

# Généralités sur les éléments traces : oligoéléments et contaminants

LAURENCE DENAIX, Directrice de Recherche INRAE

UMR INTERACTIONS SOLS PLANTES ATMOSPHERE BORDEAUX

**INRAE**

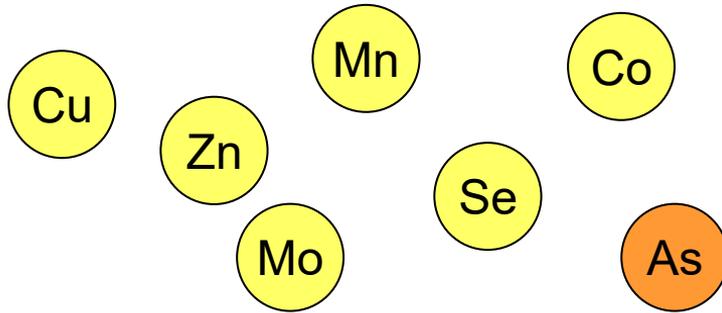
# Définitions

Les éléments traces ( < 0.1 % de la masse de sol) sont

## Nécessaires

au fonctionnement physiologique  
(OLIGOELEMENTS)

**Mais toxiques** au-delà d'un seuil

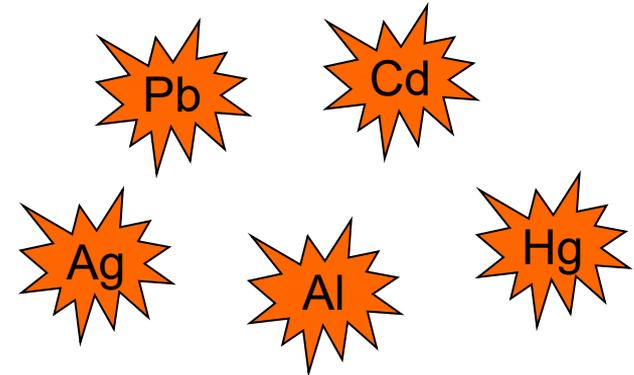


## Toujours toxiques

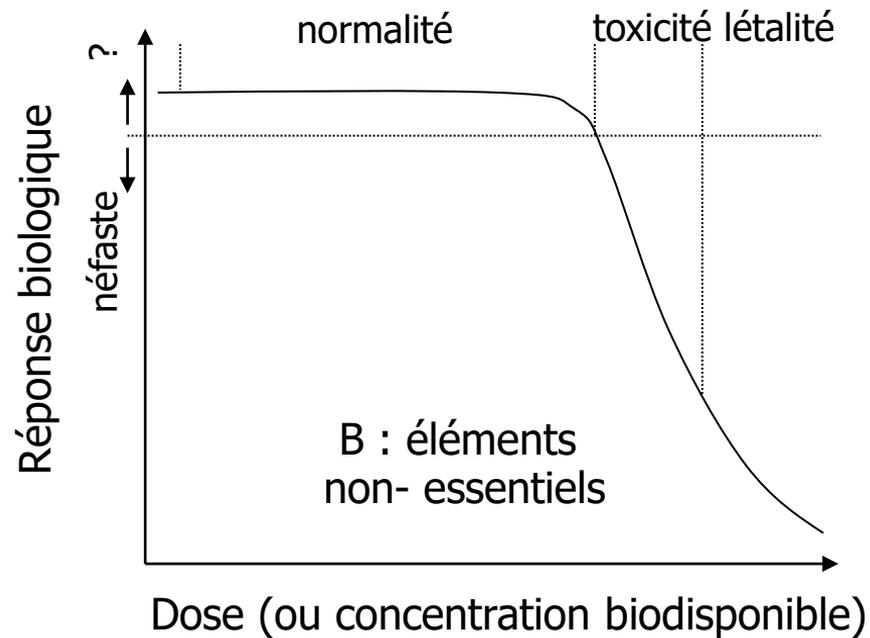
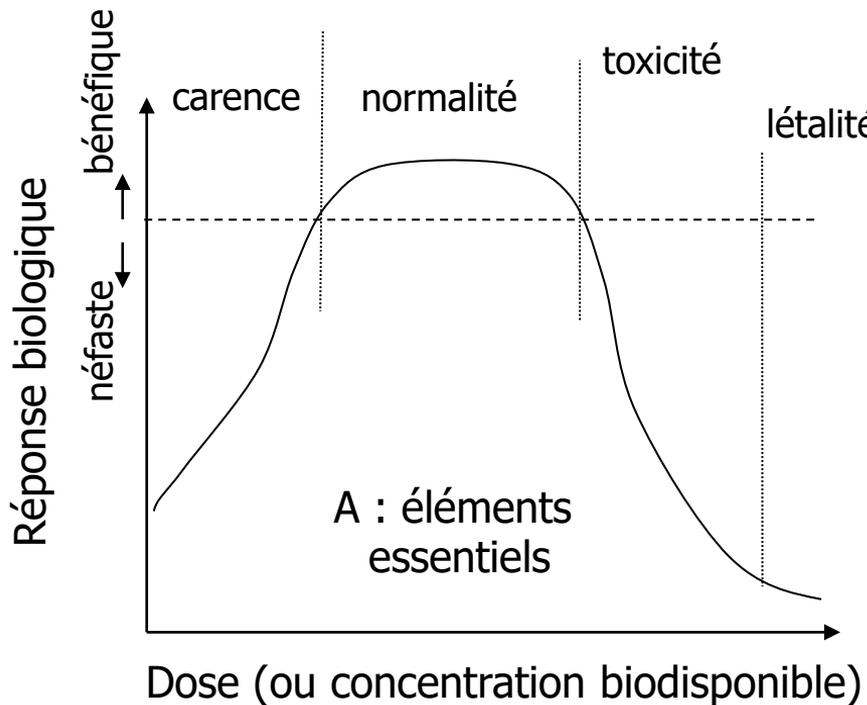
*Non essentiels*

