

# Programme de définition d'un référentiel du sous-sol de Lille Métropole à partir du référentiel pédogéochimique régional Nord-Pas de Calais



Christine LAFEUILLE

Directrice adjointe Stratégie et opérations foncières  
Responsable de l'unité fonctionnelle Stratégie foncière



Jean-Remi MOSSMANN

Chef de Projets  
BRGM-HDF

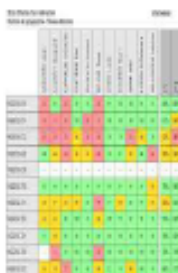
# PLAN de l'INTERVENTION

- Contexte de l'étude
- Démarche suivie
- Résultats
- Débat

# LES CONVENTIONS ET LA CONVENTION CADRE 2016-2019



2013 : convention de recherche afin de mettre en place un programme de consolidation et de formalisation scientifique et techniques des outils méthodologiques disponibles pour la réalisation d'études de sols potentiellement pollués sur le territoire anciennement industriel.



2014 la mise en place d'une convention portant sur un programme de définition d'un référentiel du sous-sol de Lille Métropole à partir du référentiel pédogéochimique régional Nord-Pas-de-Calais (RPG).



2015, mise en place d'une convention-cadre pluriannuelle de R & D partagés entre la MEL et le BRGM pour la réalisation d'actions de service public et de recherche relative à la connaissance et à la gestion du sol et du sous-sol de la MEL pour une durée de 3 ans (2016-2019).

## FICHES METHODOLOGIQUES

RP-63415-FR

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63415-FR.pdf>

## REFERENTIEL EXPERIMENTAL GEOCHIMIQUE

RP-65145-FR

1. Consolidation et représentation de la connaissance du sol et du sous-sol de la MEL
2. l'expertise et le conseil liés aux risques du sol et du sous-sol de la MEL



2 Thématiques

# CONTEXTE : une démarche volontaire de la MEL

Délibération cadre « Des friches industrielles polluées à la régénération urbaine » (01/07/2011)



**Le recyclage responsable des friches industrielles**  
(rapport mission politique communautaire friches industrielles et pollutions historiques (juin 2010))

**Apprécier les résultats des études** et les conséquences pour les usagers des sites et pour les porteurs de projets dans la mise en œuvre de la méthodologie nationale dans les projets de renouvellement urbain : revue critique.



# 12 Fiches thématiques

## • 7. La définition d'un référentiel spécifique

Fiche N°7

### LA DEFINITION D'UN REFERENTIEL SPECIFIQUE POUR LES SOLS

#### 1. DEFINITION/OBJECTIFS

Les données analytiques obtenues lors d'un diagnostic doivent être replacées dans un contexte tangible pour procéder à une interprétation réaliste de l'état des milieux dans son environnement proche. Pour cela, elles peuvent être comparées à des valeurs de gestion, ou valeurs de référence (voir fiche « Valeurs de gestion »).

Il y a deux types de valeurs de gestion :

1. les valeurs réglementaires, lorsqu'elles existent, qui définissent un usage sans risque des milieux pour la population générale, qui sont des valeurs génériques valables pour l'ensemble du territoire. Les valeurs réglementaires sont produites par les pouvoirs publics.
2. les référentiels spécifiques, utilisés en l'absence de valeurs réglementaires, et qui sont définies spécifiquement pour répondre au problème posé. En particulier, le recours à un référentiel spécifique est indispensable pour évaluer le milieu sol dans tous les cas, et les autres milieux quand on ne dispose pas de critères réglementaires.

En ce qui concerne le territoire de Lille Métropole, et en attente d'un référentiel plus spécifique, on utilisera en priorité le référentiel gédo-géochimique du Nord-Pas de Calais.

# Utilisation du RPG

# CONSTATS



- Quelles valeurs du RPG
  - Moyenne (s)
  - Maxi (s)
  - Mini (s)
  - ...
- Pourquoi se référer à des sols sélectionnés comme « non anthropisés » pour caractériser le milieu urbain ?

**Les « sols » urbains sont anthropisés par les activités humaines : jusqu'à quel point ?**

## Peut-on « dégrader » le RPG ?

→ **NON !**



# PROBLEMATIQUE

La réurbanisation de friches urbaines – polluées ou non – se traduit toujours par des mouvements de terres

-- Exportation



-- Importation







**Que deviennent les terres exportées ?  
D'où proviennent les terres importées ?  
Comment garantir leur qualité ?**



# La question posée

*Ces terres sont-elles  
normales ?*



# Quelle est la qualité « normale » des terres excavées en milieu urbain ?

- Lien avec la géologie du substratum
- Dégradations par les activités urbaines
  - Industrielle
  - Automobile
  - Chauffage
  - Domestique
  - ...







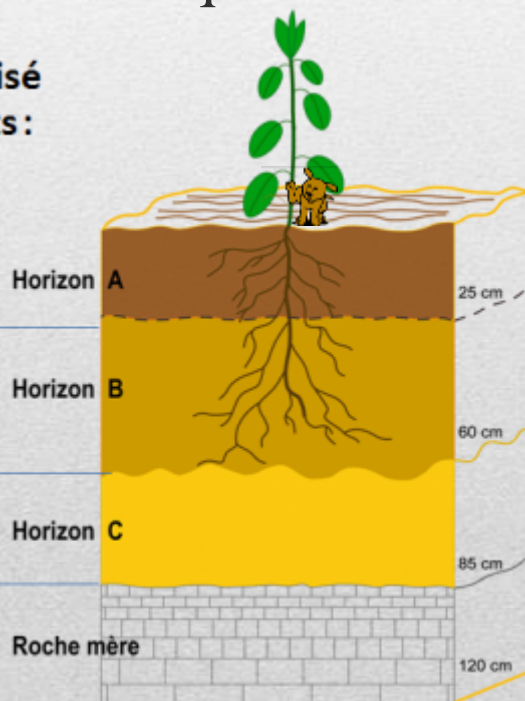
# DEMARCHE SUIVIE

- Pas d'approche « scientifique »

Chaque horizon est caractérisé  
par des processus dominants :

