



Contamination des sols en zone méditerranéenne : état des lieux et diagnostics



Annabelle AUSTRUY



Association fondée et implantée sur le territoire du SAN Ouest-Provence en **2010**

Conseil d'administration
Acteurs locaux

- ➔ Répondre aux interrogations
- ➔ Améliorer les connaissances
- ➔ Aider à la décision

Groupe de volontaires
Citoyens habitant le territoire

Conseil scientifique
Chercheurs / médecins

Etude du milieu marin

- Bioaccumulation
- Etude de l'impact de la chloration

Etude de l'air

- Suivi des particules ultrafines
- Quantification des sources

Etude sanitaire

- Bioimprégnation humaine
- Etude épidémiologique

Etude des sols

- Valeurs de référence
- Etude du transfert des polluants vers le vivant

- **La dégradation de la qualité des sols** est la diminution ou la disparition de sa capacité à remplir une ou plusieurs de ses fonctions (Citeau *et al.*, 2008)
 - **60 %** des zones rurales méditerranéennes présentent un **risque modéré ou important de dégradation de sol**
 - **Causes majeures de dégradation** des sols en **Méditerranée** :
 - Erosion hydrique et éolienne des sols
 - Pression de l'urbanisation
 - Contamination des sols (salinisation, pollution, surexploitation, ...)
 - Perte de biodiversité des sols
- ➔ Importance de la mise en place d'une **politique méditerranéenne coordonnée entre les Etats** pour la **gestion durable des sols**

- Contamination des sols, un des principaux processus de dégradation des sols

➔ Elle résulte d'un **apport extérieur d'éléments**, de **molécules minérales** ou **organiques**, ayant pour conséquence une **élévation de leur teneur initiale dans le sol** susceptibles de **causer des altérations** biologiques, chimiques et physiques de l'écosystème constitué par le sol (ADEME, 2012)

Contamination diffuse

Peu intense mais chronique et généralisée



- Dépôts atmosphériques
- Traitements phytosanitaires
- Engrais, épandage MO résiduaire
- Irrigation
- Dépôt de sédiments
- Sources naturelles

Contamination ponctuelle

Source de pollution localisée



- Sites industriels, miniers
- Décharges
- Stockage de produits toxiques
- Rejet d'effluents

➔ **Risque de transfert des contaminants vers la biosphère**

**Activités anthropiques =
émissions de particules
de différente taille et
spéciation**

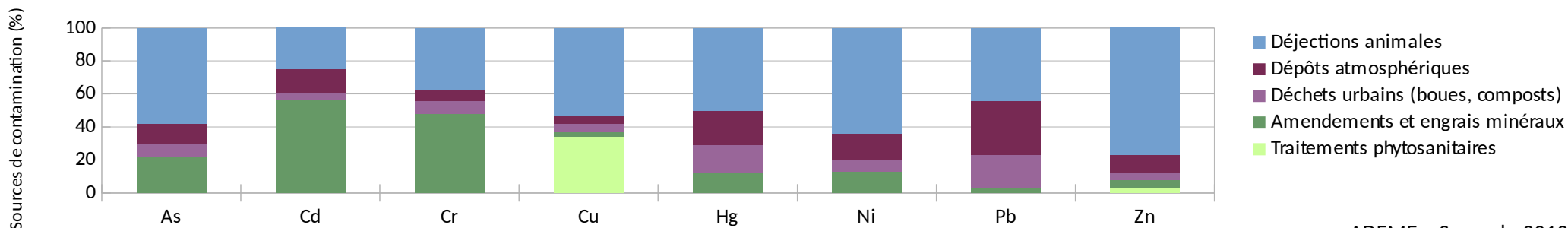


**Impacts
environnementaux et
sanitaires**



- **Élément trace métallique (ETM) : terme générique qui désigne des métaux et métalloïdes toxiques**
 - 80 éléments de la classification périodique
 - 0,6 % de la croûte terrestre (Baize, 1997), teneur moyenne dans les sols < 1 g.kg⁻¹
 - **Non biodégradables**, stabilité forte, mobilité relativement forte
 - Interactions multiples et complexes avec le sol
- **Origine des ETMM**
 - **Fond pédogéochimique naturel**
 - **Activités anthropiques** (industrielles, minières, agricoles)

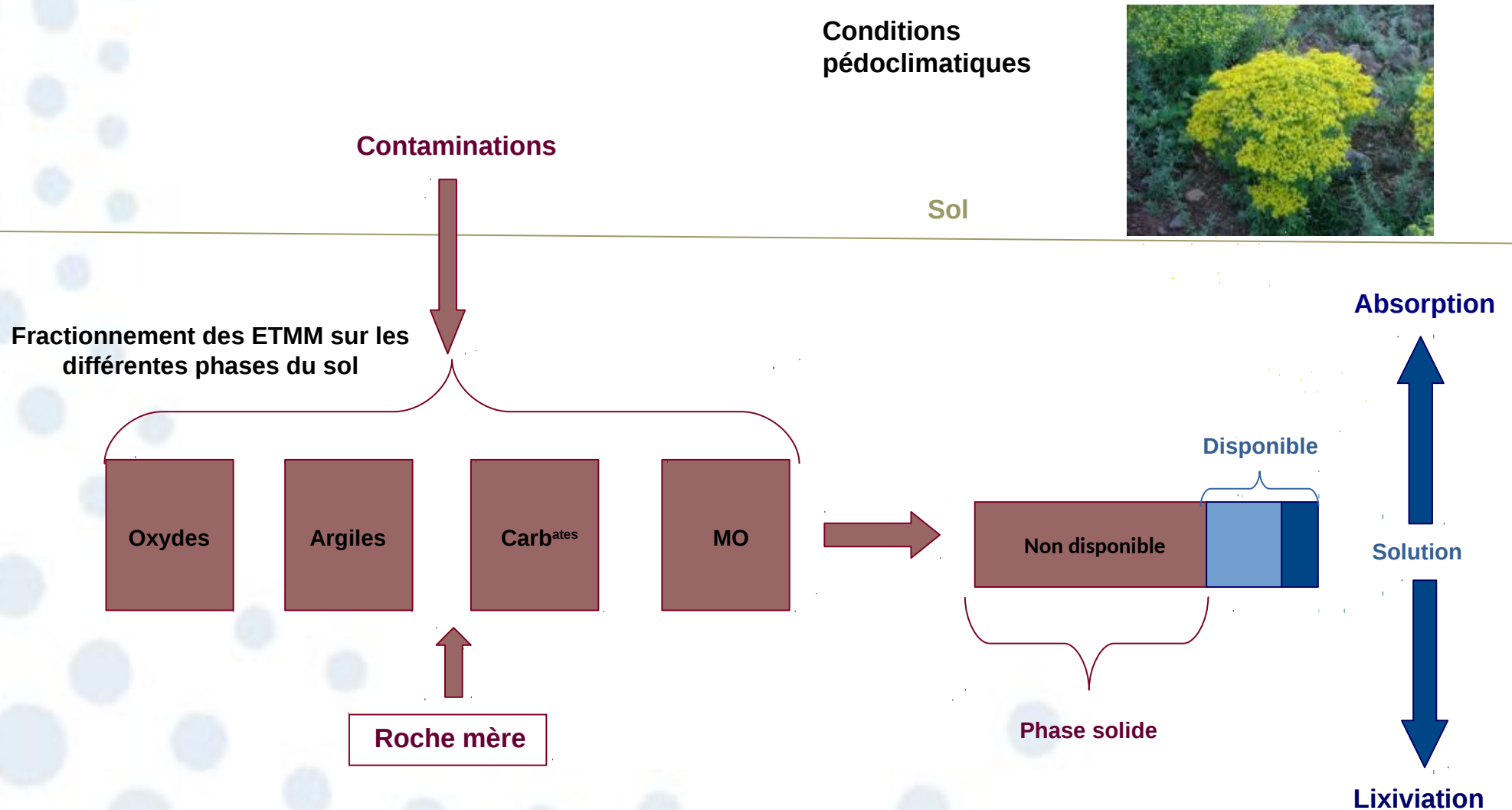
Part des différentes sources de contamination dans l'estimation des quantités totales de métaux et métalloïdes entrant sur les sols agricoles