*Aucune fonction*

*physiologique connue*

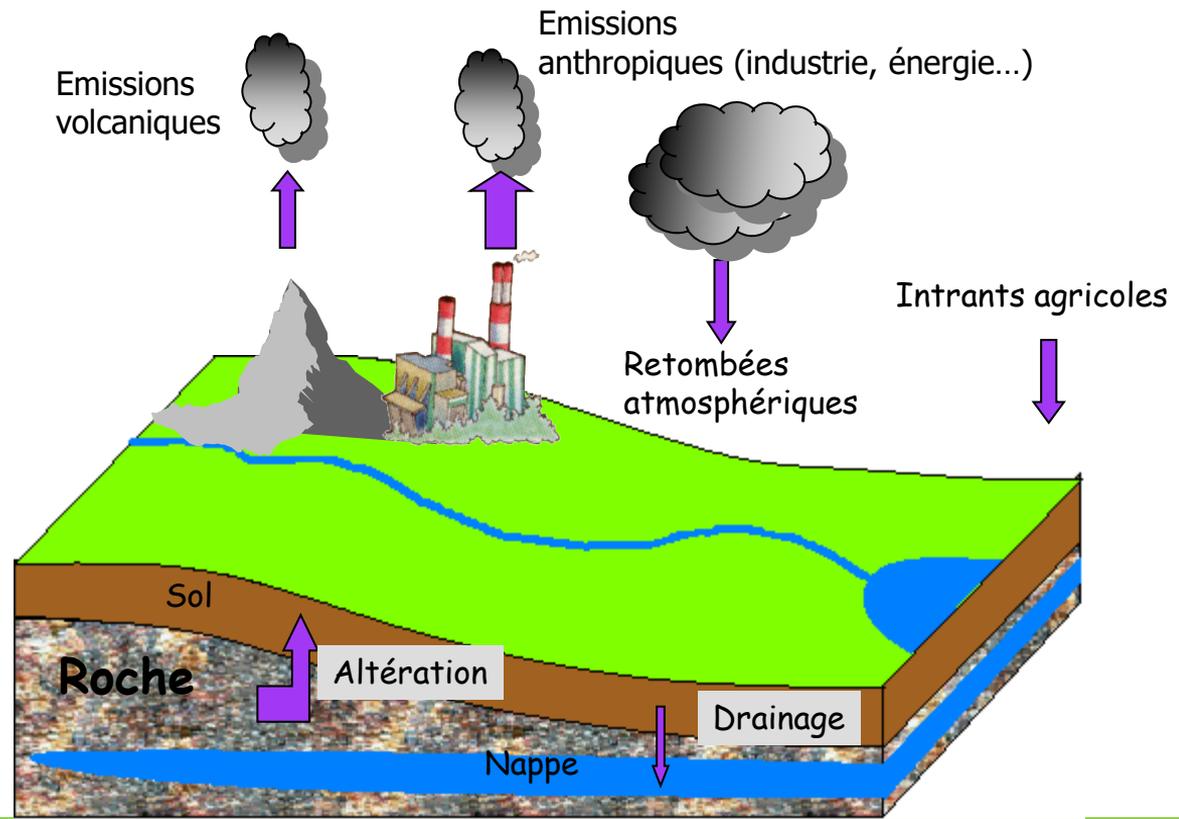


# Oligoéléments ou Non essentiels



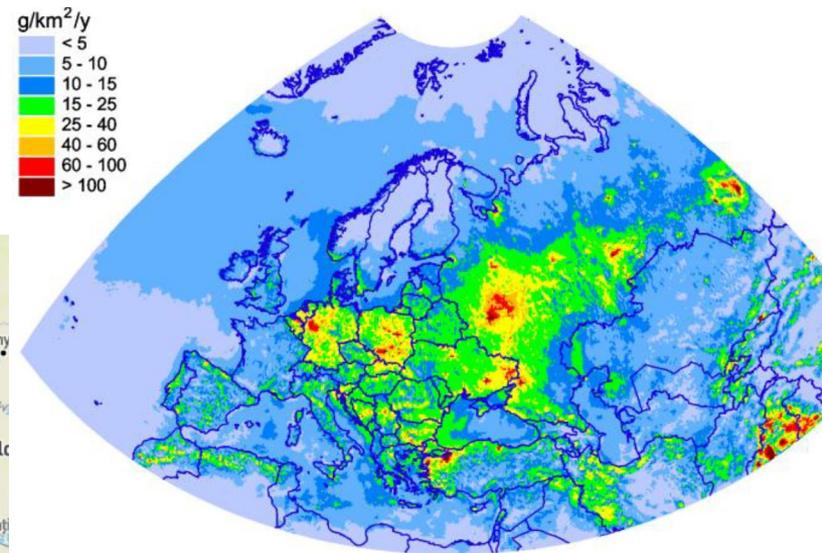
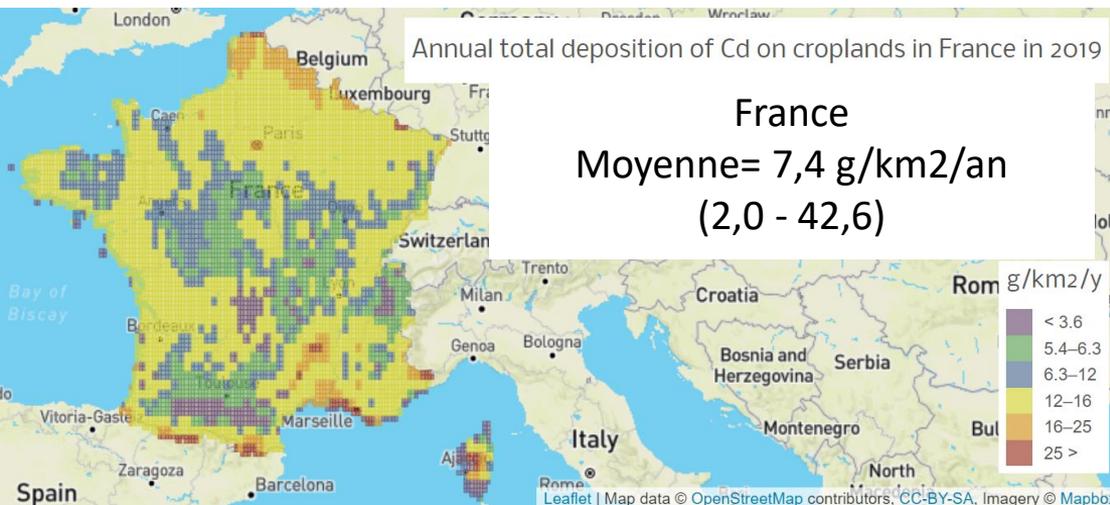
# D'où viennent les éléments traces des sols agricoles ?

**Une origine naturelle  
+ une origine anthropique**  
industrielle  
agricole



# Retombées atmosphériques

Un suivi à l'échelle européenne permet de modéliser les retombées atmosphériques de Cd, Pb, Hg <https://msceast.org/>