Humification  
Minéralisation  
Appauvrissement  
Structuration  
Accumulation  
Néoformation  
Décarbonatation  
Altération

Altération  
Désagrégation



**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**





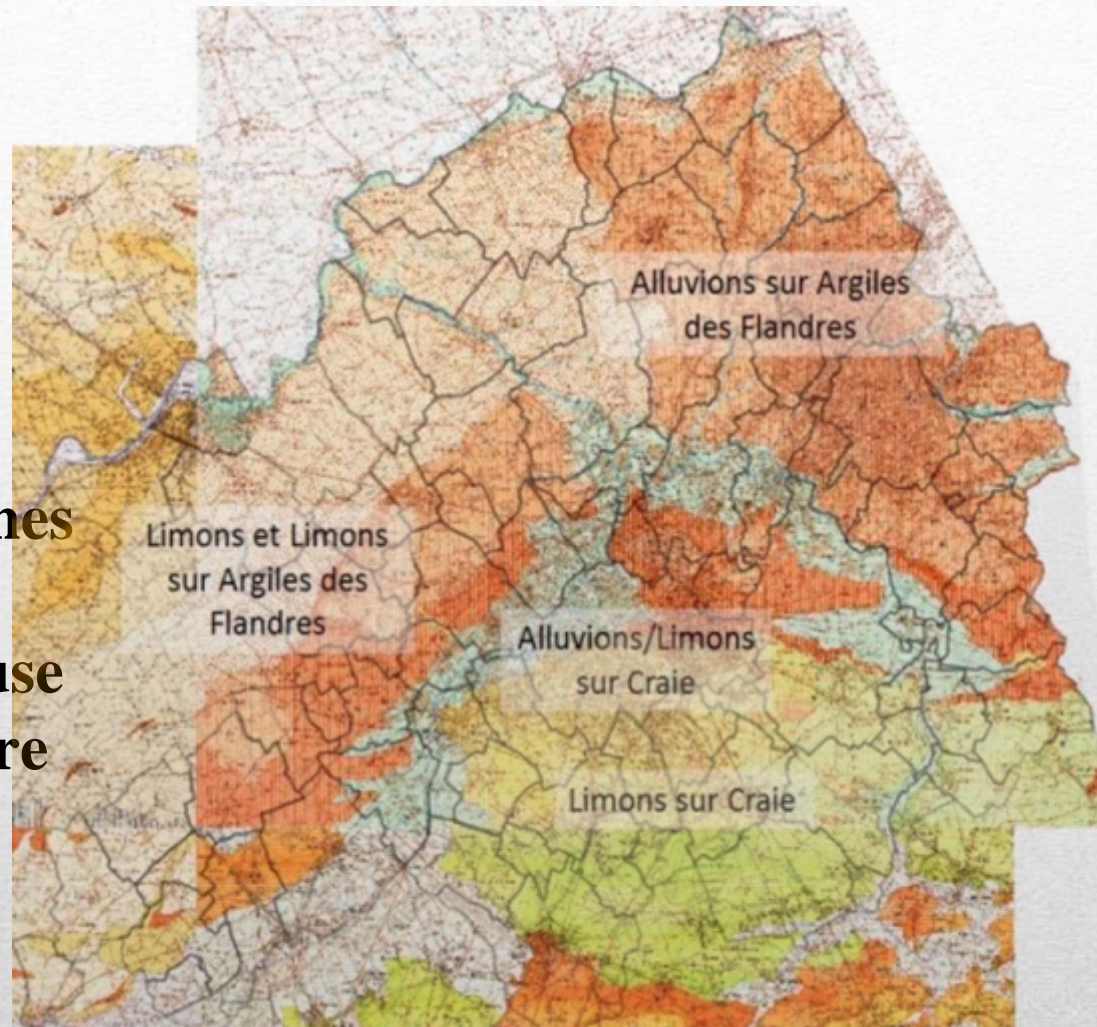
# DEMARCHE SUIVIE

- Une approche statistique a été tentée
  - → hypothèses simplificatrices : modèle
  - → biais plus ou moins bien contrôlés : « *Les statistiques c'est comme le bikini : ce qu'elles dévoilent est fort intéressant, mais ce qu'elles cachent l'est davantage* ».
- On veut décrire (# composition chimique) un objet (# terres excavées sur le territoire de la MEL) : Réduire le substratum de la MEL à un objet unique ?

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**



- **Alluvions fluviales récentes**
- **Alluvions tardiglaciaires**
- **Limons lœssiques**
- **Limons sableux lœssiques**
- **Matériaux complexes des plaines basses**
- **Matériaux à dominante sableuse issus de formations du Tertiaire**
- **Argiles du Tertiaire**



**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**



## REGION DE LILLE (code RPG : LIL)

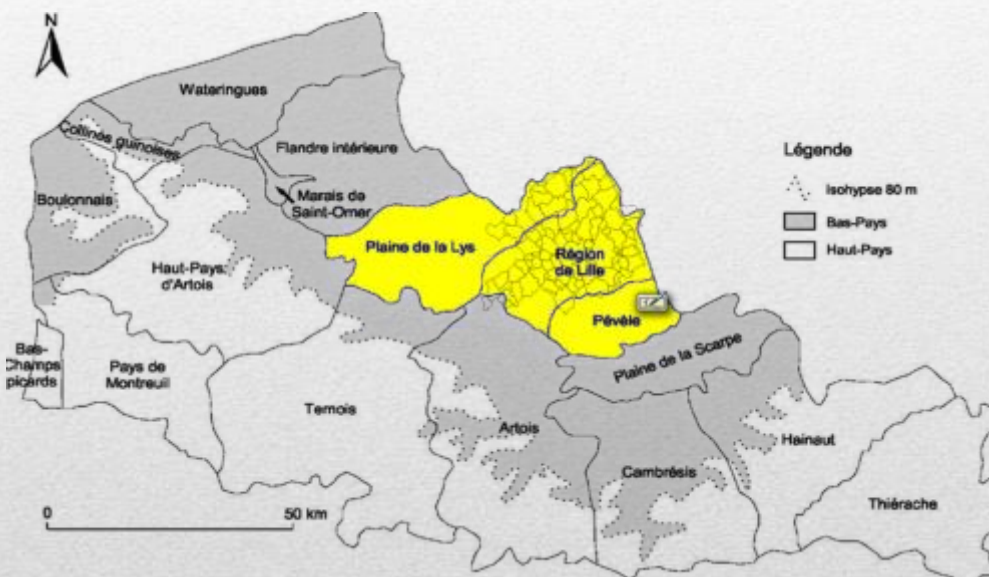
- Limons lœssiques
- Limons sableux lœssiques
- Matériaux complexes des plaines basses
- Matériaux à dominante sableuse issus de formations du Tertiaire
- Argiles du Tertiaire

