



FÊTE SES 20 ANS

Les impacts des éléments traces métalliques sur la qualité des sols et des récoltes

Aurélia Michaud, INRA EcoSys

Anne Schaub, Chambre d'Agriculture Grand Est

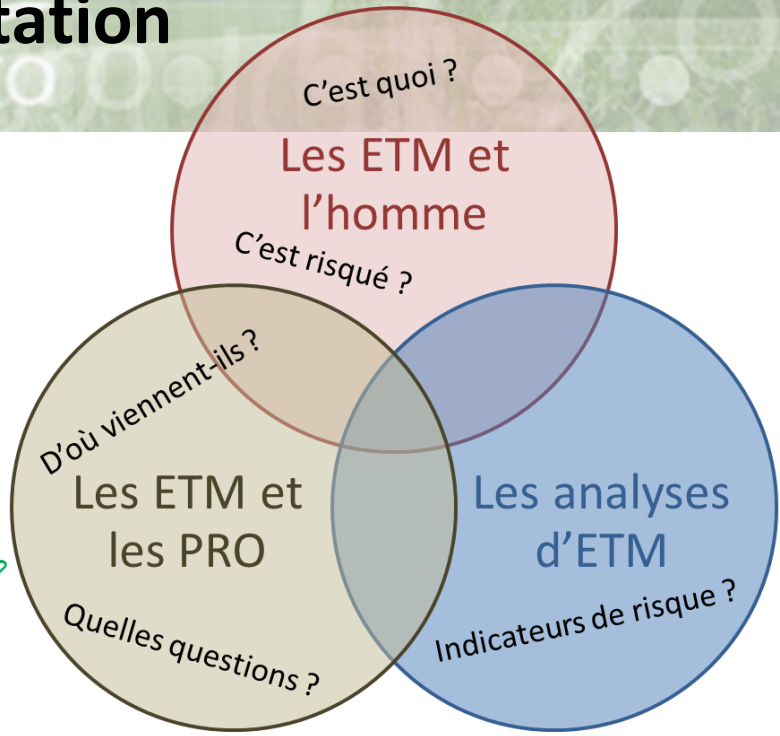
Philippe Cambier, INRA EcoSys



Questions & objectifs de la présentation

Questionnements du terrain en 2018 ?

- Dans une pratiques « normale » ça donne quoi ?*
- Sur 100 ans ça donne quoi ?*
- Evolution des teneurs en ETM des PRO depuis 20 ans ?*
- Votre expérimentation, et ailleurs il se passe quoi ?*
- Quels ETM ? Pourquoi ceux-là ?*
- Quels risques ? Toxicité ? Transfert entre compartiments ?*
- Côtés positifs ? Oligo-éléments ? Atténuation disponibilité ? Bio-fortification ?*
- Effets des traitements et propriétés des PRO sur les ETM ?*



En quoi les mesures et données de QualiAgro permettent de répondre ? Quel constat après 20 ans d'apports répétés ? Dans une trajectoire 'infinie' ?

Questions & objectifs de la présentation

plante

Teneurs et risques ?
Quid des normes ?

Teneurs en ETM ?
Evolution depuis 20 ans ?
Effet des traitements

PRO

Evolution des propriétés et des teneurs ETM dans le sol ?
Flux d'apports d'ETM par les PRO versus stock présent dans le sol ?
Effets positifs et risques des apports répétés de PRO sur les ETM ?

sol

Biodisponibilité ?

Evolution des ETM du sol à « très » long terme ?

Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sol ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Bilan et futures questions

Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sols ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

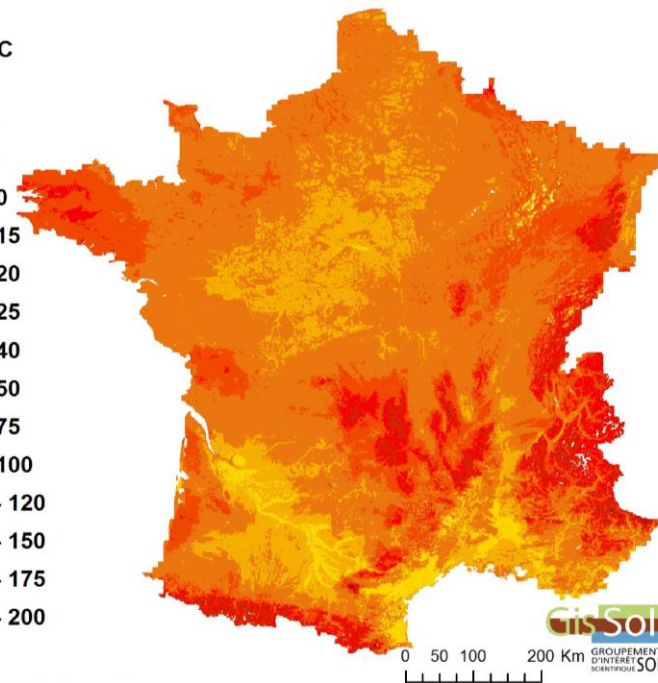
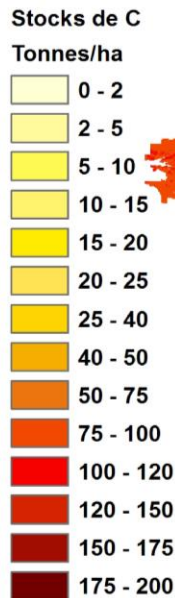
Bilan et futures questions

