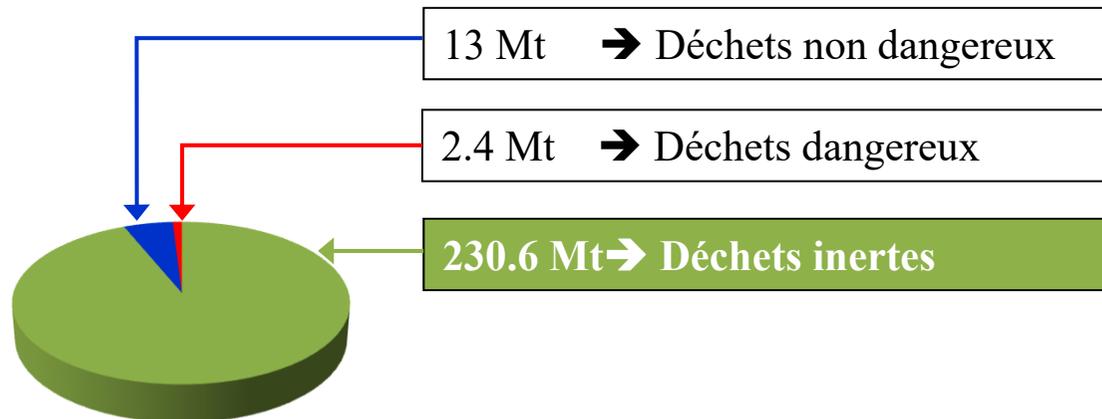


# Identification géotechnique et environnementale de sols urbains

Thomas Lenoir  
Université Gustave Eiffel

## Contexte des travaux

- **Epuisement des ressources en granulats naturels non renouvelables**
  - Milieu urbains → transport des matériaux de construction → accroissement des couts des projets
- **Accroissement de la production des déchets dans le domaine des Travaux Publics**
  - Déchets produits: 246 Mt en 2012 (Min. de l'Env<sup>t</sup>)



**Valorisation des déchets  
= une priorité**

**Est-il possible de valoriser les  
sols urbains excavés dans les  
ouvrages géotechniques ?**

## Quelques caractéristiques des sols urbains

### ▪ Présence de matériaux anthropiques → Composition complexe

- Produits de construction et de démolition  
→ Traces du renouvellement urbain et des événements Historiques (briques, éléments à base de béton, acier, plâtre, enrobés, ...)
- Sous-produits et co-produits industriels (laitiers de hauts fourneaux, produits d'incinération de déchets ménagers...)