## PLAINE DE LA LYS (Code RPG : LYS)

- Alluvions fluviales récentes
- Alluvions tardiglaciaires
- Limons sableux lœssiques
- Matériaux complexes des plaines basses
- Matériaux à dominante sableuse issus de formations du Tertiaire

## PEVELE (Code RPG : PEV)

- Limons lœssiques
- Limons sableux lœssiques
- Matériaux à dominante sableuse issus de formations du Tertiaire
- Argiles du Tertiaire
- Marnes du Crétacé moyen



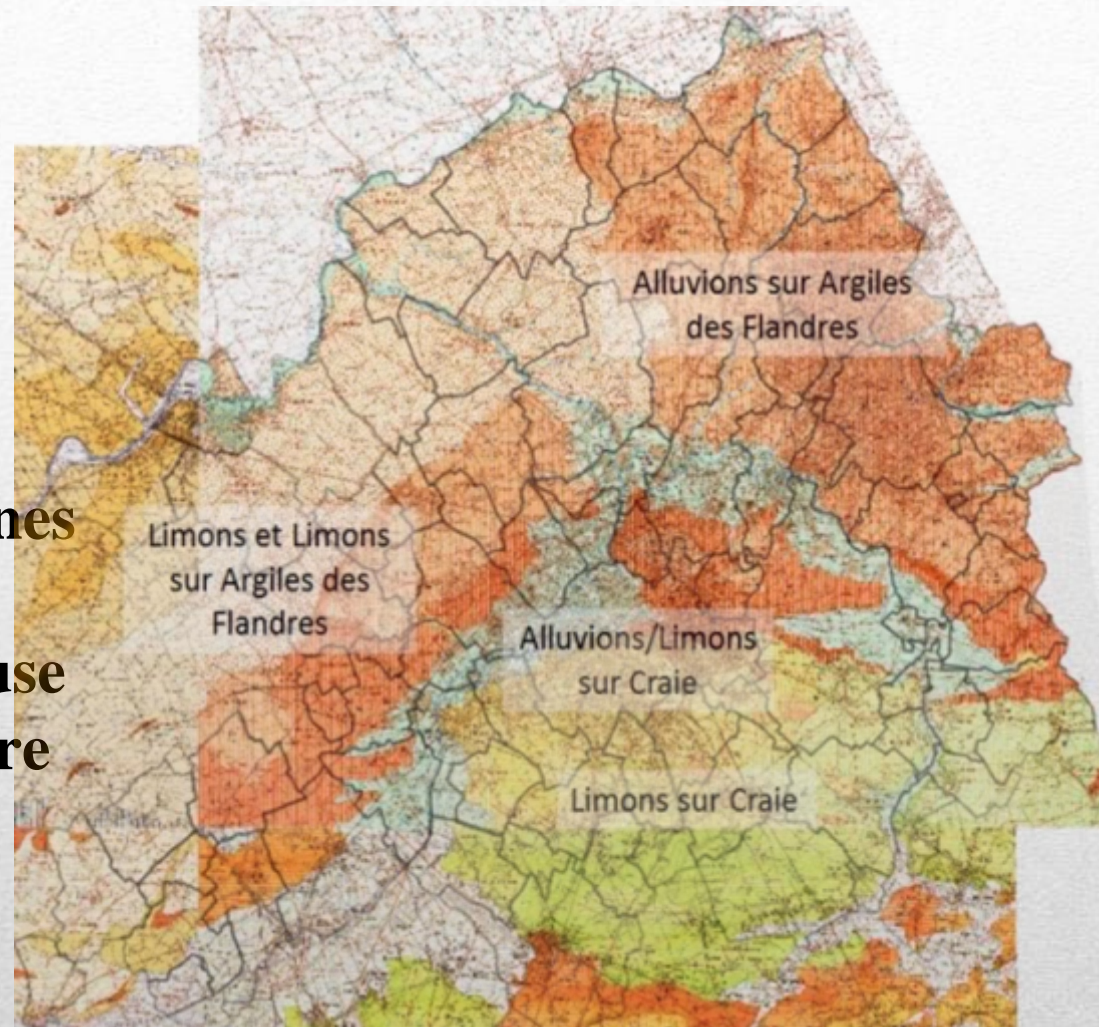
**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**



# Relativement bonne stabilité des parapmètres tant qu'on reste dans les formations argilo-sableuses du tertiaire et du quaternaire

	Alluvions fluviales récentes	Alluvions des plaines de la Lys	Limons loessiques	Limons sableux loessiques	Argiles tertiaires	Matériaux à dominante sableuse	Matériaux complexes des plaines basses	Marnes crétacé moyen
As	7,7	8,2	9,6	9,4	10,6	7,1	5,9	4,7
Bi	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Cd	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
Co	8,5	11,6	9,4	7,6	14,2	7,6	5,8	8,2
Cr	48,9	65,9	58,4	47,4	91,4	66,8	41,3	38,3
Cu	15,1	15,4	14,2	12,2	17,1	11,4	10	8,7
Hg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	0,1	0,03
In	0,04	0,05	0,04	0,03	0,1	0,03	0,04	0,03
Mn	467,3	446,8	507,3	392,1	248,5	214	185,5	572,1
Mo	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,3
Ni	17,4	27,8	22,4	15,7	31,5	16	12	17
Pb	40,6	29,5	31,4	31,4	30,2	16,4	51,3	16,3
Sb	0,9	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	1	0,4
Se	1,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,2
Sn	2,3	2,2	2,3	1,7	2,8	1,4	1,5	1,5
Tl	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3
V	53,6	82,1	65	50,6	117,8	73,3	43,2	52,5
Zn	66,7	72,7	55,8	53,8	84,9	47,3	52,3	48,6

- **Alluvions fluviales récentes**
- **Alluvions tardiglaciaires**
- **Limons lœssiques**
- **Limons sableux lœssiques**
- **Matériaux complexes des plaines basses**
- **Matériaux à dominante sableuse issus de formations du Tertiaire**
- **Argiles du Tertiaire**



**On veut donc décrire des « terres excavées des formations argilo-sableuses du tertiaire et du quaternaire »**

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**





# DEMARCHE SUIVIE

Plusieurs mesures d'une même quantité donnent en général des résultats différents, quoique voisins : la question est de déterminer la "vraie" valeur ou du moins la "meilleure" valeur.

