

**Habilitation à Diriger des  
Recherches**

**Cycles biogéochimiques  
des éléments traces  
métalliques aux interfaces  
de l'environnement**

**Fabrice Monna, UMR 5594**



# Introduction

## Parcours professionnel

1992 - 1996 : **Thèse de Doctorat**, Université de Montpellier II, Laboratoire de Géochimie Isotopique. «*Utilisation des isotopes du Pb dans les études environnementales. Application à l'évolution temporelle et à l'origine des apports en Pb dans l'étang de Thau (Hérault-France)*» sous la direction de J. Lancelot.

1996 : **Stage post doctoral** à l'Université de Brême (Allemagne). Laboratoire de Géochimie et d'Hydrogéologie. Responsables : H.D. Schultz et K. Hamer

1997 à 1999 : **Stage post doctoral** à l'institut F.-A. Forel (Suisse)- Université de Genève. Responsable : J. Dominik.

Depuis fin 1999 : **Maître de Conférences** (35<sup>e</sup> section CNU) à l'Université de Bourgogne.

- Rattaché à l'UFR Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Environnement
- Rattaché à l'UMR 5594 ARTÉHIS, équipe Anthropisation de l'environnement.



# Introduction

## Activités d'enseignement

1992 à 1995 : **Moniteur CIES**. TD Programmation (L1,L2)

1995 à 1996 : **ATER**. TD Programmation (L1,L2), CM Géoch. (M2)

1996 à 1999 : **Assistant post-doc**. Géochimie isotopique (M1)

Depuis 1999 : **Maître de conférences** à l'Univ. de Bourgogne

TD/TP **Géologie générale** (L1)

TD/TP **Géodynamique externe** (L2)

CM/TD **Thermodynamique** (L3)

TD **PAO** (M2)

CM/TD/TP **Statistiques** (L1, L2, L3, M1, M2)

CM/TD **Géochimie** (L2, M1, M2, prepa)

CM/TD/TP **Hydrologie** (L2, M1, prepa)

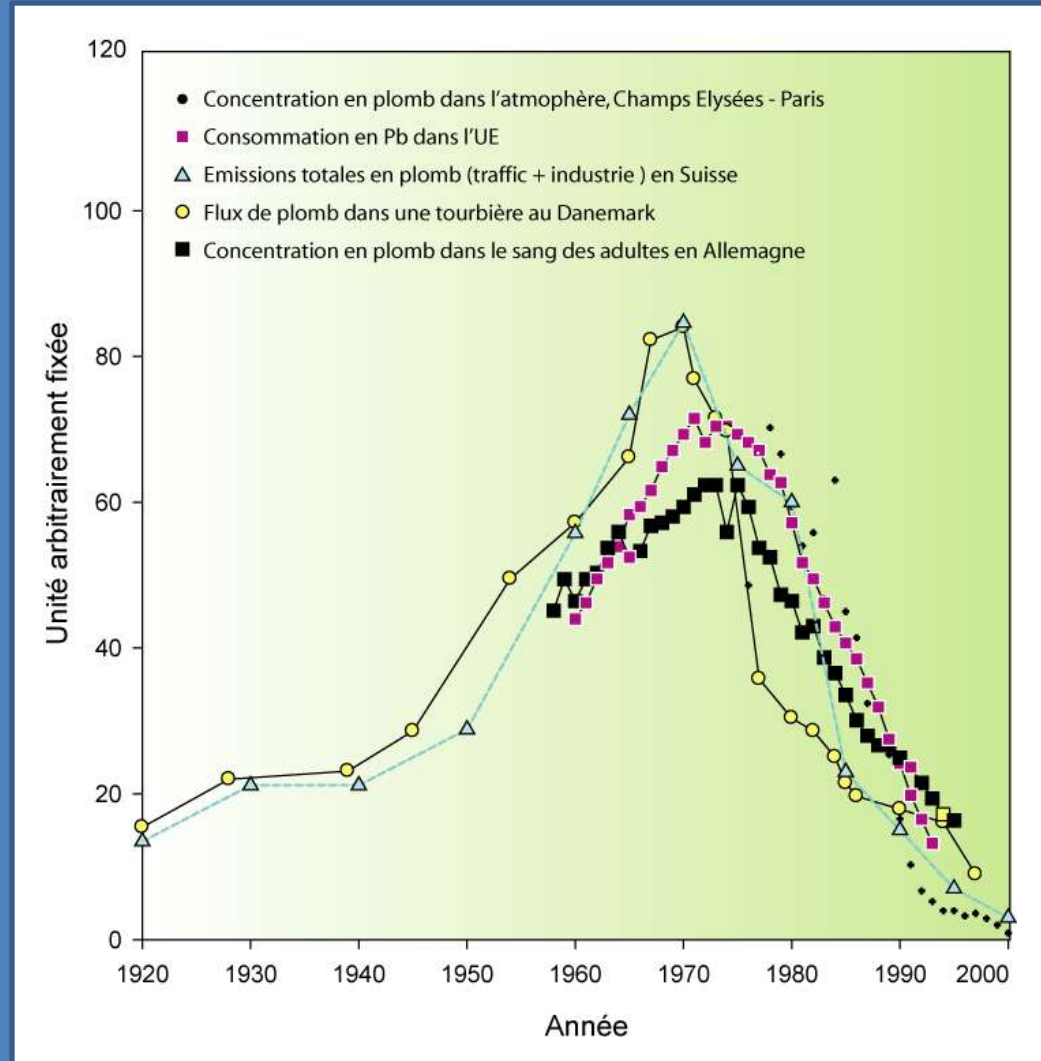
Autres interventions : Univ. Besançon, Univ. Chambéry, Univ. Fribourg.



**Pourquoi (encore) travailler sur les métaux ?**

**... l'exemplarité du plomb**

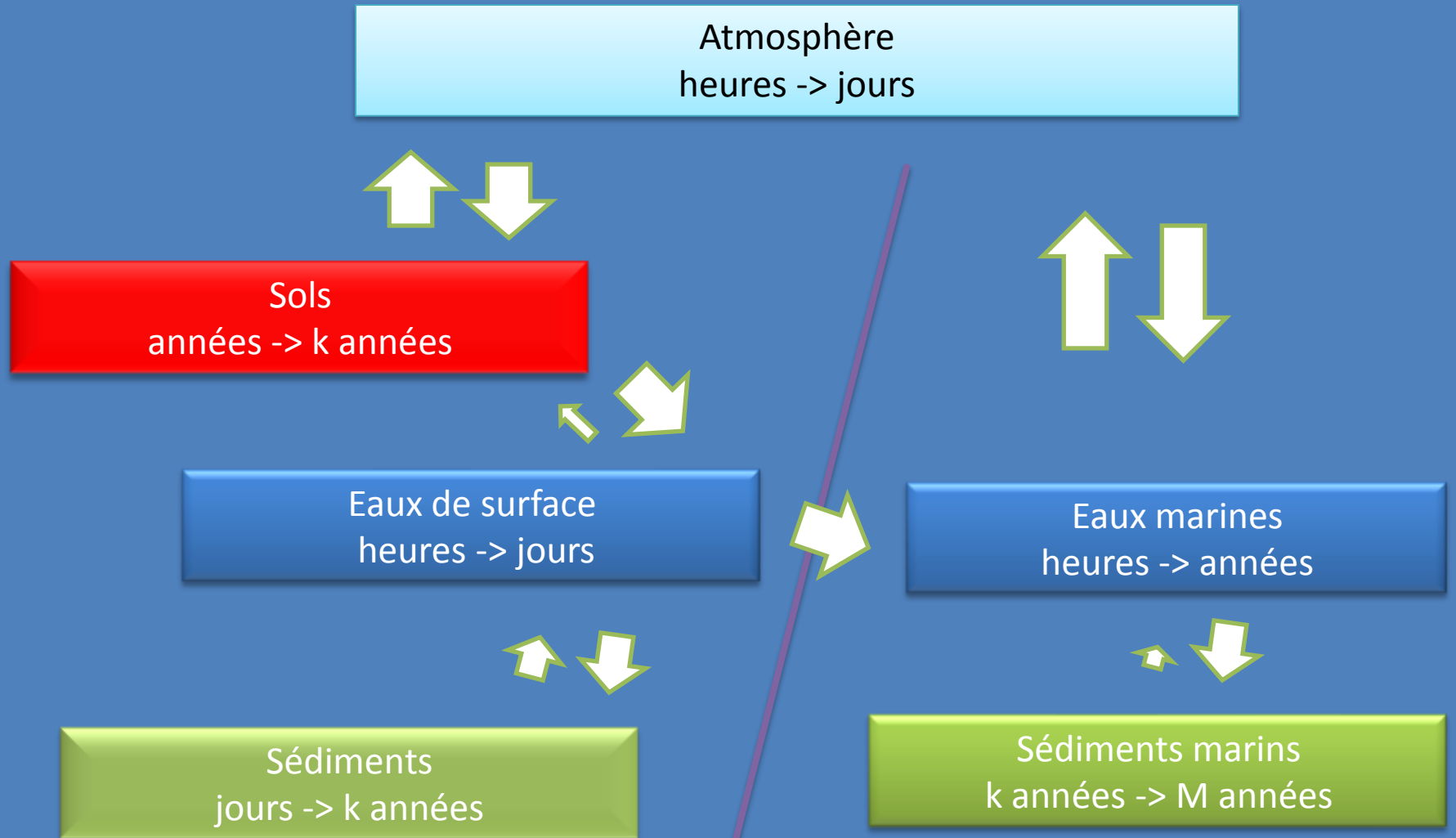
# Introduction



Evolution des concentrations en plomb dans l'atmosphère, Champs Elysées, Paris (Préfecture de police de Paris), de la consommation en plomb dans l'U.E. (CONCAWE, 1993), des émissions totales en Pb (trafic + industrie) en Suisse (BUWAL, 1995), des flux de plomb dans une tourbière danoise (Goodsite *et al.* 2001), et de la concentration en plomb dans le sang des adultes en Allemagne (von Storch, *et al.* 2002).



# Introduction



Cycle du plomb dans l'environnement

# Introduction



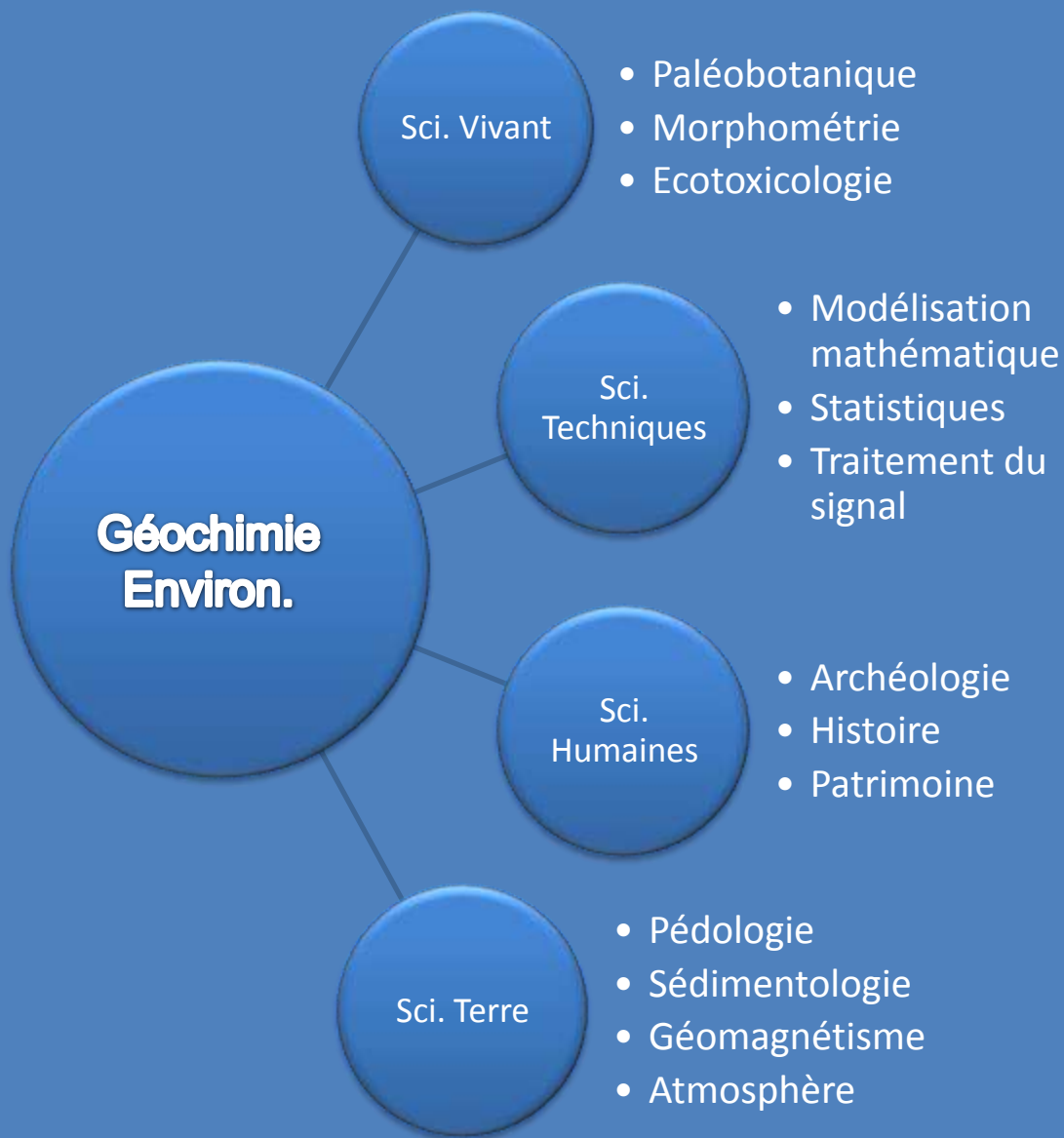
**Cotonou, Bénin (1999)**

## Quatre axes de recherche:

1. Origine des métaux dans l'environnement
2. Transfert des métaux dans les environnements superficiels.
3. Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie.
4. Développements analytiques







