

1. RESIDUS DE TRAITEMENT DE MINERAIS

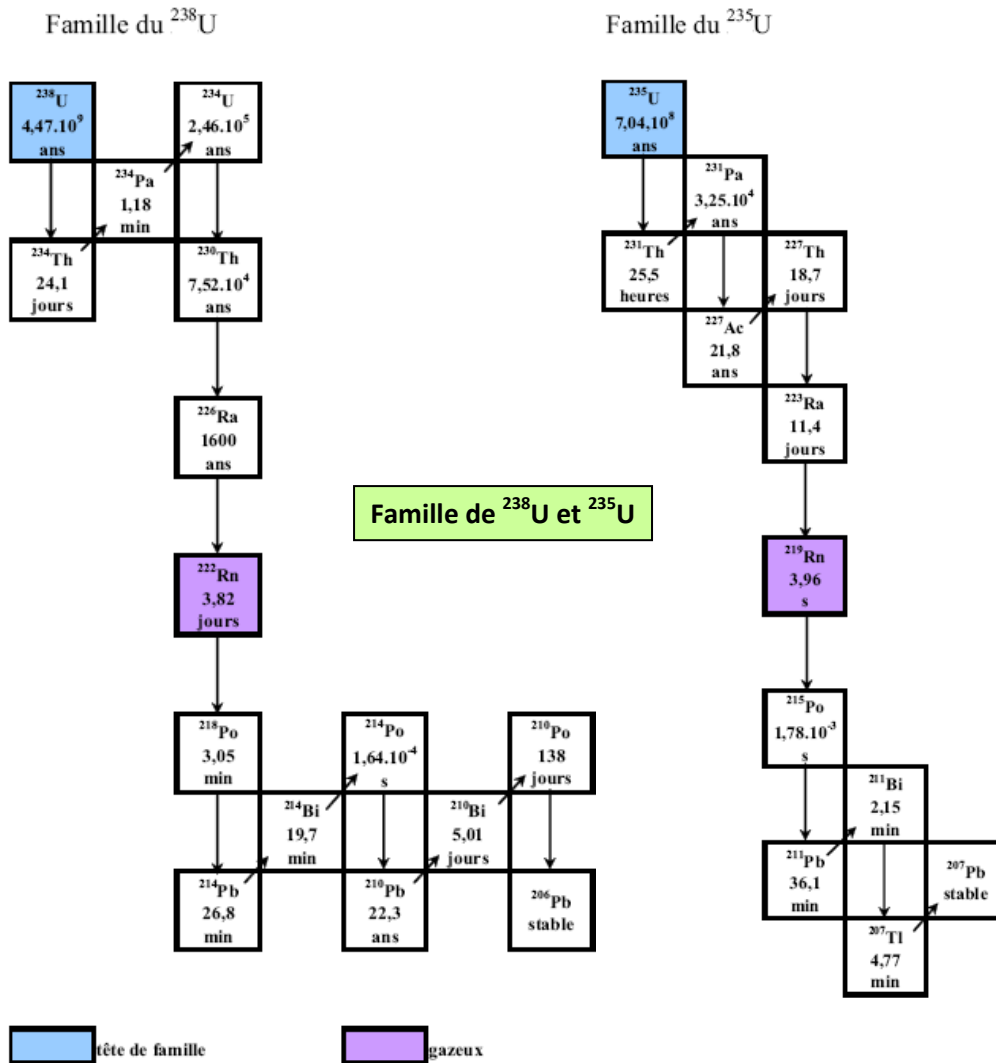
1.1. RESIDUS DE TRAITEMENT DYNAMIQUE FINS

Cette activité est calculée en prenant en compte l'ensemble des radioéléments de la chaîne de l'uranium, les descendants étant considérés à l'équilibre jusqu'au radioélément suivant.

L'activité massique totale des résidus de traitements de minerais est calculée à partir de l'activité massique du minerai pur, les résidus étant du minerai désuranié. Le calcul est d'abord fait pour un minerai théorique, puis appliqué au cas du minerai de Bellezane et des résidus issus du traitement à l'usine SIMO.

1.1.1. MINERAI D'URANIUM

Le minerai d'uranium est constitué de 14 descendants de la famille de l'uranium 238 (^{238}U), dont l'uranium 234 (^{234}U), et de 11 descendants de la famille de l'uranium 235 (^{235}U). La figure suivante représente ces deux familles.