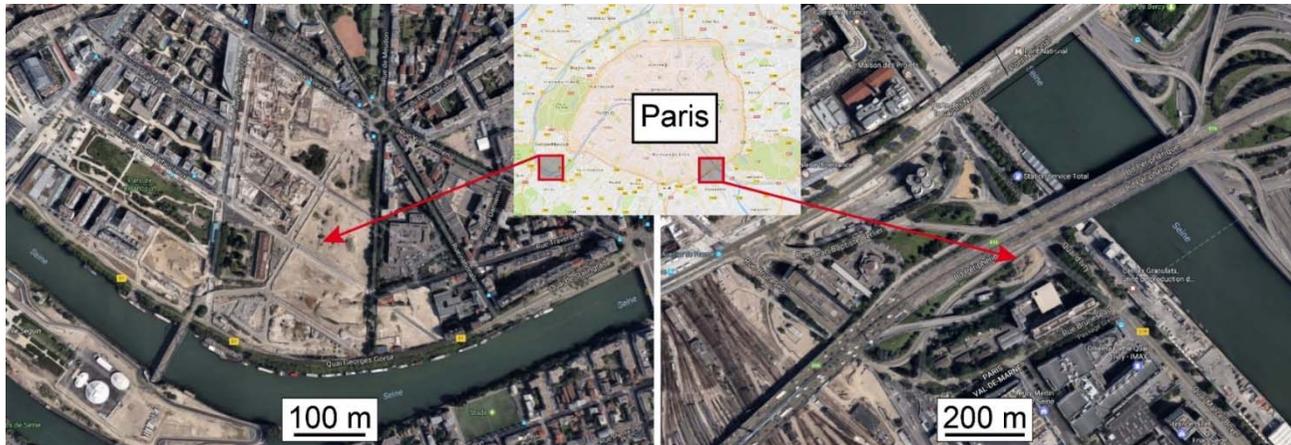


### ▪ Origine des pollutions multiples

- Sulfates → déchets de démolition et de construction = **PLATRE**
- Matières organiques dans les sols urbains →
  - carbone organique : HAP, matière végétale...
  - carbone inorg. : calcite (béton carbonaté)...
  - carbone technogène : scories, imbrulés...
- Eléments trace métalliques (Pb, Zn...)

**Peu de données sur les caractéristiques des sols urbains au-delà de 1m de profondeur concernés par les opérations de terrassement et les fondations**

## Matériaux étudiés: deux sols urbains de proche banlieue



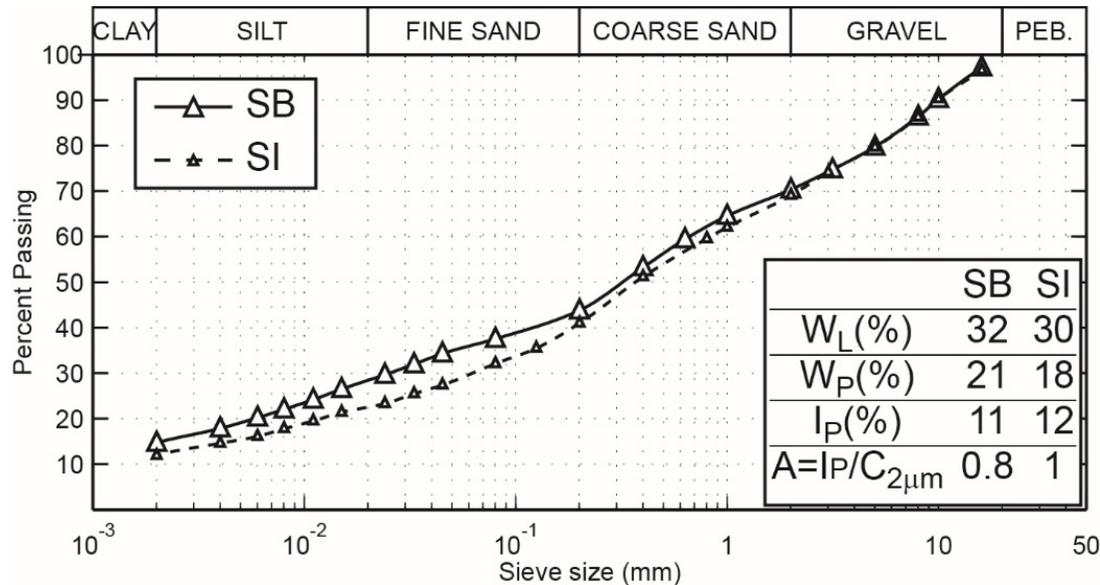
- **Origine géologique:** alluvions déposés par la Seine
- **Puis matériau de remblai pour protéger des inondations (matériaux de carrières, matériaux de démolitions)**

– **Origine anthropique**

- **SB: site des usines Renault**
- **SI: Remblai du périphérique parisien**

**Profondeur des prélèvements: entre 1.5 et 11 m**

# Caractéristiques géotechniques



Parameters	SB	SI
Org. Matter (%)	5.2±0,1	6.7±0,8
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.52±0.01	2.59±0.00

