

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea den

LA R&D EN INSTRUMENTATION ET MESURE  
POUR L'ASSAINISSEMENT DÉMANTÈLEMENT  
ET LA CARACTÉRISATION DES DÉCHETS :  
LES MESURES DESTRUCTIVES



Hervé LAMOTTE  
CEA DEN CAD/DSN/SEEC/LECD

## **Dans le cadre de l'assainissement démantèlement : OBJECTIFS**

- Contribuer à la connaissance des déchets (pré-caractérisation)
- Optimiser les filières de traitement et d'évacuation, rechercher des filières de substitution,...
- Vérifier l'adéquation des caractéristiques mesurées des colis avec :
  - Les spécifications de prise en charge des installations de traitement
  - Les spécifications techniques des sites d'entreposage et/ou de stockage

## **Dans le cadre de l'expertise de colis de déchets constitués:**

- Contrôles de deuxième niveau sur la qualité des colis constitués :
  - Vérification de la conformité des constituants du colis aux spécifications de prise en charge
- Dossier de connaissance : Expertise sur colis ancien pour améliorer la connaissance du colis et trouver une filière d'évacuation.

■ La mesure destructive

- Expertise
  - Observations
  - Prélèvements d'échantillon
- Analyse physicochimique
- Analyse chimique et radiochimique

■ La R&D instrumentation

- Cellule de perméabilité
- Nucléarisation d'un procédé de découpe : CADECOL

■ La gestion du temps

- Mesure du coefficient de diffusion
- Les analyses radiochimiques

Déchets  
vracs

- Inventaire
- Tri

Déchets  
hétérogènes

- Découpe
- Carottage

Déchets  
homogènes

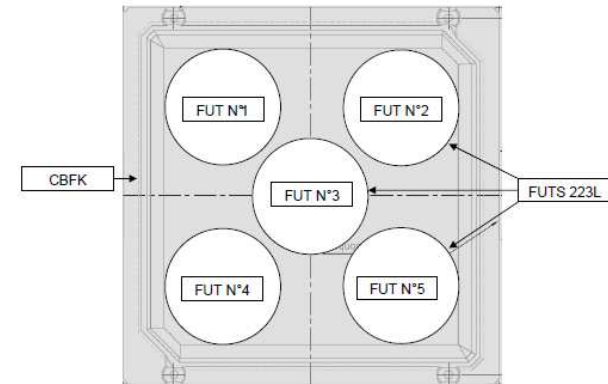
- Carottage
- Découpe



## ■ Inventaire

- Tri par nature physique
- Mesure du ddd, de la contamination
- Prélèvements d'échantillons





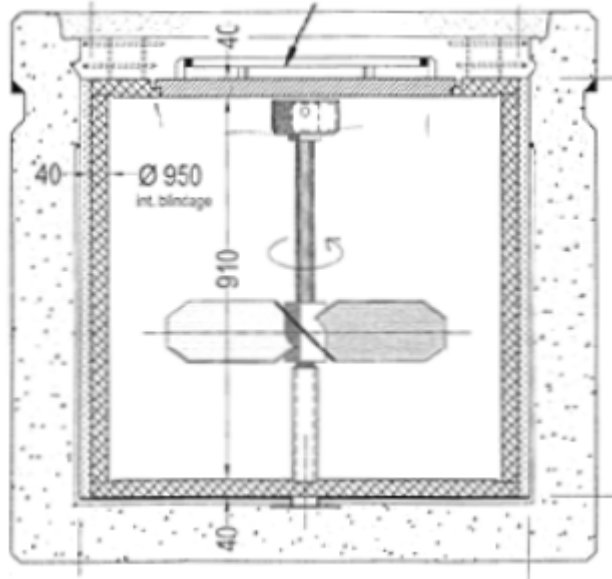
## ■ Découpe

- Observation des différentes interfaces
- Mesures des épaisseurs de liant et des vides
- Qualité du blocage