- Composition isotopique en masse

$$\text{Unat} = 99,238\% \text{ d}^{238}\text{U} + 0,0054\% \text{ d}^{234}\text{U} + 0,711\% \text{ d}^{235}\text{U}$$

- Activités massiques unitaires

$$^{238}\text{U} = 1,24 \cdot 10^4 \text{ Bq/g}$$

$$^{235}\text{U} = 8,00 \cdot 10^4 \text{ Bq/g}$$

$$^{234}\text{U} = 2,33 \cdot 10^8 \text{ Bq/g}$$

- Activité massique pour Unat pur

$$1,24 \cdot 10^4 * 99,238\% + 8,00 \cdot 10^4 * 0,711\% + 2,33 \cdot 10^8 * 0,0054\% = 2,53 \cdot 10^4 \text{ Bq/g}$$

- Activité massique dans le minerai (théorique)

$$1 \text{ Bq Unat} = 0,489 \text{ Bq } ^{238}\text{U} + 0,489 \text{ Bq } ^{234}\text{U} + 0,022 \text{ Bq } ^{235}\text{U}$$

Avec ^{238}U : 14 descendants dont ^{234}U
 ^{235}U : 11 descendants

Soit $(0,489 * 14 + 0,022 * 11) * 2,53 \cdot 10^4 = \mathbf{1,79 \cdot 10^5 \text{ Bq/g de minerai d'uranium}}$

Dont une contribution de la famille de ^{238}U de : $0,489 * 14 * 2,53 \cdot 10^4$

Et une contribution de la famille de ^{235}U de : $0,022 * 11 * 2,53 \cdot 10^4$

Soit une **activité de la famille de ^{235}U égale à 3,535% de l'activité de la famille de ^{238}U .**

- Dans le cas du minerai de Bellezane

L'activité massique du ^{226}Ra mesuré dans le minerai d'origine est de **32 Bq/g**.

Avec les différents éléments en équilibre on obtient :

$$\text{Activité massique totale du minerai} = \underbrace{14 * 32}_{\text{U238}} + \underbrace{(14 * 32) * 3,535\%}_{\text{U235}} = \mathbf{464 \text{ Bq/g}}$$

1.1.2. RESIDUS DE MINERAI

Les résidus sont issus du traitement du minerai auquel on a retiré les éléments riches en uranium.

- Calcul théorique avec un rendement de 100% :

Dans le résidu il ne reste que :

- 10 éléments de la famille de ^{238}U (^{230}Th et suivants)
- 9 éléments de la famille de ^{235}U (^{231}Pa et suivants)

Soit une activité des résidus de : $(0,489 * 10 + 0,022 * 9) * 2,53 \cdot 10^4 = \mathbf{1,287 \cdot 10^5 \text{ Bq/g de résidus}}$

Ce qui correspond à **71,78% de l'activité du minerai d'origine.**

- Avec un rendement $\eta < 100\%$

Dans le résidu il ne reste que :

- 10 éléments de la famille de ^{238}U (^{230}Th et suivants) et une partie des 4 éléments de ^{238}U à ^{234}U soit $10 + 4 * (1 - \eta)$
- 9 éléments de la famille de ^{235}U (^{231}Pa et suivants) et une partie des 2 éléments ^{235}U à ^{231}Th soit $9 + 2 * (1 - \eta)$

Soit une activité massique totale des résidus de :

$$(0,489 * [10 + 4 * (1 - \eta)] + 0,022 * [9 + 2 * (1 - \eta)]) * 2,53.10^4$$

Ramené à l'activité dans le minerai pur, on obtient :

$$\frac{(0,489 * [10 + 4 * (1 - \eta)] + 0,022 * [9 + 2 * (1 - \eta)]) * 2,53.10^4}{1,79.10^5} = 1 - 0,282 \eta$$

Soit

$A \text{ résidu} = A \text{ minerai} * (1 - 0,282 \eta)$

- Dans le cas des résidus de Bellezane :

Le rendement de l'usine du SIMO est de 95% pour le traitement du minerai.

Les résidus ont donc une activité massique totale de :

Activité massique totale des résidus = $464 * (1 - 0,282 * 95\%) = 340 \text{ Bq/g}$

1 514 000 t de résidus ont été stockés, soit $1\ 514\ 000 * 10^6 * 340 = 5,15 * 10^{14} \text{ Bq}$.

