

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

**cea den**

---

# LE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS MAVL ENTREPOSÉS SUR LES SITES DU CEA

Présentation CEA/DEN/DADN pour le GT-PNGMDR du 8 juin  
2015

1. Les typologies de déchets MAVL à traiter/conditionner
2. Les objectifs du traitement/conditionnement :  
démarche générique et filières existantes au CEA
3. Les traitements & conditionnements mis en œuvre
  - ❑ Opérations réalisées
  - ❑ Opérations en cours
4. Les traitements & conditionnements en cours de développement (R&D)

# 1-LES GRANDES TYPOLOGIES DE DÉCHETS SOLIDES MAVL

	Marcoule	Cadarache
<p>DÉCHETS TECHNOLOGIQUES CONTAMINÉS ALPHA :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Activités de production de matières nucléaires</li> <li><input type="checkbox"/> Fabrication de combustibles</li> <li><input type="checkbox"/> R&amp;D</li> </ul>	X	X
<p>DÉCHETS DE STRUCTURE MÉTALLIQUE DE COMBUSTIBLES :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> gaines en magnésium</li> </ul>	X	X
<p>DÉCHETS DE PROCÉDÉS (pulvérulents) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> résines</li> <li><input type="checkbox"/> fines</li> <li><input type="checkbox"/> boues</li> </ul>	X	X

Partir de la Connaissance radiochimique et physico-chimique des déchets

### Procédés de conditionnement

- Recherche d'un taux de charge optimum en déchets dans le colis
- Recherche et mise au point d'un procédé « nucléarisable »
- Recherche d'un colis confinant le terme source radiologique

### Propriétés de confinement du colis (entreposage, stockage)

- Tenue mécanique et évolution dans le temps
- Tenue à l'auto-irradiation
- Terme source radiologique (durabilité chimique)
- Terme source Gaz ( $H_2$  de radiolyse, de corrosion, ...)

# 3-LES FILIÈRES OPÉRATIONNELLES DE TRAITEMENT/CONDITIONNEMENT DE DÉCHETS MAVL AU CEA

## 1. Conditionnement de Déchets solides technologiques et de R&D

- CIMENTATION , après pré-compactage éventuel des déchets bruts
- Procédé type mis en œuvre à l'INB-37 de CADARACHE

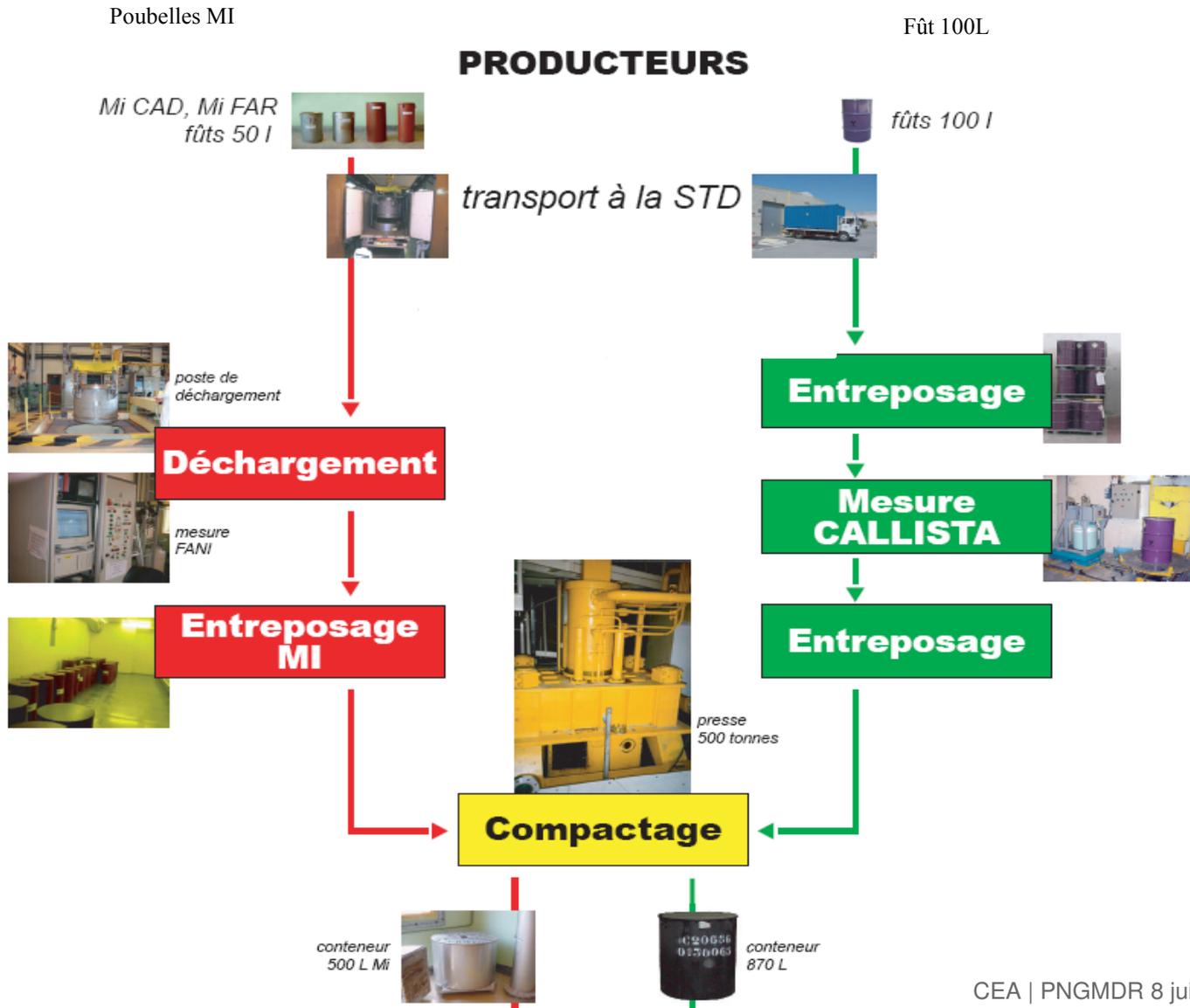
## 2. Conditionnement d'Effluents (liquides) :