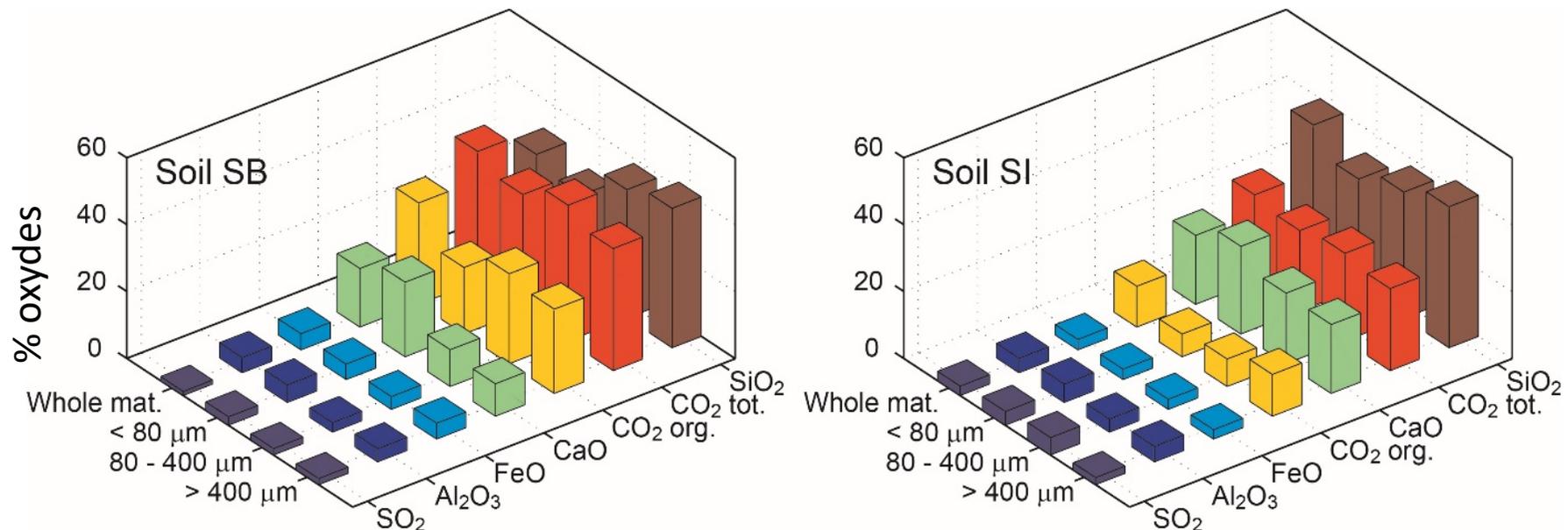
- Présence importante de matière organique
- Masse volumique faible

Classification française :  $C_1B_5 / C_1A_1$   
 Classification ASHTOO : A-6 / A-2-6  
 Classification USCS : SM / GM

