

# Signatures isotopiques et magnétisme des poussières atmosphériques du BMP

*Séminaire annuel OHMBMP  
Trets, le 5 Octobre 2015*

[mathe@cerege.fr](mailto:mathe@cerege.fr)

*Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences Environnement – AMU*

[Myriam.Janin@unimes.fr](mailto:Myriam.Janin@unimes.fr)

*CHROME– UNIMES*

# Objectifs:

Discrimination multi-proxys de l'origine des poussières naturelles ou anthropiques en contexte de territoires géographiquement et industriellement morcelés.

*Test méthodologique:*

*Magnétisme des roches appliqué aux aérosols industriels régionaux (traçage des sources, retombées) –Georgeaud (1997), Lecoanet (2001)-. Spécificités du Bassin minier de Provence.*

*Méthodes spécifiques du fer et métaux ferreux, ou affinités; tailles de grains*

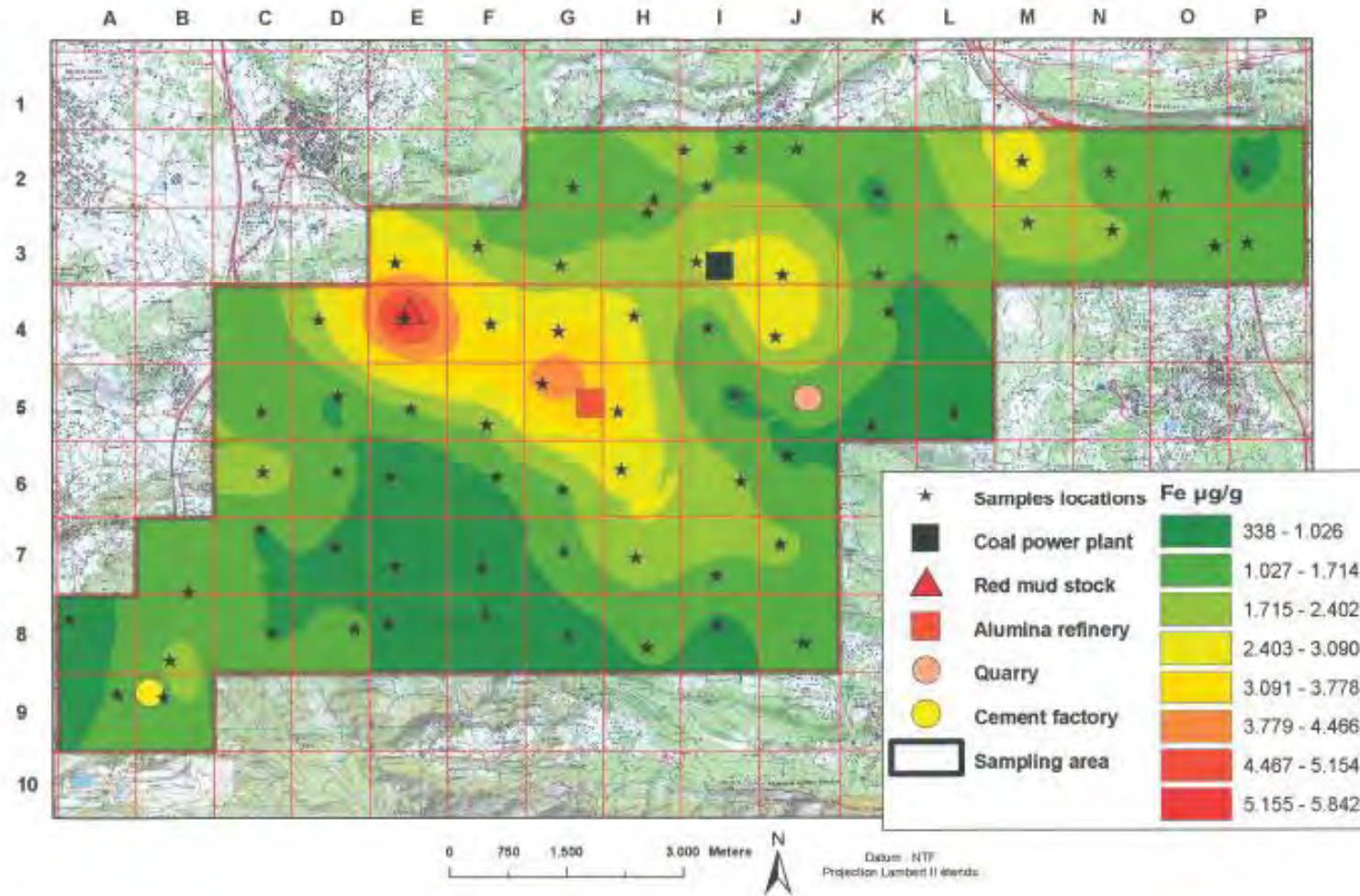
*Outils isotopiques (Strontium, développement analytiques sur les métaux au GIS (Myriam Janin).*