- CIMENTATION (INB37-Cadarache)
- BITUMAGE (STEL-Marcoule) , en voie de remplacement par une installation de CIMENTATION (STEMA)

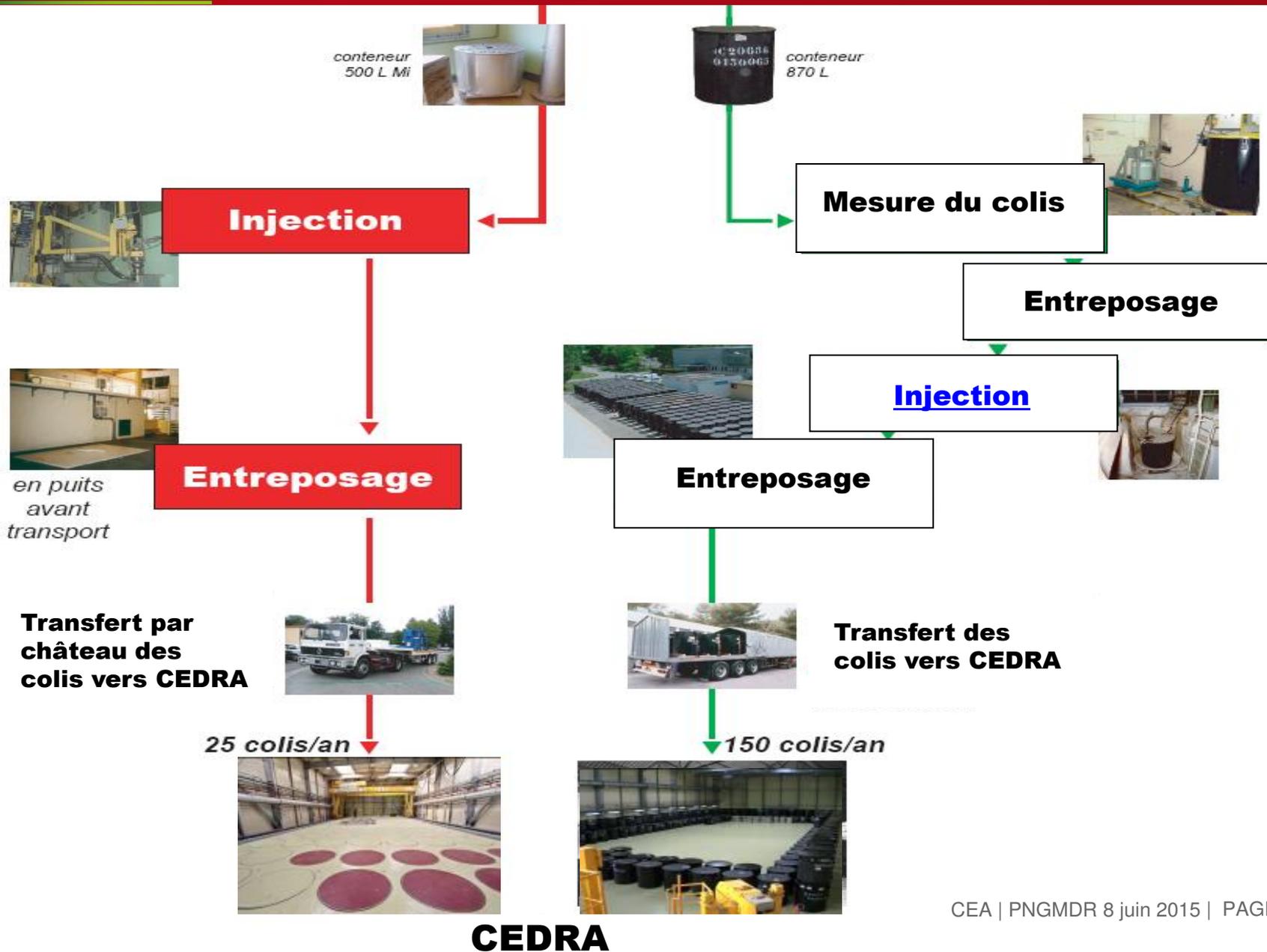
## 3. Conditionnement transitoire dans l'attente de la définition du conditionnement de stockage