Matériau grossier à la limite entre un sable et un gravier

Caractéristiques communes avec de nombreux autres sols urbains

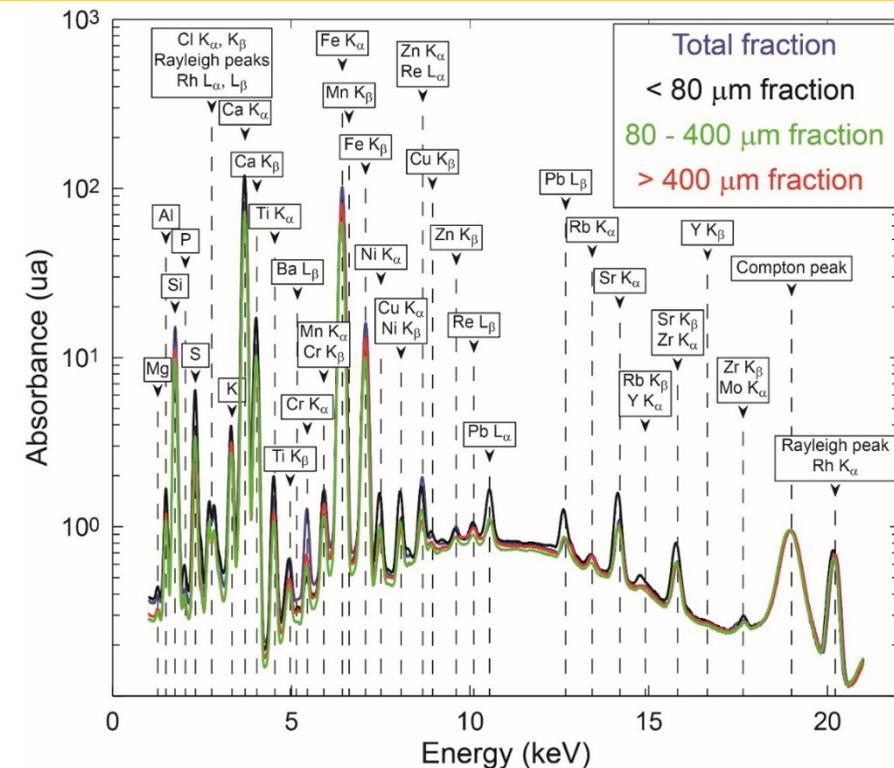
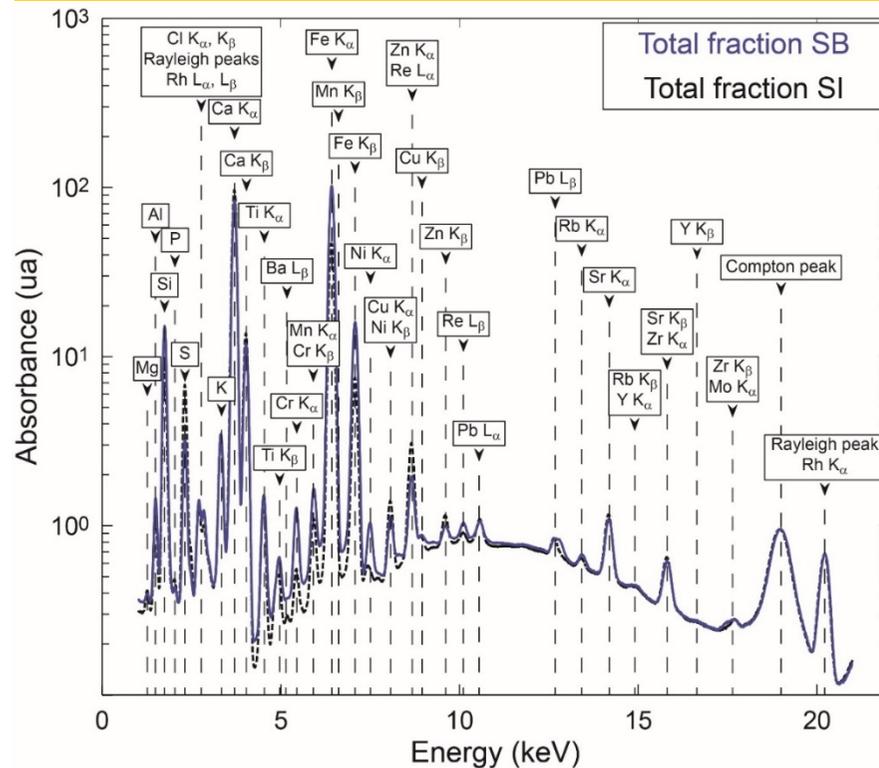
## Caractéristiques environnementales : éléments majeurs



- Faibles différences entre les fractions granulométriques des sols: marque d'un sol « jeune »
- Les quantités de silice et de carbone organique semblent être plus importantes dans la fraction grossière
- Les quantités de calcium et d'aluminium semblent être plus importantes dans la fraction fine

**Classement des éléments majeurs: Si, C, Ca, Fe, Al et S**  
**[Fe]>3500 mg/kg<sub>ms</sub> → marque d'une pollution d'origine anthropique**