## ■ Carottage

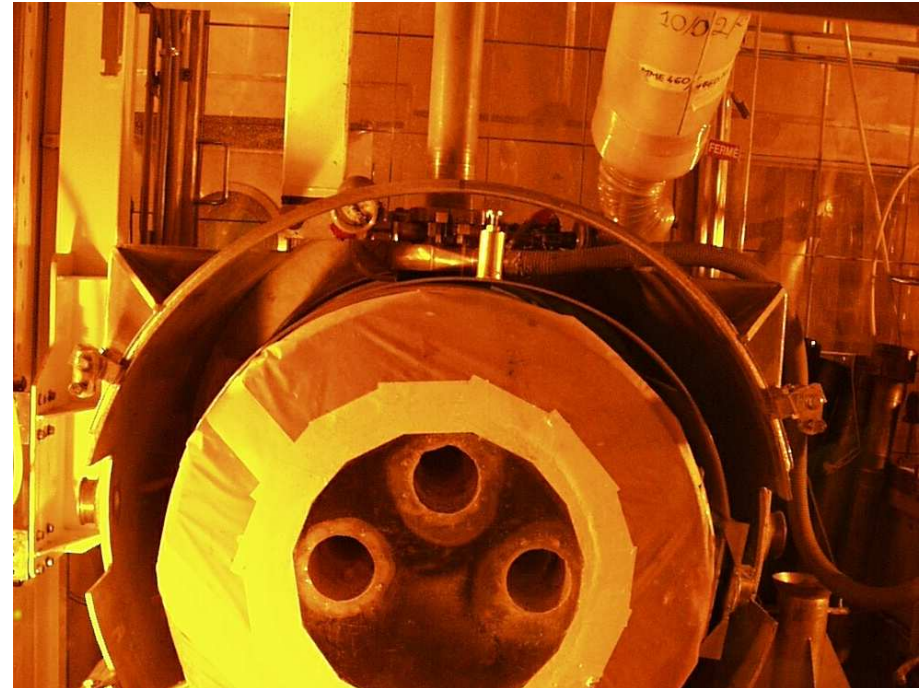
- Prélèvements d'échantillons du liant





## ■ Carottage

- Présence du bouchon et de la protection bio
- Qualité de l'enrobage
- Prélèvements d'échantillons



## Caractéristiques physiques des matériaux

- Densité
- Porosité
- Taille des granulats

## Propriétés mécaniques

- Résistance mécanique
- Flexion

## Propriétés de confinement

- Lixiviation
- Coefficient de diffusion
- Perméabilité aux gaz





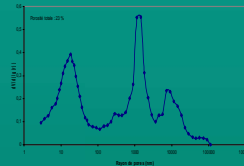
## Densité

Mesure de la masse  
et du volume de  
l'échantillon



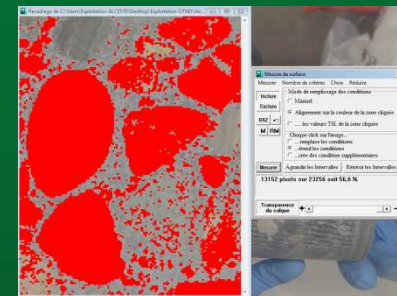
## Porosité

Porosité totale  
Distribution de la  
taille des pores



## Taille des granulats

Mesure  
Analyse d'image

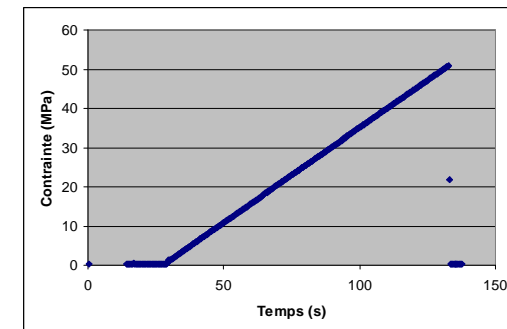


## Résistance mécanique : mesure sur échantillon (NF EN 12390)



$$f = 10 \frac{P}{S}$$

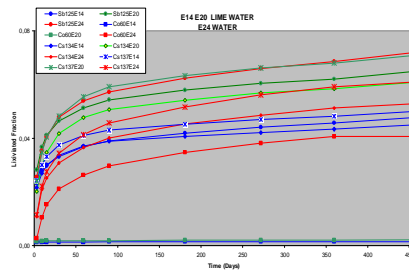
$f$  = contrainte à la rupture (MPa)  
 $P$  = charge à la rupture (kN)  
 $S$  = section de l'éprouvette (cm<sup>2</sup>)





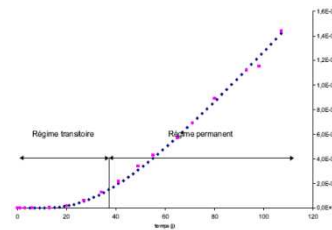
## Lixiviation

Trempeage en solution  
Analyse du lixiviat



## Coefficient de diffusion

Traceur : tritium  
Comptage par scintillation

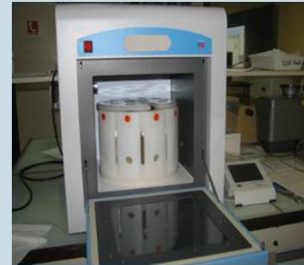


## Perméabilité aux gaz

Mesure de la porosité  
connectée  
Débit de gaz à travers  
éprouvette en fonction de  
l'humidité du béton

## Chimie préparative / séparative

- Mise en solution
- Minéralisation
- Chimie séparative



Minéralisation potes fermés



Dispositif de combustion sous oxygène



Chimie séparative

## Analyses radiométriques

- Electrodeposition et spectrométrie  $\alpha$
- Spectrométrie  $\gamma$
- Comptage par scintillation liquide ( $\beta$ )