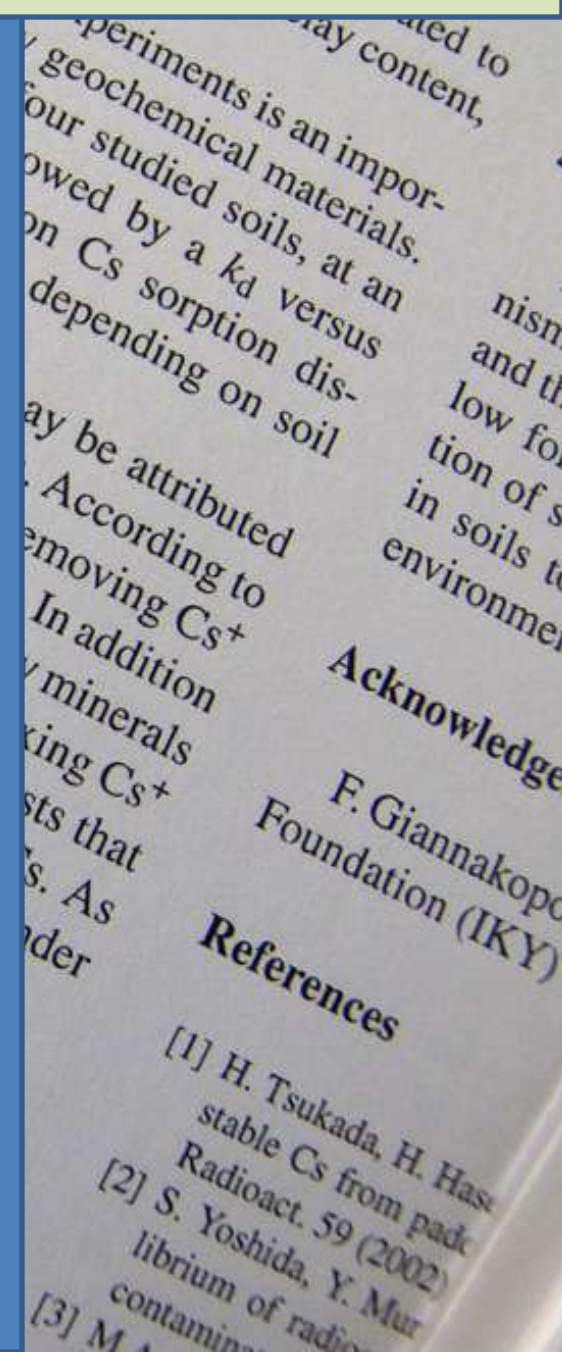
# Introduction

## 29 articles publiés dans des revues référencées JCR

Environmental Science and Technology (5)  
Science of the Total Environment (2)  
Environmental Pollution (2)  
Atmospheric Environment (2)  
Analytica Chimica Acta (2)  
Journal of Environmental Radioactivity (2)  
Environmental Geology (2)  
Spectrochimica Acta (1)  
Marine Pollution Bulletin (1)  
Journal of Geochemical Exploration (1)  
Oceanologica Acta (1)  
Comptes rendus de l'Académie des Sciences (1)  
Applied Geochemistry (1)  
Journal of Archaeological Science (1)  
Vegetation History and Archaeobotany (1)  
Analusis (1)  
Eclogae Geologicae Helvetiae (1)  
Geodynamica Acta (1)  
Archives des Sciences de Genève (1)

**11 autres articles (revues non référencées au JCR,  
actes de colloques expertisés, chapitre de livre)**

**5 diffusions grand public**



# AXE 1

## Origine des métaux dans l'environnement:

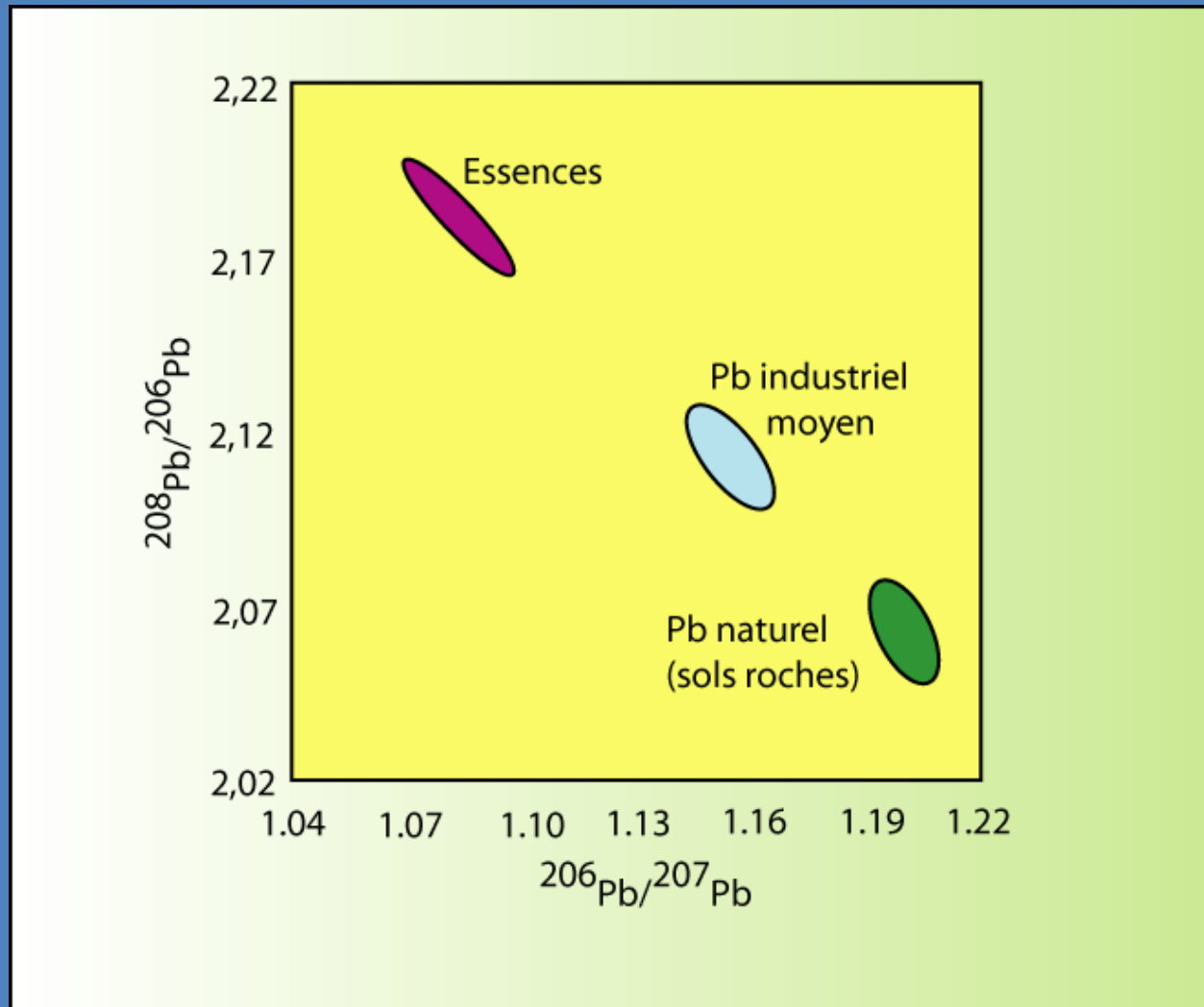
Quelle est la composante naturelle?

Quelle est la composante anthropique?

Quelle est l'origine de cette dernière?



# Axe 1: Origine des métaux dans l'environnement



Rapports isotopiques des principales sources de plomb dans l'environnement

Monna, F., Lancelot, J., Croudace, I., Cundy, A.B., Lewis, T. (1997) Pb isotopic signature of urban air in France and in UK: Implications on Pb pollution sources. *Environmental Science and Technology*, 31, 2277-2286.



# Axe 1: Origine des métaux dans l'environnement

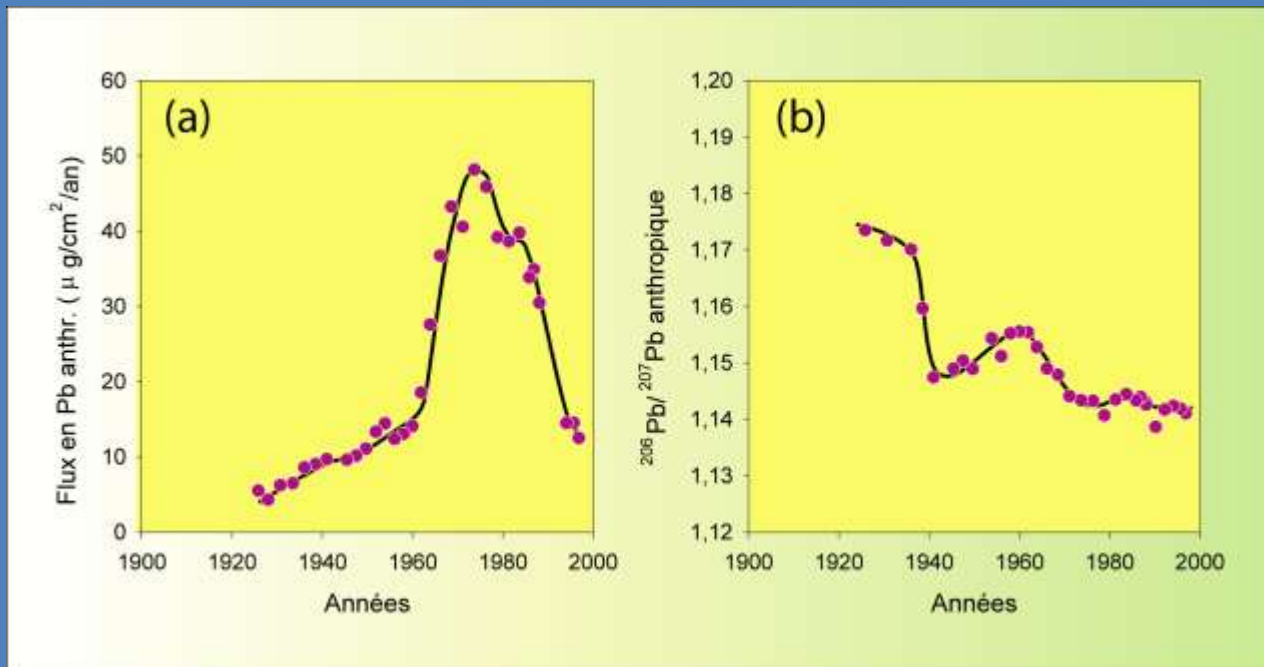
A satellite-style map of the Lake Geneva region. The lake is a deep blue, surrounded by green and brown terrain. An orange dot with a white center is placed on the northern shore of the lake, indicating the location of Lausanne. The text 'Lausanne' is written in white above the dot, and 'Lac Léman' is written in white below the lake.

Lausanne

Lac Léman

**Monna, F.**, Dominik, J., Lóizeau, J.-L. Pardos, M., Arpagaus, P. (1999) Origin and evolution of Pb in sediments of Lake Geneva (Switzerland - France). Establishing a stable Pb record. *Environmental Science and Technology*. 33, 2850-2857.

# Axe 1: Origine des métaux dans l'environnement

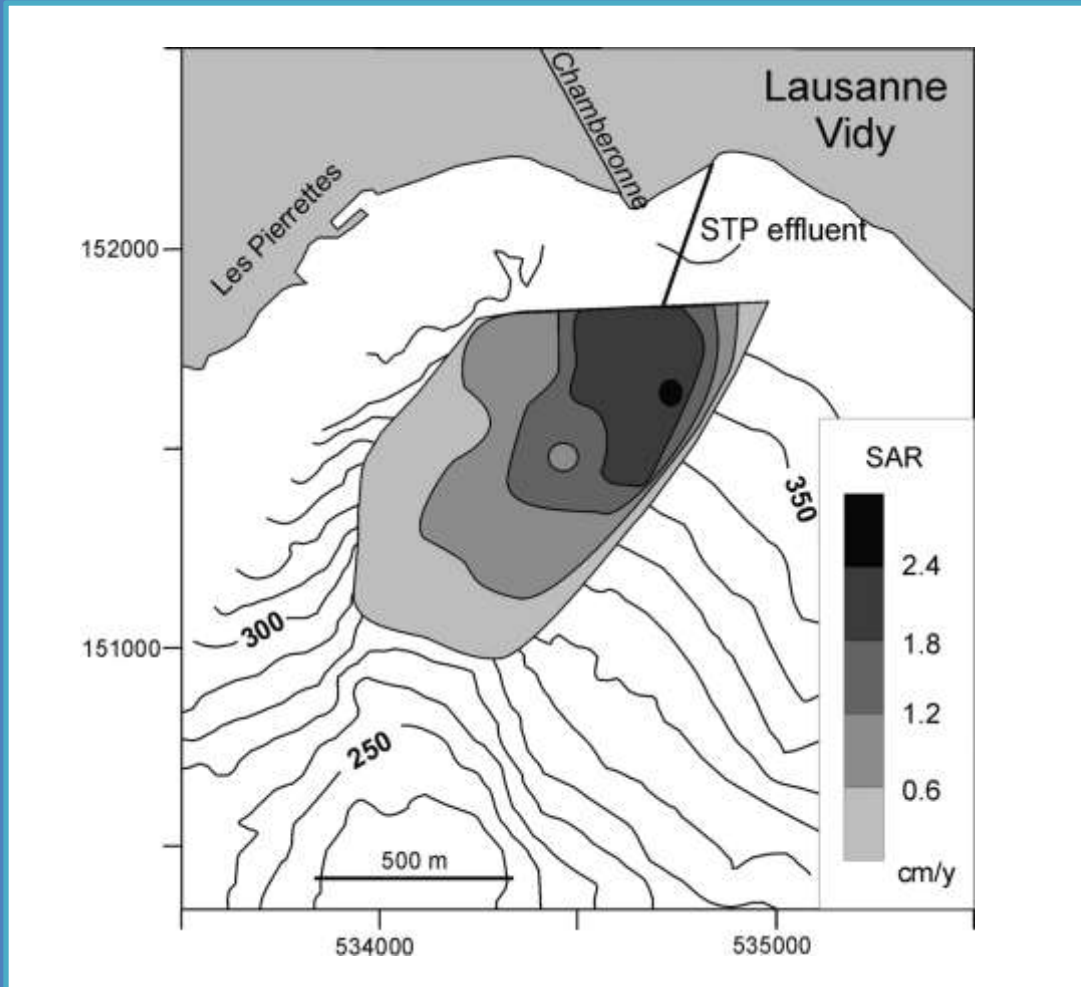


(a) Evolution temporelle des flux en plomb anthropique dans la carotte BV, prélevée au large de la ville de Lausanne dans la Baie de Vidy. (b) Evolution temporelle du rapport  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  du composant anthropique.

Monna, F., Dominik, J., Loizeau, J.-L., Pardos, M., Arpagaus, P. (1999) Origin and evolution of Pb in sediments of Lake Geneva (Switzerland - France). Establishing a stable Pb record. *Environmental Science and Technology*. 33, 2850-2857.



# Axe 1: Origine des métaux dans l'environnement



Carte représentant les taux de sédimentation (basée sur l'évolution de la VMS)

Loizeau, J.-L.; Rozé, S., Peytremann, C., **Monna, F.**, Dominik, J. (2003) Mapping sediment accumulation rate by using volume magnetic susceptibility core correlation in a contaminated bay (Lake Geneva, Switzerland). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 96, 73–79.