Dans le cas idéal, la somme des écarts positifs est égale à la somme des écarts négatifs, et la somme des carrés des écarts doit être la plus petite possible : Gauss obtient une "loi des erreurs" qui correspond à ce qui s'appelle maintenant une loi normale.

On suppose qu'on mesure (# analyse) de façon aléatoire, indépendante et répétitive un objet unique (# formations argilo-sableuses du tertiaire et du quaternaire)

Comment mesurer ?

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**







# DEMARCHE SUIVIE

Trois approches :

1→ échantillonner spécifiquement ces formations argilo-sableuses du tertiaire et du quaternaire en place en milieu urbain



2→ échantillonner de façon systématique (maillage +/- serré selon les moyens) les terres urbaines superficielles

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**





**3→ utiliser les échantillonnages/analyses effectués par les BE lors de diagnostics**

**Dans les données  
publiées, il y a des terres  
« polluées » mais aussi  
des terres « non  
polluées » - et parfois,  
beaucoup**

→ **Risque de biais :**  
nature des études,  
informations sur les  
objets analysés...



Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**



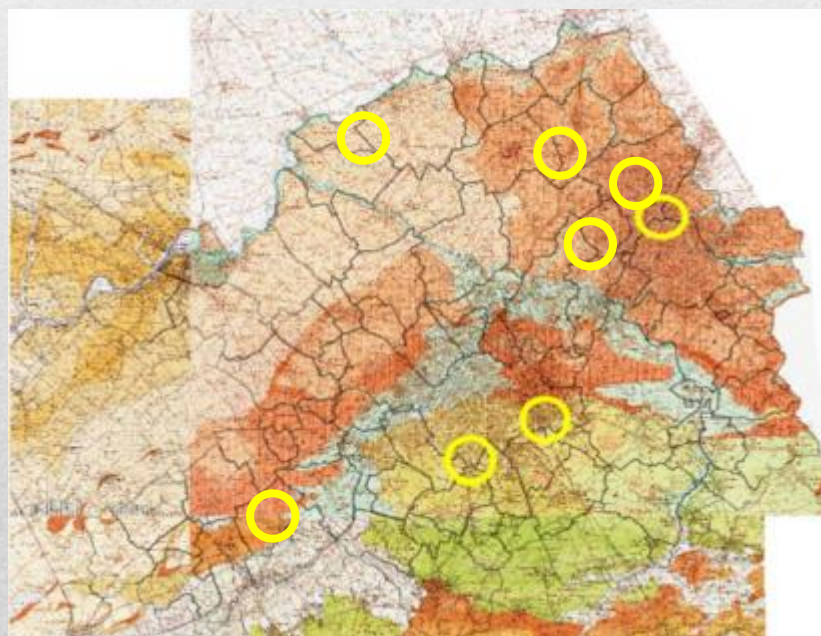


# DEMARCHE SUIVIE

**Un objet : formations argilo-sableuses du tertiaire et du quaternaire homogène sur le territoire**

**Caractère à définir (#mesurande) : composition chimique**

**Données analytiques (#valeurs mesurées) : analyses chimiques de l'objet**



Utilisation des données ?

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**



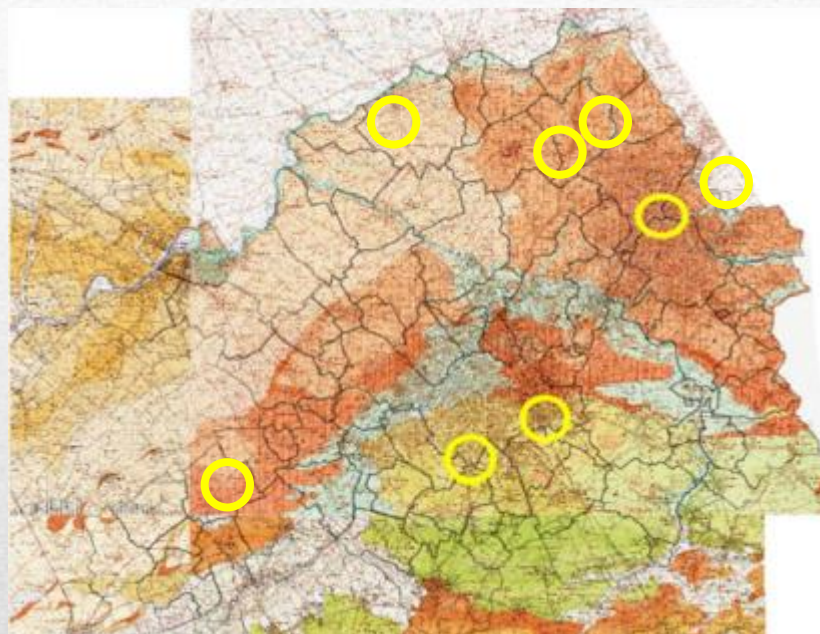


# DEMARCHE SUIVIE

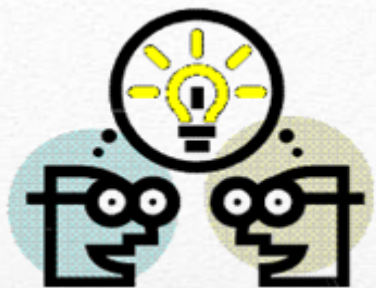
Extraction à partir de différentes études :  
(8 pour le moment)  
72 paramètres, environ 10000 valeurs