*Méthodes par digestions chimiques*

*Validation de la complémentarité des méthodes et diagnostics*

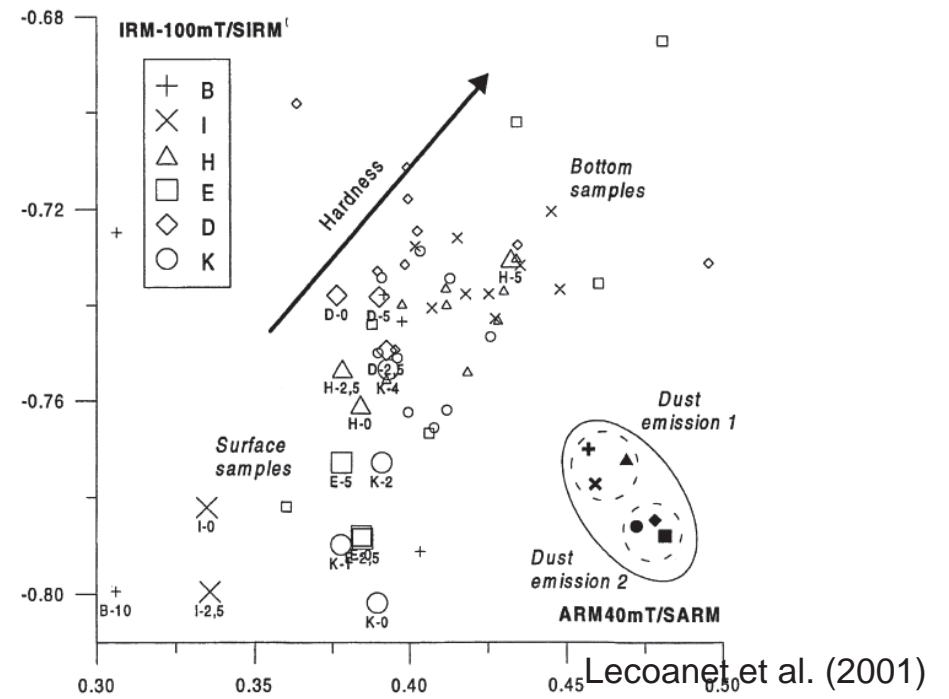
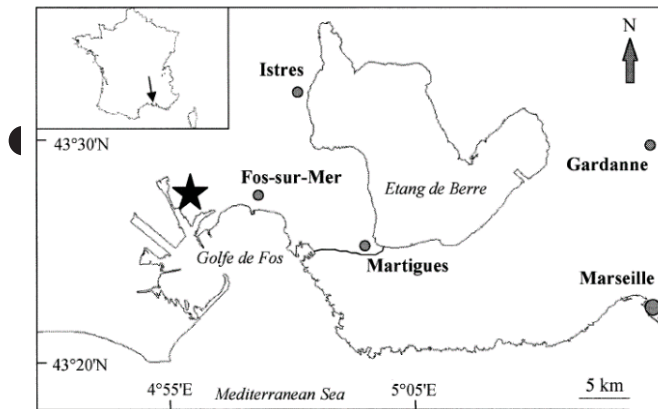
*Aide à la décision (carte d'identité et de répartition des particules fines PM 2.5- 10 voire infra)*

# Historique



*Echantillonnage par collecte de feuilles d'arbres et sources*

*Analyses des éléments chimiques pertinents sur extraits, mesures magnétiques directe sur feuilles ou sur poudres.*



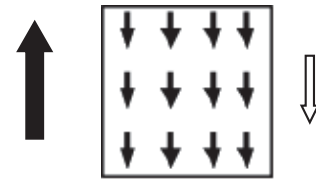
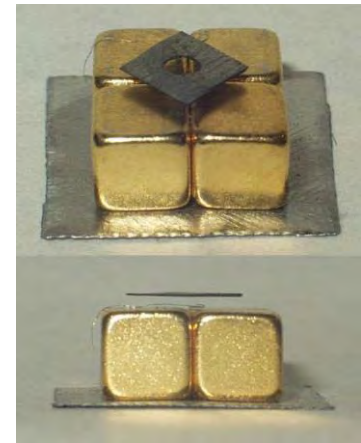
Magnétisme des roches appliqué au traçage des sources en PACA : exemple Berre Fos

*Méthodologie magnétisme des roches:*

# Susceptibilité $K$ et ordre magnétique :

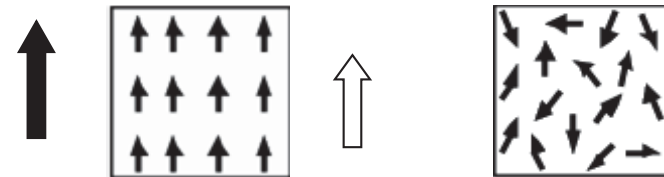
**Ordre diamagnétique  $K_d < 0$  Répulsion faible**

**Matériaux non ferreux (métal ou ions)**  
**Minéraux: Calcite ( $-12,3 \cdot 10^{-6}$  SI), Quartz ( $-14,5 \cdot 10^{-6}$  SI)**





