

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

LCV

Joint Vitrification Lab

cea AREVA

www.cea.fr

UNION
POUR LA SCIENCE
ET LA TECHNOLOGIE
VERRIÈRES

LE VERRE

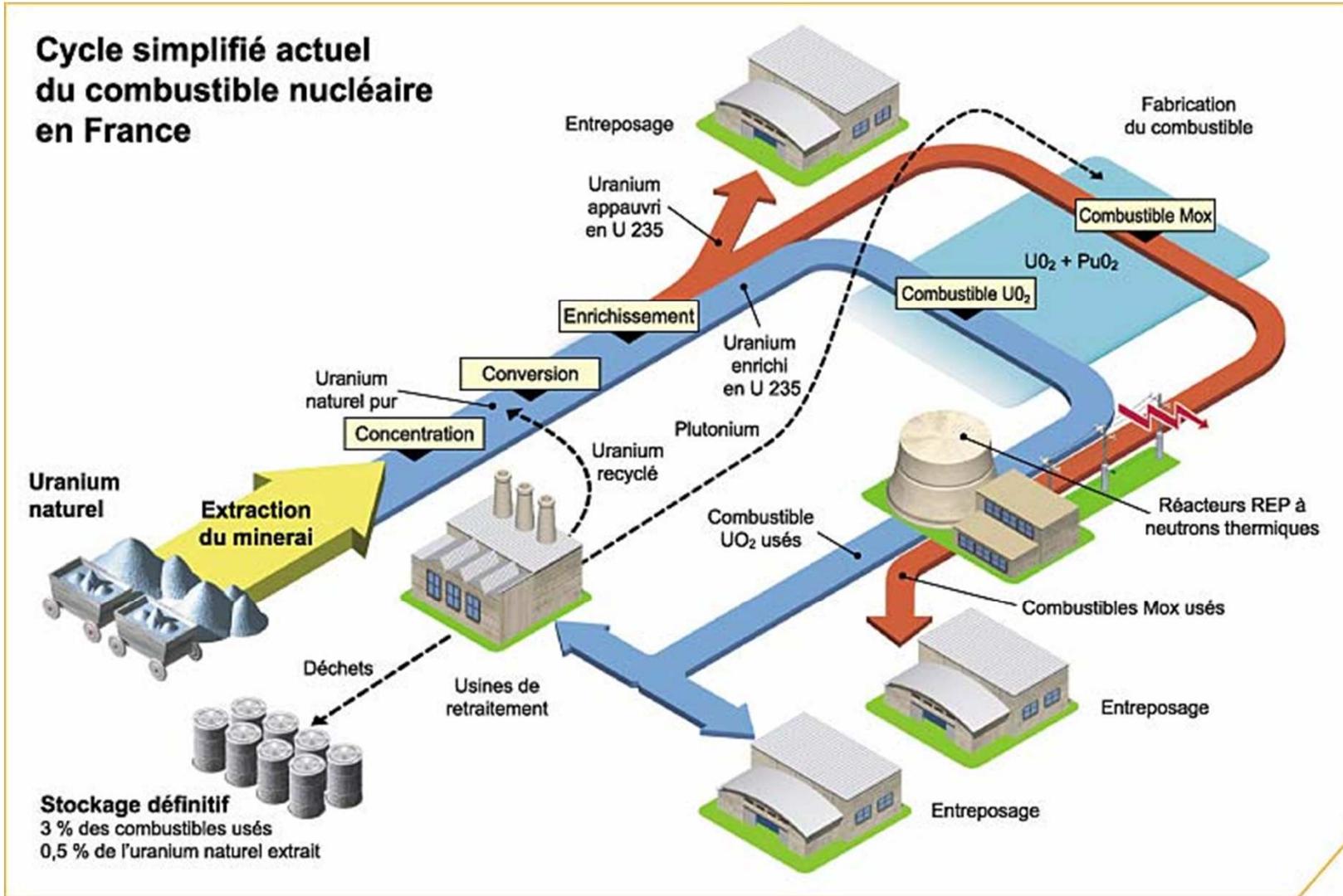
14 et 15 novembre 2013
Centre Européen de la Céramique, Limoges

JOURNÉES PLÉNIÈRES USTV - GDR VERRES 3338

Applications du creuset froid à la vitrification des déchets nucléaires et hors du nucléaire

Christian LADIRAT
CEA Marcoule

- **Les déchets de haute activité**
- **Le procédé de vitrification dans le domaine du nucléaire**
- **Les principes du creuset froid**
- **La diffusion technologique hors du nucléaire**
 - **Domaines potentiels**
 - **Les principes d'adaptation**