Sorbonnes electrodeposition



Spectrométrie gamma-X

## Analyses isotopiques et élémentaires

- ICP/MS
- ICP/AES
- Fluorescence X



Spectromètre d'émission atomique à couplage plasma ICP-AES



Spectromètre de masse multi-collection à source plasma ICP-MS/MC

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea den

## LA R&D EN INSTRUMENTATION POUR LA MESURE DESTRUCTIVE



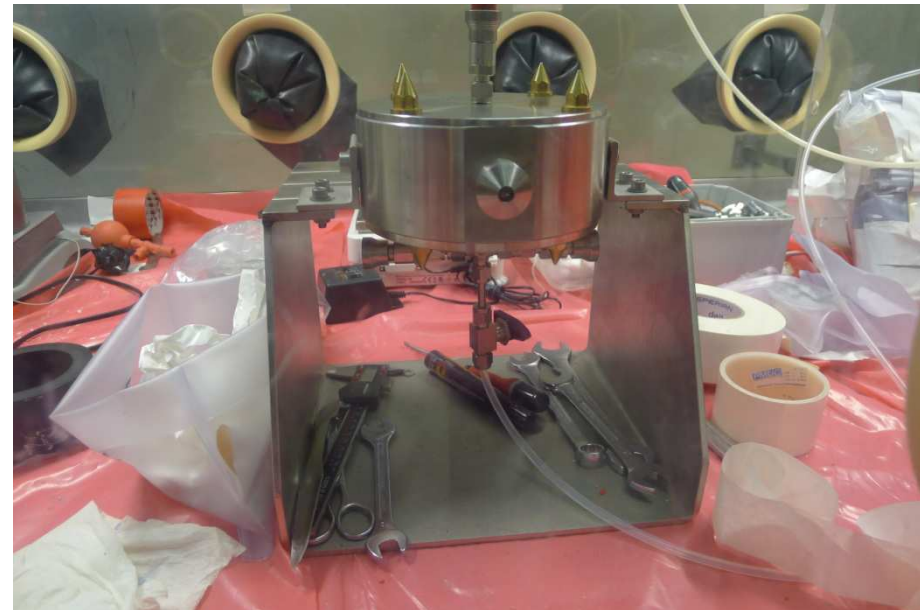


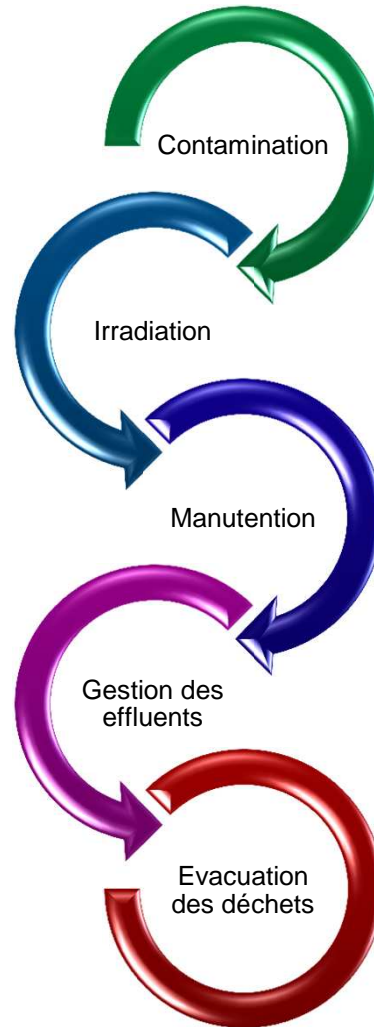
■ Cellule de Hassler

- 50 kg
- 60 bar

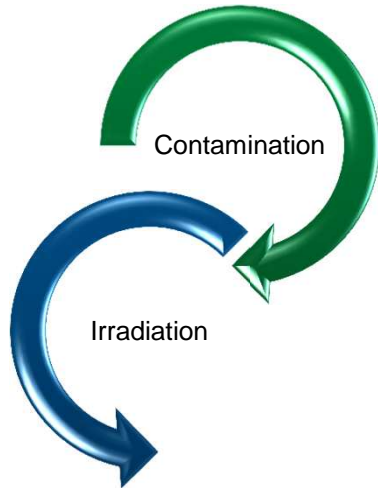
■ Cellule BAG

- Etanchéité statique
- Manipulation facile





Cellule CADECOL



## ■ Enceinte de confinement

- Peau métallique pour la décontamination
- 13 cm d'acier pour l'irradiation
- Ventilation nucléaire (confinement dynamique)
- Confinement statique
- Sas d'entrée et sortie matériel
- Sas personnel