## AXE 2

Transfert des métaux dans  
l'environnement:

Bio-accumulateurs et géo-  
accumulateurs.

Immobilité ou mobilité des  
métaux dans les sols?





## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



**Monna, F.,** Poujol, M., Annegarn, H., Losno, R., Coetze, H., Dominik, J. (2006) Origin of atmospheric lead in Johannesburg, South Africa. *Atmospheric Environment*. 40, 6554-6566.

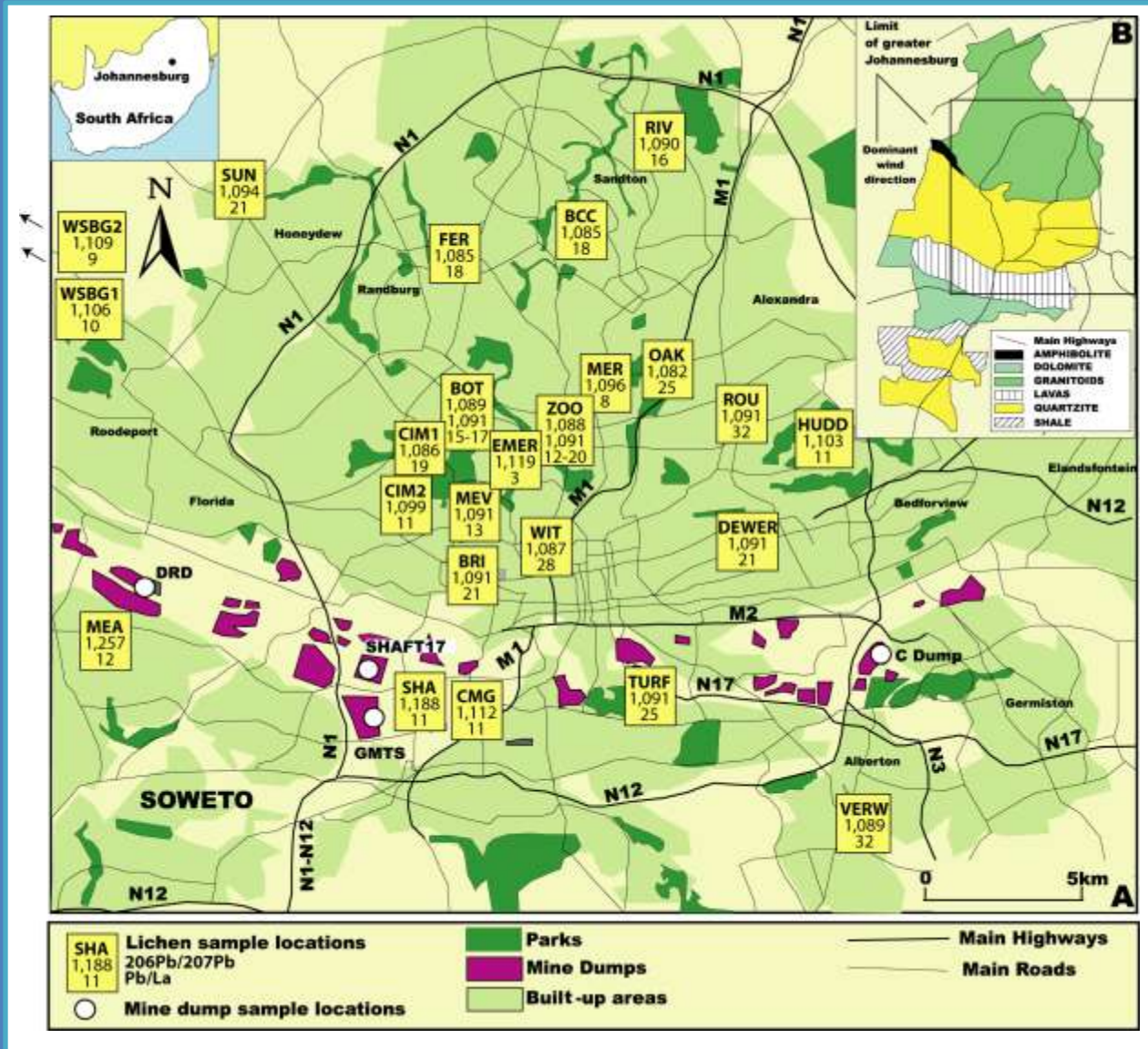
## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement

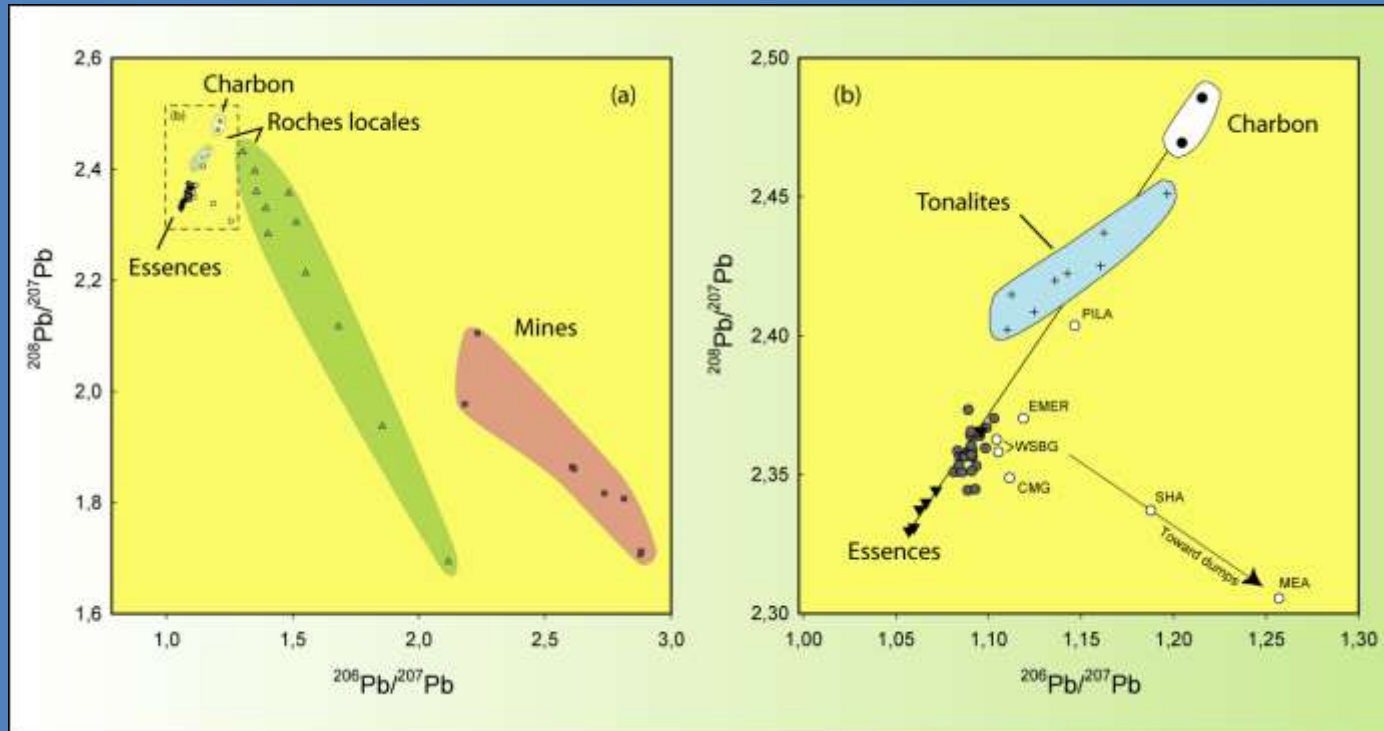


# Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



(a) Carte de Johannesburg et position des lichens échantillonnés. (b) Carte lithologique simplifiée. Les échantillons WSBG1 et WSBG2 ont été prélevés à environ 30 km de Johannesburg. Les valeurs des rapports  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  et Pb/La des différents échantillons sont reportés sur la carte

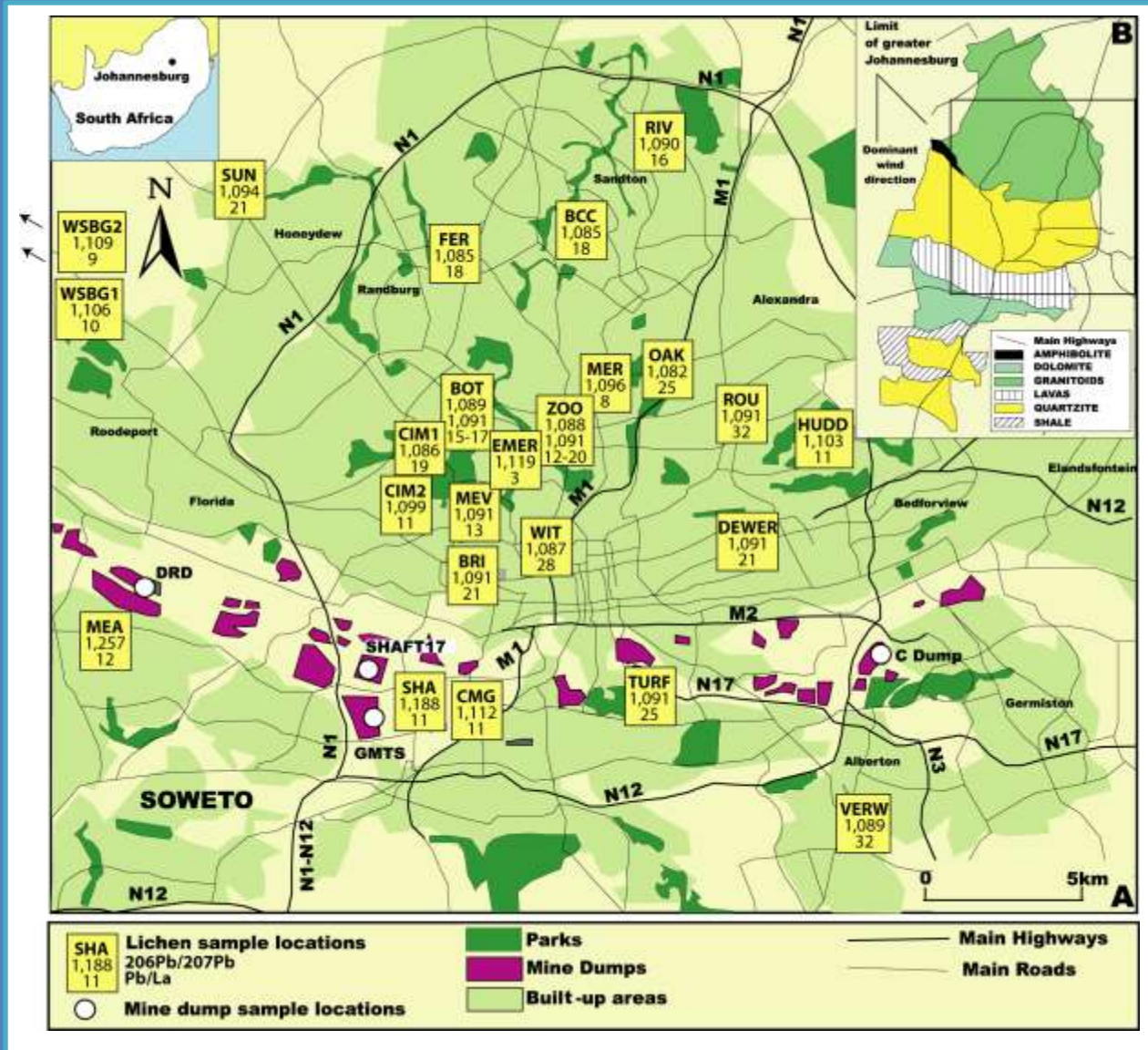
# Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



(a, b)  $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  des essences (▼), des charbons (●), mine dumps (■), des lichens collectés soit dans des espaces urbains ouverts ou dans des zones de trafic automobile (●), et des lichens collectés près des mines ou hors de la ville (○). Les compositions isotopiques des roches locales son également reportées (cf Barton et al., 1999).



# Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



(a) Carte de Johannesburg et position des lichens échantillonnés. (b) Carte lithologique simplifiée. Les échantillons WSBG1 et WSBG2 ont été prélevés à environ 30 km de Johannesburg. Les valeurs des rapports  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  et Pb/La des différents échantillons sont reportés sur la carte

## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



**Chantier Agadir, coll. L Bouchaou  
(Univ. Agadir)**

**Chantier Rio de Janeiro, coll. A. Marques  
(Univ. Nitéroï)**



# Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



1908



1919



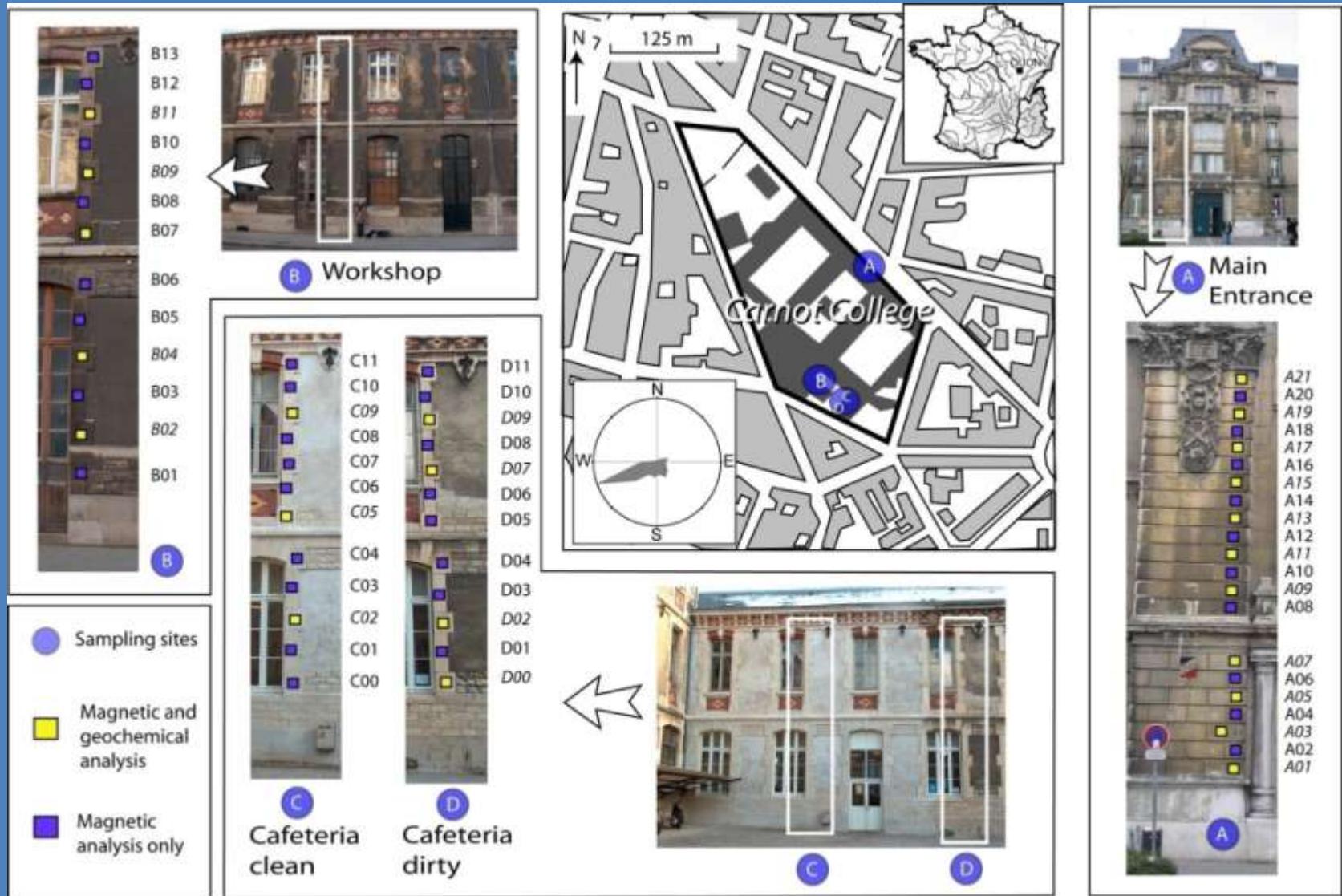
1928



2005

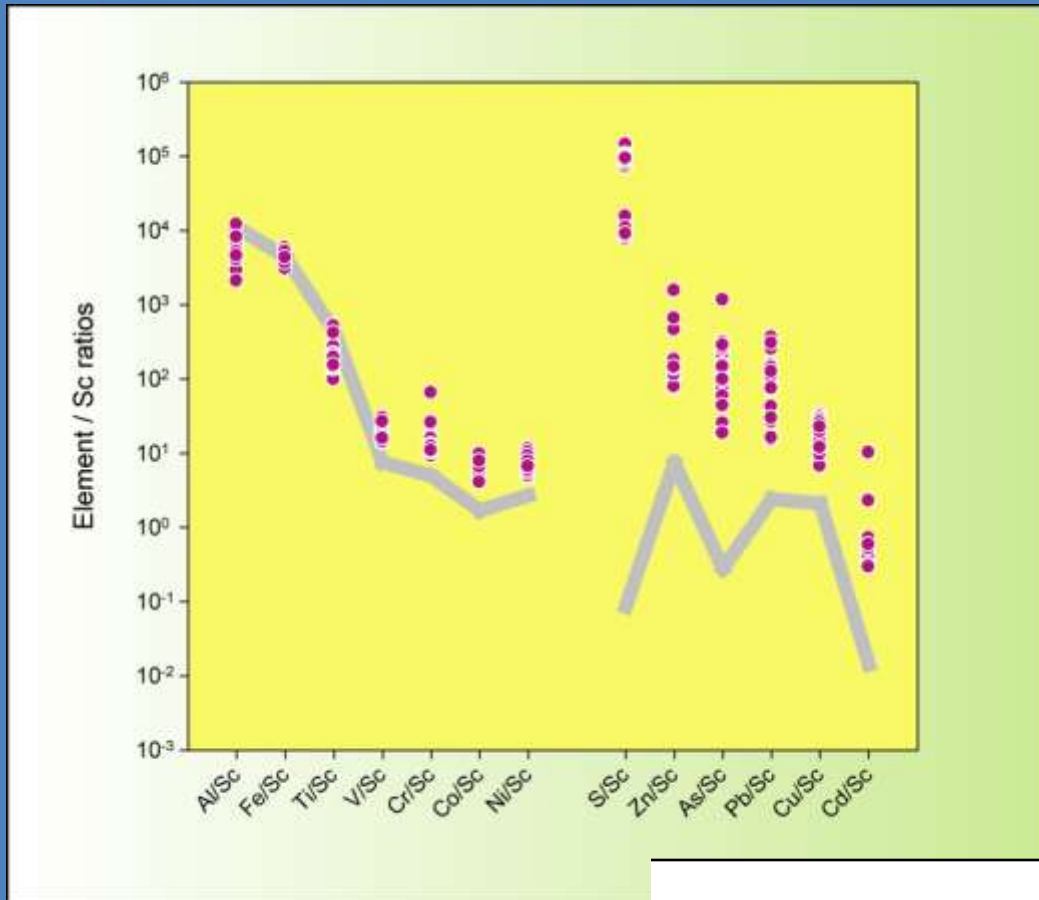


# Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



Monna, F., Puertas, A., Lévêque, F., Losno, R., Fronteau, G., Marin, B., Dominik, J., Petit, C., Forel, B., Chateau, C. (2008) Geochemical records of limestone façades exposed to urban atmospheric contamination as monitoring tools? *Atmospheric Environment*, 42, 999-1011.

# Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



Rapports éléments/Sc dans les échantillons . La ligne grise correspond à l'UCC (Wedepohl, 1995)

Comparaison de la situation observée sur les quatre façades pour quelques éléments.

	KW test	Sommaire
Sc	p = 0.002	ME - W > CC - CD
Cu	p = 0.003	ME - W > CC - CD
Cd	p = 0.01	ME - W > CC - CD
Pb	p = 0.0003	ME > W > CC - CD
As	p = 0.002	W > ME > CC - CD



## AXE 2

# Métaux dans l'environnement:

Bio-accumulateurs et géo-  
accumulateurs.

Mobilité des métaux dans  
les sols.



## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement

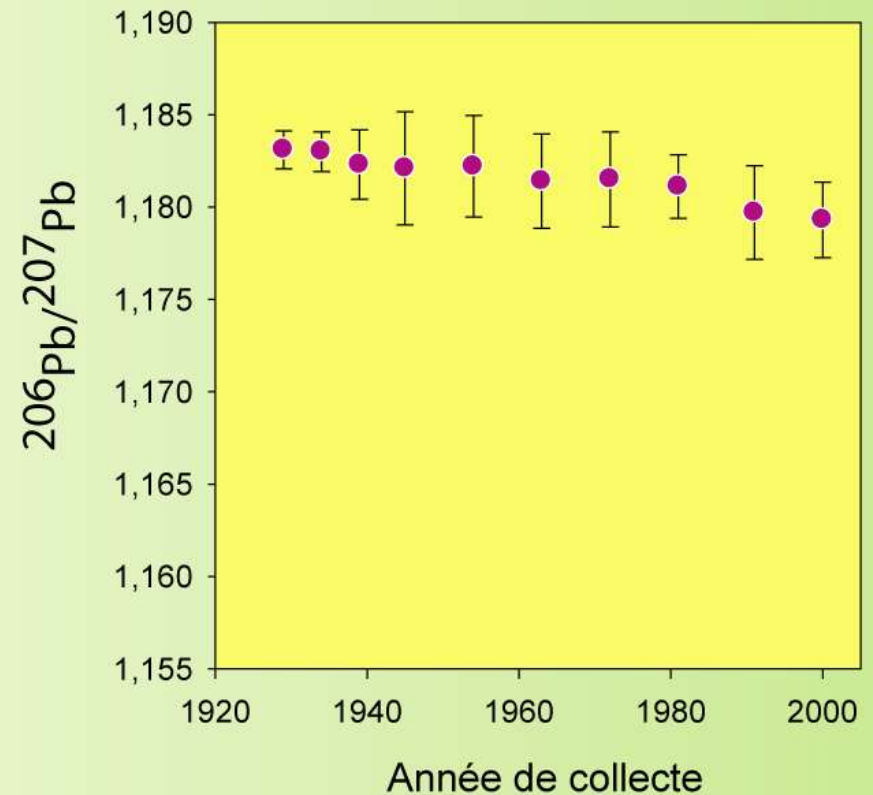
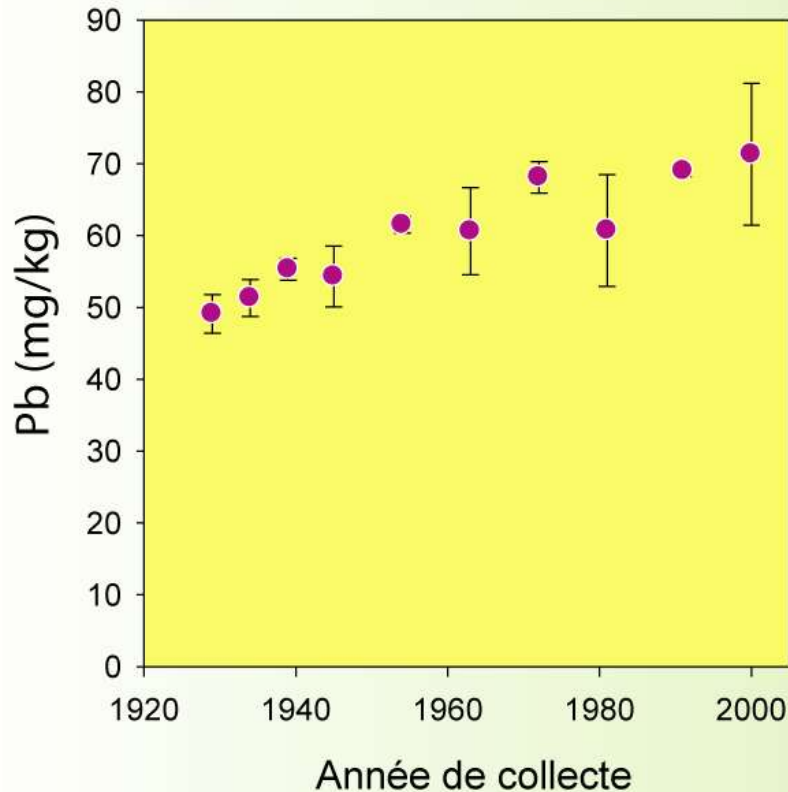


**42 parcelles, INRA Versailles**

## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



Evolution des concentrations en Pb et des rapports  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  des sols témoins provenant du dispositif des '42 parcelles' (symboles violets)

Semlali, R.M., Dessogne, J.-B., Monna, F., Bolte, J., Azimi, S., Navarro, N., Denaix, L., Loubet, M., Chateau, C., van Oort, F. (2004) Modeling lead input and output in soils using lead isotopic geochemistry. *Environmental Science and Technology*, 38, 5, 1513-1531.

# Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement

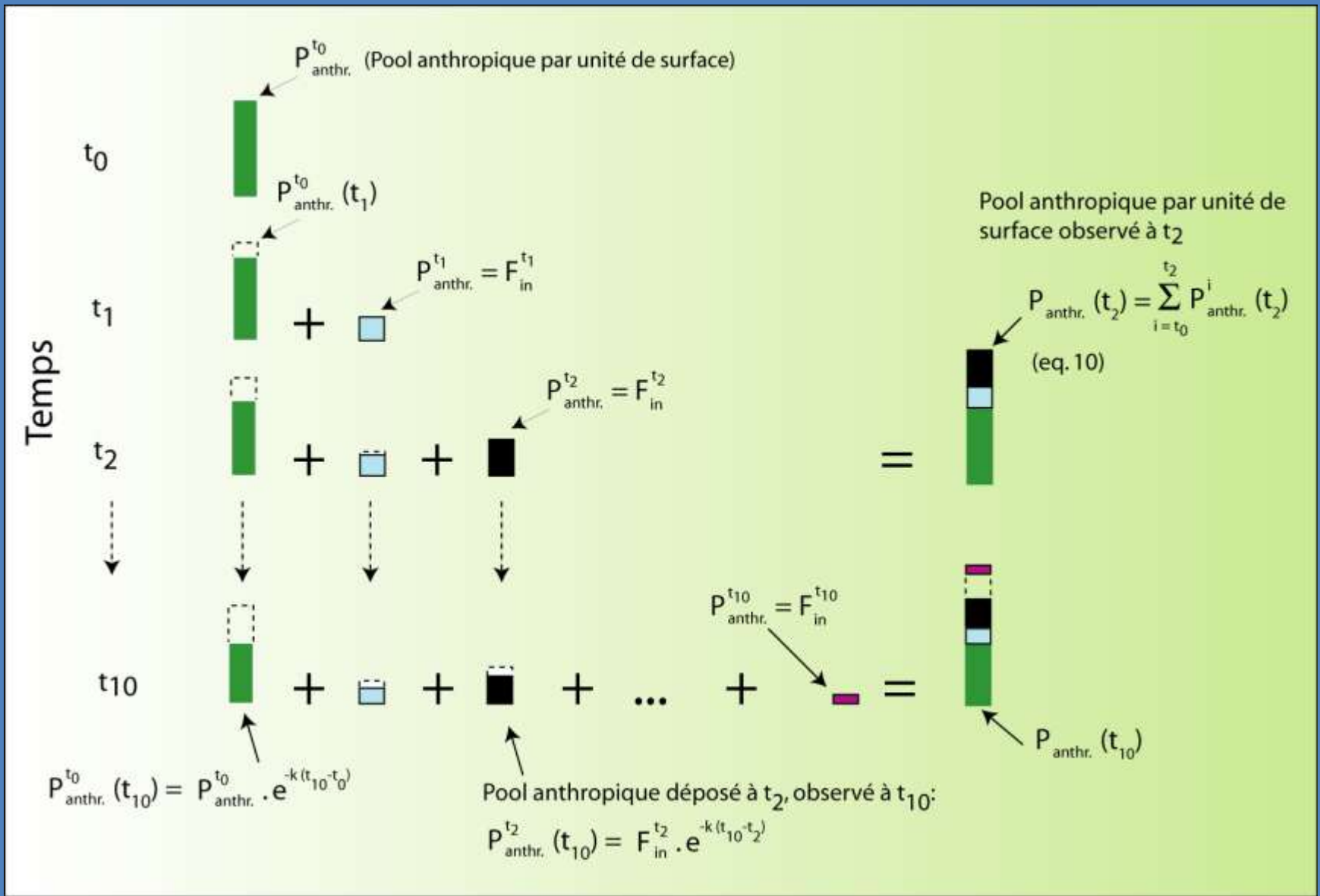
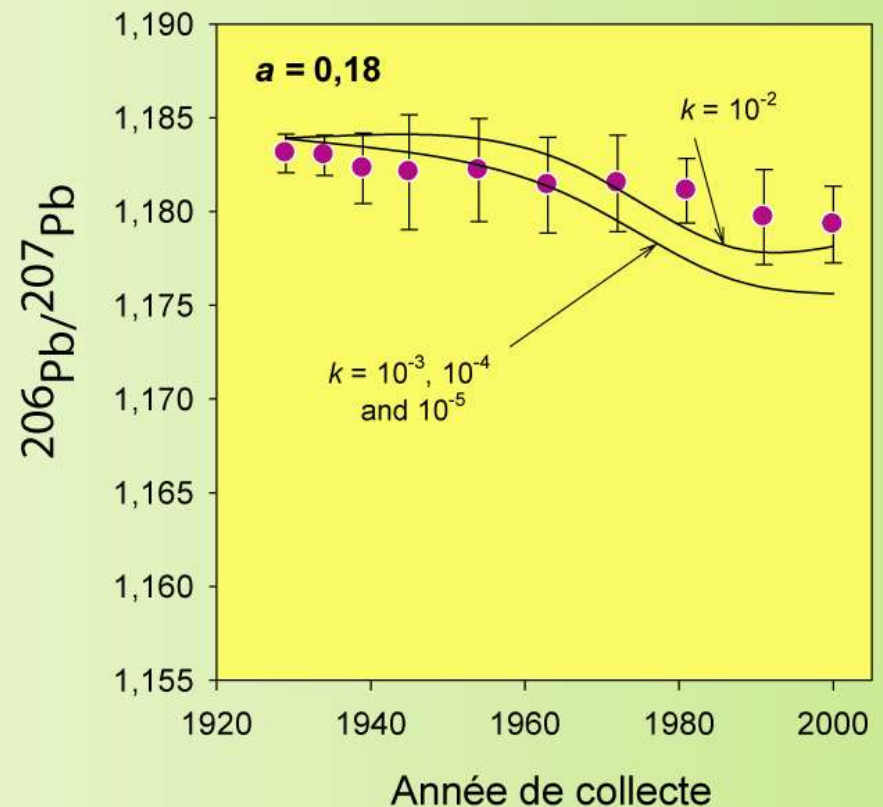
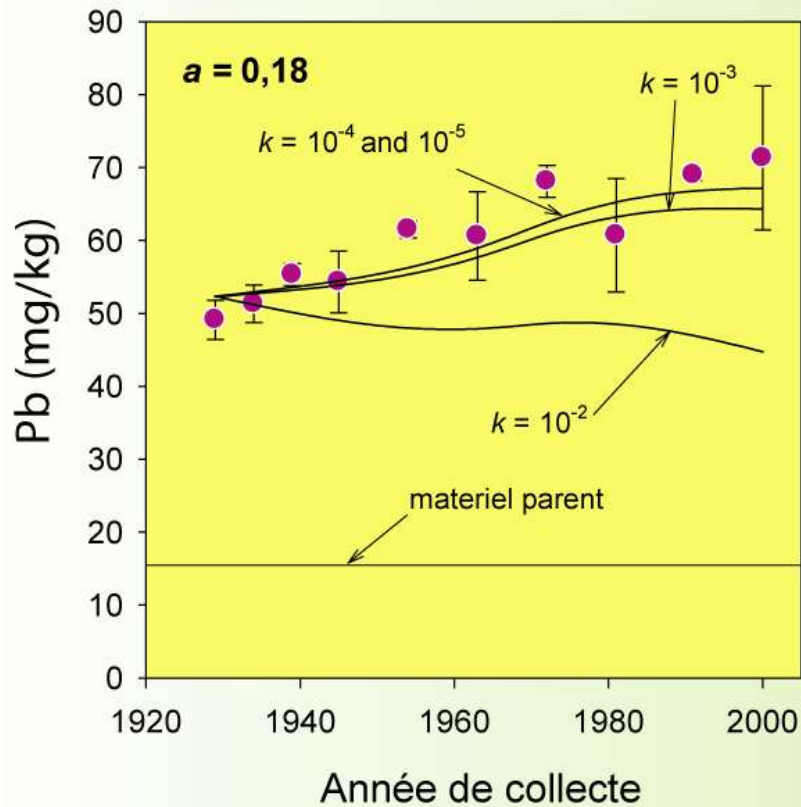


