



Valorisation des sédiments fluviaux dans le béton :

Du gisement à la formulation

Pierre Delcour & Amor BEN FRAJ

Journée COTITA -Valorisation des matériaux alternatifs en techniques routières

Champs-sur-Marne 23/06/2015



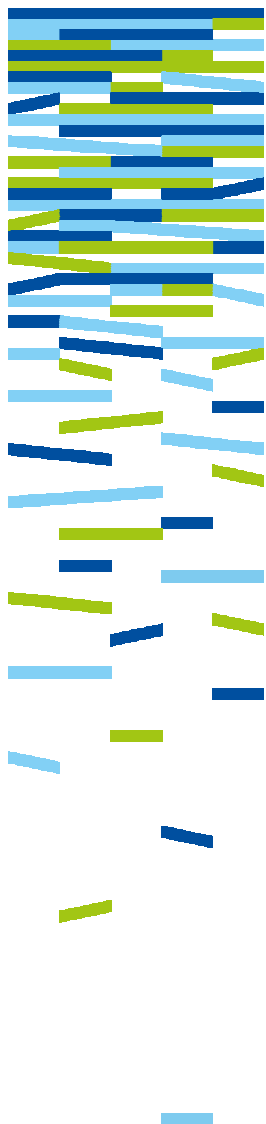
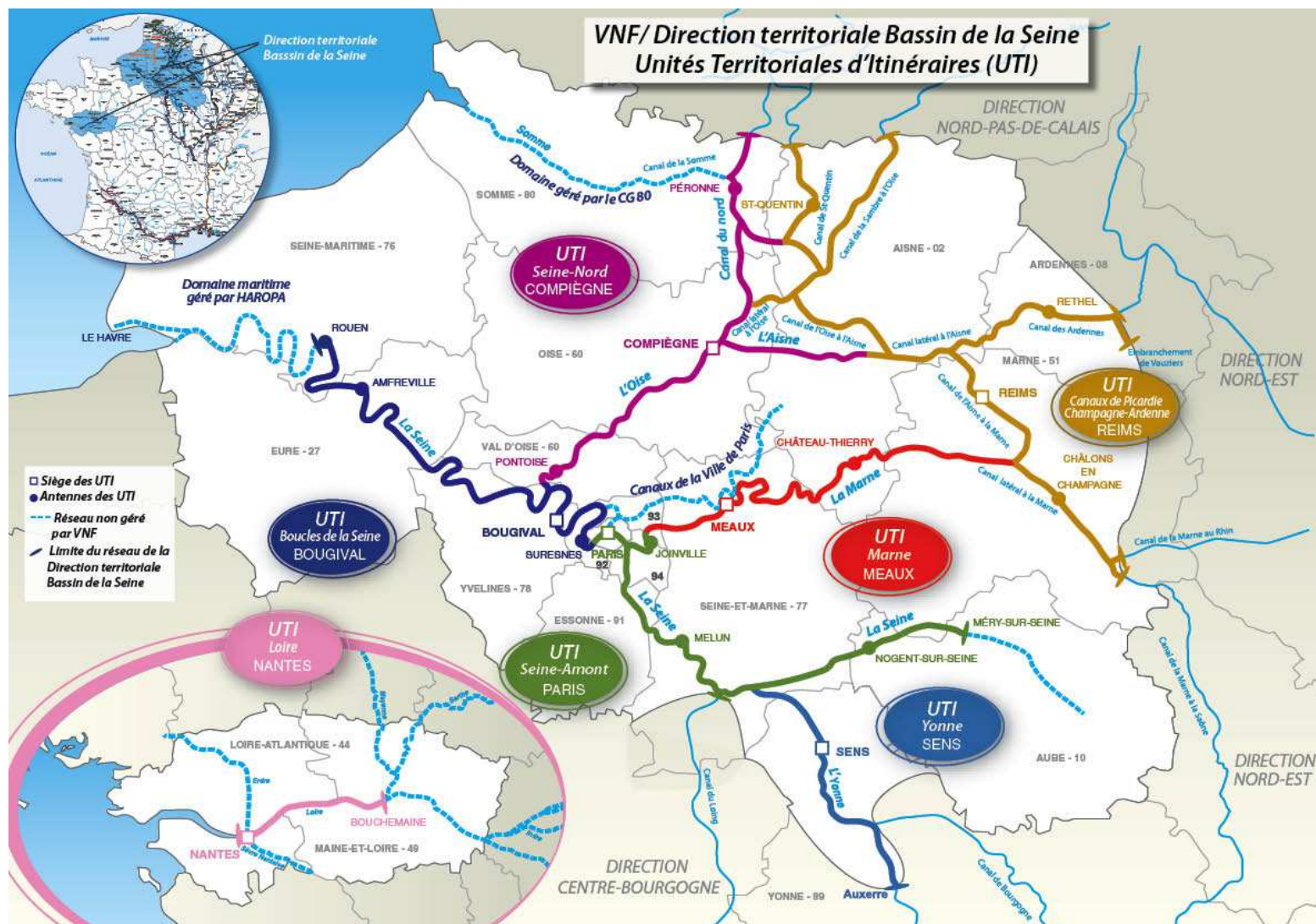
Voies Navigables de France