Colis d'entreposage en conteneurs métalliques de déchets irradiants de Démantèlement « DIADEM »

# 3-Exemple : Filière MAVL de gestion des déchets solides: détail fabrication des colis (1)



# 3-Filière MAVL : détail fabrication des colis (2)



### **3- LES OPÉRATIONS DE TRAITEMENTS ET CONDITIONNEMENTS MIS EN ŒUVRE :**

- OPÉRATIONS RÉALISÉES**
- OPÉRATIONS EN COURS**

# 3- OPÉRATION RÉALISÉE DE CONDITIONNEMENT DES DÉCHETS PLUTONIFÈRES DE PÉGASE

## ■ ORIGINE :

- Déchets contaminés en émetteurs alpha (Pu, U), provenant de la fabrication de combustibles au plutonium sur CADARACHE
- 2713 fûts 100L « violets » entreposés sur l'installation PEGASE-CASCAD (INB 22)

## ■ MODE DE GESTION :

- Ouverture et reconditionnement des fûts
- Conditionnement dans 619 colis 870L confinant, par injection d'un mortier de blocage (ciment CLC-CEM)
- Evacuation pour entreposage des colis 870L à CEDRA → 89 transports sur site
- Stockage futur à CIGEO



DRG au début du projet



DRG pendant le projet



DRG à la fin du projet



## Conduite du Projet:

- Lancement (investissement, montage contractuel, dossiers de sureté, ...): 2006
- Début du traitement des fûts: 2009
- Fin 2013



