a été annoncé la construction d'un atelier dit NVH (Nlle Voie Humide) pour mettre de l'uranium sous forme de dioxyde  $UO_2$  (300 t/an).

C'est un un espace "au coeur du site", 500 m<sup>2</sup>, 12 m de haut, transformé avec étanchéification du bâtiment, amélioration du système de traitement des gaz situé au même endroit avec une cheminée haute de 20 mètres, arrivée de cuves de dissolution neuves, etc.. Cette unité se distingue parce qu'elle vient renforcer **la filière plutonium**, celle de Orano-La Hague-Cottentin qui fait binome via traversée en diagonale de l'hexagone, 1030 km, avec Orano-Melox-Marcoule. Il est en effet annoncé que ce dioxyde d'uranium est destiné à Melox de Marcoule. Et chose qui ressemble à du Melox, sont exhibées des photos de boîtes à gant de manipulation (généralement utilisées pour le plutonium) et du yellow cake manipulé par commandes mécaniques derrière des fenêtres protectrices, à Malvési (Fig. 12.).



Fig. 12. Un nouvel atelier, dit NVH, boîtes à gant, yellow cake purifié sous fenêtres de protection, du Malvési qui ressemble à du Melox et qui est pour Melox (Orano 2023, p. 16)

L'information écrite a été maintenue minimaliste : des nitrates d'uranium y seront transformés en dioxydes, par endroit il est mentionné qu'il s'agit d'uranium appauvri de Tricastin. Mais le schéma dans Orano 2023 (p. 12) représente l'arrivée d'octooxyde de triuranium  $U_3O_8$  à partir de l'atelier de défluoruration de Orano-Tricastin. Et ce qui est fait alors ressemble beaucoup à du raffinage en plus d'une transformation. Pourquoi faut-il dissoudre à l'acide nitrique cet  $U_3O_8$ , et précipiter le nitrate d'uranyle obtenu à l'ammoniac en diuranate d'ammonium, yellow cake, pour revenir ensuite au point de départ : du  $U_3O_8$  par calcination ? (et seulement ensuite cet  $U_3O_8$  "re"-raffiné est réduit à l'hydrogène par craquage d'autre ammoniac dans un four en  $UO_2$  et les fûts de fine poudre noire envoyés à Melox). Autre étrangeté de ce nouvel atelier, un débit d'émission de 10 000 m<sup>3</sup>/h de sa cheminée de rejet.

L'association locale Rubresus déplore (2019) : "la demande d'autorisation de l'installation NVH a été instruite sans étude d'impact ni enquête publique... Il est remarquable de constater la célérité de l'instruction de ce dossier : moins d'un mois entre la dispense d'étude d'impact par l'AE, l'examen du projet d'arrêté préfectoral par le CODERST et l'arrêté préfectoral d'autorisation." . Et selon l'avocat d'Orano lors d'une séance d'Appel au tribunal de Marseille du 12/04/2024, NVH était déjà démarré (Rubressus 2024).



- Il y a déjà tout un historique de production d'UO<sub>2</sub> à Malvési à partir de sources diverses.
  - Dans le passé, a écrit Davis (2001, p. 13) : "*Une partie de l'U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> [en U appauvri] provenant de l'usine W [à Pierrelatte-Tricastin] est transformé en nitrate d'uranyle à Malvesi pour l'expédition vers TU2 [Bladier 01]. (...) "L'atelier TU2 de Cogema à Pierrelatte produit l'UO<sub>2</sub> pour le combustible Mox des réacteurs à eau pressurisée, mais à partir d'uranyle."*. Aussi Pourcelot (2009, p. 4) : "*... rejets d'uranium appauvri, effectués lors des opérations conduites à Malvési en 2008, sur des stocks d'oxydes d'uranium provenant de Bessines;*".
  - Mais Malvési a aussi déjà eu à travailler de l'uranium de retraitement, URT (i.e. marqué aux radioéléments artificiels). "*Entre 1960 et 1983, l'usine Comurhex de Malvési a converti 17 500 t d'URT sous forme de nitrate d'uranyle, issu du combustible des réacteurs graphite-gaz retraité à Marcoule...*" (Davis 2001, p. 83). Et plus loin : "*- Conversion d'uranium de retraitement se présentant sous forme de nitrate d'uranyle. De 1960 à 1983, Malvési a converti en uranium métal et en dioxyde d'uranium (UO<sub>2</sub>) de l'uranium appauvri sous forme de nitrate d'uranyle en provenance de Marcoule. Des 17 500 t converties, il a fallu raffiner 6500 t vraisemblablement le nitrate d'uranyle provenant du combustible «civil »"* (Davis 2001, p. 191).
- La cheminée de ce nouvel Atelier NVH, la n° 36, a reçu autorisation légale par la préfecture à relacher par an, 16 tonnes de protoxyde d'azote, 8 tonnes de NO<sub>x</sub>, 400 kg d'ammoniac, 16 kg d'uranium..., cela pour 300 kg d'UO<sub>2</sub> (Table 3).

Paramètres	concentration mg/Nm <sup>3</sup>	kg par an (337 j)
NO <sub>x</sub>	100	8 088
N <sub>2</sub> O	200	16 170
NH <sub>3</sub>	5	404
poussières	5	404
uranium	0,2	16

### III-7. TDN, détruire le nitrate

#### III-7-1. Coincés

Bien qu'OranoReva ait construit discrètement deux nouveaux bassins "en bas" ("Réservoir Sud", Fig. 34), il commençait à être coincé. Arrive un moment où ses jus sont si concentrés dans ses vastes bassins que même les forts soleil et vent du Languedoc n'y suffisent plus : "*il n'est plus possible de réduire le volume résiduel d'effluents.*" écrit Areva (2016-a, p. 1), "*Cette situation n'est... pas tenable dans le temps.*" (Mr Ligney de Comurhex, CLIC 2010 janv, p. 13; voir § VII-4). Ou Areva (2016-c p. 16) : "*L'évaporation naturelle... trouve... ses limites (concentration d'un facteur 10 environ) du fait que plus la solution est concentrée, moins elle échange d'eau avec l'air extérieur, ce qui limite sa concentration maximale, dans les conditions climatiques locales, à environ 800 g/l de nitrates.*". Et Areva (2016-b p. 5) : "*Les effluents présents dans les bassins d'évaporation sont des effluents aqueux concentrés en sels, essentiellement en nitrates (nitrate de calcium, d'ammonium, de sodium...) et renfermant des traces de radionucléides. La teneur en nitrate est de 80 à 800 grammes par litre.*".

Il s'agit des "**bassins d'en bas**" (cf. § VII-4), Orano (2023 p. 65) annonçant "**400 000 m<sup>3</sup> d'effluents liquides nitrates.**" qu'ils, ou la région, traînent maintenant comme un boulet.

Les "bassins d'en haut" : a) l'INB n°175 qui est aussi de 400 000 m<sup>3</sup> (cf. § VII-3), et b) les bassins B3 à B6 n'étant compris ni dans l'un, ni dans l'autre, c'est autre chose.

- Il faut évacuer ça pour pouvoir continuer et accroître la production, rendre effective cette augmentation de la capacité de l'usine chimique uranium actée par des arrêtés préfectoraux du 08/11./2017 et 26/07/2018.

#### III-7-2. Historique technique du procédé THOR<sup>®</sup>

- Le procédé THOR<sup>®</sup>, *Thermal Organic Reduction* est une hydro-pyrolyse, i.e. le fluide porteur est la vapeur d'eau ± gaz neutre (comme N<sub>2</sub>), avec craquage par la chaleur, en lit fluidisé, et en milieu réducteur via une substance carbonée ou du fer.

Comme son nom l'indique, c'était pour des matières organiques, une problématique des déchets du nucléaire.

→ ① Première application commerciale de THOR<sup>®</sup> nommé *Studsvick Processing Facility*, SPF, dans la bourgade de Erwin en bordure Est du Tennessee (6000 habitants) qui a démarré en 1999 mais les débuts ont surtout été des corrections/modifications. Dans cette bourgade se trouve l'usine *Nuclear Fuel Service*, NFS, filiale de *BWX Technologies*, groupe privé qui fait des réacteurs atomiques pour sous-marins et porte-avions et leurs combustibles en plaques très enrichies en U-235. Cette usine NFS n'a pas une réputation sans taches (Forbes 30/05/2011, [là](#); *In These Times* 01/11/2023, [là](#)). Sur photo satellite et autres on reconnaît le bâtiment SPF de Studsvick, qui est assez haut, proche de cette usine, qui elle est intégralement entourée d'un mur plein. On peut supposer que ce choix géographique dans cet endroit un peu loin de tout a à voir avec ce gros voisin mitoyen comme client.

- Cette unité était pour des déchets organiques radioactifs : résines échangeuses d'ion (en général du styrène avec du divinylbenzène), huiles, solvants, filtres, plastiques, carbone en poudre...

- C'est un procédé à lits fluidisés à deux cuves-réacteurs en série. Le système est maintenant en légère dépression par une pompe située en aval (après filtrage des poussières). La première cuve-réacteur est un *pyrolyseur* lit fluidisé (sera appelé DMR par la suite) diamètre 1,1 m d'une capacité de 200 litres, qui peut travailler jusqu'à 800 °C avec de la vapeur d'eau surchauffée, dans lequel les matières organiques sont craquées en gaz. Le lit fluidisé est de l'alumine broyée sphérique (Areva 2016-c p. 68). Puis les résidus solides et vapeur sont envoyés par un cyclone dans un *reforming contactor*, deuxième cuve réacteur plus petite, pour former là un nouveau lit fluidisé et pouvant aussi être gardé jusqu'à 800°C, celui-là par chauffage électrique. Dans ce deuxième réacteur le procédé passe en mode oxydant avec apport d'oxygène pour oxyder les particules carbonées en gaz. Ensuite c'est le traitement des gaz (ceux issus du pyrolyseur et ceux issus du réformeur). Ils sont filtrés puis chauffés- oxydés jusqu'à 1200°C pour produire du CO<sub>2</sub>. Ces gaz particulièrement chauds passent dans un lit où ils évaporent un excès de solution d'eau qui est ramenée là de l'épurateur suivant où un ajout de soude converti gaz du Soufre et halogène en sels qui passent en solution dans la vapeur/eau. Puis les gaz passent dans un condenseur (avec un circuit d'eau comme source froide), et à l'intérieur duquel l'eau de procédé condensée est récupérée. Puis les gaz sont recompressés à pression atmosphérique. L'eau concentrée en sels de l'évaporateur est apparemment retirée de temps à autre, passe dans des échangeurs d'ions métalliques qui ramassent la radioactivité, puis sont séchés, sels séparés décrits peu radioactifs.

On remarque qu'il n'y avait rien de spécifique pour l'azote. Les produits solides que cette SPF sortait, désormais pauvres en carbone étaient sous forme de poudre, devant être mise dans des containers spéciaux avec filtres très haute efficacité pour le transport vers un centre d'enfouissement (Barnwell contre le Savannah River site, Envirocare/Clive en Utah, gérés tous les deux par *EnergySolutions*, ou Hanford).

- Cette unité SPF s'est montrée "viable", dit Studsvick qui cherche à vendre ses brevets, mais c'était pour pas tout à fait 5000 tonnes en 7,5 ans. Il n'y a guère d'information externe (notamment environnementale et déchets secondaires) mais Studsvick a reconnu que les problèmes délicats, ceux pour que ça fonctionne, ont été nombreux (colmatages, grumeaux dans le lit fluidisés, etc.; Mason et al. 2003). Studsvick a abandonné cette unité d'Erwin au bout de 14 ans, en 2014, en la vendant à *EnergySolutions* en un package incluant le droit exclusif pour *EnergySolutions* de THOR sur l'Amérique du Nord et la Chine (pas sur l'Europe). Suite à cela le nombre d'employés de Studsvick aux USA était de dix personnes (WNN 12/02/2014).

→ ②. Deuxième application THOR<sup>®</sup> au Idaho National Laboratory, INL, nommée *Integrated Waste Treatment Unit*, IWTU, construite pour un total prévu de ~ 4000 m<sup>3</sup> (400 000 gallons) de déchets spécifiques avec du sodium, cette fois à nitrates, qui traînent dans des cuves souterraines (probablement assez radioactifs mais de composition chimique étroite puisque ça semble résulter de la décontamination de l'ancienne usine de retraitement du INL). La construction a pris 4 ans, de 2007 à 2011, \$ 450 millions. C'est toujours un système à deux cuves-réacteur comme à Erwin, la première (diamètre de base 1,22 m) en procédé réducteur, la deuxième (diamètre de base 1,37 m) en procédé oxydant (2 à 10 % d'oxygène en excès) et cette deuxième là en mode *auto-thermique* par combustion de carbone rajouté à ce niveau pour un température de 800 à 1150 °C afin de réduire le carbone en CO<sub>2</sub>; le lit fluidisé de ce deuxième réacteur est constitué principalement par de la poudre calcaire qui permet d'absorber les gaz acides. Dans le traitement des gaz ensuite a été ajouté un piège à mercure. Cette construction avait été précédée par quatre essais trouvés concluants sur des succédanés, deux par Studsvick chez Hazen à Denver sur cuves d'un diamètre de 15 cm, et deux au INL sur cuves de 15 et 8 cm de diamètre.

De 2012 à 2023 le IWTU a été testé avec des succédanés de déchets. Un grand nombre de choses ont alors déjà été modifiées. Le site internet Idaho E.C..en 2024 ([là](#)) annonce qu'une première campagne de 5 mois a eu lieu en 2023 pour ~ 310 m<sup>3</sup> (68 000 gallons) après quoi il a fallu faire de la "maintenance", changer des filtres, etc.. Le redémarrage à peine commencé il a fallu de nouveau stopper l'usine pour un "*besoin de*

*maintenance additionnelle*", ils nous disent alors : "On s'attend à ce que le traitement des déchets au sodium prenne de 3 à 7 ans." (l'espoir, pour 4000 m<sup>3</sup>).

- Une expérimentation d'une dizaine de jours a été réalisée dans l'optique Malvési en 2008 à Golden (banlieue de Denver, 8000 km de Narbonne). C'est dans le laboratoire d'une autre compagnie privée, Hazen, avec laquelle travaillait Studsvik qui avait là une cuve lit fluidisé d'un diamètre de 15 cm, qui a servi aussi pour des expériences avant construction du IWTU. Ont été traités 17 tonnes d'une solution artificielle de nitrates à 425 g/l. Cela a produit 10 tonnes de *déchets* (≈ 60 % de déchets en poids mais plus dans la mesure où il y a de l'eau au départ). Le réducteur utilisé, et en même temps fournisseur d'énergie, a été du charbon colombien. En remplacement du Tc-99 y a été mis du Rhénium non radioactif, les deux ayant un comportement chimique très proche. Apparemment lors de cet essai une partie seulement du Re était dans le *déchet* solide, et il est suspecté que des fines de composition non connue ont traversé les filtres Très Haute Efficacité. 5 % du lit fluidisé a formé des boulettes. Sinon, problème basique, si l'on reste à température "basse" (non donnée, 750 °C ?) du CO n'est pas éliminé (en CO<sub>2</sub>) et si on est en température haute il est émis une quantité non négligeable de NOx.
- Ce succédané de *déchet* a été étudié à Orano-Beaumont-La Hague où il a été constaté que avant mise en *stockage* l'addition d'un adjuvant s'avèrait nécessaire : 2 % de plastifiant à béton, pozzolith (en général vendu liquide prêt à l'emploi).
- Pour le Tc-99, deux expériences très artisanales à l'échelle de la paillasse de laboratoire (un litre ? moins ? plus ?) avec chauffage extérieur (donc loin du processus envisagé) et temps court ont été faites en 2011. Areva (2016-d, p. 47) dit que ce petit travail a été fait par Studsvick. Comme le mercure, rhénium et technétium sont des métaux volatils. Il faut lutter contre ça (contrôle stricte de l'oxygène, de la température...), une série d'hypothèses sur son comportement a été émise et reste à démêler. Il est avancé qu'une partie minoritaire du Tc-99 contenue dans le déchet solide devrait rester lixiviable.
- Une deuxième manip a été faite chez Hazen aux USA en mars 2012 en modifiant des paramètres, avec solution synthétique devant représenter les lagunes de Malvési (et en imposant un rapport Ca/alcalins pour la tenue du produit final). Dans ces essais il n'y a qu'une (seule) cuve-réacteur. Les changements apportés alors ont été surtout après la cuve-réacteur, i.e. dans le traitement des gaz, avec dans le *flow sheet* refroidissement suivi d'une filtration après quoi ils ont testés sur ces 6 jours : i) soit un *thermal oxydizer* pour le CO seul, soit ii) un DeNox (traitement des NOx) suivit d'un thermal oxydizer. Areva (2016-c p. 74) commente qu'il est "remarquable" d'avoir des émissions gazeuses stables en sortie de la cuve pendant 6 jours ce qui n'avait pas été le cas dans le premier essai comme cela n'avait pas été dit (ils montrent des figures mais qui ont été floutées, illisibles). Pour le traitement des gaz après la cuve, ils se contentent d'un "a donné satisfaction" mais qu'il y a des changements à faire pour NOx, on les cite plus loin dans la section "Technique..." qui suit.

### III-7-3. Malvési, ce qu'ils prévoient

- Au niveau de la cuve DMR

- Le procédé prévu est une simplification à une seule cuve-réacteur nommée depuis DMR, *Denitration and Mineralisation Reformer*. C'est donc un procédé différent des deux seuls exemples existants, sans antécédent. Pour un milieu réducteur il ne faut pas, peu, d'air. Il s'agit de craquage, i) ce qui ne se produit qu'à une température élevée, de l'eau **surchauffée à 575°C** avec ou sans azote pur, N<sub>2</sub>, ii) que favorise une pression basse (vu que plusieurs molécules seront formées à partir d'une seule), le système est maintenu sous un léger vide principalement par une pompe qui se trouve plus loin en aval dans le système de traitement des gaz.

L'hydrocraquage est utilisé en industrie pétrolière (avec des conditions P,T très différentes), pour produire des molécules légères recherchées (hydrogène et coupes légères d'hydrocarbures). Ici toute l'énergie à être dépensée ne sera que pour détruire.

- Mais avant cela cette eau utilisée dans dans le DMR, 25 000 m<sup>3</sup>/an (sur un total de 80 000 m<sup>3</sup>/an nécessaire annoncé pour l'ensemble du procédé TDN, "cimentation" rédidus, refroidissements...) doit passer dans un système d'osmose inverse et de résines échangeuses d'ions. Sinon elle générera des dépôts dans les fins conduits nécessaires, voir apportera des ions non désirables (en tour de trempe). La vapeur d'eau a un rôle de dilution du produit à craquer.

- Si le DMR n'est pas une chaudière au sens banal du terme, il lui faut une chaudière en amont pour lui fournir en permanence l'eau surchauffée à 575°C, on est dans un procédé gourmand en énergie (c'est avant la rencontre avec le lit fluidisé que la vapeur doit être surchauffée). La vapeur nécessaire, 1,5 à 2 tonnes/heure

est produite en fonctionnement lors du refroidissement des gaz à la fin de ce procédé (chaleur qui a été apportée par le charbon et le gaz). "la puissance calorifique totale de combustion... charbon et le gaz naturel... n'excède pas 9,7 MW" (Areva 2016-d p. 56), cela 24h/24, 7j/7, 337 jours/an pendant 28 ans pour le contenu actuel des bassins B7 à B12. Il reste encore à surchauffer cette vapeur mouillée (passage dans des tubes radiants ?).

- Le réducteur de base est le carbone, pour capter les oxygènes, celui de l'eau et celui des nitrates/nitrites : un bon charbon qui fait peu de cendres est moins cher que tout autre système;

- Le lit fluidisé est un très bon moyen de mélange entre solides et gaz. Pour réduire les nitrates, la surface d'échange doit être importante. Les particules de charbon permettent d'avoir un lit (c'est un classique des chaudières à charbon propre au fonctionnement tellement plus simple, [là](#)). Mais Orano-Reva prévoit d'y mettre aussi "des billes de céramique dénomées « alumine »" (Areva 2016-d p. 38-409), un silo d'« alumine » est prévu.

- Il faut officiellement en moyenne 280 kg par mètre cube traité de ce charbon de qualité, ce qui fera 110 000 tonnes pour détruire ces vieux 400 000 m<sup>3</sup> de nitrates d'Areva. L'oxydation du carbone (avec l'oxygène de l'eau ou des nitrates/nitrites) est une réaction exothermique, qui apporte de la chaleur au système. Mais sont injectés dans le DMR les solutions aqueuses à traiter et argile froids, et il faut évaporer et chauffer tout ça. Il faut brûler du charbon en plus ce qui est fait en injectant par ailleurs un peu d'un mélange 50 % oxygène-air (nommé ATG, pour fonctionnement Auto-Thermal Gaz) afin de piloter la température en fonctionnement auto-entretenu. La quantité d'ATG doit être étroitement calculée, si le milieu n'est plus réducteur, l'ensemble des réactions et produits, gazeux et solides, ne sera plus ce qui est annoncé.

- La réduction de l'eau par le carbone,  $H_2O + C \rightarrow H_2 + CO$ , est une réaction fortement endothermique. Elle donne de l'hydrogène, H<sub>2</sub>, un réducteur fort;

- Les nitrates NO<sub>3</sub> sont réduits, en NO<sub>2</sub> puis en NO puis en N<sub>2</sub>, c'est un but; c'est exothermique mais apparemment sans un grand rôle. Il est dit que cette réduction est proportionnel à la quantité d'hydrogène présent. Il a aussi été dit qu'un catalyseur métallique améliore grandement les choses, il est souvent question d'un oxyde de fer;

- Il faut de la kaolinite, minéral argileux Al<sub>4</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>], qui est (quand pur) sans alcalin, à une granulométrie de 20 µm (Areva 2016-d p. 43). Il en faut 172 kg/m<sup>3</sup> de nitrate traité donc ≈ 69 000 tonnes doivent être amenées pour détruire les vieux 400 000 m<sup>3</sup> de nitrates d'Areva.

Aux températures annoncées par Sudsvick dans le DMR, qui vont de 600 à 850°C (pour donner une idée à ces températures une barre de fer est rouge cerise), et Areva donne 780°C pour un Malvési, il y a formation de nouveaux composés cristallins à partir de la kaolinite et atomes environnants : silicate de calcium, aluminosilicate de calcium, alumino-silicate de sodium et potassium (nephelinite), alumino-silicate des sulfate et sodium (noseane), alumino-silicate de sodium et chlore (sodalite) et bien d'autres... Ces particules en se formant sont un constituant des lits fluidisés. L'un de ces produits, le silicate de calcium a été trouvé avoir des propriétés cimentaires (en ajoutant de l'eau);

S'il n'y a pas assez de kaolinite, des alcalins comme le sodium peuvent former des sels, qui fondent à basse température, provoquant des agglomérats dans le lit fluidisé;

- La partie supérieure du DMR est plus large pour que les particules perdent de la vitesse et au delà d'une certaine taille retombent. Le DMR de Idaho (c'est pour 4000 m<sup>3</sup>) pour un diamètre de base de 1,22 m, est haut de 7,6 m. Le DMR est pris en relais au sommet par des cyclones qui maintient la dépression, d'efficacité calculée pour évacuer gaz et particules fines (15-20 µm);

▪ Après le DMR, traitement des gaz

- Dans tous les cas il faut ramasser déjà le gros de la poussière qui quitte le DMR, mais pour protéger les systèmes de filtration il faut refroidir la masse des gaz-poussière. C'est prévu par une injection d'eau en interne dans le flux, eau qui consomme de l'énergie thermique en s'évaporant, avec ± de l'air (qui à ce stade peut oxyder en gaz des particules restantes de carbone) dans une "tour de trempe". A Idaho la température visée à ce stade est 180 à 250°C (Thor T.T. n.d. p. 18). Ce n'est pas clair pour Malvési (filtre différent ? température plus haute ?);

- alors un filtre, comme à bougie (forme de cylindre froissé) qui serait en céramique pour Malvési ? (à Idaho il s'agit d'une cuve qui reçoit des filtres à sacs) collectera les poussières. Ce filtre doit avoir un système de chauffage électrique pour, au moins au démarrage, qu'il soit toujours au dessus du point de condensation de l'eau;

- C'est vers ce niveau, après le filtre à poussières, que sur les schémas Studsvick se trouve la pompe qui a la responsabilité principale de maintenir le circuit amont en dépression, mais dans Areva 2016-d (p. 39), bien que pour une échelle  $\times 100$ , ce ventilateur de tirage est mis tout à la fin.

- NOx

Dans les expérimentations, en sortie du DMR le taux NOx a été souvent autour de 300 ppm ou de 500 ppm même s'il est arrivé aussi temporairement qu'il descende à 100 ppm. Dans la dernière petite manip sur nitrate qui avait été faite à Idaho il avait été de l'ordre de 500 ppm (Thor T.T nd. p. 27).

Donc pour traiter 400 000 m<sup>3</sup> de nitrates, une multiplication par cent par rapports aux quantités traitées ou à traiter de Erwin et Idaho, un traitement des NOx postérieur au DMR n'est pas un luxe.

A commencer de l'expérience 2012 chez Hazen, le projet Malvésí ajoute une unité de traitement des NOx. Une solution d'ammoniacque (25 % d'ammoniacque dans eau, cuve de 40 m<sup>3</sup> prévue) est pulvérisée dans le flux gazeux avant son introduction dans un réacteur catalytique, SCR (Selective Catalytic Reaction, catalyseur en général carbure de silicium ou cordiérite)(Areva 2016-d p. 48). Areva (2016-c p. 74) écrit de l'expérimentation 2012 : "*NOx : inférieur aux limites (max 87,6 ppm sec moyenne jour*", et "*Le traitement des gaz avec DeNOx puis oxydation a donné satisfaction.*" **mais...** "*Malgré de bons résultats des évolutions sont apparues nécessaires à l'échelle industrielle. En oxydant les gaz au plus tôt avec une DéNOx par SCR placée en aval d'une dilution à l'air pour diminuer l'humidité des gaz <40 %, le schéma final devient plus classique. Il permet notamment d'augmenter la durée de vie du catalyseur, non garantie à 70 % d'humidité.*".

- Même avec injection d'oxygène au dessus/aval de l'unique cuve DMR, l'essai 2008 chez Hazen pour Areva avait donné du 500 à 4500 ppm de CO (Areva 2016-c p. 70).

Un oxydateur haute température que Areva (2016-d p. 39, 45) donne être un brûleur à gaz consommant 240 kg/h, pour changer le CO en CO<sub>2</sub> est donc nécessaire. Cet oxydateur haute température vient en quelque sorte en remplacement de la deuxième cuve des procédés THOR originaux. Par exemple le 2ème réacteur à Idaho est prévu de fonctionner à une température entre 800 et 1100 °C.

On voit que tous ces "THOR", physiques ou sur papier, sont des systèmes différents les uns des autres. Le CO est très efficacement oxydé en CO<sub>2</sub> en milieu oxydant hte température. Mais à cette température avec N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> présent, il est fatalement produit/ajouté des nouveaux NOx à cet endroit.

Dans le flow sheet de Studsvick (Areva 2016-c p. 73) le *thermal oxydizer* est situé après l'installation DeNOx. Dans Areva 2016-d (p. 39) il est mis avant l'installation DeNOx. Puis par la suite les schémas ne détaillent plus rien, et apparaît l'usage pour le traitement des gaz de "*Solution Alkali*" (ce qui est extrêmement vague, solution amoniacales, soude et plein d'autre molécules peuvent être qualifiées ainsi).

- Le flux sort à 850°C (Areva 2016-d p. 41) et doit être refroidi de nouveau. La chaleur récupérée par un circuit qui permet d'envoyer de la vapeur vers le DMR au départ du procédé mais qui ne prendra pas tout. Un aérocondenseur est prévu avec TDN si la vapeur en trop n'a pas d'usage. Il s'ajoute aux 6 aérocondenseurs de 1,3 MW chacun déjà présents sur le site.

En général dans le nucléaire on voit des filtres dit THE pour les particules les plus fines (qui peuvent notamment être radioactives) mais Areva (2016-d) n'en met pas sur son schéma TDN. Une soufflante finalement extrait/évacue la masse gazeuse à la pression atmosphérique.

- La construction du bâtiment TDN d'une hauteur avec silos de 26 m, est prévu à l'extrême Nord-Ouest du site actuel contre le chemin qui ensuite longe le parc à fûts de yellow cake. Le système TDN doit traiter 20 000 m<sup>3</sup>/an correspondant à 9000 t de nitrates (Areva 2016-d p. 37). Un nouveau système de tuyauteries et de pompes à travers le site le liera aux bassins B7 à B12.

Il s'agit d'y faire des réactions thermo-chimiques. Pour que les produits soient "comme annoncés" sur le papier, taux des gaz rejetés et caractéristiques des déchets pour Morvilliers, il faut respecter, de manière régulière et fiable, les proportions des constituants. Tout doit être contrôlé dans les alimentations : le mélange à traiter, le charbon et autres ajouts et le rapport vapeur/produit à traiter.