P. Delcour

- **Établissement public sous tutelle du MEDDE ;**
- **En quelques chiffres :**
 - 6700 km de canaux et rivières aménagés,
 - 3000 ouvrages d'art (écluses, barrages...),
 - 40 000 hectares de domaine public fluvial,
 - Env. 600 000 m³ de sédiments dragués par an
- **7 Directions territoriales**

Contexte de la DTBS

- 1 400 km de réseau

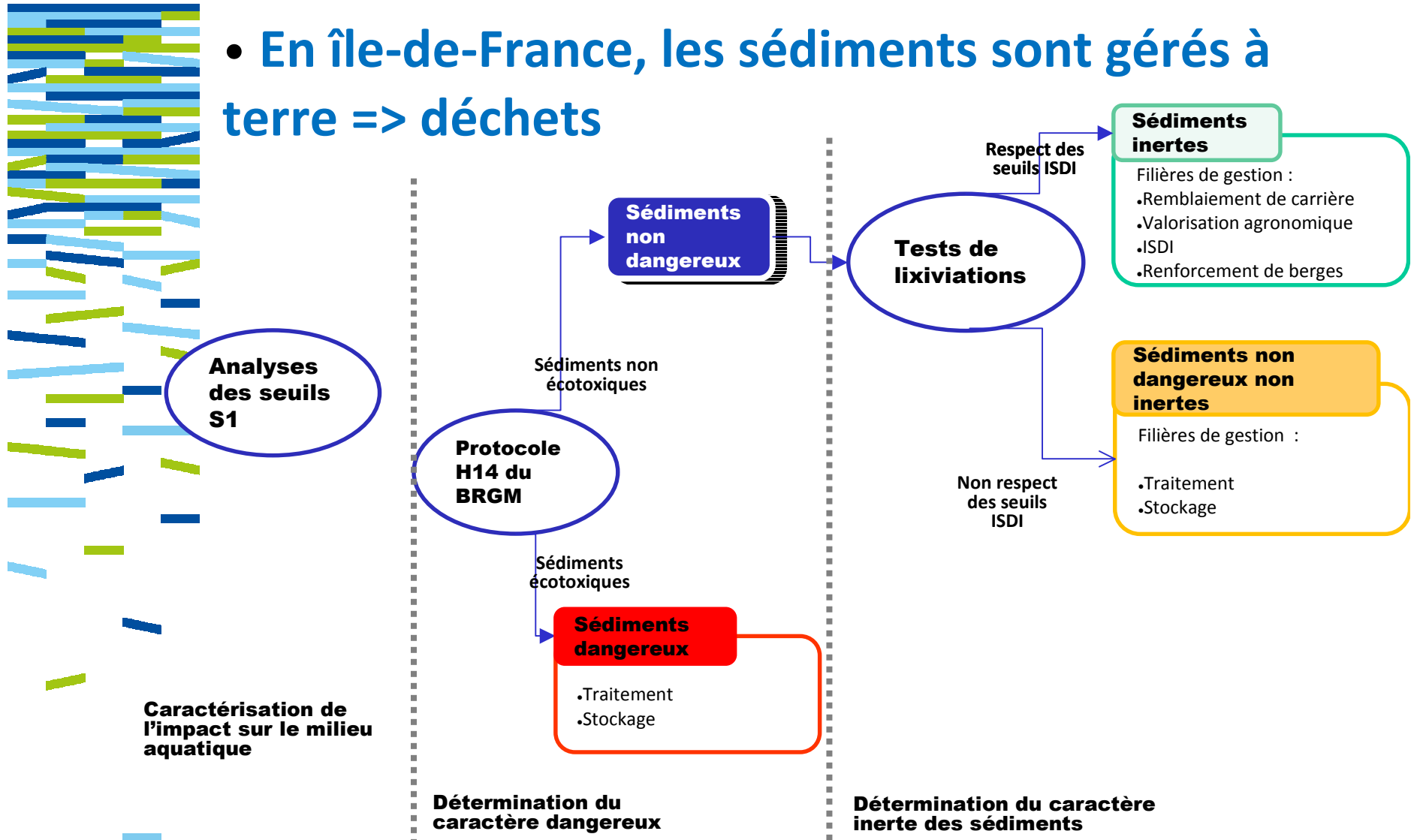


Gestion des opérations de dragage

P. Delcour

- Dragage d'entretien autorisé par la loi sur l'eau dans le cadre de Plan de Gestion Pluriannuels des Opérations de Dragage (PGPOD)