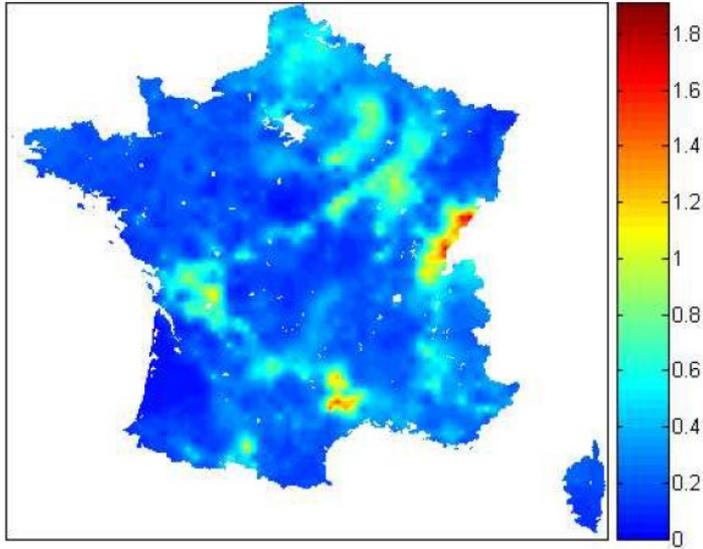


Retombées atmosphériques globales de Cd

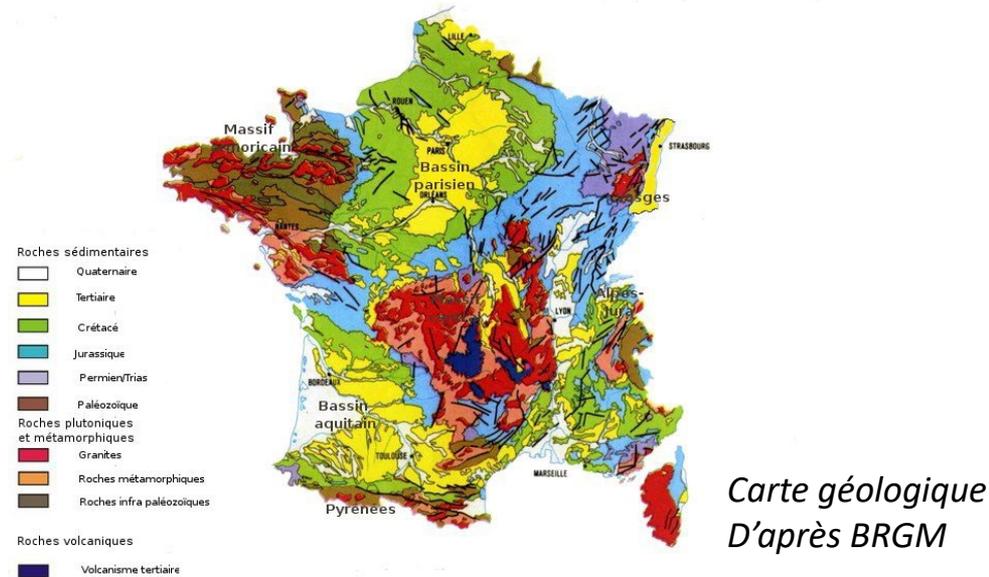
# Teneurs dans les sols français

Les teneurs observées s'expliquent en partie par la composition de la roche mère des sols

Concentration en Cd modélisée (mg/kg)



Carte d'après le RMQS  
Marchant et al. 2011

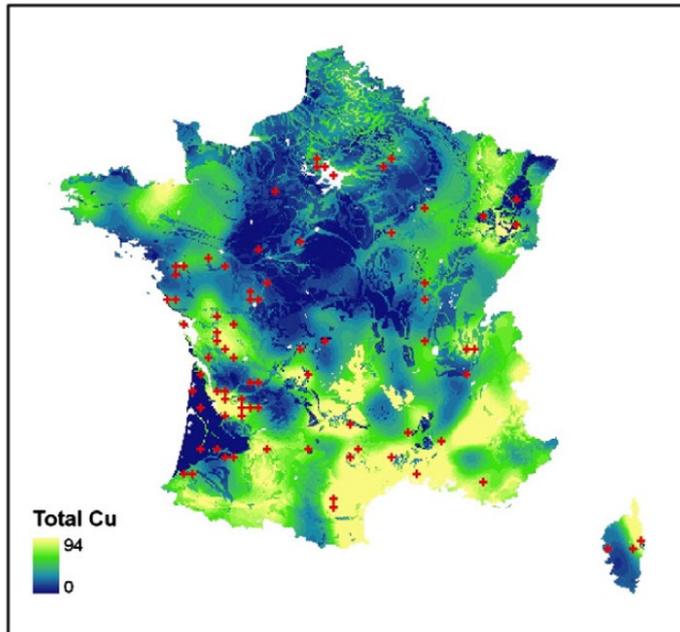


Les concentrations les plus élevées se retrouvent sur les terrains jurassiques

# Teneurs dans les sols français

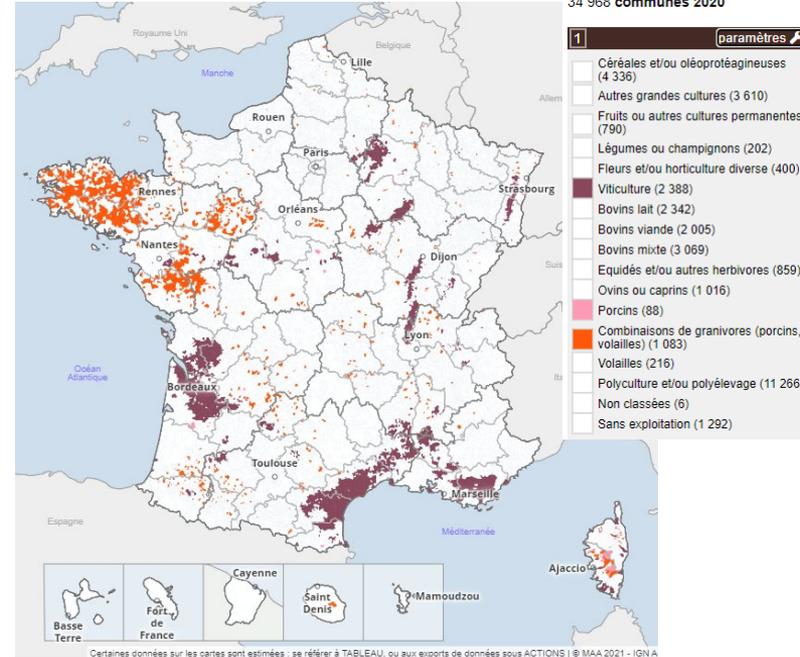
Les teneurs observées s'expliquent par la composition de la roche mère des sols  
Et par les apports anthropiques : exemple du Cuivre

France par Commune 2020  
34 968 communes 2020



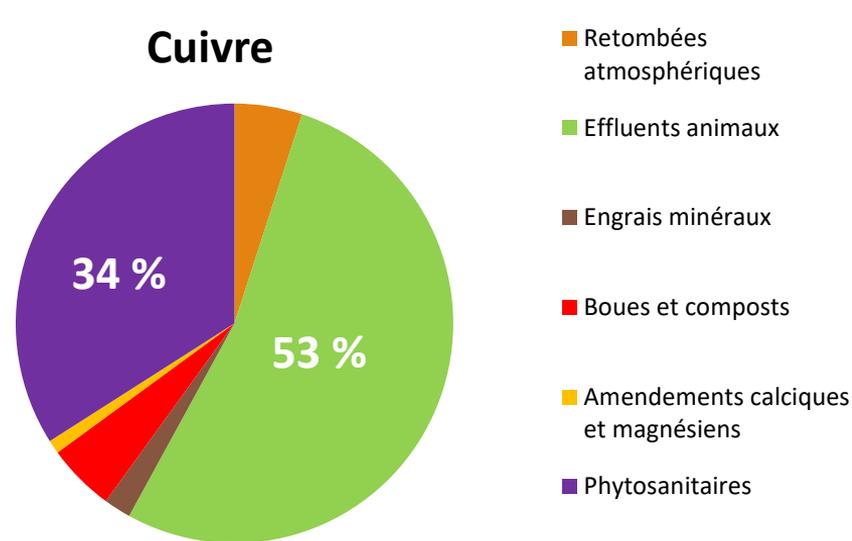
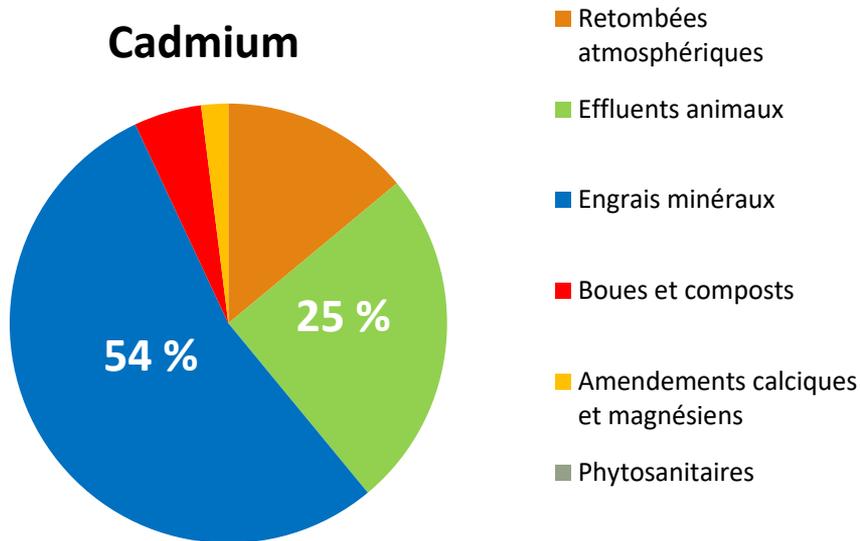
Impact de l'épandage :