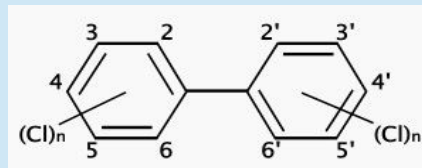
ADEME - Sogreah, 2012

- **ETMM et toxicité**
 - Cr, As, Cd, Hg, Pb, ... sont **non essentiels et toxiques**
 - Zn, Mn, Cu... sont **essentiels** (oligoéléments) mais peuvent **devenir toxiques** lorsqu'ils sont présents **en excès**
 - Toxicité dépendante de leur **concentration totale**, de leur **spéciation chimique** et de leur **biodisponibilité**

La **biodisponibilité d'un ETMM** est son aptitude à être transféré d'un compartiment du sol vers un organisme vivant : microflore, faune, flore et homme (Baize, 2007)

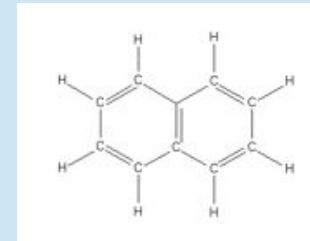
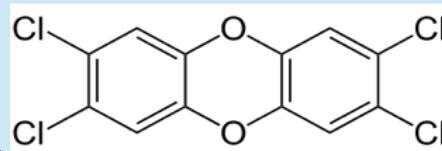


- Mis à part les hydrocarbures aliphatiques et pesticides, les **polluants organiques** se divisent en **4 familles**



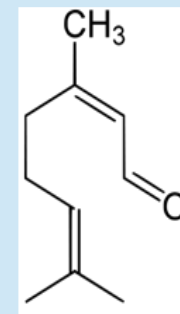
Polychlorobiphényles (PCB)

Polychlorodibenzodioxines (PCDD)
Polychlorodibenzofuranes (PCDF)

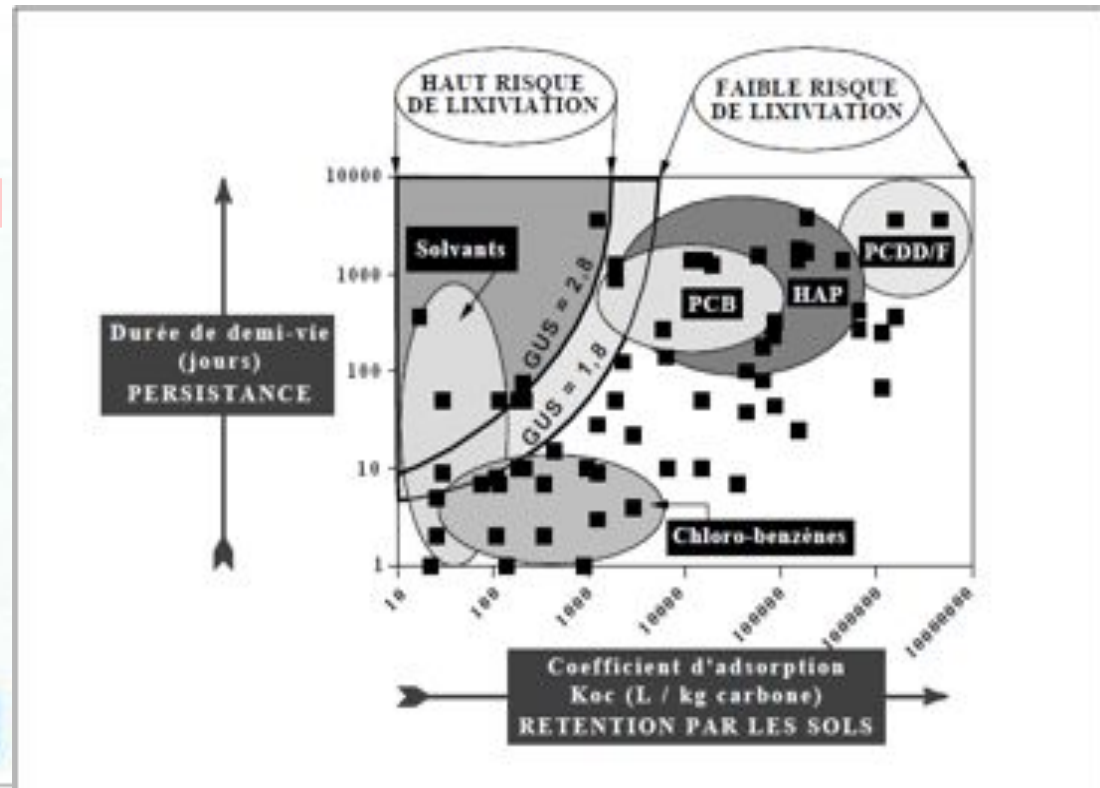
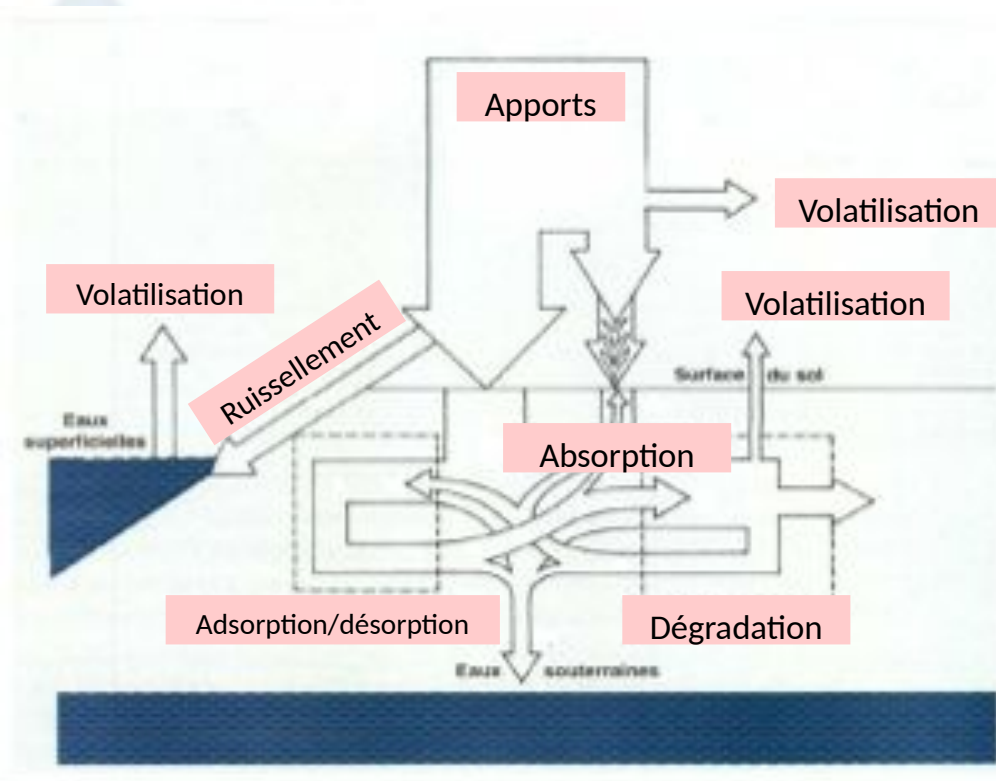


Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Composés organiques volatils (COV)



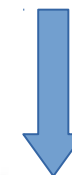
- Origines anthropiques** : industrielles, urbaines et agricoles
- Origines naturelles des HAP** : pyrolyse/dégradation de la matière organique, feux de forêts, ...



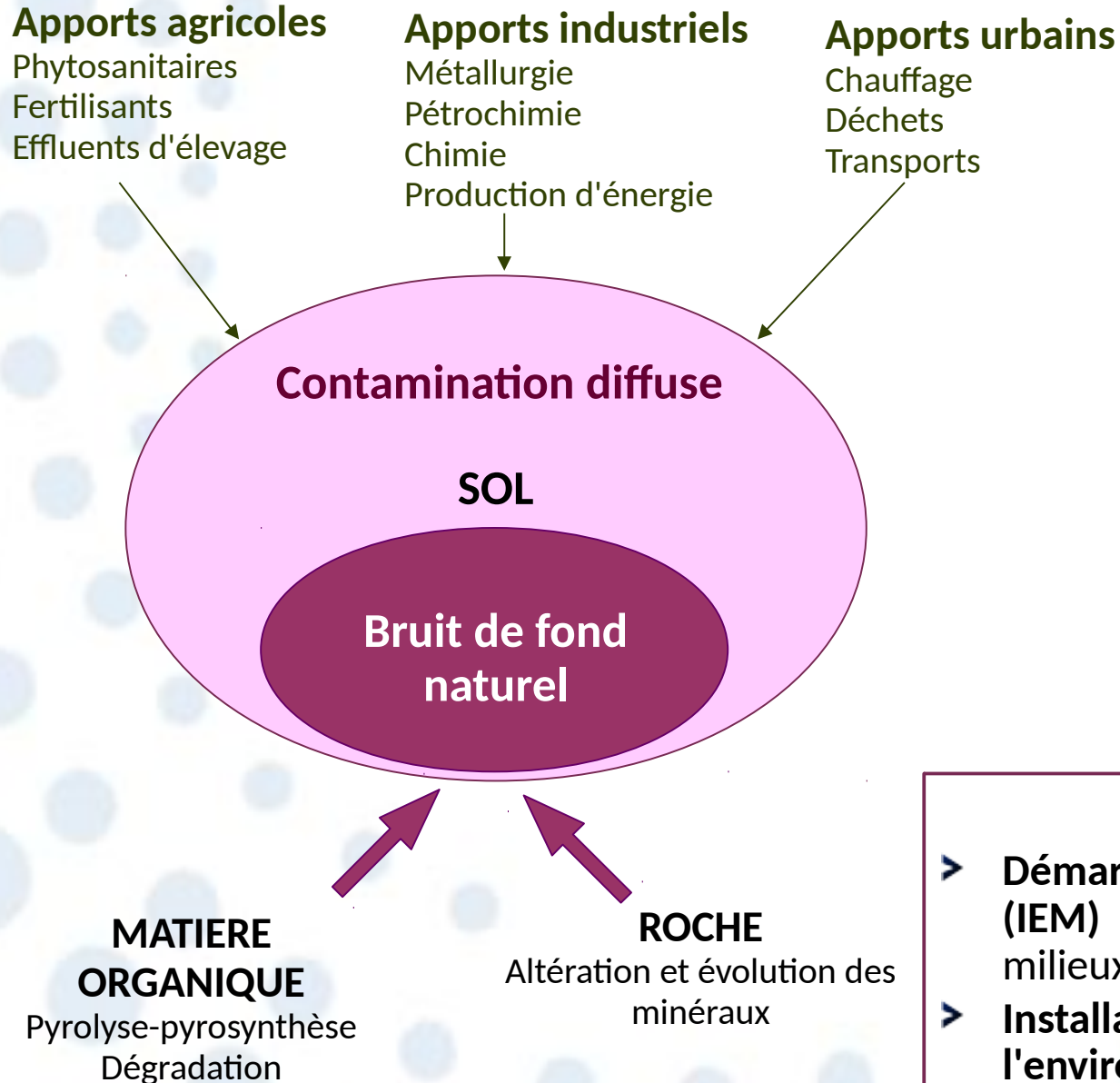
→ Composés organiques sont biodégradables

→ Rétention par le sol et persistance sont les 2 facteurs conditionnant la toxicité des composés organiques

Adaptation du **diagramme de Gustafson**



Définition du **potentiel polluant des nappes par lixiviation** des composés organiques