## ■ Manipulation à distance

- Automatisation du procédé (IHM)
- Nucléarisation de tous les équipements et outillages (téléopération)
- Aucune intervention humaine avec le colis découpé à l'intérieur (zone rouge)



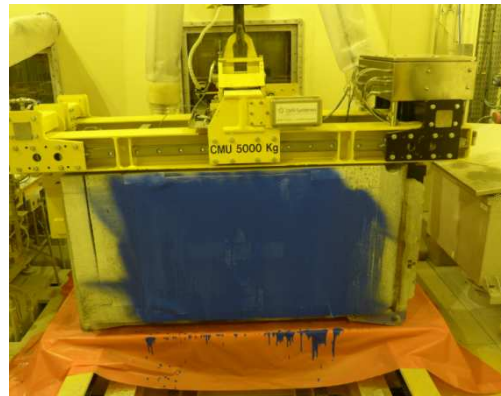
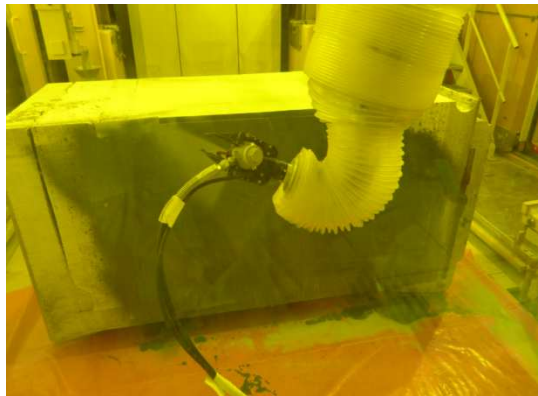


- Refroidissement en circuit fermé (600L)
  - Filtration de l'eau
  - Evacuation vers les cuves actives
  
- Corrosion de la cellule à gérer





- Sortie des morceaux découpés
  - Immobilisation des déchets
  - Sas de sortie
  - Manutention des frites





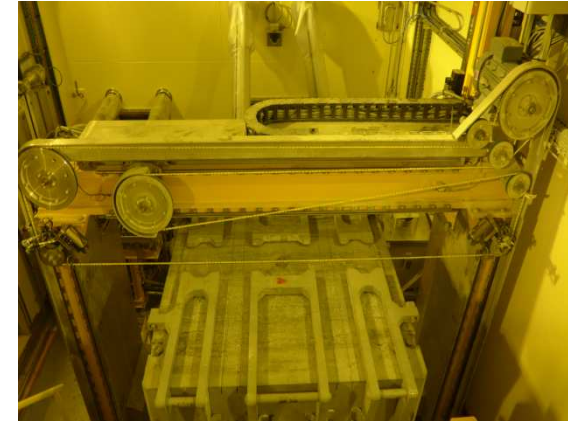
- Châssis de manipulation des frites
- Table d'opération
  - Rotation
  - Retournement





Expertise

- Découpe
- Carottage sous eau
- Observation visuelle
  - Caméra HD
  - Analyse assistée par ordinateur