- de fongicides (en viticulture)
- de lisiers (en élevage porcin)



# Intrants agricoles – Sources d'ET

Part des différentes sources de contamination des flux entrants sur les parcelles agricoles (d'après Ademe-Sogreah, 2007, 2012 – Calculs à l'échelle nationale)



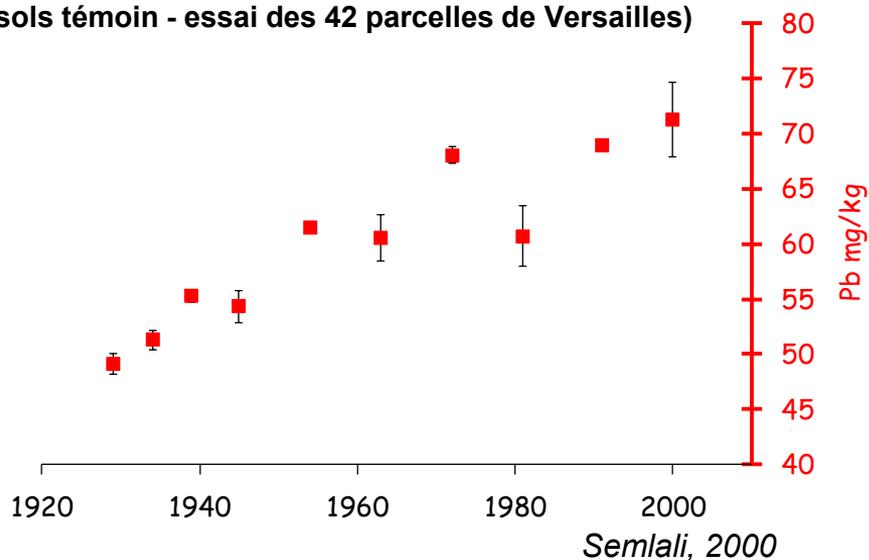
# Intrants agricoles (concentrations en ET)

Catégories d'engrais et amendements	Teneur moyenne en ETM des engrais et amendements (mg/kg de MS)				
	As	Cd	Cu	Pb	Zn
ammonitrate 33,5% N	0,1	0,7	5,8	0,6	1,7
Autres N	0,4	0,2	4,3	1	7,2
Super potassique	3,7	10,3	19	4,7	159,4
Chlorure de potassium	0,3	0,2	3,5	0,8	5,2
Triple Super Phosphate	6,9	19,6	31	2,4	406,6
Autres superphosphates	14,4	12,3	18,4	2,4	190,8
Autres PK	0,7	4,4	9,6	2,5	139,3
Lisier de porc	12	0,5	3680	47	9790
Fumier Bovin	7,7	0,3	18,1	17,7	109,6
Composts de déjections animales	2,4	0,5	27,1	6,8	132,1
Bouchons de farine de viande et de plumes	0,2	0,5	6,3	2	108
Chaux vive calcique	1,7	0,4	6,3	2,5	8,9
NK, NPK	5,7	6,2	16,9	2,5	124,8
Urée	-	0,2	0	0	-

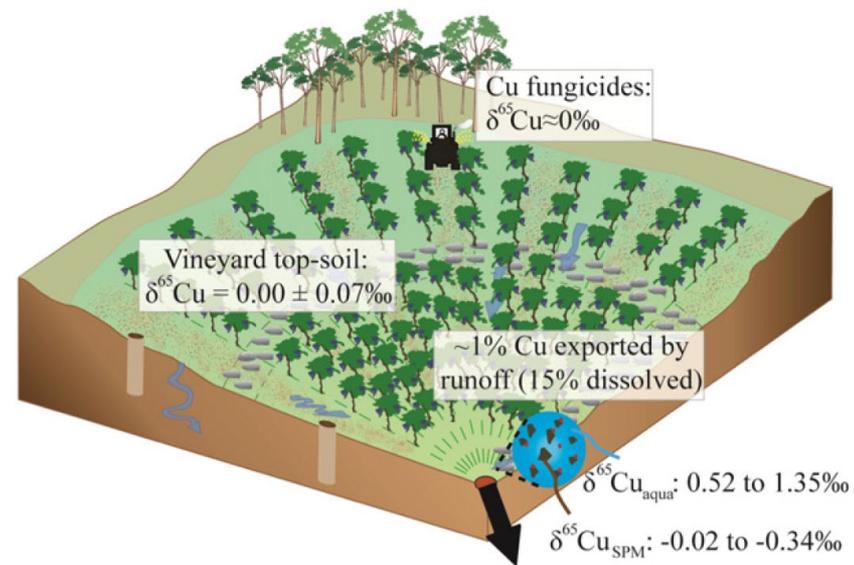
# Le sol est un compartiment accumulateur

Les sols accumulent les retombées atmosphériques

Evolution de la teneur en Pb résultant des dépôts atmosphériques (sols témoin - essai des 42 parcelles de Versailles)