**Dernier transport de colis 870L de PEGASE vers l'entreposage  
CEDRA):**

# 3-OPÉRATION EN COURS DE CONDITIONNEMENT DE DÉCHETS CONTAMINÉS ALPHA

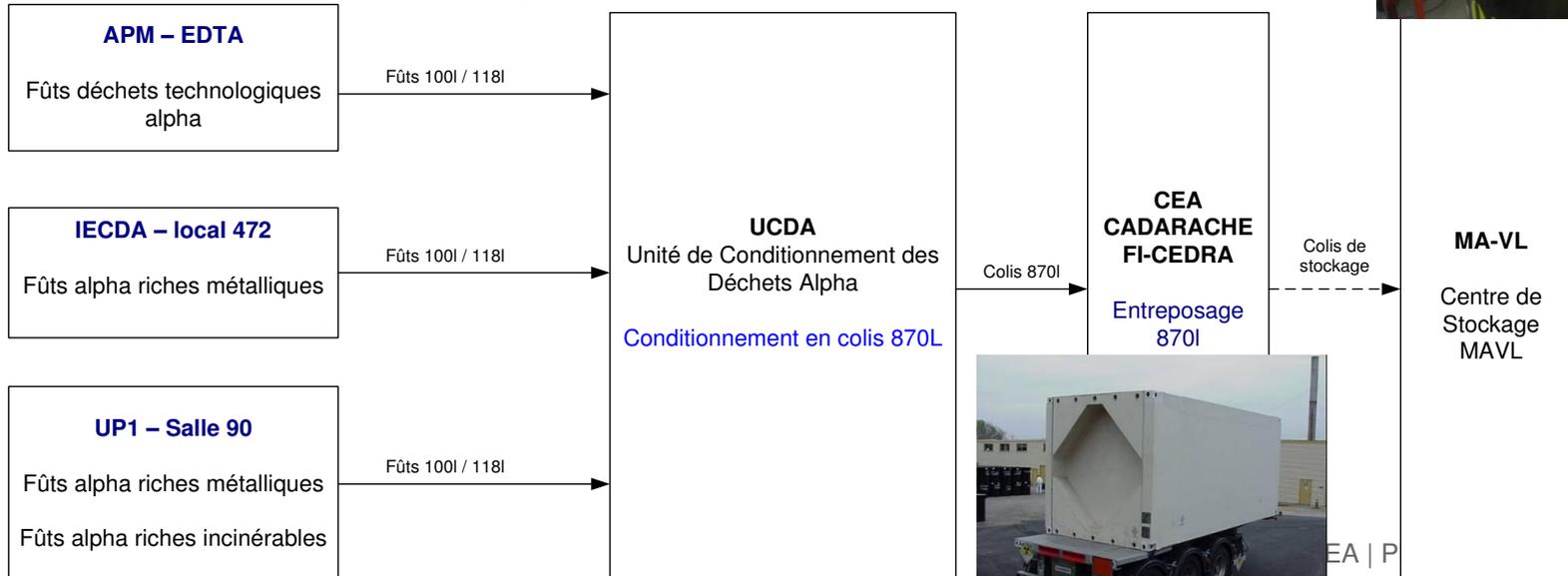
## ORIGINE :

- Déchets technologiques d'exploitation de l'usine UP1 de MARCOULE (aciers noir, 316L, polymères)
- Entreposage en fûts de 100-118L



## MODE de GESTION :

- tri des déchets (caractérisation)
- confinement par cimentation en colis type 870L
- Unité de Conditionnement des Déchets Alpha : mise en service 2012 (Durée d'exploitation : ~5 ans)
- Transport voie public des colis 870L vers CEDRA



## **4- LES VOIES DE TRAITEMENT & CONDITIONNEMENT EN COURS DE DÉVELOPPEMENT (R&D)**

## Structures métalliques des combustibles UNGG irradiés

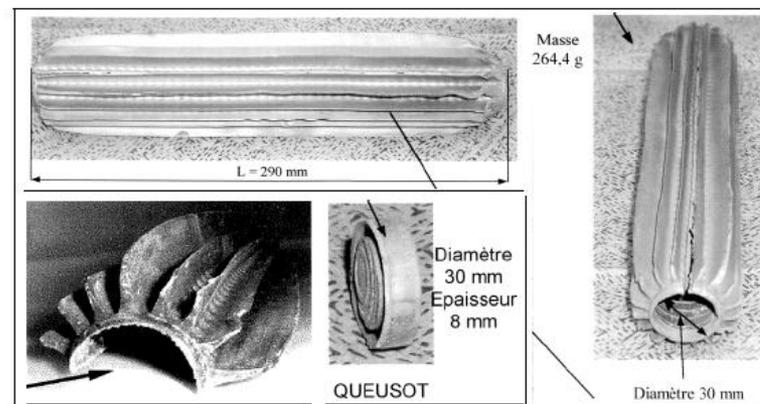
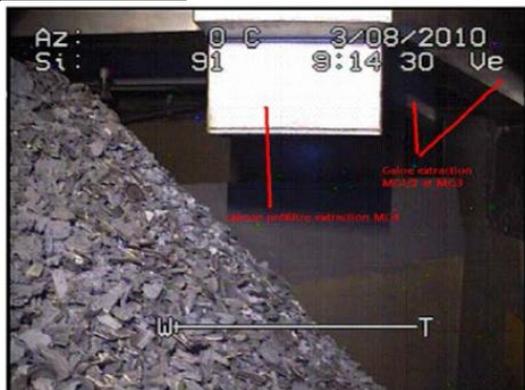
(G1, G2 et G3, SL2, Bugey, Vandellos, Chinon)

1616 tonnes :

- 70% MAVL

- 30% FMAVC)

Gaines en vrac, broyées, compactées



Vues de gaine et queusot type G2/G3

## Caractéristiques chimiques

Mg-Zr (99,5:0,5% mass.)