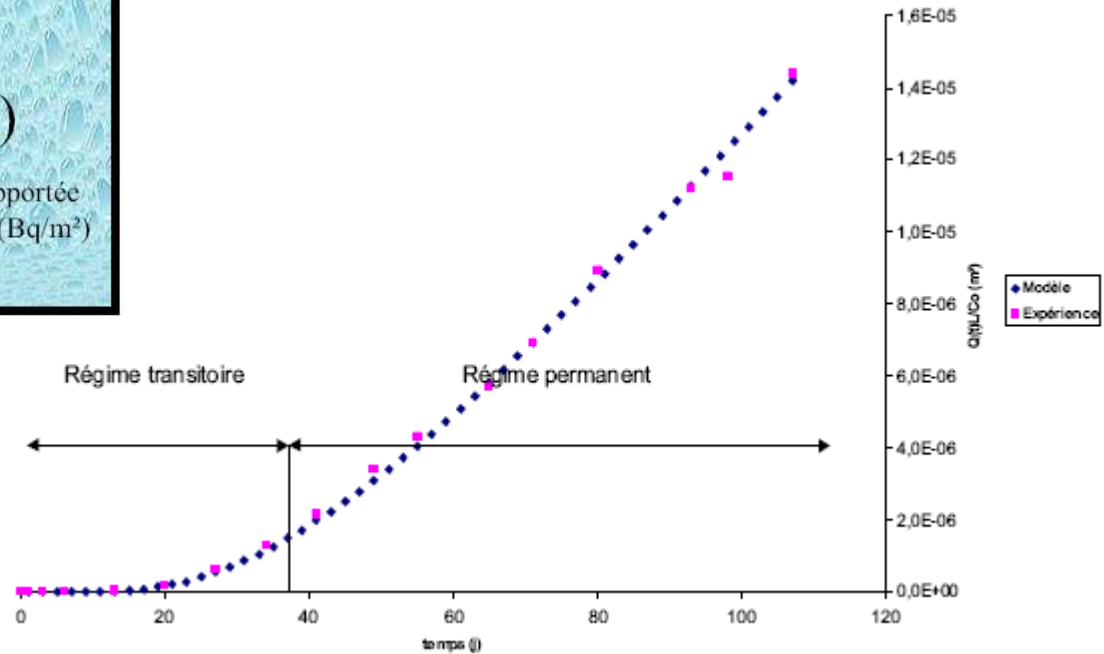
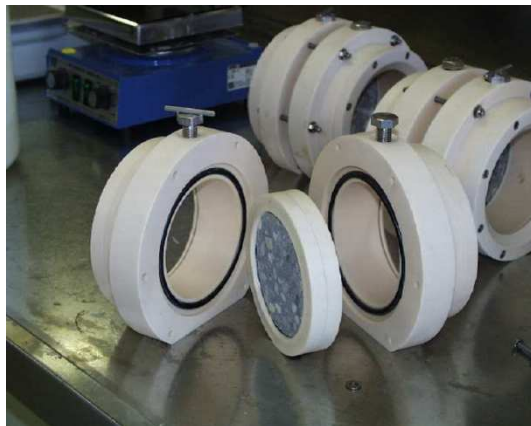
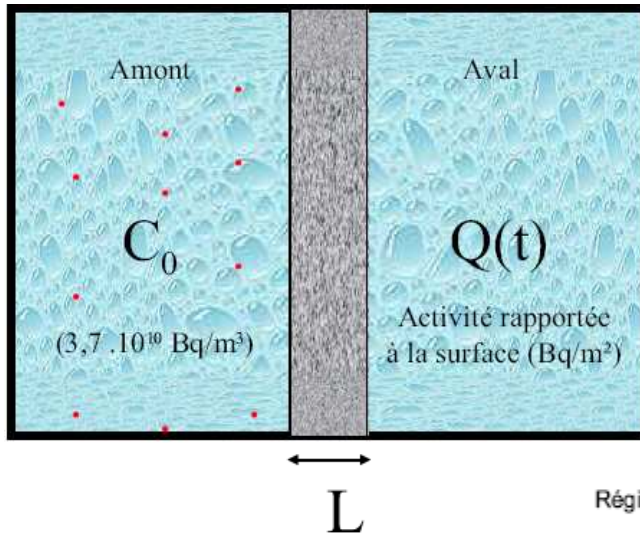
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea den

## LA PROBLÉMATIQUE TEMPS

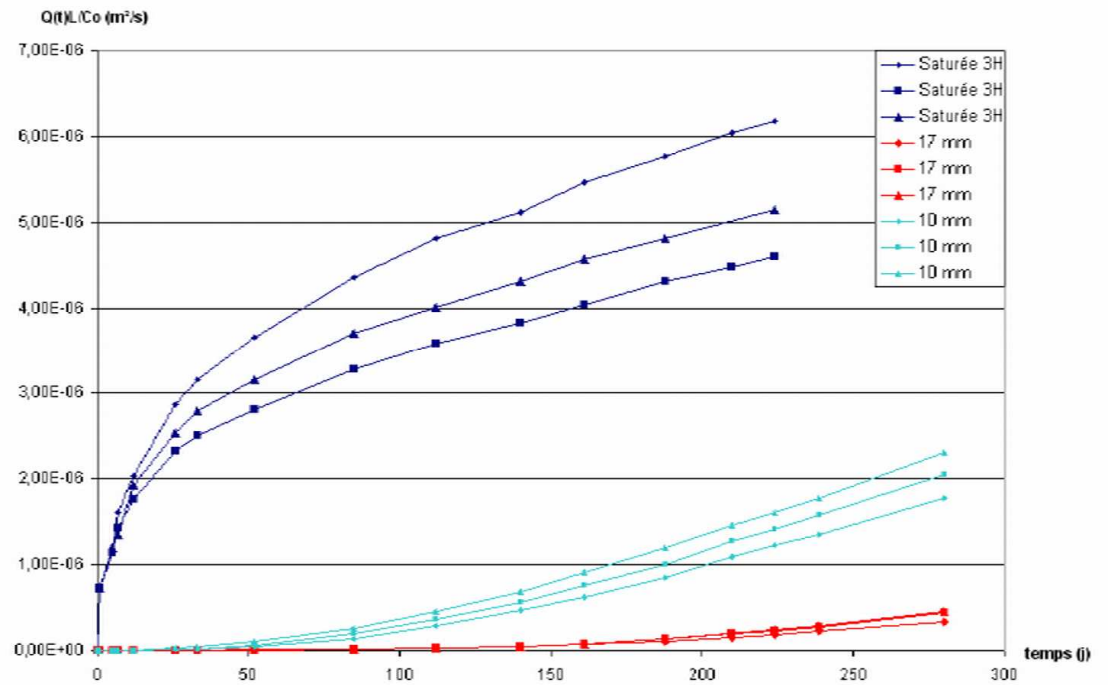
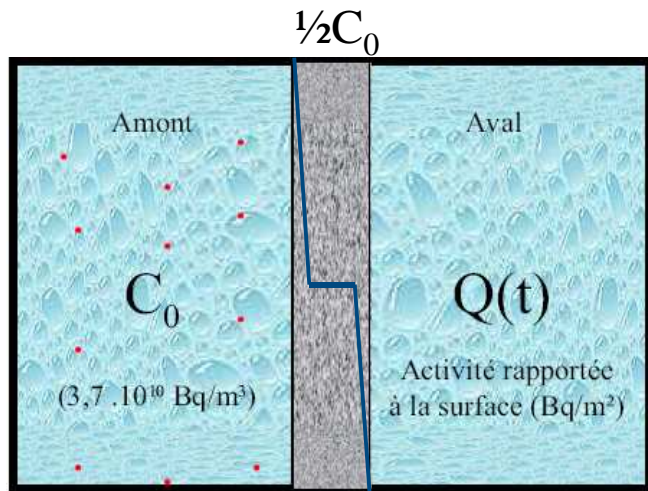