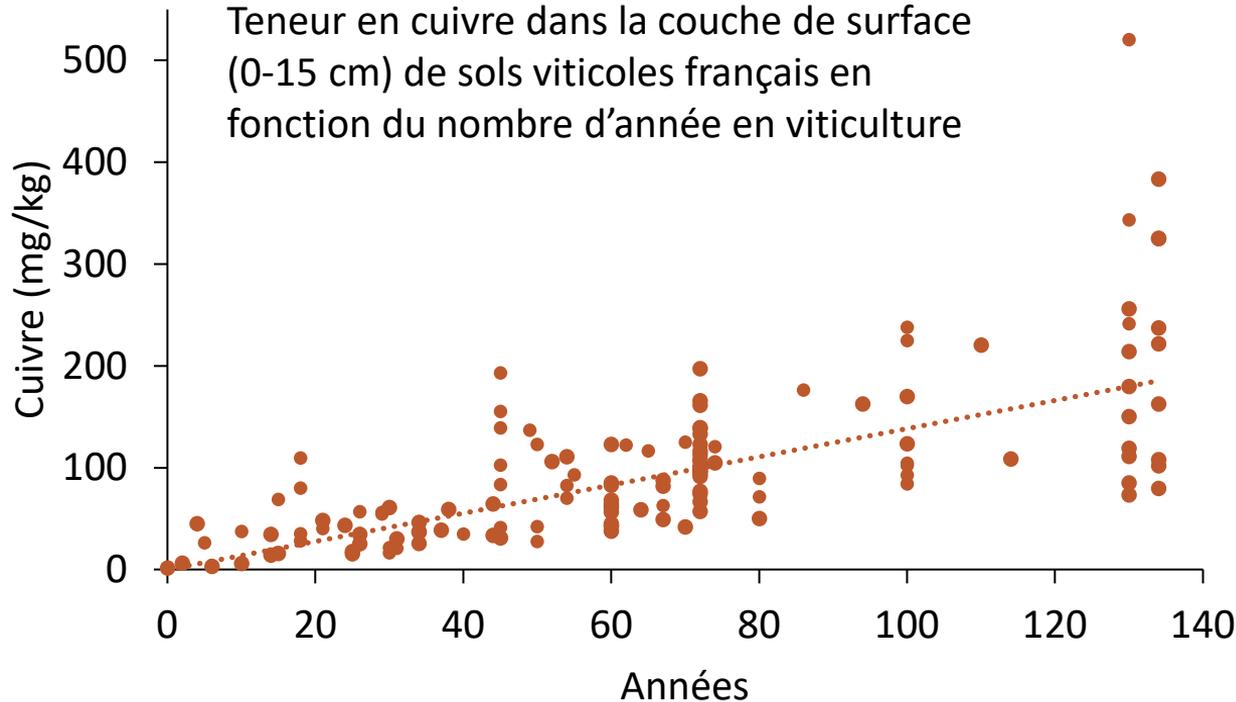


1 % des apports annuels de Cu sont exportés par ruissellement



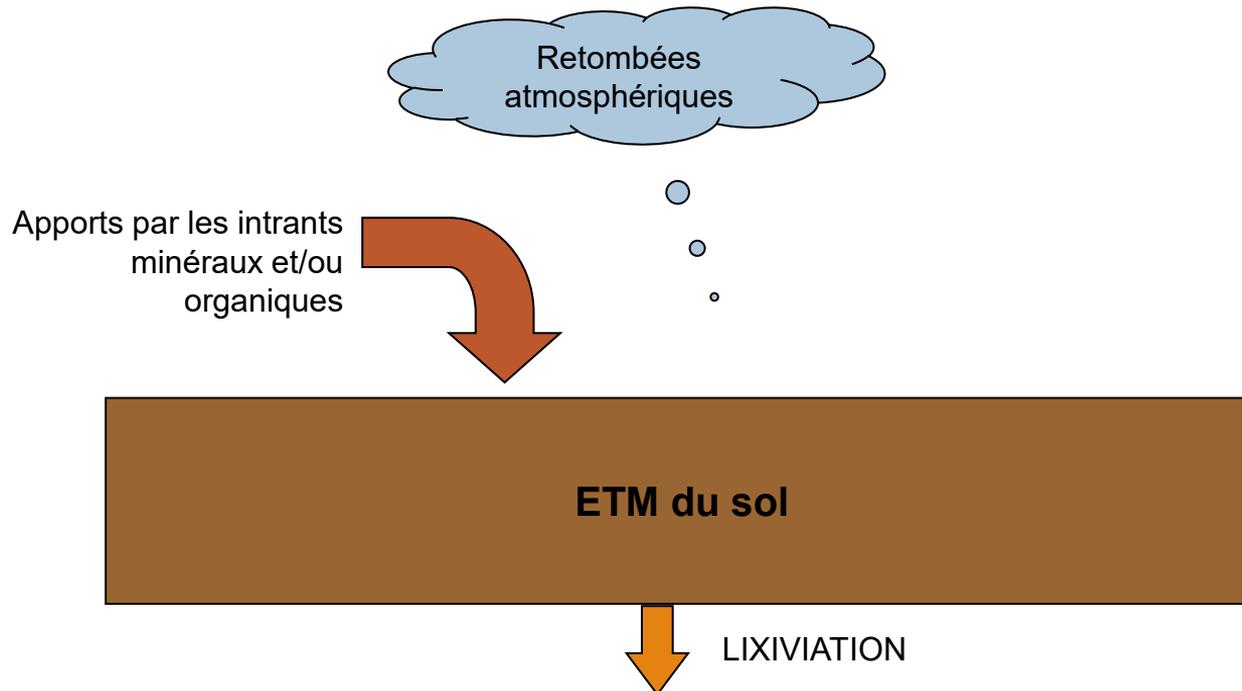
Babcsanyi et al., 2016

# La contamination actuelle des sols est le résultat de leurs usages passés



La teneur en cuivre mesurée aujourd'hui dans les sols viticoles s'explique par le cumul de la quantité de fongicide cuprique apportée (pratiques anciennes >> pratiques actuelles)

# Flux d'éléments traces à la parcelle



# Effet des apports d'engrais exemple de l'essai des 42 parcelles de Versailles

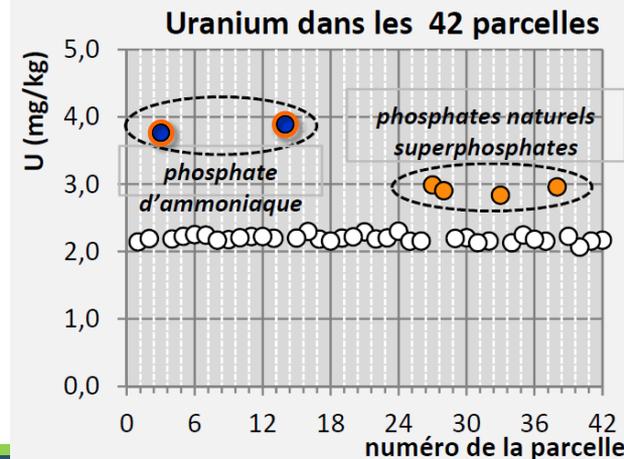
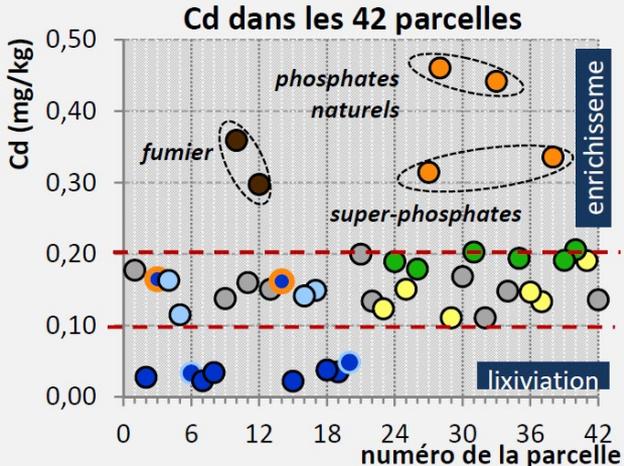


Après 80 ans d'épandage, certains engrais ou amendements ont des effets sur les teneurs en ETM des sols