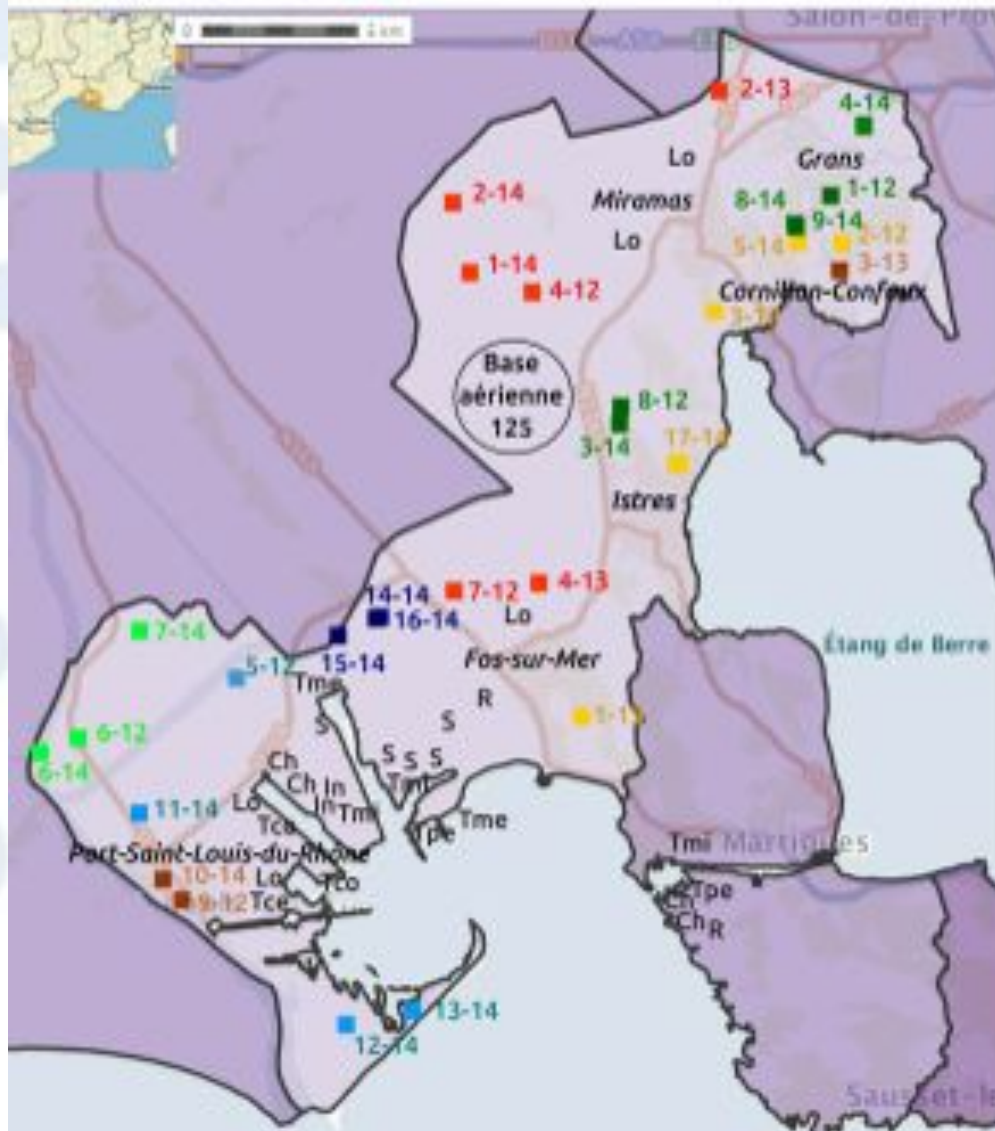
Pas de législation européenne et française concernant la **protection des sols**



Nécessité de **déterminer le bruit de fond naturel (BDF)** pour l'utiliser comme **référentiel** dans l'étude des **pollutions de sol**

Cadre juridique français

- > Démarche d'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) prends en compte voie d'exposition et milieux
- > Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)



Territoire du SAN Ouest-Provence

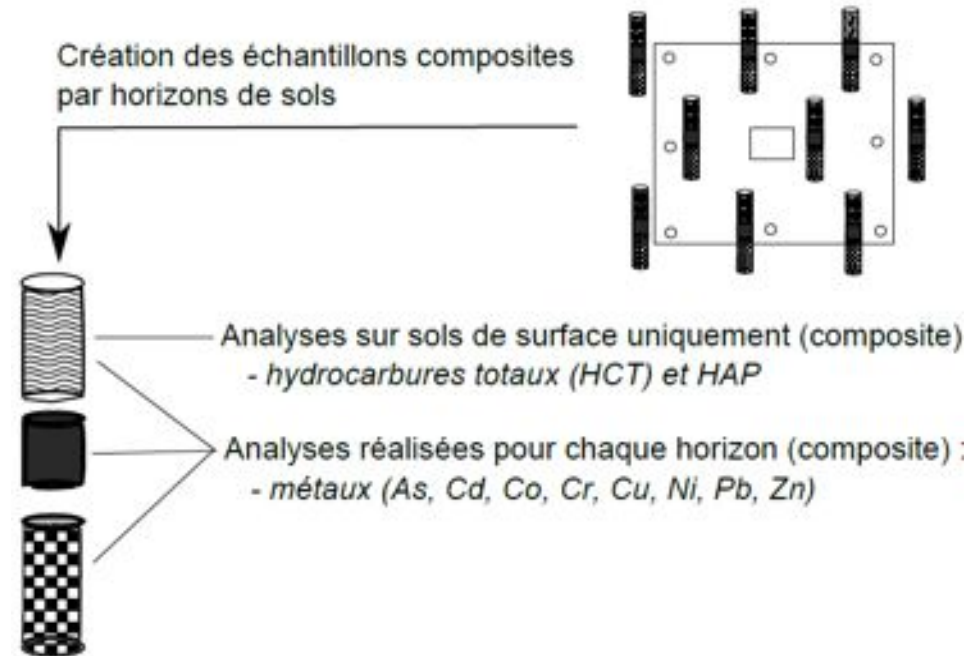
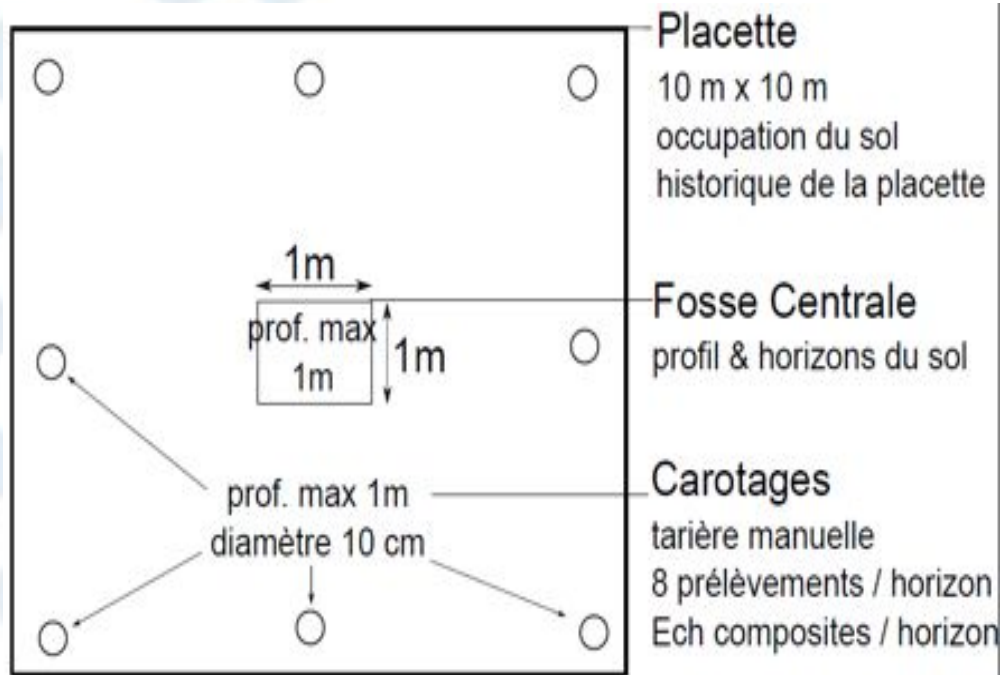
- S'étend sur 350 km² entre Camargue, Méditerranée, plaine de Crau, étang de Berre
- Abrite la 1^{ère} zone portuaire de France et d'Europe du Sud