## Caractéristiques environnementales : éléments mineurs



- Comme pour les éléments majeurs, faibles différences entre les fractions granulométriques des sols
- Les deux matériaux sont assez proches: de nombreux éléments métalliques

**D'où viennent les polluants?**

## Tri sur la fraction grossière (>4 mm)



Tri manuel



Brique



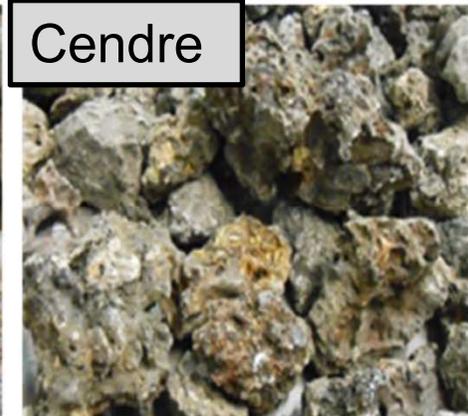
Béton



Gypse

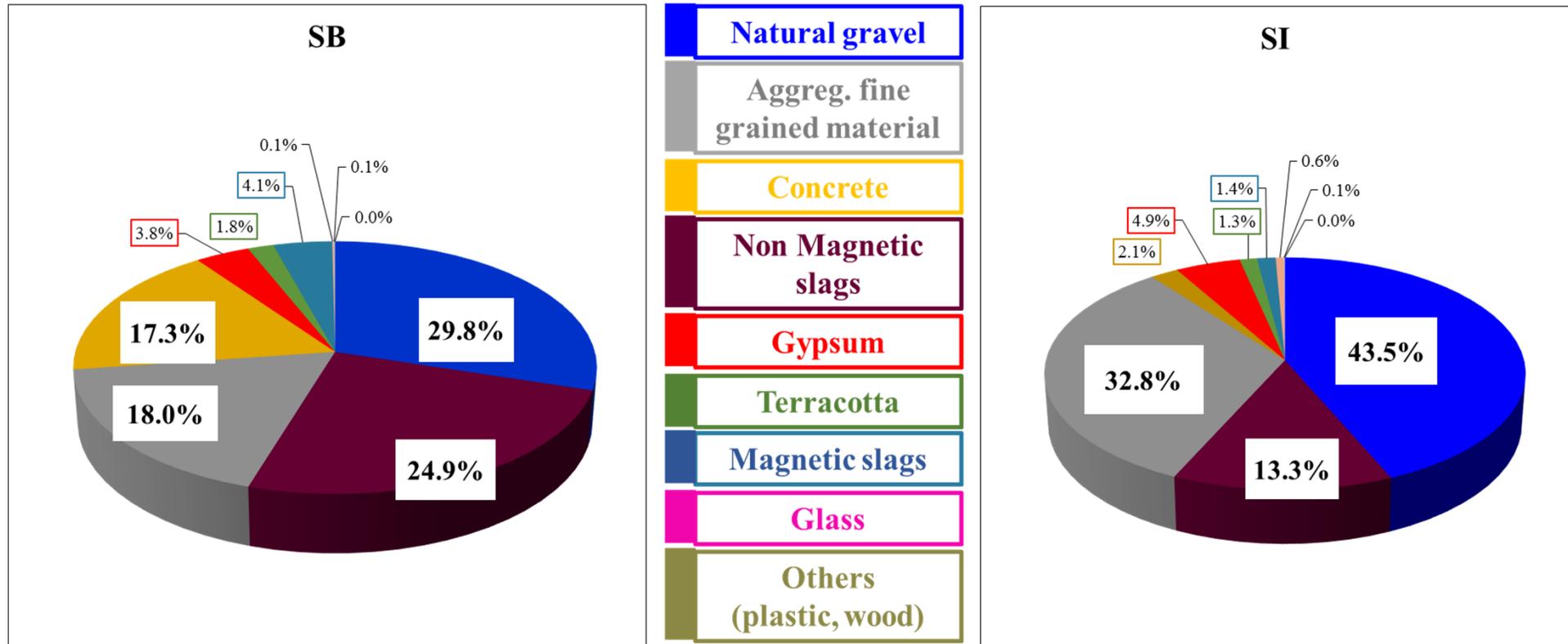


Cendre



**Sols urbains = mélange de matériaux naturels et anthropiques (artefacts)**

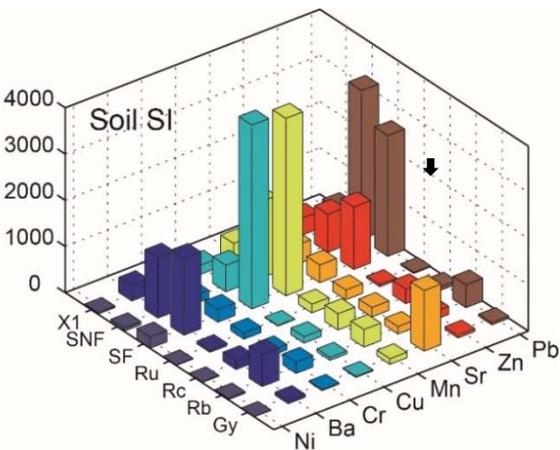
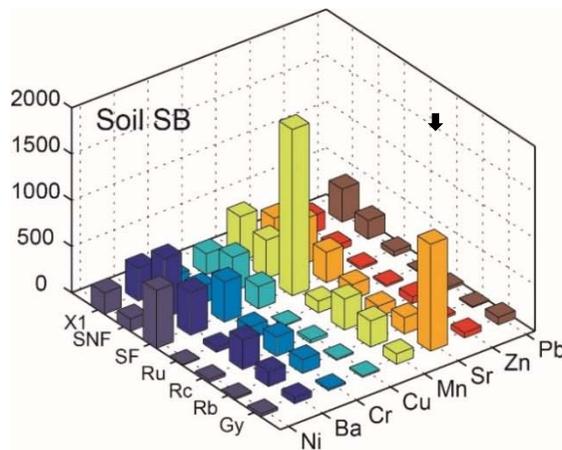
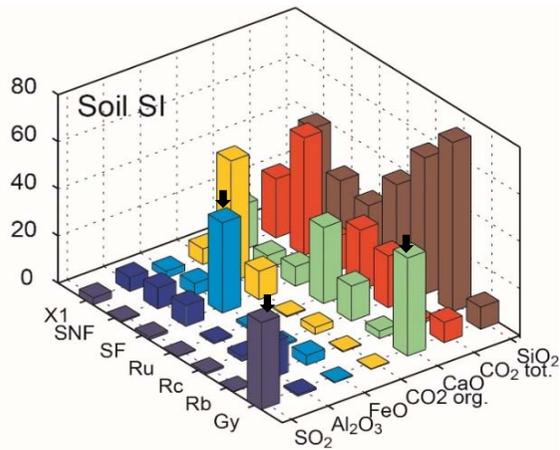
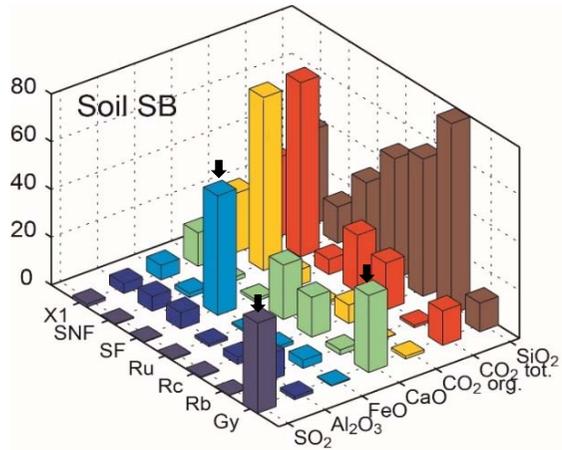
## Répartition des artefacts dans la fraction grossière (>4mm)