- Les sédiments sont des déchets dès lors qu'ils sont sortis de l'eau.

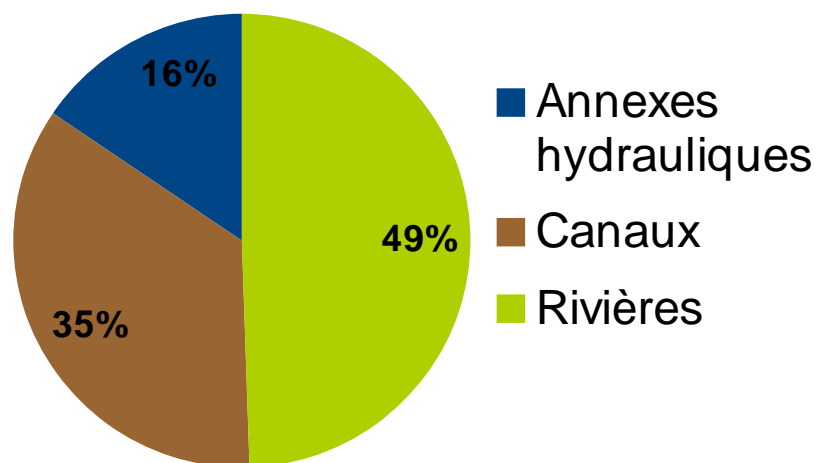
- En île-de-France, les sédiments sont gérés à terre => déchets



Dragage d'entretien à la DTBS

P. Delcour

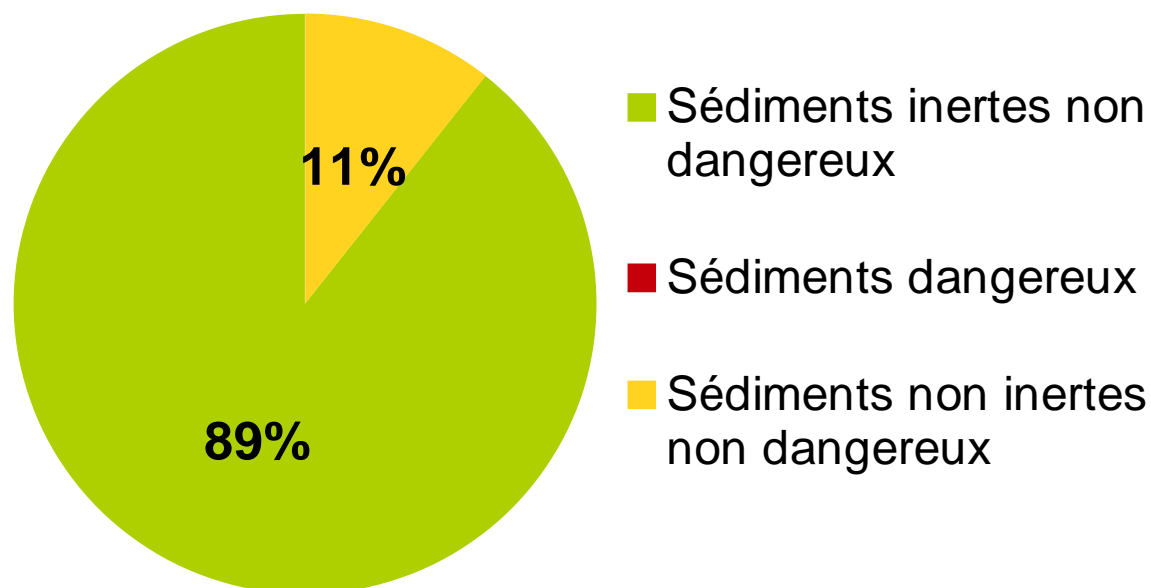
- **Environ 75 opérations de dragage /an**
→ 2/3 les rivières, 1/3 sur les canaux (bief et annexes hydrauliques)
- **200 000 m³ de sédiments dragués / an**
→ 55 000 m³ dragués en Île-de-France (90 % sur les rivières)



