



Plateforme de R&D Vitrification

Procédés de vitrification, matériaux et comportement – Génie des procédés

Résumé de présentation du domaine technologique

La technologie de la vitrification des déchets consiste à fabriquer un verre dans un four à haute température (1100° C - 1250° C) à partir de précurseurs de verre et du déchet sous forme liquide ou solide. Le déchet est intégré dans le verre afin d'assurer sa stabilité chimique sur le long terme. Cette technologie permet d'obtenir une large gamme de matériaux vitreux (verre, vitrocéramique, vitrocristallin) pour des domaines d'application industrielle très divers.

Par une approche intégrée, la plateforme de R&D de vitrification de Marcoule met œuvre des prototypes de vitrification de leur conception jusqu'à leur mise en exploitation et à leur soutien industriel, associée à des études de formulation matériaux (verre, vitrocéramique, céramique) et d'altération des verres en environnement.

Elle propose des solutions adaptées pour conditionner des déchets, recycler des matériaux, élaborer des verres de haute pureté. Cette plateforme de R&D offre des méthodologies, des outils de R&D (prototypes, maquettes, modèles) et une expertise historique reconnue internationalement dans le domaine de la vitrification des déchets radioactifs.

Domaines d'applications

Enjeux déchet toxiques, nucléaires

- ✓ Inertage, conditionnement : vitrification de déchets toxiques (REFIOM) et/ou radioactifs, fusion de fibre de verre, amiante
- ✓ Réduction de volume : déchets liquides, boues, adsorbants, matériaux minéraux de faible densité (cendre)

Enjeux recyclage de matériaux : Fabrication de matériaux réfractaires, poreux, extraction de métaux nobles (Pd, Te, Ru), d'éléments toxiques (plomb)

Enjeux innovation technologique : Nouveaux prototypes haute température (1600° C) permettant d'étendre les domaines de compositions des verres et des matériaux réfractaires

Enjeux nouveaux matériaux : Elaboration de verres et matériaux haute pureté, formulation de matériaux haute température (verre, composite, vitrocristallin, vitrocéramique)

Enjeux économique et sociétal REACH : Etude des interactions entre les matériaux vitreux et leur environnement

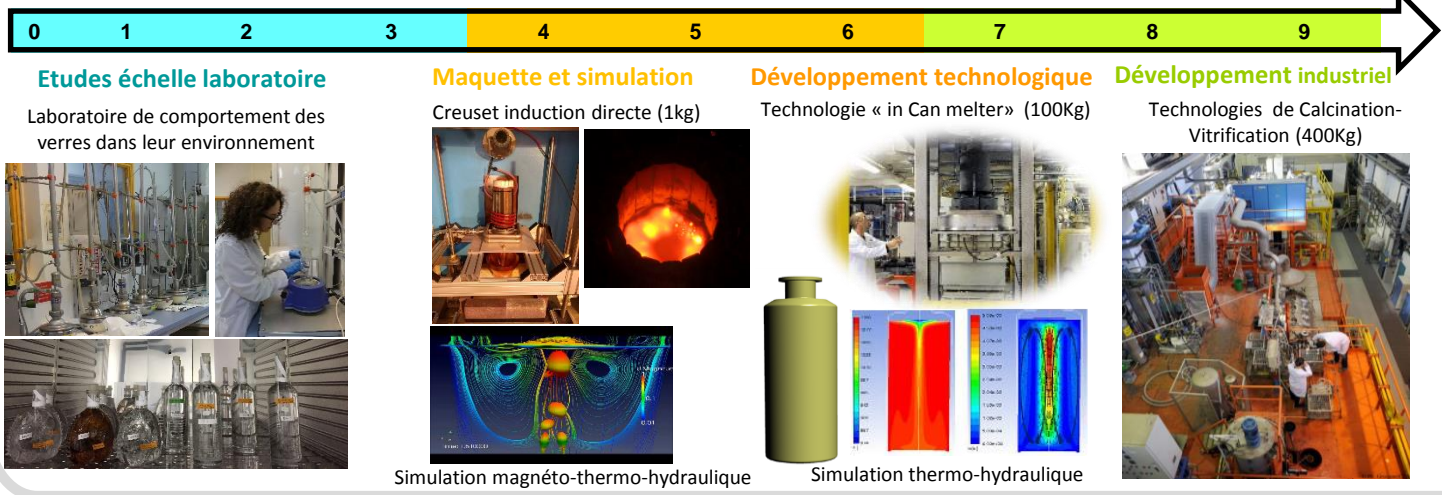
Bénéfices et avantages concurrentiels apportés par la technologie