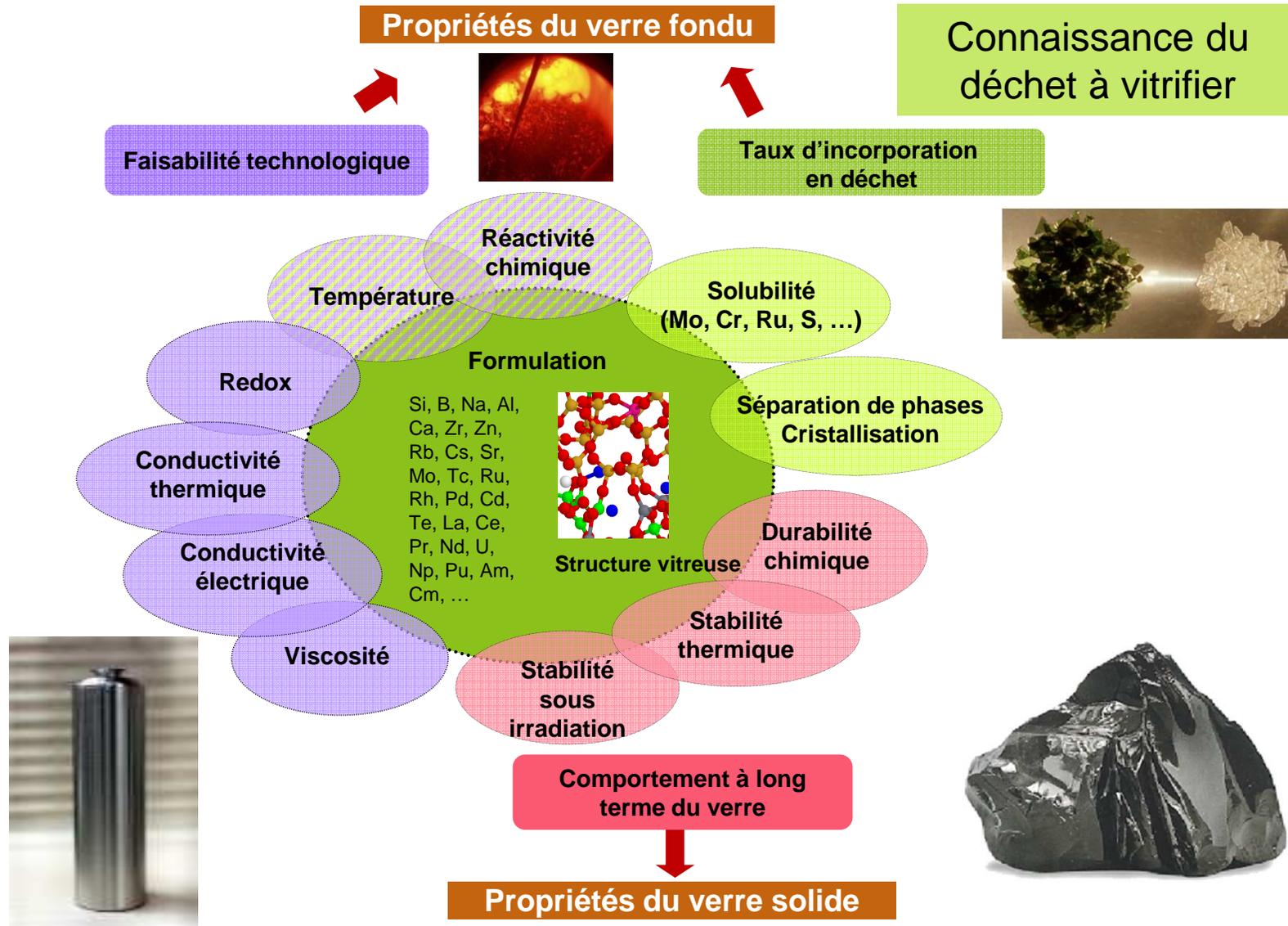
Caractéristiques de la solution de haute activité

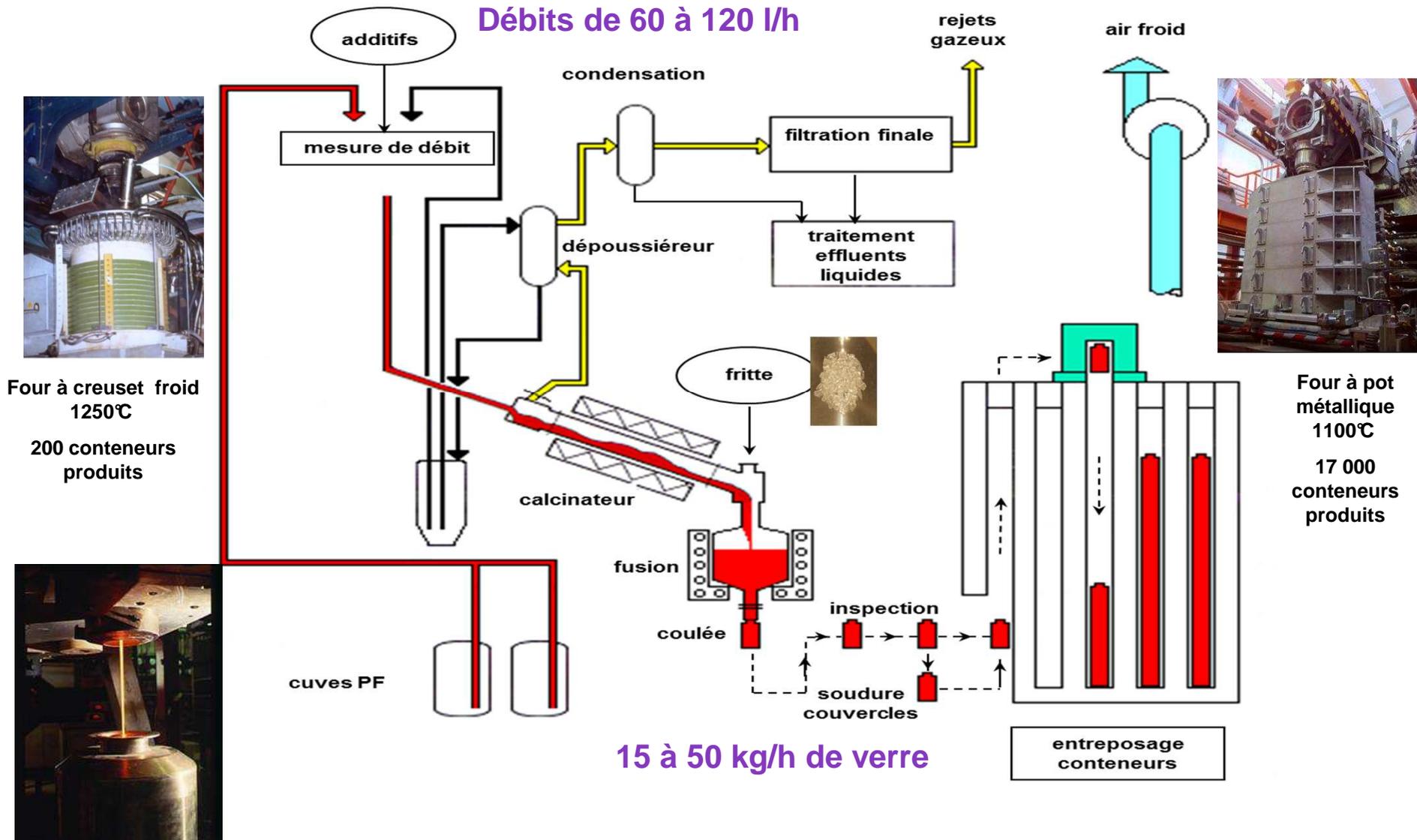
(provenant du retraitement d'1 tonne de combustible irradié à 45 GW/t et refroidi pendant 5 ans)