Qualité des sédiments

P. Delcour

- Des sédiments essentiellement inertes :
- Lorsque des pollutions sont rencontrées :
 - Hydrocarbures, parfois antimoine lixiviable

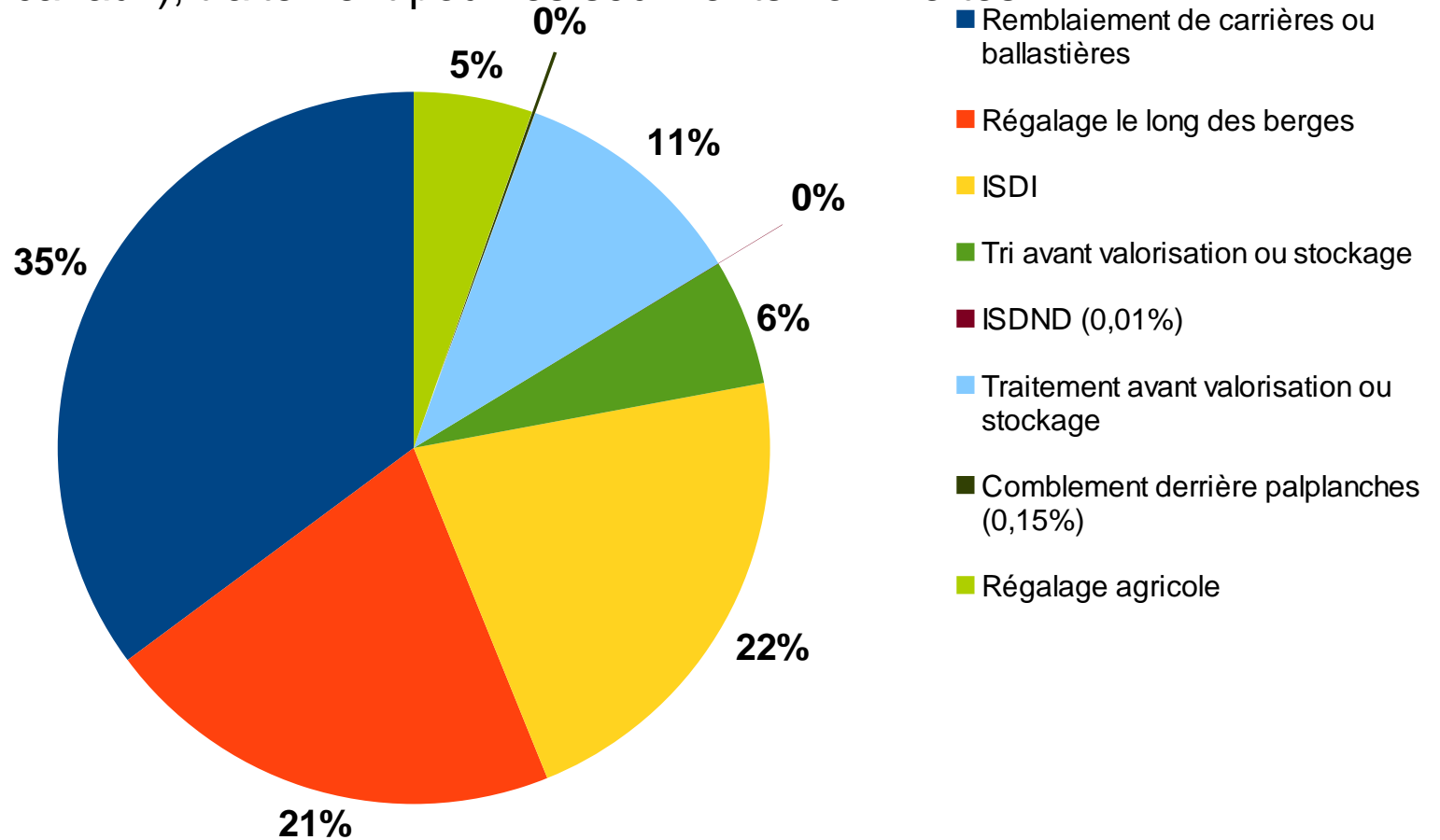


- Sur les rivières sédiments très sableux et caillouteux :
 - de 60 à 80 % de granulométrie > à 50 µm
 - présence régulière de coquillages