- ✓ Cette **plateforme de vitrification** permet de trouver des solutions technologiques compactes adaptées aux besoins en réalisant de la R&D d'une échelle laboratoire jusqu'à une échelle industrielle (TRL 1 à TRL 9), soutenu par une expertise matériaux et procédés au sein d'une même unité
- ✓ Les prototypes de vitrification (inductif, résistif) compacts ont pour avantage de s'intégrer dans un environnement industriel contraint (milieu toxique, espace réduit)
- ✓ La gestion du cycle de vie des matériaux ou verres produits est assurée de la fabrication du verre jusqu'à l'exutoire en prenant en compte l'environnement et les normes de rejet liquide, gaz
- ✓ L'impact carbone est limité de par l'utilisation des technologies de fours électriques
- ✓ Toute la R&D est réalisée dans un référentiel qualité et sécurité (ISO9001, OSHAS)
- ✓ Le cadre contractuel R&D est défini dans des contrats de collaboration ou de prestation

Présentation détaillée de la technologie

Apport d'une solution globale intégrée associant de la R&D en génie des procédés, matériaux et développement technologique d'un TRL 0 à 9 pour le déploiement d'action de vitrification à haute température

- ✓ **TRL 9** - Technologies de Calcination/Vitrification (600 à 1000 kg/j). Prototypes échelle 1 permettant d'élaborer des verres dans un four par induction indirecte (1100° C) ou par chauffage par induction directe (1200° C - 1600° C)
- ✓ **TRL 7** - Technologie « in Can » (prototype échelle 1, 100kg/j) permet de vitrifier des déchets liquides à 1100° C
- ✓ **TRL 4 à 7** - Technologie « in Can » DEM&MELT (prototype échelle 1, 300 kg/j) permet de vitrifier des déchets liquides et solides en Can grande capacité à 1100° C
- ✓ **TRL 3** - Maquettes de vitrification, calcination, traitement des gaz (échelles intermédiaires 1/10, 1/50) associées au développement de modèles numériques multi-physiques
- ✓ **TRL 1 à 2** - **Laboratoires de formulation** des matériaux vitreux et **laboratoires d'étude de l'altération** des matériaux dans leur environnement



Propriété intellectuelle et niveau de maturité TRL de la technologie

Technologie et procédés de calcination (TRL 9)	WO201 1101358 A1 - Procédé de traitement avant calcination d'une solution aqueuse nitrique
Technologie et procédés de vitrification « in Can » (TRL 4 à 7)	WO2010012726 - Procédé de confinement de déchets par vitrification en pots métalliques
Technologie creuset induction directe (TRL 7)	WO2017093165A1 - Four a creuset froid à chauffage par deux inducteurs électromagnétiques possédant un dispositif formant un concentrateur à flux magnétique, utilisation du four pour la fusion d'un mélange de métal(ux) et d oxyde(s) représentatif d'un corium
Développement de matériaux vitreux (TRL 2)	WO2010076288 - Verre alumino-borosilicate pour le confinement d'effluents liquides radioactifs, et procédé de traitement d'effluents liquides radioactifs
Publication comportement, altération, recyclage (TRL 1)	F. Angeli et al "Structure and Chemical Durability of Lead Crystal Glass" Environ. Sci. Technol., 2016, 50 (21), pp 11549–11558 October 2016 F. Angeli et al "Effect of thermally induced structural disorder on the chemical durability of International Simple Glass" npj Materials Degradation 2:31, October 2018