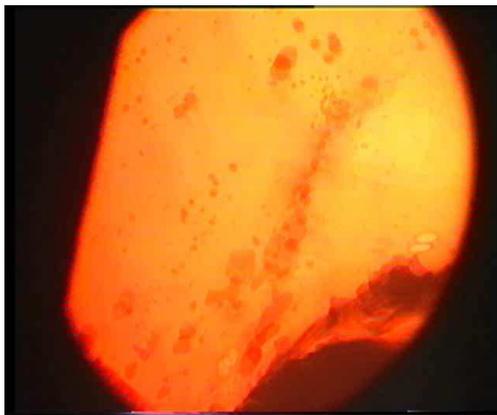
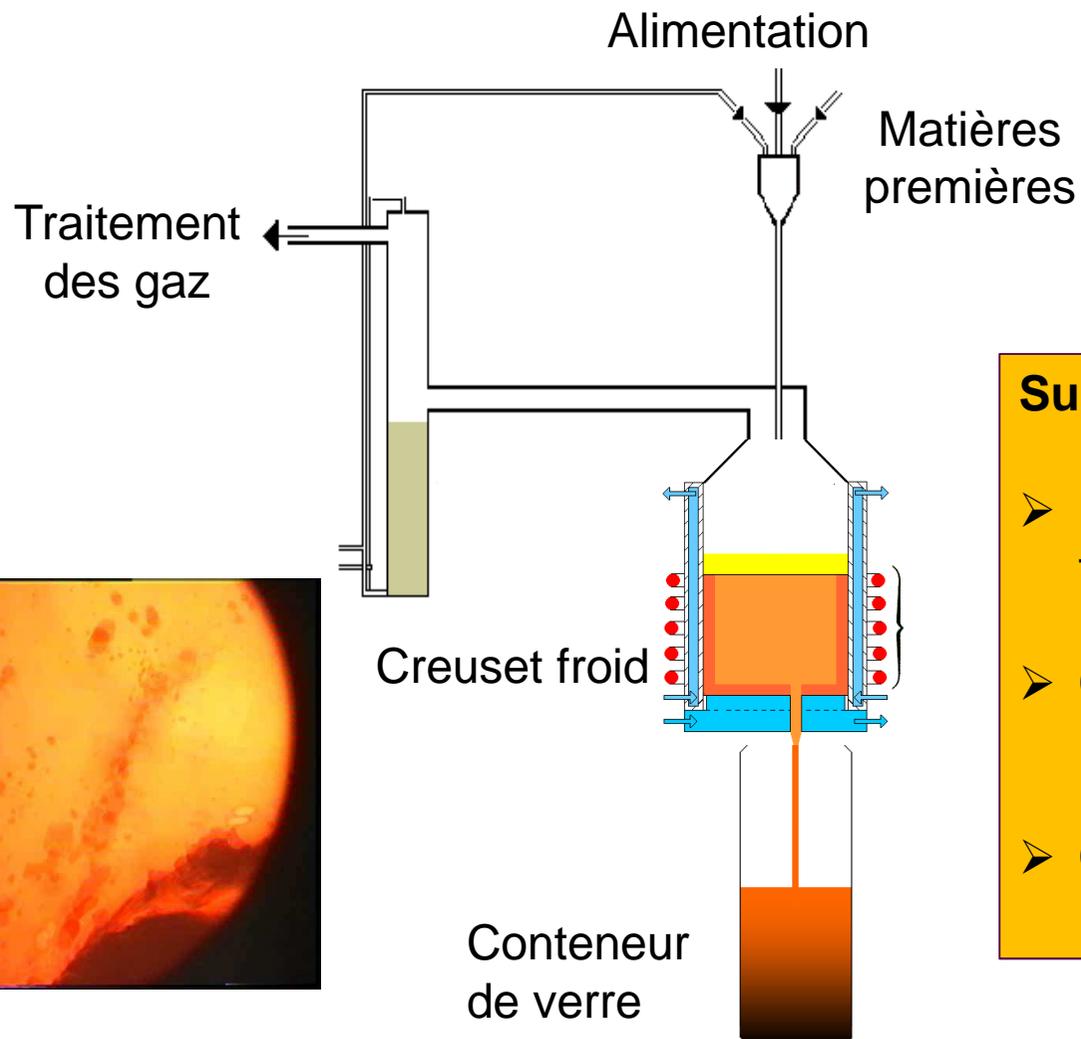
Produits de fission	Alcalins/alcalino-terreux	7,2 kg	38 kg
	Lanthanides	13,2 kg	
	Platinoïdes	5,7 kg	
	Métaux de transition	11,2 kg	
	Autres éléments	0,8 kg	
Actinides	Actinides mineurs (Np,Am, Cm)	1,4 kg	1,7 kg
	Pertes U et Pu	0,3 kg	