Gestion des sédiments de la DTBS

P. Delcour

Pour les sédiments franciliens : Remblaiement de ballastières pour les sédiments inertes des rivières (valorisation agricole pour ceux des canaux), traitement pour les sédiments non inertes

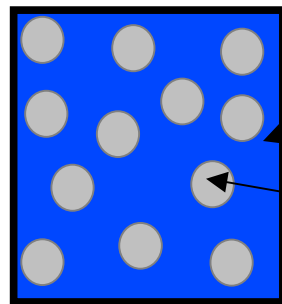
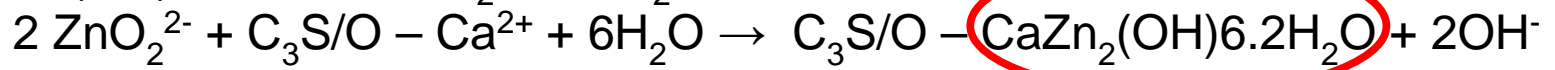
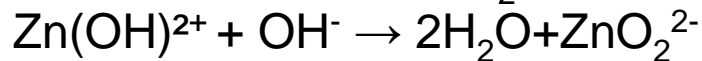
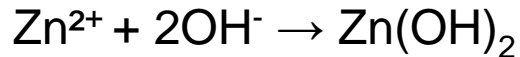


II. Valorisation des sédiments dans une matrice cimentaire

Compatibilité sédiments fins/ matrice cimentaire

II.1. Influence des métaux lourds sur l'hydratation du ciment

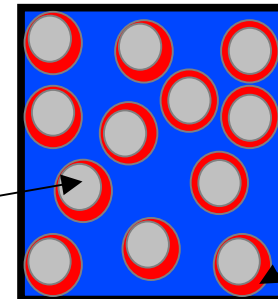
Retardateurs/ accélérateurs



Matrice cimentaire
(phase 1)

Eau

Grains de ciment

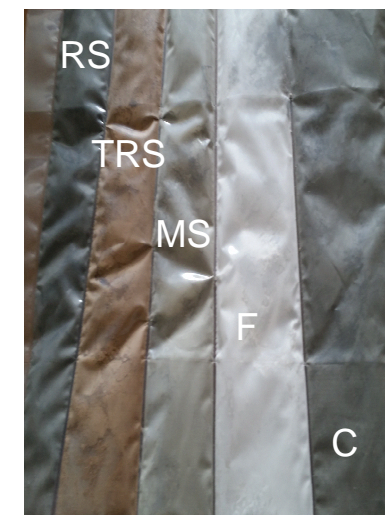
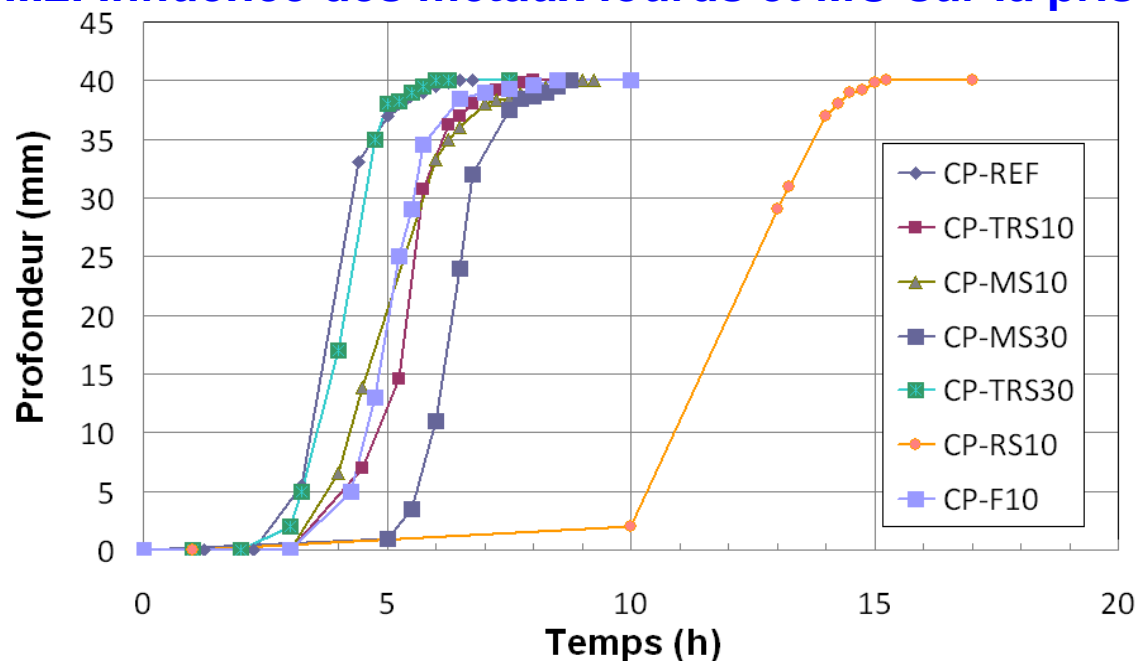