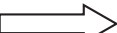
**Ordre paramagnétique  $K_p > 0$**   
**ions du fer dilué sans interactions**

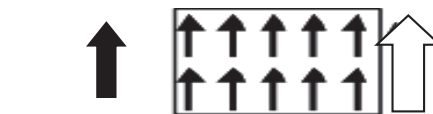
**Minéraux: argiles  $Fe^{II,III}$ , etc ( $+10 \cdot 10^{-6}$  SI)**



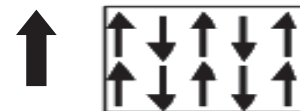
**Ordre ferromagnétisme s.l.  $K_f \gg 0$**   
**interactions +ou-**  
**aimants permanents**

**FERRO Fer  $K=3,9$  SI**  
**FERRI Magnétite ( $Fe_3O_4$ )  $K = 3$  SI**  
**AF+ff Hématite ( $\alpha Fe_2O_3$ )  $K=0,5-40000 \cdot 10^{-6}$  SI**

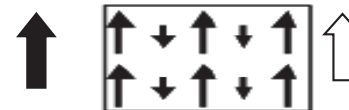
Champ appliqué   
 Moment magnétique  
 élémentaire (ion du fer)   
 Aimantation induite  
 résultante 



c- Ferromagnétique s.s.



d- Antiferromagnétique



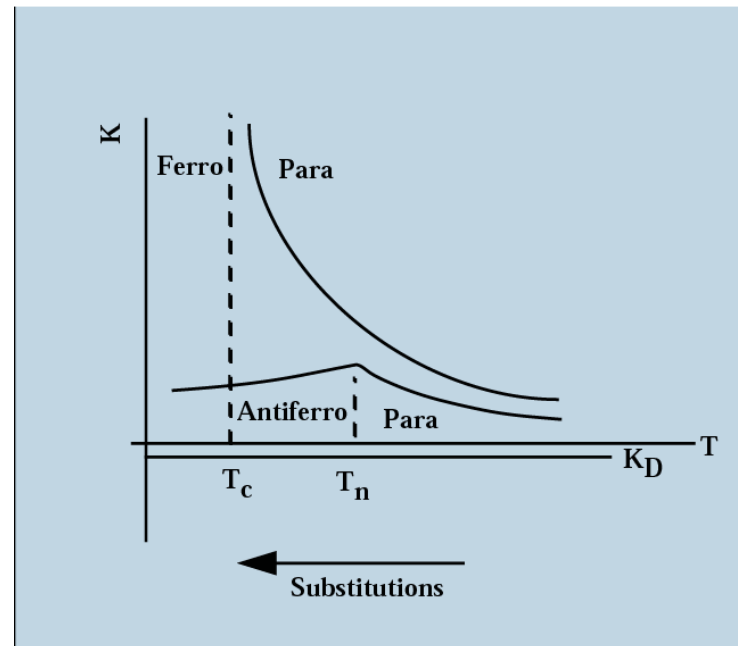
e- Ferrimagnétique



f- Ferromagnétique faible.

# Susceptibilité magnétique et températures d'ordre:

Au dessus d'une température d'ordre dite de Curie ou de Néel, les effets de l'agitation thermique contrecarrent l'ordre ferromagnétique s.l.

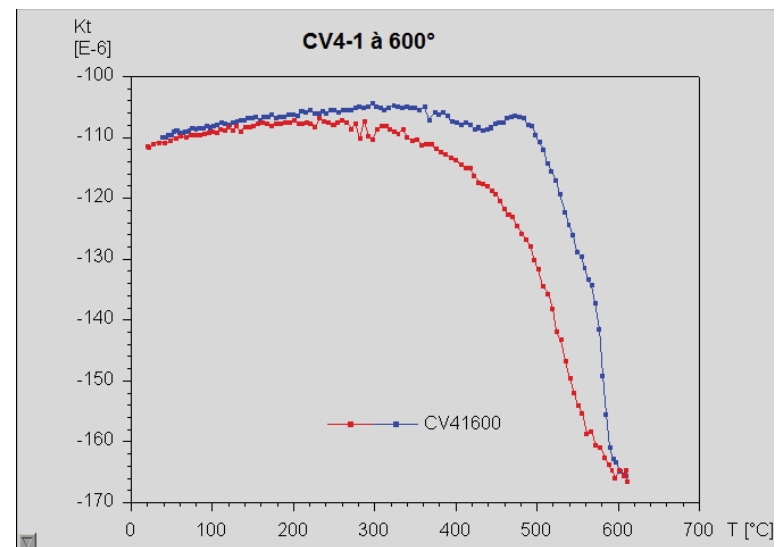
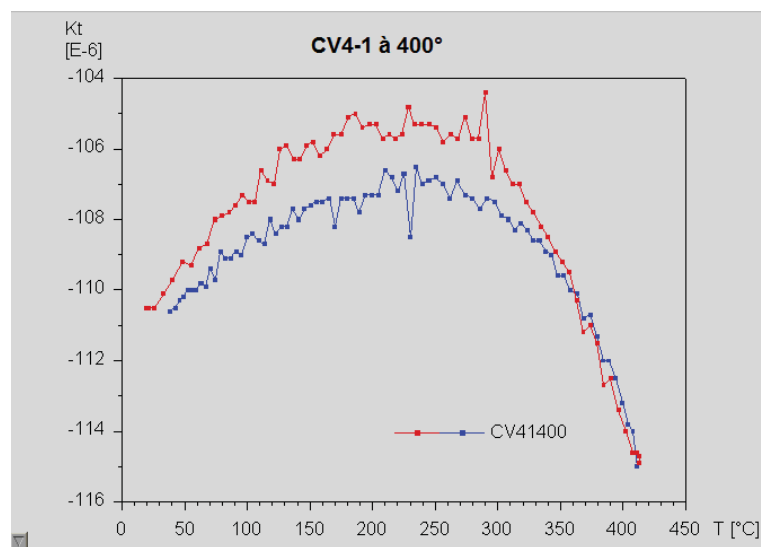