- **Artefacts prédominants: béton et cendres**
- **Dans SI: fraction naturelle importante / dans SB : fraction anthropique majoritaire**

**Quel est l'impact sur le comportement mécanique et environnemental?**

# Identification des sources polluantes



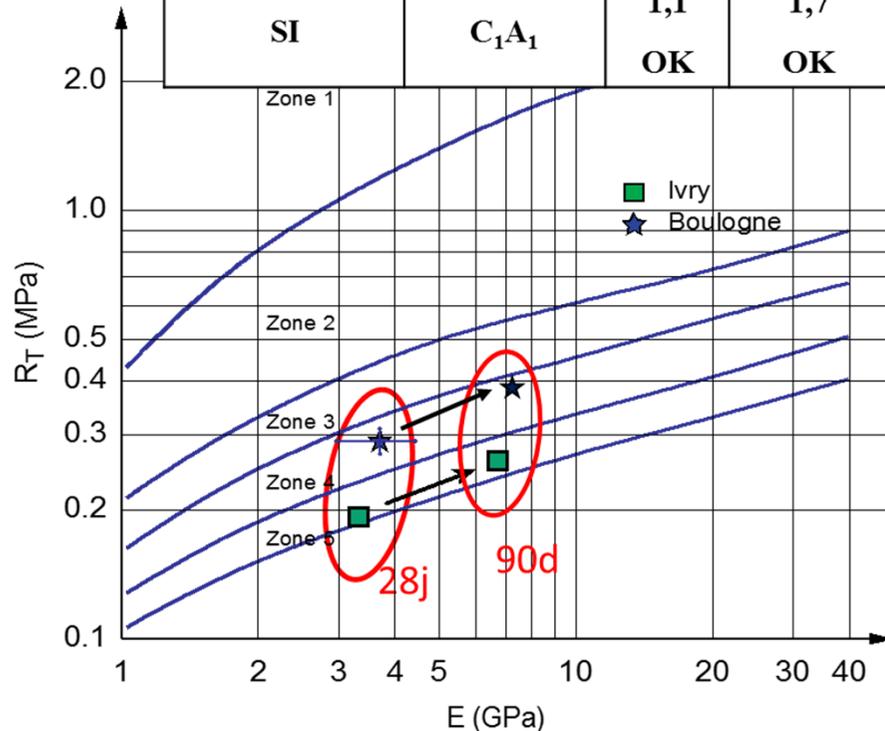
- $C_{org}$  se trouve sur les cendres non magnétiques
- $C_{inorg}$  dans  $R_u$  (roches) et  $R_c$  (béton)
- S est porté par  $G_y$  (gypse) + Ca  $\rightarrow CaSO_4$
- Fe est porté par les cendres magnétiques

- Sr est porté par  $G_y$   
 $\rightarrow$  origine naturelle
- X1 (matériau fin agrégé) = mélanges des autres matériaux

Les éléments métalliques et le  $C_{org}$  se retrouvent sur les cendres

# Utilisation des matériaux dans les structures routières: résultats mécaniques

	Class.	Cement treatment (5% CEM II)					Lime treatment (1%)
		$G_v$ (%)	$R_c$ (Mpa) 60 d	$R_c/R_{ci}$ 60 d	$R_{it}$ (Mpa) 28 d	$R_{it}$ (Mpa) 90 d	$G_v$ (%)
SB	$C_1B_5$	2,1 OK	2,6 OK	0,8 OK	0,29 OK	0,38 OK	5,6 >5
SI	$C_1A_1$	1,1 OK	1,7 OK	0,8 OK	0,18 < 0.2	0,27 OK	2,4 OK



- Malgré la présence importante de soufre  
→ pas ou peu de gonflement volumique
- Meilleures performances pour SB:  
→ peut être dues aux éléments de béton