Matrice cimentaire+sédiment

Zincate de calcium

La formation de **zincate de calcium** sur la surface de C_3S l'isole de l'eau et joue ainsi le rôle d'une membrane qui retarde l'hydratation

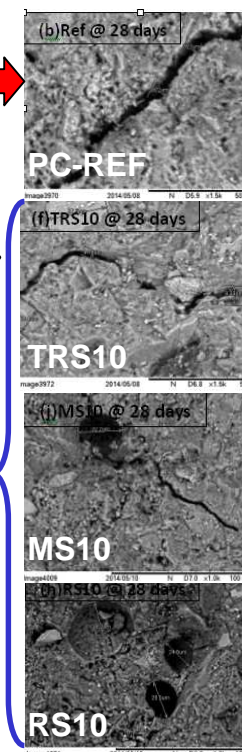
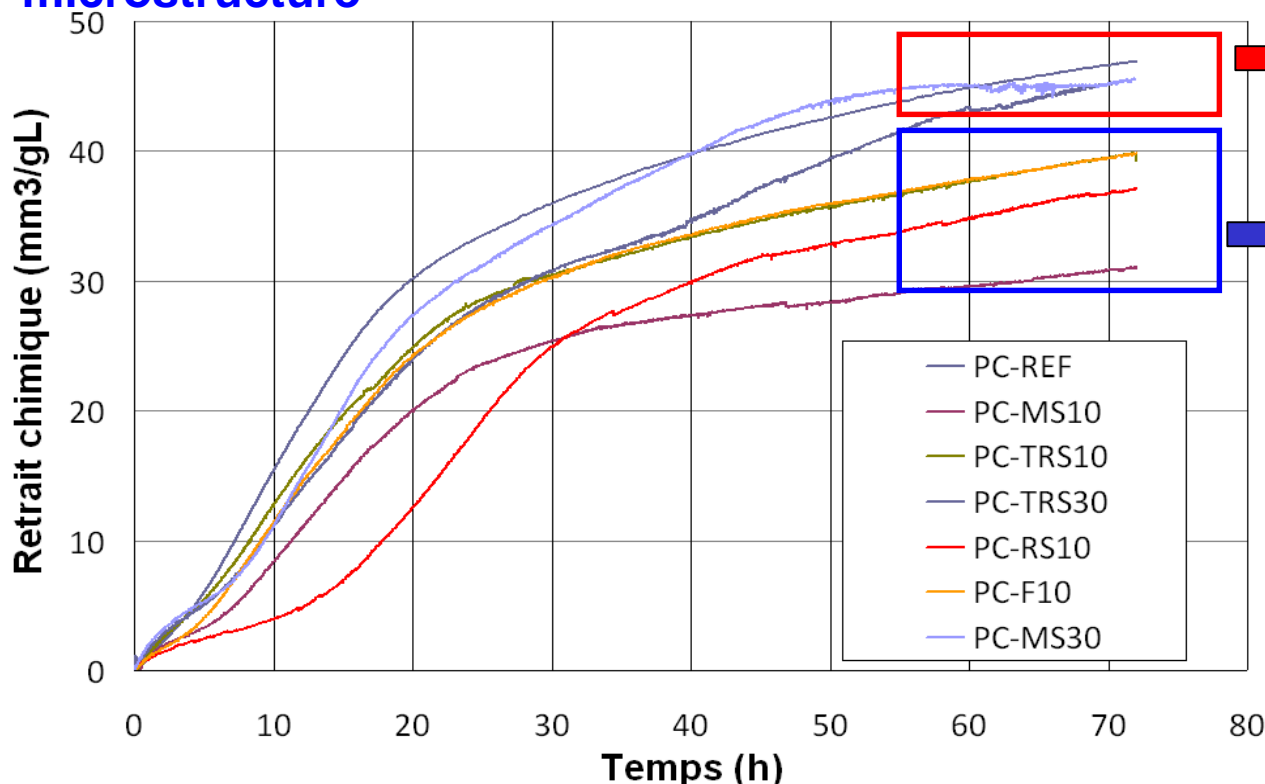
II.2. Influence des métaux lourds et MO sur la prise Vicat



