

GT PNGMDR 16 Octobre 2020

Gestion des Matières Thorifères (partie Solvay)



Inventaire Matières Thorifères détenues par Solvay

Pendant près de 50 ans (1947-1994), Solvay a exploité sur le site de La Rochelle de la monazite, minéral de phosphates de terres rares contenant également 6 % de thorium.

Les évolutions de procédés, la demande croissante en terres rares, la réduction progressive du marché conventionnel thorium (manchon pour lampe à gaz, catalyseurs pour cracking hydrocarbures, électrodes) ont généré sur le site:

- un inventaire de matières thorifères, d'environ **6250t Th**, sous forme nitrates, hydroxydes, oxalates, oxydes
- conditionné majoritairement en fûts PE ou fûts INOX
- dans différents bâtiments réglementés ICPE (C120-121-122-123-124-125)
- **Etat du stock au 31-12-2017**

	Conditionnement	Bâtiment	nombre colis	poids tel	Poids Th	Volume conditionné
				(t)	(t)	(m3)
HBTh	fûts PE noir 220 litres	C124-125-126	60162	19132	1681,3	14559
	vrac	C120	vrac	2600	228,5	1733
Nitrate solution	Cubi PE 1m3	C122	117	201	50,4	117
Nitrate cristallisé	Fût métal dans fût PE noir 120	C121	928	170	68,8	122
Nitrate coulé	Fût PE 120l	C121	9528	2957	1195,2	1258
	Fût INOX 1m3, rempli 93%	C122-123	3073	7398	2990,4	3380
Oxyde de Th Métallurgique	fûts métal 25 l	C122	26	1,434	1,3	1,30
Oxalate de thorium humide	fûts PE noir 120 l	C122	422	77	31,3	51
Total			74256	32535	6247	21222

Depuis fin 2018, quelques ventes (Europe, US) de nitrate solution et d'oxydes (env. 2-3t/an)

Perspectives de Valorisation: Procédé Valor+

Objet: retraitement HBTh par voie hydrométallurgique

- Valorisation directe de terres rares (3000t), uranium (95t)
- Production de nitrate de thorium très pur (2000t Th)
- Minimisation de la production de déchets

2016-2018: études complémentaires à celles de 2013 permettant de valider le bilan matières et portant sur les paramètres dimensionnant des étapes de filtration/lavage et de réduction de volume des déchets.

2019 : optimisation du procédé et revue du montant de l'investissement résultant des études complémentaires.

La décision sur les étapes suivantes du projet Valor+ (investissement de l'ordre de 75 M€) se fera en fonction des conclusions de travaux en cours ou à venir :

- Etude de variabilité des paramètres de procédé
- Conditions (techniques, économiques) de stockage des déchets FA-VL
- Conditions de valorisation de ce Th

En outre, la capacité d'entreposage des déchets FA-VL sur site devrait être limitée à un an d'exploitation afin d'optimiser l'investissement. Cela implique donc qu'un tel retraitement Valor+ ne pourra être envisagé par Solvay qu'à partir du moment où le centre de stockage FA-VL sera opérationnel.

Perspectives de Valorisation Thorium: Energie

A partir de 2016, Solvay a poursuivi des études sur la valorisation en collaboration avec la société de conseil Nuclear-21 qui a établi un tableau présentant les types d'utilisations anticipées du thorium sur les différents types de réacteurs.