Il faut trier tout ça

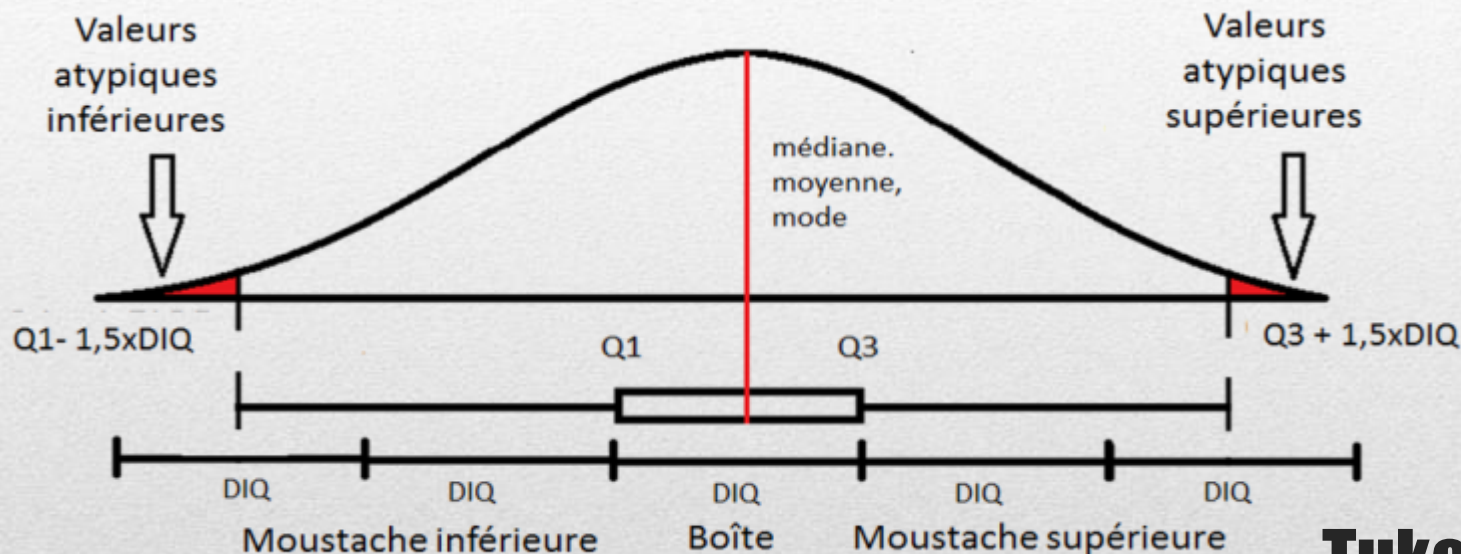


**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**



# DEMARCHE SUIVIE

## Elimination des valeurs aberrantes



**Tukey, 1977**

Choix de la méthode cf Songwon Seo (2002)

- *Review and Comparison of Methods for Detecting Outliers in Univariate Data Sets. Mémoire MSc, BS, Kyunghee University, 2002, 59p*

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**





# DEMARCHE SUIVIE

Elimination des valeurs aberrantes

**Pour chaque site :**

- Données initiales (en Log)
  - élimination des valeurs aberrantes (Tukey)
    - modification des quartiles / écart-types
    - élimination des valeurs aberrantes

...

**Jusqu'à plus de valeurs aberrantes**

---

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**

Plomb	Original : 169	Ajusté : 117
Mini	5.87	5.87
1er quartile	19.50	14.70
<b>Médiane</b>	<b>46.10</b>	<b>30.00</b>
Moyenne	89.45	36.21
3° quartile	130.00	45.30
Maxi	430.00	90.00
Distance interquartile	110.50	30.60
Ecart-type	96.09	23.50
Nombre de valeurs	169	117
Nombre de données éliminées : 52 soit : 30.77%		





# DEMARCHE SUIVIE

A l'issue du processus

8 descripteurs différents de l'objet

---

Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?



	1	2	3	4	5	6	7	8	
Arsenic	6.1	10.5	5.2	5.7	6.7	7	10.23	6.85	Q1
	6.8	13.7	6.4	14	7.1	8	15.22	7.95	Q2
	7	16.9	7.6	22.3	7.5	9	20.21	8.7	Q3
Cadmium	0.11	0.99	0.1	0.1	0.2	0.17		0.31	Q1
	0.12	1	0.13	0.1	0.2	0.29		0.4	Q2
	0.12	1.01	0.16	0.1	0.2	0.4		0.5	Q3
Chrome	35.5	19.7	16	14.5	25.25	29	27.6	24	Q1
	38.5	21.15	18	23	27	31	30.2	27	Q2
	41.5	22.6	20	31.5	28.75	33	32.8	30	Q3
Cuivre	10.13	56.1	22.5	32	13	11.25	22.1	20.75	Q1
	11.5	62.1	28	72	14	22	26.1	25	Q2
	12.88	68.1	33.5	112	15	32.75	30.1	29.25	Q3
Mercure	0.5	0.14	0.13	0.05	0.5	0.2	0.2	0.09	Q1
	0.5	0.24	0.29	0.1	0.05	0.2	0.2	0.1	Q2
	0.5	0.34	0.45	0.15	0.05	0.2	0.2	0.1	Q3
Nickel	26	17.95	12	16.5	34	17	11.7	17	Q1
	26	20.1	13	24	35	20	11.8	19	Q2
	26	22.25	14	31.5	36	23	11.9	21	Q3
Plomb	14.5	95.2	69.75	49	12	12	74	66	Q1
	15.5	160	73.5	160	13	12	87.8	140	Q2
	16.5	224	77.25	271	14	12	101.6	227.5	Q3
Zinc	40	102	69	33.35	70.5	39	167	70	Q1
	40	208	83	43.6	71	42.3	182	86	Q2
	40	314	97	53.85	71.5	45.6	197	100	Q3