**Phosphates =**  
accumulation de **cadmium** et d'**uranium**

**Fumier =**  
accumulation de **cadmium**

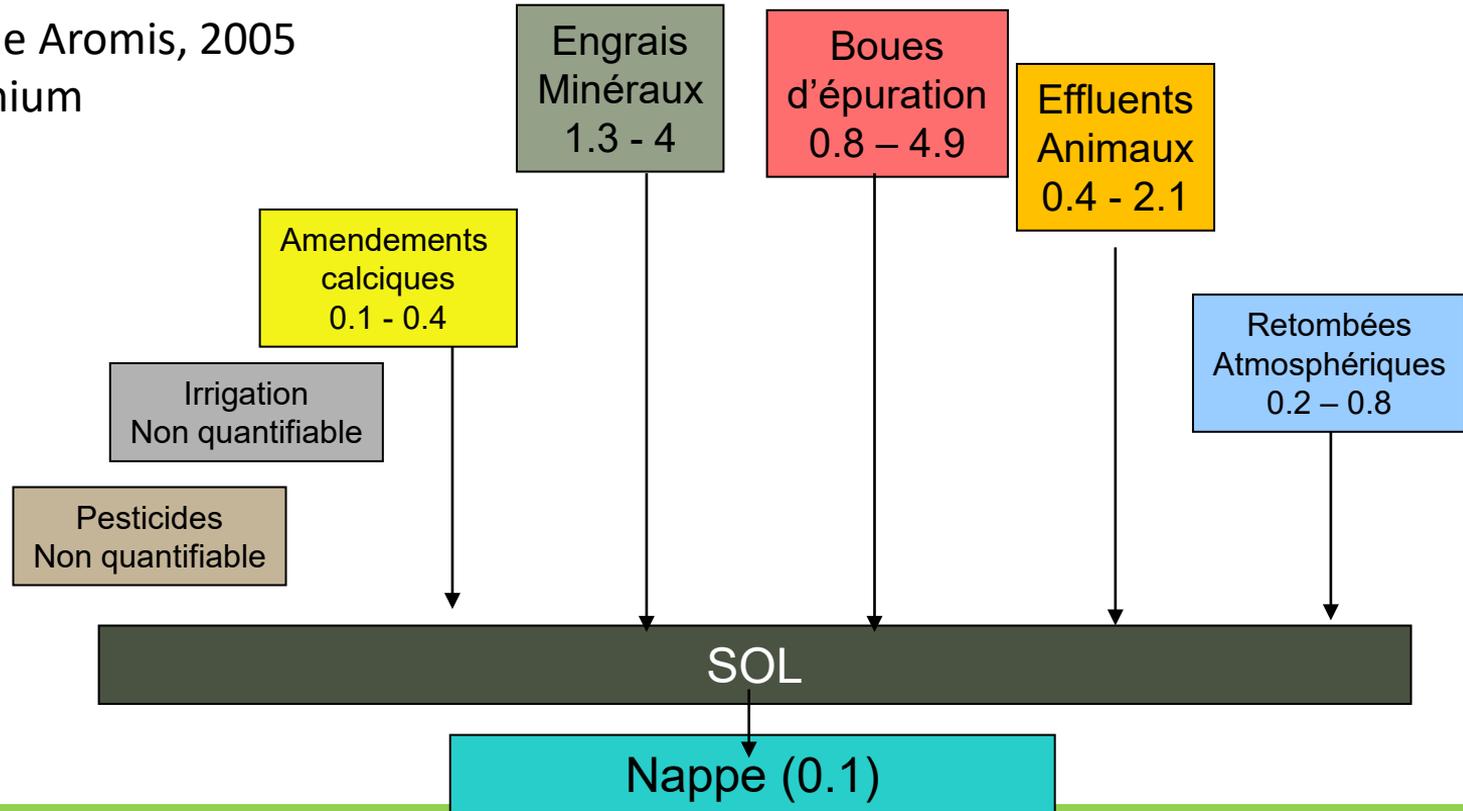
**Engrais acidifiants** (nitrate d'ammonium) =  
Migration du **cadmium** vers la profondeur



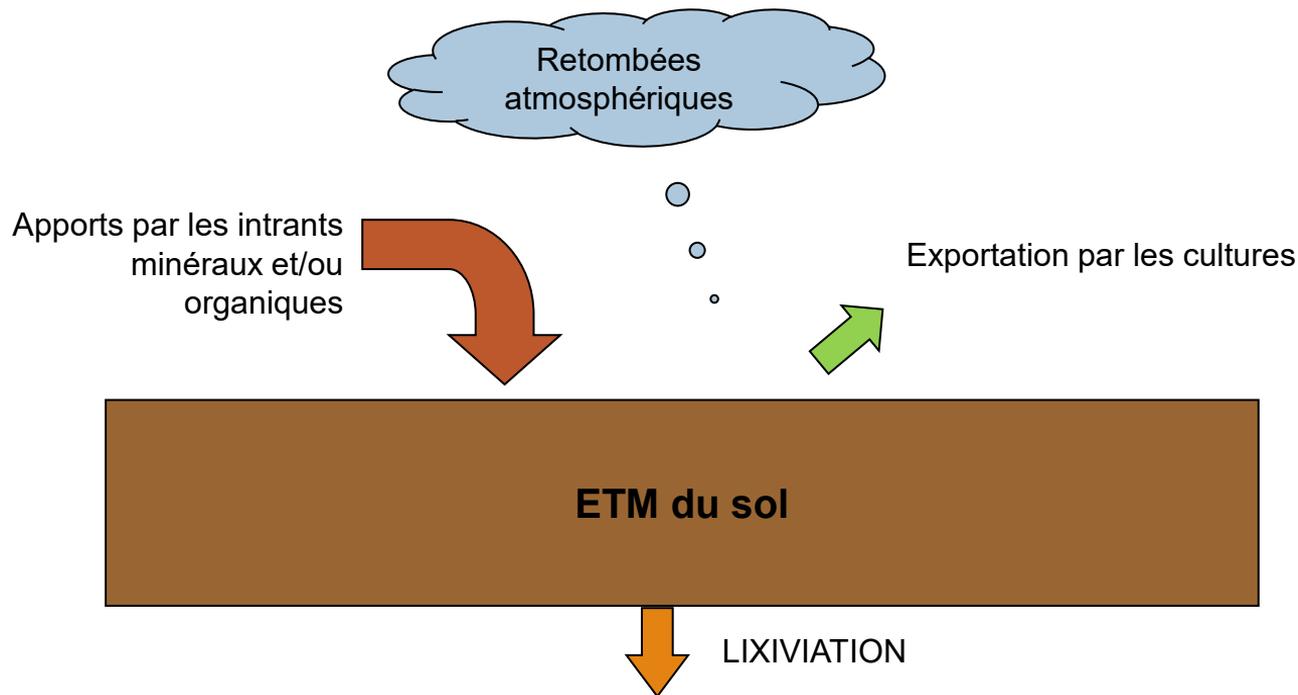
Van Oort et al., 2017

# Flux annuels à la parcelle (g/ha/an)

Etude européenne Aromis, 2005  
Exemple du cadmium



# Bilans d'éléments traces à la parcelle



# Bilan à la parcelle

## Données du réseau QUASAPROVE

Culture	Conduite	n	Flux de métal (g/ha/an)		
			Cadmium	Cuivre	Zinc
Blé dur	Conventionnelle / Fertilisation N	8	-0,74	-28,2	-152,3
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	9	2,97	-23	-127,7
Blé tendre	Conventionnelle / Fertilisation N	36	-0,07	-26,3	-159
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	12	1,34	-19,7	-104,2
	Conventionnelle / Fertilisation organique	3	2,52	67,4	329
	Bio / Fertilisation minérale	6	1,09	-7,3	-41,1
	Bio / Fertilisation organique	10	1,67	39,5	259,2
Tournesol	Conventionnelle / Fertilisation N	9	-1,02	-32,6	-90,4
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	11	2	-28	-61,8

*Vivien et Denaix, 2017*

# Bilan à la parcelle

## Données du réseau QUASAPROVE

Culture	Conduite	n	Flux de métal (g/ha/an)		
			Cadmium	Cuivre	Zinc
Blé dur	Conventionnelle / Fertilisation N	8	-0,74	-28,2	-152,3
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	9	2,97	-23	-127,7
Blé tendre	Conventionnelle / Fertilisation N	36	-0,07	-26,3	-159
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	12	1,34	-19,7	-104,2
	Conventionnelle / Fertilisation organique	3	2,52	67,4	329
	Bio / Fertilisation minérale	6	1,09	-7,3	-41,1
	Bio / Fertilisation organique	10	1,67	39,5	259,2
Tournesol	Conventionnelle / Fertilisation N	9	-1,02	-32,6	-90,4
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	11	2	-28	-61,8