Time Frame	Objective	LWR	PHWR	AHWR	SMR	FR	HTGR	MSR
<2035	• Flux flattening		✓					
	• REPU-recycling		✓					
	• Pu-management	✓						
2035-2050	• Flux flattening			✓				
	• REPU-recycling			✓				
	• Longer fuel core residence		✓	✓	✓			
	• Pu-Management	✓					✓	
	• ²³³ U breeding		✓	✓		✓		
	• Negative void coefficient					✓		
>2050	• Flux Flattening		✓	✓				
	• REPU-recycling		✓	✓				
	• Pu-management	✓	✓	✓			✓	
	• Longer fuel core residence	✓	✓	✓	✓			
	• Negative void coefficient					✓		
	• ²³³ U/Th cycle (incl. recycling)			✓				✓

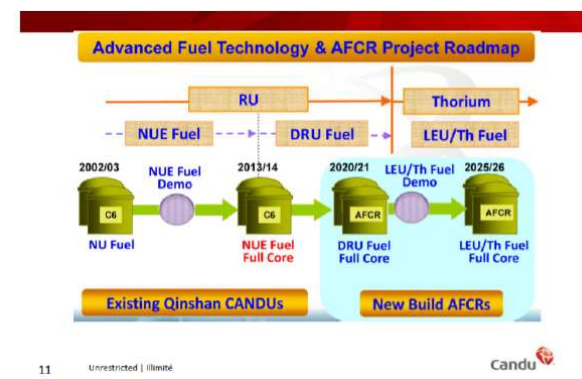
Aujourd'hui, les publications témoignent du progrès d'un certain nombre de ces développements. Cela concerne:

- **Réacteurs conventionnels:** Th/Pu en vue de **multi-recyclage du Pu dans la filière PWR**, Th/U en vue de **recyclage de l'URT dans la filière PHWR**
- **Réacteurs Gen IV:** -> **Molten Salt Reactor:** par exemple Th/²³⁵U (+Pu) chlorure ou fluorure en cycle ouvert, Th/²³³U en cycle fermé MSR – Spectre thermique ou rapide

Perspectives de Valorisation Thorium: Energie

Utilisation Th dans PHWR :

- **Chine (Qinshan) : poursuite du programme avec SNC Lavalin/Candu**
 - 07/2018 signature accord licensing fabrication NUE en Chine
 - 12/2019 contrat SNC Lavalin/CNNP pour implantation 2 AFCR
- **Inde: poursuite du programme de construction AHWR (Advanced Heavy Water Reactor, utilisant Th/Pu, Th/LEU, Th/²³³U)**
- **Etats-Unis: lancement programme de qualification combustible US-DOE/CCTE:** en 2020, lancement programme de qualification fuel Th/U pour Candu (objectif burn-up multiplié par 7)
- Sur 2015-2019: Solvay a financé des travaux R&D (PhD au SCK/CEN) sur la synthèse d'oxyde de thorium fritté à très haute densité (>98%) – Nouvelle thèse initiée en 2020 pour la période 2020-2024



Perspectives de Valorisation Thorium: Energie

Réacteurs à sels fondus: les initiatives se multiplient

- **Europe:** Analyse sûreté du concept MFSR (projets SAMOFAR et SAMOSAFER 2015-2019)
- **France: Journées techniques Massy mars/nov 2018** (CEA/CNRS/Framatome/EDF/IRSN):
 - Etat des lieux de la technologie
 - Propositions de programme R&D

« Le parc actuel a besoin de 8 000 tonnes d'uranium naturel par an, un parc de réacteurs de type MSFR d'une puissance totale identique n'aurait besoin que de 50 tonnes par an de produits déjà stockés et disponibles en France. Il s'affranchirait ainsi à terme du cycle amont de l'uranium (mine, enrichissement) et permettrait la production d'énergie sur la base de ces matières qui seraient ainsi valorisées ».