activité $\alpha = 3.10^{14}$ Bq (8 000 Ci) ;

activité $\beta,\gamma = 2.10^{16}$ Bq (500 000 Ci) Puissance thermique : 2 300 W

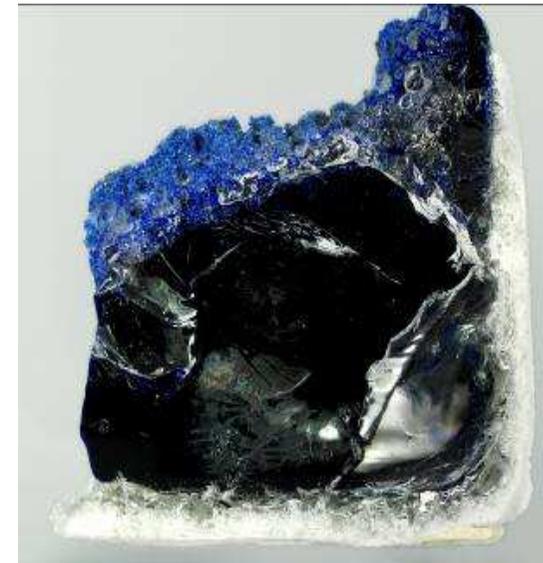
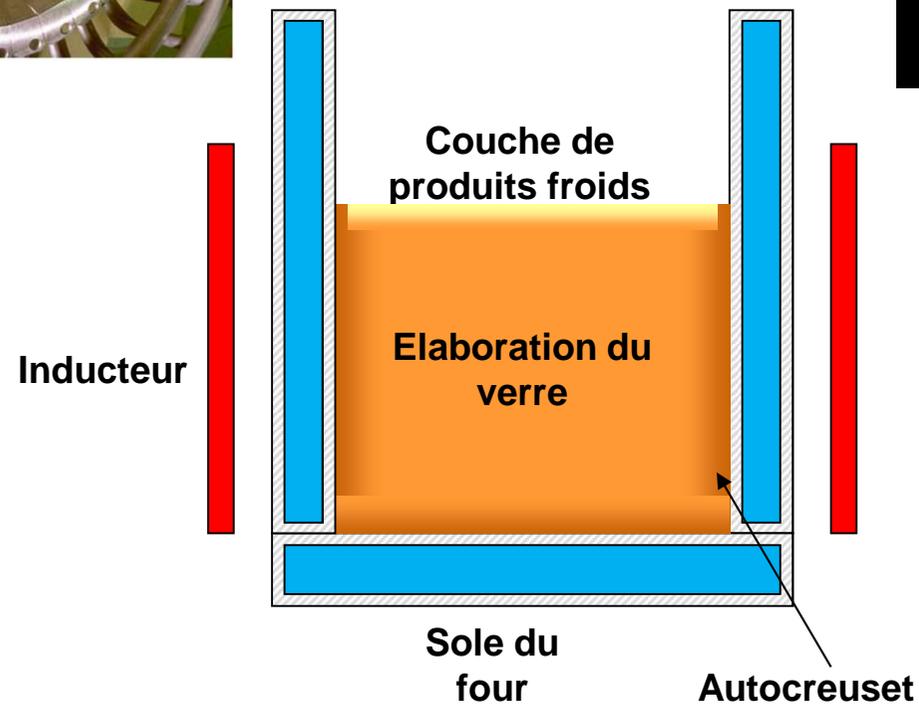
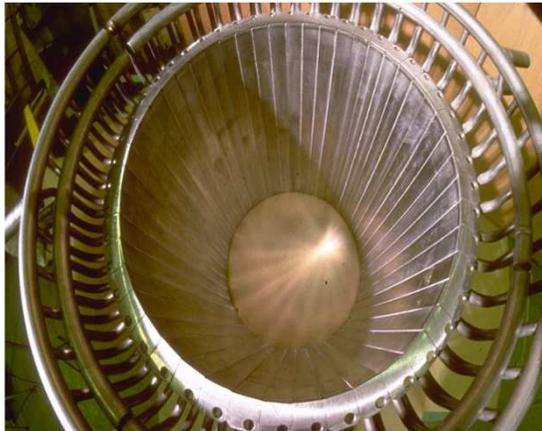