Les résidus stockés ont une activité totale de 515 TBq.
--

2. BOUES ET SEDIMENTS STOCKES DE 2006 A 2010

Les sédiments sont caractérisés par leur activité massique en ^{238}U , et par les rapports d'équilibre avec les descendants mesurés : ^{226}Ra et ^{210}Pb . En effet contrairement aux résidus, on note un déséquilibre avec une activité massique en ^{238}U supérieure à celle du ^{226}Ra , elle-même différente de celle en ^{210}Pb .

Dans ce cas les règles suivantes sont appliquées au calcul :

- regroupement des radioéléments à vie courte à la suite d'un radioélément à vie longue (U, ^{226}Ra , ^{210}Pb)
- découpage des groupes en fonction des comportements radiologiques et géochimiques
- équilibre entre ^{238}U et ^{234}U (équilibre reconstitué en 5 mois)
- constance du rapport isotopique $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ et donc du ratio d'activité de 3,535% défini plus haut.

La formule de calcul de l'activité massique est donc :

$$A \text{ massique (Bq/Kg MS)} = [A^{238}\text{U} * 4 + A^{226}\text{Ra} * 7 + A^{210}\text{Pb} * 3] * (1 + 3,535\%)$$

$$A \text{ totale (Bq)} = A \text{ massique} * \text{tonnage de MS}$$

Origine	Tonnage de matière sèche T MS	Activité U Bq/Kg MS	Activité Ra Bq/Kg MS	Activité Pb Bq/Kg MS	Activité massique totale Bq/Kg MS	Activité totale Bq
Lac de St Pardoux	5352	3750	470	750	$21,27 * 10^3$	$1,10 * 10^{11}$
Etang de la Cruzille	24508	5700	950	1425	$34,92 * 10^3$	$8,27 * 10^{11}$
Etang de Bellezane	2291	4850	600	970	$27,45 * 10^3$	$6,07 * 10^{10}$
Etang de Pontabrier	7670	11000	1400	2200	$62,54 * 10^3$	$4,63 * 10^{11}$
Retenue Etrangleloup	36	4000	4000	4000	$57,98 * 10^3$	$2,02 * 10^9$
Boues de station	27	42000	17700	8900	$329,87 * 10^3$	$8,64 * 10^9$
TOTAL						$1,47 * 10^{12}$

Les sédiments et boues stockés ont une activité totale de 1,47 TBq, soit 0,3% de l'activité totale due aux résidus.

3. PROJET DE STOCKAGE DE SEDIMENTS

L'estimation de l'activité massique du futur stockage est faite en prenant comme hypothèse de composition la moyenne de la composition des sédiments stockés entre 2006 et 2010. En effet les sédiments à stocker seront de même nature.

En tenant compte du tonnage, la teneur moyenne des sédiments considérée est alors la suivante :

- 1 460 Bq/Kg de MS en ^{210}Pb
- 955 Bq/Kg de MS en ^{226}Ra
- 6 410 Bq/Kg de MS en ^{238}U

Le calcul est réalisé selon la même méthode que précédemment, avec comme formule :

$$A \text{ massique (Bq/Kg MS)} = [A^{238}\text{U} * 4 + A^{226}\text{Ra} * 7 + A^{210}\text{Pb} * 3] * (1 + 3,536\%)$$

$$A \text{ totale (Bq)} = A \text{ massique} * \text{tonnage de MS}$$

Le volume maximal du stockage est de 200 000m³. On considère de façon probable que la densité des sédiments est de 1,2, soit un tonnage de matière brute total de **240 000 t**.

La siccité moyenne attendue est de 30%, ce qui équivaut à un tonnage de matière sèche total de **72 000 t MS**.

Origine	Tonnage de matière sèche T MS	Activité U Bq/Kg MS	Activité Ra Bq/Kg MS	Activité Pb Bq/Kg MS	Activité massique totale Bq/Kg MS	Activité totale Bq
Stockage de sédiments	72 000	6 410	955	1 460	38,02*10 ³	2,74*10¹²

L'activité totale moyenne attendue est de 2,7 TBq.

Si on considère l'activité maximale des sédiments reçus, à savoir ceux de Pontabrier, et une siccité légèrement supérieure, de 40%, le calcul donne un résultat de **6 TBq**.

On peut donc s'attendre à une activité massique comprise entre ces deux valeurs ce qui représente entre 0,5 et 1,2% de l'activité totale due aux résidus de traitement de minerai stockés sur le site.