Sur le plan électro-mécanique cela se traduit par un système avec des pompes, de fins tuyaux, des soupapes, couplé à des instruments de contrôle; il est à prévoir des moyens de dégager des obstructions d'autant que selon Areva 2016-c p. 65 la kaolinite serait mélangé au nitrates avant injection et ce mélange envoyé par air comprimé. Est prévu un "local de compression" qui produira l'air comprimé et de l'azote gazeux. Areva (2016-d p. 45) dit qu'il produira de l'azote in situ "*par une installation spécifique de désoxygénation de l'air\**. Un secours est assuré par une réserve d'azote liquide... de 50 000 litres. La consommation d'azote est variable mais se situe entre 600 et 800 Nm<sup>3</sup>/h."

\* il faut filtrer l'air, le comprimer, en retirer H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>, le refroidir à -173°C proche de son point de liquéfaction et le distiller.

- Pour cette cheminée TDN, désignée n° 29 dans l'arrêté du 07 nov 2017, haute de 30 mètre Areva (2016-d, p. 48) écrit : "Débit horaire dans les conditions de fonctionnement : 40 000 m<sup>3</sup>/h; Température de rejet : environ 200°C, Teneur en humidité : 35 %, Débit horaire gaz sec et à 11 % d'oxygène : 12 000 Nm<sup>3</sup>/h". Cet arrêté (§ 3.2.3.5) autorise un rejet d'une moyenne de 200 mg/Nm<sup>3</sup> en NOx ("équivalent NO<sub>2</sub>") et d'une moyenne de 200 mg/Nm<sup>3</sup> en N<sub>2</sub>O, soit 19 tonnes par an de chaque ainsi que près de 3 tonnes d'ammoniac (Table 4).

Le facteur de conversion mg à ppm pour NO<sub>2</sub> est 1/1,91 soit ≈ 104 ppm/Nm<sup>3</sup> moyenne rendue légale à cette future cheminée, celui de N<sub>2</sub>O est 1/1,83 soit ≈ 109 ppm/Nm<sup>3</sup> moyenne rendue légale à cette future cheminée.

Table 4. Valeurs limites de moyennes journalières - cheminée "Atelier TDN", "procédé" (n° 29), 12 000 Nm<sup>3</sup>/heure normalisé à 11 % O<sub>2</sub>\* arr. préf. 17 nov. 2017

Paramètres	concentration mg/Nm <sup>3</sup> *	kg par an (337 j)
NOx	200	19 200
N <sub>2</sub> O	200	19 200
NH <sub>3</sub>	30	2 880
Poussières	10	960
Hcl	10	960
HF	1	96
CO	50	4 800
SO <sub>2</sub>	50	4 800

\* rapportés aux conditions normales de température et de pression, c'est-à-dire 273 K, pour une pression de 101,3 kPa, avec une teneur en oxygène de 11 % sur gaz sec.

- Les "valeurs nominales" retenues des jus à traiter sont (Areva 2016-d, p. 42) :

Table 5. Valeurs nominales/valeurs maximales, en grammes par litre

NO <sub>3</sub>	Ca	NH <sub>4</sub>	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>
450 / 550	70 / 92	45 / 71	26 / 45	9 / 17	2,3 / 3,7	0,9 / 2,6

avec uranium, jusqu'à 0,27 mg/l, Tc-99 jusqu'à 8250 Bq/l, Ra-226 jusqu'à 4800 Bq/l.

Le flux d'effluents traité est prévu dans le TDN à 2 500 litre./heure d'une solution à 450g/l de nitrates soit 20 000 m<sup>3</sup>/an correspondant à 9 000 tonnes de nitrates (fonctionnement 24h/24 7/7, 337 jours).

### III-7-4. Ce que Orano va brûler avec des combustibles biologiques fossiles, il avait fallu beaucoup de combustibles biologiques fossiles pour le fabriquer.

L'acide nitrique est fabriqué à partir d'ammoniac.

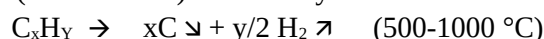
a) L'ammoniac est fabriqué en mettant ensemble de l'azote et de l'hydrogène à très haute pression, 150 à 200 atmosphères (il faut de bons compresseurs, des réacteurs à parois épaisses) en présence d'un catalyseur, tout en maintenant une température basse avec un circuit de refroidissement parce que la réaction est exothermique. Ces deux gaz doivent passer plusieurs fois dans le réacteur parce que le rendement est assez faible :



Ces deux gaz doivent être très purs sans quoi le réacteur est vite hors d'état (catalyseur, rendement...).

- L'azote pur est obtenu en liquéfiant l'air puis par distillation fractionnée.

- L'hydrogène est extrait principalement d'hydrocarbures (l'électrolyse étant très coûteuse) dans les raffineries par chauffage brutal (500-1000 °C). Pour un hydrocarbure de formule C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> on a :



on obtient du noir de carbone (utilisé dans industrie caoutchouc, encre) et de l'hydrogène.

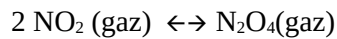
- En mai 2024 l'administration E. Macron supporte l'implantation d'une usine de 500 000 t d'engrais azotés dont il est annoncé, citant une indépendance nécessaire à la Russie, que l'hydrogène viendrait d'électrolyse de l'eau, électricité qui en France est toujours prévue majoritairement nucléaire.

Il est dit que la production de  $\text{NH}_3$  prélève 5 % de la consommation mondiale de gaz naturel (Sciences et avenir 08/12/21). Ou encore, Billen 2022 : "Ce qui coûte cher... c'est le gaz naturel, car il en faut beaucoup. Pour fixer une tonne d'azote sous forme d'ammoniac, il faut une tonne d'équivalent pétrole (tep)...."

b) L'acide nitrique se fait sous formes essentiellement gazeuses :



ensemble gazeux descendu et maintenu à une température de  $40^\circ\text{C}$ , ré-ajout d'air :



apport d'eau en sens inverse :



Les gaz perdus qui ne peuvent pas être économiquement repris de la phase finale d'absorption contiennent en général 2 à 3 % d'oxydes d'azote. Et l'air rejeté ne contient plus que 3 % d'oxygène.

Dommage que à Malvési-nucléaire on va se mettre à détruire ce produit obtenu avec tant de difficulté, et par centaines de milliers de tonnes...

### III-7-5. Un long voyage vers les tumulus des temps modernes dans l'Aube

Le projet est parfait parce qu'il y a des "filières de gestion existantes" explique Orano qui a reçu l'accord de l'Andra le 03 août 2018. C'est Morvilliers en place d'une forêt rasée, définitivement, à côté de, et comme, "Soulaines". Cela se trouve à 750 km au Nord de Narbonne.

- Comme de chaque tonne de nitrate ils annoncent qu'ils obtiendront 750 kg de déchets solides (Areva 2016-c, p. 74), il faudra amener  $\sim 300\,000$  tonnes à Morvilliers. En déc. 2018 la "filière TFA" dans le PNGMDR (Plan National...) compte : "TDN : plus de  $200\,000 \text{ m}^3$  à terminaison" soit effectivement, pour une densité de 1,7 : plus de  $340\,000$  tonnes.

Ils annoncent  $7\,100 \text{ m}^3$  en 6000 big-bags en plastique (perdu) de  $1,2 \text{ m}^3$  pesant 2 tonnes (= densité 1,7), posés sur palettes, par an (Areva 2016-d p. 46).  $200\,000 \text{ m}^3 \div 7100 \text{ m}^3 = 28$  ans. Mais pendant ce temps beaucoup d'autres nitrates auront été produits avec des yellow cakes importés puisque l'élite française a doré et déjà programmé une augmentation du rythme de production d'Orano-Malvési qui accompagne la relance (permanente) en grand du nucléaire.

Il semble que la surface d'un gros camion tienne 22 big-bags, ce qui fait déjà 44 tonnes, soit ( $6000 \div 22 =$ ) 272 voyages  $\times 750 \text{ km} \approx 200\,000 \text{ km}$ , juste pour les "aller", à multiplier par 28 ans. Orano a répondu plutôt sèchement en 2023 à la MRAE que tous les trajets entre Malvési et Morvilliers, car il y en a déjà, sont par la route (point-barre).

Cela sera mis dans des nouveaux tumulus à Morvilliers (Fig. 13). Orano (2023-b p. 11) et le PNGMDR annoncent donc que l'Andra doit planifier un deuxième "Morvilliers" à côté du premier Morvilliers qui entre temps aura déjà été doublé. Ce prochain Morvilliers-2 est déjà nommé : « TFA 2 » et prendra le relais de "Morvilliers-1" en 2040. C'est aussi là que l'Andra prévoit la mega-décharge FAVL de la même industrie nucléaire.



Fig. 13. A Morvilliers (qui est à côté de l'autre 1 million de  $\text{m}^3$  de déchets plus radioactifs : "Soulaines" dans l'Aube) l'élite française fait remplir des tranchées-cumulus de déchets faiblement radioactifs les uns après les

autres. Quand c'est plein ils font recouvrir comme sur cette photo (Camp-Devernay 2008, p. 55), avec l'argile mise de côté quand ils ont fait le trou de la tranchée-tumulus profond de 7 m et long de 175 m, une bache, un peu de gravier et de terre et de l'herbe : arbres, lapins/blaireaux interdits à jamais. Orano-Malvési va se débarrasser de a minima 200 000 m<sup>3</sup> TDN en les envoyant là bas. Aussi le 07 avril 2023 l'Andra avait déjà fait sa demande officielle de pouvoir mettre 300 000 m<sup>3</sup> de plus de ces reliquats d'énergie *propre*. On va arriver à 1 millions de m<sup>3</sup> à "Morvilliers-1", comme pour "Soulaines" à côté.

### III-7-6. A propos de nitrates contaminés dans la sphère agricole

Orano (2023, p. 65) écrit aussi : *"En parallèle, pour le traitement des futurs effluents de procédé produits en ligne, le groupe suit de près les évolutions réglementaires (décret TFA) permettant la valorisation potentielle des nitrates dans des filières de production de fertilisants."*

Mais repétons ce qu'on a vu plus haut, la Comurhex l'a déjà fait, au moins pour certains nitrates pendant des années : *"4 500 tonnes de nitrate d'ammonium pour 10 000 tonnes d'uranium"* qui, disait Comurhex (Schaal et Faron 1997) *"jusque là... a été vendu comme engrais, mais comme c'est un produit secondaire de l'industrie nucléaire, il est très possible que dans les prochaines quelques années, bien qu'il contienne seulement quelque ppm d'uranium, il ne soit plus vendable."* Cependant dix ans après Comurhex (2010) indiquait toujours sur ses schémas que ce nitrate d'ammonium partait comme "fertilisant".

Areva sait que ça n'est pas cool. Lorsqu'ils veulent se débarrasser d'une solution (débat sur solutions éventuelles plutôt que TDN, Arvea 2016-c p. 20) : *"inconvenient... susceptible de piéger les radionucléides et ne peut alors être utilisée en épandage agricole..."* ou (p. 77) : *"... récupération d'acide nitrique... abandonné à cause de la présence de calcium et l'impossibilité de recycler l'acide (présence de Tc-99)."*

Areva continue de flirter avec cette solution dont elle avait arrêté la pratique. Elle a déjà fait des essais avec l'Inra de Versailles. La teneur en nickel et cobalt des ses jus déjà n'a pas plu aux peupliers. Il faudrait éliminer le technétium-99 et autres métaux lourds et ce serait O.K. a-elle écrit en invoquant des freins qui sont autres (Areva 2016-c p. 6) : *"un examen de la réglementation, complété par des contacts avec les fabricants d'engrais, ont conduit à abandonner les recherches sur cette voie de valorisation."* Mais elle connaît l'irascible pro-nucléarité de l'élite française et ses députés leaders, les espoirs lui restent permis (les arrangements "réglementaires", ex. Le Parisien 15/02/22, le recyclage du faiblement radioactif, [là](#)).



## IV. Un consommateur-émetteur majeur de composés réactifs d'azote

▪ Apparté : Pour les divers besoins de refroidissement de l'usine il existe 8 tours aéroréfrigérantes de 1,8 MW chacune, refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air généré par ventilation (Areva 2016-d p. 54). La vapeur d'eau est un des grands gaz à effet de serre, lors d'une canicule par exemple.

Dans un document 2010 Comurhex mentionne acheter son ammoniac,  $\text{NH}_3$ , à Yara France, anciennement Norsk Hydro et lui achète donc aussi de l'acide nitrique  $\text{HNO}_3$  dont Yara est pareilleemnt gros producteur puisque c'est fabriqué à partir à partir du gaz ammoniac.

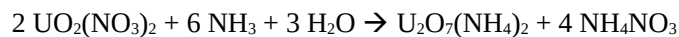
● La dissolution des tonnages de yellow cake dirigés sur Malvési se fait à l'acide nitrique,  $\text{HNO}_3$ . Les contenances de cet acide sur le site mentionnées dans l'arrêté préfectoral n° DREAL-UID11-2017-39 du 08 nov 2017 § 1.2.4 additionnent à  $650 \text{ m}^3$  :

« *acide nitrique* ( $2 \times 150 \text{ m}^3 + 30 \text{ m}^3 + 23 \text{ m}^3$ ), *unité de rectification* ( $3 \times 100 \text{ m}^3 + 2 \times 5 \text{ m}^3$  et  $4 \times 6 \text{ m}^3$ ) », soit 687 mètres cubes.

On a vu en calcul de coin de table qu'il faut quelque chose du genre de  $16\,200 \text{ m}^3$  pour le raffinage de  $12\,000 \text{ t U}$  et qu'il en faudra de l'ordre de  $28\,000 \text{ m}^3$  pour le raffinage de  $21\,000 \text{ t d'uranium}$ .

- Pour l'ammoniac ce même arrêté écrit à propos de son emplacement et de sa capacité autorisée : « Cf *annexe confidentielle non communicable* ». Areva (2016-d p. 51) dit qu'il peut y avoir 198 tonnes sur le site ainsi que 105 tonnes de nitrate d'ammonium. Présentant un nouvel appareil qui consommera 66 t d'ammoniac par an, Comurhex (2010, p. 25 et 14) mentionne que cela "ne représente que 1,6 % de la consommation globale du site" qui est donc alors de ( $66 \div 0,016 =$ ) 4 125 tonnes par an.

- Jusqu'à 2017 (probablement inclus), et cela depuis plus de 50 ans, par injection d'ammoniac gazeux les grosses quantités de nitrate d'uranyle obtenu de la dissolution à l'acide nitrique sont re-précipitées sous forme de yellow cake, diuranate d'ammonium, DUA :



La majorité du nitrate d'ammonium  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  reste en solution aqueuse et peut-être séparé.

On voit de cette formule simplifiée que pour 1 mole d'uranium il faut 3 moles de  $\text{NH}_3$ , soit pour 238g il faut 51g et donc qu'il fallait introduire au minimum de l'orde de 214 kg de  $\text{NH}_3$  par tonne d'uranium à cette étape, soit ~ 2500 t pour 12 000 t d'uranium raffiné.

"Cependant cette solution souffre d'un nombre de désavantages. D'un coté elle demande de la consommation d'ammoniac. D'un autre la réaction de précipitation aussi amène de grosses quantités de produits secondaires constitués de nitrate d'ammonium. Par exemple, pour une production annuelle de 10 000 t d'uranium, 4 500 t de nitrate d'ammonium sont aussi produites." (Schaal et Faron 1997).

- Le cake de  $\text{U}_2\text{O}_7(\text{NH}_4)_2$  en sortie de filtre, avant d'entrer dans le four de calcination (pour être transformé en trioxyde d'uranium  $\text{UO}_3$ ) est encore humide de cette solution, et donc contient encore un peu de nitrate d'ammonium. Ce dernier dans le four va se décomposer en protoxyde d'azote (le gaz hillarant, formule très simplifiée vu le comportement de l'azote) :



- Et la calcination du diuranate d'ammonium, DUA en trioxyde d'uranium elle même, relâche l'ammoniac (3 molécules par molécule de DUA).

- L'Ammoniac est encore totalement indispensable à l'étape suivante dans une autre unité puisque l'hydrogène nécessaire pour la réduction de l'uranium en  $\text{UO}_2$ , lui-même nécessaire pour la fluoration est obtenu par craquage d'ammoniac.

▪ Il a donc omniprésence de composés réactifs d'azote du tout début à la toute fin de cette chimie de l'uranium, et évidemment :

- Perez (1979, p. 214) : "Traitement des effluents : ... Les effluents liquides et solides des différents ateliers contiennent du nitrate d'ammonium, divers nitrates, de l'acide nitrique, du fluorure d'ammonium, de l'acide fluorydrique, de l'acide sulfurique, du carbonate de sodium, du solvant, de l'uranium, etc. Après séparation de l'uranium, les effluents neutralisés à la chaux sont expédiés sur un terrain d'épandage ou des micro-organismes détruiront le nitrate d'ammonium", ce que ces micro-organismes font en partie en produisant du ...  $\text{N}_2\text{O}$ .

- CriiRad (2006 p. 20) : "En 1995, selon COGEMA, l'usine de Malvési a rejeté dans l'atmosphère : 20,7 tonnes de poussières , 20,8 tonnes d'oxydes d'azote, 410 tonnes d'ammoniac et 38 kg de fluorures". Et Cogema omettait de mentionner ses rejets de protoxyde d'azote, 1200 tonnes cette année 1995 (Fig. 14.).

- Areva (2015, p. 32) : "Concernant les oxydes d'azote (NOx), ceux-ci sont produits tout au long du procédé... Les émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) sont, quant à elles, générées lors de l'étape de calcination (passage du diuranate d'ammonium dans les fours) et lors de l'attaque de fluoruration de l'uranium.).

▪ La zone est très ventée, vent nommé localement le cers un aboutissement de la tramontane. Il vient presque tout le temps de l'Ouest-Nord-Ouest, celui qui balaye le site se dirige sur Saint-Pierre la Mer/Etang de Vendres/Valras-Plage. Mais de temps à autre il y a inversion, un vent doux vient de mer.

#### IV-1. Rejets de protoxyde d'azote, N<sub>2</sub>O

▪ Er-Raki (2021, p. 74 et 77) : "La principale émission de protoxyde d'azote à l'usine de Malvési se trouve au niveau de l'atelier de précipitation et représente environ 90% des émissions (AREVA 2007)". "les rejets réels sont mesurés depuis la mise en service d'un analyseur en ligne à l'été 2007 (l'analyseur a été définitivement arrêté à l'été 2016 en raison de l'arrêt de la précipitation)".

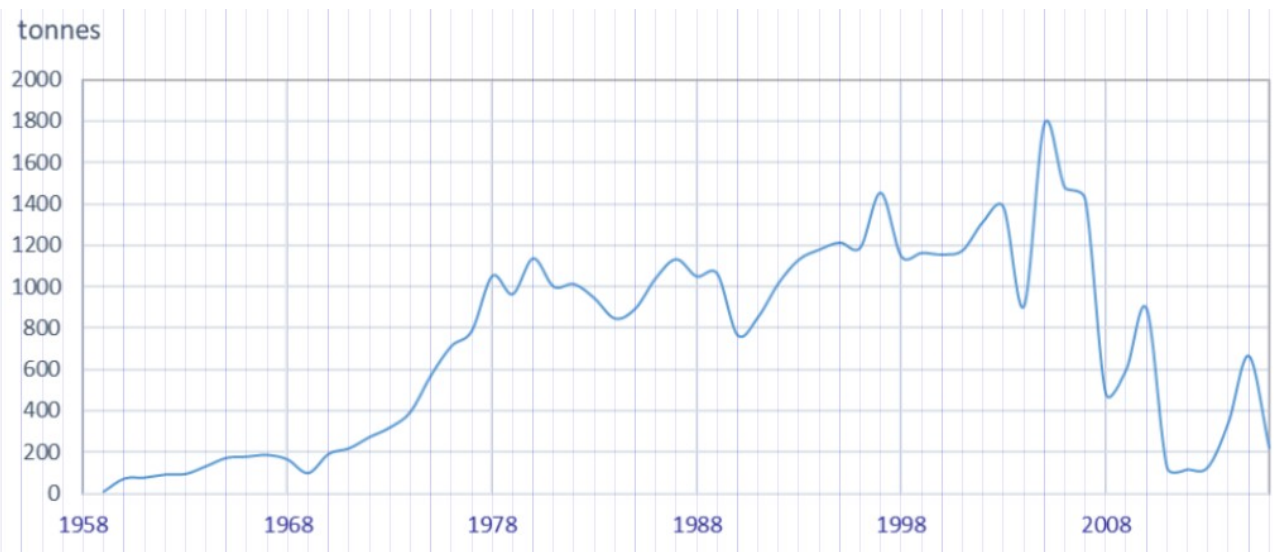


Figure II-26 : Évolution des rejets de N<sub>2</sub>O par l'usine de Malvési

Fig. 14. Estimation des rejets dans l'atmosphère du protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O par l'usine chimique uranium de Malvési. Pour la période étés 2007 à 2016 : mesures d'un analyseur en ligne; de 1990 à 2006 : estimations de Areva "au moyen de facteurs d'émissions par atelier"; de 1959 à 1990 "un rapport moyen de 0,104 t N<sub>2</sub>O/tU est considéré à partir des estimations précédentes" (in Er-Raki 2021, p. 77). Émission des bassins non incluse.

Selon ces estimations, le rejet direct de N<sub>2</sub>O dans l'atmosphère aux cheminées a atteint 1000 tonnes par an en 1978 pour monter à ≈ 1400 t par an en 2007, avec un pic à 1800 tonnes l'année 2005.

Prenons une moyenne de 1200 tonnes/an : poids molaire de N<sub>2</sub>O : 44 g →  $1200 \cdot 10^6 \text{ g} \div 44 = 27,3 \cdot 10^6 \text{ moles} \times 0,0228 = 622 \text{ 000}$  (normo) mètres cubes de protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O envoyé dans l'atmosphère chaque année, sans inclure celui diffus des bassins d'évaporation.

▪ 2007, des réglages permettaient de réduire les émissions d'au moins moitié

La Fig. 14 montre une chute spectaculaire du rejet N<sub>2</sub>O pour 2008.

- La production en 2007 a été de 13 675 t "d'UF<sub>4</sub>" et l'émission N<sub>2</sub>O (sur Fig. 14) d'environ 1460 tonnes soit 106,8 kg/tUF<sub>4</sub> ce qui correspond à la moyenne utilisée par l'exploitant avant 1990, 104 kg/tU (avec toujours l'incertitude sur la signification des labels "U" ou "UF<sub>4</sub>" employés par Areva)

Comurhex (2010 p. 12) donne "... facteur d'émission de 2007 ... 82,5 kg N<sub>2</sub>O pour 1 tonne d'UF<sub>4</sub> produite". C'est 77 % de la déduction des figures (qui viennent toutes de Comurhex), mais le sujet est alors le dit atelier Précipitation (avec la calcination pour l'émission) quand la Fig. 14 annonce prendre en compte l'ensemble des ateliers/events de l'usine.

- La production en 2008 a été de l'ordre de 11 690 t "d'UF<sub>4</sub>" et l'émission N<sub>2</sub>O de 460 t → 39, kg/t,

- La production en 2009 a été de l'ordre de 13 400 t "d'UF<sub>4</sub>" et l'émission N<sub>2</sub>O de 600 t → 44,8 kg/t.  
Ça n'est pas la moitié des rejets annuels perpétrés pendant 30 ans.

Et la seule explication trouvée est que (Comurhex 2010, p. 12, on met en gras) :

"... études ont permis d'identifier des **réglages** qui ont entraîné une **diminution significative des émissions de N<sub>2</sub>O depuis 2007**, sans dégradation du procédé (diminution des fenêtres de température, amélioration aérodynamique des réseaux, contrôle de la siccité, optimisation des calorifugeages, suivi de l'alcalinité pour obtenir un gâteau d'ADU plus sec)."

Il ne s'agit pas là d'une destruction de N<sub>2</sub>O mais de la suppression d'une émission, qui était évitable mais qui perdurait depuis tant d'années, suppression obtenue très vraisemblablement principalement en séchant d'avantage le cake avant calcination tout simplement puisque l'émetteur est dans l'humidité du cake ("siccité", "plus sec").

▪ 2010 Installation d'un appareil de destruction du protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O

Dans un rapport daté du 06 janvier 2010, Comurhex : Ces "composés chimiques sous forme gazeuse, qui sont dirigés vers une installation de traitement (rotozones et turboscrubber) pour en réduire les teneurs en poussières uranifères, NH<sub>3</sub> et NO<sub>x</sub>, avant rejet à l'atmosphère...". Petit schéma à l'appui, il s'agit là du devenir des gaz du four Comessa de calciantoin du diuranate d'uranium en trioxyde d'uranium et cela est en introduction à son **projet** de "Décomposition thermique du protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O dans les effluents gazeux de l'atelier Précipitation de l'usine Comurhex de Malvési" au futur : "la mise en oeuvre du projet permettra..." et il est bien précisé (Comurhex 2010 p. 10) : "... situation actuelle, sans installation d'une technologie de destruction du N<sub>2</sub>O", confirmation au passage que la chute de l'émission effective depuis 2008, 2 ans auparavant, n'a pas à voir avec ce projet.

Comurhex écrit (2010 p. 2) qu'il y a "absence de contrainte réglementaire sur le N<sub>2</sub>O", et (2010 p. 11 et 13) "Le scénario de continuité de la situation actuelle ne comporte aucune barrière prohibitive", et encore que (2010 p. 13) : "Le scénario de mise en place du projet ... se heurte au problème de rentabilité de l'investissement. Celui-ci ne pourrait atteindre les standards du secteur..." [bien qu'il est matraqué partout que l'usine soit quelque chose d'absolument unique en France et même en Europe...]. Ainsi il semble que la décision de lancer ce "scénario" tient de calculs financiers qui suggèrent que cela ne coûtera rien à Comarhex/Orano parce que les bénéfices des procédures de l'onusien GIEC paieraient l'installation-fonctionnement (Comurhex 2010, p. 15) : "permet d'envisager, en année pleine, la commercialisation sur la période Kyoto d'environ 287 000 URE (en tenant compte de la retenue de 10% au profit de l'État) soit, sur la base d'un prix de 10 € par tonne, une recette de 2 870 k€. La valeur actuelle nette au même taux d'actualisation devient alors positive de 0,3 M€." p. 14 : "seule la vente des URE peut assurer la rentabilité du projet au niveau des standards du secteur industriel."

URE : Unit Reduction Emission

Comurhex (2010 p. 19, 22) rapporte que l'on peut calculer la baisse d'émission, des URE, par rapport à un référentiel "maximum historique des émissions déclarées".

Quand bien même elle a finalement des mesures en continu de ses émissions N<sub>2</sub>O sur l'atelier Précipitation depuis mi-2007, dans son dossier Comurhex (2010 p. 28) pose comme référence pour les calculs d'URE le chiffre d'émission de 2007, en l'occurrence 1129 tonnes N<sub>2</sub>O, (a priori pour cet atelier) qu'il augmente légèrement en prévoyant une production d'uranium de 14 000 t/an (pour 13 675 t en 2007) soit 1156 t N<sub>2</sub>O. VERITAS (2009, p. 55-56) rapporte ainsi, "pas d'explication sur les données de base... ne sont basées que sur 2 mesures externes de 2007" (débit d'air expulsé QE et le % en N<sub>2</sub>O, CE<sub>N2O</sub>). Mais le projet a été accepté et les rapports suivants (VERITAS et autres) apparemment ne contestent pas ou plus cette ancienneté de la référence.

Ainsi Orano s'est fait payer des URE en même temps sur la baisse d'émission obtenue de ses simples réglages de 2008, ou si l'on préfère, la modification de ses horribles réglages jusqu'à 2007 inclus qui témoignaient que les questions atmosphériques étaient le cadet de ses soucis (le cours des URE a chuté une paire d'années après mais en 2017, Comurhex passe à une autre technique).

▪ Areva (2011, p. 18) : "L'installation mise en service au dernier trimestre 2010 permet de détruire totalement le protoxyde d'azote et de contribuer ainsi à la préservation de la couche d'ozone.". Dans ce rapport pour public et élus locaux Areva (2011 p. 18) écrit que 1 kg de N<sub>2</sub>O équivaut à 222 kg de CO<sub>2</sub>. Mais dans les dossiers de calcul des URE le facteur d'équivalence est pris de 310 kg CO<sub>2</sub> pour un 1 kg de N<sub>2</sub> (Comurhex 2010 et rapports VERITAS). Pour le public, on adoucit un peu la méchanceté de cette molécule à effet de serre, à moins qu'on l'accroisse avant de passer à la caisse.

▪ L'appareil installé est un oxydeur thermique régénératif (RTO) de la firme d'équipement CTP de 300 kW. Le montant total pour achat et mise en marche est de l'ordre de 3,5 millions d'€ (Comurhex 2010 p. 14). "...le RTO est une installation autonome, ne nécessitant aucun pilotage depuis la salle de contrôle." (VERITAS 2011 p. 21). Il y a un conduit permettant de by-passer l'oxydeur (pour entretien, pannes...), des vannes permettent d'ouvrir/fermer l'un ou l'autre de ces circuits.