Mg-Mn (98,5:1,5% mass.)

## Activités

$99 \leq \text{Taux de combustion (MWj/t}_{mli}) \leq 5500$

$\beta\gamma$  : env. 70 GBq/kg déchet brut

$\alpha$  : Env. 0,7GBq/kg déchet brut

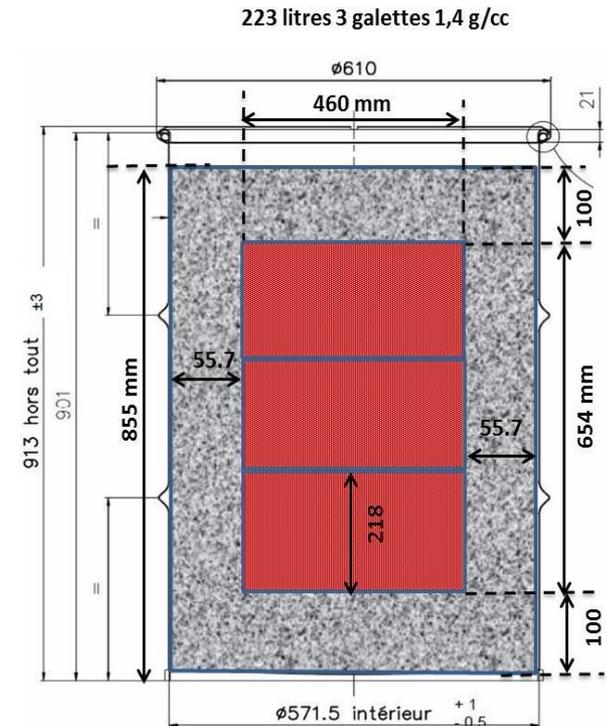
Définir un **matériau minéral** de blocage et un procédé de fabrication nucléarisable

## OBJECTIF de CONDITIONNEMENT :

- Déchets bruts mis en fût de 118L → Compactage des fûts
- 3 galettes compactées en fût acier de 223L → Blocage par liant minéral
- 150 kg de Mg par colis (Poids total : 470 kg)
- ~7500 colis prévus (1642 m<sup>3</sup>)

## Principaux critères de formulation :

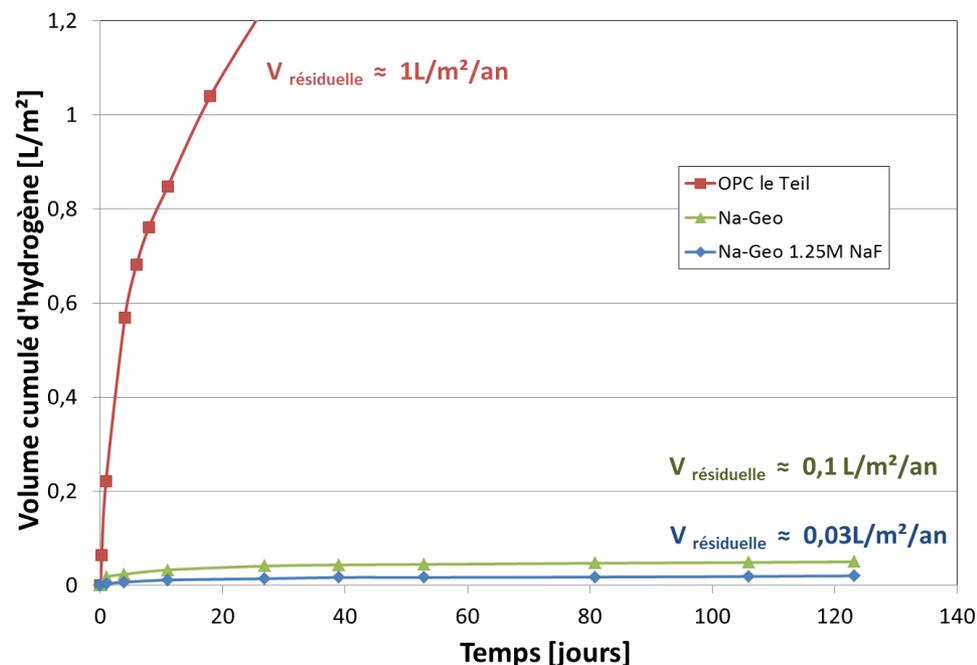
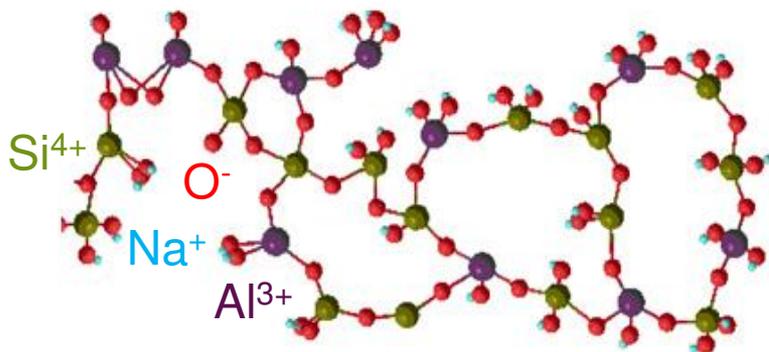
- Minimiser la production de H<sub>2</sub> de corrosion du Mg dans l'eau cimentaire**
- Ouvrabilité : coulis fluide et temps de prise adapté
- Propriétés mécaniques élevées
- stabilité dimensionnelle
- Confinement
- Tenue à l'irradiation