Sol, socle de croissance des cultures

Menaces pesant sur les sols en Europe (FAO 2015)

- (1) Contamination
- (2) Artificialisation
- (3) Diminution du carbone organique du sol
- (4) Salinisation et sodification

Estimation des stocks de carbone organique de 0 à 30 cm de profondeur en France métropolitaine hors Corse

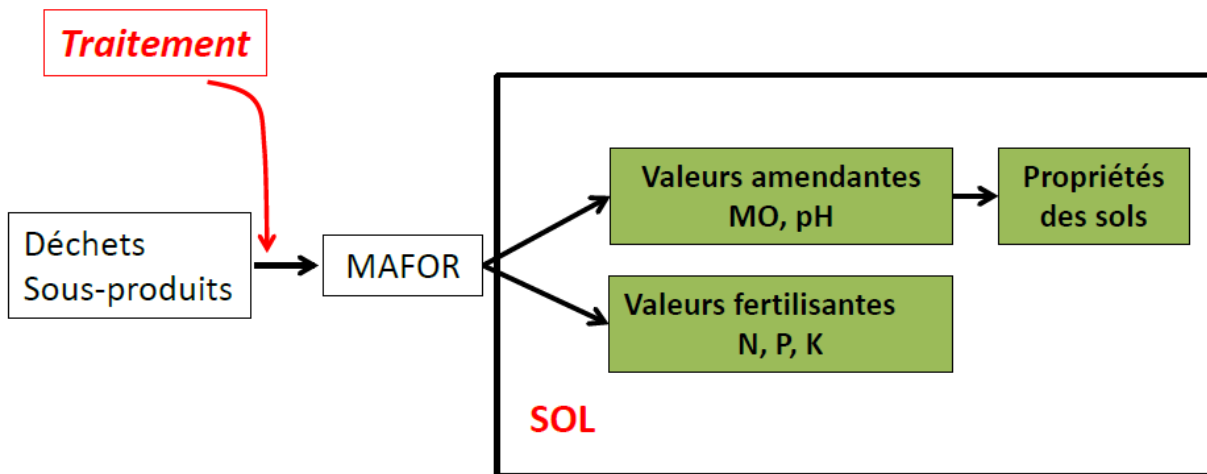


Les Produits Résiduaire Organiques, des avantages...

Les PRO, de la matière organique !

Et des propriétés variées influant sur l'évolution des propriétés des sols

→ Eléments majeurs, oligo-éléments, pH, capacité d'échange cationique...



Les Produits Résiduaires Organiques, des inconvénients...

Risques d'apports de contaminants ?

- **Biologiques** : pathogènes humains (salmonelles, E Coli, parasites...)
 - **Minéraux** : éléments traces métalliques (\pm toxiques), terres rares
 - **Organiques** : résidus pharmaceutiques, hormonaux
- (Esco MAFOR 2014 ; ADEME 2018)

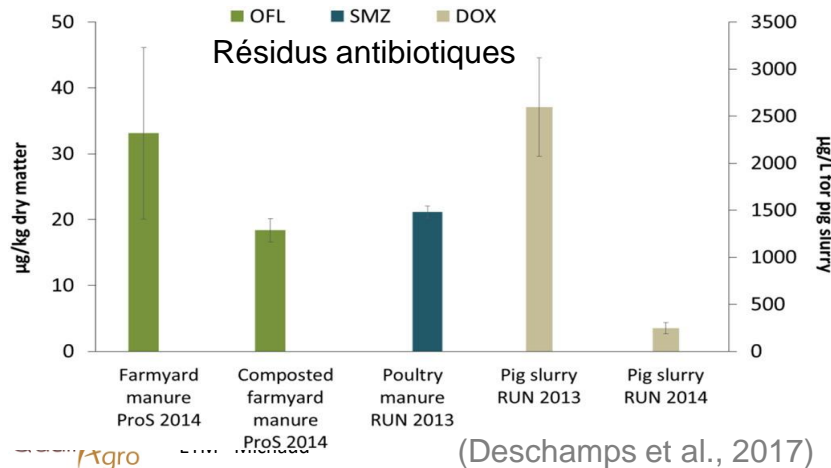


Table 5. Calculated Annual Loading (g/ha) of Cu, Zn, Cd, As, Mo and U from a Fertilizer (6–24–24) and Dairy Manure (Median Value), Assuming 100 kg/ha P₂O₅ Application

Element	Fertilizer	Manure
Cu	0.4	350
Zn	18	890
Cd	1.0	1.1
As	3.3	5.5
Mo	2.6	13
U	47	5.2

(McBride et Spiers, 2001)

Les éléments traces métalliques ?

Définition ? Abondance ?

Les ETM sont des éléments naturels présents partout (roches, sols, eau, air, organismes...)

Leur concentration est inférieure à

- 1g/kg de matière sèche dans la croûte terrestre
- 0,1 g/kg de matière sèche dans les êtres vivants.

Sources naturelles : volcanisme, dégradation roche mère

Sources anthropiques : électronique, peintures, métallurgie, minerais, phytosanitaires minéraux, déchets...