- Epreuve technique ANDRA : Mesure du coefficient de diffusion à l'eau tritiée



$$\frac{Q(t).L}{C_0} = D_e.t - \frac{\alpha.L^2}{6} - \frac{2\alpha.L^2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} e^{-D_e \frac{n^2 \pi^2 t}{\alpha.L^2}}$$

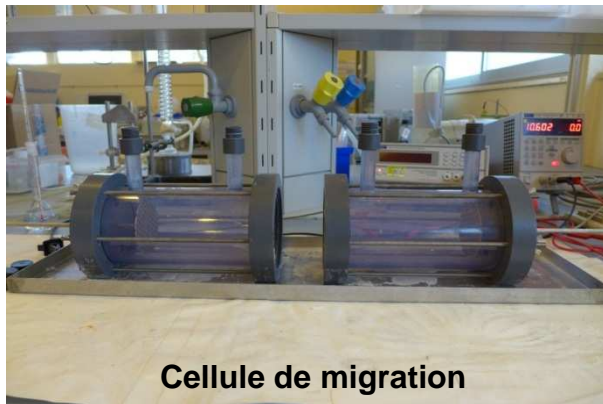
■ Présaturation en  $C_0/2$  de l'éprouvette de béton



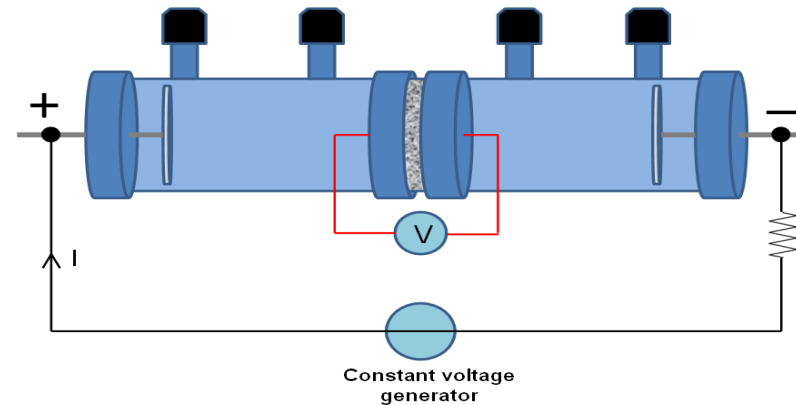
■ Mesure de la résistance du matériau

$$J_i = D_{e,i} z_i c_i \frac{F}{RT} \frac{\Delta U}{L}$$

$$I = SF \sum_i z_i J_i \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta U}{I} \propto D_e$$