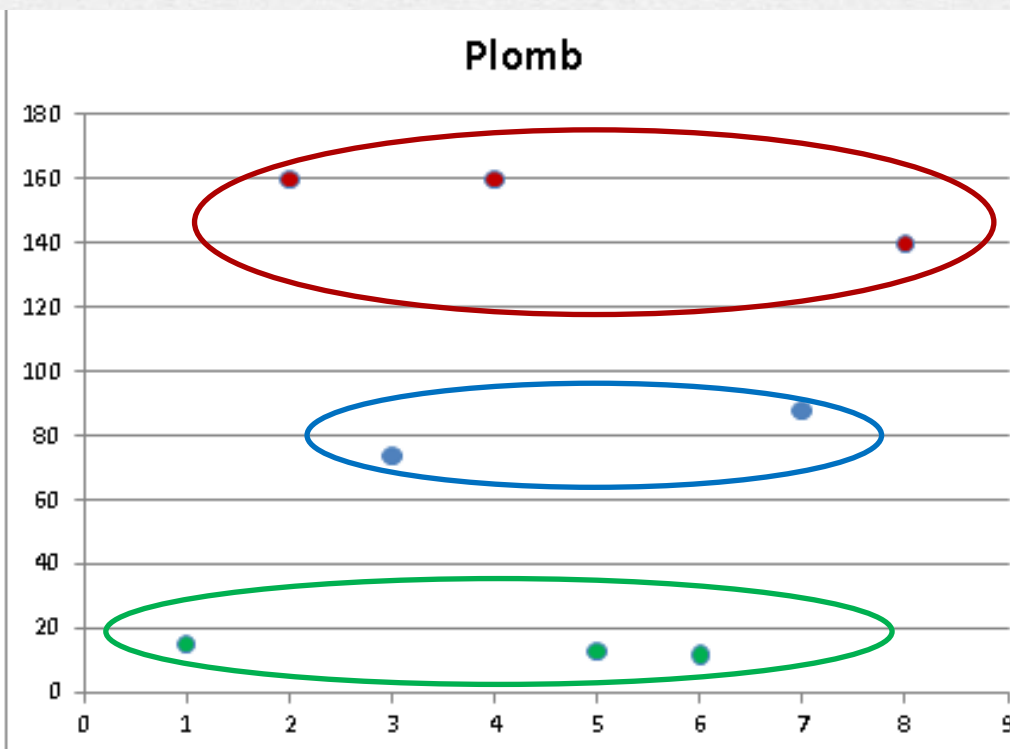
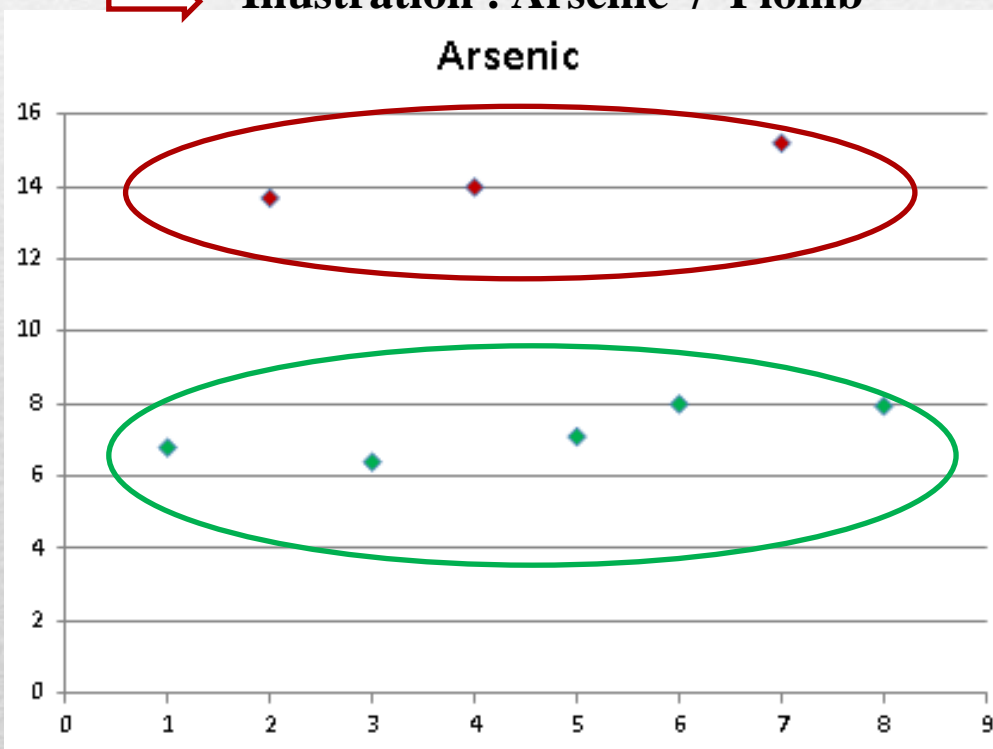