# 4- DECHETS DE STRUCTURE Mg : LA MATRICE « CIMENT GÉOPOLYMERE »

Nature : **Liant minéral alcali-activé**

Géopolymères : **Liant sans calcium**



<b>MGéo</b>	<b>Géopolymère sodium (NaGeo) / métakaolin</b>
Formule globale	1 $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3,6 à 4 $\text{SiO}_2$ , 1 $\text{Na}_2\text{O}$ , 10 à 13 $\text{H}_2\text{O}$
Source aluminosilicatée	Métakaolin : 1 $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 2.4 $\text{SiO}_2$
Solution « d'activation »	1,2 à 1,6 $\text{SiO}_2$ , 1 $\text{Na}_2\text{O}$ , 10 à 13 $\text{H}_2\text{O}$ + 1,25M de NaF (inhibiteur de corrosion)
Sable (siliceux)	Fulchiron VX800LS

## 4- DECHETS DE STRUCTURE Mg : fabrication du MGéo à l'échelle technologique

Fabrication en centrale à béton → Homogénéisation en toupie



### Quelques caractéristiques de la gâchée



Très bonne fluidité  
(viscosité 7 Pa.s)



Pas de ressuage



Découpe du colis  
m<sup>3</sup> sans déchets

# 4- DECHETS DE STRUCTURE Mg : Etudes technologiques de fabrication (simulant inactif)



Fût 210 L avec gaines simulées MgZn (17m<sup>2</sup>)



Remplissage du fût avec MGéo

Dégagement H<sub>2</sub> mesuré :  
< 0,1L/m<sup>2</sup>/an de 400 à 600 jours



Coupe d'un fût de 210 L  
avec déchet simulé en Mg-Zn (essai DTEC)