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H hydrogène																	2 He hélium
2 Li lithium	3 Be béryllium																10 Ne néon
3 Na sodium	11 Mg magnésium																18 Ar argon
4 K potassium	19 Ca calcium	21 Sc scandium	22 Ti titane	23 V vanadium	24 Cr chrome	25 Mn manganèse	26 Fe fer	27 Co cobalt	28 Ni nickel	29 Cu cuivre	30 Zn zinc	31 Ga gallium	32 Ge germanium	33 As arsenic	34 Se sélénium	35 Br brome	36 Kr krypton
5 Rb rubidium	37 Sr strontium	38 Y yttrium	39 Zr zirconium	40 Nb niobium	41 Mo molybdène	42 Tc technétium	43 Ru ruthénium	44 Rh rhodium	45 Pd palladium	46 Ag argent	47 Cd cadmium	48 In indium	49 Sn étain	50 Sb antimoine	51 Te tellure	52 I iode	54 Xe xénon
6 Cs césium	55 Ba baryum	56 La lanthanides	57 Hf hafnium	58 Ta tantalum	59 W wolfram	60 Re rhenium	61 Os osmium	62 Ir iridium	63 Pt platine	64 Au or	65 Hg mercure	66 Tl thallium	67 Pb plomb	68 Bi bismuth	69 Po polonium	70 At astate	72 Rn radon
7 Fr francium	87 Ra radium	88 Ac actinides	89 Th thorium	90 Pa protactinium	91 U uranium	92 Np néptunium	93 Pu plutonium	94 Am américium	95 Cm curium	96 Bk berkélium	97 Cf californium	98 Es einsteinium	99 Fm fermium	100 Md mendelevium	101 No nobélium	102 Lr lawrencium	

Les « métaux lourds » ont des propriétés chimiques particulières, mais on emploie souvent ce terme à tort à la place d'ETM

Les éléments traces métalliques ?

Bons ? Toxiques ?

Ex. **As**, **Cr**, **Cu**, **Cd**, **Hg**, **Ni**, **Pb**, **Se**, **Zn**, **B**, **Mo**, **Sb**

Oligo-éléments pour les plantes (Kirkby & Romheld 2004)

Pouvant devenir (phyto)toxiques si forte biodisponibilité

Non essentiels au métabolisme végétal, mais potentiellement « bénéfiques », notamment pour les animaux comme pour Co, Ni et Se (Johnston 2004)

« Contaminants stricts » toxiques ou potentiellement toxiques pour les organismes (Marschner 1995)

5	Rb rubidium	Sr strontium	Y yttrium	Zr zirconium	Nb niobium	Mo molybdène	Tc technétium	Ru ruthénium	Rh rhodium	Pd palladium	Ag argent	Cd cadmium	In indium	Sn étain	Sb antimoine	Te tellure	I iode	Xe xénon
6	Cs césium	Ba barium	Lanthanides 57-71	Hf hafnium	Ta tantalum	W tungstène	Re rhenium	Os osmium	Ir iridium	Pt platine	Au or	Hg mercure	Tl thallium	Pb plomb	Bi bismuth	Po polonium	At astate	Rn radon
7	Fr francium	Ra radium	Actinides 89-103	Rf rutherfordium	Db dubnium	Sg seaborgium	Bh bohrium	Hs hassium	Mt meitnium	Ds darmstadtium	Rg roentgenium	Cn copernicium	Uut ununtrium	Fl flérovium	Uup ununpentium	Lv livermorium	Uus ununseptium	Uuo ununoctium
	138.9054 55	137.327 56		91.224 72	92.90638 73	95.94 74	98.9062 75	101.07 76	102.9055 77	106.42 78	107.8682 79	112.414 80	114.818 81	118.710 82	120.9043 83	127.603 84	126.90509 85	122.91739 86
	87	88		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
	138.9054 57	140.116 58	140.9076 59	144.242 60	145 61	150.36 62	151.964 63	157.25 64	158.9253 65	162.500 66	164.9303 67	167.259 68	168.9342 69	173.054 70	174.9668 71			
	Ac actinium	Th thorium	Pa protactinium	U uranium	Np néphélium	Pu plutonium	Am américium	Cm curium	Bk berkélium	Cf californium	Es einsteinium	Fm fermium	Md mendélévium	No nobélium	Lr lawrencium			
	227 89	232.0380 90	231.0358 91	238.0289 92	237 93	244 94	243 95	247 96	247 97	251 98	252 99	257 100	258 101	259 102	262 103			