Perspectives de Valorisation Thorium: Energie

Réacteurs à sels fondus (suite)

- **Chine: programme le plus avancé : TMSR**
 - Programme R&D SINAP (350 M€ sur 2013/2020)
 - Démarrage réacteurs expérimentaux sur le site de Wuwei (désert Gobi): TMSR-LF1 (2 MW, démarrage mars 2021), puis TMSR-SF1 (10 MW), puis TMSR-400 (200 MW) à horizon 2030
- **Autres projets actifs en 2018 (rapport AIEA – SMR book 09/2020)**

Programme	Compagnie	Pays	Puissance (MWe)	Spectre	Etat avancement
Integral Molten Salt Reactor 400 (IMSR)	Terrestrial Energy	Canada	195	thermique	Conceptual Design
Molten Chloride Salt Fast Reactor	Terrapower	USA		rapide	
ThorCon	Martingale	USA	250	thermique	Basic Design
Liquid Fluoride Thorium Reactor	Flibe Energy	USA	250	thermique	Conceptual Design
Stable Salt Reactor	Moltex Energy	GB	300	rapide	Conceptual Design
Molten Chloride Salt Fast Reactor	Elysium Industries	USA	50-1200	rapide	Conceptual Design
Seaborg Waste Burner	Seaborg Technologies	Danemark		thermique	
Copenhagen Atomics Waste Burner	Copenhagen Atomics	Danemark	8	thermique	Conceptual Design



- The candidate site is located in Wuwei (武威), Gansu Province, about 2000 Km from Shanghai, the annual precipitation is 128 mm and the annual average temperature is 8.3 °C.

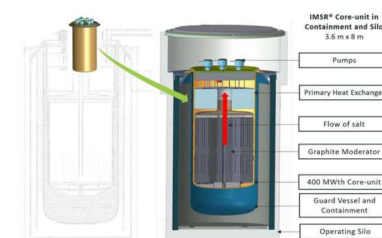
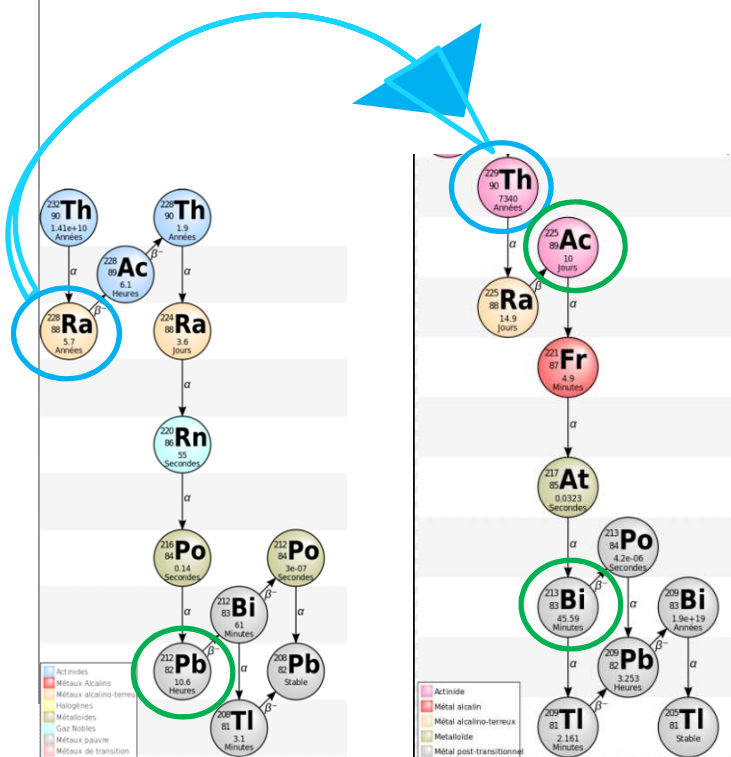


Figure 15 : Vue du projet Terrestrial Energy

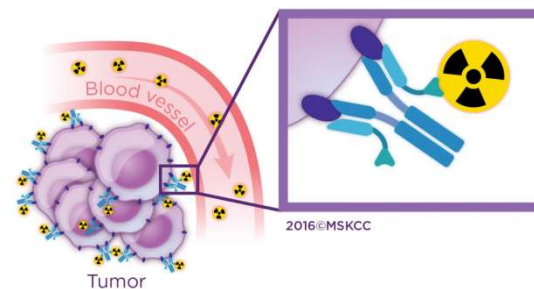
Perspectives de Valorisation Thorium: Médical