**Fertilisation uniquement azotée : Déficit de Cd, Cu, Zn**

*Vivien et Denaix, 2017*

# Bilan à la parcelle

## Données du réseau QUASAPROVE

Culture	Conduite	n	Flux de métal (g/ha/an)		
			Cadmium	Cuivre	Zinc
Blé dur	Conventionnelle / Fertilisation N	8	-0,74	-28,2	-152,3
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	9	2,97	-23	-127,7
Blé tendre	Conventionnelle / Fertilisation N	36	-0,07	-26,3	-159
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	12	1,34	-19,7	-104,2
	Conventionnelle / Fertilisation organique	3	2,52	67,4	329
	Bio / Fertilisation minérale	6	1,09	-7,3	-41,1
	Bio / Fertilisation organique	10	1,67	39,5	259,2
Tournesol	Conventionnelle / Fertilisation N	9	-1,02	-32,6	-90,4
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	11	2	-28	-61,8

**Fertilisation organique : Excédent en Cd, Cu, Zn**

*Vivien et Denaix, 2017*

# Bilans à la parcelle

## Données du réseau QUASAPROVE

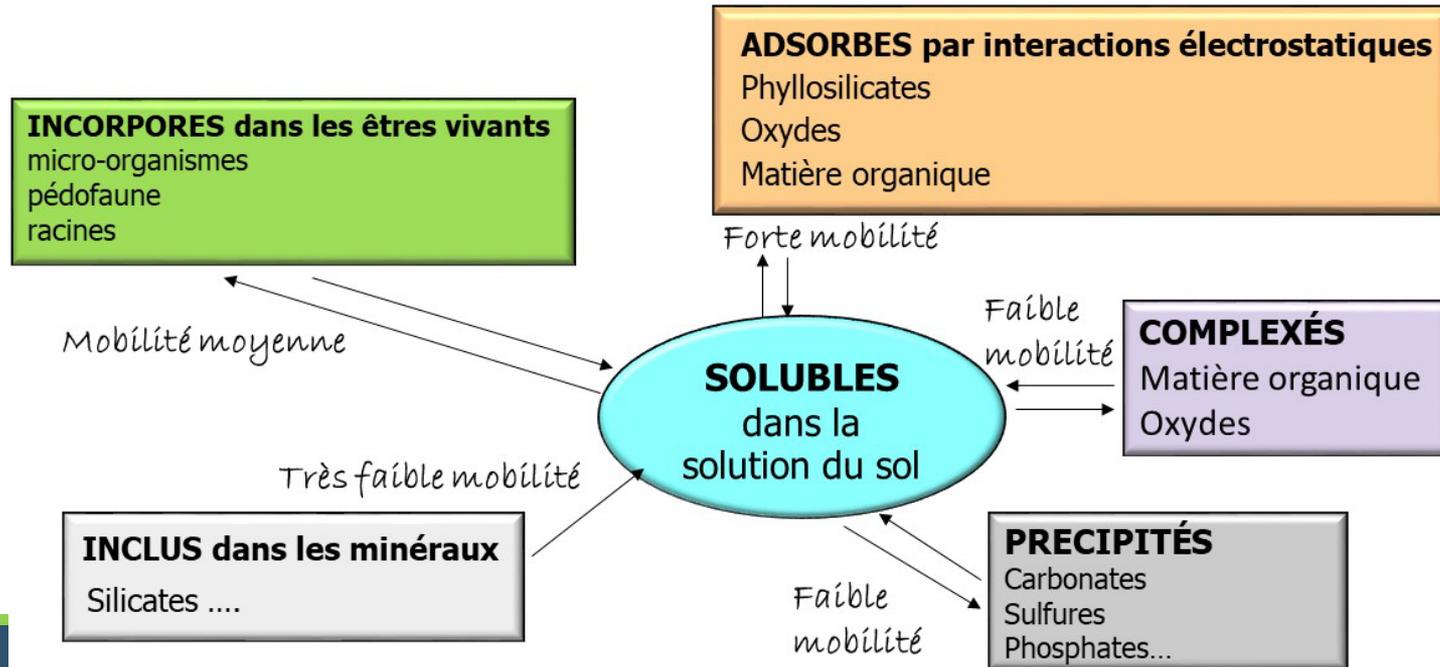
Culture	Conduite	n	Flux de métal (g/ha/an)		
			Cadmium	Cuivre	Zinc
Blé dur	Conventionnelle / Fertilisation N	8	-0,74	-28,2	-152,3
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	9	2,97	-23	-127,7
Blé tendre	Conventionnelle / Fertilisation N	36	-0,07	-26,3	-159
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	12	1,34	-19,7	-104,2
	Conventionnelle / Fertilisation organique	3	2,52	67,4	329
	Bio / Fertilisation minérale	6	1,09	-7,3	-41,1
	Bio / Fertilisation organique	10	1,67	39,5	259,2
Tournesol	Conventionnelle / Fertilisation N	9	-1,02	-32,6	-90,4
	Conventionnelle / Fertilisation NPK	11	2	-28	-61,8