Techniquement, (Comurhex 2010, p. 4) "*L'effluent gazeux est introduit dans un RTO (oxydeur thermique régénératif) où il est porté à une température voisine de 1000°C (950-1050°C) pendant deux secondes, ce qui permet la conversion du N<sub>2</sub>O qu'il contient en azote et oxygène avec un rendement très élevé (>95%)*" "*Dans cette application, l'oxydation du N<sub>2</sub>O n'est pas une réaction souhaitée bien qu'elle puisse se produire en présence d'air, entraînant l'apparition de NOx.*

*Ces NOx sont abattus par une réaction de type SNCR (Specific Non Catalytic Reduction) réalisée par l'injection dans la chambre haute température d'une solution ammoniacale à 25 % dans l'eau osmosée propulsée par de l'air comprimé (l'injection d'une solution améliore considérablement l'efficacité du procédé par rapport à l'injection de gaz).*". Il est donc fait appel en même temps à de l'ammoniac, 66 tonnes/an pour cet appareil là (Comurhex 2010, p. 25).

La réaction est exothermique et il faut être dans "*une plage de concentration [N<sub>2</sub>O] de l'ordre de 1 à quelques %... en deçà la réaction serait trop faiblement exothermique pour entretenir le niveau de température nécessaire à la réaction, au-delà la contrôle de la température serait problématique*", il apparaît qu'il est maxi de 1,3 % (VERITAS 2009 p. 50).

▪ En fait si ce système a réellement fonctionné, on va dire avec efficacité et contrôle, en 2010, c'est au mieux pendant un mois, de mi-sept. à mi-nov. (ensuite panne puis vacances de fin d'années).

Le rapport VERITAS de 2011 écrit, p. 14 "*L'installation... n'a pas encore fonctionné mis à part quelques essais de four réalisés le 10 septembre et le 13 [2010] (jour de l'audit)... ...Durant l'audit, une équipe... conduisait cette phase du processus de réception appelée « tests de phase 3 », il s'agit de l'ultime phase avant le transfert définitif vers la production.*"; p. 6 : "*... quelques problèmes électriciens du four RTO (13/11/2010 - 18/12/2010)... four est arrêté... ...le fonctionnement du skid d'ammoniac n'a pas été constaté continu sur le temps de fonctionnement du four RTO....*"; p. 7 : "*... du 13/11/2010 au 18/12/2010 (panne électrique du four)*"; p.15 : "*Le four a fonctionné en continu depuis le 11/01 jour de redémarrage de l'unité Précipitation (après arrêt des congès de fin d'années).*"; p. 21 : "*La formation aux opérateurs a du être stoppée lorsque de graves problèmes électriques ont arrêté le RTO du 13/11/2010 au 18/12/2010.*"; p. 25 : "*La mise en oeuvre du skid NH<sub>3</sub> fait partie des tests de phase 3... un rejet de NOx à 300 mg/Nm<sup>3</sup> max et un rejet de NH<sub>3</sub> à 50 mg/Nm<sup>3</sup> max (en attente...). Les analyseurs FTIR [spectroscopie InfraRouge à Transformée de Fourier] mesurent aussi de nombreux composés azotés (NOx, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>)... [2011 (SIC):]...Apave... valide les valeurs de NOx et de NH<sub>3</sub>. En revanche le skid NH<sub>3</sub>... n'a pu fonctionner que lorsque le four fonctionnait et uniquement en journée... ...les mesures de NOx menées sur 2010 et 2011 pour déclaration à l'autorité montrent un respect des valeurs réglementaires préexistantes (500 Mg/Nm<sup>3</sup> [(SIC) le rapport VERITAS est fâché avec les majuscules et les subscripts, 500 mg/Nm<sup>3</sup>]). Il n'en reste pas moins que l'ambition énoncée... parle de 300-350 mg/m<sup>3</sup> de NOx abattus ce qui reste atteignable"*

▪ Il est étonnant au vu de la Fig. 14 que les émissions de N<sub>2</sub>O soient reparties à la hausse l'année 2010 qui n'a pas produit plus que précédemment. Plus tard Orano inscrira sur des diagrammes globaux de gaz à effet de serre que cette augmentation a été due à une "*perte d'efficacité traitement N<sub>2</sub>O (précipitation) : remise en état*" (par ex. Orano 2020, p. 40). Mais il n'existait pas de traitement de N<sub>2</sub>O en 2010, et donc même le fait l'oxydateur thermique installé ait fonctionné au mieux un mois en fin de cette année là ne peut pas expliquer une remontée. Cela suggère que parallèlement à l'installation de cet appareil, considérant par là que le problème de l'émission N<sub>2</sub>O était réglé, Comurhex ait repris des *réglages* d'avant 2008 ? Un autre pic d'émission N<sub>2</sub>O en 2015 peut a priori s'expliquer par disfonctionnement de l'oxydeur thermique.

● Er-Raki (2021, p. 74) : "*Lors de la compilation des inventaires des usines du cycle électronucléaire, l'usine de Malvésia a été identifiée comme celle qui rejette le plus de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) : 221 tonnes en 2016, mesurées dans les exutoires de l'usine.*", et tellement plus que ça pendant 3 décennies.

Si 90 % des rejets atmosphériques de N<sub>2</sub>O se produisaient au stade du dit atelier *Précipitation* comme le rapporte Er-Raki (2021) qui cite l'exploitant (on a vu plus haut que ça pourrait être ≈ 80 %), appareil de traitement ou pas, ces 90-80 % sont du de disparaître une fois l'atelier *Précipitation* supprimé avec la mise en route de la dénitrification thermique/ISOFLASH (qui semble être effective en 2017-18, mais c'est en 2021 qu'une reprise de la production d'UF<sub>4</sub> à des niveaux antérieurs commencera). C'est d'ailleurs ce sur quoi s'appuie l'exploitant pour arrêter définitivement l'analyseur en ligne de N<sub>2</sub>O à l'été 2016 (Er-Raki 2021 p. 76).

Sur la base des estimations et mesures que lui a données Areva, Er-Raki (2021, p. 77) : "le cumul des rejets de  $N_2O$  de l'usine, hors lagunes, de 1959 à 2016 serait de 42 144 t."

$42\ 144\ 10^6 \div 44 \approx 958\ 10^6$  moles  $\times 0,0228 = 21,8$  millions de mètres cubes (normés) de  $N_2O$  (pur) envoyés dans l'atmosphère à Narbonne pour la partie cheminées de l'usine.

On peut rappeler qu'à la fin des années 1950s le CEA a opté pour la voie par précipitation intermédiaire de diuranate d'uranium  $U_2O_7(NH_4)_2$  pour obtenir le trioxyde d'uranium  $UO_3$  quand les deux plus grosses usines de raffinage d'uranium des USA à ce moment là transformaient le nitrate d'uranyle en  $UO_3$  en voie directe (Vertès 1961). Et ses successeurs (mais le CEA était principal actionnaire de Cogema, et l'atome la chasse gardée du "corps des mines", la continuité est grande...) s'y sont tenus pendant plus de 55 ans. Ce n'est que tardivement en 2008 que le sujet du  $N_2O$  a reçu de l'intérêt pour voir qu'en changeant deux-trois réglages son émission était divisée par plus de deux, d'où ces grosses émissions de protoxyde d'azote de la Fig. 14, les 42 000 tonnes ou 22 millions de (N)m<sup>3</sup>, envoyés par cheminées Malvési dans l'atmosphère.

▪ Er-Raki (2021 p. 74) :

"Le  $N_2O$  est considéré comme l'un des gaz les plus pénalisants vis-à-vis du réchauffement climatique, avec un facteur de caractérisation (FC) de 296 kg  $CO_2$  eq/kg  $N_2O$  à l'horizon de 100 ans. En France, les émissions de  $N_2O$  représentent 15% de la contribution au réchauffement global, ce qui fait du  $N_2O$  le second GES anthropique après le  $CO_2$  (Viard 2013)". Selon cela les conséquences des rejets  $N_2O$  Malvési, ceux vieux de 30 ans y compris, sont "climatiquement" actuels, et pour plusieurs générations.

- Étant donné sa durée de vie longue, une partie du  $N_2O$  atteint la stratosphère. C'est la seule molécule azotée réactive à pouvoir le faire et qui sert ainsi d'intermédiaire de transport. Dans les années 1970 il a été argumenté que dans la stratosphère,  $N_2O$ , décomposé par les UV (pour former notamment du NO), peut servir de catalyseur pour réduire l'ozone stratosphérique (en dioxygène, cela se fait via une série de réactions conjointes, impliquant NO et  $NO_2$ ).

- L'arrêté préfectoral du 08 nov 2017 pour le bâtiment TDN à construire autorise un rejet moyen à cette nouvelle cheminée (la n° 29) de 200 mg/Nm<sup>3</sup> et 19,2 tonnes par an de protoxyde d'azote  $N_2O$ .

L'arrêté préfectoral du 26 juillet 2018 pour un nouvel atelier NVH rend légal à sa cheminée (la n° 36) un rejet moyen de 200 mg/m<sup>3</sup> de protoxyde d'azote  $N_2O$  pour un débit à cette cheminée là de 10 000 m<sup>3</sup> soit 16 tonnes par an à cet autre nouveau point de rejet.

## IV-2. Rejets d'ammoniac $NH_3$

Pour les années 2000s des valeurs étaient données en kg/jour (Table 1).

Evolution des rejets non radioactifs dans l'air (kg/jour)										
	1995	2002	2003	2004	2005		2007	2008	2009	2010
Production "U"/"UF <sub>4</sub> " approx	11 750	12 300	13 200	13 200	14 000		13 675	11 939	13 059	12 512
Ammoniac $NH_3$	410	970	1521	718	342		550	652	154	144

Cogema/Comurhex in CiiRad 2006 p. 20, Areva 2011 p. 8, 18

Table 6. Rejets aériens d'ammoniac  $NH_3$  Areva-Malvési.

Jusqu'à 2008, presque chaque jour de l'année (l'usine doit être en semi-arrêt quelques semaines en été et une paire de semaines à Noël), et depuis une trentaine d'années, Cogema/Areva rejetait dans l'atmosphère entre 350 kg et 1,5 tonne d'ammoniac  $NH_3$  dans l'atmosphère. La moyenne des 7 valeurs irrégulières de la Table 6 avant 2009 est : 737, pour  $\times 320j \approx 235$  t/an.

- Les visiteurs rapportaient en 2005 que, parlant notamment des bassins qui au début de l'année étaient à 20 cm du débordement : "ça pue vraiment très fort l'ammoniac" (Gazette Nucléaire n°227/228 mars 2006, [là](#)).

▪ Et pourtant, "Le 10 avril 2000 a été signé un nouvel arrêté préfectoral (de 86 pages), élaboré en étroite liaison avec les services de la Comurhex qui l'ont accepté. Le projet a introduit des adaptations ou compléments qui portent sur : (...) - la prévention de la pollution atmosphérique. Le projet souligne l'importance du traitement des **rejets d'ammoniac qui doivent être divisés par dix** dans un délai de trois ans ; et demande un suivi particulier des composés organiques volatils." (Davis 2001, p. 195).

- Areva (2011 p. 8) écrit sans s'étendre que la forte diminution du rejet est, finalement..., "liée au changement de procédé de traitement au niveau de l'atelier de récupération". On voit de la table 6 que cela s'est produit en 2009, six ans après la fin du sursis.

- On a vu plus haut que dans les années 2010s, Areva/Orano-Malvési utilisait plus de 4 100 tonnes d'ammoniac par an.

- Pour 2012, Air Languedoc-Roussillon (Air LR), dont les capteurs sont à relevé hebdomadaires\* a donné la courbe NH<sub>3</sub> de celui, *Florès*, qui est situé près du Sud-Est (en dehors) du site (Fig. 15). Air LR rapporte en même temps les "rejets connus" de Comarhex en coupure hebdomadaire également. Lorsque l'usine est en activité, le rejet indiqué est de 1 tonne/semaine, plus élevées à l'automne (1 à > 1,2 tonne). C'est une division par ~ 5 sur le début des années 2000s.

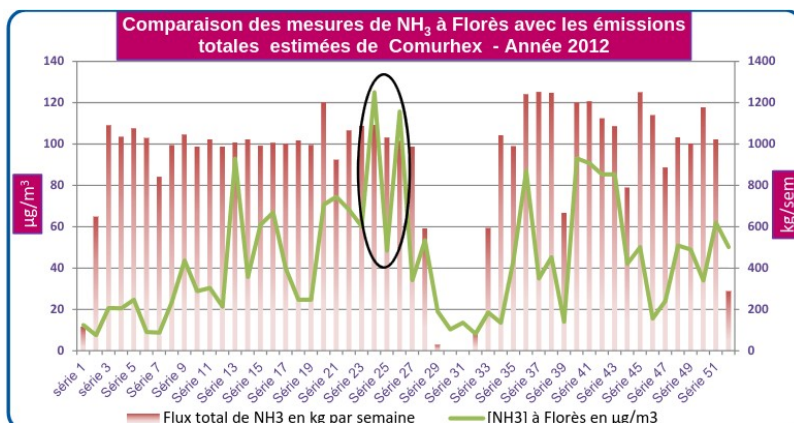


Fig. 15. Rejets NH<sub>3</sub> connus de Comarhex-Malvési en 2012 (rouge et échelle droite) et mesure à un capteur en dehors du site au Sud-Est (*Florès*, échelle gauche), (Air LR)

Air-LR donne une moyenne annuelle du rejet à *Florès* de 44 µg/m<sup>3</sup> avec 2 semaines, fin juin, début juillet où elle a dépassé 100 µg/m<sup>3</sup>. Mais c'est au point de mesure en dehors du site au Sud-Ouest, *Audecoop*, que la moyenne annuelle a été la plus élevée en 2012 : 67 µg/m<sup>3</sup>. Air LR a sa propre station de mesure de référence à 3 km à l'W-NW, à l'extérieur du village de Moussan, où la moyenne annuelle est de 1 µg/m<sup>3</sup>.

\* L'échantillonneur passif d'ammoniac est une cartouche de polyéthylène microporeux imprégnée d'acide phosphorique, insérée dans un corps diffusif cylindrique microporeux en polycarbonate, lui même abrité. L'acide phosphorique présente la propriété de fixer NH<sub>3</sub> sous forme d'ion ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Les cartouches sont récupérées au bout d'une semaine et la concentration en ammonium déterminée par colorimétrie.

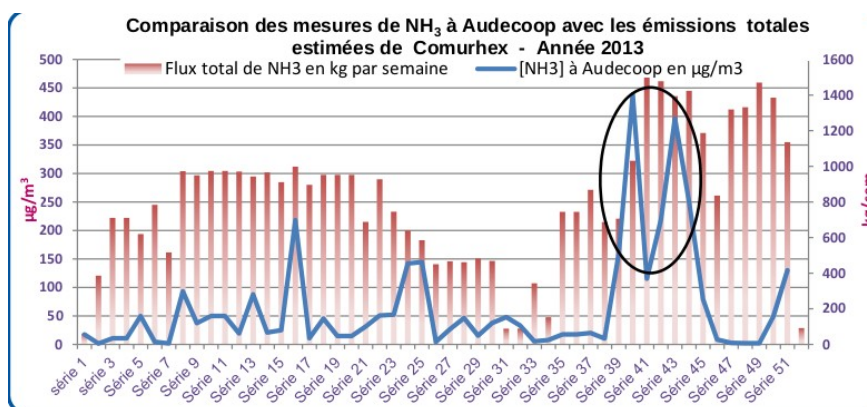


Fig. 16. Rejets NH<sub>3</sub> connus de Comarhex-Malvési en 2013 (rouge et échelle droite) et mesure à un capteur en dehors du site au Sud-Ouest (*Audecoop*), (Air LR)

- Pour 2013, Air LR donne la mesure du capteur *Audecoop* (SW du site et à 50 m des bassins B5 et B6) Fig. 16. Les "rejets connus" de Comarhex sont toujours de 1 tonne/semaine la première partie de l'année mais supérieurs en l'automne, dépassant souvent 1,3 tonne dans la semaine. La moyenne annuelle au capteur *Audecoop* est inchangée, 66 µg/m<sup>3</sup> mais moins régulière avec 2 semaines où elle atteint et dépasse 400 µg/m<sup>3</sup>. La moyenne annuelle au capteur au SE a un peu augmentée à 50 µg/m<sup>3</sup>, alors qu'à leur station de référence, Moussan, ça ne change pas à 1 µg/m<sup>3</sup>.

En 2015, la moyenne sur l'année au poste *Audecoop*, renommé *Arterris* a grimpé à  $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Atmo Occitanie 2022, p. 3). Elle a été de  $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2014.

- Ensuite les rapports annuels de l'exploitant donnent les émissions aériennes en tonnes par an (Table 7).

Evolution des rejets dans l'air de l'établissement (tonnes/an)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Production "U"/"UF <sub>4</sub> "	13 150	12 454	12 086	13 049	9005	6 617	1 051	1 404	1 268	8 522	9285
Ammoniac NH <sub>3</sub>	28,5	24,6	53	21	18,6	24,8	0,54	0,49	1,26	2,44	2,20

Areva 2015, Orano 2018, 2019, 2021, 2022, 2023

Table 7. Rejets aériens d'ammoniac NH<sub>3</sub> Areva/Orano-Malvési, années 2012-22.

La moyenne des 4 valeurs 2012-2015 est ~ 32 tonnes/an, après quoi l'activité de l'usine baisse, jusqu'à  $1/10^{\text{ème}}$  en 2018-2019-2020. Après cela le procédé a été changé, c'est la voie directe ISOFLASH et les rejets d'ammoniac apparaissent être divisés d'un facteur 9.

- En 2021, les concentrations, en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , remontent avec une montée d'activité de l'usine et c'est toujours la station au SW et à 50 m des bassins B5 et B6, *Audecoop/Arterris* qui montre les valeurs les plus hautes, moyenne annuelle de  $47,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mais irrégulier, avec un pic de  $275 \mu\text{g}/\text{m}^3$  comme moyenne sur la dernière semaine d'avril, 2 pics supérieurs à  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à l'automne (la référence à Moussan étant  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Pourtant, les rejets 'canalisés' (aux cheminées) sont bien moins élevées qu'elles ne l'ont été, de l'ordre de 40 kg/semaine, quelques fois 110 kg/sem (comparez avec Fig. 15 et 16).

Atmo Occitanie (2021, p. 8) écrit "*La décroissance des concentrations de NH<sub>3</sub> en s'éloignant des bassins montre que les émissions de NH<sub>3</sub> provenant de ces bassins ont une influence directe sur l'environnement immédiat d'Orano Malvési, indépendamment de la direction du vent et des quantités émises au niveau des cheminées.*". La concentration mesurée sur *Arterris* augmente lorsque la Tramontane diminue.

En 2023 les concentrations mesurées sur *Arterris* sont montées de 9 à  $33,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  du 1<sup>er</sup> au 3<sup>e</sup> trimestre (avec un pic à  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  la première 15<sup>ème</sup> de septembre, la réf. à Maussan étant de  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Atmo Occitanie 2024).

- Les arrêtés préfectoraux des 08/11/2017 et 28/07/2018 donnent :

Table 8. Rejets NH <sub>3</sub> aux cheminées					
Valeurs limites de moyennes journalières					
arrêtés préfectoraux 08/11/2017 et 28/07/2018					
(les concentrations sur moyenne de 1/2h peuvent être presque le double)					
Cheminée n° (hauteur)	Atelier	Installations raccordées	Débit m <sup>3</sup> /h*	NH <sub>3</sub> mg/Nm <sup>3</sup> *	Flux kg/an**
<b>21</b> (30 m)	hydrofluoration	Exutoire des événements procédés des fours	3 973	50	1600
<b>10</b> (24 m)	Récupération	Événement procédé cuves	9 600	50	3 900
<b>24</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	3 000	50	1 200
<b>24 bis</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	6 000	50	2 400
<b>36</b> (20 m)	Réduction NVH	Four, poudres, trémies, événements Nox, calcination...	10 000	5	400
<b>29</b> (30 m, sortie ≥ 12 m/s)	TDN	Cheminée procédé et traitement thermique des gaz	12 000	30	2 880
<b>18</b> (8 m)	Laboratoire	Événement laboratoire	8 730	5	350
<b>18 bis</b> (13 m)	Laboratoire	Événement laboratoire	12 300	5	500
<b>1</b>	Précipitation	Turbo-scrubber	fermée ?	50	
<b>8</b> (17 m)	Dissolution	Événements ventilation cuves	20 000	50	8000
Total					21 200
Total ne doit dépasser					40 000

\* valeurs exprimées en conditions normalisées de température 273 K et 1013 hPa et de teneur en oxygène: 11 % pour l'installation TDN, 21 % pour les autres installations, après déduction de la vapeur d'eau (**gaz sec**)

\*\* calcul pour 337 jours (seule la valeur cheminée 29 figure dans un arrêté)

La moyenne des 4 valeurs 2012-2015 était de ~ 32 tonnes/an; de nouveaux systèmes de traitement ont été installés (l'autorisation pour la cheminée n°21 est passée de 500 à 50 mg/Nm<sup>3</sup> le 01/01/2018) ce qui doit baisser les rejets calculés comme dans Table 8. Mais le décret du 08/11/2017 § 3.2.4.1. ajoute que la valeur totale émise, celles des cheminées, ne doit pas dépasser 40 tonnes d'ammoniac par an.

### IV-3. Rejets d'oxydes d'azote NOx

- Pour les années 2000s des valeurs étaient données en kg/jour :

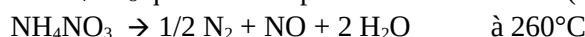
Evolution des rejets non radioactifs dans l'air ( <b>kg/jour</b> )									
	1995	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010
Production "U"/"UF <sub>4</sub> " approx	11 750	12 300	13 200	13 200	14 000	13 675	11 939	13 059	12 512
<b>NOx</b>	20,8	260	548	551	441	685	528	679	761

Cogema/Comurhex in CriRad 2006 p. 20; Areva 2011 p. 10, 18

Table 9. Rejets aériens d'oxydes d'azote NOx Areva-Malvési, années 2002-2010.

La valeur 1995 dénote sur la suite qui est que chaque jour, estimations de l'exploitant, pendant des années l'usine rejetait entre 250 et 750 kg d'oxydes d'azote, la moyenne 2002-2010 est 556 kg/k soit pour 320 jours 178 tonnes/an.

- Un lieu de production d'oxyde d'azote était l'entrée des four de calcination de l'uranate. Le cake contient encore de la solution et donc du NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> qui se décompose à l'entrée du four (Er Raki 2021, tab. II-10) :



Cela est pris en relais à partir de 320 °C par la production de protoxyde d'azote vu précédemment. NOx est aussi une "impureté" dans le crackage de l'ammoniac dont dépend le site pour la fluoration.

- On a mentionné plus avant les mentions par Véritas (2011, p. 25) des rejets NOx de l'atelier *Précipitation* une fois installé l'oxydeur thermique RTO : "les mesures de NOx menées sur 2010 et 2011 pour déclaration à l'autorité montrent un respect des valeurs réglementaires préexistantes (500 mg/Nm<sup>3</sup>). Il n'en reste pas moins que l'ambition énoncée... parle de 300-350 mg/m<sup>3</sup> de NOx abattus ce qui reste atteignable", une remarque qui indique que en 2010 au moins les rejets d'oxydes d'azote étaient plus proches de 500 mg/Nm<sup>3</sup> que de 350 mg/Nm<sup>3</sup>. Si on prend arbitrairement un chiffre de 450 mg/Nm<sup>3</sup> et un débit de 15 000 Nm<sup>3</sup>/h\*, c'est 6,7 kg/heure et 162 kg de NOx par 24h ce qui fait ≈ 50 tonnes sur 320 jours.

\* On a cité plus avant Véritas 2011 parlant de 12 000 à 12 500 alors que Comurhex 2010 donne 17 000 m<sup>3</sup>/h comme ventilation pour cet atelier.

L'oxydeur thermique régénératif (RTO) pour détruire N<sub>2</sub>O a du fonctionner en 2011. "Dans cette application, l'oxydation du N<sub>2</sub>O n'est pas une réaction souhaitée bien qu'elle puisse se produire en présence d'air, entraînant l'apparition de NOx. Ces NOx sont abattus par une réaction de type SNCR (Specific Non Catalytic Reduction) réalisée par l'injection dans la chambre haute température d'une solution ammoniacale à 25 % dans l'eau osmosée propulsée par de l'air comprimé...".

- pour la petite histoire, le 10/09/2015 Areva-Malvesi, parmi 19 autres infractions au code de l'environnement relevées. a eu une amende par le tribunal de Grande Instance de Narbonne incluant la non-mesure des rejets oxydes d'azote de son incinérateur sur site (c'est une petite contribution parmi les autres rejets du site, cf. Table 11., cheminée n°16).

- Ensuite les rapports annuels de l'exploitant donnent les émissions aériennes en tonnes par an (Table 10).

Evolution des rejets non radioactifs dans l'air de l'établissement ( <b>tonnes/an</b> )											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Production "U"/"UF <sub>4</sub> "	13 150	12 454	12 086	13 049	9005	6 617	1 051	1 404	1 268	8 522	9285
<b>NOx</b>	128	132	152	80	57,6	42	9,2	16,8	9,8	36,9	36,6

Areva 2015, Orano 2018, 2019, 2021, 2022, 2023

Table 10. Rejets aériens d'oxydes d'azote NOx Areva/Orano-Malvési, années 2012-2022.



On avait calculé tentativement pour 2002-2010 à partir de la Table 9., 178 tonnes NOx/an (sur base 320 jours) donc les rejets 2012-14 ont plutôt baissé, un réglage du *rabatement* dans l'oxydateur thermique a du être trouvé.

Les années 2017 à 2020 sont un apaisement pour la zone de Narbonne, l'usine n'ayant pas l'activité qu'elle a pratiquée pendant plus de 30 ans il y a moins de rejets en tout, et moins de nouveaux déchets de toutes sortes. Mais une baisse de rejet NOx avait eu lieu en 2015 par rapport aux années précédentes. Il y a cette note glissée pour l'ammoniac par Areva (2015, p. 32) en défense préventive, car le rejet s'est élevé en 2014 : "*La mise en place d'un système des traitements des effluents a pour objectif de réduire les rejets de l'atelier hydrofluoration (dont l'ammoniac)*". Le rejet NH<sub>3</sub> était divisé par ~ 2 l'année suivante et la mise en place tardive de ce système est peut-être une explication pour NOx aussi.

▪ Valeurs limites des rejets NOx des cheminées du site rendues légales par les arrêtés préfectoraux du 08 nov. 2017 et du 26 juil. 2018 pour les temps qui viennent, Table 11 :

Cheminée n° (hauteur)	Atelier	Installations raccordées	Débit m <sup>3</sup> /h*	NOx mg/Nm <sup>3</sup> *	Flux tonnes/an**
<b>21</b> (30 m)	hydrofluoration	Exutoire des événements procédés des fours	3 973	500	16
<b>10</b> (24 m)	Récupération	Événement procédé cuves	9 600	350	27
<b>24</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	3 000	350	8,5
<b>24 bis</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	6 000	350	17
<b>36</b> (20 m)	Réduction NVH	Four, poudres, trémies, événements Nox, calcination...	10 000	100	8
<b>29</b> (30 m, sortie ≥ 12 m/s)	TDN	Cheminée procédé et traitement thermique des gaz	12 000	200	19
<b>9</b> (7 m)	Décontamination	Événement procédé respiration cuves	3 450	300	8,4
<b>18</b> (8 m)	Laboratoire	Événement laboratoire	8 730	300	21
<b>18 bis</b> (13 m)	Laboratoire	Événement laboratoire	12 300	300	30
<b>25</b> (16 m)	Chaufferie	Événements procédés	21 000	100	17
<b>25 bis</b> (16 m)	Chaufferie	Événements procédés	21 000	100	17
<b>16</b> (15 m, ≥ 12 m/s)	incinérateur	Événement four	2 700	180	3,9
total				3130	193

\* valeurs exprimées en conditions normalisées de température 273 K et 1013 hPa et de teneur en oxygène: 11 % pour l'installation TDN et l'incinérateur, 6% dans le cas des combustibles solides pour les installations de combustion, 3 % dans le cas des combustibles liquides et gazeux pour les installations de combustion et 21 % pour les autres installations, après déduction de la vapeur d'eau (**gaz sec**)

\*\* calcul pour 337 jours (seules les valeurs des cheminées 29 et 16 figurent dans les arrêtés)

Le cumul des réjets légalisés n'est pas loin de 200 tonnes par an émis du même site, bassins non compris. Les quantités de rejets des années 2000s sont légalisées a posteriori... et Orano peut remettre ça en important encore plus de yellow cake...