Les moments magnétiques n'étant plus alignés, on assiste à une transition de phase ferro-paramagnétique caractéristique du matériaux.

L'adjonction d'ions non magnétiques dans la structure minérale joue l'effet d'un diluant, les température d'ordre diminuent en proportion.

# Caractérisation des sources: courbes thermomagnétiques

Cendres volantes centrales charbons



Ttraitement thermique < T Irréversibilité

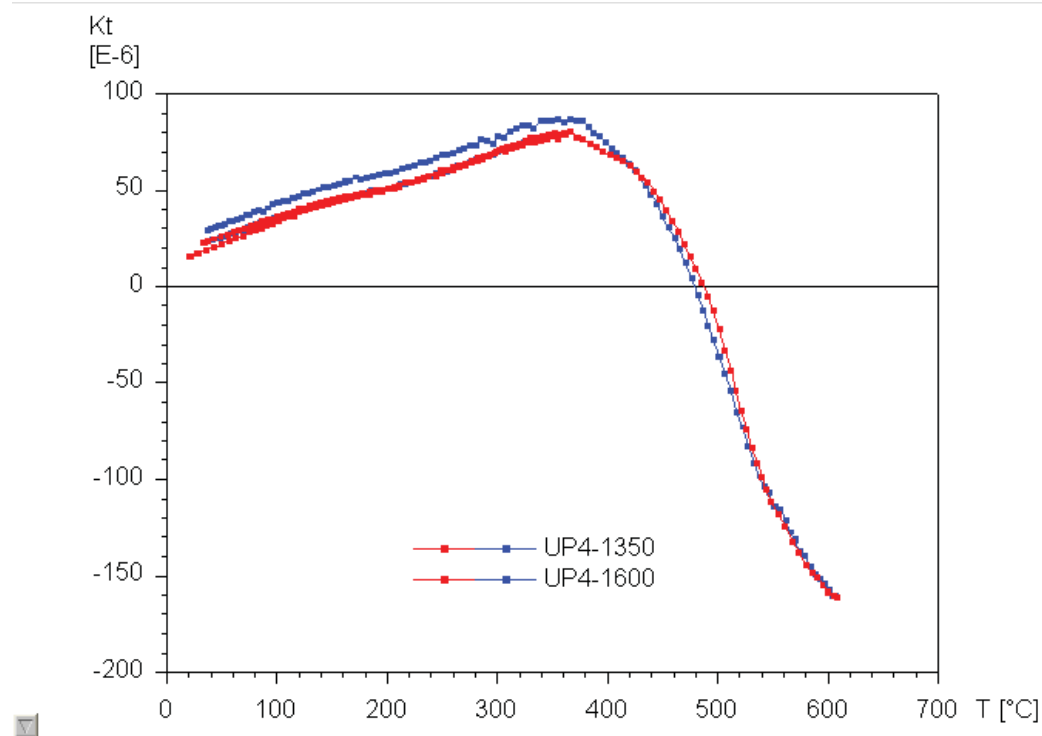
Faibles K

Transformation Pyrite  $\text{FeS}$  / Magnétite  $\text{Fe}^{II,III}\text{3O}_4$  (Faible paramagnétisme / Ferro) au chauffage



# Caractérisation des sources: courbes thermomagnétiques $K=f(T)$

Cendres de foyer 2<sup>e</sup> sem 2008 centrale charbons



Température de Curie  $T_c$ : Magnétite ( $\text{Fe}^{\text{II,III}}\text{3O}_4$ )