La zone industrialo-portuaire (ZIP) de Fos-sur-Mer est implantée depuis 40 ans

- 62 sites industriels sont recensés et 12 sont classés SEVESO
- Industries chimiques, pétrochimiques, gazières, sidérurgiques, métallurgiques
- Émissions de divers polluants : ETMM, HAP, dioxines, PCB, COV, ...

Localisation et identification des milieux naturels et agricoles des sites de prélèvement sur le territoire du SAN OP

Activités industrielles : R = raffinerie, S = sidérurgie, Ch = pétrochimie/chimie, In = incinérateur, C = cimenterie, Lo = logistique
 Terminaux portuaires : Tpe = pétroliers, Tme = méthaniers, Tmi = minéraliers, Tco = containers, Tce = céréaliers



Détermination du fond pédogéochimique naturel en ETMM par la méthode des vibrisses de Tukey (Villaneau et al., 2008 ; Austruy et al., *in press*)

- Mesures réalisées à partir des 30 sites sélectionnés sur le territoire de OP
- Calcul du FPGN à partir des concentrations en ETMM mesurées dans les horizons profonds

$$VS = Q3 + \alpha \text{ DIQ}$$

$$VI = Q1 - \alpha \text{ DIQ}$$

Borne supérieure du FPGN

Borne inférieure du FPGN

VS = Vibrisse supérieure

VI = Vibrisse inférieure

Q3 = 3^{ème} quartile

Q1 = 1^{er} quartile

α = coefficient de vibrisse (1,5)

Fond pédogéochimique naturel (FPGN) en ETMM du territoire de Ouest-Provence (n=50) (Austruy et al., *in press*)

| FPGN OP | As | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | V | Zn | Al | Fe |
|----------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Min | 6,68 | 0,14 | 5,81 | 7,42 | 4,27 | 6,11 | 6,59 | 15,99 | 21,27 | 39,44 | 25,87 |
| 1er quartile | 10,48 | 0,34 | 8,10 | 24,01 | 9,26 | 14,78 | 12,60 | 22,18 | 32,55 | 68,89 | 44,23 |
| Médiane | 13,08 | 0,43 | 9,31 | 32,44 | 15,66 | 19,80 | 17,29 | 26,21 | 46,76 | 76,30 | 55,77 |
| Moyenne | 15,07 | 0,42 | 9,24 | 32,22 | 14,66 | 21,11 | 18,50 | 31,04 | 44,57 | 76,91 | 61,92 |
| 3ème quartile | 18,34 | 0,52 | 10,80 | 39,37 | 17,56 | 28,14 | 24,40 | 37,80 | 53,30 | 92,45 | 66,60 |
| Max | 25,93 | 0,67 | 12,36 | 62,42 | 30,67 | 38,92 | 41,65 | 62,71 | 67,32 | 118,85 | 156,00 |
| Vibrisse inférieure | 0,00 | 0,07 | 4,04 | 0,98 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,43 | 33,55 | 10,66 |
| Vibrisse supérieure | 30,11 | 0,79 | 14,85 | 62,41 | 30,02 | 48,18 | 42,09 | 61,23 | 84,42 | 127,79 | 100,17 |
| Valeurs nationales* | 1-25 | 0,14-0,78 | 2-23 | 13,9-53,2 | 6,8-31,2 | 7,9-39,6 | 14,0-43,0 | - | 25,1-99,0 | | |

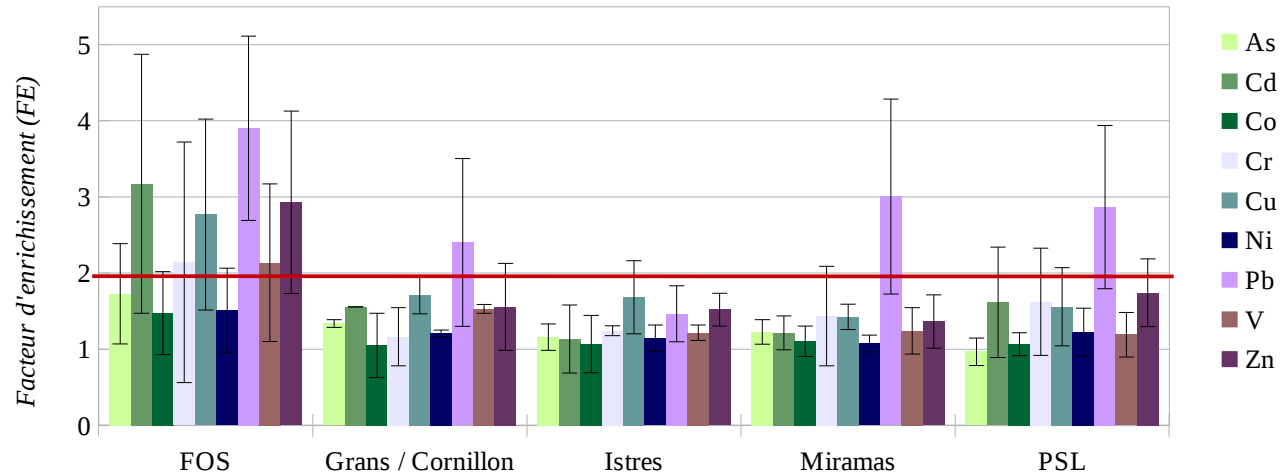
* Baize, 2007 ; BRGM, 2008

- Alluvions fluviatils riche en Cu
- Deux anomalies en Cr et V dans des sols développés sur des calcirudites à Grans.
- Gamme de valeurs couramment observée dans les sols français (BRGM, 2008, Baize, 2000 et 2007) excepté pour Cr et Ni et dans un moindre mesure As, Cd.