La molécule NO est extrêmement réactive et comme elle est entourée de l'oxygène de l'air le passage  $2\text{NO} + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO}_2$  se fait facilement, NO et NO<sub>2</sub> sont toujours ensemble. NO<sub>2</sub> est connue comme la seule molécule à être photodissociée dans la troposphère sous l'effet des UV solaires de longueur d'onde  $\lambda < 0,42 \mu\text{m}$  qui atteignent la surface de la terre. Cela libère un oxygène qui, avec une molécule dioxygène de l'air environnant forme l'ozone, O<sub>3</sub>. L'ozone est un oxydant fort non spécifique, franchement nocif même quand sa concentration n'est pas élevée. L'ozone est un gaz à effet de serre redoutable parce qu'il absorbe sur la longueur d'onde proche de 10  $\mu\text{m}$ , qui est aussi celle d'émission maximale de la surface de la Terre. Toute canicule actuelle en France est avant tout caractérisé par une pollution ozone forte qui a grandement augmentée depuis un siècle. La réaction implique des COV, Composés Organiques Volatiles (qui déjà

existent naturellement), et justement les cheminées *Dissolution* (n°8) et *Purification* (n° 13bis) ont autorisation de rejet annuel de 17,8 + 1,8 tonnes de COV\*...

\* "Le 10 avril 2000 a été signé un nouvel arrêté préfectoral (de 86 pages), élaboré en étroite liaison avec les services de la Comurhex qui l'ont accepté. Le projet a introduit des adaptations ou compléments qui portent sur : (...) - la prévention de la pollution atmosphérique. Le projet ... demande un suivi particulier des composés organiques volatils." (Davis 2001, p. 195) ce qui laisse penser que comme le protoxyde d'azote et l'ammoniac, les rejets COV étaient particulièrement élevés.

De plus la teneur en humidité à la sortie de la future cheminée TDN est annoncée de 35 % (le flux réel en conditions de fonctionnement est annoncé de 40 000 m<sup>3</sup>/heure; Areva 2016-d, p. 48) or la vapeur est l'un des grands gaz à effet de serre avec le CO<sub>2</sub> (qui lui ne bouge pas d'un jour à l'autre, qu'il fasse -15 ou +40, nuages gris ou grand soleil ni change rien) et la pénibilité des canicules, en dehors de O<sub>3</sub>, est très dépendante de la saturation en vapeur d'eau. Il y a déjà 6 aérocondenseurs de 1,3 MW chacun présents sur le site, et TDN, en plus du rejet cheminée, va en amener un 7<sup>ème</sup> (source d'humidité en plus de l'effluent parce qu'il faut le refroidir en amont).

L'association Rubresus (2019) a souligné que "l'incinérateur Ocréal de Lunel-le-Viel (34) qui traite les ordures ménagères d'une population de 200 000 habitants a rejeté 28 497 kg NOx en 2017.". 193 ÷ 28,5 c'est 6,8 fois ça, Malvési a reçu autorisation de l'Etat de rejeter du NOx équivalent à un incinérateur de 1,35 million d'habitant-e-s.

#### IV-4. Rejets aériens de nitrates NO<sub>3</sub> particulaires

L'exploitant Cogema/Areva a donné des chiffres de rejets "poussières" non radioactives sans plus de détail.

Pour les années 2000s les valeurs étaient fournies en kg/jour (Table 12).

Evolution des rejets non radioactifs dans l'air (kg/jour)									
	1995	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010
Production "U"/"UF <sub>4</sub> " approx	11 750	12 300	13 200	13 200	14 000	13 675	11 939	13 059	12 512
"poussières"	20,7	50	51	59	20	10	69	16	16

Cogema/Comurhex in CriiRad 2006 p. 20, Areva 2011 p. 8, 18

Table 12. Rejets aériens "poussières" de Areva-Malvési.

CriiRad (2006, p. 20) : "Le fait que les quantités de poussières rejetées figurent dans un tableau intitulé "Evolution des rejets non radioactifs dans l'air" laisserait penser que ces poussières ne sont pas radioactive. Ceci devra être vérifié par un contrôle spécifique et indépendant."

- Pour les années 2010s + les rapports annuels donnent les émissions aériennes en tonnes par an (Table 13).

Evolution des rejets non radioactifs dans l'air de l'établissement (tonnes/an)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Production "U"/"UF <sub>4</sub> "	13 150	12 454	12 086	13 049	9005	6 617	1 051	1 404	1 268	8 522	9285
"poussières"	0,7	0,5	4	7	3,62	0,7	0,16	0,13	0,42	0,19	0,76

Areva 2015, Orano 2018, 2019, 2021, 2022, 2023

Table 13. Rejets aériens "poussières" Areva/Orano-Malvési, années 2012-22.

▪ La majeure partie de ces "poussières" est apparemment constituée de nitrates et ammonium. C'est ce qu'indiquent les (seules) mesures (données hors U) avec des jauges d'Owen, composées d'un entonnoir au dessus d'un récipient de réception. Mais ces mesures littéralement "balancées" à la figure des élu-e-s et habitant-e-s par l'observatoire CSS (2021 diapositives 40-43), Commission de Suivi de Site de la Sté Orano de Malvés sont de la bouillie pour chat, en mg/litre (trompes d'eaux ? Sécheresse ?), Fig. 17.

#### IV-4 Bilan dépôts aériens



Fig. 17. Présentation des dépôts aériens par mesures avec des jauges d'Owen selon l'Observatoire de la Commission de suivi de Malvésí: des nitrates et de l'ammonium, donnés en unité fantoche (mg/l) (in CSS 2021, diap 40-43).

Selon la norme AFNOR NF X 43-014 sur la détermination des retombées atmosphériques ces jauges sont pour mesurer un dépôt total (sec et humide) en  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{durée}$  de temps. Le poids de matière n'est connu qu'après évaporation à étuve à  $105^\circ\text{C}$ , ensuite on divise cette mesure par la surface de l'entonnoir et par la durée.

De cette présentation Observatoire CSS (2021) on "voit" qualitativement que à la jauge d'Owen mise au SE du site (dite *tauran*) sur 2011-2020 a tout le temps des retombées nitrate et ammonium. Dans les autres directions presque pas sauf quand ponctuellement il y a inversion, comme début 2012, où c'est la jauge au Nord du site (dite *Oeillal*) qui en recevait.

- Orano annonce (2023, p. 46) : "Dans le cadre du projet Comurhex II, l'atelier Précipitation, générateur d'une partie des poussières, a vocation à être arrêté." (Areva 2015 p. 32). "Afin de maintenir l'impact des rejets atmosphériques liés aux gaz et aux poussières au niveau le plus bas possible, les cheminées sont équipées de dispositifs d'épuration."

- Mais rien ne change réellement. Dans les arrêtés préfectoraux des 08/11/2017 et 28/07/2018 le cumul des limites des rejets de "poussières" aux cheminées de l'usine est de pas loin de 16 tonnes par an (Table 14). Divisé par 337 jours de fonctionnement cela rend légal un rejet de 47 kg de "poussières" par jour, d'une 'usine chimique "Sévésó seuil haut", à peu près comme l'usine le faisait au cours des années 2000s.

Table 14. Rejets "poussières" aux cheminées  
Valeurs limites de moyennes journalières  
arrêtés préfectoraux 08/11/2017 et 28/07/2018  
(les concentrations sur moyenne de 1/2h peuvent être 3-4 fois plus élevées)

Cheminée n° (hauteur)	Atelier	Installations raccordées	Débit $\text{m}^3/\text{h}^*$	poussières $\text{mg}/\text{Nm}^{3*}$	Flux $\text{kg}/\text{an}^{**}$
<b>21</b> (30 m)	hydrofluoration	Exutoire des événements procédés des fours	3 973	10	321
<b>10</b> (24 m)	Récupération	Événement procédé cuves	9 600	10	776
<b>24</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	3 000	5	121
<b>24 bis</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	6 000	5	243
<b>36</b> (20 m)	Réduction NVH	Four, poudres, trémies, événements Nox, calcination...	10 000	5	404
<b>29</b> (30 m, sortie $\geq 12$ m/s)	TDN	Cheminée procédé et traitement thermique des gaz	12 000	10	960

<b>9</b> (7 m)	Décontamination	Évent procédé respiration cuves	3 450	15	418
<b>18</b> (8 m)	Laboratoire	Évent laboratoire	8 730	15	1059
<b>18 bis</b> (13 m)	Laboratoire	Évent laboratoire	12 300	15	1492
<b>16</b> (15 m, $\geq 12$ m/s)	incinérateur	Évent four	2 700	5	108
<b>27</b>	Broyage fûts	Évent(s) broyage fût TFA	?	15	
<b>2</b>	Précipitation	Centrale aspirante atelier	fermée ?	15	
<b>6</b> (3 m)	hydrofluoration	Centrale aspirante atelier et ventilation poudre, empotage citerne	779	15	94,5
<b>11</b> (4 m)	Échantillonnage	Centrale aspiration atelier	8 900	15	1080
<b>17</b> (7 m)	Hydrofluoration	Ventilation poudre, silo R3400 : compactage $UO_3$	3 145	15	381
<b>20</b> (7 m)	Hydrofluoration	Transport poudre et compactage $UO_3$ (filtre R34290)	8 000	15	970
<b>23</b> (28,9 m)	Dénitration thermique, Dissolution	Ventilation ambiance, poudre événements cuves et silos de stockage	40 091	15	4864
<b>1</b>	Précipitation	Turbo-scrubber	fermée ?	40	
<b>7</b> (15 m)	Hydrofluoration	Évent stockage et dépotage HF ; ventilation poudre TP UF4 (R3455, R342)	964	15	117
<b>8</b> (17 m)	Dissolution	Évent ventilation cuves	20 000	15	2426
total					15 834

\* valeurs exprimées en conditions normalisées de température 273 K et 1013 hPa et de teneur en oxygène: 11 % pour l'installation TDN et l'incinérateur, 6% dans le cas des combustibles solides pour les installations de combustion, 3 % dans le cas des combustibles liquides et gazeux pour les installations de combustion et 21 % pour les autres installations, après déduction de la vapeur d'eau (**gaz sec**)

\*\* calcul pour 337 jours (seules les valeurs cheminée 29 et 16 figurent dans les arrêts)

#### IV-5. Acides fluorhydrique et chlorhydrique

▪ Davis (2001, p. 192) mentionnait "les rejets atmosphériques... (...) fluor en provenance d'une colonne qui doit capter et neutraliser à la potasse les effluents fluorés (étape d'hydrofluoration)."

Evolution des rejets non radioactifs dans l'air ( <b>kg/jour</b> )										
	1995	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010	
Production "U"/"UF <sub>4</sub> " approx	11 750	12 300	13 200	13 200	14 000	13 675	11 939	13 059	12 512	
<b>Fluorures</b>	*	0,7	0,7	2	0,7	0,5	1	1	0,3	

\* 38 kg pour l'année

Retombées atmos. de Fluorures, $\mu\text{g}/\text{dm}^2/\text{jour}$	0,32	0,31	0,42	0,49						
--	------	------	------	------	--	--	--	--	--	--

Cogema/Comurhex in CribRad 2006 p. 20, Areva 2011 p. 8, 18

Table 15. Rejets aériens fluorures de Areva-Malvési dans les années 2000s.

- La moyenne des rejets fluorures 2002 à 2005 et 2007 à 2010 dans l'air est 0,86 kg par jour soit pour 337 jours : ~ 290 kg par an avec le taux exploitant
- Fluorures est un nom général lorsque le fluor, F, est anion. Le nom de l'acide fluorhydrique gazeux, car il est gazeux au dessus de 20°C, est fluorure d'hydrogène donc c'est un fluorure. Le fluorure d'ammonium est indiqué mais dans les rejets liquides. A chaud il est séparé en gaz HF et ammoniac.

Les fluorures dans l'eau restent toxiques car se forme du HF qui se dissocie peu étant un acide faible rendant la solution basique par ailleurs avec les OH laissés pour compte, d'où cumul des deux; de plus ingéré un fluorure réagit immédiatement avec HCl de l'estomac pour donner du HF.

Areva (2013 p. 137) dans le chapitre "végétaux terrestres" : *Fluorure*, donne des concentrations de "6 mg/kg" sur "les parties aériennes des végétaux pérennes non-agricole... Ceci indique un marquage atmosphérique en surface des feuilles...".

Finalement Orano (2023) a remplacé ce nom "*fluorures*" au pluriel des rejetés dans l'air par "Acide fluorhydrique (HF)" au singulier, y compris rétroactivement.

Evolution des rejets non radioactifs dans l'air de l'établissement de Malvési (kg/an)											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Production "U"/"UF <sub>4</sub> "	13 150	12 454	12 086	13 049	9005	6 617	1 051	1 404	1 268	8 522	9285
<b>Fluorures = HF</b>	100	110	120	100	50	43	12	20	70	40	20

Areva 2015, Orano 2018, 2019, 2021, 2022, 2023

Table 16. Rejets aériens acide fluorhydrique HF de Areva-Malvési dans les années 2010s.

A partir de 2016, l'usine a produit beaucoup moins de UF<sub>4</sub> qu'elle n'en faisait avant; mais elle a eu autorisation pour en faire plus qu'avant... Donc si l'on regarde comme indication avant cette date, le rejet de l'atelier dans l'air de fluoration selon l'exploitant est de plus de 100 kg de HF par an d'où dépôts aux alentours.

- Autorisations de rejets aériens futurs d'acide fluorhydrique, Table 17 :

Table 17. <b>Rejets HF aux cheminées</b> <b>Valeurs limites de moyennes journalières</b> arrêté préfectoral du 08/11/2017 (les concentrations sur moyenne de 1/2h peuvent être presque le double)					
Cheminée n° (hauteur)	Atelier	Installations raccordées	Débit m <sup>3</sup> /h*	HF mg/Nm <sup>3*</sup>	Flux kg/an**
<b>21</b> (30 m)	hydrofluoration	Exutoire des événements procédés des fours	3 973	10	321
<b>7</b> (15 m)	Hydrofluoration	Événement stockage et dépotage HF ; ventilation poudre TP UF <sub>4</sub> (R3455, R342)	964	2	15,6
<b>10</b> (24 m)	Récupération	Événement procédé cuves	9 600	2	155
<b>29</b> (30 m, sortie ≥ 12 m/s)	TDN	Cheminée procédé et traitement thermique des gaz	12 000	1	96
<b>16</b> (15 m, ≥ 12 m/s)	incinérateur	Événement four	2 700	1	21,6
total					609
Total maxi autorisé					250

\* valeurs exprimées en conditions normalisées de température 273 K et 1013 hPa et de teneur en oxygène: 11 % pour l'installation TDN et l'incinérateur et 21 % pour les autres installations, après déduction de la vapeur d'eau (**gaz sec**)

\*\* calcul pour 337 jours (seules les valeurs cheminée 29 et 16 figurent dans les arrêtés)

La somme des autorisations unitaires par cheminée dépasse 600 kg d'acide fluorhydrique par an mais le § 3.2.4.2. de l'arrêté écrit que "L'ensemble des rejets canalisés en fluor est au plus de 250 kg/an.", ce qui n'est déjà pas cohérent avec l'autorisation pour la cheminée des fours d'hydrofluoration, la n° 21 du site, qui a une autorisation à elle seule qui dépasse allègrement cette valeur. Ces autorisations préfectorales sont vastement au dessus des chiffres de consommation donnés jusque là donc : i) soit Orano n'a aucune raison de se gêner d'envoyer du HF dans l'atmosphère, ii) soit il pourra dire "on est bien en dessous des autorisations", cette dernière technique très employée dans le nucléaire français.

- Autorisations de rejets aériens d'acide chlorhydrique, Table 18.

**Table 18. Rejets HCl aux cheminées**  
**Valeurs limites de moyennes journalières**  
 arrêtés préfectoraux du 08/11/2017 et 28/07/2018  
 (les concentrations sur moyenne de 1/2h peuvent être 6 fois plus élevées)

Cheminée n° (hauteur)	Atelier	Installations raccordées	Débit m <sup>3</sup> /h*	HCl mg/Nm <sup>3</sup> *	Flux kg/an**
<b>21</b> (30 m)	hydrofluoration	Exutoire des évènements procédés des fours	3 973	10	321
<b>10</b> (24 m)	Récupération	Évènement procédé cuves	9 600	10	776
<b>29</b> (30 m, sortie ≥ 12 m/s)	TDN	Cheminée procédé et traitement thermique des gaz	12 000	10	960
<b>16</b> (15 m, ≥ 12 m/s)	incinérateur	Évènement four	2 700	8	172,8
<b>9</b> (7 m)	Décontamination	Évènement procédé respiration cuves	3 450	10	279
<b>18</b> (8 m)	Laboratoire	Évènement laboratoire	8 730	10	706
<b>18 bis</b> (13 m)	Laboratoire	Évènement laboratoire	12 300	10	995
total					4 210
Total maxi autorisé					1 150

\* valeurs exprimées en conditions normalisées de température 273 K et 1013 hPa et de teneur en oxygène: 11 % pour l'installation TDN et l'incinérateur et 21 % pour les autres installations, après déduction de la vapeur d'eau (**gaz sec**)

\*\* calcul pour 337 jours (seules les valeurs cheminée 29 et 16 figurent dans les arrêtés)

La somme des autorisations unitaires par cheminée est de 4,2 tonnes d'acide chlorhydrique par an dont presque 1 tonne pour le futur TDN et plus d' 1,5 tonne pour les cheminées laboratoire, mais § 3.2.4.3. écrit que "L'ensemble des rejets canalisés en acide chlorhydrique est au plus de 1 150 kg/an."

## V. Rejets aériens d'uranium particulaire et descendants

### V-1. Le contenu des rapports publics annuels de l'exploitant sur le radioactif

On a vu que les "poussières" étaient figurées comme rejets "*non radioactif*". Mais 4 pages plus loin dans des rapports l'exploitant donne des valeurs d'activité volumique des poussières, activités qui "*concernent l'ensemble du site, intégrant l'INB ECRIN.*" (Orano 2023, p. 50), Table 20. "*La réalisation d'une couverture bitumineuse mise en place fin 2020 sur l'INB ECRIN a pour objectif de renforcer l'étanchéité de l'INB et de supprimer tout envol de poussières.*" (Orano 2022, p. 45). "... à la station implantée près du bassin B5, l'activité des poussières.. en février 2005 (1,1 mBq/m<sup>3</sup>), avril 2006 (1,3 mBq/m<sup>3</sup>) et mai 2006 (1,1 mBq/m<sup>3</sup>)." (Criirad 2006, p. 54).

"Evolution des rejets radioactifs" (mBq/m <sup>3</sup> )									
	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010	
Production "U" ou "UF <sub>4</sub> " approx	12 300	13 200	13 200	14 000	13 675	11 939	13 059	12 512	
"poussières à vie longue"	1,93	1,4	< 1	< 1	absents du rapport 2011				

Comurhex in CriiRad 2006 p. 23,

Table 19. Radioactivité des poussières atmosphériques, site Orano-Malvési, années 2000s

Une valeur moyenne pour une année, pour combien de mesures ? où ? Ainsi, bien que les rapports Comurhex annoncent que c'est sous le seuil de détection en 2004 et 2005, il a été su à la CLIC-Malvési du 25/11/2005 que pour une station B1, au centre de l'usine c'était 2,5 et 2,1 mBq/m<sup>3</sup> pour les années 2004 et 2005, c'était donc mesurable (CriiRad 2006, p. 23). "une contamination permanente de l'air susceptible de délivrer au riverains une dose de 590 microSievert par an ne serait pas détectable avec un seuil de 1 mBq/m<sup>3</sup>." (CriiRad 2006, p. 54).

Activité volumique moyenne des poussières en $\text{mBq/m}^3$											
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Production "U" ou "UF <sub>4</sub> "	13 150	12 454	12 086	13 049	9005	6 617	1 051	1 404	1 268	8 522	9285
Émetteurs alpha	0,99	0,32	0,23	0,30	0,24	0,14	0,08	0,12	0,12	0,12	0,11
Émetteurs bêta	1,36	0,93	0,804	0,99	0,86	0,73	0,76	0,73	0,8	0,81	0,95

Areva 2015, Orano 2018, 2019, 2021, 2022, 2023

Table 20. Activité volumique moyenne des "poussières" du site Orano-Malvési, années 2010s

Mais évidemment, il est impossible de se rendre compte de (et comprendre) quoi que ce soit avec une telle présentation qui n'est pas faite pour informer.

## V-2. Finalement ailleurs des analyses de la pollution radioactive de l'usine chimique

▪ Suite à la série de problèmes qui s'est produite sur ce site depuis 2004, glissement de digues d'abord, puis fin janv. 2006 inondation du site avec nitrates et uranium partant dans le canal du Tauran, 5 mois plus tard en juin, c'est de l'autre côté une conduite qui fuit sur la voie de chemin de fer..., une association locale et des habitant-e-s mitoyen-ne-s du site, ont fait appel au laboratoire de la CriiRad. De la terre sur le site en contrebas des bassins B1 et B2 échantillonnée par un riverain-mitoyen a été analysée et outre des fils de l'uranium (Th-234 et Pa-234 : 49 200 Bq/kg-frais) s'est révélée contenir de l'américium-241 (CriiRad 2006 p. 43-44) élément qui vient de combustibles qui ont été irradiés et indique la présence de plutonium (qui n'est pas mesurable en spectrométrie gamma, mais déjà l'Am-241 en descend). L'exploitant n'avait jamais parlé de cette présence, pas plus que ne le disait l'inventaire national des déchets radioactifs publié par l'Andra. L'association CriiRad agréée pour la radioactivité a alors participé à la réunion du 12 oct. 2006 du Comité local d'information de Malvési (avec le sous-Préfet, l'exploitant, élus, etc.). La CriiRad a relevé tant de points insatisfaisants dans le contrôle radiologique qu'elle a réclamé que soit fait un audit sur ce site (CriiRad 2006, p. 58).

▪ Suite à quoi l'IRSN a eu charge de faire (sous la forme administrative d'une "demande" d'Areva) une étude sur ce site, étude qui a mobilisé outre des analyses gamma, des types d'analyses beaucoup plus lourdes à effectuer dans des laboratoires à gros moyens et qui peuvent faire de la séparation chimique très fine (un personnel spécialiste à cela, une suite d'instruments coûteux à l'achat et l'entretien) : spectrométrie alpha pour uranium et plutonium et ICP-MS (Inductively coupled plasma-mass spectrometry) méthode nouvelle qui permet de déterminer des rapports isotopiques. Les analyses ont été faites au laboratoire mixte d'Orsay (IRSN/DEI/STEME/LMRE).

Deux ans après (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 11-12) :

*"Les rejets atmosphériques d'uranium sous forme de poussières proviennent essentiellement des ateliers de précipitation et surtout de fluoration (environ 87% du total émis dans l'atmosphère).*

*Des rejets atmosphériques particulièrement importants ont été quantifiés à partir des mesures réalisées en 2002 (2210 kg d'uranium rejetés). En 2005, le rejet atmosphérique d'uranium est de 133 kg. Le CEA/DAM a procédé à une reconstitution de l'historique des rejets à partir de mesures d'uranium dans l'air. A défaut de mesures, les rejets ont été extrapolés en supposant une proportionnalité entre le rejet annuel et la production annuelle (Guétat et Monfort, 2003)."*

▪ Davis (2001, p. 192) indiquait *"les rejets atmosphériques... (...) poussières uranifères fines. L'usine relache 10 kg/an d'uranium..."* chiffre qu'elle a pris d'un rapport CEPN (l'association du nucléaire, spécialiste à en minimiser les impacts) de 1995. On voit de la Table 21 (chiffres établis par le CEA/DAM) que les estimations du CEPN était sous-estimées d'au moins un ordre de grandeur.

Rejets atmosphériques en uranium à partir des événements, $\text{kg/an}$ , Malvési						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Production "U" ou "UF <sub>4</sub> " approx	11 050	11 200	12 300	13 200	13 200	14 000
rejets atmosphérique uranium	425,4	426,3	2 210	454	302	132,7

CEA/DAM in Pourcelot et Le Roux 2008, p. 12

Table 21. Masse de poussière fine d'uranium émise par les événements de l'usine chimique de Malvési, début années 2000s.

▪ L'association locale Rubresus rapporte en 2019 (§ 4.1.3) que les rejets aériens totaux en 2015 ont été de 44,3 kg dont 39 kg par les cheminées. Cela laisse entrevoir que des efforts ont finalement été faits par l'exploitant pour diviser ses rejets de fine poussière d'uranium par dix depuis le début des années 2000 (Table 21).

- Les années 2018, 2019 et 2020 ne sont pas représentatives puisque le site produit un dixième de ce qu'il a produit avant et c'est un vingtième de ce que l'Etat l'autorise désormais de produire.

▪ Bien qu'il s'agisse d'éléments très lourds (l'hydrogène peut s'évader de l'atmosphère terrestre, certainement pas l'uranium et ses descendants...), la contamination des sols sous le vent du site, 30 à 70 Bq/kg-sec est le double de la référence prise du côté NW du site (20 à 30 Bq/kg; Pourcelot 2009, p. 25). "La concentration de fond d'uranium dans les sols autour du site de Malvési est 2,4 à 2,6 mg/kg, montant à 4,9 mg/kg sous le vent du site..." (Fernandes 2017 p. 37).

Dans les rapports annuels de l'exploitant, remis au CLIC, que vous pouvez télécharger sur le web, ça n'est pas dit.

▪ Cependant dans un document adressé aux autorités, à la suite des rapports CiiRad et IRSN, Areva (2013, p. 126 puis 158) : "Le suivi périodique est réalisé par jauges d'Owen (dépôts secs et humides) et concerne l'uranium. Les résultats de 2009 mettent en évidence des concentrations qui varient entre 0,6  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$  et 51  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$ . C'est le point « zone D », le plus proche des cheminées de l'usine... qui présente la plus forte concentration... (...) « zone D » dont les dépôts secs et humides collectés par jauge d'Owen sont marqués en uranium.", et Areva (2013 p. 158-9) dans le périmètre de l'usine : "Uranium particulaire : En 2009, les valeurs varient de 0,04  $\text{mBq}/\text{m}^3$  à 47  $\text{mBq}/\text{m}^3$ "; "Autres radionucléides particuliers : Parmi les descendants du U-238, le Th-234 mais aussi le Ra-226, le Po-210 et le Pb-210 ont été détectés à des concentrations similaires ou même supérieures à celle du U-238 pour le même prélèvement."

▪ De fait, Poncelot et Le Roux (2008) ont trouvé sous forme de dépôt surfacique sur végétaux, des feuilles des cyprès, que près de, mais en dehors du site, cela commence à au delà de 100 Bq/kg chacun pour les Th-234 et Th-230, aussi 60 Bq/kg pour le Pb-210, et 10 Bq/kg pour le Pb-214 (Fig. 18, "20 m").

Le Th-234 (descendant immédiat) peut être en équilibre avec l'U-238, le Th-230 lui vient des déchets du raffinage (les fils de l'uranium encore présents dans le yellow cake). On voit sur cette figure que les plomb diminuent plus progressivement parce qu'ils sont des fils d'après l'étape gaz radon et ont donc en partie voyagé à partir du site sous forme de gaz radon.

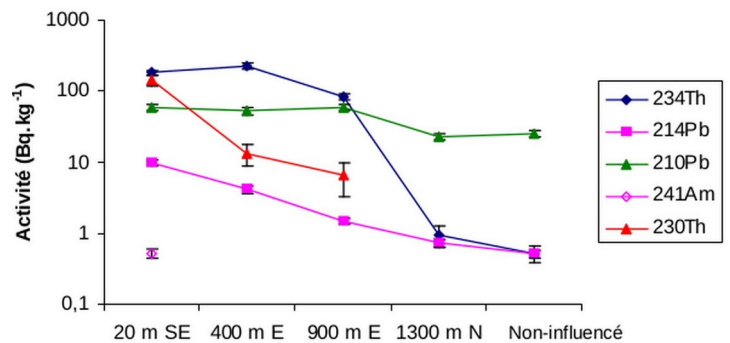
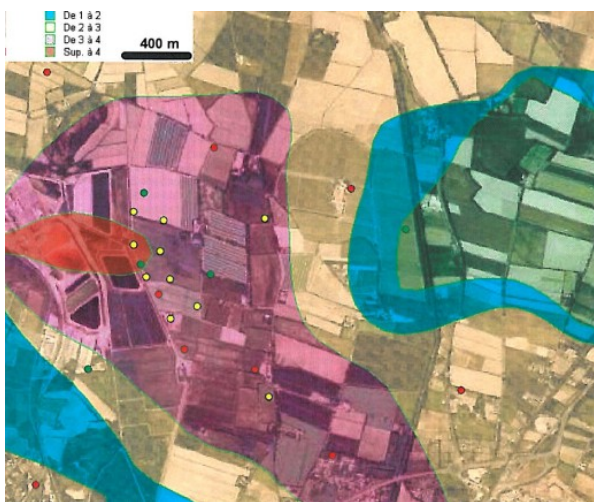


Fig. 18. A gauche, zones de *marquage* à l'uranium, faible mais nette, dans les sols. Marquage de l'usine en rose qui pénètre dans la cité de Narbonne; les valeurs de fond sont en bleu, les limites restant à préciser (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 51);

A droite : descendants de l'uranium-238 dans les feuilles de cyprès fonction de la distance aux grillage du site de Malvési, échelle ordonnée logarithmique (Pourcelot 2009, p.24);

▪ Les feuilles de cyprès se révèlent être marqueur des contaminations aériennes. "Ainsi, dans les échantillons 40 et 41 (Mas Livière-Haute et Tauran-sud), les activité Th-234 atteignent 228.. et 180.. Bq/kg-sec" (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 30) et donc aussi U-238, son parent, et encore le protactinium 234m, son descendant, puisqu'ils trouvent que ces trois là sont à l'équilibre. Ces endroits sont à 400 et 20 m de la clôture; à 900 m, "Domaine de Lamotte", c'est 83 Bq/kg-sec : tout cela est en gros 100 fois plus que dans les zones hors de la



pollution de ce site, 0,95 Bq/kg-sec. A Tauran-Sud a été mesuré 142 Bq/kg-sec en Th-230 dans les feuilles de cyprès et 0,52 Bq/kg-sec d'Am-241 lui vestige d'uranium militaire retraité à Marcoule (Poncelot et Le Roux 2008, p. 30-1).