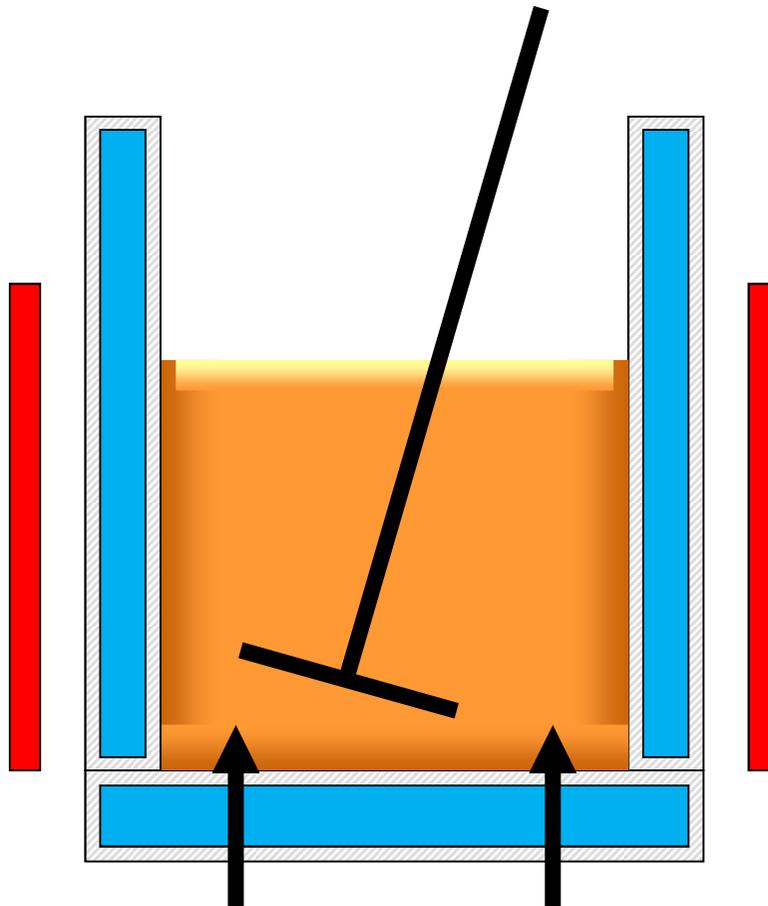




Suppression du calcinateur

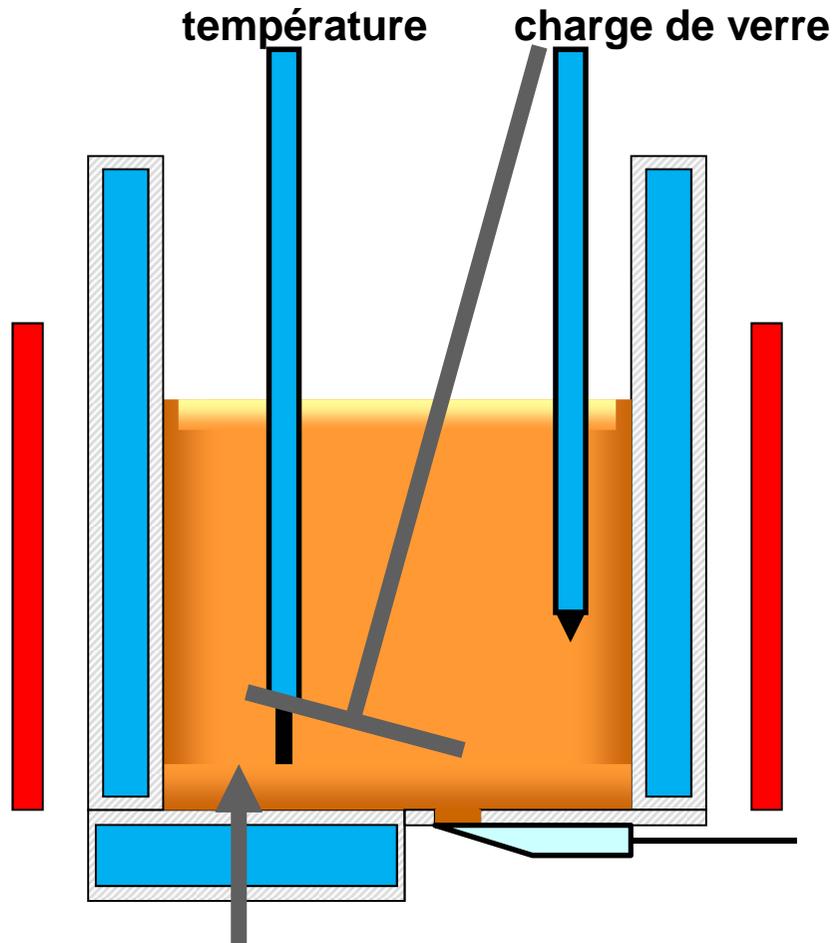
- Evaporation assurée par le four de fusion
- Capacité de traitement 50 à 150 l/h/m²
- Capacité de fusion (solide) jusqu'à 250 kg/h/m²