# 4- DECHETS DE STRUCTURE Mg : Comportement en présence de déchets réels

## Prélèvement de morceaux de gaines radioactives

### Gaine 8-1

Int :  $\beta\gamma \rightarrow 1200\mu\text{Gy/h}$

Ext :  $\beta\gamma \rightarrow 80\mu\text{Gy/h}$

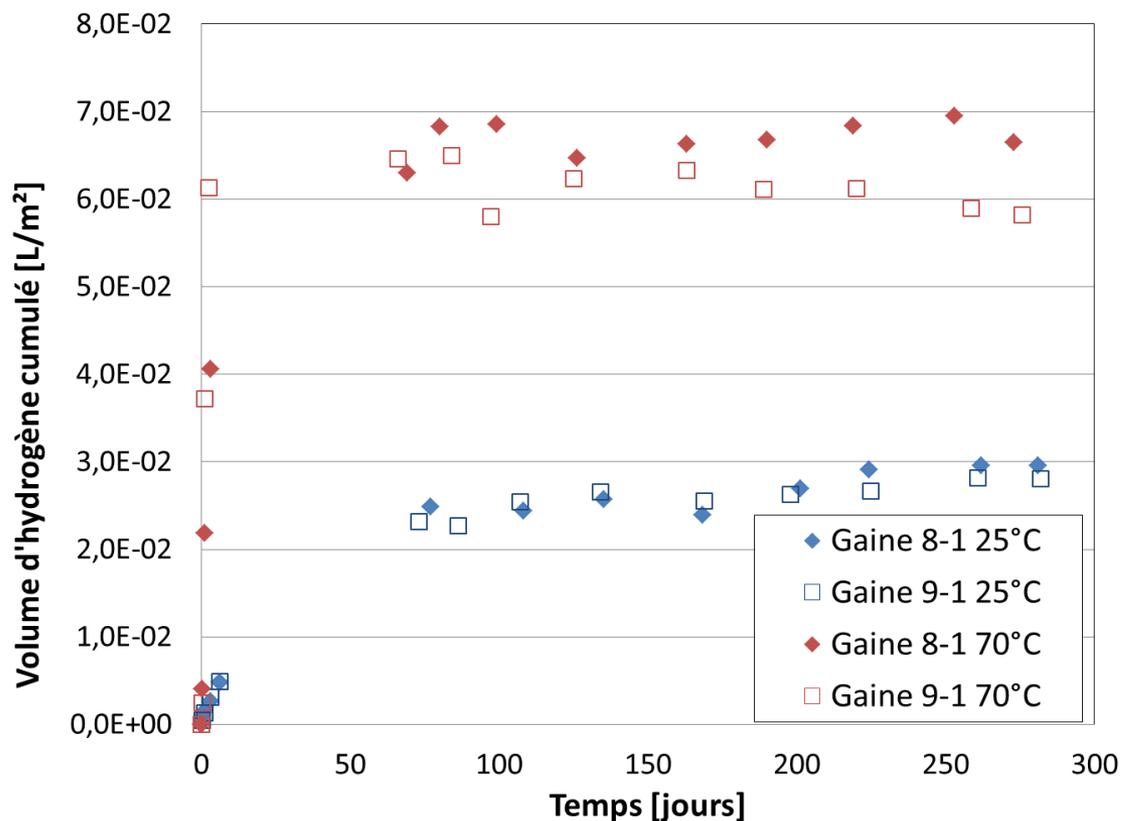
Poids : 11,8 g - surface 67,26 cm<sup>2</sup>

### Gaine 9-1

Int :  $\beta\gamma \rightarrow 1200\mu\text{Gy/h}$

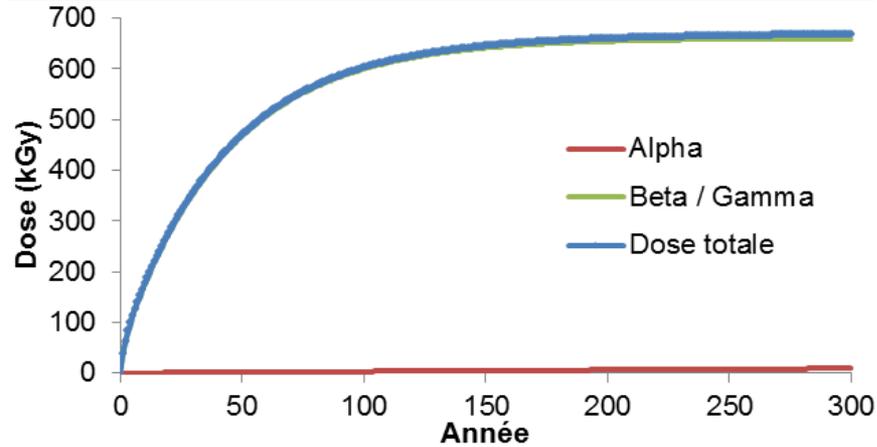
Ext :  $\beta\gamma \rightarrow 80\mu\text{Gy/h}$

Poids : 13,99 g - surface 89,78 cm<sup>2</sup>



Le dégagement d' $\text{H}_2$  lié à la corrosion de gaines réelles se situe ~ 1 ordre de grandeur en dessous des gaines simulées ( $\ll 10^{-2}\text{L/m}^2/\text{an}$ )