- La référence contient plus de ciment anhydre : début et fin de prise rapides
- Les Filler et sédiments fluviaux traités (TRS) ont un peu de retard de prise, comparés à la référence : **activité supérieure aux autres sédiments**
- A 30 %, les sédiments marins, **MS**, accusent du retard à cause de la **matière organique** : phénomène de « **recouvrement** »

Les sédiments fluviaux (**RS**) sont très pollués (riches en MO et traces de métaux lourds) → **membrane protectrice** : retard de début et fin de prise

II.3. Influence des métaux lourds et MO sur le retrait et la microstructure



- La substitution du ciment par 10 % de sédiments fluviaux traités (TRS) améliore la compacité de l'échantillon et diminue son retrait : sédiments propres et fins
- La substitution du ciment par 10 % de sédiments marins (MS) semble favoriser l'apparition de fissures « localisées » : présence de la MO
- La substitution du ciment par 10 % de sédiments fluviaux non traités (RS) crée une multitude de « fissures » localisées autour des impuretés présentes dans le matériau

II. Valorisation des sédiments dans une matrice cimentaire

II.4. Stabilisation des métaux lourds par la matrice

II.4.1. Mécanismes de stabilisation

Sorption – incorporation chimique – micro/macro encapsulation
(Chen et al., 2007 et Glasser, 1997)

- **Piégeage mécanique** : les métaux agissent comme centre de nucléation des hydrates (Murat et Sadok, 1990 ; Roy et al., 1992)
- **La précipitation** en hydroxydes, carbonates, silicates et sulfates
- **L'adsorption sur les C-S-H** : un phénomène réversible qui dépend du PH et de la surface spécifique des C-S-H
- **La substitution dans la structure des hydrates** : Ca/Cu ; Ca/Mg ; Ca/Zn

L'espèce la plus active en stabilisation des métaux est le gel des **C-S-H**. Les **sulfoaluminates** et les **aluminates de calcium** pourraient également jouer un rôle non négligeable (Giergiczny et Krol, 2008)

II.4. Stabilisation des métaux lourds par la matrice

II.4.2. lixiviation

Il s'agit d'un phénomène majoritairement contrôlé par la diffusion (Voglar et Lestan, 2010).

Fabrication d'une pâte de ciment: CEM I 52.5 R; E/C = 0.35

	Cd	Ni	Cu	Cr
[C0]	>2xN2*	>2xN2*	>2xN2*	>2xN2*
[C-lixiv] (µg/l)	< 0,2	< 4	< 5	< 2

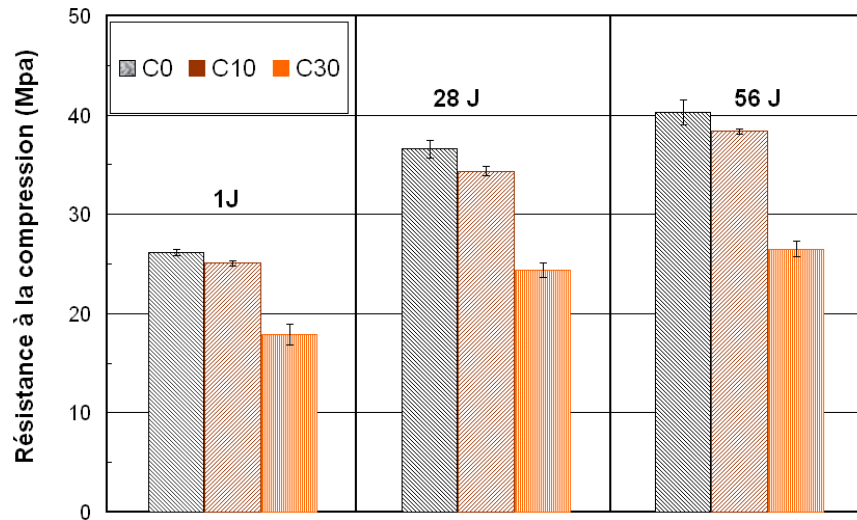
* Seuil établi par le groupe Geode

- L'absence de traces dans le lixiviat (essai sur monolithe ou **broyat**) nous laisse penser que le **piégeage** est plutôt **chimique**
- Malgré les **fortes concentrations** de métaux lourds, pour un taux de substitution de ciment, en sédiment, équivalent à 10 et 30 %, la **fixation** est \approx de **100 %**