▪ "Les activités élevées des principaux actinides mesurés dans l'échantillon de blé prélevé en 2007 ( $Th-230 = 19 \pm 4 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ;  $Pu-239-240 = 0,445 \pm 0,018 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ;  $Am-241 = 0,089 \pm 0,006 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) sont supérieurs de deux à quatre ordres de grandeur aux activités attendues dans cette matrice... [cela en tenant déjà compte du sol marqué, i.e. ça ne vient pas du sol] il faut certainement invoquer, comme pour les feuilles de cyprès, un mode de transfert par voie aérienne, résultant de la remise en suspension des digues des bassins B1-B2 effectués en 2007... Néanmoins, les analyses de blé en herbe et de blé sauvage réalisées sur les prélèvements du printemps 2008 révèlent des activités massiques en U-238 ( $Th-234 : 7,5 \text{ à } 11,5 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) qui sont proches de celles mesurées en 2007... [elle diminueront ensuite]" (Poncelot et Le Roux 2008, p. 53-4), Fig. 19.

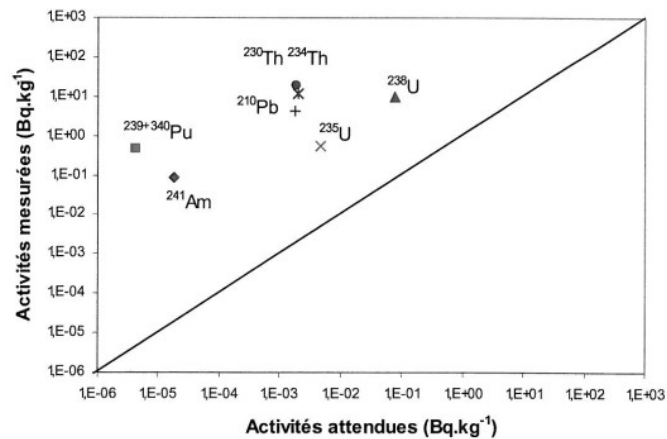


Fig. 19. "Comparaison entre les activités massiques mesurées et les activités attendues des principaux actinides naturels et artificiels dans le blé, compte tenu des facteurs de transfert aux céréales et des activités des sols de Malvési." (Poncelot et Le Roux 2008, p. 54). Les échelles sont logarithmiques, chaque cran est une  $\times 10$  de valeur précédente. Les activités ne peuvent être expliquées via les racines  $\rightarrow$  dépôt aérien.

- Uranium-238 (via son fils Th-234 mesurable en spectrométrie gamma) : "Ce bioindicateur permet d'enregistrer des activités massiques significatives à 900 m à l'Est de la clôture ( $Th-234 = 83,7 \pm 7,4 \text{ Bq.kg}^{-1}$  sec), c'est-à-dire à la station de prélèvement la plus éloignée du site (Domaine de Lamotte)... Les données acquises dans le cadre de cette étude ne permettent pas de borner la zone d'influence des rejets atmosphériques de Malvési sur la végétation." (Poncelot et Le Roux 2008, p. 52).
- "En ce qui concerne les fruits prélevés sur la zone étudiée (prunes, figes, raisin et tomates)... Les concentrations les plus significatives ( $1,6 \text{ à } 12 \mu\text{g.kg}^{-1}$  frais), observées à l'est et au sud, à moins de 1 km environ de l'installation, sont vraisemblablement imputables aux rejets liés au fonctionnement actuel du site." (Poncelot et Le Roux 2008, p. 54-55).
- "Différentes sources de radioactivité expliquent probablement une part de la variabilité du marquage..." (Poncelot et Le Roux 2008, p. 53), Fig. 20. Les rejets actuels aux cheminées expliquent le marquage important de feuilles de cyprès (Mas Livère Haute, 228 Bq/kg-sec, Domaine de Lamotte le plus éloigné), ceux comme le blé ou les sols avec une valeur élevée du rapport Th-230/Th-234, proche de 1 ou au-delà ont probablement été contaminés par "les éléments les plus fins composant les boues des bassins de décantation".

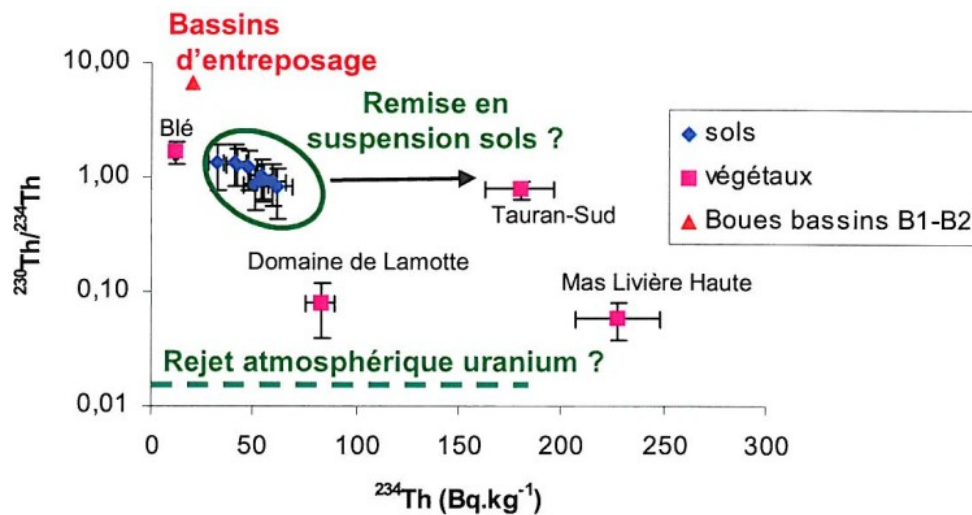


Fig. 20. "Variabilité du rapport Th-230/Th-234 des feuilles de cyprès et du blé et des sources potentielles d'actinides dans l'environnement de Malvési : rejets atmosphériques d'uranium, bassins de stockage (données Areva), mise en suspension de particules à partir du sol." (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 53).

- Pourcelot (2009, p. 3) : "Les résultats de l'étude réalisée en 2007... ...Le marquage de bio-indicateurs comme les feuilles de cyprès en uranium, isotopes du plutonium, américium 241 et thorium 230, suggère une contamination atmosphérique contemporaine, directe par les rejets en cheminée et diffuse par la remise en suspension de particules provenant de bassins d'entreposage."
- Le plutonium dans le sol en dehors du site peut être différencié de celui des tirs atomiques (qui sont contemporains des débuts de ce site) par le rapport Am-241/Pu-239/240 (0,159 au lieu de 0,4) et le rapport Pu-240/Pu-239 (0,05 au lieu de 0,18; Pourcelot et Le Roux 2008, p. 29-30).

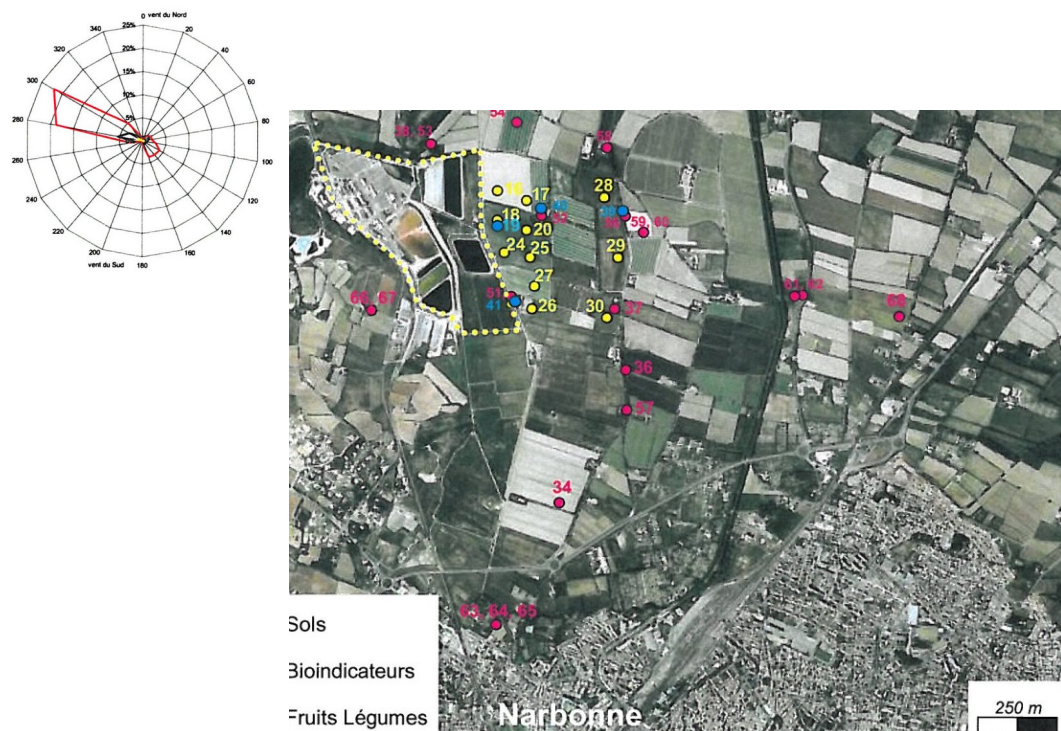


Fig. 21. Le site Comurhex en haut à gauche (entourré de points jaunes), une rose de vents (1995-2001, c'est le régime tramontane) et l'agglomération narbonnaise. Les vent qui traversent Comurhex passent a priori juste au Nord de la ville (Pourcelot et Le Roux 2008)

▪ Aussi le rapport isotopique 235/238 de l'uranium mesuré dans le blé en 2008 est de l'ordre de 0,4 (Pourcelot 2009, fig. 6), au lieu de 0,72 naturellement, venant donc en partie d'uranium appauvri et... justement cette année là Areva-Malvési a traité des stocks d'oxydes d'uranium appauvri provenant de Bessines... Il y a aussi encore des traces de plutonium, d'américium. "*Le marquage du blé par l'uranium appauvri rejeté ponctuellement par l'installation 2008 montre que c'est bien la voie atmosphérique qui est à l'origine du marquage des végétaux...*" (Pourcelot 2009, p. 25).

▪ L'aspect sanitaire n'est pas le sujet ici mais ne peut pas être nul, toutes les surfaces passées le grillage sont agricoles.

La CRIIRAD (2006) a fait un rapport préliminaire sur ce sujet. L'étude d'un échantillon prélevé entre les bassins B2 et B9 permet de considérer (CRIIRAD 2006 p. 52) : "*Le potentiel de dose par inhalation de poussières issues des boues peut être estimé à 28,8  $\mu\text{Sv}/\text{mg}$  de poussière pour un adulte... Si l'on considère un taux d'empoussièrement classique de 10  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ , la dose annuelle est de 2 242 microSieverts pour un adulte. La seule voie d'inhalation pourrait donc induire des dépassements importants de la limite sanitaire.*". Ceci peut être valable pour le grand nombre d'ouvriers d'entreprise extérieures qui ont dû se succéder pour réaliser les énormes travaux sur les bassins B1/B2, aussi pour le particulier qui fait son champ de l'autre côté du grillage, qui existe vu que tout est cultivé.



Fig. 22 Embruns dispersés par le vent à partir des bassins du site de Malvesi (d'un riverain dans le documentaire "L'uranium de la colère" de Martin Boudot, in CRIIRAD 2022 p. 23). Ainsi Pourcelot (2009, résumé puis p. 27) : "*... un transfert probable par des embruns de ces bassins, ... (...) ...Ainsi, en milieu terrestre, Tc-99 qui diffuse sous forme d'embruns, est à l'origine du marquage des feuilles de cyprès prélevées à Livière haute.*"

▪ Toutes les mesures de l'IRSN de 2014 à 2017 sur les feuilles de Cyprès à la Livière-haute sont supérieures à 100 Bq/kg-frais. "*les niveaux d'uranium-238 dans les plantes sur la période 2014-2017 sont en général similaires aux niveaux de la période précédente [2011-2014], démontrant que l'activité atmosphérique de l'uranium-238 était semblable sur les deux périodes, avec une valeur moyenne de 30  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  d'air. Cette valeur moyenne a été établie par des mesures prises pendant la période 2009-2010 avec un échantillonneur à haut flux installé par l'IRSN. Cette moyenne peut être comparée avec l'activité uranium observée en France dans les zones non affectées par les usines du cycle du combustible : approximativement 0,2  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  d'air.*" [150 fois moins] (IRSN 2018, p. 118-9).

### V-3. Autorisations toujours

Pour l'uranium, les arrêtés préfectoraux des 08/11/2017 et 28/07/2018 autorisent un rejet de 0,2 mg/Nm<sup>3</sup>, cela pour au moins 15 cheminées différentes de l'usine Orano (cela correspond à une limite maximale pour l'air de travailleurs salariés du nucléaire, et pour une présence hebdomadaire de 40h). La somme de ces autorisations de rejets individuelles dépasse 220 kg d'uranium/an en très fines particules (passées à travers des filtres THE notamment), Table 22. Cependant en § 3.2.4.5 est émise une restriction à 64,1 kg/an donc toutes les cheminées ne peuvent pas rejeter leur maximum annuellement.

Table 22. **Rejets uranium aux cheminées**  
**Valeurs limites**  
 arrêtés préfectoraux 08/11/2017 et 28/07/2018

Cheminée n° (hauteur)	Atelier	Installations raccordées	Débit m <sup>3</sup> /h*	U mg/Nm <sup>3</sup> *	Flux kg/an**
<b>21</b> (30 m)	hydrofluoration	Exutoire des évènements procédés des fours	3 973	0,2	6,4
<b>10</b> (24 m)	Récupération	Évènement procédé cuves	9 600	0,2	15,5
<b>24</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	3 000	0,2	4,8
<b>24 bis</b> (38 m)	isoflash	Unité traitement des gaz et rectification	6 000	0,2	9,7
<b>9</b> (7 m)	Décontamination	Évènement procédé respiration cuves	3 450	0,2	5,6
<b>18</b> (8 m)	Laboratoire	Évènement laboratoire	8 730	0,2	14,1
<b>18 bis</b> (13 m)	Laboratoire	Évènement laboratoire	12 300	0,2	19,9
<b>1</b>	Précipitation	Turbo-scrubber	Fermée ?	0,2	
<b>2</b>	Précipitation	Centrale aspirante atelier	Fermée ?	0,2	
<b>6</b> (3 m)	hydrofluoration	Centrale aspirante atelier et ventilation poudre, empotage citerne	779	0,2	1,3
<b>7</b> (15 m)	Hydrofluoration	Évènement stockage et dépotage HF ; ventilation poudre TP UF4 (R3455, R342)	964	0,2	1,6
<b>8</b> (17 m)	Dissolution	Event ventilation cuves	20 000	0,2	32,4
<b>11</b> (4 m)	Échantillonnage	Centrale aspiration atelier	8 900	0,2	14,4
<b>17</b> (7 m)	Hydrofluoration	Ventilation poudre, silo R3400 : compactage UO <sub>3</sub>	3 145	0,2	5,1
<b>20</b> (7 m)	Hydrofluoration	Transport poudre et compactage UO <sub>3</sub> (filtre R34290)	8 000	0,2	12,9
<b>23</b> (28,9 m)	Dénitration thermique, Dissolution, 3 isoflashes	Ventilation ambiance, poudre évènements cuves et silos de stockage	40 091	0,2	64,9
<b>27</b>	Broyage fûts	Évènement(s) broyage fût TFA	?	0,2	
<b>36</b> (20 m)	Réduction	Ensemble des rejets gazeux de l'atelier réduction	10 000	0,2	17
Total des autorisations particulières					224,8
Maxi total autorisé					64,1 kg

\* valeurs exprimées en conditions normalisées de température 273 K et 1013 hPa, après déduction de la vapeur d'eau (gaz sec)

\*\* calcul pour 337 jours

Presque toujours de paire avec la limite uranium 0,2 mg/Nm<sup>3</sup> dans ces arrêtés est la limite "Rejets radioactifs totaux" : "10 Bq/Nm<sup>3</sup>". L'activité spécifique de l'uranium naturel à l'équilibre (U 238+234+235) est 25,4 Bq/mg soit ≈ 5 Bq pour 0,2 mg U<sub>nat</sub>, moitié de la limite en becquerels. La raison doit être la prise en compte que quelques mois après sa séparation, l'uranium traité a en plus une radioactivité bêta de 25 Bq de ses fils immédiats Thorium-234 et Proactinium-234 (et que tout ce monde est en très fine poussière qui traverse des filtres). On retrouve le même rapport pour la limite annuelle d'activité totale (3,2 Gbq/an, la limite en masse uranium de 64,1 kg/an correspondant à (25,4 10<sup>6</sup> × 64,1) ≈ 1,6 Gbq et double pour descendants à l'équilibre.

## VI. Rejets dans les canaux et zones d'eau

### VI-1. Ce qui coule dans les canaux de Narbonne

- Pourcelot et Le Roux (2008 p. 17) : "A l'aval du rejet, l'eau des canaux est ponctuellement utilisée pour l'irrigation des jardins familiaux (quartier Hortes Neuves)." situés à environ 2 km au Sud.
  - Il n'y a pas d'orifice de rejet dans la nappe phréatique à l'aplomb du site mais "Les activités volumiques en Th-234 sont environ dix fois plus faibles dans les eaux souterraines échantillonnées en périphérie du site dans les piézomètres et dans les puits (Th-234 = 0,02 Bq/l), que dans l'eau souterraine prélevée sur le site de Malvési (Th-243 0,5 Bq/l)." (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 48.).
  - En 1995, la Comurhex avait donné des chiffres de rejets de l'année dans le canal du Tauran : 46,7 tonnes de nitrates, 658 kg de "fluorures" et 237 kg d'uranium (cité in CriiRad 2006, p. 16). Tout cela traverse le centre de Narbonne dans un canal classé...
  - Puis rapporte la CriiRad des rapports de l'exploitant (2006, p. 15) le rejet de la Comurhex était en 2003, 2004 et 2005 de l'ordre de 150 kilos de nitrate NO<sub>3</sub>, d'une quarantaine de kg d'ammonium NH<sub>4</sub>, 1,5 kg de "fluor" et de 500 à 800 grammes d'uranium, cela chaque jour comme moyenne sur l'année dans le canal de Tauran.
- La CriiRad remarquait que les rejets du seul uranium 238 ne devaient pas être très éloignés de 300 kg par an. Elle montre par des calculs simples que ce rejet uranium est 800 fois supérieur à celui naturel d'une rivière d'une zone granitique uranifère naturelle (comme la Bresbe dans le Dpt. de la Loire vers St-Priest-La-Prugne). En fait suivant la période, le rejet uranium peut être supérieur à celui d'écoulement d'une mine d'uranium. Puis la CriiRad fait remarquer (2006 p. 57) que l'exploitant ne mesure " ni le thorium 230, ni le radium 226, ni le plomb 210, ni le polonium 210, ni certains descendants de l'uranium 235, ni les isotopes du plutonium...[alors que] leur activité massique dans les boues répandues dans la plaine est, pour certains d'entre eux, très supérieure à celle des isotopes de l'uranium."
- Pourcelot et Le Roux de l'IRSN (2008 p. 13) écrivent que "Les quantités annuelles d'uranium rejetées en milieu aquatique sont estimées par l'exploitant à l'aide des mesures des concentrations en uranium réalisées dans les effluents et des débits moyens annuels des canaux de Tauran et de Cadariège (environ 1500 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>)... Pour la période récente (1999-2005), le rejet annuel aqueux est de l'ordre de 200 kg.an<sup>-1</sup> d'uranium (Comurhex 2006)". Et leur figure, présente Fig. 24 montre que c'était encore plus élevé avant, donné comme rejet apparemment invariable de "pile 300 kg" d'uranium par an dans les canaux de 1978 à 1990, suivi de grandes variations avec notamment un ~ 540 kg dans les canaux l'année 1996.
  - "Dans les eaux et les végétaux prélevés de l'ancien et de l'actuel canal de rejet, on mesure également des excès d'uranium provenant du rejet aquatique du site de Malvési (jusqu'à 0,2±0,02 Bq.l<sup>-1</sup> en U-238 dans le canal de Tauran). Rappelons que l'activité massique en uranium dans les systèmes aquatiques continentaux en France est comprise entre 10<sup>-2</sup> et 10<sup>-5</sup> Bq.l<sup>-1</sup>", soit entre 20 et 20 000 fois moins (Pourcelot et Le Roux 2008, p 55).
  - "Dans les canaux de Tauran et de la Mayral, les myriophylles et les cératophylles prélevés à l'amont et à l'aval du rejet permettent d'évaluer l'impact du rejet à proximité du site. Ainsi on note un marquage en Th-234 des myriophylles prélevés à l'aval du rejet (55 à 105 Bq.kg<sup>-1</sup> sec), par rapport aux cératophylles prélevés à l'amont (12±2 Bq.kg<sup>-1</sup> sec) ou aux myriophylles provenant de l'amont du canal de la Robine (29±90 Bq.kg<sup>-1</sup> sec)." (Pourcelot et Le Roux 2008 p. 44-5).
- Les anguilles aussi sont marquées. Dans la Robine en amont elles ont 0,005 Bq/kg alors que dans le Tauran c'est 5-6 fois plus : 0,029 Bq/kg (Pourcelot et Leroux 2008, p. 47).

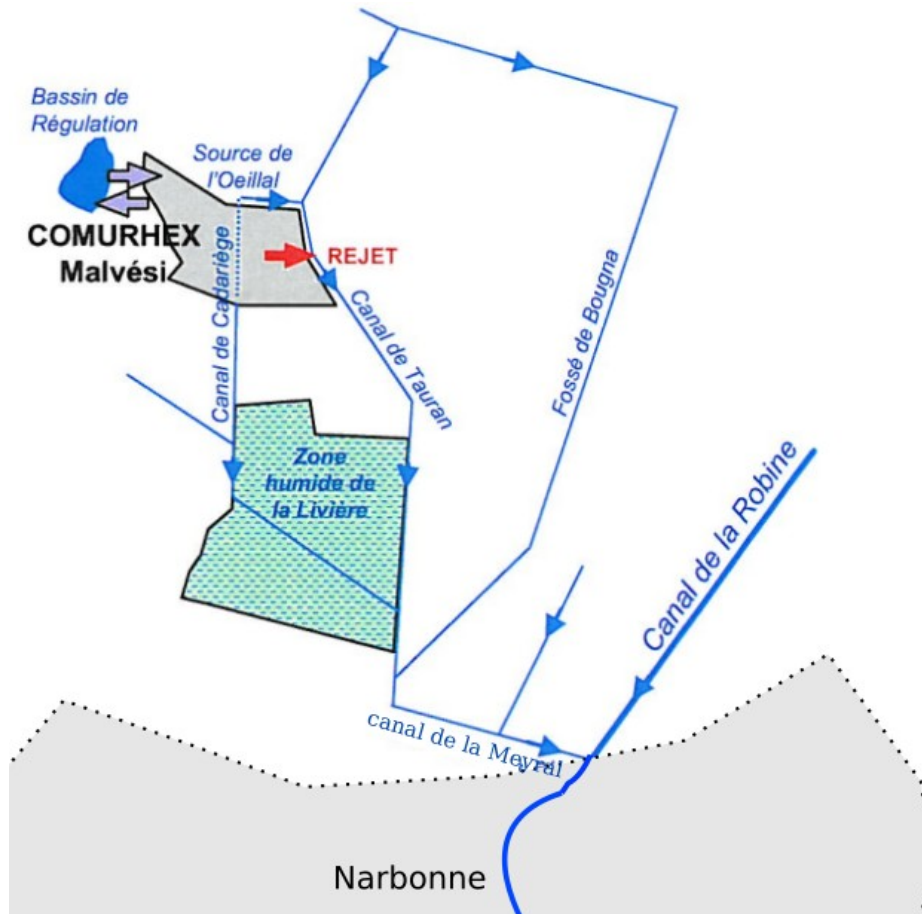


Fig. 23. Schéma des canaux près de l'usine uranium (*in* Pourcelot et Le Roux 2008 p. 16, complété). Le canal de la Robine part de l'Aude 3,3 km au N-NW de Malvésès qu'il contourne en faisant une large boucle à l'Est. Touristique il passe au milieu du vieux Narbonne puis va rejoindre l'étang de Bages. Il fait partie de l'ensemble classé du Canal du Midi. Le canal de Cadariège a été comblé en mai 2000 (à temps avant l'effondrement des digues 4 ans plus tard). Tous ces canaux sont utilisés pour l'irrigation agricole.

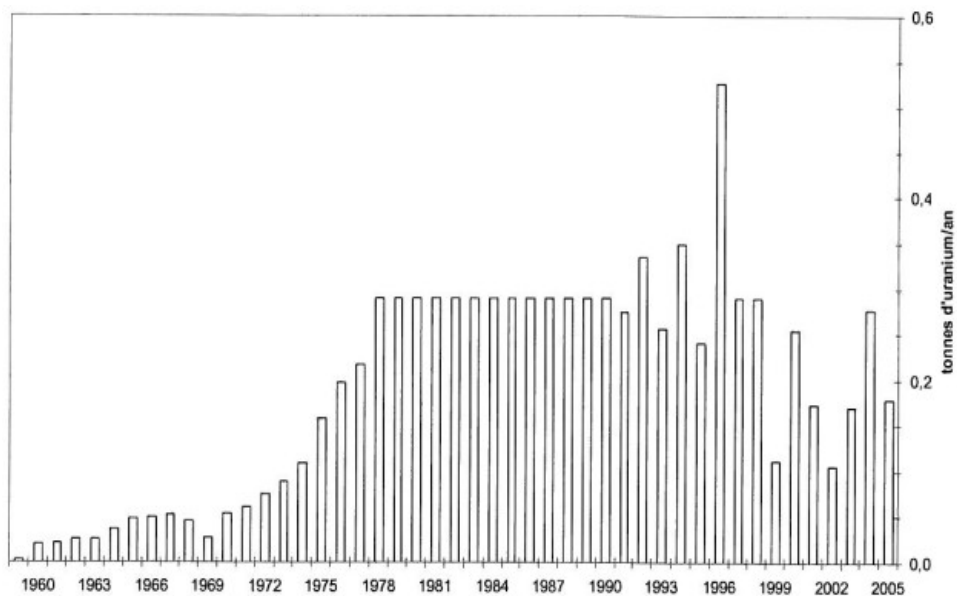


Fig. 24. "Bilan des rejets annuels en uranium dans le milieu aquatique (d'après COMURHEX, 2006)" (*in* Pourcelot et Le Roux 2008, p. 13). Echelle en tonnes.

▪ Pourcelot et Le Roux (2008, p. 39) : "*Dans les sédiments du Canal de Cadariège... on observe de fortes activités massiques en Th-234 ( $84 \pm 9 \text{ Bq/kg}^{-1} \text{ sec}$ ).*

*Deux carottages de sédiments (n° 21 et 22)) ont été effectués dans les bassins situés en aval des canaux de Tauran et de Cadariège, suite aux activités élevées mesurées dans les sédiments du bassin situé à l'aval du Canal de Cadariège (n° 23 :  $\text{Th-234} = 93 \pm 10 \text{ Bq.kg}^{-1}$ )... Dans ces deux carottes, on observe des variabilités, relativement importantes des activités en Th-234 avec des activités fortes en surface de l'ordre de  $100 \text{ Bq.kg}^{-1}$  dans les cinq premiers centimètres... L'activité massique en Th-234 décroît en fonction de la profondeur, de façon plus marquée dans les sédiments du bassin à l'aval du Canal de Tauran ( $\text{Th-234} = 58 \text{ à } 34 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ), en comparaison de l'aval du Canal de Cadariège ( $\text{Th-233} = 73 \text{ à } 77 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ).". Logiquement on trouve des valeurs similaires pour le parent U-238 :  $80 \text{ Bq/kg}$  pour Tauran-aval et  $70 \text{ Bq/kg}$  pour Cadariège (idem p. 41) et plus loin dans l'espace : "*On note dans les sédiments du Canal de la Robine des activités U-238 environ deux fois plus importantes à l'aval de la confluence avec la Mayral ( $23 \pm 3,2 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ), en comparaison de l'amont ( $10 \pm 1,1 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ).*"*

De même l'activité plutonium 239-240 des sédiments du Canal de Cadariège,  $1,487 \text{ Bq/kg-sec}$  est dix fois supérieure à l'amont (Tauran amont :  $0,108 \text{ Bq/kg-sec}$ ), Tauran aval c'est :  $0,583 \text{ Bq/kg-sec}$  (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 42).