# 4- DECHETS DE STRUCTURE Mg Comportement du MGéo sous rayonnement $\gamma$



Dose déposée essentiellement due à la dose  $\beta\gamma$  et de l'ordre du 1MGy  $\rightarrow$  Etude jusqu'à 10MGy

$\rightarrow$  Principal effet : production de  $H_2$  majoritairement due à la radiolyse de l'eau confinée

$\rightarrow$  Rendement radiolytique similaire à ceux des verres poreux, ciments Portland et argiles

$G(H_2)$  argiles  $\sim 0,1$  à  $0,42 \cdot 10^{-7}$  mol/J

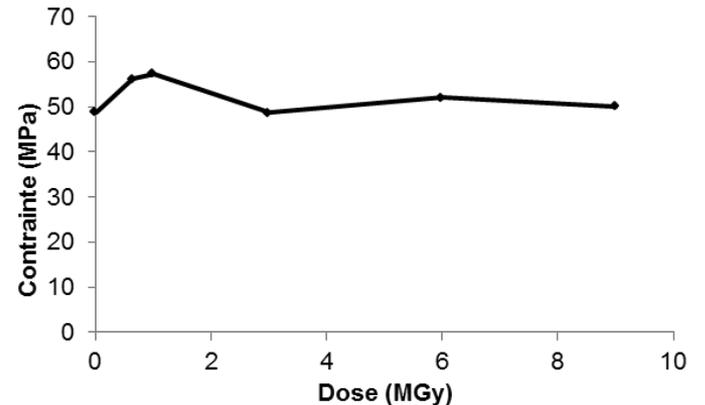
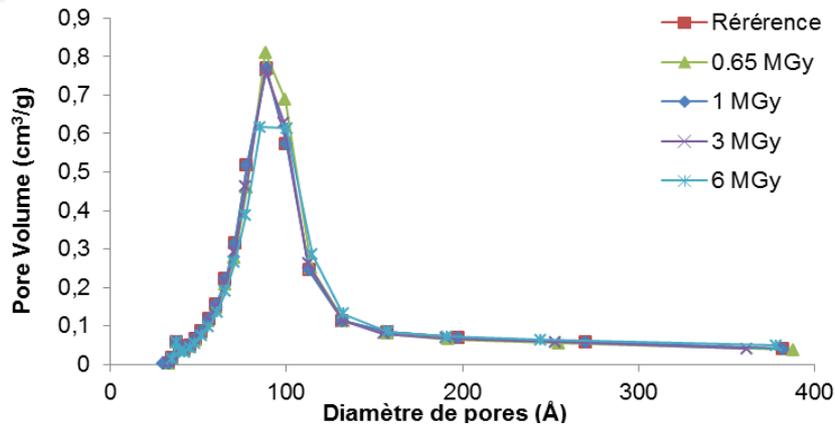
$G(H_2)$  pâte de ciment ( $e/c=0,4$ )  $\sim 0,45 \cdot 10^{-7}$  mol/J

$G(H_2)$  géopolymères  $\sim 0,1 \cdot 10^{-7}$  mol/J

Evolution de la dose dans un colis de déchets  
Typologie enveloppe : 1 T de déchets immobilisés dans 1 T de matériau)

$\rightarrow$  Pas d'endommagement macroscopique

$\rightarrow$  Pas de modification minéralogique ni microstructurale jusqu'à 10 MGy



Mesures de résistances mécaniques en compression en fonction de la dose d'irradiation  $\gamma$

- Des déchets MAVL produits avant 2015 ont fait/font l'objet d'opérations de conditionnement (déchets alpha) en colis orientés vers CIGEO
- Des programmes R&D visent à définir de nouveaux matériaux de conditionnement adaptés à des déchets MAVL particuliers (Mg, ...)
  - **Matrices formulées compatibles** avec les déchets métalliques Mg
    - 11 articles scientifiques
    - 3 brevets
  - **Minimisation du dégagement H<sub>2</sub>** :
    - Lors de la prise du matériau puis à long terme :  $\sim 10^{-2}$  L/m<sup>2</sup>/an
    - Pour le colis échelle industrielle de 220L :  $\leq 2$ L/colis/an
  - **Matériau qualifié à l'échelle technologique**
    - Fabrication et mise en ouvre
    - Blocage des gaines
  - **Bon comportement en corrosion sur déchets réels et simulés**
  - **Effet irradiation  $\gamma$  : essentiellement radiolyse de la solution porale**