Cellule de migration

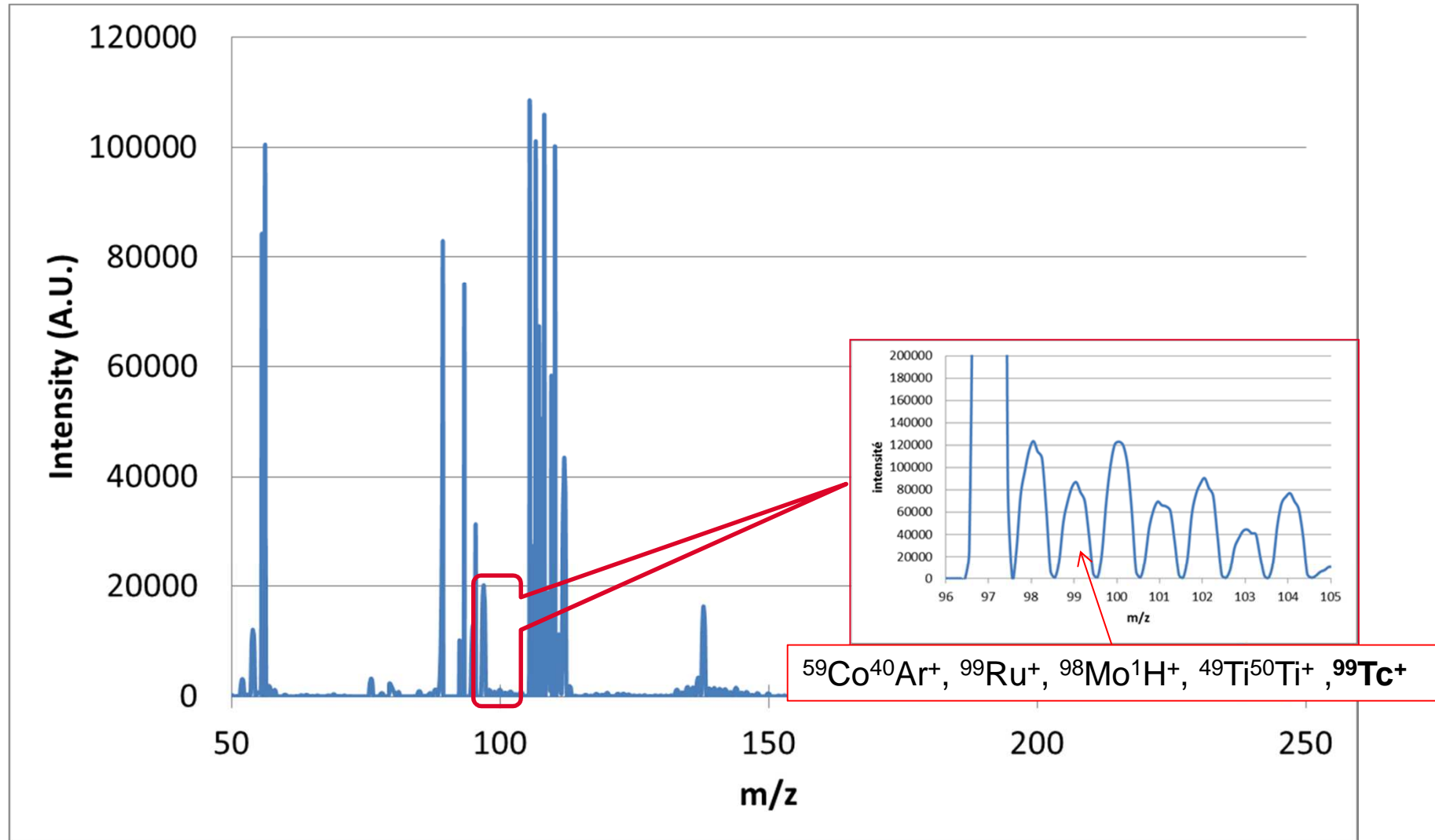


■ Partenariat avec INSA Toulouse (*Laboratoire de Matériaux et Durabilité des constructions*)

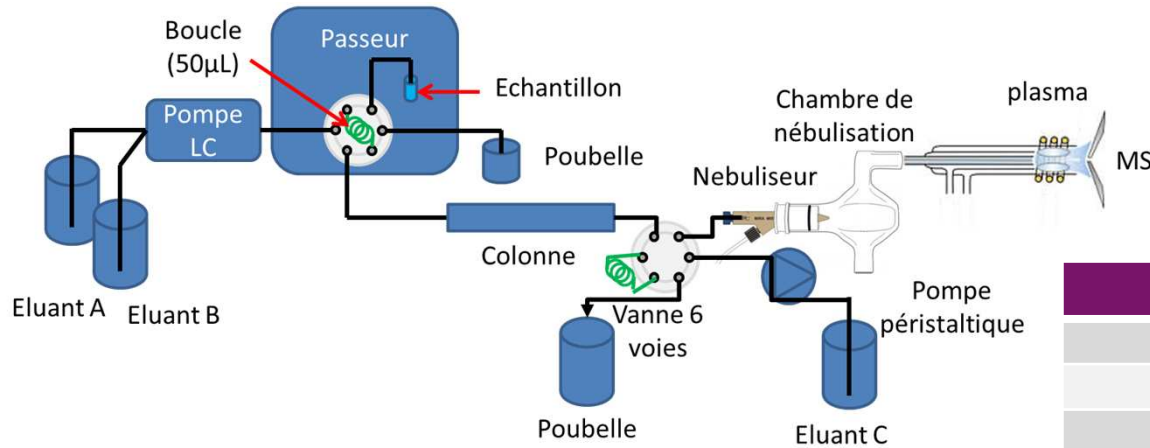
- 1<sup>ère</sup> thèse: 2010-2013 « Détermination sous champ électrique du coefficient de diffusion effectif de l'eau au sein d'un matériau à base de liant hydraulique », soutenue le 9 septembre 2013 par Thomas WATTEZ
- 2<sup>ième</sup> thèse en cours: 2014 – 2017