# DEMARCHE SUIVIE

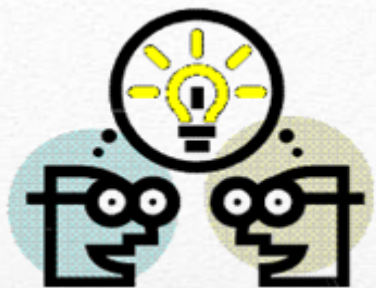
A l'issue du processus

## 8 descripteurs différents de l'objet

➡ Illustration : Arsenic / Plomb



**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**

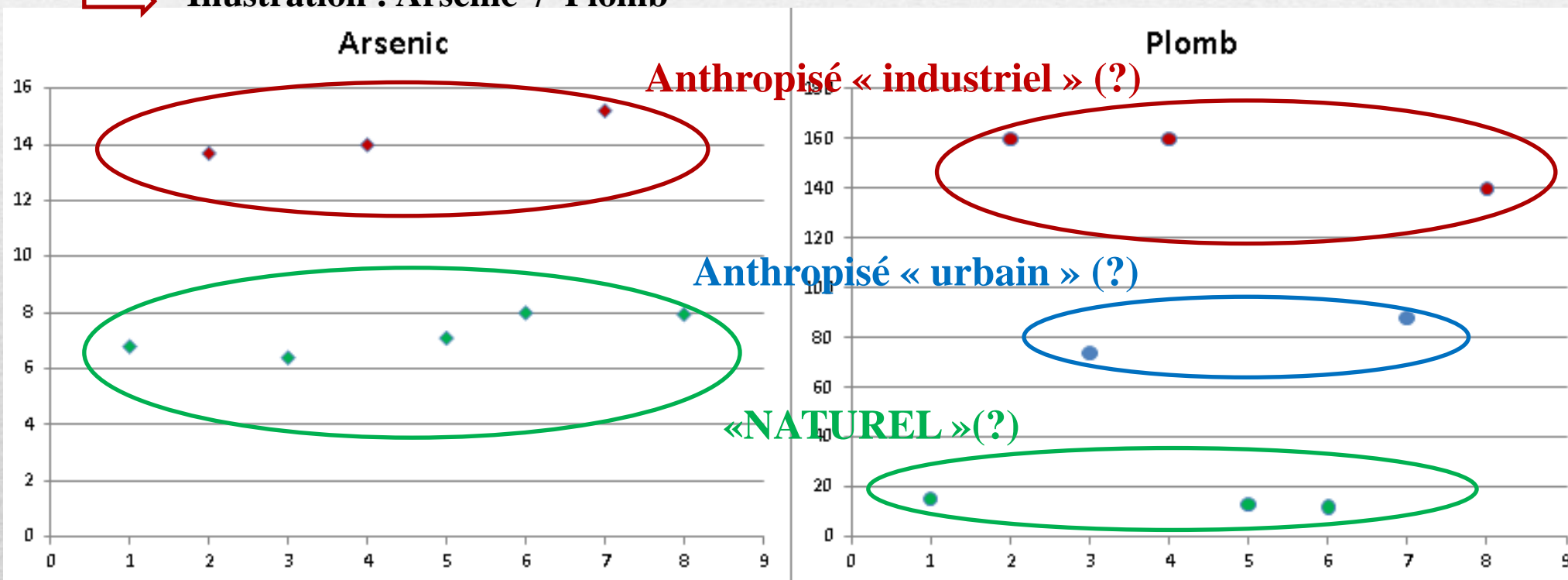


# DEMARCHE SUIVIE

A l'issue du processus

## 8 descripteurs différents de l'objet

➡ Illustration : Arsenic / Plomb



Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?





# DEMARCHE SUIVIE

A l'issue du processus

**Une répartition des valeurs qui semble prendre en compte l'existence de 3 caractères :**

**un caractère « naturel »**

**un caractère anthropisé « banal » (ou « urbain »)**

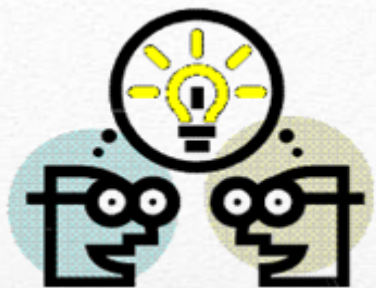
**un caractère anthropisé « industriel »**



Comment cela se traduit-il au niveau de la restitution de la composition de la formation argilo-sableuse du tertiaire et du quaternaire

**Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?**





# DEMARCHE SUIVIE

A l'issue du processus

## 8 descripteurs différents de l'objet

	1	2	3	4	5	6	7	8	
Arsenic	6.1	10.5	5.2	5.7	6.7	7	10.23	6.85	01
	6.8	13.7	6.4	14	7.1	8	15.22	7.95	02
	7	16.9	7.6	22.3	7.5	9	20.21	8.7	03
Cadmium	0.11	0.99	0.1	0.1	0.2	0.17		0.31	01
	0.12	1	0.13	0.1	0.2	0.29		0.4	02
	0.12	1.01	0.16	0.1	0.2	0.4		0.5	03
Chrome	35.5	19.7	16	14.5	25.25	29	27.6	24	01
	38.5	21.15	18	23	27	31	30.2	27	02
	41.5	22.6	20	31.5	28.75	33	32.8	30	03
Cuivre	10.13	56.1	22.5	32	13	11.25	22.1	20.75	01
	11.5	62.1	28	72	14	22	26.1	25	02
	12.88	68.1	33.5	112	15	32.75	30.1	29.25	03
Mercure	0.5	0.14	0.13	0.05	0.5	0.2	0.2	0.09	01
	0.5	0.24	0.29	0.1	0.05	0.2	0.2	0.1	02
	0.5	0.34	0.45	0.15	0.05	0.2	0.2	0.1	03
Nickel	26	17.95	12	16.5	34	17	11.7	17	01
	26	20.1	13	24	35	20	11.8	19	02
	26	22.25	14	31.5	36	23	11.9	21	03
Plomb	14.5	95.2	69.75	49	12	12	74	66	01
	15.5	160	73.5	160	13	12	87.8	140	02
	16.5	224	77.25	271	14	12	101.6	227.5	03
Zinc	40	102	69	33.35	70.5	39	167	70	01
	40	208	83	43.6	71	42.3	182	86	02
	40	314	97	53.85	71.5	45.6	197	100	03

Rassembler toutes les données  
Vérifier l'absence de valeurs  
aberrantes

→ Modèle de valeurs  
analytiques théoriques de la  
formation argilo-sableuse du  
tertiaire et du quaternaire

⇒ Illustration : Arsenic / Plomb

Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment  
s'assurer qu'elles sont « Normales » ?