▪ ... *marquage par les rejets dans les canaux et les bassins situés à l'aval immédiat du rejet...  $80..$  et  $70 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$ ... De par leur surface (environ  $40 \text{ ha}$ ), ces bassins constituent probablement d'importantes zones d'accumulation de l'uranium rejeté par le site Malvésii.*" (Pourcelot et Le Roux, 2008, p. 55).

▪ De 1960 à 1983, 23 ans, outre le concentré d'uranium, Malvésii a traité du nitrate d'uranium de Marcoule suite de l'extraction du plutonium militaire.

Le technétium-99 est l'un des produits de fission abondants. Le technétium n'était pas présent sur Terre avant l'ère atomique. Sa période demie-vie est de 213 000 ans. C'est un émetteur bêta faible pur non détectable par compteur Geiger (pas dangereux à distance mais dangereux en ingestion-inhalation, i.e. via eau et nourriture). Il est sous forme d'anion pertéchnetate,  $\text{TcO}_4^-$ , très soluble en dehors des milieux réducteurs.

Pourcelot (2009, p. 23) : "**Tc-99 est bien visible** au niveau des anciens émissaires des rejets aqueux, c'est-à-dire dans les sédiments du Canal de **Cadariège et du Bassin de régulation**, dans lesquels l'activité est supérieure à  $50 \text{ Bq.kg}^{-1}$  (tableau 16)." Les valeurs sont  $81 \text{ Bq/kg-sec}$  pour Cadariège,  $271 \text{ Bq/kg-sec}$  pour le bassin de régulation et  $35 \text{ Bq/kg-sec}$  pour "sédiments bassin de la Livière". "*Dans le Canal de Tauran, émissaire le plus récent des rejets, l'activité des sédiments est plus faible ( $13 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ). Des observations similaires sont réalisées dans les végétaux aquatiques avec des activités significativement supérieures au niveau des émissaires anciens (Canal de Cadariège :  $31 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ) en comparaison du Canal de Tauran, point de rejet le plus récent, où l'activité est inférieure à la limite de détection ( $10 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ). Les activités en ce radionucléide artificiel sont comparables à celles des sédiments et des végétaux du Canal de Cadariège en 1992 ( $141$  et  $42 \text{ Bq.kg}^{-1}$ , respectivement) (Baudin-Jaulent, 1993)". Areva (2013, p. 133) : "*Si le Tc-99 représente un bon traceur des campagnes historiques de conversion d'URT à Malvésii, il n'est pas pour autant un traceur spécifique du contenu des bassins B1/B2. En effet, compte tenu de ses propriétés chimiques, il n'était pas précipité lors du traitement à la chaux des effluents de procédé : une partie est donc présente dans les eaux d'imprégnation des boues des bassins de décantation B1/B2, mais l'essentiel du Tc-99 se trouve dans les liquides nitrates entreposés dans les bassins d'évaporation.*"*

● Il a plu l'hiver 2005-2006 et fin janvier "*une zone entourant les bassins de décantation et de lagunage*" est sous l'eau. Cette eau a des contacts notamment avec de la boue de l'effondrement 2004 de l'Est du bassin B2 qui n'a toujours pas été enlevée. Cela surverse dans le Tauran, le canal de la Meyral a alors  $70$  à  $80 \text{ mg/litre}$  de nitrate communique la Drire qui ajoute que la production du site ne peut pas continuer dans ces conditions. Elle ajoute que la "*teneur en uranium reste dans les valeurs observées précédemment*" (in Gazette nucléaire n° 227/228 p. 32). L'eau a pénétré sur le site Areva par le Nord, la Comurhex bloque un moment le canal du Tauran, pompe et envoie provisoirement de l'eau dans 45 wagons (CriiRad 2006, p. 12).

Le 05 mars les niveaux sont toujours hauts partout et c'est le vent cette fois qui envoie l'eau des lagunes Comurhex déborder sur la périphérie (voir par ex. Fig. 22). Un système de pompage est mis en place,  $30\,000 \text{ m}^3$  seront traités. Un alors dit "bassin B11" est apparemment bidouillé en catastrophe puisque 2 ans plus tard, le 28 octobre 2008 (p. 9) l'IRSN en est encore à écrire : "*Un nouveau bassin est en cours d'aménagement (B11)*". Du coup, le Canelou, au sud de Narbonne une dérivation de la Robine pour alimenter l'étang de Bages, zone Natura 2000, a été fermé pendant 15 jours. L'usine elle redémarrera le 01 avril (CriiRad 2006, p. 13).

▪ Suite à cette période des fuites 2004-2006 par trop visibles et la protestation locale qui s'en est suivie, la Comurhex s'est mise à réduire ses rejets dans les canaux qui sont en moyenne chaque jour, au début des années 2010s dit-elle : une trentaine de kg de nitrates, plus d'un kg d'ammonium, 250 g de "fluor", 30 g d'uranium, a priori à multiplier par 365 jours. Puis à la fin des années 2010s, dit-elle environ par jour : ~ 5 kg de nitrates, 0,1 kg d'ammonium, 0,15 kg de "fluor", peu d'uranium, a priori à multiplier par 365.

C'est le *régulier* annoncé mais il peut y avoir des problèmes. Sur les 23-24 août 2009 en pleine période estivale, la Comurhex "estime", les jours qui suivent, avoir déversé dans le canal du Tauran 7 kg "d'uranium" et 800 kg de "fluor". Le pic de pollution a été au milieu de la nuit (02h du matin). "... canal de la Robine... [i.e. au centre du vieux Narbonne] La présence de fluor à ce niveau pourrait durer environ 2 jours... ....Il est à noter qu'en raison du faible niveau de l'eau sur le canal de la Robine, aucune communication n'est possible avec l'étang de Bages..." (La Dépêche 26/08/2009) et personne ne boit de l'eau de ces canaux (dans la nappe phréatique en contact, certes plus protégée, il y a des puits particuliers).

Ensuite, à la Réunion du Comité Local d'information CLIC du 14 sept 2009 ([ici](#)), la pollution est devenue ammonium et fluor, mais aussi uranium car ça vient de l'atelier de fluoration. Comme d'habitude c'est une suite de choses, le gros point de départ est un conduit dans cet enfer chimique qui a percé d'un coup par corrosion, ensuite quelqu'un qui croit lire des µicro quelque chose mais c'était des milli-quelque chose parce que l'appareil peut changer tout seul automatiquement d'échelle et que l'unité est écrite en tout petit, puis il y a eu plusieurs alarmes sur la période dont apparemment il n'est pas fait grand cas dans l'usine. Ça n'est que le lendemain après midi quand un gars vient faire son petit boulot d'analyse d'un échantillonnage "automatique" qu'il trouve que ça colle pas. Alors vite Comurhex court faire une analyse dans le Tauran et seulement quand l'analyse sera obtenue prévientra la préfecture la nuit suivante, après la fuite. A cette réunion la fuite est devenue 781+340 kg de "fluor" et 962+370 kg d'ammonium et tout le monde se gargarise que pour l'uranium c'est dans ce qui est légal. "Une surmortalité des poissons a été constatée les 25 et 26 août dans le canal du Tauran" (constaté par un agent DDEA une fois la préfecture prévenue, qui n'a donc pas pu voir ce qui s'est passé les 23 et 24, jours de la fuite). L'eau de la Robine a été interdite un temps pour l'irrigation agricole. Deux associations ont porté plainte, le jugement en déc. 2011 a condamné la Comurhex à 60 000 € mais (bien qu'une digue majeure se soient effondrée en 2004, et que ses bassins aient été inondés en janv 2006 avec la terre de la digue effondrée toujours présente) en a mis 20 000 € avec sursis (Midi Libre 17/12/2011).

▪ Dans le cadre du dossier INB "bassins du haut", Areva (2013, p. 150-1), mentionne le marquage par le site de part et d'autre du point de rejet dans le Tauran :

- la concentration en nitrate double, de 9 mg/l à 15-20 mg/l ;
- la concentration en uranium passe de 0,02 à 1,09 Bq/l [ $\times 50$ ] et dans les végétaux du Tauran (p. 166) "moyenne" 2009, 0,01 mg/kg amont et 0,17 mg/kg aval ;
- fluorure dans les végétaux du Tauran (p. 166), "moyenne" 2009, 4 mg/kg amont, 125 mg/kg en aval ;
- Pu-239-240 dans les sédiments (p. 162), 1,5 Bq/kg-sec dans l'ancien canal Cadariège, "valeurs en baisse par rapport aux valeurs mesurées au début des années 90";
- Tc-99 dans les sédiments (p. 162) : 13 Bq/kg-sec dans le Tauran et 81 Bq/kg-sec dans l'ancien Cadariège.

● Pour (au moins) l'eau de pluie (Areva 2013, p. 230-1), "Les eaux issues du ruissellement des eaux de pluie, sur les voiries et les digues, ainsi que les eaux de la nappe perchée du massif qui sont drainées sur les flancs des digues, sont dirigées vers la station de traitement par osmose inverse du site de Malvési. Suite à ce traitement, les perméats sont dirigés vers le canal du Tauran au droit du point de rejet unique (RU) et les rétentats sont traités dans l'évaporateur ou sont dirigés vers les bassins d'évaporation. (...)

A titre d'ordre de grandeur, la station d'osmose inverse a traité en 2011 un volume d'eaux de 86 300 m<sup>3</sup>, conduisant à la génération d'un volume de rétentats de 31 700 m<sup>3</sup> et d'un volume de perméats de 56 600 m<sup>3</sup>. Les rejets liquides de l'ensemble du [... ? manque un mot] vers l'environnement (par le RU) ont été de 170 300 m<sup>3</sup> pour cette même année.". Mais on va voir que c'est alors chose toute récente car juste avant cela allait dans le Bassin de Régulation.

## VI-2. Le pollué dit "Bassin de Régulation"

Le dit Bassin de Régulation est ce petit lac qui se trouve de l'autre côté de la voie ferrée et de la route D169 (Fig. 23).

"Le bassin de Régulation est à l'emplacement de l'ancienne mine de soufre à ciel ouvert exploitée entre 1935 et 1950. **Actuellement utilisé** pour la collecte des rejets des usines de COMURHEX, il couvre une superficie de 77 000 m<sup>2</sup> environ pour un volume de 1,3 millions de m<sup>3</sup> d'eau. Ce bassin artificiel présente une profondeur maximale de 40 m vers le sud. Le bassin de Régulation a été utilisé dès l'origine comme bassin tampon pour le rejet des eaux usées de l'usine de COMURHEX. Les boues sédimentées contiennent 7,9



**tonnes d'uranium naturel** [et leur Tab. 1 donne une activité de 0,4 TBq proche de celle totale des bassins B7 à B10]. A l'heure actuelle, ce bassin recueille les eaux de refroidissement, les eaux de purge, les eaux pluviales et les eaux de vannes de l'installation. Selon COMURHEX, le Bassin de Régulation cessera d'être utilisé dès la mise en place d'une boucle de refroidissement fermée (en cours de réalisation) et la réfection des réseaux de collecte et de traitement des eaux, à compter du 1-12-2007." (Pourcelot et Le Roux oct. 2008, p. 9-10).

- "Dans les sédiments du Canal de Cadariège et du Bassin de Régulation, anciens sites de rejet de Malvés, on observe de fortes activités massiques en **Th-234** ( $84\pm 9$  et  $1160\pm 110$  Bq/kg-sec, respectivement" (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 39).

- L'eau du lac elle-même est marquée : "... dans les eaux du Bassin de Régulation, les activités massiques... sont les plus fortes, atteignant  $0,05$  Bq.l<sup>-1</sup> en U-235 [au lieu de  $< 0,002$ ],  $0,64$  Bq.l<sup>-1</sup> en Th-234 [au lieu de  $0,02$ ] et  $0,71$  Bq.l<sup>-1</sup> en Pa-234." [au lieu de  $< 0,15$ ], ainsi que  $1,09$  Bq.l<sup>-1</sup> U-238 [au lieu de  $0,02$ ] et  $1,07$  Bq.l<sup>-1</sup> U-234 [au lieu de  $< 0,37$ ] (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 43-44).

- "... les activités massiques les plus élevées en **Th-234** ( $759\pm 70$  et  $514\pm 49$  Bq.kg<sup>-1</sup> sec respectivement) sont mesurées dans les **myriophylles** et les **potamots** prélevés dans le bassin de Régulation." (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 44-45), cela avec **733** et **459** Bq/kg-sec en Pa-234 et **620** et **508** Bq/kg-sec en **U-234** (leur Tableau 20 p. 46).

- Mais encore, Pourcelot (2009, p. 23) : "**Tc-99 est bien visible** au niveau des anciens émissaires des rejets aqueux, c'est-à-dire dans les sédiments du Canal de Cadariège et du Bassin de régulation" où il est de 271 Bq/kg-sec (produits de fission des réacteurs atomiques, période de 213 000 ans).

- On n'a pas trouvé de mesures des transuraniens, américium, plutonium..., pour ce petit lac, mais vu son contenu en Technétium de retraitement, il y en a.

▪ Pendant des décennies lorsque Areva désignait le contour de son site, ce plan d'eau de l'autre côté des voies de communication n'en faisait pas partie. Mais en 2016-a dans sa Fig. 1 Areva englobe ce plan d'eau dans le contour de son site de la chimie de l'uranium, bien qu'il omette de le faire sur la figure suivante du même document. Ce qui est sûr est que Orano-Reva l'a toujours vu et le voit comme à sa disposition puisque (Areva 2014, p. 13-4 et 36) "Conformément à la demande du PNGMDR", Orano présente comme l'un des trois concepts possible de "stockage à faible profondeur dans l'excavation de l'ancienne mine de soufre à ciel ouvert, au nord-ouest du site", i.e. vider ce plan d'eau et le remplacer par un stockage définitif de ces déchets de l'amont du nucléaire.

## VII. Les bassins du site

Le site au Sud de la Plaine agricole de l'Aude a été choisi pour son fort pouvoir d'évaporation de ces jus azotés, région très ensoleillée 3200 heures/an (car) et très ventée. Et statistiquement la température dépasse 30°C trente jours par an (Areva 2013, p. 6).



Fig. 25. Les bassins, photo antérieure à 2013 : entourrés en rouge les dits "bassins de décantation" perchés d'un 15aine de mètre, et en contrebas dans la plaine, entourrés en vert, les dits "bassins d'évaporation" (Google Earth in Fernandes 2017). Selon Areva (2013 p. 232), l'eau du bassin des eaux pluviales entre B9 et B8/B11 est renvoyée dans la station d'osmose de l'usine avant rejet (cela probablement à partir d'environ 2011)

### VII-1. Nature et fonctionnement

- Les bassins B1 à B6 sont nichés sur un dépôt artificiel, voir Fig. 2, perchés d'une douzaine de mètres par rapport à la plaine de la Livère (sommet vers 22-23 m NGF). Les photos aérienne de 1956 montrent qu'ils étaient en usage à cette date pour le fonctionnement de la Cie de soufre qui avait déposé là ses stériles puis avait aménagé dessus/dedans des bassins (Fernandes 2017 p. 18-19). Tout cela a été déposé sur les alluvions quaternaire telles quelles. Et c'est vers 2008-9 qu'il a été (re)découvert que l'altitude actuelle de ces alluvions sous ces bassins varie entre 9 et 5,5 m NGF (Fig. 2).

Les stériles de strates Oligocène sont surtout des argiles et de la dolomie, avec du gypse et de la matière organique (ces deux derniers ne sont jamais de bonne augure en mécanique des sols). Fernandes (2017) a trouvé que les feuillets détritiques constituant ces argiles sont de type minéralogique mica (peu réactifs, non absorbants). Puis, sur les stériles, les dépôts de procédé en lagune de la période soufre sont de boue fine puisque là aussi la roché a été broyée. A cause de périodes d'inactivité il y a eu de la végétation introduisant de la matière organique dans ces derniers aussi. Le volume total de ces stériles est l'ordre de 1,3 million de m<sup>3</sup> (Fernandes 2017 p. 22-23).

- Lors du changement d'activité en 1959, l'usage des bassins continue sans discontinuité pour les résidus de raffinage de l'uranium en place de ceux de l'extraction du soufre.

*"La Comurhex a construits les bassins B3 à B6 en 1975, également sur le site d'anciens bassins utilisés pour l'exploitation de la mine de soufre. Ils ont été remaniés en 1986-87 et équipés d'une membrane d'étanchéité. C'est à cette date que B4 a été intégré au bassin B5..."* (Davis 2001, p. 193). Si ces bassins B4-B6 ont été exploités dix ans, de 1975-1986, comme B1-B3 sans étanchéité, pour décanter les jus de procédés de raffinage de l'uranium, les stériles dessous doivent être impactés aussi.

Areva (2016-a p. 35) donne : B3 : surface 0,7 ha, vol 16 300 m<sup>3</sup>; B5 : 1,9 ha et 36 500 m<sup>3</sup>; B6 : 2,3 ha et 56 000 m<sup>3</sup>. (total 4,9 ha et 108 800 m<sup>3</sup>). Areva (2016-d p. 53) donne "111 300 m<sup>3</sup> soit 178 080 tonnes" pour B3, B5 et B6.

- Areva-Andra (2015 p. 6) : Les "...diverses étapes du procédé sont à l'origine d'effluents liquides :
  - effluents provenant des pieds de colonne d'extraction liquide-liquide. Il s'agit d'effluents nitrates qui présentent un caractère acide et qui renferment les impuretés présentes dans les concentrés miniers, notamment les produits de filiation de l'uranium ;
  - effluents provenant de l'unité d'hydrofluoration. Ces effluents renferment du fluor (sous forme notamment de fluorure d'ammonium), ainsi que de l'uranium ;
  - effluents provenant de l'unité de récupération.

Ces différents effluents sont mélangés, neutralisés à la chaux, puis dirigés vers les bassins de décantation où s'effectue la séparation solide-liquide.

Les bassins de décantation se remplissent donc au fur et à mesure de la fraction solide des effluents (boues de fluorine et d'hydroxydes métalliques) constituant les déchets solides du procédé de conversion. La fraction liquide des effluents, clarifiée par la décantation, rejoint les bassins d'évaporation où elle est concentrée par évaporation naturelle... (...) ...

- Les bassins d'évaporation contiennent quant à eux les effluents liquides de procédé, composés essentiellement d'une solution aqueuse de nitrates de calcium, sodium et ammonium."

- Areva (2013, p. 228) : "... B1/B2... depuis le début de son activité en 1959. Il s'agit majoritairement de boues de fluorine (CaF<sub>2</sub>). (...) boues de fluorine dans B1/B2 : environ 77 000 m<sup>3</sup>,...".

- Pour ce qui est de l'atelier d'hydrofluoration (5 réacteurs à Malvési) le traitement est généralement : passage dans une colonne d'épuration contenant une solution d'hydroxyde de potassium (HF + KOH → FK + H<sub>2</sub>O). Dans un deuxième temps ils doivent passer la colonne souillée avec de la chaux éteinte (partiellement soluble) pour précipiter CaF<sub>2</sub> fluorine insoluble (2 KF + Ca(OH)<sub>2</sub> → CaF<sub>2</sub> + 2 KOH), qui pourra être filtrée. Cette boue de fluorine qui reste mouillée, marquée à l'uranium, avec encore beaucoup de chaux éteinte/portlandite qui a été introduite en excès, est un déchet important des usines chimiques du nucléaire qui travaillent avec l'acide fluorhydrique.

Comurhex-Pierrelatte/Tricastin en produit apparemment 400 tonnes/an depuis des années (selon un thésard sur le sujet). Issu de certains ateliers qui travaillent avec matières épurées, cela a été envoyé en décharges. Fait divers, la presse a rapporté que le 15/12/2010 qu'un camion de la société SITA qui amenait de la boue de fluorine de Comurhex-Tricastin au centre de déchets industriel de Bellegarde en a perdu quelque peu sur le trajet. Ou encore la CriiRad a souligné qu'il y en a 14 000 m<sup>3</sup> dans un cumulus abandonné à Pierrelatte-Tricastin, [là](#).

- La CriiRad présente bien le fonctionnement et ses caractéristiques (2007 p. 8-9) : "Les solutions acides récupérées en bas de colonne sont mélangées à des solutions basiques puis neutralisées à la chaux. Ces effluents de process forment une boue dans laquelle sont piégés les métaux lourds. D'après la COMURHEX, ce déchet contient moins de 0,05% de l'uranium présent dans les concentrés. En revanche, d'autres radionucléides des chaînes de l'uranium 238 et de l'uranium 235 – présents à faible teneur dans le « yellow cake » - peuvent être concentrés dans les boues. C'est le cas du thorium 230...

Les bassins fonctionnent en cascade : les effluents sont introduits dans les premiers bassins (B1 et B2) où les particules solides sédimentent. Le surnageant est pompé et dirigé vers le bassin B5 (et de là vers B6, puis B7, B8, B9...) pour évaporation sous l'action du soleil et du vent. L'évaporation est accélérée à l'aide de pompes flottantes qui permettent de pulvériser l'eau.

Selon la COMURHEX, les boues ont une humidité d'environ 63% et une densité de 1,283. Avec le temps, elles se tassent et leur volume diminue par expulsion d'eau. La teneur en eau serait d'environ 73% en surface contre 34% en profondeur ; la densité de 1,172 en surface, contre 1,729 en profondeur".

- La concentration des premiers yellow cakes était moindre, 40 à 50 % au départ mentionne Roux (1961 p. 5). Les déchets les plus anciens du site doivent être plus radioactifs, avec plus de fils de l'uranium, thorium 230, Radium 226, etc.

- En 1992 la digue qui sépare les bassins B1 et B2 était submergée.

▪ "Un décret préfectoral du 13 septembre 1995 demandait à la Comurhex qu'elle fasse procéder par un tiers à une étude de bassins B1 à B6. L'école des mines de Paris, à qui l'étude fut confiée, a découvert des fuites provenant des bassins B1/B2 faisant s'écouler des eaux industrielles contaminées en nitrates jusque dans le canal de Cadariège qui coule à proximité. Les nitrates aboutissent dans l'étang de Bages-Sigean." (Davis 2001, p. 193).

En mai 2000 la Comurhex fait combler Le canal de Cadariège. Areva (2013, p. 140) : "Nitrates : Les concentrations les plus élevées sont mesurées dans les eaux des alluvions en aval hydraulique du massif et au droit de l'ancien canal de Cadariège avec des valeurs de 3 340 mg/l à 12 700 mg/l."

▪ En 2003 la Comurhex fait relever la digue entre B1 et B2 d'environ 2 mètres avec du matériel issu de B3 (Fernandes 2017 p. 18).

## VII-2. Bassins "d'en haut", 2004-2006, effondrement et révélation d'une radioactivité non dite par la CriiRad

Le 20 mars 2004 la digue Est du bassin B2 s'affaisse et glisse sur l'endroit qui est maintenant B10, B12 et le bassin d'eau pluviales. **30 000 m<sup>3</sup> de boues de chimie et à contenu radioactif ont dévalé** à l'étage d'en dessous (chiffre du rapport environnemental 2004 de Comurhex qui avait d'abord annoncé 15 000 m<sup>3</sup>; CriiRad 2006, p. 11).

▪ Les travaux indispensables théoriquement de grande urgence suite à ce mega-chaos qui n'était pas complètement imprévisible comme l'avaient indiqué les alertes de 1995, vont prendre au delà de deux ans. Un grand nombre d'engins de travaux public d'entreprises extérieures, dans la gadoue (voir le "petit lac" derrière la digue effondrée, les "ruisseaux" qui en partent..., en Fig. 26), puis la poussières d'été bien visible sur les photos... Une nouvelle digue est ainsi construite plus à l'est que l'endroit où était celle qui a glissé. Le matériel "rammassé" a été mis derrière cette nouvelle digue ainsi que en une couche au dessus de B1/B2.

Avant accident



Après accident



Photographies des bassins B1-B2 avant et après accident (site Wise).

Fig. 26. Digue Est du bassin B2, avant, avec le flanc du dome recouvert de végétation, et après l'effondrement du 20 mars 2004 (in CriiRad 2006 p. 11)

● Le 24 septembre 2006 un habitant mitoyen du site Comurhex a échantillonné de la terre en surface en contrebas du bassin B2, pour analyse par la CriiRad (étiqueté "P2", les analyses sont en kilo-frais). On y trouve les fils de l'uranium 238 (Th-234 et Pa-234 les deux premiers : 49 200 Bq/kg-frais et comme l'équilibre se fait avec U-238 en quelques mois c'est vraisemblablement la même chose pour lui), les autres plus loin dans la descendance, Th-230, radium 226, plomb-210 (11 300 Bq/kg)...

- Le Th-230 est un alpha-gamma de période 75 400 ans. Pour lui, CriiRad (2006 p. 47) : "sous certaines conditions, le facteur de dose par inhalation... est comparable à celui du plutonium (de l'ordre de 100  $\mu$ Sv par Bq...), or l'activité mesurée dans les boues P2 est très importante (168 000 Bq/kg frais)". Le stockage de près de 300 000 tonnes de boues (inventaire ANDRA à juin 2005) pourrait donc receler 3 400 milliards de becquerels de plomb 210 et autant de polonium 210 dont une partie pourrait rejoindre la nappe phréatique et le milieu hydrographique de surface. Une partie de ces boues a été laissée à l'air libre et soumise à la pluie et aux inondations pendant plus de deux ans. Par ailleurs le plomb 210 et le polonium 210 ne semblent pas recherchés par COMURHEX dans l'environnement (seul l'uranium est recherché dans les eaux)."

"Les boues P2 présentent également une contamination par le radium 226... L'activité mesurée (3 300 Bq/kg)..." (...) "Le stockage de près de 300 000 tonnes de boues (inventaire Andra à juin 2005) pourrait

donc receler 900 milliards de becquerels de radon 222 dont une partie va diffuser vers l'atmosphère." (CriiRad 2006, p. 47).



Fig. 27. La digue effondrée du bassin B2 en mars 2004, eau, gadoue et ruissellement notamment de ce qui est du déchet FAVL (in Fernandes 2017)

- La terre "P2" contient aussi des fils de l'U-235 dont 28 700 Bq/kg-frais de protactinium-231, émetteur alpha-bêta de période 33 000 ans. "*Le protactinium 231 est très radiotoxique par ingestion (0,71  $\mu$ Sv/Bq pour un adulte) et par inhalation (jusqu'à 140  $\mu$ Sv/Bq pour un adulte) soit des valeurs supérieures à celles du plutonium 238.*" (CriiRad 2006 p. 50).



Fig. 28. Énormes travaux sur B1-B2 : engins dans la poussière (CLIC, 12/10/2006 in CriiRad 2006, p. 56). Lors du CLIC du 12 oct. 2006 un riverain pointe à ces poussières photo à l'appui, un représentant de Comurhex a répondu que ces poussières n'étaient pas radioactives (in CriiRad 2006, p. 61). Mais en 2007, 2008, là où habitent ces riverains, en dehors du site, l'IRSN trouvera que le blé, et globalement la végétation sous le vent, est contaminée en Th-230, Pu-239-240, américium-241..., cela par voie aérienne... (cf. § V-2.).

- De plus cette terre "P2" contient de l'américium 241, (670 Bq/kg-sec) qui témoigne de la présence de plutonium (non mesurable en gamma, mais déjà l'Am 241 est un descendant du Pu-241) ce qui n'avait jamais été mentionné.

▪ *"Le fait que les dernières versions de l'inventaire ANDRA à propos de l'entreposage de près de 300 000 tonnes de ces boues ne mentionnent ni le thorium 230, ni le protactinium 231, ni l'actinium 227 conduit à sous-estimer fortement les impacts sanitaires."* (CriiRad 2006, p. 52). Et pour tous ces travailleurs extérieurs de chantiers dans la boue ou la poussière sur ces années : *"... calcul dosimétrique totalement erroné si l'activité en émetteurs alpha à vie longue des poussières - seul paramètre mesuré par COMURHEX - est utilisée avec des facteurs de dose correspondant à l'uranium naturel."* (CriiRad 2006, p. 57).

▪ La CriiRad s'est étonnée que des boues ainsi contaminées aient pu rester à l'air libre depuis plus de 2 ans. Elle demande que ces dépôts soient traités comme INB et non pas comme une ICPE, et écrit dans ce but au Ministère (CriiRad 2006, p. 57 à 63).