Agitateur mécanique refroidi

Injecteurs d'air de brassage refroidis



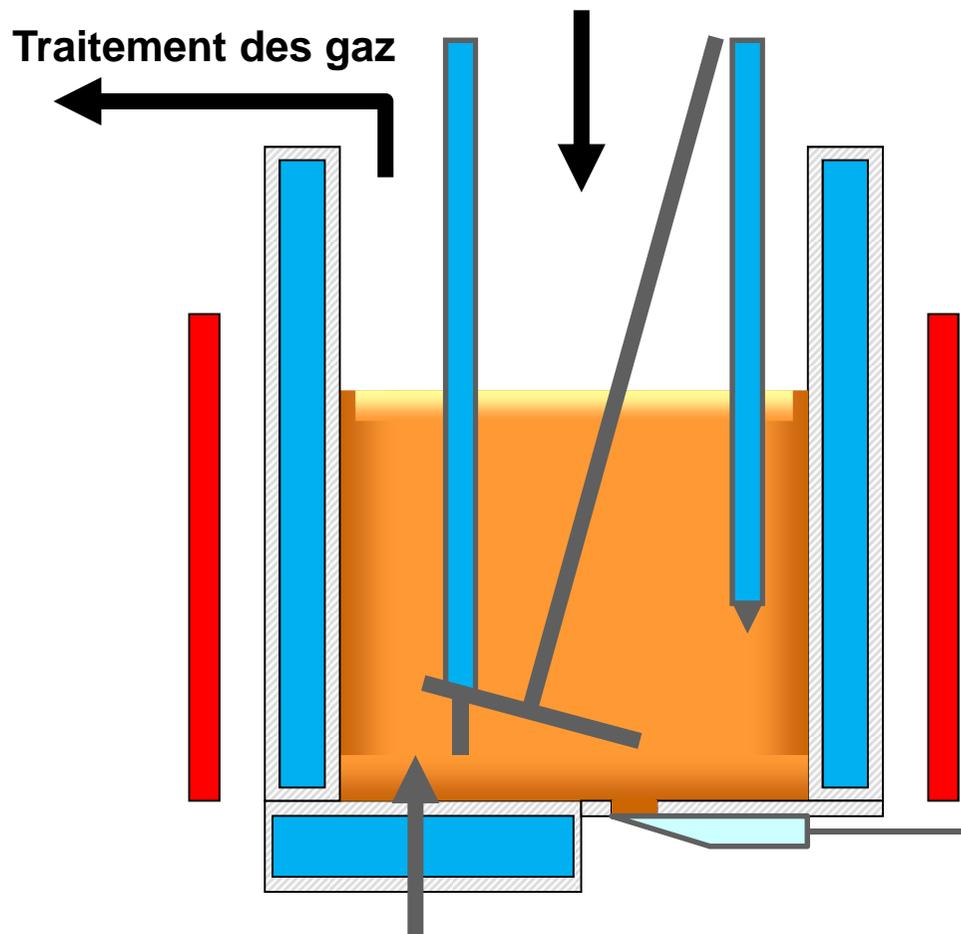
Cannes de contrôle refroidies

- Température
- Charge de verre par la mesure de pression dans les injecteurs
- Canne de recalage du bilan massique et mesure partielle de la charge de verre

Vanne de coulée refroidie avec positionnement réglable en continu

Alimentation dosée et continue du calcinat et de la fritte de verre.

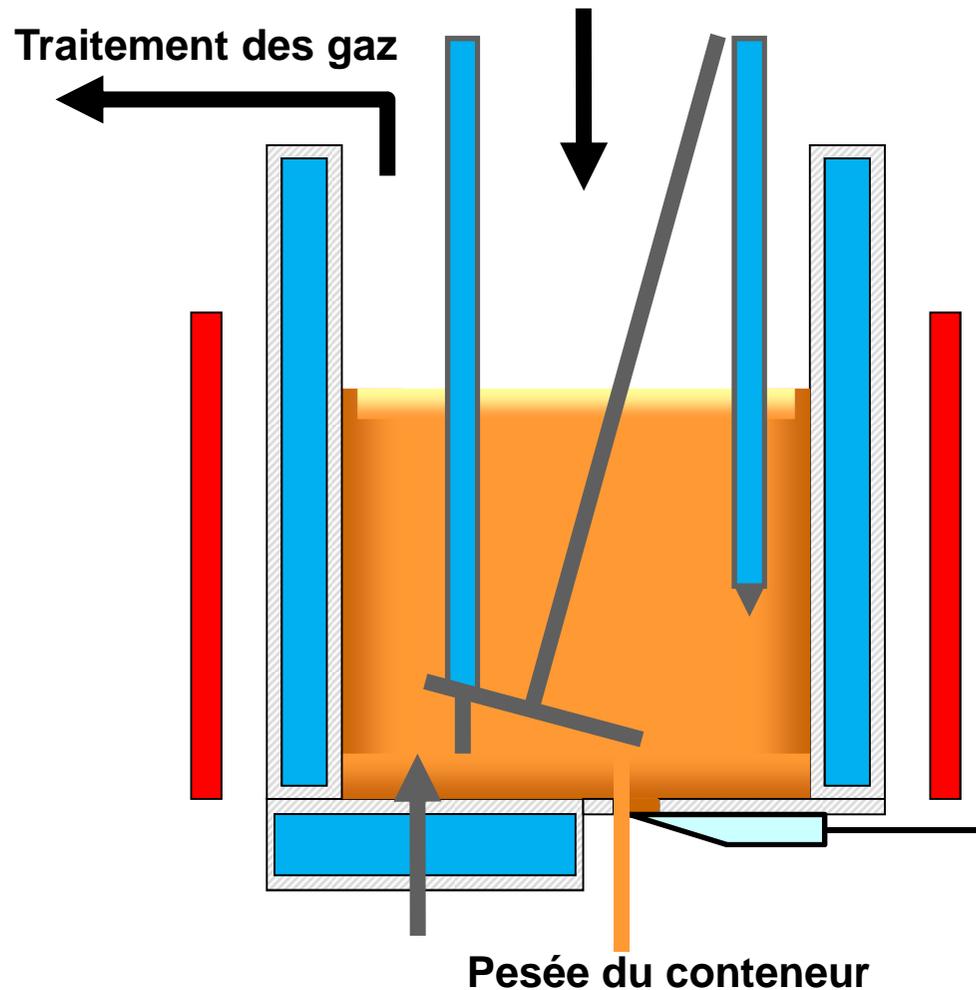
La densité apparente est plus faible
que celle du verre fondu