# ANALYSE QUALITATIVE PAR ICP/MS D'UN ÉCHANTILLON DILUÉ

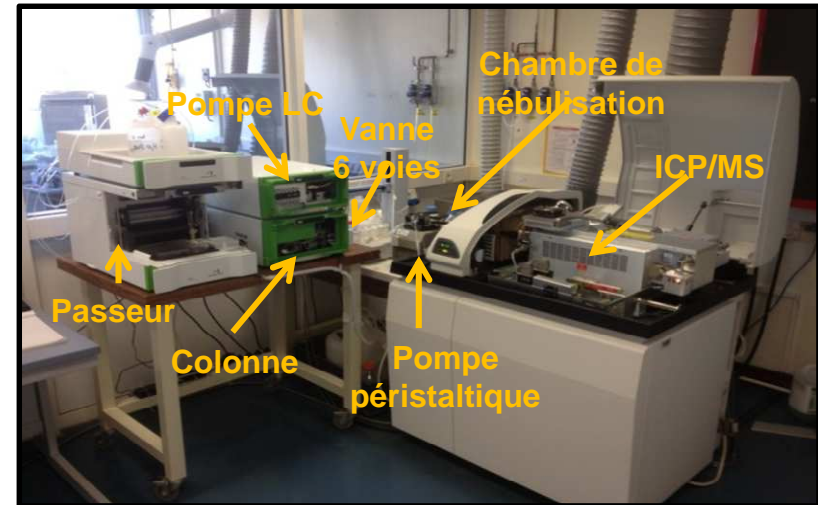
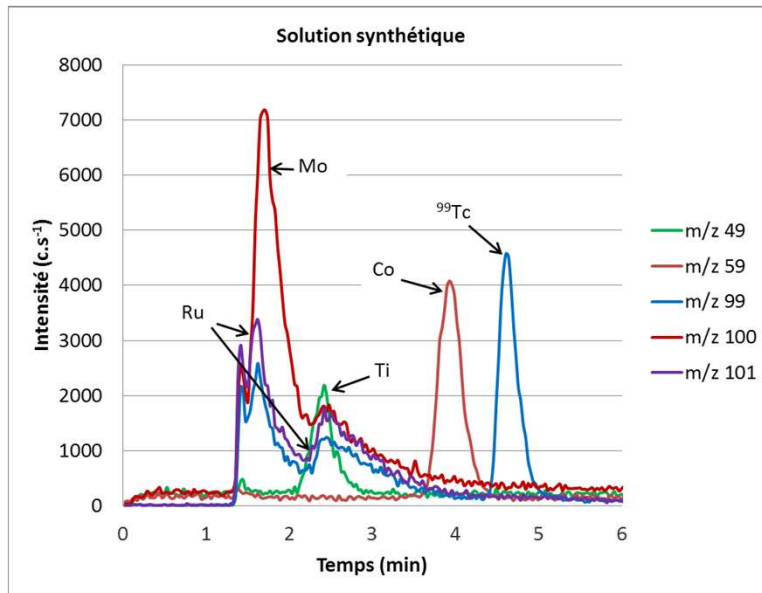


# cea den COUPLAGE IC - ICP/MS



Les conditions opératoires (éluant / colonne chromatographique) sont optimisées en fonction des éléments d'intérêt et des interférences potentielles

Interférence	Espèce détectable
<b>Isobare</b>	<b><math>^{99}\text{Ru}^+</math></b>
Oxyde	$^{83}\text{Kr}^{16}\text{O}^+$ ; $^{81}\text{Br}^{18}\text{O}^+$
<b>Dimère</b>	<b><math>^{59}\text{Ti}^{40}\text{Ti}^+</math></b>
Hydruure	$^{98}\text{Mo}^1\text{H}^+$ ; $^{98}\text{Ru}^1\text{H}^+$
<b>Combinaison avec Ar</b>	<b><math>^{59}\text{Co}^{40}\text{Ar}^+</math></b>



---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Cadarache | 13108 Saint-Paul-Lez-Durance Cedex  
T. +33 (0)4 42 25 25,90 | F. +33 (0)4 42 25 65,34

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

Direction de l'Energie Nucléaire  
Département des Services Nucléaires  
Service d'exploitation d'expertise et de  
caractérisation  
Laboratoire d'expertise et de caractérisation  
destructive