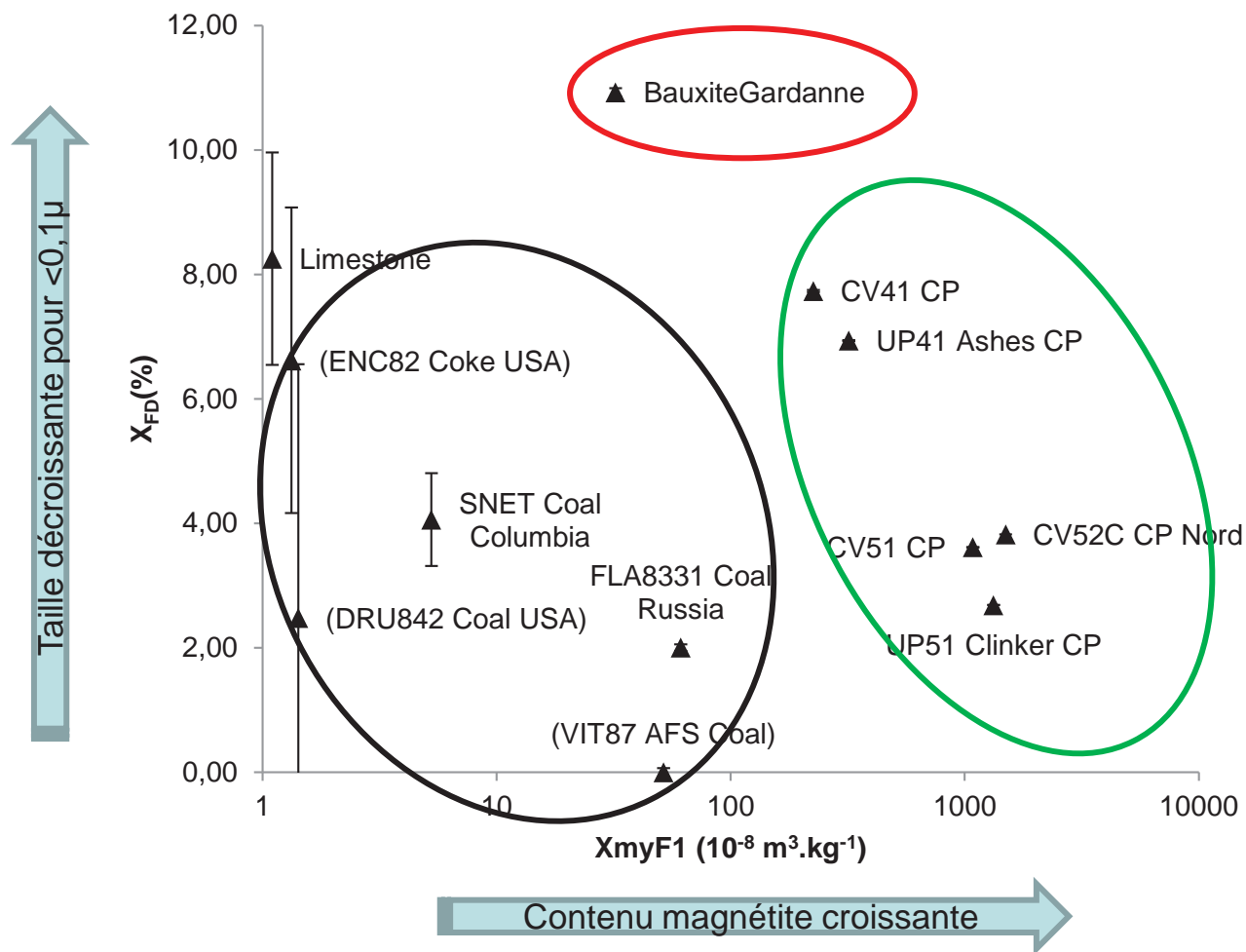
Irréversibilité : T traitement thermique  $> T_c$

Identification des porteurs en traces (ppm);