**Le bain de verre est
constamment homogène
en température et
composition chimique**

**Le verre est élaboré
sous la couche de
produits froids par
rayonnement du bain de
verre**

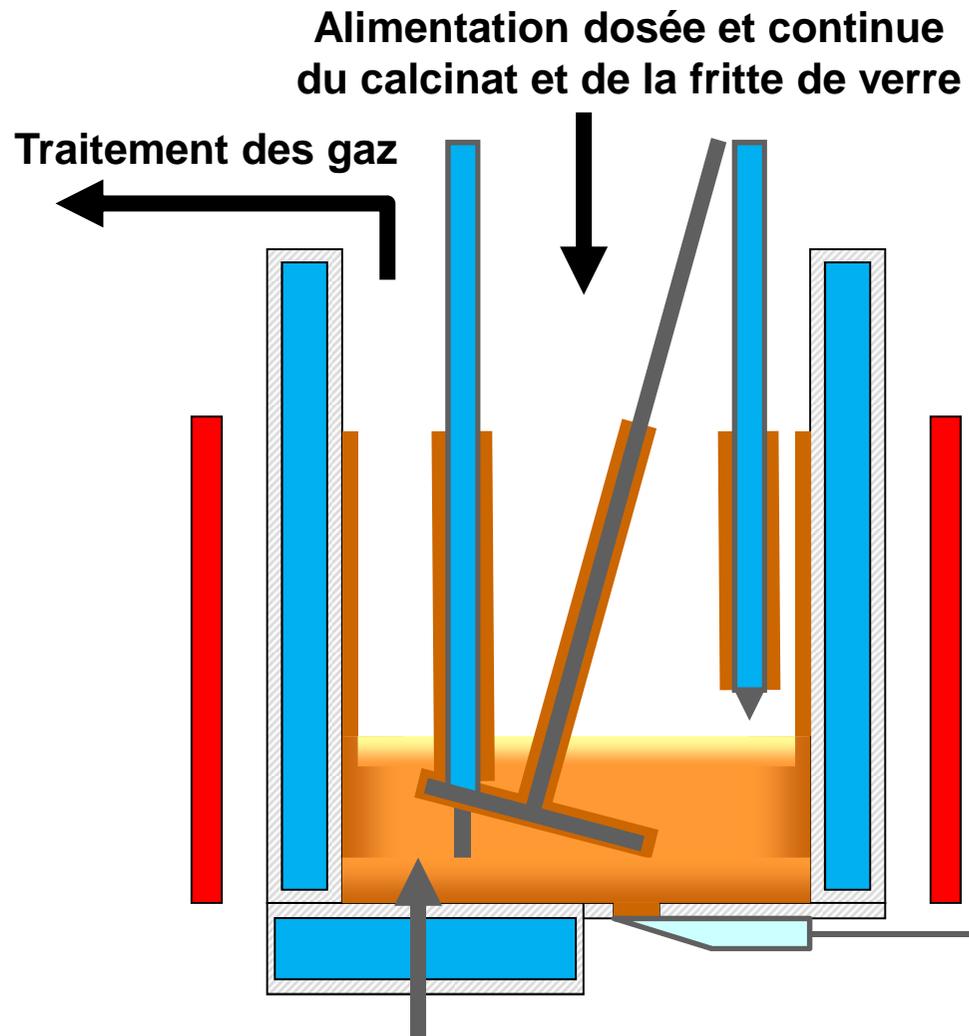
**Alimentation dosée et continue
du calcinat et de la fritte de verre.**



**Le bain de verre est
constamment homogène
en température et
composition chimique**

**Accostage étanche sur le
conteneur par un canal
refroidi**

**Réglage de la position de
la vanne en fonction du
débit de coulée mesuré
par pesée du conteneur**



**Chauffage par induction
dans le pied de bain de
verre fondu**

**Une couche de verre figé
se maintient sur toutes
les parties froides**

Avantages et limites du creuset froid

- **Pas d'usure du creuset par le matériau fondu**
 - Possibilité d'élaborer des matériaux très corrosifs
 - Pas de pollution par le creuset du matériau élaboré
 - Peu de déchets secondaires
 - Nettoyage très facile des parois
- **Pas de limitation a priori en température d'élaboration**
 - Possibilité d'élaborer des matériaux à haute température
 - Limitation due au conteneur
- **Puissance élevée transmise directement à la matrice**
 - Capacité de fusion importante

Avantages et limites du creuset froid

- **Élargissement du domaine de composition des déchets vitrifiables** vers des déchets plus corrosifs à l'état fondu, contenant par exemple du molybdène, des phosphates et des sulfates
- **Évolution vers des matériaux à haute température de fusion**
(verres, vitrocristallins, céramiques, ...)
 - amélioration possible des performances de confinement
 - élargissement des formulations
 - Application aux déchets anciens et d'assainissement des sites
- **Augmentation de la capacité de vitrification**
 - Augmentation de la température jusqu'à 1300°C
 - Mise en place d'un agitateur mécanique associé à des injecteurs de gaz

Avantages et **limites** du creuset froid

- Difficultés pour élaborer des matériaux très résistifs
- Nécessité d'un système de préchauffage du verre pour démarrer
- Consommation énergétique élevée
- Besoin d'une quantité minimale de produit dans le four pour maintenir l'induction
- Difficultés pour réaliser des fours de petites dimensions en raison des fréquences du courant inducteur très élevées
- Impact des hautes températures sur le procédé (volatilité, ...)