● Suite à quoi il y aura une étude IRSN qui écrira pour ces boues (Pourcelot et Le Roux 2008 p. 10) : *"Les effluents sont neutralisés à la chaux, traitement qui fixe les isotopes de l'uranium et leurs descendants (Th-230, Th-234 et Pa-234, principalement) et les autres métaux sous forme de sels hydroxydes insolubles. Les boues, dont les sels d'uranium, se déposent au fond des bassins par décantation. A ce titre, les boues sont considérées comme déchets radioactifs dans l'inventaire Andra... Selon Comurhex, les solutions nitratées (contenant les radioéléments solubles, principalement : Tc-99, Ra-226, Bi-214, Pb-210) constituant le surnageant sont transférés vers les bassins d'évaporation."*

### **VII-3. Bassins d'en haut, l'INB n° 175 un dépôt de vrac administrativement transformé en stockage**

▪ Suite à l'intervention puis des actions de la CriiRad depuis 2006, au CLIC, vis à vis de l'Etat, un recours juridique..., l'Etat a reconnu la partie B1/B2 comme une INB, la n°175, de déchets nucléaires d'un volume jusqu'à 400 000 m<sup>3</sup>. Pour mémoire le Centre-Manche Andra contre l'usine Orano-La Hague, c'est 530 000 m<sup>3</sup>. L'élite responsable de tout ça l'a nommé "ECRIN", habitude technique de "com" pour faire oublier que c'est une INB qui n'a pas de fond (comme le Centre Manche). Cette nouvelle INB-déchets est située sur des parcelles du plan cadastral de la ville de Narbonne.

Elle est *"autorisée pour 30 ans"* a écrit l'élite qui avait déjà écrit ça pour Stocamine.

▪ Tant qu'à faire, la boue des bassins B5 et B6 a été draguée et densifiée, ça a pris deux-trois ans, 2020-23, et passée dans l'ancien bassin B3 et dans une case de 27 000 m<sup>3</sup> dans le coin Sud Ouest du bassin B2/INB qui cette fois ont eu un aménagement avec un fond (et des petits-noms de "com", "PERLE" et "CERS"). Cela relâche la pression sur Orano-Malvési qui a plusieurs années devant lui pour re-remplir B5 et B6 de ses boues chimiques et *marquées*.

▪ Fernandes (2017, tab. 2.2 p. 27 de Bary et al. 2010/Arcadis) rapporte que l'emmission alpha des boues de raffinage de l'usine chimique est en moyenne de 400 000 Bq/kg (15 000 à 1,3 millions Bq/kg) et en moyenne en bêta de 110 000 Bq/kg (10 000 à 350 000 Bq/kg) ainsi que en moyenne 5 000 Bq/kg (1 000 à 10 000 Bq/kg) en radionucléides artificiels (frais ou sec non indiqué).

*"Les principaux contributeurs de l'activité alpha sont Th-230 (50 %) et les isotopes naturels de l'uranium (30 %)... Les radionucléides artificiels représentent moins de 2 % de l'activité alpha (Np-237, Pu-238, Pu-239-240, et Am-241) et moins de 0,5 % de l'activité bêta (Sr-90, Tc-99, Cs-137 et Pu-241)."* (Burgeap, Bary et al., in Fernandes 2017, p. 26).

▪ *"Les concentrations d'uranium mesurée dans les bassins B1/B2 par Arcadis en 2009... 5 800 mg/kg dans la boue et 130 mg/kg dans les stériles."* (Fernandes 2017 p. 37).

▪ Areva donne en 2013 (p. 230) : *"masse d'uranium et de thorium 230 présents dans les bassins B1/B2"* : total "uranium" : 677 tonnes, total Th-230 : 50 kg (cette dernière quantité correspond à une activité de 36 000 milliards de Bq).

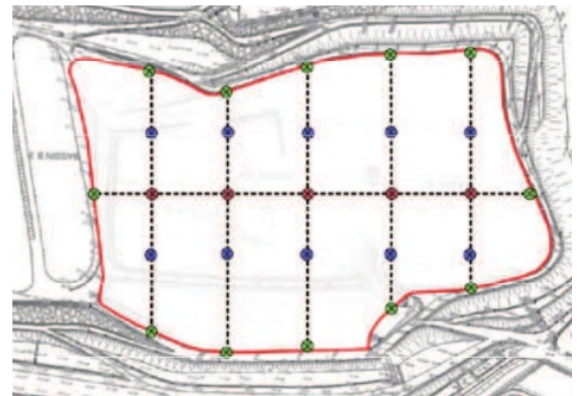


Fig. 29. Travaux sur B1-B2. - En haut : sur ce large dome (dont seule une partie supérieure est due à la Comurhex, mais ses déchets contaminent ce qu'il y a dessous) une couche de matériaux de carrière a été mise pour stopper l'envol de poussières chimio-radioactives avec le vent. On voit aussi au premier plan une cavité de 27 000 m<sup>3</sup>, 125m × 45 m aménagée dans B2 (nommée *perle*) qui va être remplie de boue de dragage densifiée/déshydratée de B5.

- En bas : finalement, 16 années après la rupture, fin 2020, le dôme a été recouvert en collage de bandes de bitumes dans le but de limiter l'entrée d'eau comme écrit le Décret du 20/07/2015 qui prévoit "Un système de drainage des gaz permet de canaliser les gaz vers les exutoires implantés sur la couverture bitumineuse." dont le principe est à droite : tranchées drainantes à angle droit avec événements (petites cheminées avec chapeau), l'INB n°175 entourée en rouge (Areva 2016-a p. 64). La Comurhex faisait l'inverse depuis 45 ans, ajoutant sans cesse des solutions nitrato-fluoro-contaminées de l'usine dans ces bassins sur ce dome.

- Le thorium 230 est en moyenne de 0,68 mg/kg dans les boues (*sludge*) = activité 480 000 Bq/kg, et Th-234 6,6 10<sup>-8</sup> mg/kg = activité 56 000 Bq/kg (Fernandes 2017, p. 45). L'échantillon SC417a (entre 1,5 et 3 m de profondeur, 2009) contient 2 150 mg/kg d'uranium et 1 170 mg/kg de thorium (in Fernandes 2017, p. 104). L'activité spécifique du Th-230 étant de  $\approx 7,2 \cdot 10^8$  Bq/g, elle est selon cet échantillon de 842 millions de Bq/kg.

- "Les conditions de la boue sont oxidantes avec un contenu humide élevé qui s'accroît avec la profondeur. Ce niveau est riche en minéraux argileux et amorphes de Al, Si et Fe qui donnent une surface et une capacité de sorption élevée\*... La boue sur le plan chimique est très hétérogène avec des concentrations variables de F, Ca, Mg, Si, Fe et U, qui reflète la variété des minerais d'uranium reçus, et l'évolution des processus

chimiques utilisés à l'usine de Malvési." (Fernandes 2017, p. 183). Et, "la surveillance de la qualité et quantité des effluents est pauvre (AREVA NC Malvési, communication personnelle) la concentration finale du thorium n'est pas connue. Dans les bassin B1/B2, le Th-230 contribue pour approximativement 45-50 % de l'activité alpha totale des déchets B1/B2." (Fernandes 2017, p. 45).

\* par contre l'argile des stériles sous-jacent est en feuillets micas sans absorption

- Les valeurs (de Burgeap) données dans Areva (2013, fig. p. 190) pour le Th-230 dans les eaux (non pas dans les boues) sont de 11 à 52 avec une moyenne de 30 Bq/l.
  - Dans l'eau interstitielle prélevée "calcium et nitrate dominant la composition des ions majeurs des échantillons des déchets... comme résultat direct de la neutralisation des effluents de conversion de l'uranium riches en nitrates avec de l'oxyde de calcium.", chaux, CaO (Fernandes 2017, p. 95, 184).
  - Et parlant des stériles de la mine de soufre qui sont dessous (d'une couleur grise très différentes des boues chimiques ocre-marron(rougeatre) à brun) : "...le grand éventail d'activité mesurée (1-60 Bq/g en alpha et 1-20 Bq/g en bêta) confirme la présence de zones où les stériles de mine ont été impactés par les déchets. La grande contribution de Tc-99, un radionucléide très mobile, à l'activité bêta (17 %) aussi suggère que la contamination a migré des couches de déchets surincombantes." (Fernandes 2017, p. 26), voir Fig. 32.
- Areva (2013, p. 184), citant l'étude Buregeap sur cette nappe perchée des résidus miniers : conductivité : 46 689  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; pH = 6,24; nitrates : 129,3 g/l, ammonium : 6,9 g/l; U-tot : 11 mg/l; fluorures : 1,9 mg/l; sulfates : 3 g/l.

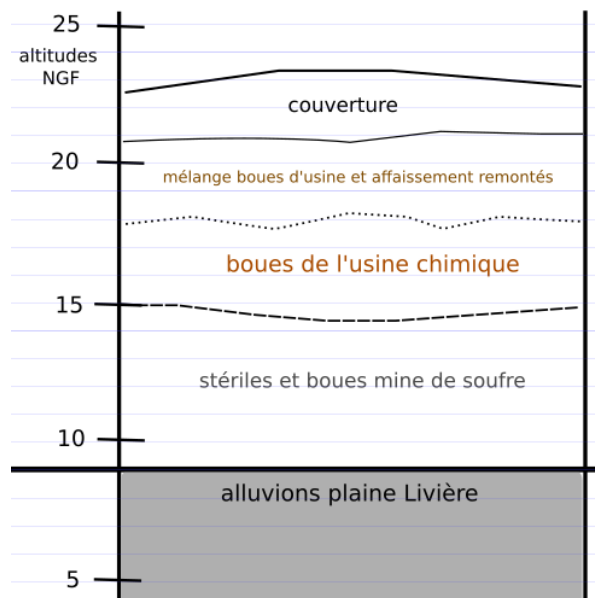


Fig. 30. Coupe schématisée moyennée pour l'ensemble du dôme B1/B2. La plaine de la Livère (alluvions) est mise là à une altitude de 9 mètres (NGF). Ce schéma in Fernandes (2017, fig. 2.15 p. 25 et 2.17 p.30, redessiné) représente le centre du dôme. Il prend en compte les conséquences de l'effondrement. Du côté Est du dôme les boues de l'usine chimique ont dévalé la pente en mars 2004 et y sont donc peu épaisses, du côté Ouest au contraire elles occupent encore toute l'épaisseur (maintenant en sandwich entre stériles mine soufre et couverture; selon Burgeap 2009 in Fernandes 2017 fig. 2.13). Sur la partie Est, au dessus des boues restées en place, il y a ce mélange de boues et stériles qui ont été remontés en haut avec des engins de travaux public. Le présent schéma se veut être à peu près au centre.



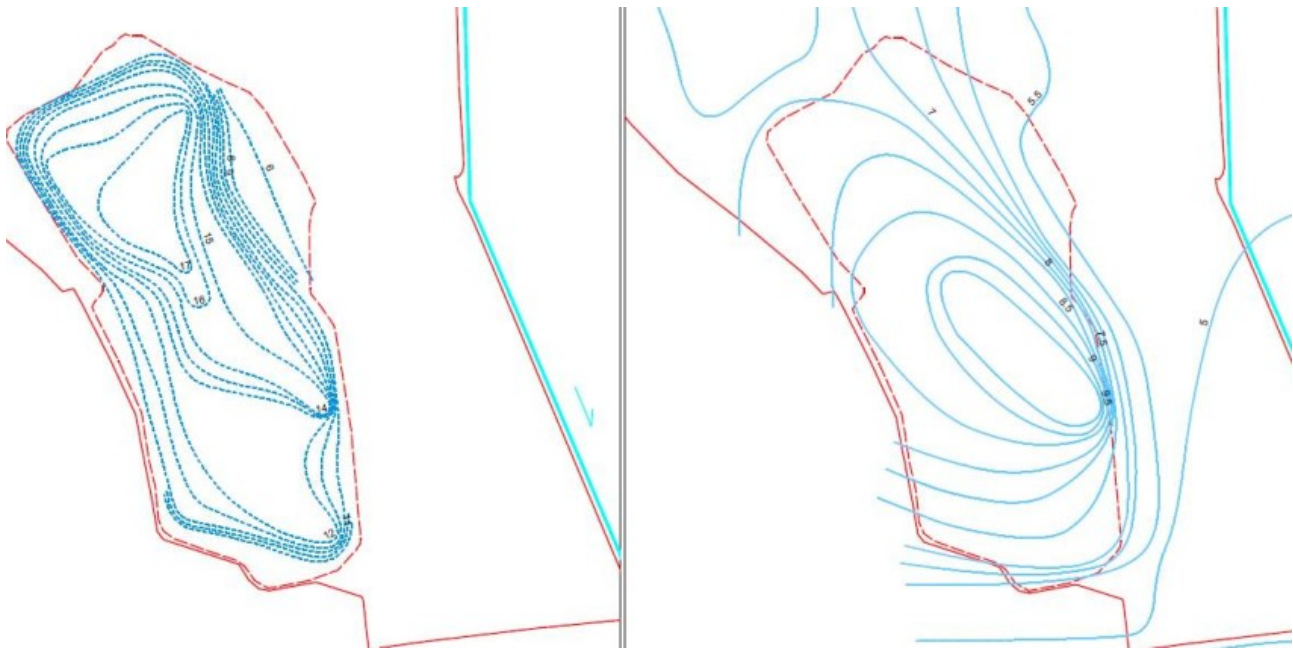


Fig. 31. Piézométrie en mars 2010 dans le dome de stériles-bassin B1-B6 à gauche, et dans les alluvions sous-jacente à droite (in Fernandes 2017, p. 22). Mr Boudrières de Burgeap qui a fait les études a commenté : "... montrent une nappe dans le massif, isolée de la nappe alluviale, mais connectée sur la bordure Est de l'entreposage." (CLIC 2010, p. 10), il y a donc un passage de l'une à l'autre . "Cette nappe perchée est alimentée d'une part par l'essorage des boues de fluorine et d'autre part par l'infiltration des eaux pluviales principalement au niveau des bassins B1/B2 et des digues." (Areva 2013, p. 64); (hiver pas très pluvieux, 134 mm total sur nov. 2009 à fév. 2010 : 4,5, 22, 31,5 et 76,2 mm de pluie, selon infoclimat, [là](#)).

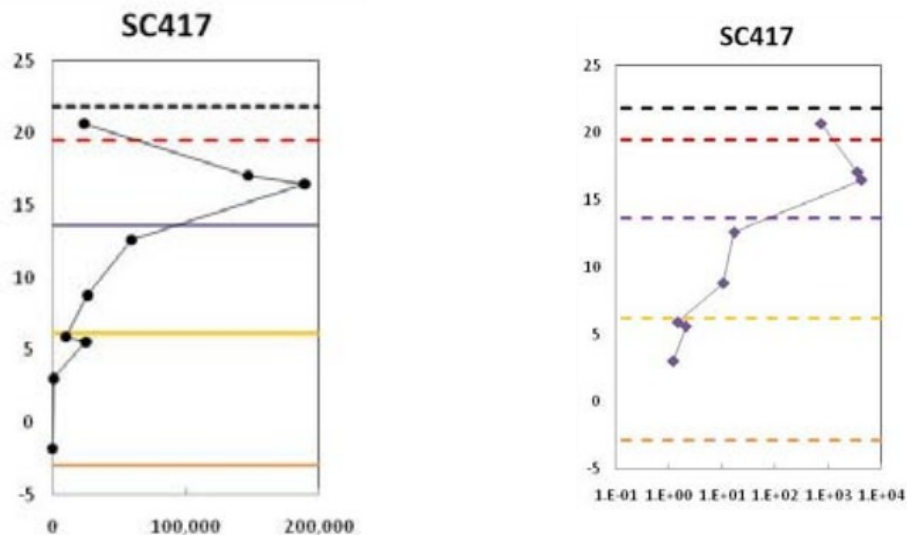


Fig. 32. Report des concentrations en mg/kg du stratum en coupe verticale (m NGF), à gauche des nitrates (échelle abscisse normale 0 à 200 000), à droite de l'uranium (échelle abscisse log de  $10^{-1}$  à  $10^{+4}$ , mesure max  $\approx$  5800, mes. mini  $\approx$  1) dans un forage en plein dans le bassin B1. Les boues de l'usine chimique uranium sont entre les tirets rouges et dessous violet (plein ou tirets) i.e. entre  $\sim 14$  et  $\sim 19,5$  m NGF. On voit que nitrates et uranium ont traversé les stériles de mine de soufre (argile type muscovite-dolomie-gypse) jusqu'aux alluvions de la plaine (in Fernandes 2017, p. 25 et 30, et localisation p. 49). Les alluvions sont ici à 6 m NGF, voir Fig. 2. pour cette variation d'altitude de la surface des alluvions.

▪ Les mesures dans l'eau interstitielle confirme que l'uranium est en vadrouille : *"L'eau interstitielle dans les couches naturelles sous le site AREVA NC Malvési, i.e. dans les alluvions, est de l'ordre de  $10^{-7}$  mol U/l. Dans les bassins B1/B2, la concentration d'uranium monte à  $10^{-6}$  mol/l dans la boue,  $10^{-5}$  mol/l dans les stériles et jusqu'à  $10^{-4}$  mol/l dans le mélange de sol et boue (Burgeap, 2009a). Dans les eaux de surface, la concentration d'uranium va de  $10^{-7}$  à  $10^{-9}$  (Bary et al, 2010a)"* (Fernandes 2017, p. 38). L'uranium est déjà plus concentré dans l'eau de pores des stériles de soufre que des boues chimique surimcombantes (Fernandes 2017 p. 29). Ou Fernandes (2017, p. 108) suite à ultracentrifugation et ultra filtration d'échantillons, *"L'uranium est donc vraisemblablement présent en tant que vraie espèce dissoute dans les aliquotes des séries d'expériences pour toutes les couches."*

▪ Dans un tableau (mal reproduit mélangeant les chaînes U-238 et U-235) Areva (2013, p. 188) donne comme valeurs "moyennes" des eaux dans les stériles : U-238 : 143 Bq/l, U-234 : 137 Bq/l, U-235 : 6,8 Bq/l, Th-230 : 23 Bq/l, Th-234 : 28 Bq/l, Tc-99 : 108 Bq/l, Sr-90 : 3 Bq/l. qui montre la grande mobilité de l'uranium et celle faible du thorium qui néanmoins a progressé lentement.

▪ Dans les boues humides l'uranium est sous plusieurs formes. Il y a de l'uranium associé anioniquement à des carbonates ou en sorption. Les études de laboratoire pointent à des carbonates d'uranyle-calcium comme  $\text{Ca}_2\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3$  comme phases importantes (Fernandes 2017, p. 170-1) puis la solubilité est contrôlée par une phase silicatée  $[\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}]$  (uranophane) puis par une phase oxyhydroxyde  $[(\text{UO}_2)_8\text{O}_2(\text{OH})_{12} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}]$  (shoepite à hydratation variable) et peut-être d'autres (Fernandes 2017 p. 183-4).

▪ Selon les analyses XRD, les stériles sous-jacents de la mine de soufre ne contiennent pas d'argile autres que des feuilletés détritiques de structure muscovite, ni d'oxydes-hydroxydes de fer, autant de minéraux qui auraient pu jouer un rôle dans la rétention d'uranium et thorium. *"Ces résultats suggèrent que 90-95 % de l'uranium contenu dans les boues peu être labile ou facilement disponible à l'eau souterraine dans les conditions naturelles."* (Fernandes 2017, p. 101-102). Le Thorium est un élément beaucoup moins mobile (la présence de carbonate pouvant élever cette très faible mobilité).

▪ Arcadis (Bary et al. 2010 cité in Fernandes 2017 p. 28) a estimé le contenu total d'uranium disséminé à 677 tonnes et de thorium disséminé à 13,5 tonnes. Les activités spécifiques des uranium-238 et 235 étant de 12,58 kBq/g et 81,4 kBq/g, selon cette estimation cela fait (en prenant 0,72 % de cette masse en 235)  $[(672 \cdot 10^6 \times 12,58) + (4,87 \cdot 10^6 \times 81,4)] \approx 8 \cdot 850$  milliards de Bq pour l'uranium (et la même chose pour ses deux descendants immédiats, l'équilibre se faisant en quelques mois).

Rappelons que se basant sur l'échantillon de boue qu'elle avait analysé, 11 300 Bq/kg pour le Pb-210 et un stockage de 300 000 t de boues (inventaire Andra) la CRIIRad avait constaté (2006, p. 48) : *"... pourrait donc receler 3 400 milliards de becquerel de plomb 210 et autant de polonium 210 dont une partie pourrait rejoindre la nappe phréatique et le milieu hydrographique de surface."*

- Areva (2013, p. 183-4) : *"sous le massif, les alluvions parfois sableuses renferment une nappe mobile qui s'écoule dans toutes les directions autour du massif, mais principalement vers le nord et l'est."*

● Sous les stériles *"Nitrates : Les concentrations les plus élevées sont mesurées dans les eaux des alluvions en aval hydraulique du massif et au droit de l'ancien canal de Cadariège avec des valeurs de 3 340 mg/l à 12 700 mg/l. Ces valeurs ont été mesurées avant les opérations de confortement environnemental, dont la mise en place d'une paroi souterraine..."*

*Ceci témoigne du marquage du massif en 2 secteurs plus précis que sont le pied de la digue est de B2 (zone de contact direct entre la nappe perchée des stériles miniers et la nappe alluviale) et le pied de la digue est de B5-B6 (présence d'éperons drainants).*

*Le marquage en direction de l'ouest et du nord, en zone usine, reste toutefois important, notamment avec un point à 4 340 mg/l."* (Areva 2013, p. 140).

Et Areva (2013, p. 141) : *"Uranium : Les eaux des alluvions (moyenne 269 µg/l) sont marquées. Toutefois l'influence de B1/B2 est localisée essentiellement en pied de massif à l'aval immédiat de la digue est de B2 notamment, et s'estompe d'environ 1 ordre de grandeur vers la limite est du site."*

### ● Blocage et encadrement de la nappe phréatique alluviale

- En 2012 jusque dans 2013 ont été creusées entre les bâtiments-ateliers de l'usine de chimie des tranchées drainantes là où c'était possible et deux puits ont été réalisés pour pompage.

- D'autre part en un vaste chantier (Fig. 33) des "parois au coulis" ont été mises autour du massif de stériles des bassins B1-B6 : au Sud, tout l'Est mais aussi plus au Nord sur la bordure Est du parc des fûts, et avec à leur nord une tranchée aussi sur la moitié de ce parc à fûts. Enfin une autre longue "tranchée drainante" a été

faite tout le long de la bordure Ouest du massif B1-B6 (Areva 2013, p. 233; ce n'était probablement pas possible plus vers le Nord, avec l'entrée de l'usine, etc. mais c'est par là qu'ont été établis les deux puits de pompage).



Fig. 33. Parois de blocage de la nappe phréatique installée en 2012-13 sur la hauteur des alluvions quaternaires à l'Est du massif B1/B6. Selon ce schéma ces "parois au coulis" vont jusque dans l'Oligocène sous-jacent, à propos duquel il est écrit : "*Substratum Oligocène avec passées sableuses parfois humides*". Elle sont doublées en amont hydraulique d'un "fossé de contrôle avant parois" (Areva 2013, p. 184, 233-4).

- On comprend aussi (Areva 2013 p. 235) que à cause des divers pompages dans tous ces divers lieux du site il n'y a pas de montée piézométrique derrière les parois mise coté Est, alors que c'est sans tous ces pompages l'aval hydraulique naturel du site. Areva (2013, p. 230-1), "*Les eaux souterraines collectées au droit du massif B1 à B6 par le dispositif de confortement environnemental comprendront notamment les eaux issues de l'essorage de la nappe perchée au sein du massif... Ces eaux sont alors confinées par les ouvrages... collectées par les systèmes de drainage associés et transférées dans le bassin tampon, puis vers un système de traitement par évaporation du site de Malvési (évaporateur dans celui-ci est disponible, ou bassin d'évaporation).*".
- Et en fait les travaux de rattrapage d'une exploitation je-m'en-fichiste n'ont guère cessé depuis l'effondrement de la digue, par ex. Orano (2020 p. 11) : "*2019 marque le début des travaux... l'enrochement des digues de l'INB...*".

#### VII-4. Les bassins "d'en bas"

Les autres bassins à l'Est, **B7 à B12**, dit d'évaporation, sont "en bas" dans la plaine, en zone inondable. Ils sont bien plus récents et sur des terrains qui initialement n'appartenaient pas l'usine. Ils ont une géomembrane de fond qui repose sur une couche drainante munie de drains collecteurs (tapis drainants). A tel point que : "*Au droit des bassins B7, B8 et B11, le tapis drainant écrête la nappe ce qui diminue le gradient piézométrique dans cette zone et dirige les écoulements vers l'Est.*" (Areva 2016-a, p. 42).

- Les bassins B7 et B8 ont été aménagés en 1980, B9 l'a été en 1995 (Davis 2001 p. 193) et B10 en 2004. "B11" a d'abord été une improvisation dans l'urgence lors des inondations de 2006, parce qu'en 2008 il n'était toujours pas fini (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 9, CrieRad 2006, p. 13). "*La capacité de rétention s'établit à 210 000 m<sup>3</sup> pour les bassins B7, B8, B9, à 120 000 m<sup>3</sup> pour B10 et à 70 000 m<sup>3</sup> pour B11... Selon Comurhex, les solutions nitrées (contenant les radioéléments solubles, principalement : Tc-99, Ra-226, Bi-214, Pb-210) constituant le surnageant sont transférés vers les bassins d'évaporation.*" (Pourcelot et Le Roux 2008, p. 9, 10). Ou Areva (2013, p. 133) : "*...l'essentiel du Tc-99 se trouve dans les liquides nitrés entreposés dans les bassins d'évaporation.*".
- "A fin 2015, les bassins d'évaporation contenaient environ 350 000 m<sup>3</sup> d'effluents liquides entreposés (solutions nitrées)...Les effluents présents dans les bassins d'évaporation sont des effluents aqueux concentrés en sels, essentiellement en nitrates (*nitrate de calcium, d'ammonium, de sodium...*) et renfermant des traces de radionucléides. **La teneur en nitrate est de 80 à 800 grammes par litre.**" (Areva 2016-a, p. 4-5). "*L'évaporation est limitée par la teneur en sels de sorte qu'au-delà d'une certaine concentration, il n'est plus possible de réduire le volume résiduel d'effluents.*" (Areva 2016-a, p. 1). "*Les*

effluents des lagunes de Malvési contiennent environ **30 à 40 % de nitrate d'ammonium**" (Areva 2016-c, p. 52). Ce dernier apporte des complications en traitement parce qu'il a un caractère explosif vers 200°C (Areva 2016-c p. 37), D'un autre coté les sels d'ammonium ont un effet dévastateur sur le béton (à pH basique  $\text{NH}_4^+$  se décompose en ammoniac gazeux libérant des protons  $\text{H}^+$ ). Le nitrate de sodium lui a la mauvaise idée de fondre assez vite (produit collant dans les traitements thermiques) et le technétium devient volatile à haute température.

Areva (2016-c p. 61) donne une composition-type de raisonnement pour les lagunes : Table 23.

$\text{NO}_3$	$\text{NH}_4$	Ca	Na	K	Mg	$\text{SO}_4$	Cl	Fe
400 g/l	47 g/l	40 g/l	18 g/l	5,5 g/l	2 g/l	2 g/l	0,7 g/l	0,2 g/l
6,5 M	2,6 M							

▪ Mr Ligny de Comurhex, CLIC 2010 (janv, p. 13) : "Les solutions chargées en nitrates sont transférées dans les bassins d'évaporation, mais les nitrates se concentrent jusqu'à une certaine limite. Depuis le début du fonctionnement de l'usine les nitrates s'accumulent. **Cette situation n'est donc pas tenable dans le temps.** Un projet a été initié pour détruire ces nitrates...". Et Orano 2023 (p. 65) : "Aujourd'hui, les bassins d'entreposage contiennent environ **400 000 m<sup>3</sup>** d'effluents liquides nitrates..". Cette situation nous renvoie en § III-7, projet TDN. En attendant :

#### • Deux bassins de plus : le "Réservoir Sud"

Deux nouveaux bassins sont apparus. Ils n'existent pas sur une photo aérienne de 2008 (in Fernandes 2017, p. 21). Ils sont en activité routinière sur photo dans Areva 2014 qui les montre inclus dans un agrandissement du site de l'usine chimique uranium. Leurs couleurs changeantes, qui évoluent du bleu sombre au vert-caca-d'oie comme celles des bassins B7 à B11 indiquent qu'on est dans la même gamme de solutions (Fig. 34).



Fig. 34. L'apparition de deux nouveaux bassins dans un agrandissement du site entre 2008 et 2013 (in Orano 2021, p. 16)

▪ Car TDN ou pas, INB n°175 ou pas, le business-Malvési non seulement continue mais l'élite française organise son augmentation, l'arrêté préfectoral du 01 août 2012 ayant déjà légalisé un accroissement du plafond de production à 21 000 "tonnes de tetrafluorure d'uranium" par an, ce que l'arrêté du 08/11/2017 a transformé en 21 000 tonnes d'uranium "sous forme de" UF<sub>4</sub>, ce qui n'est pas pareil on l'a vu.