Facteur d'enrichissement

$$FE = \frac{[ETMM] / [Al] \text{ (horizon supérieur)}}{[ETMM] / [Al] \text{ (horizon inférieur)}}$$

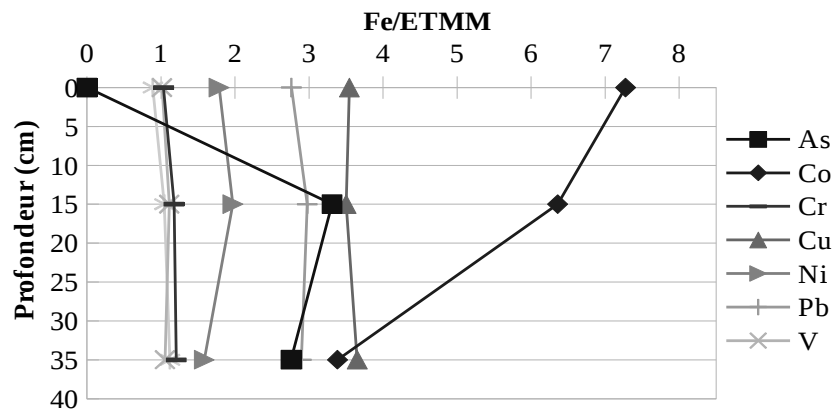
Facteurs d'enrichissement de surface pour les différents ETMM mesurés sur 6 communes des Bouches du Rhône



Fe/ETMM fonction profondeur : origine ETMM

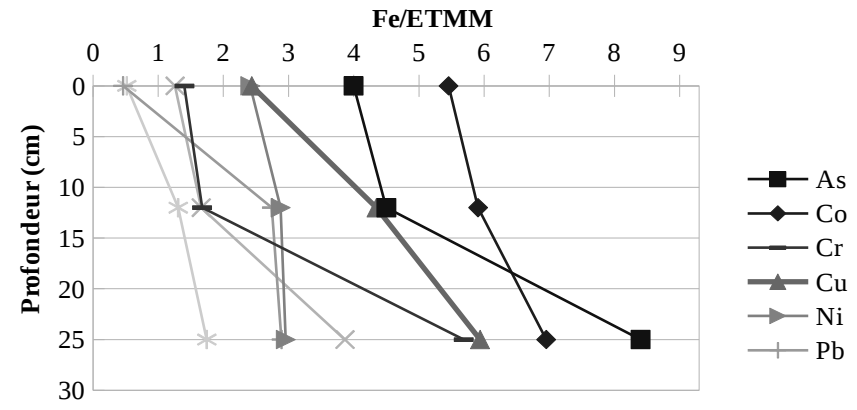
Fe/ETMM ↑ = ETMM origine anthropique
 Fe/ETMM → = ETMM origine naturelle

Sol non contaminé en surface

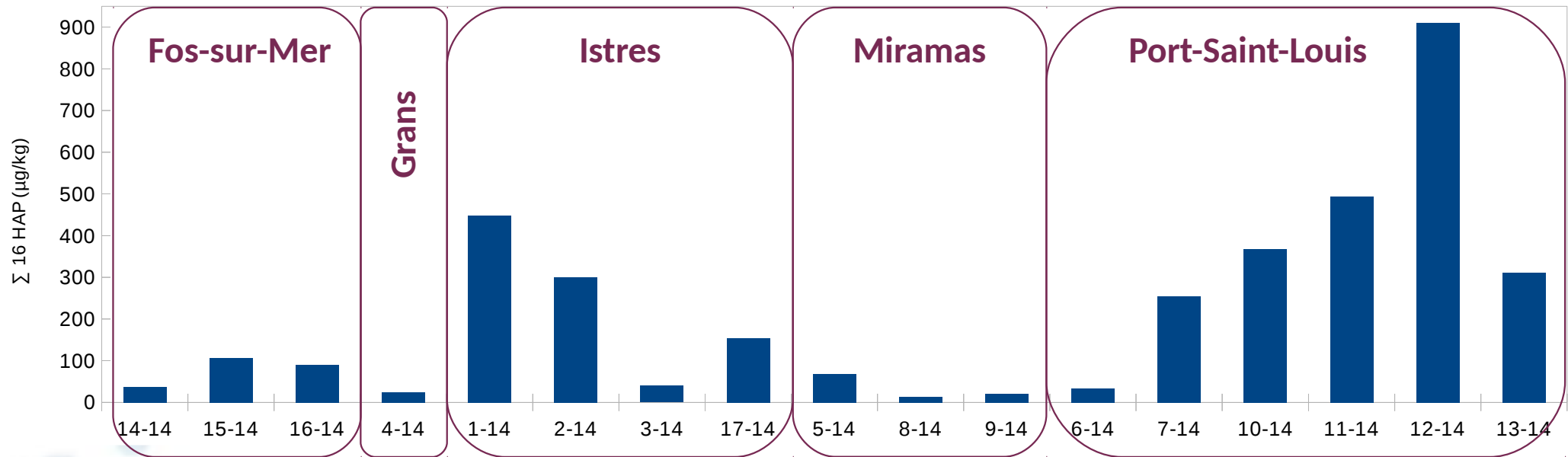


Istres - Crau sèche

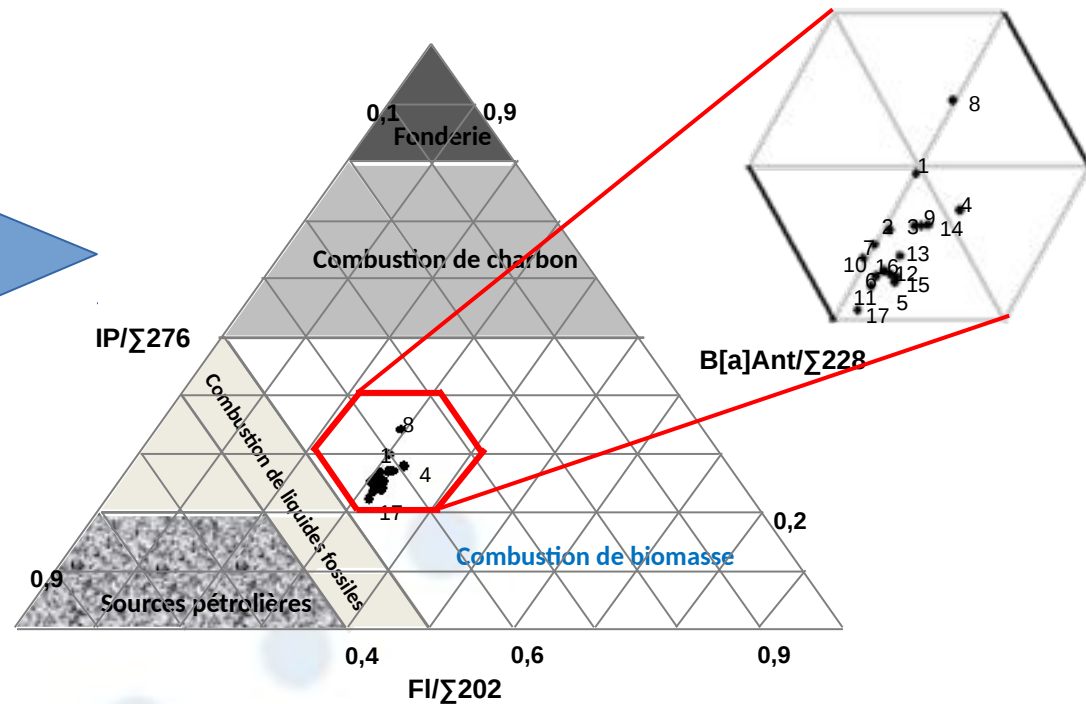
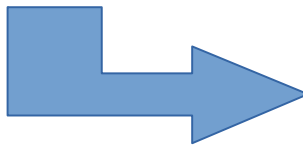
Sol contaminé en surface