Offres de service et de partenariat

- ✓ Vente d'études de faisabilité et de démonstration sur **la plateforme de R&D vitrification** (étude, dimensionnement prototype, essais sur maquettes, essais sur prototype industriel)
- ✓ Vente d'expertise en simulation magnéto-thermo-hydraulique (aide au dimensionnement générateur, inducteur, four)
- ✓ Adaptation d'une technologie de vitrification ou d'une méthodologie (formulation, élaboration, comportement, analyse) à un déchet ou à un matériau particulier
- ✓ Développement et concession de licence d'exploitation
- ✓ Collaboration pour des développements de technologie de vitrification haute température innovante
- ✓ Soutien en phase d'industrialisation et en exploitation (dossier de qualification matériaux et procédé, livre de procédé)
- ✓ Formation, expertise dans le domaine du comportement à l'altération des verres dans leur environnement

Sophie Schuller – CEA – Expert technologique / sophie.schuller@cea.fr Tél. : 04 66 39 79 64

Contacts : Vincent BLET – Chargé de valorisation industrielle – CEA DEN Marcoule / vincent.blet@cea.fr Tél. : 04 66 79 17 97

Jean-Pierre TERRAZ - Chargé de valorisation industrielle CEA Cadarache DEN jean-pierre.terraz@cea.fr Tél. : 04.42.25.72.77

Offres technologiques

Plateforme de R&D dédiée à la vitrification à haute température

Offre intégrée de la conception du prototype de vitrification jusqu'à sa mise en exploitation et à son soutien industriel, associée à des études de formulation matériaux (verre, vitrocéramique, céramique) et à l'étude de leur altération en environnement.

Expertises

Le laboratoire de Développement des Procédés de Vitrification a un savoir faire historique concernant :

- ✓ La conception de prototype de vitrification
- ✓ La modélisation multi-physique (induction, thermique, hydraulique)
- ✓ La qualification de procédé
- ✓ Le soutien exploitation aux usines associé à une expertise reconnue internationalement dans le domaine des verres
- ✓ La formulation de matrice de conditionnement
- ✓ L'étude du comportement des matrices dans leur environnement (altération, comportement sous irradiation)

Equipements et plateformes technologiques

Les technologies et les équipements disponibles dans le laboratoire de Développement des Procédés de Vitrification :

- ✓ Four de vitrification chauffé par induction directe
- ✓ Four de vitrification chauffé par induction indirecte
- ✓ Four de vitrification chauffé par résistances, four à moufle
- ✓ Four « In Can » chauffé par résistance

Elaboration de verres à des échelles laboratoire (10 à 1000 g), intermédiaire (100 kg/jour), industrielle (1000 kg de verre/jour)

Des organes associés au procédé de vitrification

- ✓ Système d'alimentation en déchets liquide et solide
- ✓ Calcinateur, atomiseur
- ✓ Organes de traitement des gaz par voie liquide (dépoussiéreur, condenseur, colonne de lavage)

Des laboratoires de formulation/caractérisation et étude d'altération en environnement des verres au sein de la même unité

Notre point fort

Un savoir-faire historique et une expertise internationale reconnus dans le domaine de la vitrification pour répondre à des besoins multiples adaptés à la demande :

- Développement de technologies de vitrification dimensionnées en adéquation avec le type de déchets et de matériaux
- Élaboration de verres ou fusion de matériaux à très haute température
- Elaboration des verres de grandes puretés
- Recyclage de matières valorisables

Chiffres clés

Les moyens humains du Laboratoire de Développement des Procédés de Vitrification :

- 13 ingénieurs/chercheurs
- 7 techniciens
- 2 doctorants, 1 post-doctorant

Compétences : génie des procédés, génie chimique, physique, chimie, mécanique, électrotechnique, thermique, induction, simulation, verre

40 ans d'expérience en vitrification

Certification ISO 9001, Certification ISO 14001, OHSAS

Ils nous font confiance

- **Partenariat avec l'industrie française :** ECM, FERRO, Saint Gobain, Corning, Arc international, EDF, ORANO, ANDRA, Chomarat
- **Partenariat avec les laboratoires académiques français de la communauté verrière :** USTV, REVELOR, GDR TherMatHT, CNRS, UMR
- **Partenariat avec les laboratoires académiques étrangers de la communauté nucléaire :** Bucarest, Las Vegas, Prague, WSU, Rutgers university, ...
- **Les organisations internationales liées au nucléaire :** AIEA, CNNC, JAEA, SCK, BNFL
- **Les laboratoires nationaux Américain :** PNNL, INL, SRNL
- **L'agence nationale pour la recherche :** ANR, PIA
- **L'europe :** projet H2020