**Les seuils d'acceptation mécaniques sont dépassés**

## Utilisation des matériaux dans les structures routières: validation environnementale

Elements	SB eluates		SI eluates		VL ISDI****	VL ISDND****	VL <sub>1</sub> *	VL <sub>2</sub> **
	Moyenne mg/kg	σ	Moyenne mg/kg	σ				
Zn	0,0134	0,007	0,026	0,006	4	50	12	50
Cr	0,029	0,0035	0,0058	0,00066	0,5	10	1,5	10
Sr	19,4	1,5	34,9	3,2	--	--	--	--
Ba	0,28	0,01	0,37	0,02	20	100	60	100
Cu	0,198	0,044	0,145	0,015	2	50	6	50
Pb	0,0031	0,0012	0,0028	0,0013	0,5	10	1,5	10
Ni	0,12	0,025	<(0,1)	--	0,4	10	1,2	10
V	0,10	0,006	0,022	0,0028	--	--	--	--
Mo	0,11	0,046	0,28	0,17	0,5	10	1,5	10
As	0,066	0,0049	0,043	0,0026	0,5	2	1,5	2
Co	<(0,002)	--	<(0,002)	--	--	--	--	--
Cd	<(0,1)	--	<(0,1)	--	0,04	1	0,12	1
Sb	<b>0,32</b>	0,20	<b>0,60</b>	0,41	<b>0,06</b>	<b>0,7</b>	<b>0,18</b>	<b>0,7</b>
Se	<<(0,002)	--	0,16	0,13	0,1	0,5	0,3	0,5
Sulfates	<b>12916,4</b>	1316	<b>10657,6</b>	2245	<b>1000</b>	<b>20000</b>	<b>3000</b>	<b>20000</b>
Fluorures	1,72	0,45	<b>16,26</b>	12,12	<b>10</b>	<b>150</b>	<b>30</b>	<b>150</b>
Chlorure	138,8	126,8	74,4	24,7	800	15000	2400	15000
C <sub>org</sub> % sol	<b>92 600</b>	//	<b>33 800</b>	//	<b>30000</b>	<b>50 000</b>	<b>60 000</b>	<b>60 000</b>
C <sub>org</sub> % éluat	Non réalisé	//	Non réalisé	//	500	800	--	--
pH	9,56	0,2	8,31	0,13	--	--	--	--
Conduc.(μS/cm)	2164	39	2262,9	6,6	--	--	--	--

Lixiviation (NF EN 12457-2) avec L/S=10L/kg.

\*VL SETRA guide techn. Sur les matériaux alternatifs utilisation en techn. routière;

\*\* VL SETRA guide techn. Sur les matériaux alternatifs pas d'utilisation;

\*\*\*valeurs limites : ISDI: déchets inertes ISDND: déchets non dangereux;

**Des éléments au dessus des seuils « Déchets Inertes » : S, F, antimoine, C<sub>org</sub>**

## Conclusions

- **Les sols urbains étudiés présentent des caractéristiques similaires:**
  - **Mélange de matériaux naturels et de déchets (CDW)**
  - **Matériaux grossiers**
  - **Matériaux avec une forte teneur en carbone: le carbone provient des cendres**
- **Les matériaux étudiés sont acceptables d'un point de vue mécanique pour une utilisation en technique routière :**
  - **En particulier ils peuvent être traités malgré une concentration importante en soufre**
- **D'un point de vue environnemental, les matériaux ne peuvent être considérés comme inertes:**
  - **Principalement à cause de la teneur en carbone**

**Quel est l'impact des opérations géotechniques sur la mobilité des polluants?**



# Merci de votre attention

**Thomas Lenoir**  
**Université Gustave Eiffel – Campus de Nantes**  
**Allée des Ponts et Chaussées – Route de Bouaye**  
**44340 BOUGUENAIS**  
**[thomas.lenoir@univ-eiffel.fr](mailto:thomas.lenoir@univ-eiffel.fr)**  
**Tel: 02 40 84 57 85**