Fos 15-14 - Zone humide - Eau douce

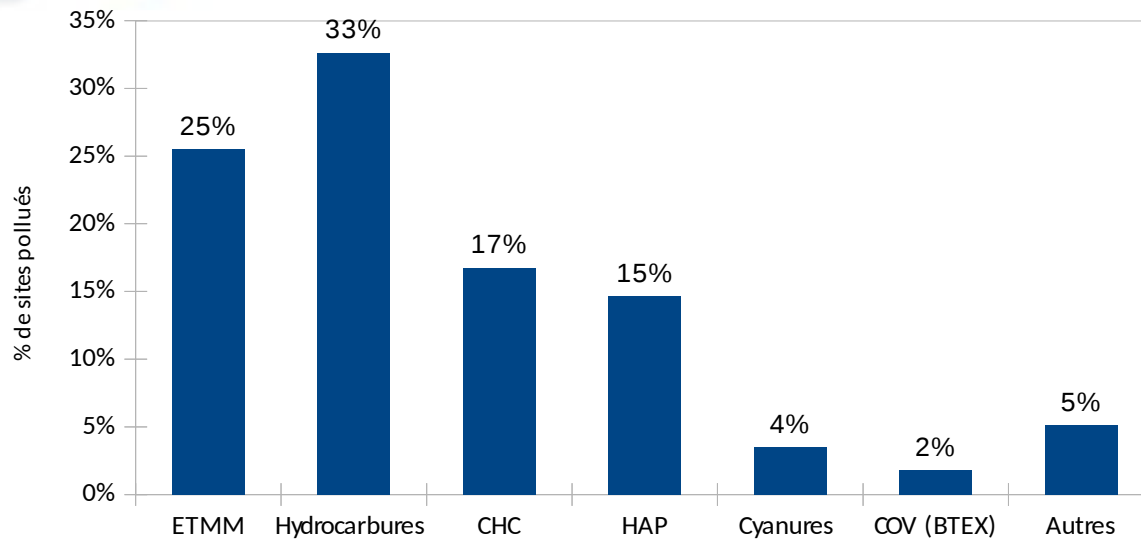


Représentation ternaire de HAP pour la caractérisation des sources

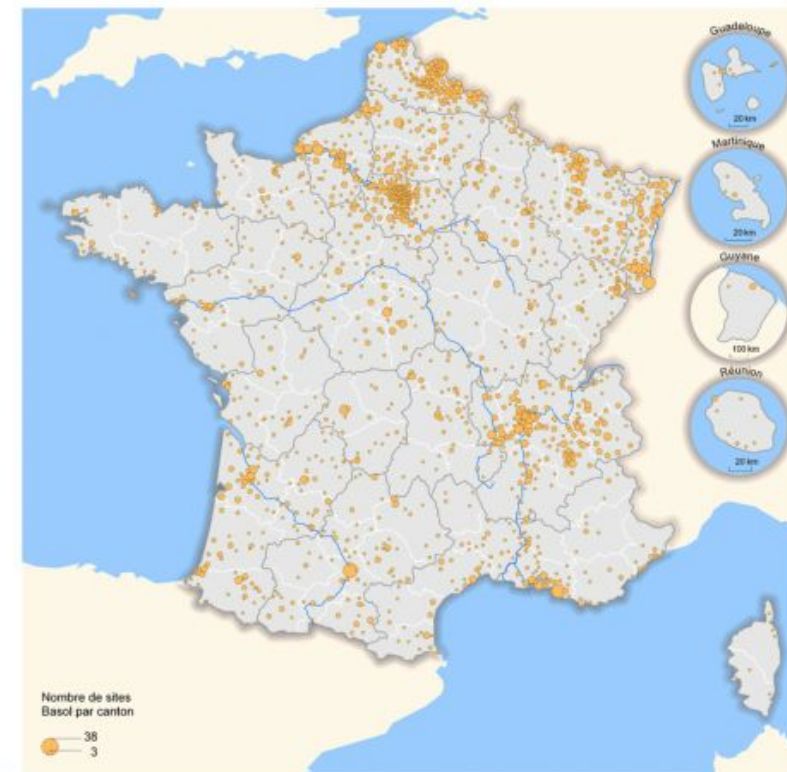


■ Actuellement en France

- 262 243 sites en activité ou à l'arrêt dont 27 118 en région méditerranéenne (BASIAS, 2015)
- 6292 sites pollués au niveau national dont 270 en région méditerranéenne et principalement dans les Bouches du Rhône (117 sites) (BASOL, 2015)
- Nombreuses activités industrielles et minières sur le pourtour méditerranéen (extraction de minerais, pétrochimie, ...)