Schéma conceptuel du modèle

## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement

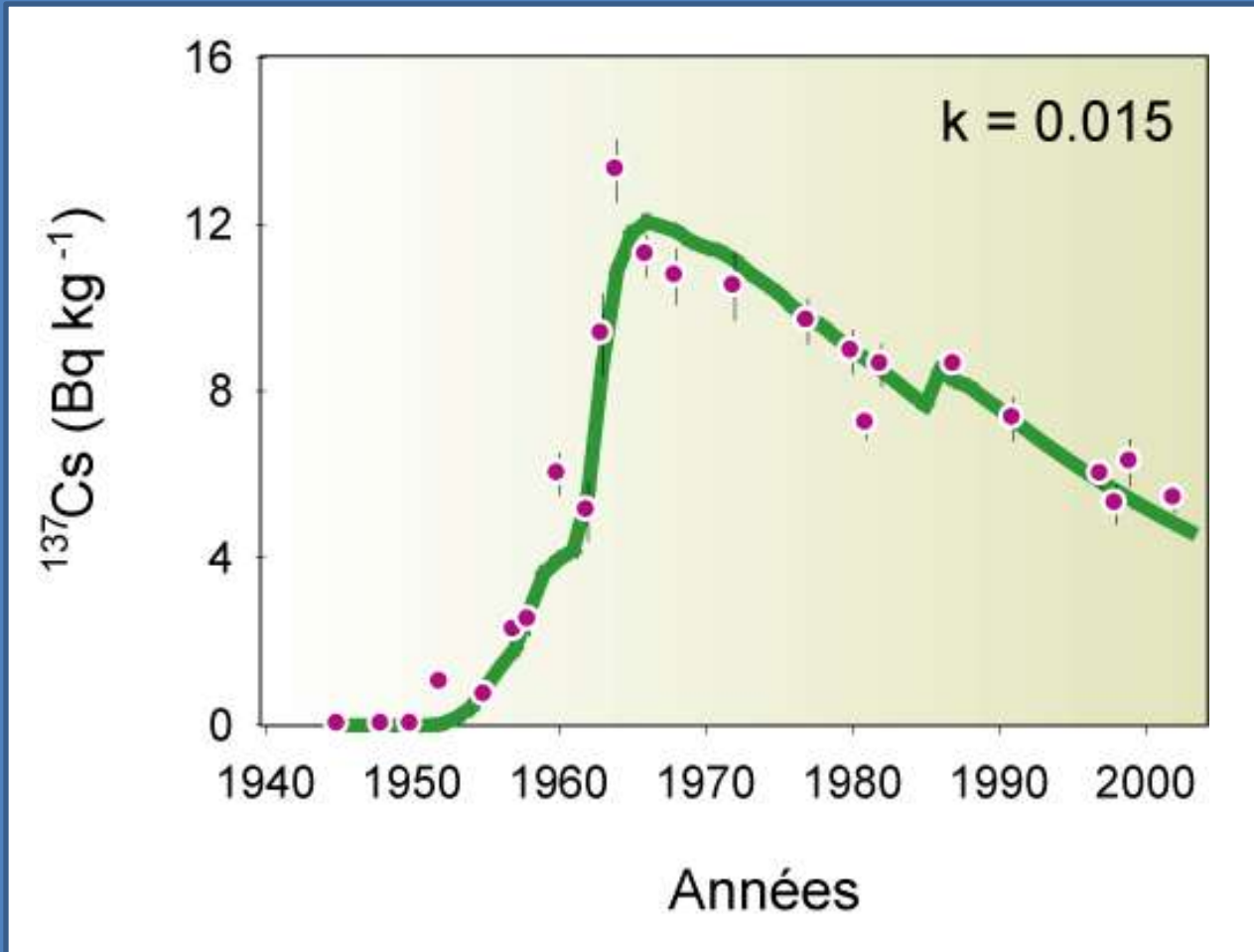


Evolution des concentrations en Pb et des rapports  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  des sols témoins provenant du dispositif des '42 parcelles' (symboles violets) et évolutions modélisées en considérant des pertes annuelles variables depuis l'horizon de bêchage (courbes noires).

$$T_{1/2} > 700 \text{ ans}$$



## Axe 2: Transfert des métaux dans l'environnement



Activités en  $^{137}\text{Cs}$  des sols témoins provenant du dispositif des '42 parcelles' (symboles violets) et activités modélisées en considérant 1,5% de pertes annuelles depuis l'horizon de bêchage (courbe verte).

**Monna, F.,** van Oort, F., Hubert, P., Dominik, J., Bolte, J., Loizeau, J.-L., Labanowski, J., **Lamri, J.,** Petit, C., Le Roux, G., Chateau, C. (2008) Modeling of  $^{137}\text{Cs}$  migration in soils using an 80-year soil archive. Role of fertilizers and agricultural amendments. *Journal of Environmental Radioactivity*. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2008.09.009.

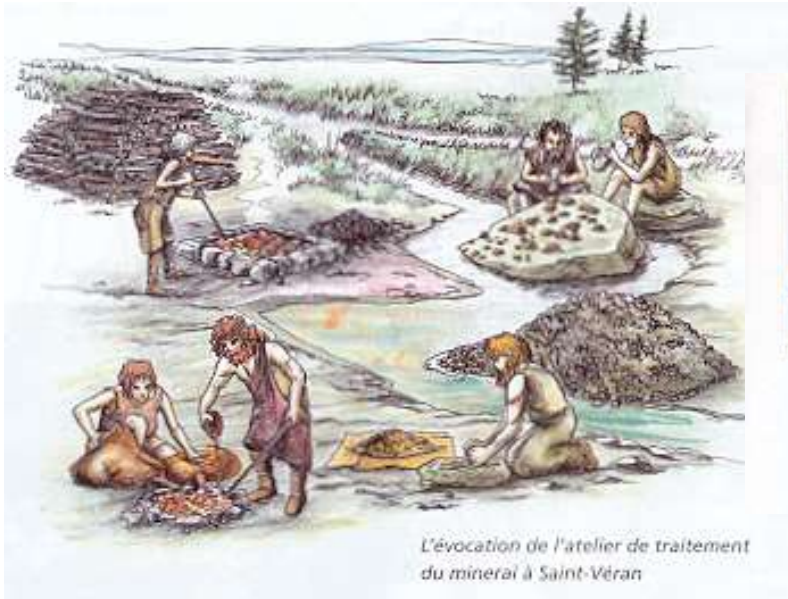


# AXE 3

## Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie

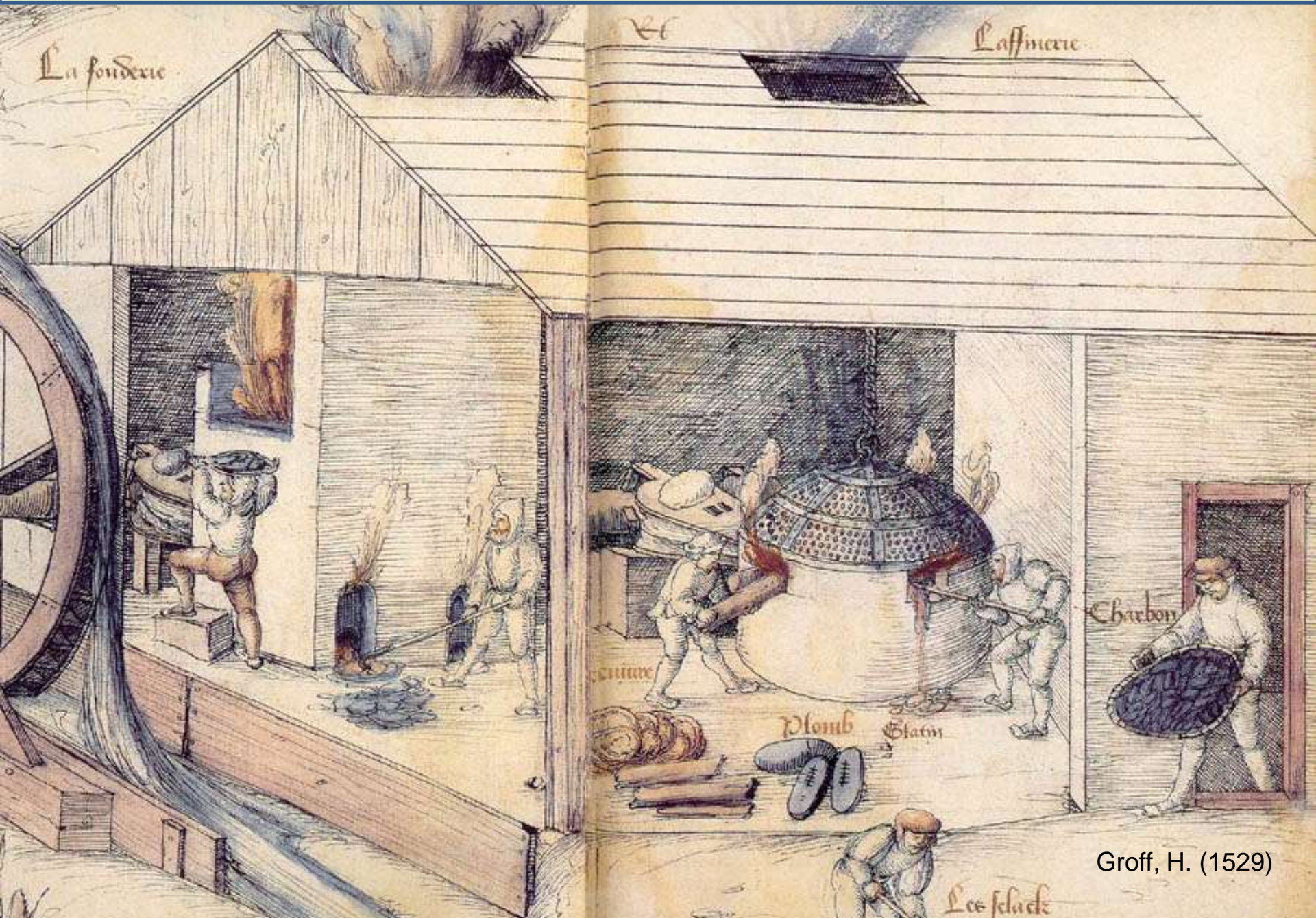


Le fargeron porte le cuivre à sa température de fusion dans un creuset.  
Reconstitution expérimentale.  
Beaune, 1995.



Indices matériels fragmentaires ou le plus souvent inexistants...

# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



Groff, H. (1529)

# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie

Master 1 Yann Savidan  
Master 1 Rodrigue Guillon  
Master 1 Cyril Leuvrey  
DEA Cédric Blanchot  
DEA Magali Tual  
Thèse Benoit Forel



Carotte de tourbe prélevée à la sonde russe



## Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



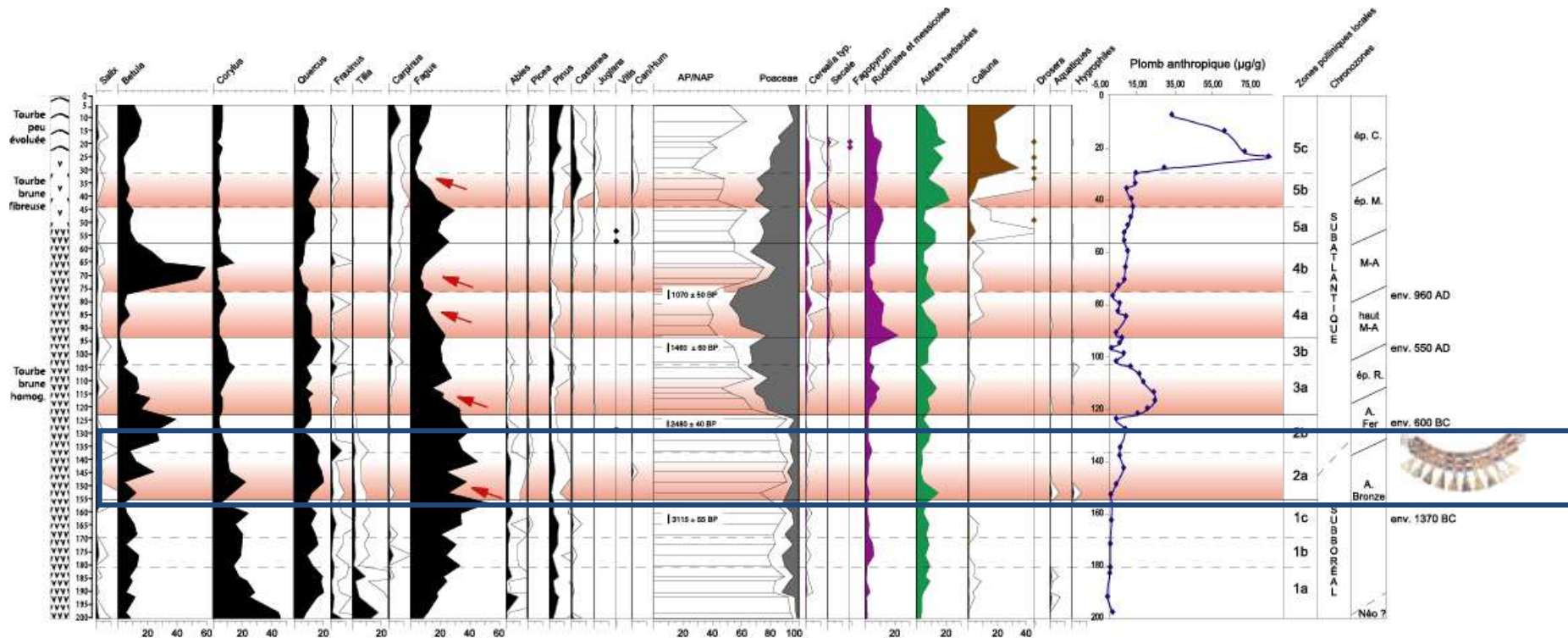
sculpture  
encre  
profond  
et à l'extérieur  
plus grande

FRAY  
(ION)  
and the three peaks  
achieve etal show  
lightly under the banks  
presence of the relief.  
n, they do not hesitate  
dal to cover a wider area.

CTE / MONT BEUVRAY  
H - BURGUND)  
ing von Bibracte  
les Mont Beuvray.  
zu erkennen  
der Berg-



## Age du Bronze



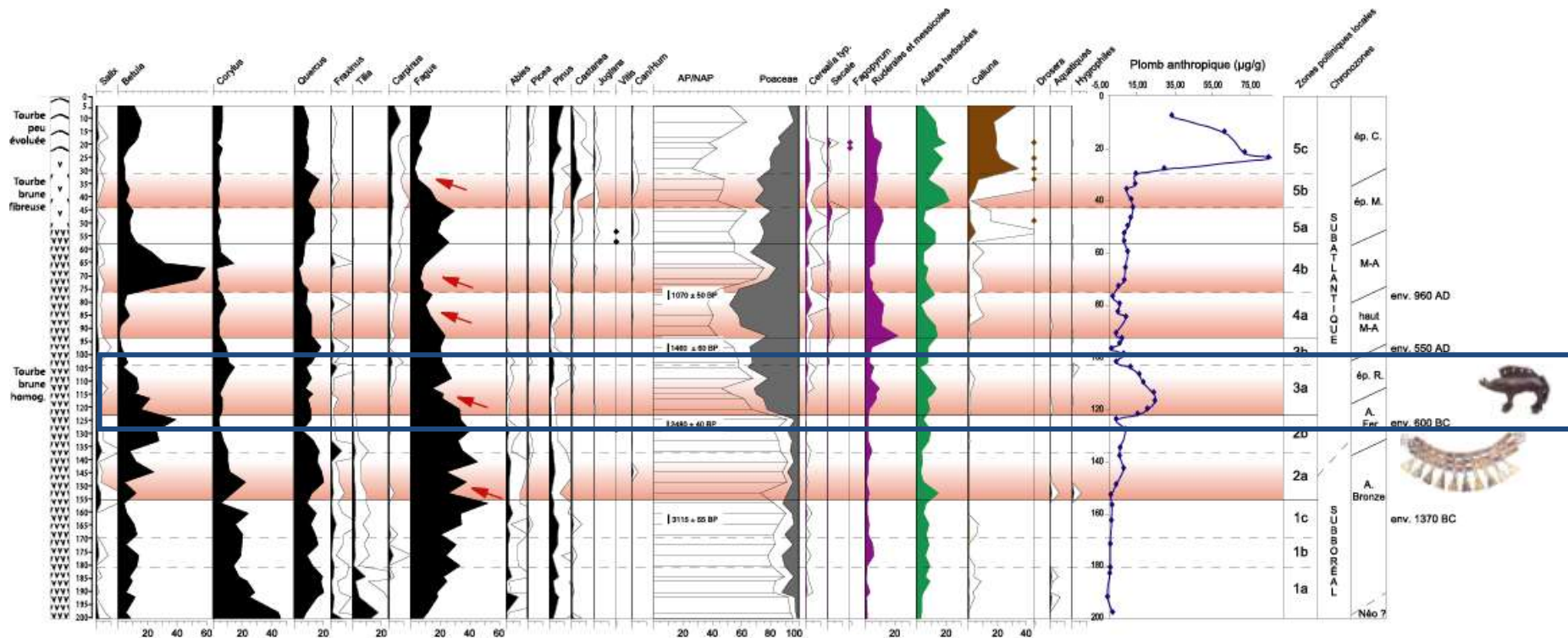
## Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



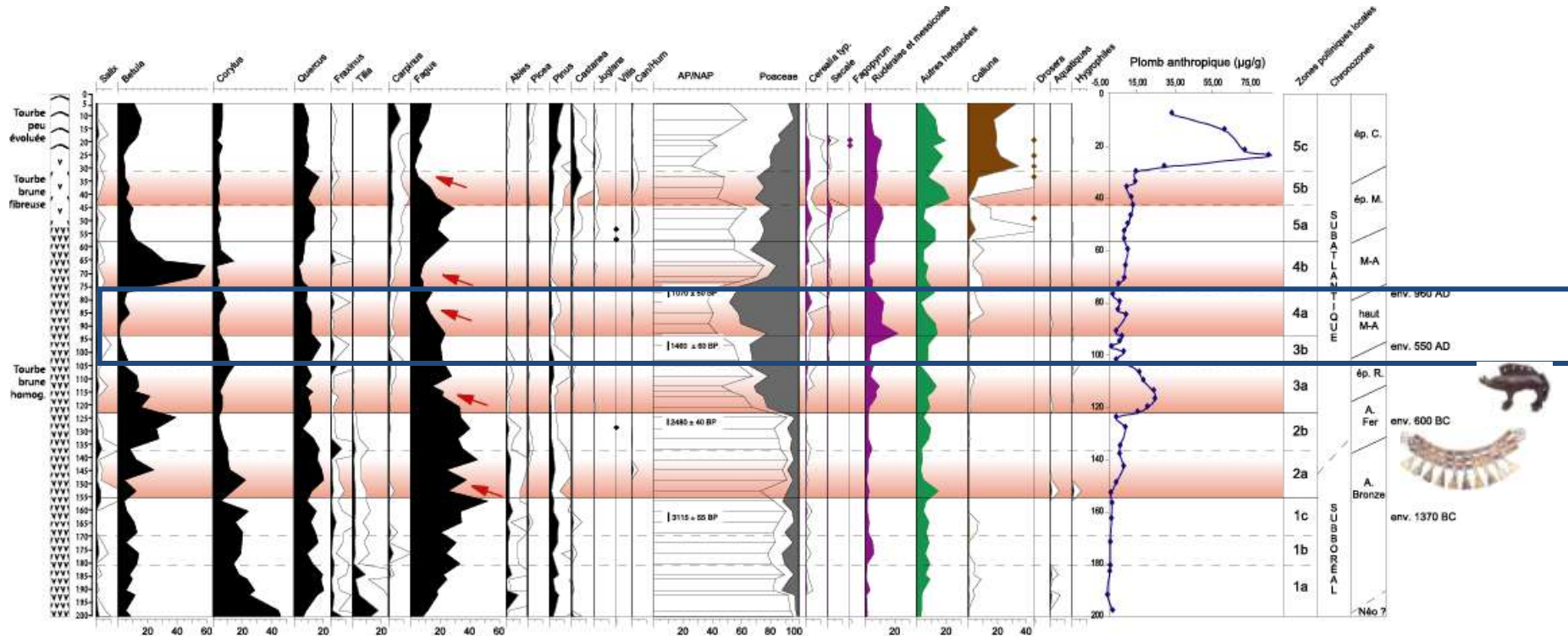
Dépôt de Blanot (Age du Bronze)

# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie

## Age du Fer



## Haut Moyen Age

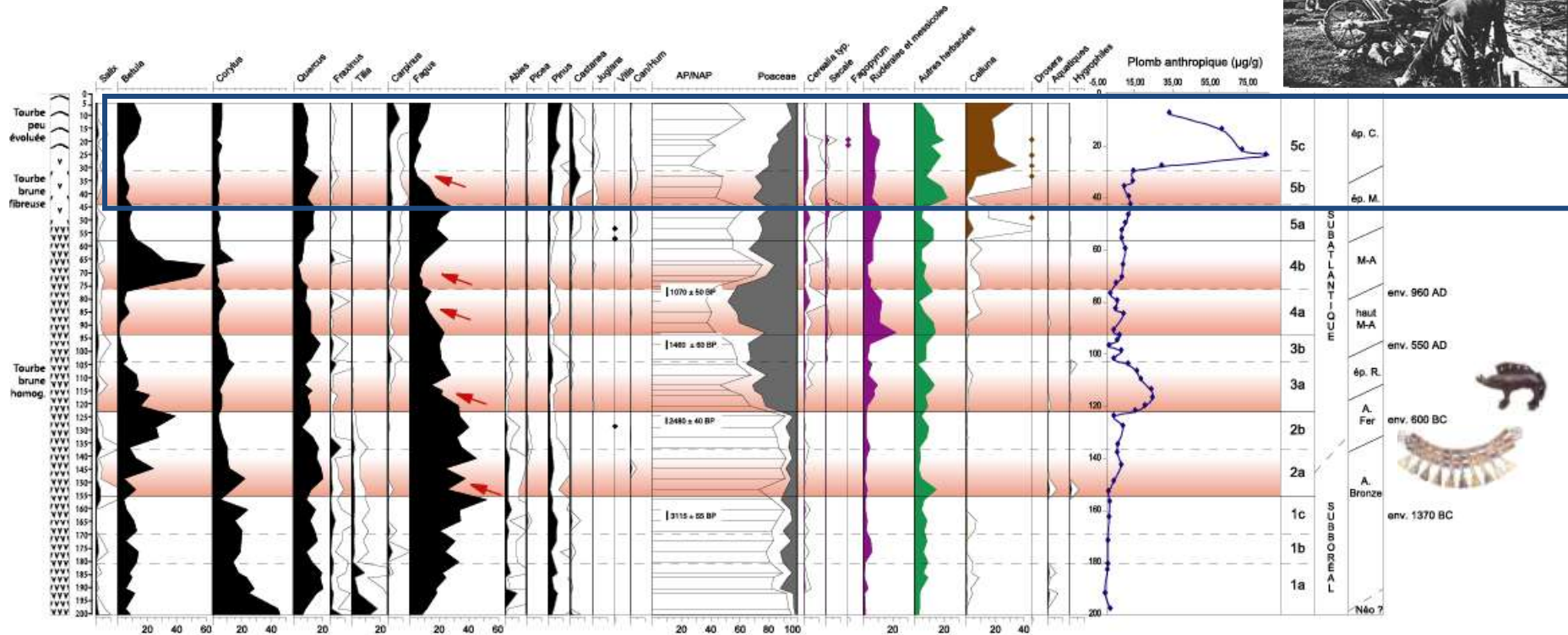


Pollens: Jouffroy-Bapicot, I. (Univ. Besançon).

Monna, F., Petit, C., Guillaumet, J.-P., Jouffroy-Bapicot, I., Blanchot, C., Dominik, J., Losno, R., Richard, H., Lévêque, J., Chateau, C. History and environmental impact of mining activity in Celtic Aeduan territory recorded in a peat-bog (Morvan – France). *Environ. Sci. Technol.*, 38, 3, 657-673, 2004

# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie

## Périodes modernes et contemporaines



Pollens: Jouffroy-Bapicot, I. (Univ. Besançon).