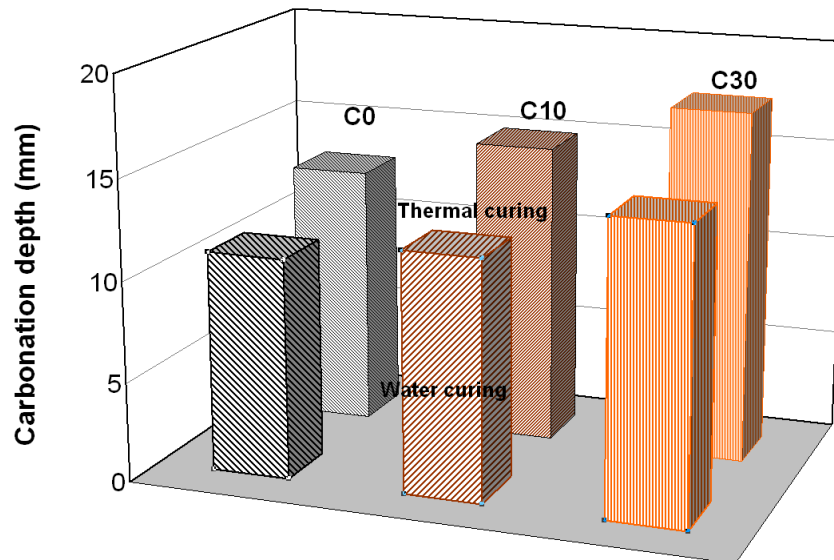


II. Valorisation des sédiments dans une matrice cimentaire

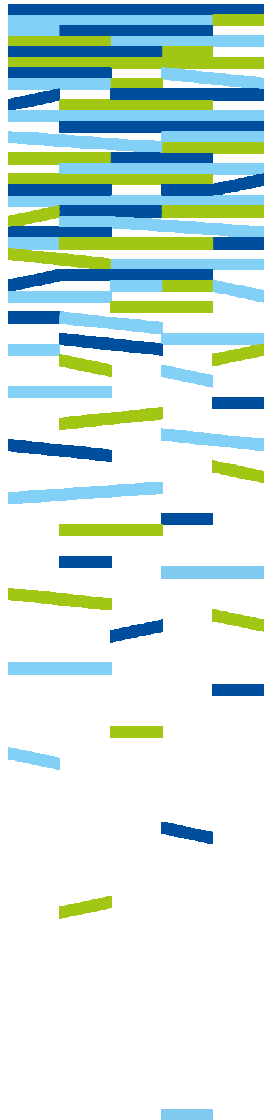
II.5. Exemple: béton à base de sédiments fins à 10 et 30%



- Une substitution à 10 % du ciment par des sédiments ne diminue que de 2 Mpa la résistance à la compression;
- A 30%, l'effet des sédiments sur la résistance à la compression est très remarquable



- Le béton C10 se carbonate plus rapidement que le C0 : plus riche en CaCO_3 ;
- Le traitement thermique augmente la porosité de l'échantillon ainsi que sa profondeur de carbonatation.



CONCLUSIONS

- **Rareté** des ressources minérales et un besoin grandissant en matériaux en île de France;
- Un volume annuel dragué de **55 000 m³** en région île de France;
- Une **gestion** « **assimilée** » à de la **valorisation**...mais proche du **stockage**

Une substitution à **10 %** du ciment par des sédiments semble être **optimale** : quantité non négligeable à valoriser sans pour autant affecter les propriétés de la matrice cimentaire (voire les améliorer)

La présence des traces de **métaux lourds** et de la **matière organique** a un **effet** direct sur l'**hydratation** : pour des taux de substitution faibles cet effet paraît négligeable

Une valorisation des sédiments fins dans les matériaux cimentaires est possible, à condition qu'ils soient propres et que leur taux ne dépasse pas 10 %. Leur légère activité permet de les utiliser au moins comme filler

MERCI DE VOTRE ATTENTION

pierre.delcour@vnf.fr

amor.ben-fraj@cerema.fr