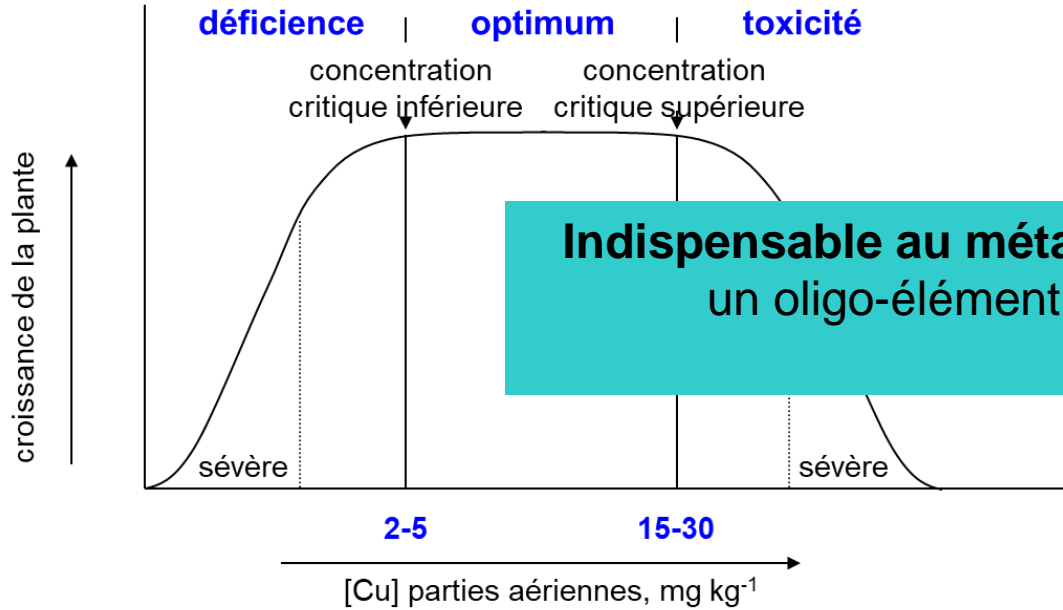
métaux alcalins
 alcalino-terreux
 métaux pauvres
 métaux de transition
 métalloïdes
 non-métaux
 halogènes
 gaz rares

La
 Ce
 Pr
 Nd
 Pm
 Sm
 Eu
 Gd
 Tb
 Dy
 Ho
 Er
 Tm
 Yb
 Lu
 Ac
 Th
 Pa
 U
 Np
 Pu
 Am
 Cm
 Bk
 Cf
 Es
 Fm
 Md
 No
 Lr

Sources : IUPAC, Wikimedia Commons

Les éléments traces métalliques ?

Essentiels ? Toxiques ?

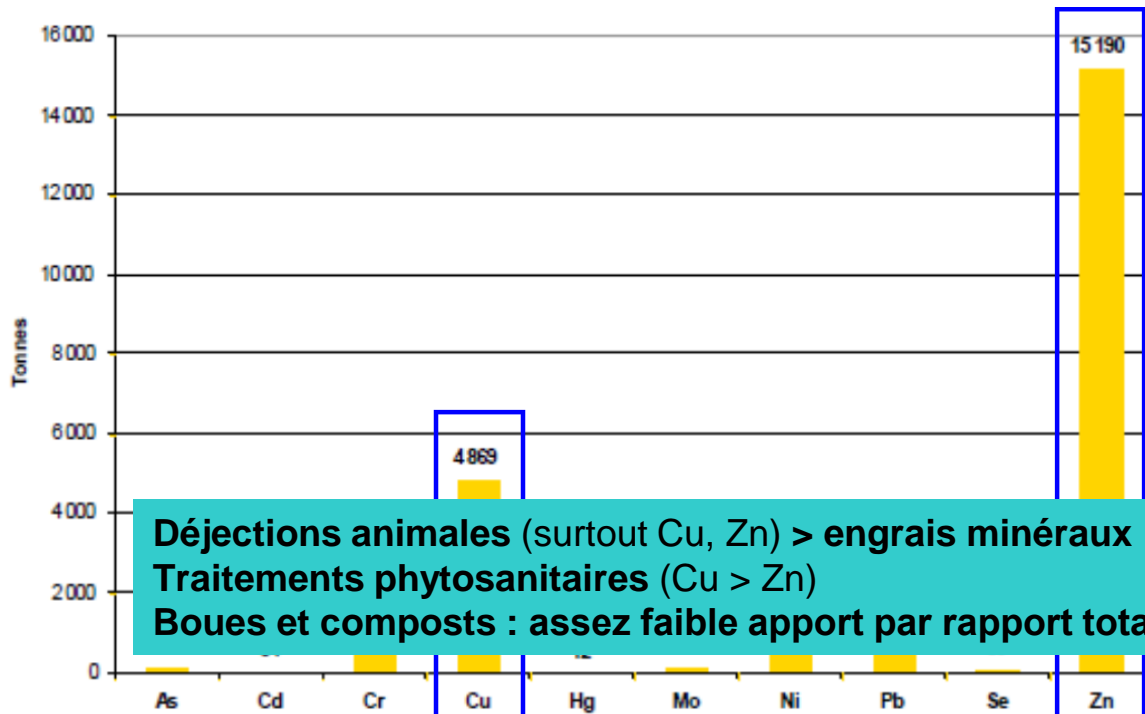


Indispensable au métabolisme des organismes vivants, un oligo-élément peut néanmoins être (phyto)toxique en trop forte concentration

Courbe de croissance en réponse au statut nutritionnel de la plante (Reuter & Robinson 1997)

Les éléments traces métalliques ? Flux d'apports aux sols ?

Quantités totales d'ETM entrant sur les sols agricoles de France métropolitaine en 1 année (tonnes/an) (ADEME/SOGREAH 2007)



Entrées principales :

Cu et Zn

Puis Cr, Pb et Ni

Entrées les plus faibles :

Hg, Cd, Se, Mo, As

Déjections animales (surtout Cu, Zn) > engrais minéraux ; retombées atmosphériques
Traitements phytosanitaires (Cu > Zn)
Boues et composts : assez faible apport par rapport total d'ETM

Les éléments traces métalliques ? Les Risques ?