**Fertilisation phosphatée :**      **Excédent en Cd,**  
**Déficit en Cu, Zn**

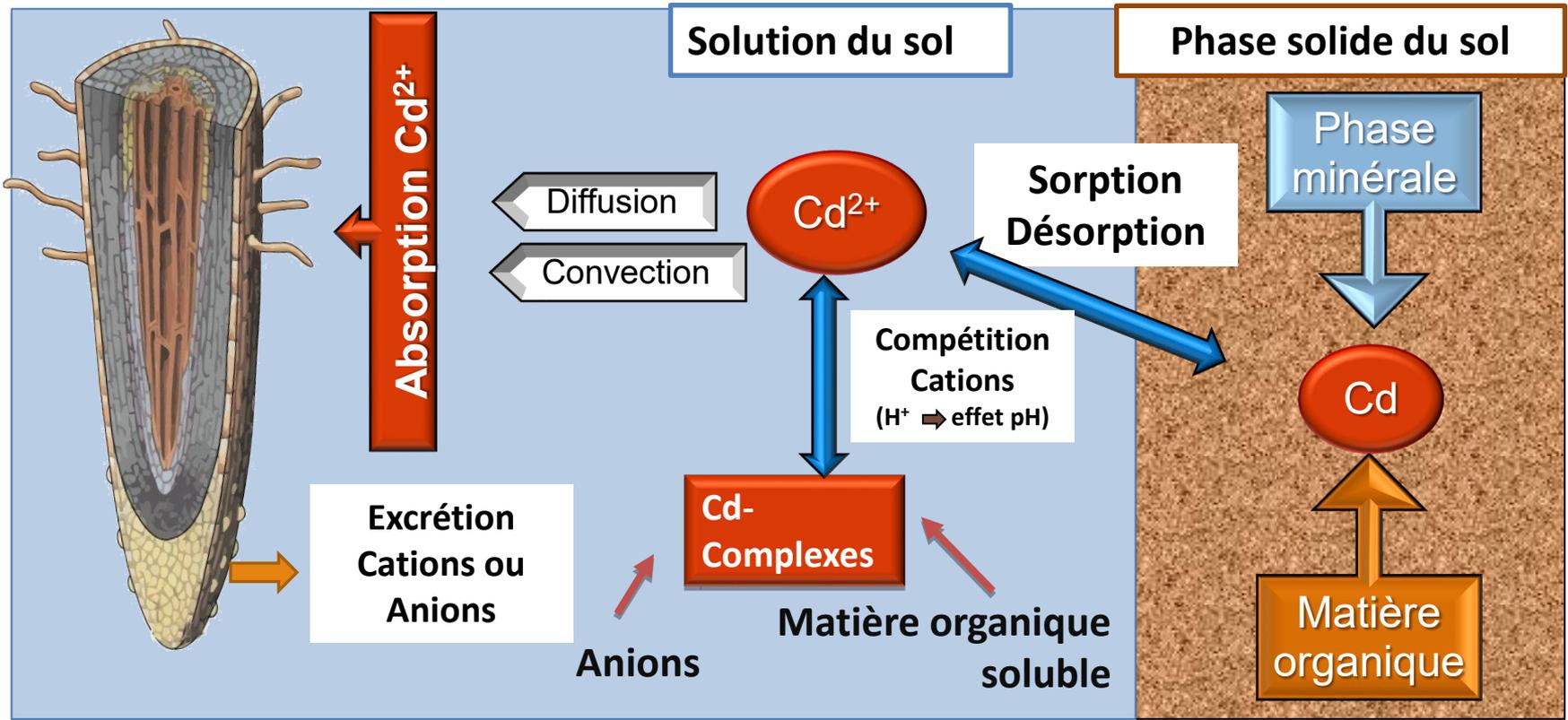
*Vivien et Denaix, 2017*

# Localisation dans les sols

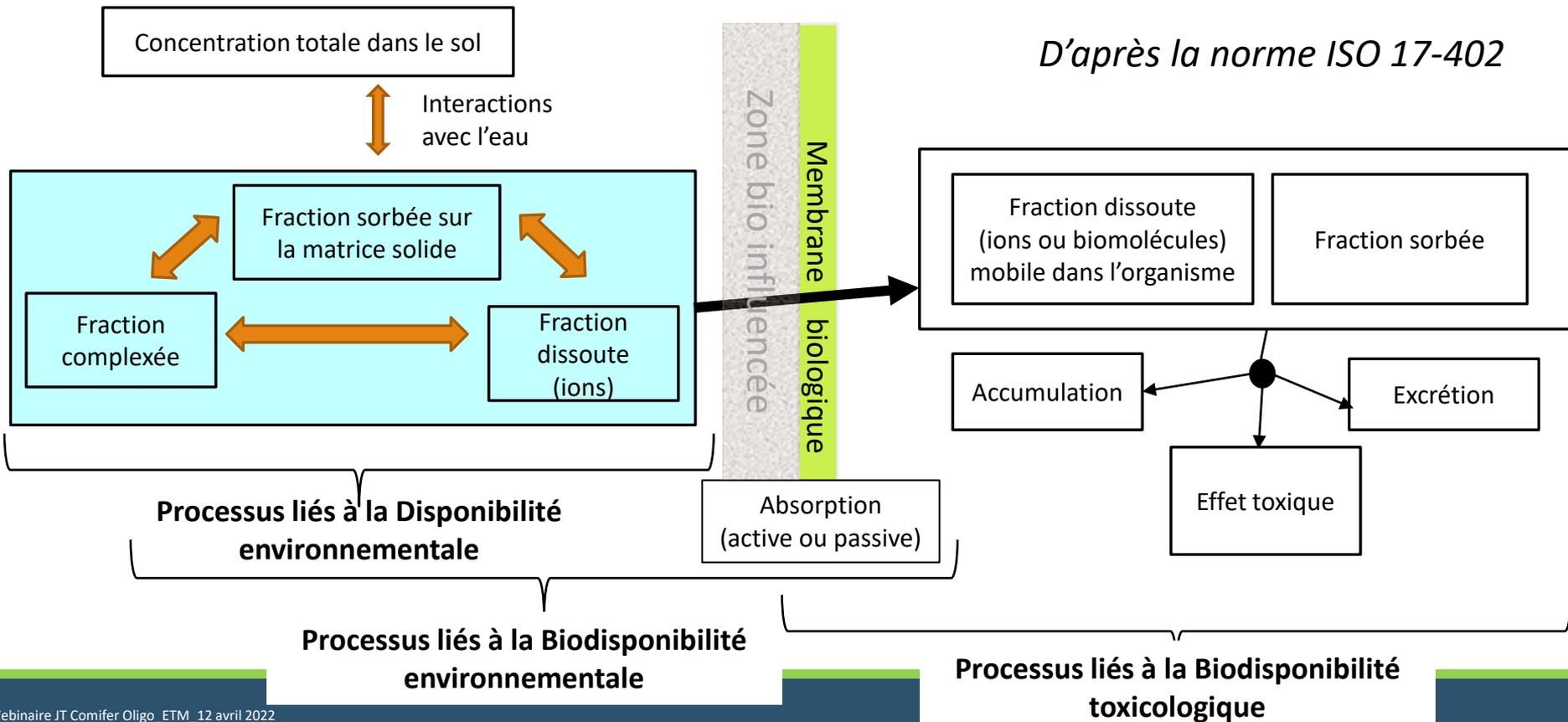
Les ET sont présents dans différents compartiments dans les sols  
Leur mobilité vers la solution du sol dépend de leur localisation initiale et des conditions physicochimiques (pH, eH, Matière organique dissoute, ions compétiteurs..)



# Transfert vers les plantes



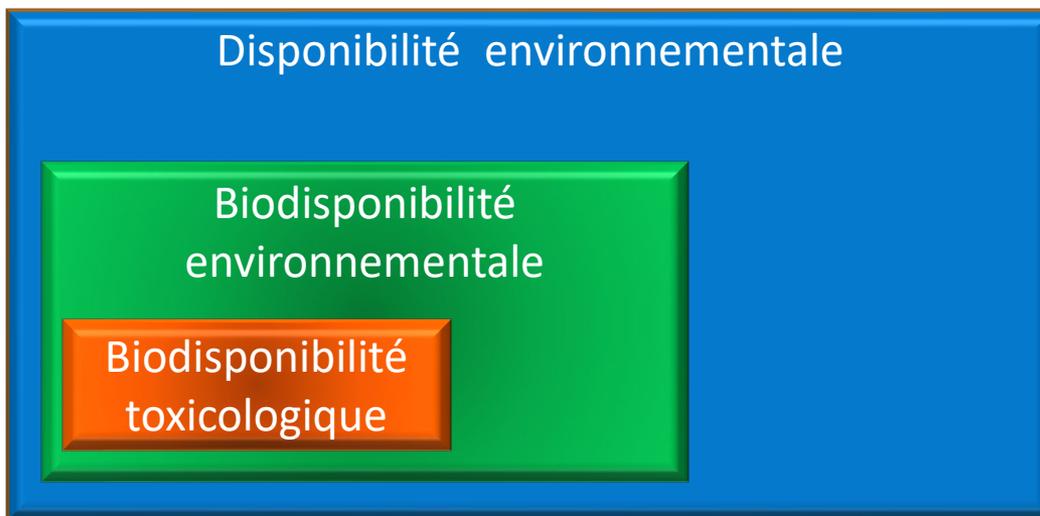
# Le concept de biodisponibilité



*D'après la norme ISO 17-402*

# Quantification de la biodisponibilité

*D'après la norme ISO 17-402*



# Conclusions

---



Naturellement présents dans l'environnement, les éléments traces sont **toxiques à fortes concentrations**

Apportés par les contaminations anthropiques, ils **s'accumulent dans les sols** sur des temps longs

L'historique d'usage des parcelles agricoles permet de comprendre les contaminations mesurées aujourd'hui

Suivant les pratiques et les cultures, les flux agricoles peuvent entraîner une contamination diffuse, qui peut avoir des effets délétères sur le long terme

Plus que leur concentration totale, c'est leur **forme chimique** qui détermine leur **disponibilité** et toxicité potentielle

La **gestion agronomique** des paramètres physico-chimiques des sols permet en partie de **contrôler la phytodisponibilité**.