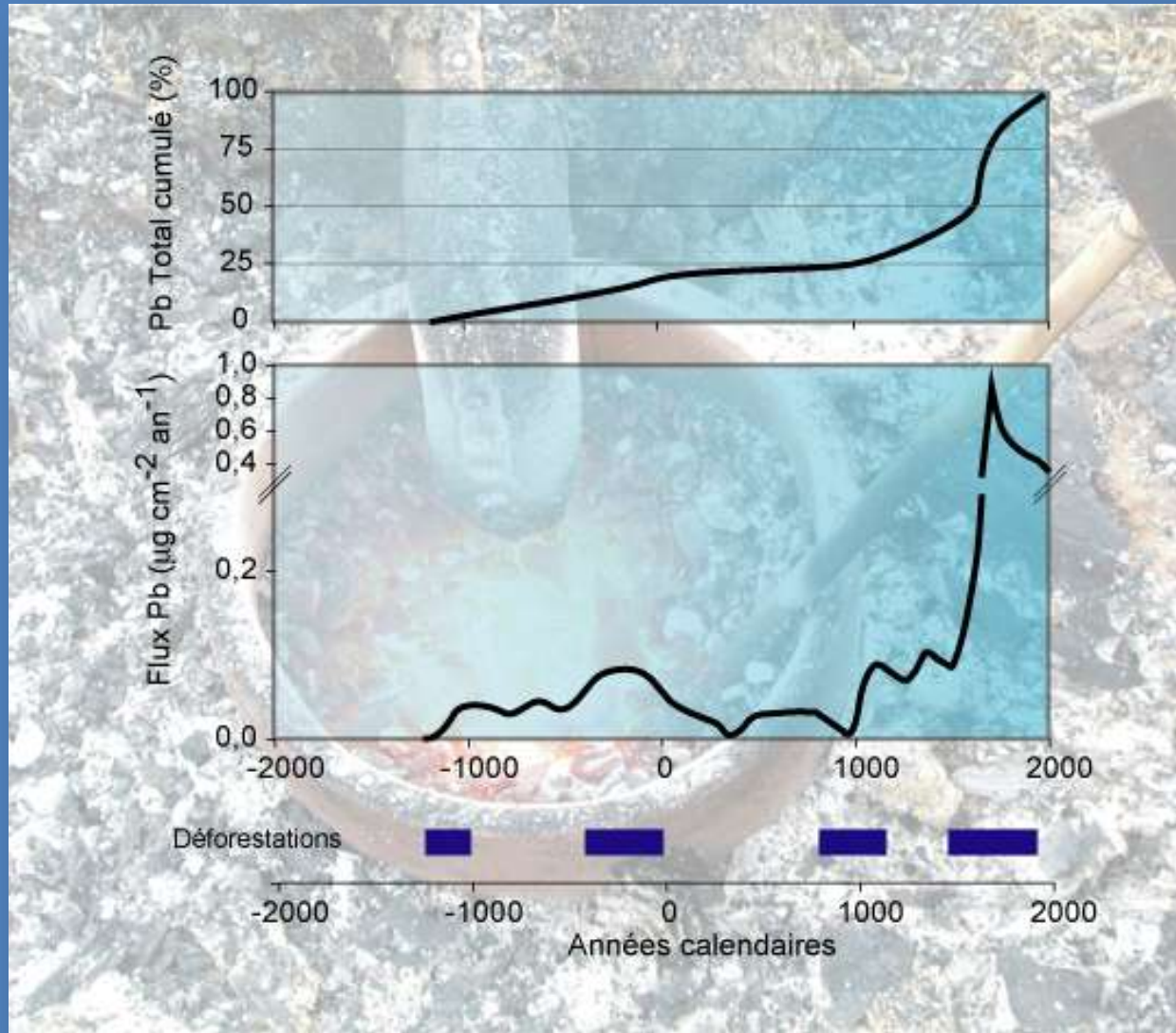
Monna, F., Petit, C., Guillaumet, J.-P., Jouffroy-Bapicot, I., Blanchot, C., Dominik, J., Losno, R., Richard, H., Lévêque, J., Chateau, C. History and environmental impact of mining activity in Celtic Aeduan territory recorded in a peat-bog (Morvan – France). *Environ. Sci. Technol.*, 38, 3, 657-673, 2004

# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



Flottage jusqu'à Paris au XVIII<sup>e</sup>

# Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



20% avant  
notre ère

50% avant le  
XVII<sup>e</sup> XVIII<sup>e</sup>

Evolution temporelle des flux en Pb anthropique sur le site de Port-des-Lamberts. et évolution du plomb total cumulé

## Axe 3: Histoire de la métallurgie et liens avec l'archéologie



**Chantier Jordanie, coll. C. Rambeau & S. Black (Univ. Reading), Univ. Amman.**

**Chantier Pyrénées Centrales, resp. D. Galop (Univ. Besançon)**

**Chantier Roumanie, coll. B. Cauuet (Univ. Toulouse), Univ. Cluje.**





## Thèse de B. Forel

(co-dir. C. Mordant)

## Histoire de la métallurgie abordée *via*

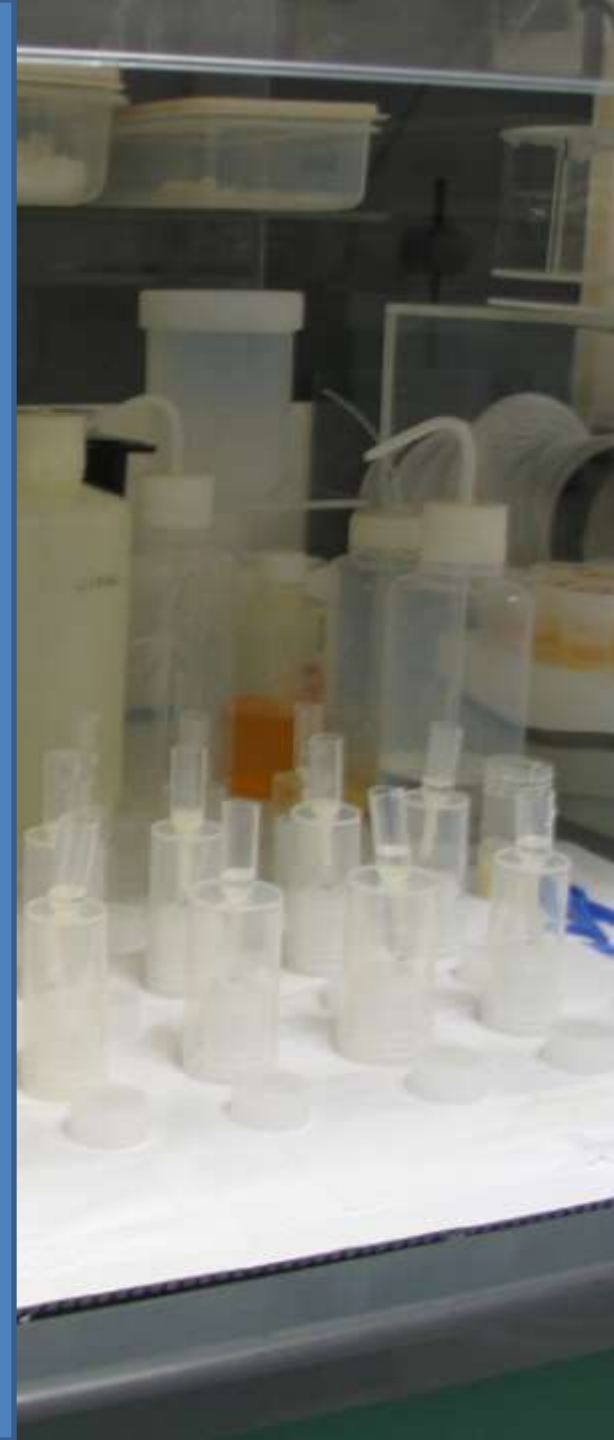


- L'impact environnemental (Morvan, Vosges)
- La composition des objets métalliques
- La typologie des objets métalliques

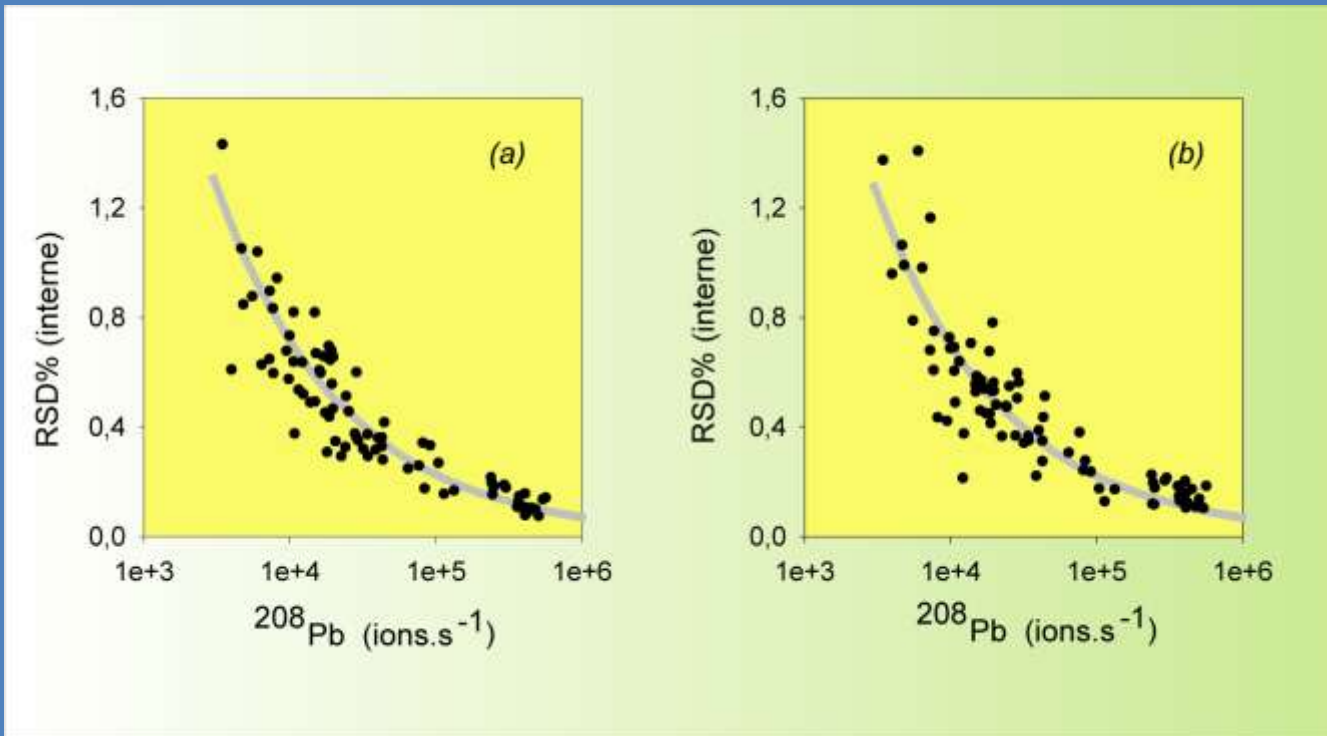
Forel, B., Gabillot, M., Monna, F., Forel, S., Dommergues, C.H., Gerber, S., Petit, C. Mordant, C., Château, C. Morphometry of Middle Bronze Age palstaves by Discrete Cosine Transform. *Journal of Archaeological Sciences*. DOI :10.1016/j.jas.2008.10.021.

**AXE 4**

**Développements  
analytiques**



# Axe 4: Développements analytiques



Ecart type (en %) en fonction de la concentration en Pb de la solution. (a) pour le rapport  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ; (b) pour le rapport  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . La courbe grise représente l'écart type théorique calculé sur la seule base de la statistique de comptage par la loi de Poisson.

**Monna, F.,** Loizeau, J.-L., Thomas, B.A., Guéguen, C., Favarger, P.-Y. (1998) Pb and Sr isotope measurements by inductively coupled plasma - mass spectrometer: efficient time management for precise improvement. *Spectrochimica Acta*, part B. 59/09, 1317-1333.

**Monna, F.,** Loizeau, J.-L., Thomas, B., Guéguen, C., Favarger, P.-Y., Losno, R., Dominik, J. (2000) Noise identification and sampling frequency determination for precise isotopic measurements by quadrupole-based Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Analisis*. 28, 750- 757.



# Perspectives

1. Impact des sites miniers abandonnés sur les écosystèmes aquatiques et terrestres actuels
2. Mobilité et spéciation des métaux dans les sols





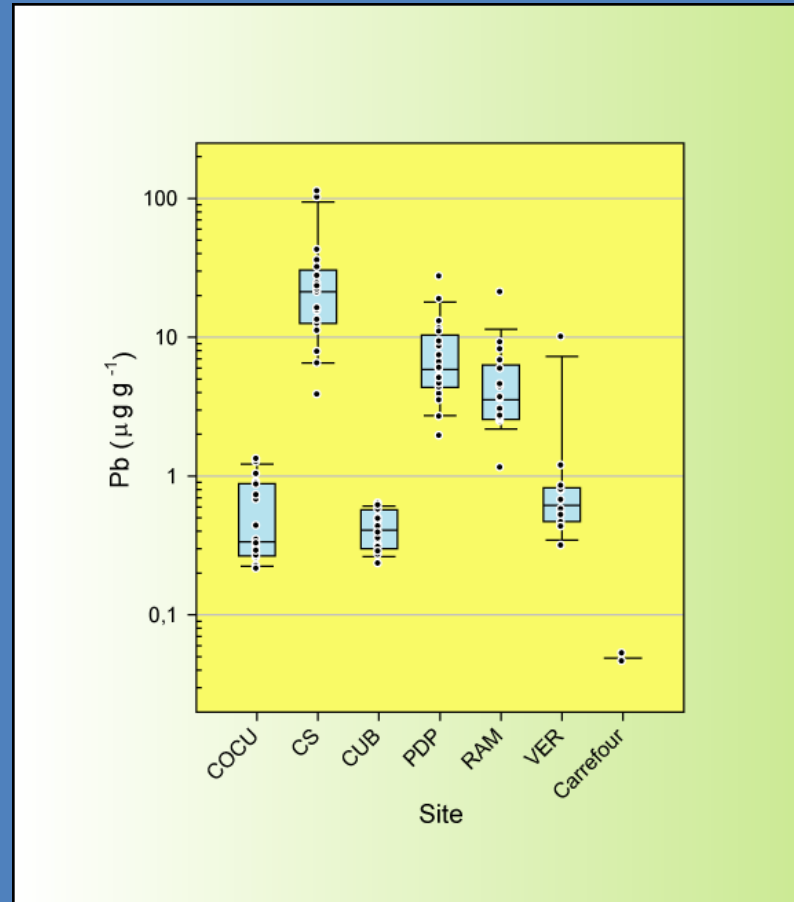
**Exemple du PNC**

# Perspectives



# Perspectives





Concentrations en Pb dans les foies des 120 truites prélevés dans le PNC. Secteurs VER : Vérié, milieu granitique non minier ; RAM : Ramponenche, importante mine et laverie, Pb Zn, Ba, XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> ; PDP : Pont de la Planche, mine et fonderie de Vialas, Pb, XVIII<sup>e</sup>-XIX<sup>e</sup> ; CUB : Cubières, mine de Neyrac avec réseau GR, Pb, et reprise moderne ; CS : Combe Sourde, mine et laverie du Bleymard, Pb/Zn, XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> ; COCU : Cocurès, bassin versant minéralisé avec exploitations anciennes M.A., Pb, et exploitation U au XX<sup>e</sup> des Bondons,