Identification des process thermiques

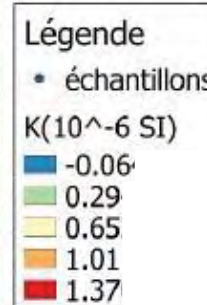
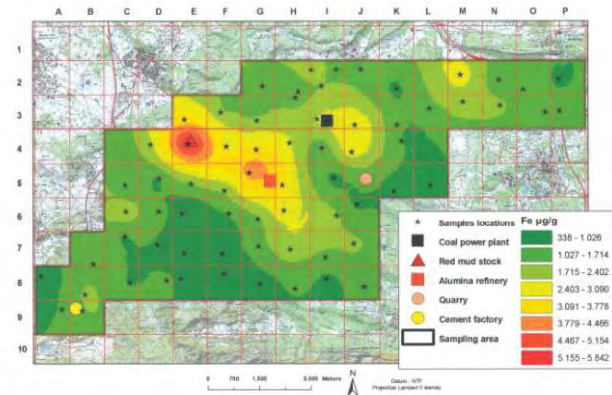
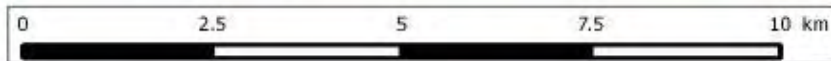
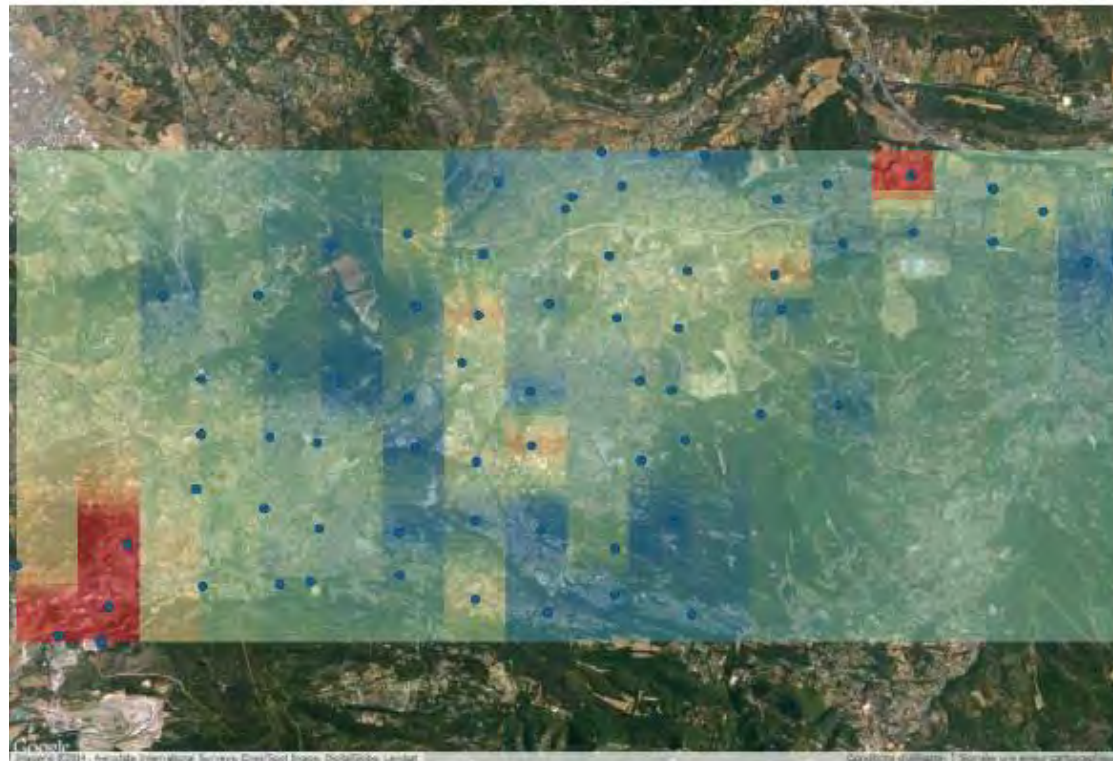
Discrimination porteurs naturels/anthropiques au sein des échantillons de poussières

# Susceptibilité magnétique et dépendance en fréquence



Discrimination en tailles et spéciation magnétique des sources

# Cartographie de susceptibilité magnétique K sur feuilles d'arbres



Spéciation magnétique du fer:

Cimenterie: Traces ferromagnétiques : magnétite, métal?

Boues rouges: hématite grains fins (<0,1µ) antiferromagnétiques

Alumine: Al + hématite grains fins (<0,1µ) antiferromagnétiques

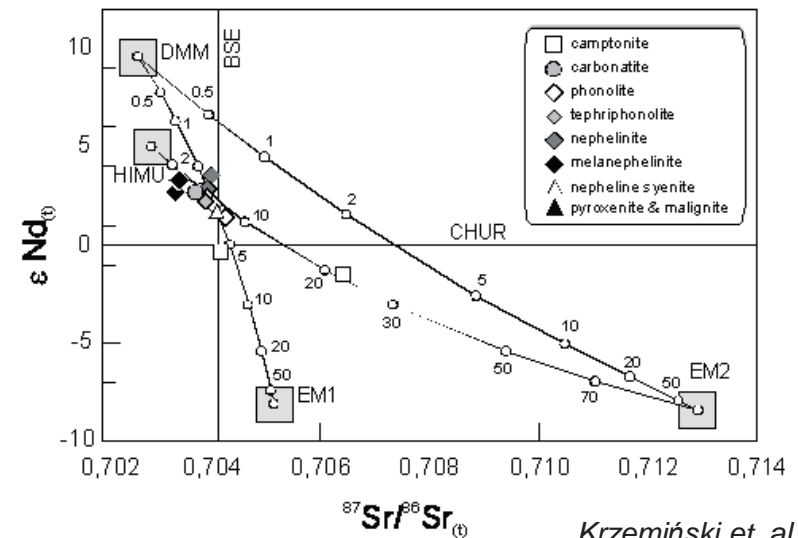
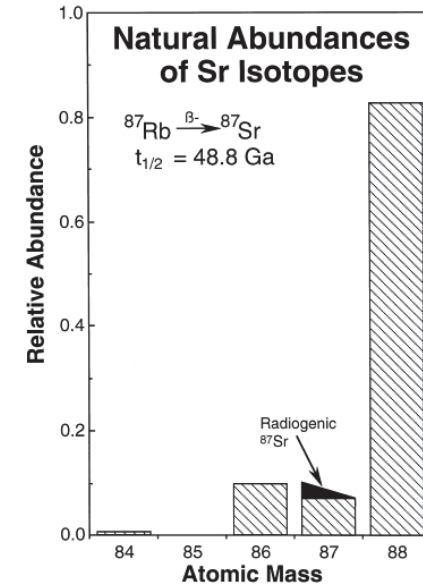
Points singuliers: rééchantillonnage ou suivi temporel.