Areva 2016-d (p. 57) rappelle : "... les effluents qui continueront d'être produits par les installations de production via l'étape d'évaporation dans les lagunes". Les bassins d'en haut B5 et B6 (1,9 + 2,3 ha et 36 500 m<sup>3</sup> + 56 000 m<sup>3</sup>) fonctionnent à plein. Comme l'écrit l'arrêté préfectoral du 08 nov. 2017 § 5.1.5.7.7. : "Pour limiter les risques d'infiltration des eaux vers les parements et diminuer la charge hydrostatique, les eaux décantées des bassins de produits solides sont collectées et dirigées vers les bassins d'évaporation des produits liquides."

## VIII. Transports

### VIII-1. Dose recevable des transports de l'industrie atomique

- Les règles établies pour les transports de choses radioactives sont celles de l'AIEA, l'Agence Internationale pour l'Energie Atomique, ou "Agence de Vienne", chargée de par l'article 3 de ses statuts déposés en 1956 à l'ONU :

*"de faciliter dans le monde entier le développement et l'utilisation pratique de l'énergie atomique à des fins pacifiques".*

L'AIEA est le promoteur du nucléaire au niveau mondial. En 1974, l'AIEA prévoyait, espérait, l'équivalent de 4450 réacteurs de 1000 MWé installés dans le monde en l'an 2000 (WISE dans Contrôle n° 138, p. 94). Ce qui suit n'en est que plus grave puisque c'était donc prévu pour dix fois plus de transports que déjà ceux actuels.

- Ces règles sont hautement permissives, faites pour protéger les exploitants, pas la population qui le subit. La **CriiRad** demande depuis fort longtemps que cela soit revu pour quelque chose de plus cohérent, lettre à Ministre de la Santé : [ici](#) dont on reprend ci-dessous des extraits. Notre élite, « corps des mines », ministres et la grosse majorité de députés-sénateurs de tous partis au pouvoir ou qui y sont passés, a maintenu et maintient ces normes.

*Ces règles " contreviennent aux principes fondamentaux de radioprotection et aux normes de base dont elles sont censées découler. De fait, la réglementation stipule que, dans les conditions de transport de routine, l'intensité de rayonnement (ou débit de dose) ne doit pas dépasser 2 milliSieverts PAR HEURE (2 mSv/h) en tout point de la surface externe et 0,1 mSv/h à 2 m de la surface externe du moyen de transport. Or, la réglementation stipule qu'aucune personne du public ne doit être exposée à une dose supérieure à 1 mSv PAR AN...*

*A ces niveaux d'irradiation, une personne discutant une demi-heure adossée à un véhicule de transport atteignant, sans la dépasser, la limite réglementaire de 2 mSv/h recevrait une dose de 1 mSv, soit, en 30 minutes, la limite maximale ANNUELLE fixée pour l'exposition du public à l'ensemble des activités nucléaires. Dix minutes de temps de présence suffiraient à dépasser la limite de 0,3 mSv/an définie pour l'impact d'une seule activité nucléaire.*

*Or, ces véhicules circulent dans le domaine public : les camions stationnent sur des aires de parking ouvertes à tous les usagers qui, à de rares exceptions près, ignorent qu'ils peuvent être exposés au flux de rayonnements émis par les « colis » radioactifs. Des trains transportant des combustibles irradiés stationnent régulièrement en gare passagers, à moins d'un mètre des usagers de la SNCF, et les cheminots qui interviennent au plus près des wagons irradiants manquent de formation, d'équipements et de protection contre les risques."*

- "la réglementation autorise la libre circulation de véhicules et de conteneurs portant une **contamination labile** (c'est-à-dire non fixée et donc facilement transférable) de :

- **4 Bq/cm<sup>2</sup>** (becquerels par centimètre carré) pour une contamination surfacique du colis par des radionucléides émetteurs de rayonnements  $\beta$ ,  $\gamma$  ou des émetteurs de rayonnements  $\alpha$  de faible toxicité ;
- **0,4 Bq/cm<sup>2</sup>** pour une contamination surfacique du colis pour les autres émetteurs  $\alpha$ ...

... Rapportées à 1 m<sup>2</sup>, elles passent respectivement à 4 000 Bq/m<sup>2</sup> pour les émetteurs alpha... et à 40 000 Bq/m<sup>2</sup> pour tous les autres radionucléides...

... Or, selon la radiotoxicité du radionucléide incorporé, le risque encouru n'a rien de négligeable et peut même être inacceptable. A titre d'exemple, l'ingestion de 1 000 Bq de plomb 210 (83% de la limite autorisée), délivre près de 0,7 mSv à un adulte, plus de 2 mSv à un enfant de 5 ans et plus de 8 mSv à un nourrisson (on peut tout à fait imaginer l'un des parents s'appuyant sur le véhicule contaminé puis manipulant la tétine du biberon)."

- Ce sont ces normes AIEA qui sont valables pour tous transports d'éléments radioactifs qui entrent ou qui sortent de Malvési, comme des centrales atomiques EDF, comme de Orano-La Hague, etc. , sur route, sur trains, en avion, en bateaux.

Et de plus, bien au delà encore, les tromperies écoeurantes d'EDF et d'Areva sur leurs transports contaminés, l'affaire de 1998, particulièrement choquante pour le rail mais pas que, racontée [ici](#) par Mycle Schneider, n'ont jamais eu l'ombre d'une remontrance en France. Le nucléaire peut continuer à polluer gares et routes de France. L'énorme avantage qu'a le nucléaire, c'est que ses pollutions ne se voient pas.

## VIII-2. Yellow cake

▪ Les fûts de yellow cake sont irradiants. CrieiRad 2006 pour Malvési (p. 63 en conclusion) : *"La CrieiRad a fait état des mesures radiométriques qu'elle a réalisées les 21 et 22 septembre 2006 à la clôture nord du site. L'irradiation induite par les fûts de concentrés uranifères est mesurable sur plus de 400 mètres le long de la clôture et plus de 280 mètres perpendiculairement. Ce champ de rayonnement est également mesurable devant la maison de Mme C."*

Ce que remontre un passage en voiture sur la route qui longe le site de Malvési en 2014 (mesure CrieiRad, [là](#)). Et les mesures faites par le journaliste Martin Boudot atteignaient des valeurs encore plus élevées (qu'en 2014), *"50 fois supérieures à la normale"*. Et les mesures d'Orano ont triplé entre 2010 et 2019, qui a répondu que c'est parce qu'il y avait plus de fûts (in CrieiRad 2022, p. 4-6).

Or les 47 000 tonnes (en terme de yellow cake) autorisées par les arrêtés préfectoraux du 08/11./2017 et 26/07/2018 sur le site voyagent, du Kazakstan, d'Australie, etc.

▪ Le yellow cake du Niger par exemple descend en camion les 1600 km entre Somaïr/Cominak et Parakou au centre du Bénin. Il fait les derniers 400 km par train jusqu'au port de Cotonou. Là, continue la CrieiRad, il prend le bateau jusqu'au port de Montoir près de Nantes (3 semaines de transit) et de là est mis sur des wagons pour Narbonne-Malvési. Le 23/01/2004 un accident de la route au Niger, à 50 km de Dosso, qui a fait 5 morts avec plusieurs fûts ouverts qui ont déversé du yellow cake versé sur le bord de la route. Il n'a été vraiment nettoyé qu'au bout de deux mois (CrieiRad 2012, diapo 154-158), autre exemple d'accident dont l'information est remontée jusqu'à nous en Fig. 35.



Fig. 35. Camion avec un container de fûts de yellow cake renversé sur un stand de marché (manioc) à Dassa Zoumé, Bénin, sur son trajet de milliers de km entre Arlit/Cominak et Malvési ([in](#) Les Observateurs/France 24 14/02/2017, [là](#))

▪ En Europe, voilà deux exemples prélevés dans un infini recommencement, parce que suivis par une action (protestation militante allemande à Hambourg notamment, relayé en France par le Réseau Sortir du Nucléaire) :

- ex. 1 (14/11/2014) du yellow cake est débarqué à Hambourg. Il venait par bateau de Saint-Petersbourg, en provenance d'Ouzbékistan ou du Kazakhstan. Il est mis sur train et traverse une grande partie de l'Allemagne (Brême, Münster, Cologne) en 2 jours, puis la France, Apach, Maizières-les-Metz, vallée du Rhône, Miramas, Béziers jusqu'à la banlieue de Narbonne, en deux autres jours.

- ex.2 (04/12/2017) du yellow cake de Namibie arrive par bateau (Red Cedar de la Cie hambourgeoise MACS). Il est mis sur train à Hambourg et traverse une grande de partie de l'Allemagne puis de la France (Dijon, Montpellier...) pour Narbonne-Malvési (ex. Fig. 36).



Fig. 36. Un des réguliers convois de yellow cake au départ d'Allemagne, Hambourg, pour Malvési, 1500 km pour cette partie là de leur voyage; et l'affichage des wagons (fin années 2010s, © Réseau Sortir du Nucléaire)

▪ Le chargement des *freight containers* 20 feet (L ~ 6m, surface au sol interne  $\approx 13,8 \text{ m}^2$ ) classiques pour les denrées lourdes est de 11 palettes européennes ( $1,2 \times 0,8 \text{ m}$ ) ou 10 US ( $1,016 \times 1219$ ). La charge maxi est de 24 tonnes. Les yellow cakes sont en général dans des fûts de 55 gallons, 208 litres, 4 par palette soit 44 pour un niveau et le poids de yellow cake a classiquement été de l'ordre de 300 à 340 kg/fût ; le fût vide pèse 20 kg (là).  $(320+20) \times 44 = 15 \text{ t}$  pour un étage de fût. Si ces *freight containers* sont remplis à 80 % du poids maxi pour une matière aussi toxique 19 000/340 ~ 56 fûts par container contenant 18 t de yellow cake. Pour un raffinage de 12 000 t uranium qui nécessite ( $\div 0,70$ ) 17 000 tonnes de yellow cake, il faut que ( $\div 18 \text{ t} =$ ) **944 *freight containers*** arrivent à Malvési, pas loin de 3 par jour d'activité du site.

La tendance est à une augmentation de la densité de la poudre de yellow cake (passer de 1,5 à 2 jusqu'à 3), chaque fût en contenant plus en poids, mais la logistique du poids maximal des *freight containers* reste ce qu'elle est. L'augmentation d'activité autorisée par les arrêtés préfectoraux ouvre la voie à encore plus d'arrivages sur Narbonne puis Malvési.

### VIII-3. UF4

Les transports de tétrafluorure d'uranium raffiné, sur les 230 km entre Orano-Malvési-Pierrelatte aussi sont irradiants comme le montre cette mesure de la CriiRad en se promenant sur l'autoroute : [là](#).

La Comurhex indique dans son rapport 2006 qu'il y a eu 731 transports d'UF4 par route et le collectif Stop-Uranium a observé que ça correspondait à 3 à 5 camions par jour ouvrable.

Orano (2018) "Depuis janvier 2015, les transports d'UF4 sont principalement opérés par le rail.". Orano (2023) donne : pour 2021 : 494 "transportss UF4", 2022 : 538 "transportss UF4" (transportss = ? convois ?)



Fig. 37. A gauche un camion d'UF4 arrêté sur la route entre Malvési et Pierrelatte/Tricastin (action *bloqueurs d'uranium*, sept. 2013); à droite un camion d'UF4 sur l'autoroute, lorsque la CriiRad dépassé ce camion, de l'intérieur de la voiture fermée le nombre de coup par sec d'un scintillateur professionnel a été multiplié par 23.

## VIII-4. TDN

On a vu en § III-7-5. qu'il est prévu d'emmener plus de 340 000 tonnes de "déchets TDN" à Morvilliers dans l'Aube 750 km au Nord de Malvési. Sont annoncés par an 7 100 m<sup>3</sup> en 6000 *big-bags* de 1,2 m<sup>3</sup> pesant 2 tonnes chaque, posés sur palettes.

Il semble que la surface d'un gros camion tienne 22 *big-bags*, ce qui fait déjà 44 tonnes, soit (6000 ÷ 22=) 272 voyages × 750 km ≈ 200 000 km/an, et ça c'est sans compter les retours. Pour le projet TDN il c'est à multiplier par 28 ans pour liquider le stock des bassins issu du passé. Mais autant qu'on sache, ils continuent l'évaporation en bassins et l'élite française est en pleine relance du nucléaire donc ça ne s'arrêtera pas à ce passé. La fabrication de déchets nucléaire fonctionne à plein au présent. Il faudra bien mettre ceux d'aujourd'hui et demain quelque part.

Pour ces transports vers Morvilliers Orano a répondu plutôt sèchement en 2023 à la MRAE que tous les trajets entre Malvési et Morvilliers sont par la route (point-barre).

Car ces transports ont déjà cours, par exemple 10 000 m<sup>3</sup> de fûts de yellow cake contaminés qui ont été broyés à Malvési (Areva 2016-d p. 53), Ligney et Martinez (2011 diap. 21) : "50 000 fûts détruits depuis septembre 2010", dont le produit compacté est apparemment parti remplir du tumulus à Morvilliers.

## VIII-5. Acides, nitrique concentré, fluorhydrique, ammoniac...

Les panneaux orange pour le transport (qu'on a mis en Fig. 1) ont :

- en haut le code de danger RTMD ou code de Kemler
- en bas le n° d'identification ONU/UN

### VIII-5-1. Acide nitrique

Il faut à Orano-Malvési des milliers de m<sup>3</sup> d'acide nitrique hautement concentré par an (acheté notamment à la société norvégienne internationale Yara/Norsk hydro). Un wagon en un inox spécial en tient 55 tonnes (gouv, [là](#), [là](#)), leur capacité est de 50 m<sup>3</sup> ([là](#)) mais l'acide concentré a une densité de ~ 1,4 pour une solution à 70 % donc ils se limitent probablement à un contenu de 40 m<sup>3</sup>. Pour 15 000 m<sup>3</sup> par exemple cela fait ~ 375 wagons pour Narbonne-Malvési, équivalent à un par jour.

Lorsqu'un de ces wagon perd une partie de son chargement il faut évacuer la zone du nuage orangé et puis ça laisse un petit dépôt de type "bassin-Malvési" (sans la radioactivité) dans la nature ... (accident de Saint-Chalmier, [là](#)). Et on remarquera que cette petite fuite [ici](#) d'un wagon plein à ras-bord (annoncé 67 t à 99 % ce doit être le poids total du wagon) s'est produite au centre de tri d'Avignon qui se trouve être à mi-chemin entre Orano-Tricastin et Orano-Malvési. Panneaux orange de transport :

Acide nitrique 65 -70 % :	85/2031
Acide nitrique > 70 % (à l'exclusion fumant rouge) :	885/2031
Acide nitrique fumant rouge :	856/2032

### VIII-5-2. Acide fluorhydrique

On a vu en § III-4. que la consommation en HF de l'atelier fluorisation de Malvési devait ressembler à quelque chose comme 5000 tonnes par an. Cela fait 91 wagons de 55 t qui doivent alimenter le site chaque année. Orano l'achète notamment au chimiste allemand Bayer.

Le 10 mars 2001 3 wagons contenant de l'acide fluorhydrique destinés à Comurhex déraillent en gare de Narbonne dont un couché. C'est un des produits les plus dangereux (par ex. [là](#)). 110 ppm dans l'air pendant 10 mn peut être fatal. HF s'associe au calcium des cellules et fait des brûlures profondes, défigurantes et affecte le coeur, les poumons et les os.

Un mois et demi plus tard, LaDepêche.fr, (30/04/2001, [là](#)) : "Plus de 25 techniciens spécialisés. Plus de quatre-vingt sapeurs-pompiers et autant de CRS, 25 policiers de la sécurité publique... Après 7 semaines d'attente, le troisième et dernier wagon d'acide fluorhydrique anhydre (1)... a enfin été remis sur les rails... Plus de 5 km de tuyaux ont été déroulés pour amener 7 grosses prises d'eau jusqu'au wagon. En cas de fuite... ceux-ci auraient permis de générer un « mur d'eau » confinant un éventuel nuage toxique... La totalité du quartier et la gare ont été bouclés... Chaque semaine, plusieurs dizaines de tonnes de matières toxiques destinées notamment à la Comurhex transitent par la gare.

(1) Le wagon pesant 73 tonnes en contenait 55 d'acide fluorhydrique anhydre...

(2) Afin de prévenir la propagation d'un nuage toxique en direction de la ville de Narbonne, il avait été établi qu'un vent marin soufflant à plus de 20 kilomètres par heure était indispensable pendant le relevage du wagon."

Panneau orange de transport : 886/1052





**Fig. 38.** Opération à haut risque, relevage par sangles avec deux grues très haute charge d'un wagon avec 55 tonnes d'acide fluorhydrique pour la Comurhex qui s'est couché en gare de Narbonne

### VIII-5-3. Ammoniac

Présentant un nouvel appareil qui consommera 66 t d'ammoniac par an, Comurhex (2010, p. 25 et 14) mentionne que cela "*ne représente que 1,6 % de la consommation globale du site*" qui est donc alors de  $(66 \div 0,016=)$  4125 tonnes par an. Il peut y avoir 198 t sur le site.  $4000 \div 200 =$  au moins vingt arrivages en wagons d'ammoniac par an. Et si un wagon en porte 54 tonnes cela fait soixante-seize wagons pour Malvési. L'ammoniac liquide qui fuit est lui aussi extrêmement dangereux, outre les yeux, les poumons, il brûle la peau presque irréversiblement (un ex. [là](#)).

Panneau orange de transport : 268/1005

## Biblio

- Areva 2011, "Rapport environnementale et social et sociétal 2010 - Comurhex Malvési", octobre, 43p.
- Areva 2013, "Dossier de Demande d'Autorisation de Création Installation Nucléaire de Base ECRIN - Classeur 2 - Pièce 6 - Étude d'impact - Chapitre 2 : Analyse de l'état initial du site, de l'installation et de leur environnement", 251p.
- Areva 2014, "Gestion à long terme des déchets historiques du procédé de conversion - PNGMDR 2013-2015 - Rapport d'avancement", décembre, 52p.
- Areva 2015, "Rapport d'information sur la sûreté nucléaire et la radioprotection de l'INB ECRIN - Edition 2014 - Areva NC Malvési", juin, 51p.
- Areva 2016-a, "Installation nucléaire de base ECRIN - Dossier de demande d'autorisation de Mise en service", Pièce 1-A Rapport de Sûreté, 139p (avec 1/2 du contenu caviardé sur site ASN et les figures intéressantes pour l'environnement floutées, [là](#)).
- Areva 2016-b, "Demande d'autorisation d'exploitation de l'Installation « Traitement des Nitrates » - Etablissement AREVA NC Malvési - Enquête publique", août, 7 feuillets non paginés.
- Areva 2016-c, "Solutions alternatives au procédé THOR® pour le traitement des nitrates de Malvési", Reves, G. - Videau, G. - Lefevre, A., Note technique, CXM-16-003060, 07 déc., 78p. Cette note a été mise en annexe d'un Mémoire 2023 de 11p de Orano en réponse à l'avis 2023 de la MRAE sur le projet TDN.
- Areva 2016-d, "Installation Classée pour la Protection de l'Environnement « Traitement Des Nitrates » - Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter", vol. 1 "Présentation de la demande", 70p., [là](#).
- Areva - Andra 2015, "Gestion à long terme des déchets à produire du procédé de conversion - PNGMDR 2013 - 2015 - Rapport d'études", mars, 16p.
- Ashbrook, A.W. 1986, "The Refining and Conversion of Uranium Yellowcake to Uranium Dioxide and Uranium Hexafluoride Fuels in Canada: Current Processes.", in IAEA, "Advance in Uranium Refining and Conversion", held in Vienna, 7-10 April: 9-20.

- Atkins, P. - Overton, T. - Rourke, J. - Weller, M. - Armstrong, F. - Hagerman, M. 2010, "Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry", Freeman and Company: 824p.
- Atmo Occitanie 2021, "Zone industrielle de Malvesi - Surveillance permanente de l'ammoniac- 1er Trimestre 2021", octobre, 10p, 2 annexes.
- Atmo Occitanie 2022, "Evaluation de la qualité de l'air dans l'environnement de l'usine Orano Malvési - Rapport annuel 2021", mars, 15p., 3 annexes.
- Atmo Occitanie 2024, "Suivi de l'ammoniac dans l'air dans l'environnement d'Orano Malvési - 3<sup>ème</sup> trimestre 2023", janvier, 18p.
- Augustin, X. - Buzonniere, A. (de) - Brunel, G. 1993, "Concentration, drying and calcination of liquid or powdered radioactive waste by the ISOFLASH process.", 93 international conference on nuclear waste management and environmental remediation, Prague (Czech Republic), 5-11 sept 1993; Proceedings (Baschwitz et al. Eds), vol. 3.
- Bapsères, P. 1966, "Le soufre", Armand Colin, n°394, section chimie, [là](#).
- Barrillot, B. - Davis, M. 1994, "Les déchets nucléaires militaires français", CDRPC, Lyon, obsarm.org, 383p.
- Barrillot, B. 2012, "Essais nucléaires français – L'héritage empoisonné", Observatoire des armements, CDRPC, Lyon, obsarm.org, 319p.
- BRGM 1979, "Carte de la sismicité historique de la France - Echelle 1 : 2 500 000", in Vogt, J. "Les tremblements de terre en France", Mémoire BRGM n°96, 220p.
- Brun, C. 1997, "Modélisation de la cinétique de réduction d'oxydes d'uranium par hydrogène. Réactivité de germination et de croissance", Thèse INP de Grenoble et de l'Ecole N sup Mines St Etienne, 209p.
- Burkhart, L.E. - Fahien, R.W. 1956, "Extraction efficiency of a pulse column of varied geometry", Ames Laboratory, Iowa State College, 44p ([là](#)).
- Camp-Devernay, S. 2008, "Comportement sous flexiion d'une argile : application à la couverture d'une ISD TFA", thèse Grenoble, 351p.
- CLIC 2010 (Comité Local d'Information et de Concertation - Zone industrielle de Narbonne-Malvési), scéance du 29 janv., 14p.
- Comurhex 2010, "Document descriptif de projet (DDP)", Ref.3030 30 Z NS 002 rév. 6 janvier, 33p.
- CriiRad 2006, "Impact radiologique de l'usine Comurhex (Groupe Areva) de Malvési (Aude)", Rapport 65p., disponible sur sont site (en 4 tronçons numériques), : [ici](#).
- CriiRad 2007, "Recours pour excès de pouvoir - contre l'état français représenté par Monsieur le Préfet de l'Aude tendant à l'annulation de l'arrêté préfectoral n° 2005-11-3810 du 05 décembre 2005 - Mémoire", mars, 36p. hors annexes et pièces jointes, adressé au Tribunal Administratif de Montpellier. [là](#).
- CriiRad 2012, "L'impact radiologique de l'extraction de l'uranium", B. Chareyron, Bamako, 16-18 mars, 164 diapositives.
- CriiRad 2014, "Etude préliminaire sur le transport des substances radioactives en Rhône-Alpes", Rapport n°14-21 V3, 10 décembre, 61p.
- CriiRad 2022, "Participation du laboratoire de la CriiRad au projet « Vigilance Malvezy » - Bilan des acitions 2020-2021", Rapport d'activité CriiRad n° 22-04 (rapport d'étape), 23p., [ici](#).
- CSS 2021, "Compte-rendu de l'Observatoire de la Commission de Suivi de Site de la Sté Orano Cycle Malvési - Analyse des résultats 2020", 59 diapositives.
- Davis, M. 2001, "La France nucléaire - matières et sites - 2002", Wise-Paris édit., 338p.
- Dussoubs, B. - Jourde, J. - Patisson, F. - Houzelot, J.L. - Ablitzer, D. 2003-I "Modelling of a moving bed furnace for the production of uranium tetrafluoride - Part 1: Formulation of the model", Chemical Engineering Science, 58: 2617-2627.
- Dussoubs, B. - Jourde, J. - Patisson, F. - Houzelot, J.L. - Ablitzer, D. 2003-II, "Modelling of a moving bed furnace for the production of uranium tetrafluoride - Part 2: Application of the model", Chemical Engineering Science, 58: 2629-2642.

- Dussoubs, B. - Patisson, F. - Jourde, J. - Houzelot, J.L. - Ablitzer, D. 2001, "Simulation d'un four à lit coulant pour la production de tétrafluorure d'uranium", 8<sup>e</sup> congrès francophone de génie des procédés, Nancy, Lavoisier, Récents progrès en génie des procédés, 15, n° 82: 211-18, [là](#).
- Er-Raki, A. 2021, "Études des impacts environnementaux pour l'évaluation dynamique des filières industrielles: application au déploiement des scénarios de la transition énergétique", thèse INP de Toulouse, 361p, [là](#).
- Fernandes, T. 2017, "Geochemical behaviour of uranium and thorium in the waste of a uranium conversion facility", PhD thesis, Universitat Autònoma de Barcelona, 207p. + 6 Appendices ([là](#)).
- Huet, H. 1961, "Le Centre du Bouchet", Impr. Herissey, Evreux, 15p. ([là](#)).
- IRSN 2018, "Radiological report of the French environment from 2015 to 2017", November, 350p.
- Jamrack, W.D. 1963, "Rare Metal Extraction by chemical Engineering Techniques", Pergamon Press, 360p.
- Ligney, J.M. - Martinez, B. (Areva) 2011, "Comurhex Malvési - Bilan annuel de fonctionnement", CLIC du 07 juillet, 22 diapositives
- Mason, J.B. - Oliver, T.W. - Hill, G.M. - Davin, P.F. - Ping, M.R. 2003, "Studsvik Processing Facility Update", WM'03 Conference, February 23-27, Tucson, 10p, [là](#).
- Orano 2018, "Rapport d'information du site Orano Malvési - Edition 2017", juin, 60p.
- Orano 2019, "Rapport d'information du site Orano Malvési - Edition 2018", juin, 64p.
- Orano 2020, "Rapport d'information du site Orano Malvési - Edition 2019", juin, 77p.
- Orano 2021, "Rapport d'information du site Orano Malvési - Edition 2020", juin, 68p.
- Orano 2023, "Rapport d'information du site Orano Malvési - Edition 2022", juin, 62p.
- Orano 2023-b, "Mémoire en réponse Orano à l'analyse du Commissaire Enquêteur des différents thèmes des contributions apparues durant l'Enquête Publique complémentaire TDN qui s'est déroulée du 5 au 19 juin 2023", 20p.
- Patisson, F. 2008, "Contribution à la modélisation des réactions et des réacteurs gaz-solide", thèse INPL Lorraine, 113p.
- Perez, A. 1979, "Du concentré d'uranium à l'hexafluorure", in "Production of yellow cake and uranium fluorides", Proceeding advisory group AIEA, 5-8 June, Paris: 201-228.
- Poncelet, F. 2020, "Le site de Malvési", ARA (Assoc. retraités Anciens de SGN-Euriware-Orano Projects), octobre
- Pourcelot, L. 2009, "Bilan radiologique de l'environnement du site de Malvesi - Etude complémentaire menée en 2008", IRSN/DEI/SESURE, mars, 33p.
- Pourcelot, L. - Le Roux, G. 2008, "Etude radioécologique de l'environnement du site de Malvési (société COMURHEX)", IRSN, octobre, 67p.
- Roux, J. 1961, "La nouvelle usine française de raffinage d'uranium de Narbonne", Rapport CEA n°1884, 11p.
- Rubresus 2019, "Impact du projet de production de dioxyde d'uranium (Nouvelle Voie Humide NVH) d'Orano Malvesi Narbonne", février, 9p., [ici](#).
- Rubresus 2024, "Cour d'Appel de Marseille : une audience sur les chabons ardents", 23 avril, sur [rubresus.org](#) : [là](#)
- Schaal, G. - Faron, R. (Assignee : Comurhex) 1997, "Process for obtaining uranium trioxide by direct thermal denitration of uranyl nitrate", United States Patent, n° 5,628,048, May 6., 6p.
- Séranne, M. - Couëffé, R. - Husson, E. - Baral, C. - Villard, J. 2021, "The transition from Pyrenean shortening to Gulf of Lion rifting in Languedoc (South France) - A tectonic-sedimentation analysis", BSGF Earth Sciences Bulletin, 192, 27, 29p. ([là](#)).
- Thor T. T. (non daté), "THOR<sup>sm</sup> Steam Reforming Process For Hazardous and Radioactive Wastes - Technology Report", TR- SR02-1, Rev. 1, 40p, [là](#).
- VERITAS 2009, "Rapport de validation préliminaire - Comurhex S.A. - Détermination de la décomposition thermique du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) dans les effluents gazeux de l'atelier Précipitation de l'usine Comurhex de Malvési - Rapport No France-DET/0001/2009", 87p.

- VERITAS 2011, "Rapport de vérification Comurhex - Vérification initiale et première vérification périodique - Décomposition thermique du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) dans les effluents gazeux de l'atelier précipitation de l'usine Comurhex de Malvési" - Période de suivi : 1er septembre 2010 - 14 février 2011", 17 mars, 68p.
- Vertès, P. 1961, "La pureté nucléaire et la fabrication de l'uranium", in Energie Nucléaire, vol.3, n°3: 199-209.