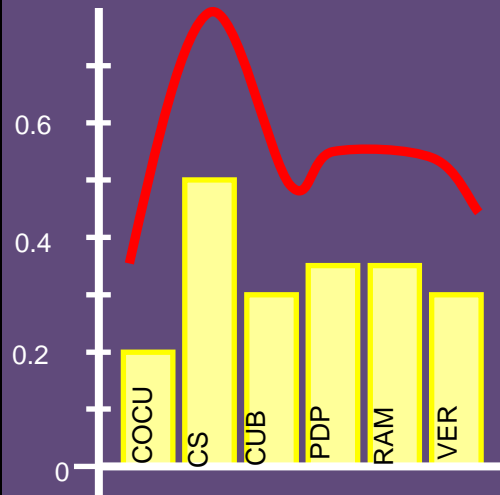
**Master 2 Céline Biville (2007)**



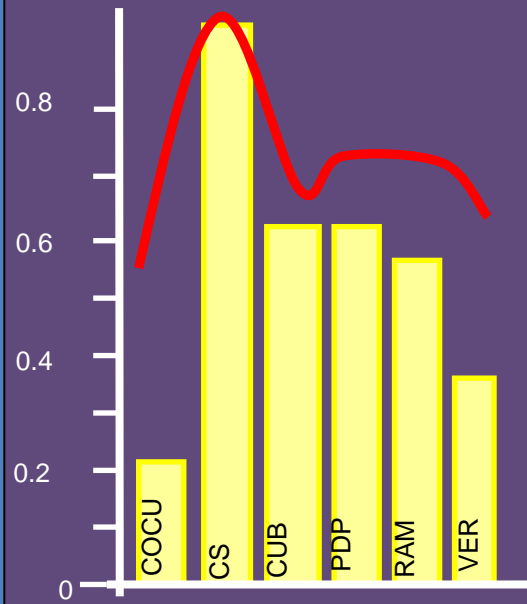


# Perspectives

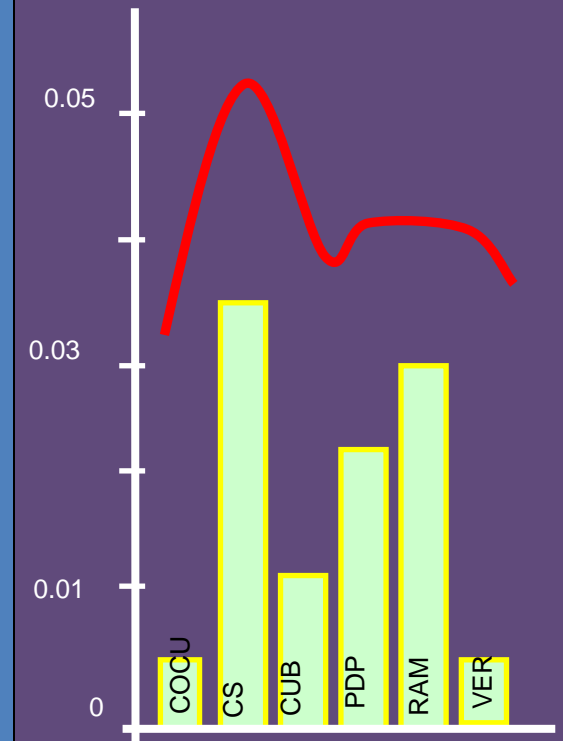
FA 1 Distance Œil-branchies



FA 1 Nb de rayons de la nageoire pectorale



FA 10 Nb de rayons de la nageoire pelvienne



FA1: Moyenne | D-G |  
FA10: ANOVA à 2 facteurs



**Master 1 Céline Thomas (2007), dir. P. Alibert**

## 1. Impact des sites miniers abandonnés sur les écosystèmes aquatiques et terrestres actuels (PNC & Morvan)

- a. Biodisponibilité des ETM transférés depuis les sites miniers abandonnés vers les compartiments aquatiques et terrestres. Influence sur la biologie du développement.
- b. Influence de l'âge des travaux, de leur nature, et du substrat géologique sur les capacités de mobilisation des polluants
- c. Modélisation de l'impact des sites miniers sur les écosystèmes aquatiques et terrestres (campagnol).

# Perspectives

1. Impact des sites miniers abandonnés sur les écosystèmes aquatiques et terrestres actuels
2. Mobilité et spéciation des métaux dans les sols (naturels)



# Perspectives



Site de Mortagne du Nord (1957)

Prairie

Culture

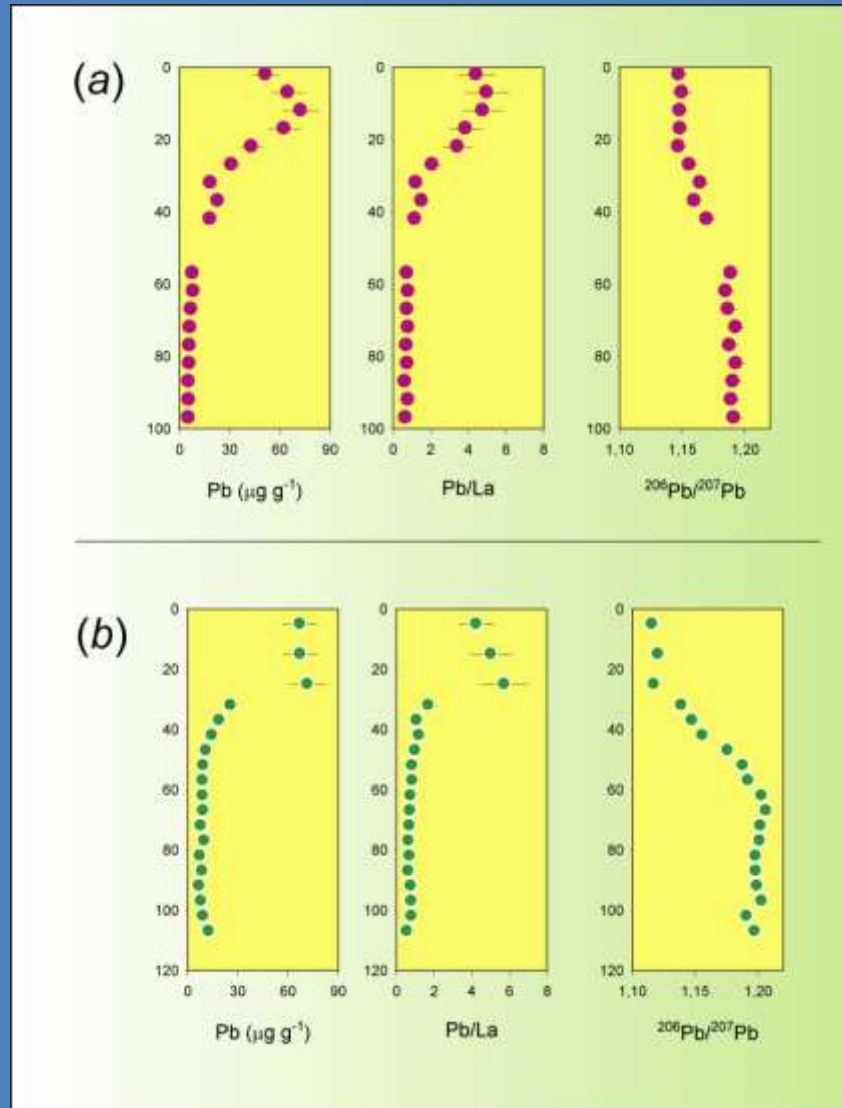


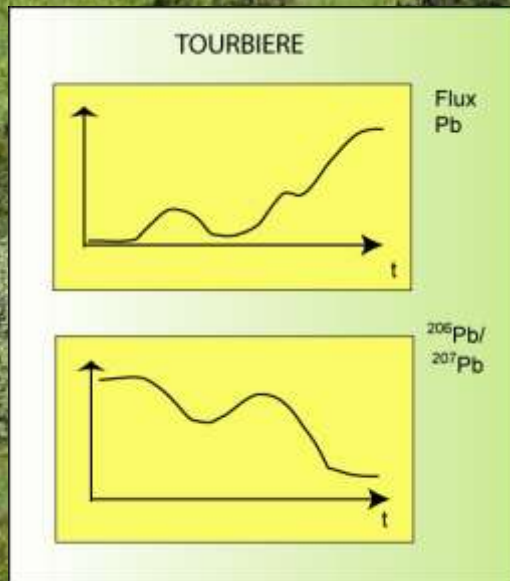
photo: Folkert van OORT



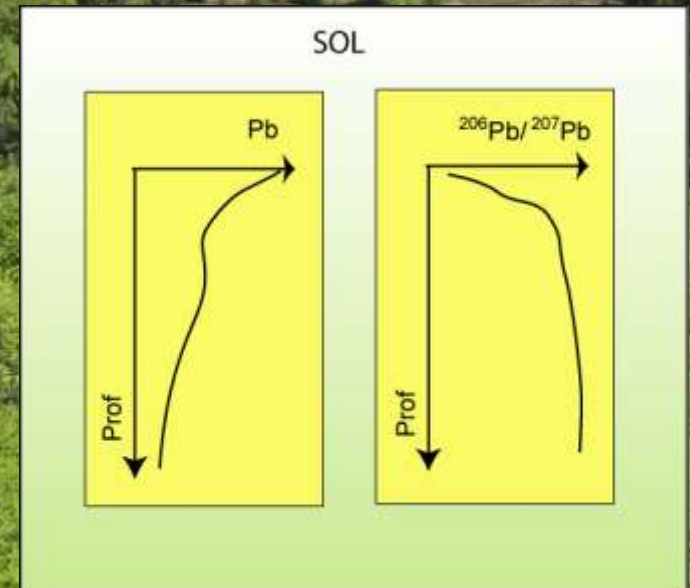
photo: Folkert van OORT



## Combiner les expériences acquises



**Dynamique**

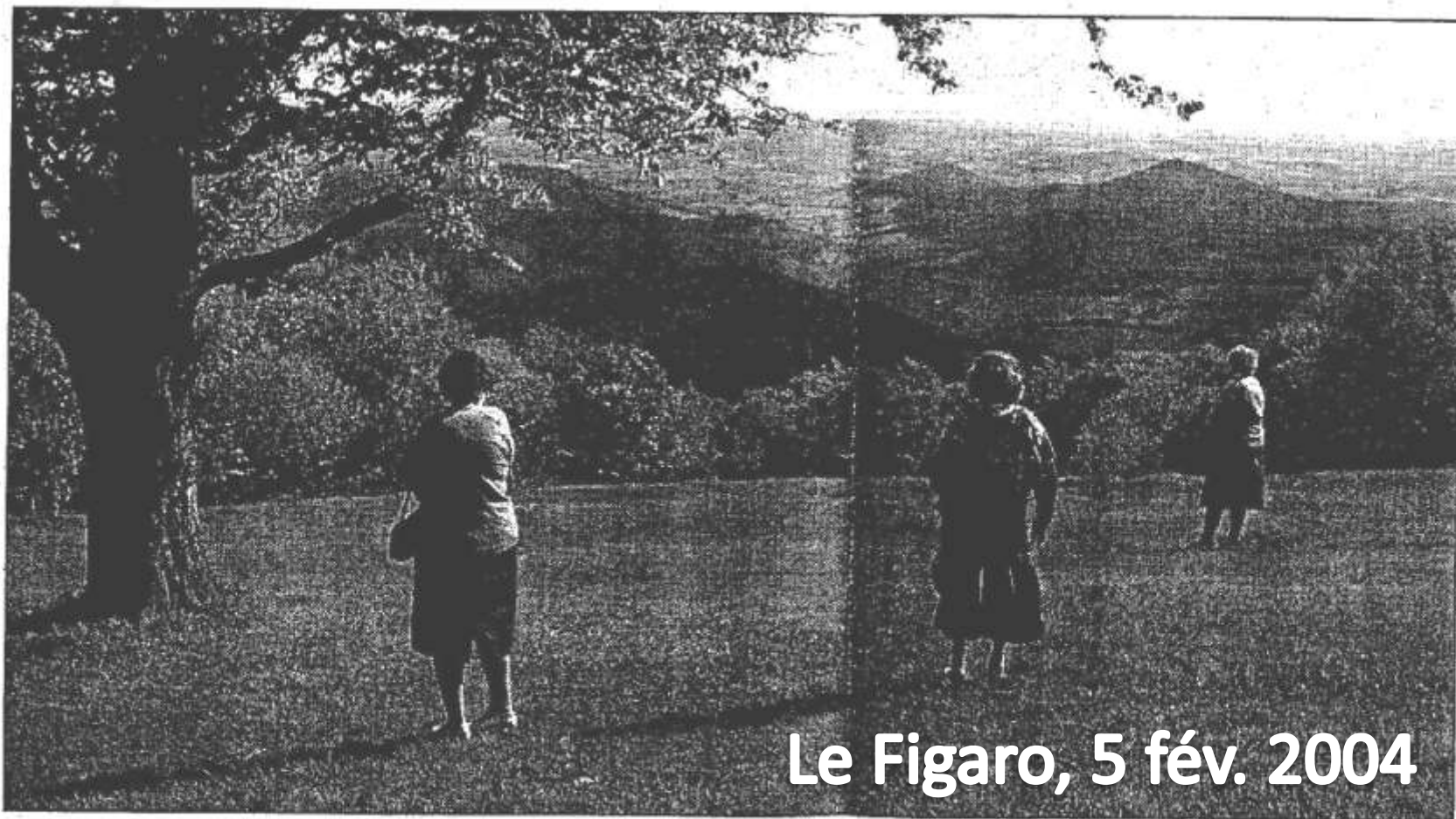


## 2. Mobilité et spéciation des métaux dans les sols

- a. Localiser les ETM dans les différentes fractions du sol.
- b. Evaluer la stabilité des associations entre ETM et les constituants minéraux et/ou organiques  
  
afin de
- c. Bâtir un modèle dynamique basé sur des transferts entre horizons

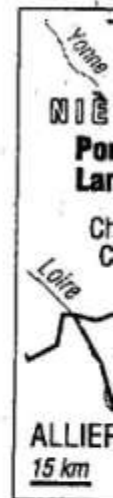
# ntion au plomb chez les celtes

.....  
es sont  
n plus  
chéolo-  
Elles  
euls in-  
es dont  
ce ma-  
rmi les  
fournir  
plomb  
« par-  
ossède  
ermet-  
cision  
i, par  
qui fut  
sence  
s, pos-  
ppiqué  
naire  
da, ce  
s gise-  
illiard  
nette-  
n Eu-  
atins à



Le Figaro, 5 fév. 2004

Le mont Beuvray en Bourgogne. Des géochimistes ont repéré dans une tourbière des traces de plomb qui remontent à l'exploitation des ressources minières locales, dès 1 300 ans avant J.-C. (Photo Jean-Marc Charles/Corbis.)



qui intri-  
depuis  
reste plu-  
tifier et  
mines c-  
chance c-  
ture d'E-  
si les Cel-  
minés pa-  
mains.  
montre c-  
habitan-  
Rome (Is