- **Essais paramètres nominaux**
- **Essais sensibilité conditions d'exploitation**
- **Essais sensibilité matériau**
- **Essais modes transitoires**
- **Essai longue durée (400 à 500 heures)**
- **Essais modes dégradés et modes dégradés de sûreté**

Documents techniques produits pour un type de déchets à vitrifier

- ✓ Documents issus de la R et D
 - Dossier de formulation du verre
 - Dossier de connaissance sur le comportement du matériau
 - Livre de procédé
 - Note de fonctionnement et mode de conduite

- ✓ Documents produits par l'opérateur industriel
 - Établissement de la spécification pour produire le matériau
 - Engagement vis-à-vis du propriétaire du colis de déchets
 - Définition du plan contrôle qualité
 - Plages de fonctionnement opérationnelles

- **Domaine des déchets industriels**
 - Vitrification de l'amiante
 - Fusion à haute température
 - Destruction de la toxicité lors de la fusion
 - Produits souillés à prendre en compte
 - Pas de décret d'application de la loi de 1992 sur les déchets
 - Mise en décharge de classe 1
 - Fusion des mâchefers et des cendres d'incinérateur déchets industriels spéciaux
 - Faisabilité est démontrée
 - Procédé est à compléter pour lutter contre la volatilité des métaux chlorés
 - Capacité de traitement unitaire est à augmenter fortement
 - Traitement des résidus de bains de chromage et nickelage
 - Faisabilité démontrée

- **Domaine des matériaux vitreux de haute qualité**

- Fusion de produits secs, à faible granulométrie et mélangés

- Diamètre des fours de 600 à 1200 mm

- Capacité production de 50 à 300 kg/h

- Coulée continue

- Emaux
 - Emaux pour l'industrie chimique

 - Verres spéciaux à petite production
 - Verres spéciaux pour écrans plats
 - Verres spéciaux à haute valeur ajoutée

 - Cristal

- Temps d'affinage non respecté

Aspects technologiques

Domaine nucléaire	Domaine hors du nucléaire
Pas de corrosion du creuset	Pas de pollution par le creuset
Jusqu'à 1300°C	Possibilité d'aller au-delà
Maintenance à distance lourde	Intervention directe plus facile
<ul style="list-style-type: none"> • Conception monobloc • Nettoyage possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Interchangeabilité à rechercher • Faciliter les opérations courantes • Nettoyage très facile
Dispositifs d'agitation	Implantation en fonction des besoins
Instrumentation de conduite et de contrôle	Implantation en fonction des besoins
Fonctionnement par batch obligatoire	Fonctionnement en coulée continue préférable
<ul style="list-style-type: none"> • Déclenchement thermique de la coulée 	<ul style="list-style-type: none"> • Assistance à prévoir à la conception

Aspects matériaux et procédé

Domaine nucléaire	Domaine hors du nucléaire
Forte dépendance four - matériaux	Forte dépendance four - matériaux
Faible variété des compositions de verre	Grande variété de verres à élaborer
Adaptation de la composition à la technologie	Adaptation de la technologie aux matériaux
<ul style="list-style-type: none"> Ajustement des propriétés physiques des verres 	<ul style="list-style-type: none"> Ajustement des paramètres des électriques des fours HF
Domaine connu des propriétés physiques acceptables	Connaitre le domaine de fonctionnement possible des générateurs HF
<ul style="list-style-type: none"> Viscosité < 100 dPa.s $1 \Omega.cm < \text{Conductivité électrique} < 10 \Omega.cm$ Conductivité thermique < 20 W/m/K 	<ul style="list-style-type: none"> Prise en compte à la conception Ajustement des circuits d'induction HF Performances de production variables
Conduite automatique avec instrumentation implantée	Conduite automatique possible après apprentissage pour chaque verre
Démarrage par anneau métallique	A adapter à chaque verre (pollution potentielle à prendre en compte)

- La vitrification en creuset froid répond aux attentes très particulières du traitement des déchets nucléaires.
 - Être exploitable en zone nucléaire
 - Produire des colis de déchets vitrifiés répondant à des spécifications précises
 - Disposer de critères de conduite garantissant la qualité des colis produits
 - S'adapter aux lentes évolutions des combustibles retraités

- L'application hors nucléaire doit plutôt être orientée vers le domaine des matériaux à haute valeur ajoutée
 - La connaissance des caractéristiques des matériaux à produire est essentielle
 - Il existe une forte dépendance entre le matériau à produire et les caractéristiques du four à induction
 - Concevoir un équipement adapté aux méthodes d'exploitation envisagées et au nécessaire besoin de l'adapter aux matériaux à produire

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

LCV

Joint Vitrification Lab

cea AREVA

www.cea.fr

UNION
POUR LA SCIENCE
ET LA TECHNOLOGIE
VERRIÈRES

LE VERRE

14 et 15 novembre 2013
Centre Européen de la Céramique, Limoges

JOURNÉES PLÉNIÈRES USTV - GDR VERRES 3338

**Merci
de votre attention**