Développement de solutions RIT innovantes à partir de Th232

=> accès à ^{212}Pb

=> accès à $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$, via ^{229}Th obtenu par irradiation ^{228}Ra



Traitements - Conditionnements Envisageables des Matières Thorifères si elle devaient être requalifiées déchets

HBTh: volume final conditionné variant de 40000 m3 à 1900 m3 selon les scenarios

Scenario générique HBTh	Description	Volume conditionné
		(m3)
Sans retraitement (scen 1)	Fûts PE placé directement dans caisson 6 m3 Produit vrac dans caisson 6m3	40000
Sans retraitement (scen 2)	Fûts PE vidé dans caisson 6 m3 Produit vrac dans caisson 6m3	21500
Traitement thermique (calcination) + reconditionnement	Calcination en four à 900° HBTh calciné conditionné en caisson 6m3	10400
Retraitement selon procédé Valor +	Retraitement hydrométallurgique produisant 4623t de nitrate de thorium coulé , titrant 46% ThO2 en poids, conditionné en fût Inox	1900

Nitrate de thorium : volume conditionné voisin de 4700 m3 après reconditionnement des fûts PE

Type produit	Scenario générique	Volume matière thorifère conditionnée estimé	TOTAL
		(m3)	
Nitrate coulé en conteneur INOX 1m3	Aucun traitement, ni reconditionnement	3073	4661
Nitrate cristallisé en fûts PE 120litres	Surfûtage en fût 145l	1382	
Nitrate coulé en fûts PE 120litres	Surfûtage en fût 145l	135	
Nitrate solution en cubi 1m3	Reconcentration puis coulage en conteneur Inox 1m3	72	

Filière de Stockage des Matières Thorifères si elle devaient être requalifiées déchets

Filières de stockage

- relèvent de l'étude de stockage Andra prévue à l'article 18 de l'arrêté PNGMDR de 2017
- étude en cours: résultats attendus pour 2021

Gestion en entreposage

➤ par nécessité à moyen terme

- en attente de l'étude de stockage prévue à l'article 18-2
- en attente d'un projet de stockage FA-VL mieux défini

➤ par stratégie

- ventes effectives dans des secteurs hors nucléaire (optique de précision)
- en attente de valorisation effective à plus grande échelle
- projet de sécurisation de l'entreposage Solvay à l'étude: surfûtage des fûts PE de nitrate de thorium en conditionnement Inox pour un entreposage pérenne (au moins > 30 ans) – Projet présenté à DREAL et ASN Q3/2020

Synthèse Solvay

- 6500 tonnes de thorium, sous forme de nitrate de thorium et hydroxydes, entreposés sur le site de La Rochelle. Projet de reconditionnement (Inox) des fûts polyéthylène de nitrate de thorium à l'étude.
- Valorisation des hydroxydes par procédé de retraitement Valor+ - Faisabilité technique confirmée et optimisation du procédé à poursuivre; réalisation conditionnée au projet FA-VL pour assurer un exutoire aux déchets radifères produits par le retraitement.
- Valorisation nitrate de thorium: ventes dans le secteur non-nucléaire - Confirmation grandissante de l'intérêt porté au thorium dans le secteur énergie et médical.
- Si ces matières étaient à l'avenir déclassées comme déchets, des traitements-conditionnements sont envisageables mais ne pourront être précisés qu'après rendu des études de stockage en cours et/ou des conditions du stockage FA-VL.
- A moyen terme, Solvay vise à sécuriser la préservation des matières dans ses entreposages de La Rochelle, permettant de poursuivre les ventes actuelles dans les marchés non-nucléaires et de saisir les opportunités de développement dans les domaines énergie et/ou médical. Cette stratégie répond également à l'absence de filière de stockage à moyen, voire long terme.