Impact direct sur les cultures en place Phytotoxicité, rhizotoxicité (ex. Cu, Zn)

(Sheldon et Menzies 2005, Kopittke et Menzies 2006)

→ Altération fonction de production agricole des sols

Transfert vers les parties récoltées

→ Risques de contamination de la chaîne alimentaire (ex. Cd, Ni...)

Transfert vers les eaux souterraines (ex. Zn, Cd)

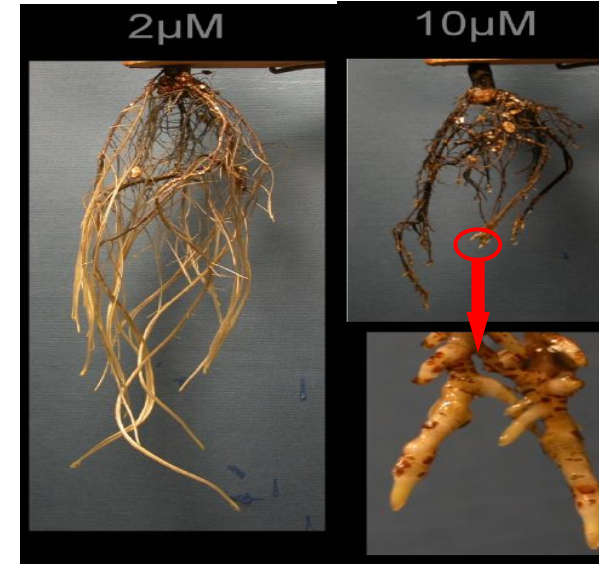
(Cambier et al. 2014)

→ Risques de contamination des eaux

Impact sur les (micro)organismes du sol (ex. Cu, Zn...)

(McGrath et al. 1995, Charlton et al. 2016)

- Diminution/altération des activités biologiques
telles que nitrification, dégradation matière organique, ...
- Modification diversité et nombre...



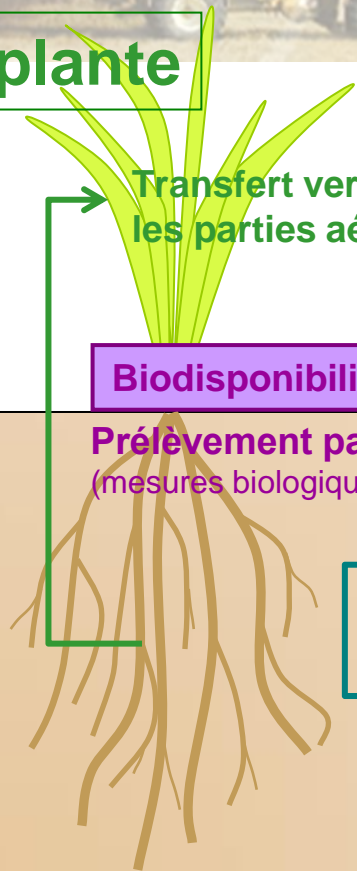
(Garcia, 2004)

Les éléments traces métalliques ? Biodisponibilité ?

plante

Biodisponibilité

« Prélèvement (aboutissant à une accumulation ou à un effet) d'un composé par un organisme donné pendant une période de temps fixée à partir d'une unité de masse de sol impliquée »
(Harmsen et al. 2005)



Transfert vers les parties aériennes

Biodisponibilité

Prélèvement par l'organisme
(mesures biologiques : test toxicité, teneur, quantité prélevée)

Disponibilité

Fractions facilement ou potentiellement disponibles
Fractions dissoutes, sorbées
(extractions chimiques : ex. EDTA, CaCl₂)

Concentration totale
(ETM, éléments majeurs)

sol

Les éléments traces métalliques ? Biodisponibilité ?

Propriétés physico-chimiques du sol et (bio)disponibilité des ETM ?

acide
($\text{pH}_{\text{sol}} < 6$)

pH du sol

alcalin (sol calcaire)
($\text{pH}_{\text{sol}} \sim 8$)

Augmentation (bio)disponibilité et risques de toxicité des ETM avec la diminution du pH
Sauf en cas d'interaction avec nutrition / mécanismes physiologiques (ex. Fe VS Cu)

Faible teneur [MO]
([MO] < 1 %)

MO du sol

+ forte teneur [MO]
([MO] > 3-5 %)

Diminution (bio)disponibilité et risques de toxicité des ETM avec l'augmentation [MO] du sol et CEC

Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sol ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Bilan et futures questions

QualiAgro – mis en place en 1998

Contexte pédoclimatique :

sol limoneux lessivé ; pH initial 7,0 ; teneur en MO initiale 1,8%

Traitements :

