

I – Introduction

La question de la gestion des déchets radioactifs se pose depuis les débuts de l'utilisation du nucléaire comme énergie. À ce jour, et depuis 1978, le processus le plus sûr pour le confinement des radionucléides de haute activité est la vitrification : ils sont incorporés à des verres, ce qui permet de limiter leur éjection dans l'environnement, et ainsi, l'impact sur les générations futures.

À travers le temps, et selon les pays, plusieurs procédés de vitrification ont été développés comme la vitrification en creuset froid, la fusion par induction à paroi chaude, ou encore la fusion par chauffage par joule.

La technologie de vitrification GéoMelt® pourrait-elle être utilisée en France ?

II – Etat des connaissances

Un verre est un solide qui ne présente pas d'ordre cristallin [1]. Dans le nucléaire, les verres utilisés sont des borosilicates. Ils sont composés majoritairement de silice (SiO_2) et de trioxyde de bore (B_2O_3) [2]. Les produits de fission sont intégrés dans le réseau vitreux lors de la fusion (Fig.1). Les compositions du verre varient selon le pays; en France on utilise le verre SON-68 (Tab.1) [3].

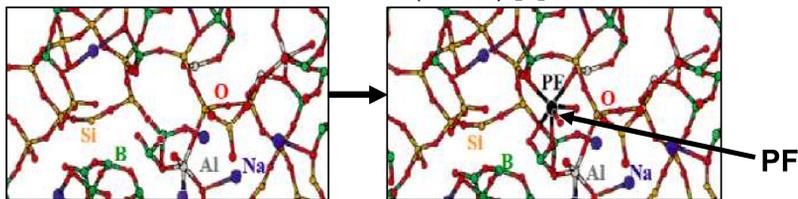


Fig.1 – Incorporation des produits de fission (PF) dans le réseau vitreux [4]

Tab. 1 – Composition moyenne des verres SON-68 produits à La Hague [3]

Oxydes	Composition moyenne (% massique)
SiO_2	45,6
B_2O_3	14,1
Al_2O_3	4,7
CaO	9,9
Oxydes (PF + Zr + actinides) + suspension de fines	17,0
Oxydes d'actinides	0,6
Autres	8,1

La technologie actuellement utilisée par la France est la vitrification en four à induction directe en creuset froid (Fig. 2).

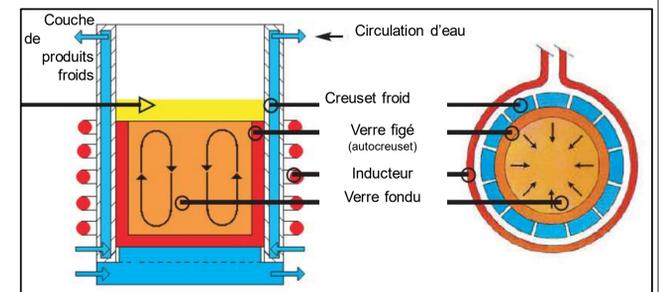


Fig. 2 – Schéma de principe d'un four de fusion de verre par induction en creuset froid [3]

III – Principe

GéoMelt® permet de vitrifier des déchets radioactifs ainsi que chimiques [5], elle fonctionne selon le principe de **chauffage par joule** (Fig.3).

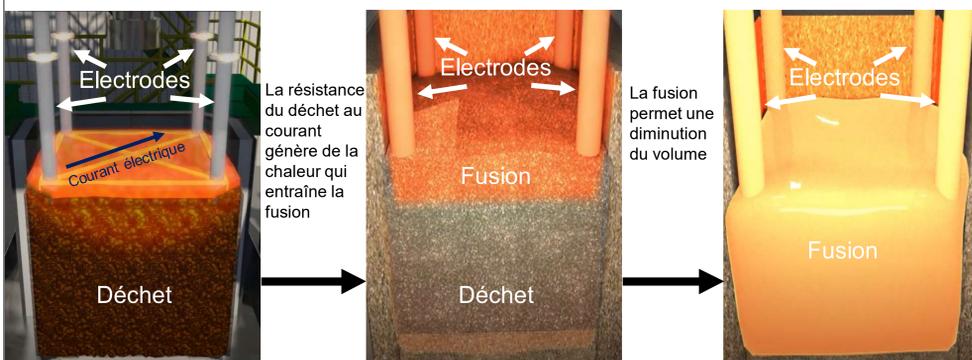


Fig.3 – Fonctionnement de la fusion par chauffage par joule GéoMelt [5,6]

Le refroidissement du déchet en fusion est ensuite contrôlé afin de former un verre. Du sable peut être ajouté afin de fournir les éléments nécessaires à la vitrification (SiO_2).