# C'est quoi un isotope ?

- Exemple du strontium:
- Le  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  d'un matériau naturel dépend:
  - Sa [Rb]
  - Son âge
  - Son histoire géologique
- Le  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  d'un matériau anthropique dépend de:
  - Son origine
  - Sa composition
  - Ses procédés de fabrication
  - ...

→ Notion de **signature isotopique des matériaux**

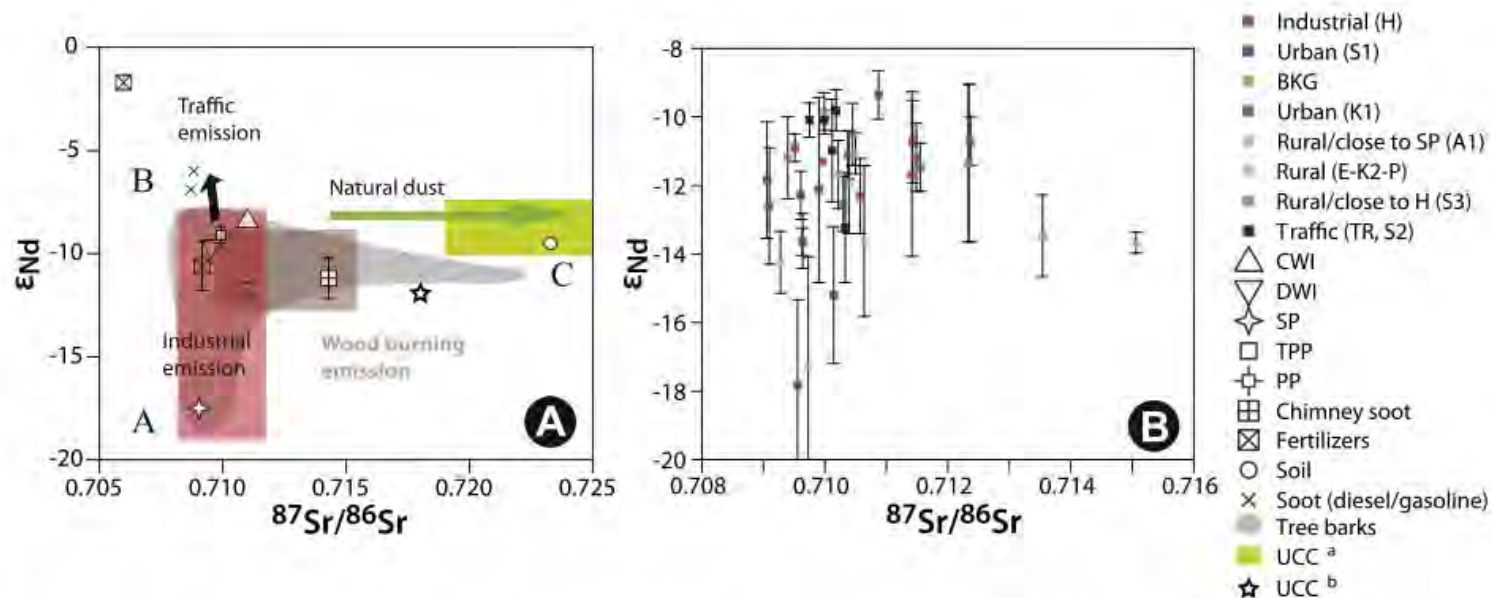
→ **Identification des sources** d'un mélange