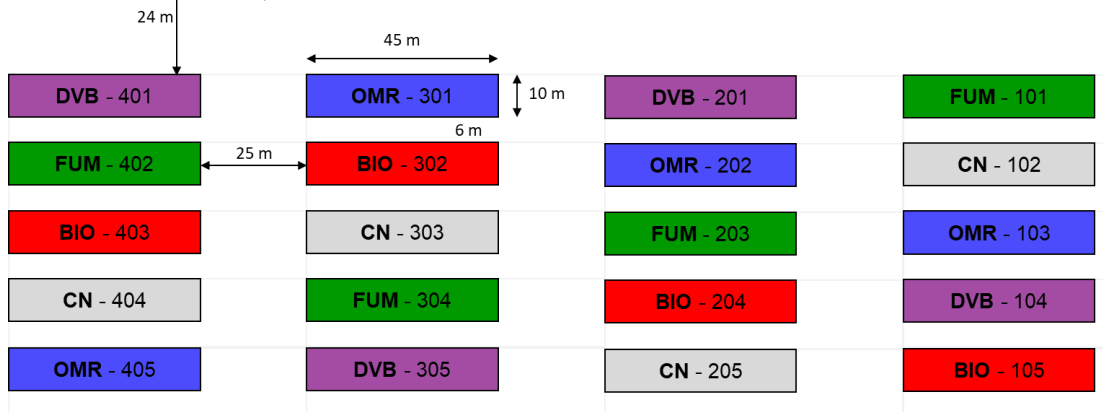
compost déchets verts + boue (DVB)

compost biodéchets (BIO)

compost ordures ménagères rés. (OMR)

fumier bovins (FUM)

témoin (TEM ou CN)

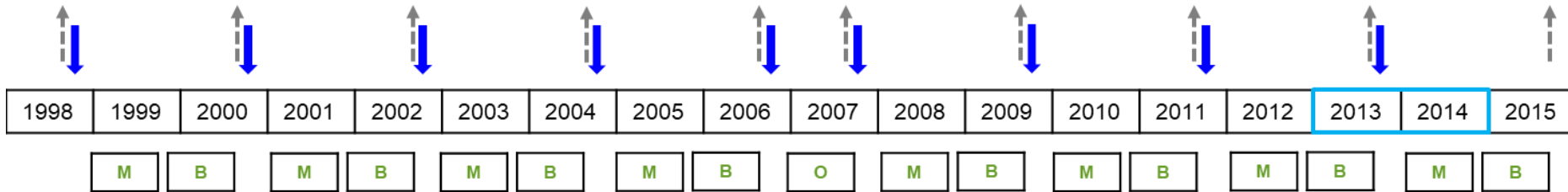


Partie du dispositif recevant une fertilisation azotée optimale

Cultures : blé – maïs (orge 2007)

Epanrages : tous les 2 ans 4 t C / ha

Echantillonnages et analyses faites depuis 1998



↑ 10 échantillonnages de sol

↓ 9 épandages de PRO → 9 échantillonnages de PRO

M/B: 17 échantillonnages de plantes (M : maïs ; B : blé ; O : orge)

17 saisons de drainage (estimations avec des données obtenues pour 2013/2014)

Echantillonnages et analyses faites depuis 1998

plante

Grains et résidus
[ETM], [C, N, P...]

* ETM réglementaires depuis 1998 : Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
ETM supplémentaires au fil du temps : Tl, Ag, Se, As, Sb...

[ETM*] totaux et extractibles
pH, [C, N, P...]
statut MO, ...

PRO

[ETM*] totaux et extractibles
pH, CEC, C org., N, P, K, ...

sol

Mesures ponctuelles (2013) :
biodisponibilité ETM réglementaires*, autres ETM, terres rares

[ETM*]
[Cations, anions], pH, C org.

eaux

Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sols ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

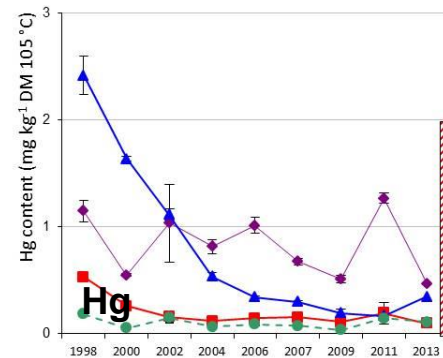
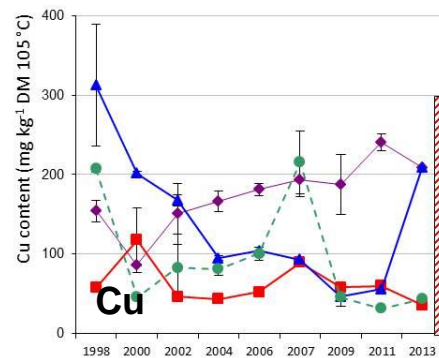
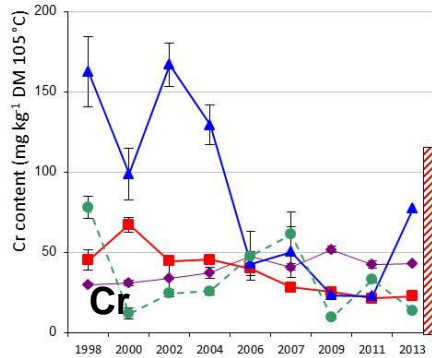
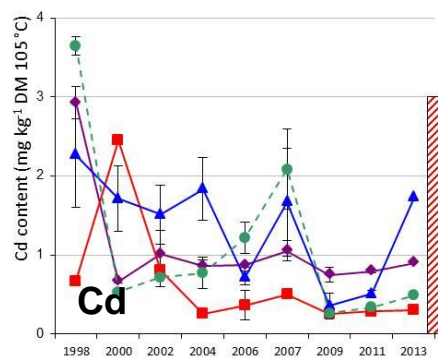
Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