GéoMelt® est **modulable** : il est possible d'ajouter de la matière au cours de la fusion ; et elle peut s'utiliser *in situ* (Fig.4) ou en conteneur (Fig.5).

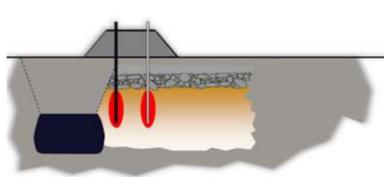


Fig.4 – Vitrification GéoMelt® in situ (ISV) [5]

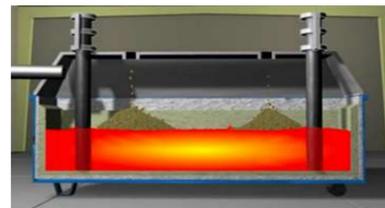


Fig.5 – Vitrification GéoMelt® en conteneur (ICV) [5]

IV – Résultats

Le **procédé de vitrification en creuset froid** permet de faire chauffer le matériau à plus de 1200°C – ce qui est supérieur à ce qui se faisait antérieurement; et d'allonger la durée de vie du creuset (limitation de la corrosion grâce au verre figé) par rapport à la vitrification en creuset chaud [7].

La **technologie GéoMelt®** est totalement modulable et apporte, elle aussi des avantages – et des contraintes – selon le type de vitrification (Tab.2).

Tab.2 – Avantages et inconvénients des deux types de vitrification GéoMelt® [5]

Vitrification <i>in situ</i>	Vitrification en conteneur
✓ Peu cher	✓ Conteneur de vitrification = conteneur de transport (réduction de la manipulation des déchets et des coûts de maintenance)
✓ Pas de limite de taille	✓ Augmentation de la capacité de charge
✓ Très peu de risque radiologique pour le personnel	✗ Coût de mise en place élevé pour répondre aux normes de sûreté
✗ Temps de préparation (creusage de la caverne)	✗ Coût du transport du matériel/personnel sur site

Les avantages majeurs sont (d'après Véolia [5]):

Formulation du verre et choix des températures de fusion en fonction des déchets à traiter

Réduction du pré-conditionnement des déchets

Réduction importante des volumes de déchets (facteur 8)

V – Conclusion

La **technologie GéoMelt®** possède de nombreux avantages, notamment car elle s'adapte à **tout type de chantier**. La **méthode *in situ*** pourrait être utilisée pour la **réhabilitation de sols contaminés** – comme les sols pollués par l'industrie du radium, pour lesquels il n'y a pas de méthode de remédiation actuellement. La **méthode en conteneur**, quant à elle, nécessiterait d'adapter la forme des conteneurs afin qu'ils puissent être stockés à Cigéo, ou de créer un nouveau concept de stockage ; ainsi adopter cette méthode semble **complexe au vu du contexte actuel** du stockage des déchets vitrifiés en France.

Bibliographie

- [1] PHALIPPOU, J., 2001. Verres Aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur Optique Photonique. URL <https://doi.org/10.51257/a-v1-af3600>
- [2] KILICOGLU, O., AKMAN, F., OGUL, H., AGAR, O., KARA, U., 2023. Nuclear radiation shielding performance of borosilicate glasses: Numerical simulations and theoretical analyses. Radiation Physics and Chemistry 204, 110676. URL <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110676>
- [3] CEA, Conditionnement des déchets nucléaires, n.d., URL <https://www.cea.fr/Documents/monographies/Conditionnement-d%C3%A9chets-nucl%C3%A9aires-verres.pdf> [consulté le 07/11/2022]
- [4] DEBURE, M., DE WINDT, L., FRUGIER, P., 2013. Étude de la dissolution de verres borosilicatés en présence de minéraux magnésiens modèles représentatifs des minéraux de l'argilite du Callovo-Oxfordien., URL <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00797458/document>
- [5] VEOLIA, Vitrification des déchets (technologies GeoMelt®) [WWW Document], n.d. . Veolia Nuclear Solutions. URL <https://www.nuclearsolutions.veolia.com/fr/our-expertise/technologies/vitrification-des-dechets-technologies-geomelt> [consulté le 14/10/2022].
- [6] CLARKE, S., SCALES, C., PATEL, N., ROE, J., BANFORD, A.W., 2020. Active demonstration of the thermal treatment of surrogate sludge and surrogate drums using the GeoMelt™ In Container Vitrification (ICV) melter installed in NNL Central Laboratory. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 818, 012004. URL <https://doi.org/10.1088/1757-899X/818/1/012004>
- [7] LADIRAT, C., n.d. Application du creuset froid à la vitrification des déchets nucléaires et hors du nucléaire. URL <http://www.ustverre.fr/site/ustv/Limoges2013/Ladirat.pdf>