# Des valeurs théoriques aux concentrations théoriques

← Arsenic

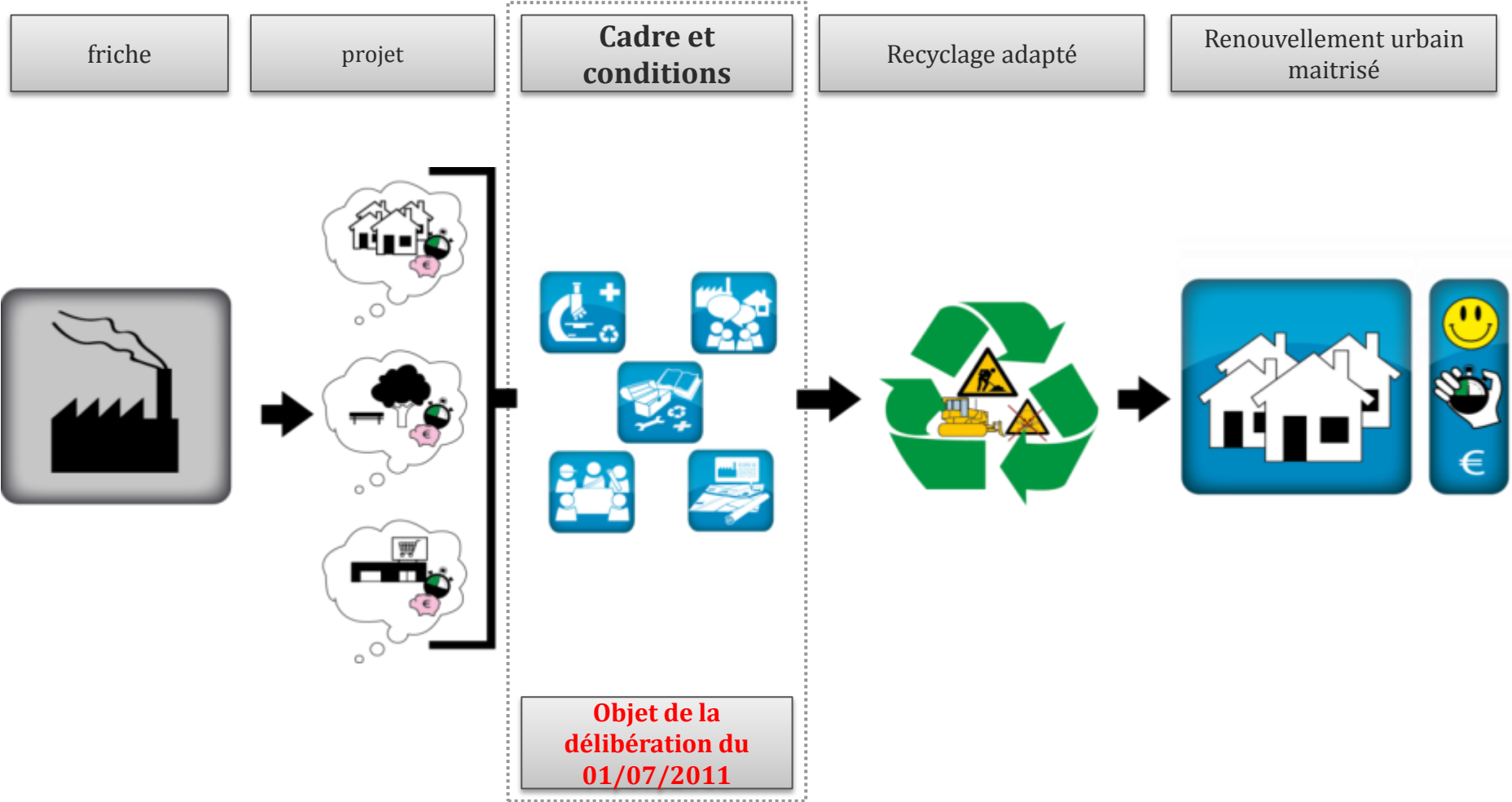
Plomb →

Arsenic		Original : 202	Ajusté : 164
Mini		0.26	4.10
1er quartile		0.80	6.10
Médiane		0.90	7.20
Moyenne		0.94	7.45
3 <sup>e</sup> quartile		0.98	8.65
Maxi		1.85	12.00
Distance interquartile		0.17	2.55
Ecart-type		0.26	1.71
Nombre de valeurs		202	164
Nombre de données éliminées :		38 soit :	18.81%
Valeur échantillon		Arsenic	
Vibrisses			
Outlier inf		0.54	2.08
Outlier sup		1.24	12.79
Evaluation du degré d'anthropisation		Anthropisé	
Elimination des atypiques :		OUI	3.5%
Ajustement terminé :		OUI	Distribution symétrique ?
Modèle ajusté sur Loi Log-Normale centrée sur la médiane et d'écart-type 1.71		NON	
Premier quartile	6.15	Résultat	
Deuxième quartile	7.20		
Troisième quartile	8.44	mg/kg	
		40%	7.64
Concentration ayant une probabilité de 40 % d'être dépassée (mg/kg)			

Plomb		Original : 197	Ajusté : 189
Mini		0.00	5.00
1er quartile		1.53	34.00
Médiane		1.94	84.00
Moyenne		1.86	114.20
3 <sup>e</sup> quartile		2.26	170.00
Maxi		2.69	390.00
Distance interquartile		0.72	136.00
Ecart-type		0.51	97.74
Nombre de valeurs		197	189
Nombre de données éliminées :		8 soit :	4.06%
Valeur échantillon	Plomb		
Vibrisses			
Outlier inf		0.45	0.00
Outlier sup		3.34	396.00
Evaluation du degré d'anthropisation		Forte anthropisation	
Elimination des atypiques :		OUI	36.0%
Ajustement terminé :		OUI	Distribution symétrique ?
Modèle ajusté sur Loi Log-Normale centrée sur la médiane et d'écart-type 97.74			NON
Premier quartile	40.26	Résultat	
Deuxième quartile	84.41	mg/kg	
Troisième quartile	175.56		
		40%	110.97
Concentration ayant une probabilité de 40 % d'être dépassée (mg/kg)			

Les terres manipulées ne sont plus des « sols » : comment s'assurer qu'elles sont « Normales » ?

# DEPLOYER UNE METHODOLOGIE PRAGMATIQUE ET SURE ADAPTEE AU TERRITOIRE







DEBAT



1, rue du Ballon  
CS 50749 59034 LILLE CEDEX  
Tél : +33 (0)3 20 21 22 23  
Fax : +33 (0)3 20 21 22 99

[www.lillemetropole.fr](http://www.lillemetropole.fr)



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Synergie Park  
6ter rue Pierre et Marie Curie  
59 260 Lezennes  
Tél : +33 (0)3 20 19 15 45 / +33 (0)6 29 02 82 02  
Fax : +33 (0)3 20 67 05 56

<http://www.brgm.fr>