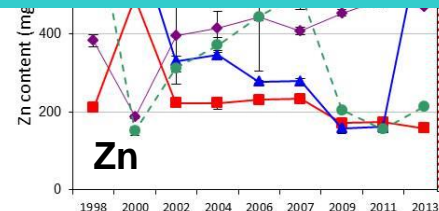
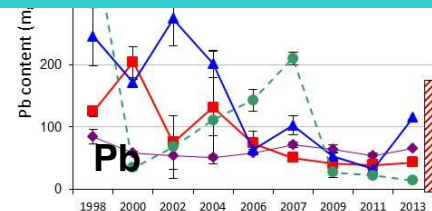
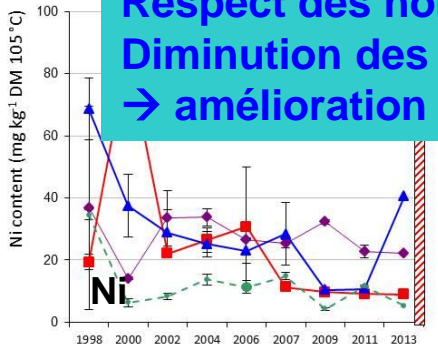
Bilan et futures questions

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sols ?

Evolution des teneurs en ETM des PRO sur 1998 – 2013

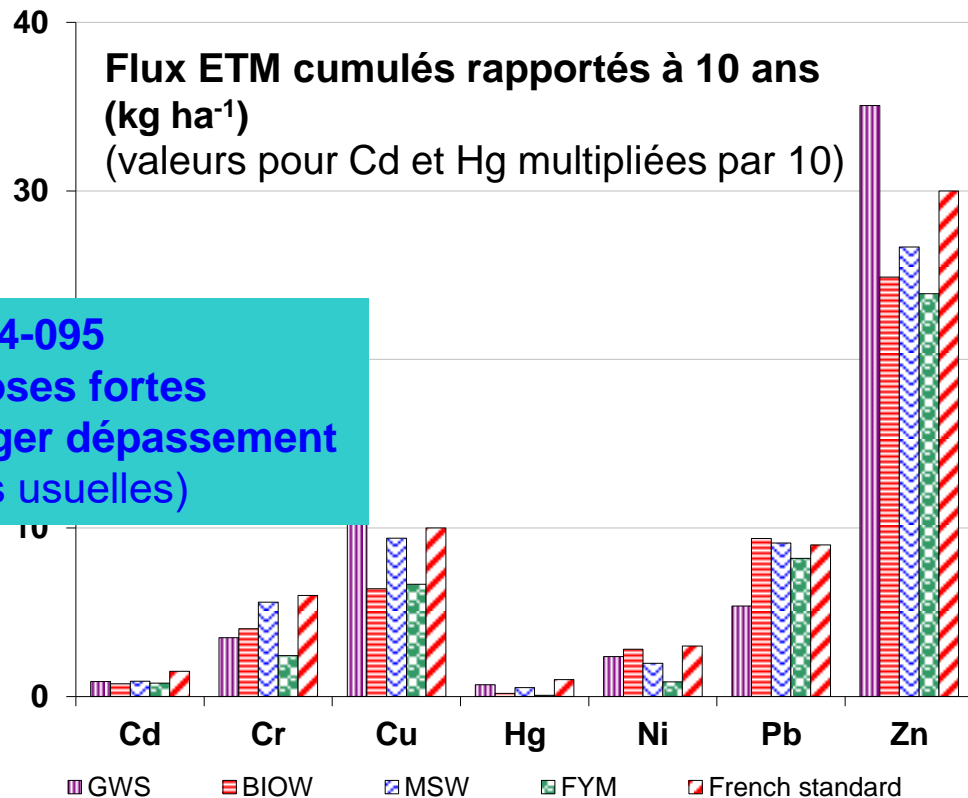


**Respect des normes NFU 44-051 et 44-095 (composts de boues, autres composts)
Diminution des teneurs depuis 1998 (surtout OMR)
→ amélioration de la qualité des PRO épandus**



Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sols ?

Flux d'apports d'ETM par les PRO ?