*Krzemiński et al., 2010*

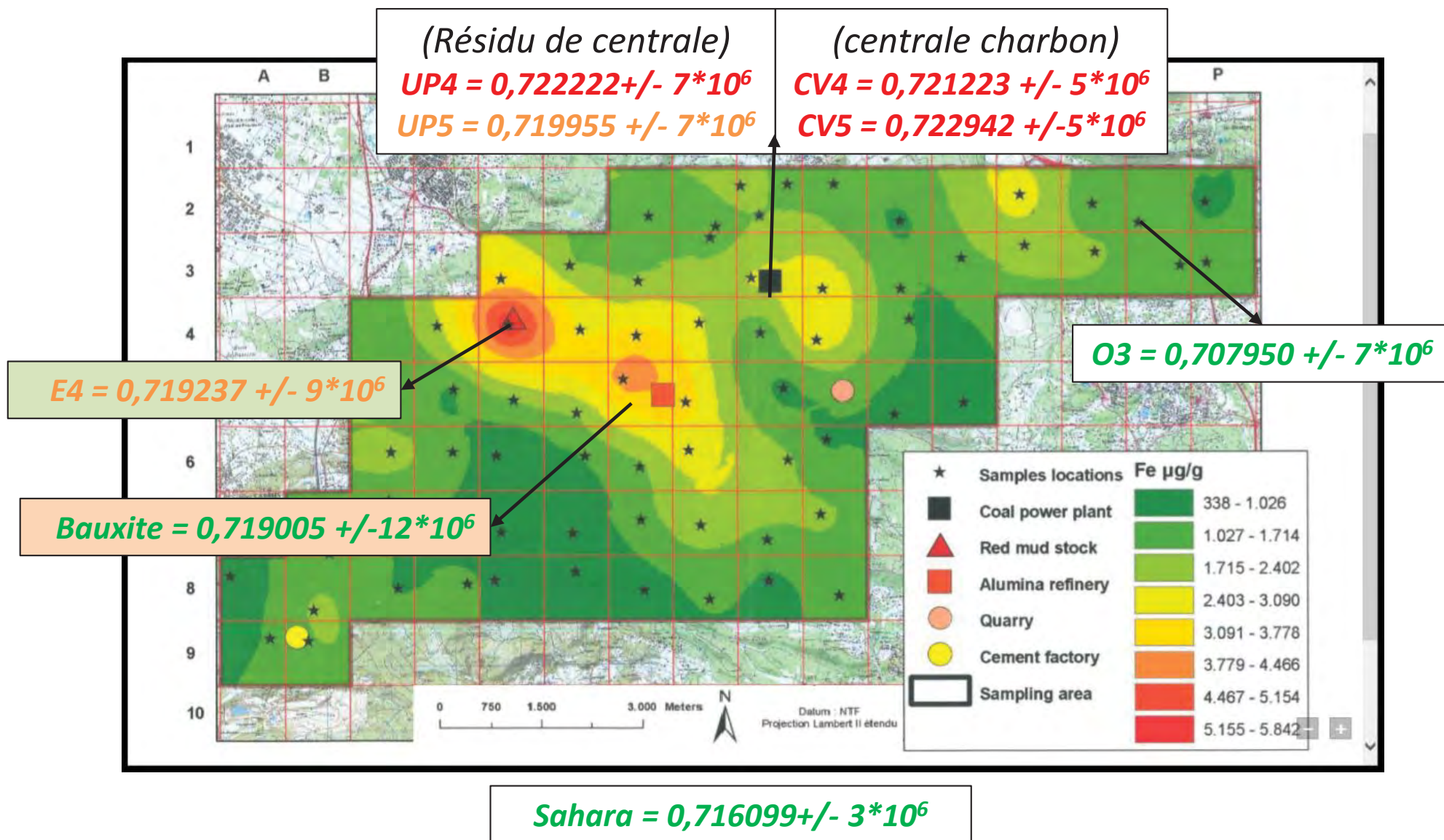
# L'intérêt de l'isotopie ? - Exemple

- Guéguen *et al.* [2012]: **Chemical and isotopic properties and origin of coarse airborne particles collected by passive samplers in industrial, urban and rural environments** → caractérisation géographique ponctuelle via la signature isotopique des sources de pollutions potentielles



**Fig. 5.**  $\epsilon_{Nd}$  vs.  $^{87}Sr/^{86}Sr$  isotope diagrams showing (A) the main sources of pollution: industries (end-member A, reddish field); traffic (end-member B); wood burning (beige field); and natural emissions (end-member C, green field). The gray plume represents the field obtained from tree-bark biomonitoring (Lahd Geagea *et al.*, 2007, 2008a); and (B) the variation of Sr and Nd isotopic compositions in the dust samples (this study). UCC<sup>a</sup> from Lahd Geagea *et al.* (2008b); UCC<sup>b</sup> from Steinmann and Stille (1999), and Tricca *et al.* (1999). Fertilizers (I) and (II) have not only significantly different chemical but also Sr and Nd isotopic compositions. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

# Signatures isotopiques des sources



# Conclusions:

- **Magnétisme des roches**
  - Diagnostic des minéraux traces direct (non destructif et rapide)
  - Dans les contextes de faibles teneurs et faibles susceptibilités  $K=0$ , indétermination sur les sources en mélanges quand à la magnétochimie des grains (mélange antiferro -hématite grains fins-+ diamagnétiques Al ou Ca)
  - Diagnostic de tailles nanométriques
- **Isotopie: discriminant de sources naturelles, la bauxite, les résidus industriels.**
- **Dans le cas de signatures proches, magnétique ou isotopiques, le couplage des méthodes lève certaines indéterminations.**
- **Perspectives:**
  - jeu de données et suivi temporel;
  - pollution de sols : effets de dilution