Nature des polluants rencontrés sur les sites et sols pollués français
(BASOL, 2015)



Carte des sites et sols pollués en France,
(MEDDE, 2012)

Friche industrielle de Rassuen

- En activité durant 180 ans (1809-1988)
- Utilisation de **matières premières métalliques** pour deux procédés :
 - ✗ Pyrite pour acide sulfurique
 - ✗ Cuivre pour bouillie bordelaise
- Utilisation de phosphates pour la production de superphosphates
- Travaux de réhabilitation partielle en 1993, non localisés
- Forte contamination métallique
- Site situé en zone urbaine, relativement accessible
- Projet d'aménagement urbain



En haut : vue aérienne de la friche de Rassuen
En bas : bâtiment de l'usine et habitation à proximité



Gamme de concentrations en ETMM mesurées sur la friche de Rassuen et fraction biodisponible

| | As | Cd | Cu | Pb | Zn |
|-------------------|-----------|--------------|-----------|-------------|------------|
| Totale (mg/kg) | 70 - 3510 | 2,52 - 26,05 | 60 - 2450 | 200 - 27830 | 175 - 6315 |
| Biodisponible (%) | 2,9 ± 1,3 | 10,4 ± 1,5 | 9,7 ± 0,8 | 6,5 ± 1,4 | 6,5 ± 0,5 |

Points critiques de la pollution organique (PCB, Hydrocarbures) dans les sédiments du bassin méditerranéen (MEDPOL, 2007)





- Existence de nombreux sols pollués en région méditerranéenne du fait d'une forte activité anthropique (urbaine, industrielle, agricole)
- Hydrocarbures et métaux sont les principaux polluants du sol
- Pas de cadre réglementaire spécifique pour la protection du sol ⇒ Nécessité de connaître le bruit de fond local afin de caractériser et cibler les pollutions potentielles
- Nécessité de déterminer la spéciation et la biodisponibilité des métaux pour connaître leur potentielle toxicité
- De même, la toxicité des polluants organiques est déterminée à partir de leur rétention dans le sol et de leur persistance
- La pollution des sols présente un risque sanitaire avéré pour les populations



Merci de votre attention



- Influence du type de végétal

Fèves
Vicia faba



Salades
Lactuca sativa



Radis
Raphanus sativus



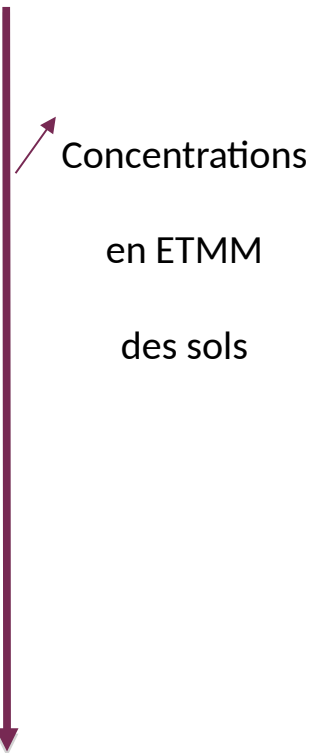
Légumes sur sol Gérachios (S2)

- Influence des voies de transfert foliaire et racinaire

Salades sur terreau (S1)



Salades sur sol pollué (S3)



Concentrations totales en éléments métalliques (mg.kg⁻¹MS) des sols de culture

| Echantillons de sols | Al | As | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Ni | Pb | Sb | V | Zn |
|----------------------|--------|-------|------|------|-------|--------|---------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Terreau | 50 683 | 4,57 | - | 3,85 | 16,29 | 11,32 | 17 739 | 10,36 | 9,95 | 19,92 | 20,74 | 39,01 |
| Sol Gérachios | 95 511 | 7,22 | 0,15 | 6,47 | 29,21 | 21,58 | 37 157 | 20,87 | 24,48 | 41,37 | 37,15 | 71,92 |
| Sol pollué | 39 500 | 235 | 11 | 7,49 | 81,97 | 289,74 | 144 306 | 18,14 | 2 026 | 162,14 | 39,38 | 592,92 |
| FPGN* | 29 100 | 14,71 | 0,43 | 9,15 | 32,73 | 15,82 | 61 845 | 21,8 | 17,05 | - | 31,42 | 40,82 |

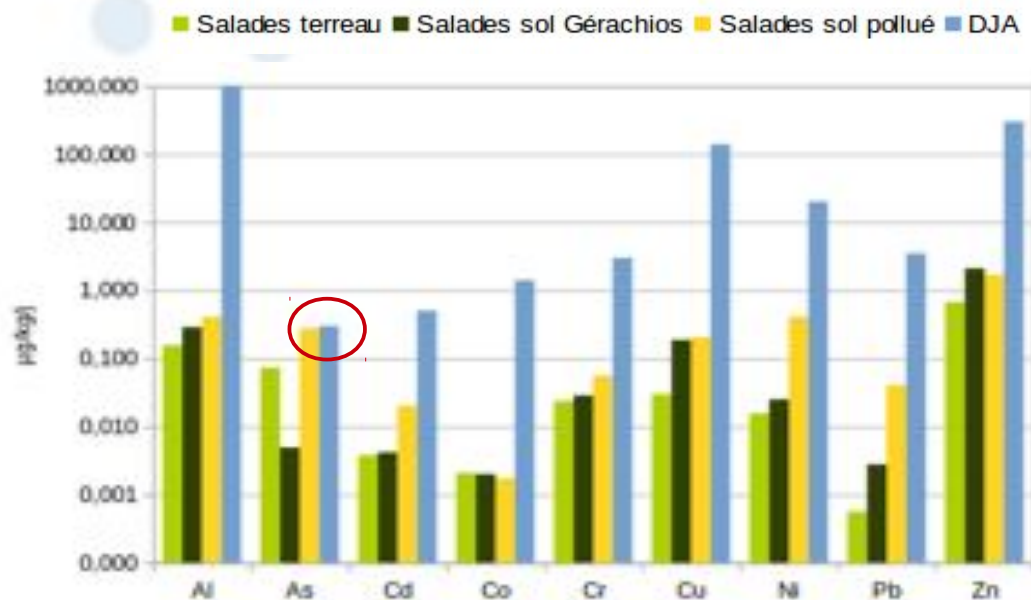
*Austruy et al., in press

Teneurs totales en Pb et Cd des parties consommables des végétaux comparées à la réglementation

| Végétaux | Teneurs en Pb (mg/kg MF) | Teneurs maximales réglementaires en Pb (mg/kg MF) | Teneurs en Cd (mg/kg MF) | Teneurs maximales réglementaires en Cd (mg/kg MF) |
|-------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|
| Laitues sol pollué (F) | 0,17 | 0,3 | 0,09 | 0,2 |
| Laitues sol terreau (F) | 0,00 | 0,3 | 0,02 | 0,2 |
| Laitues plein sol (F) | 0,01 | 0,3 | 0,02 | 0,2 |
| Radis (R) | 0,01 | 0,1 | 0,01 | 0,1 |
| Fèves (Fr) | 0,05 | 0,2 | 0,01 | 0,05 |

- Dose Journalière d'Exposition (**DJE**): dose de substance reçue par l'organisme
- Rapportée au poids de l'individu et par jour (g/kg/j)
- Calculée à partir de la quantité moyenne de végétaux ou de sols ingérée par jour par enfant (*US-EPA, 2008*)
- Calculée à partir des fractions totales des éléments
- Comparée à la Dose Journalière Admise (**DJA**) fournie par l'*INERIS (2009)*

DJE en ETMM et éléments majeurs en cas d'ingestion des végétaux comparées aux DJA



DJE en ETMM et éléments majeurs en cas d'ingestion de sols/poussières comparées aux DJA