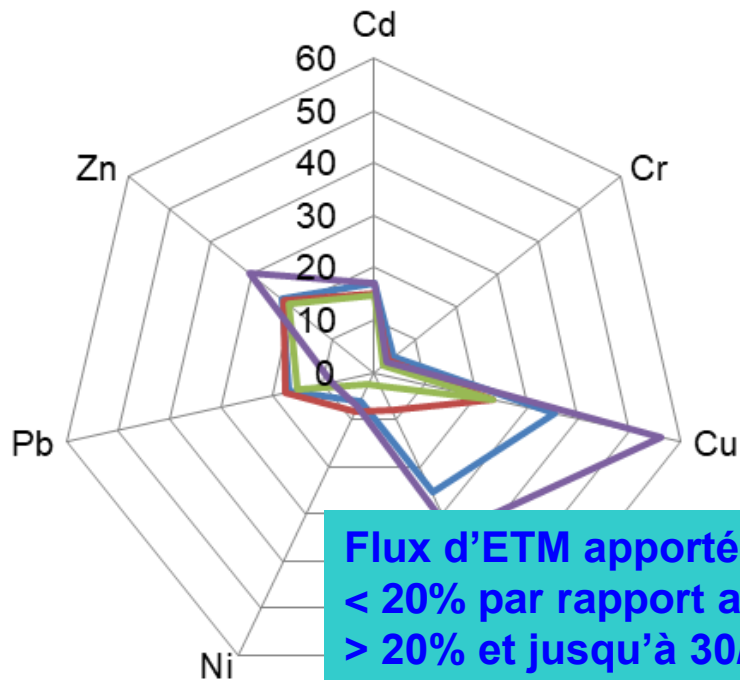


Respect des normes NFU 44-051 et 44-095
Excepté pour DVB (Cu et Zn) mais doses fortes
Excepté pour Pb du BIO/OMR très léger dépassement
(quantités épandues ≈ 1,5 fois quantités usuelles)

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sols ?

Flux d'apports d'ETM par les PRO :

Pourcentage des apports par rapport au stock d'ETM du sol en 1998 ?



Cd : 15% BIO/FUM à 17% DVB/OMR

Cr : < 5%

Cu : 23% BIO/FUM à 56% DVB

Hg : <3% FUM à 35% DVB

Ni : <3% FUM à 8% BIO

Pb : 8% DVB à 17% BIO

Zn : 21-22% BIO/OMR/FUM à 30% DVB

Flux d'ETM apportés par les PRO représentent une quantité < 20% par rapport au stock initial du sol en 1998 pour Cd, Cr, Ni et Pb > 20% et jusqu'à 30/56 % pour le DVB pour Zn et Cu

Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sol ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

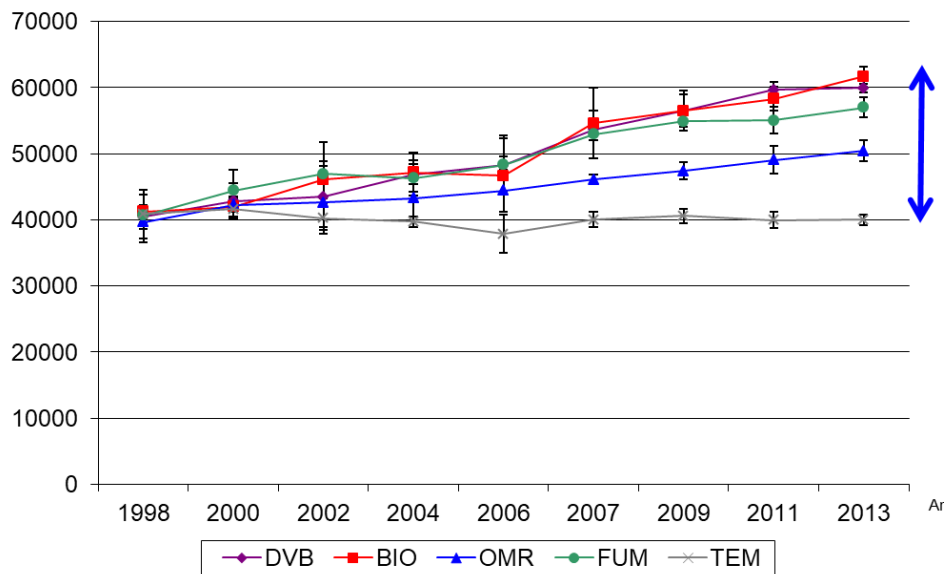
QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Bilan et futures questions

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les sols, évolution des propriétés modulant la dynamique des ETM ?

Evolution stocks C organique du sol (kg / ha)



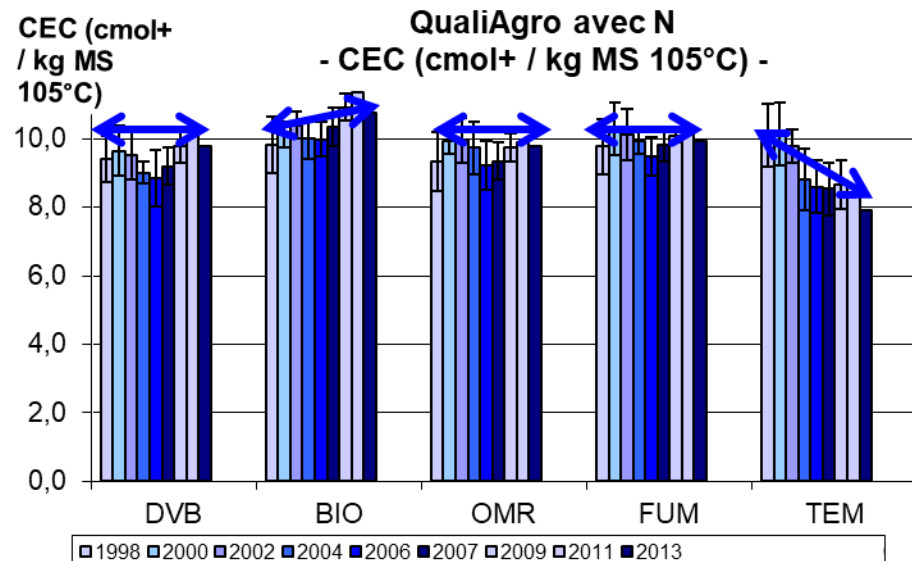
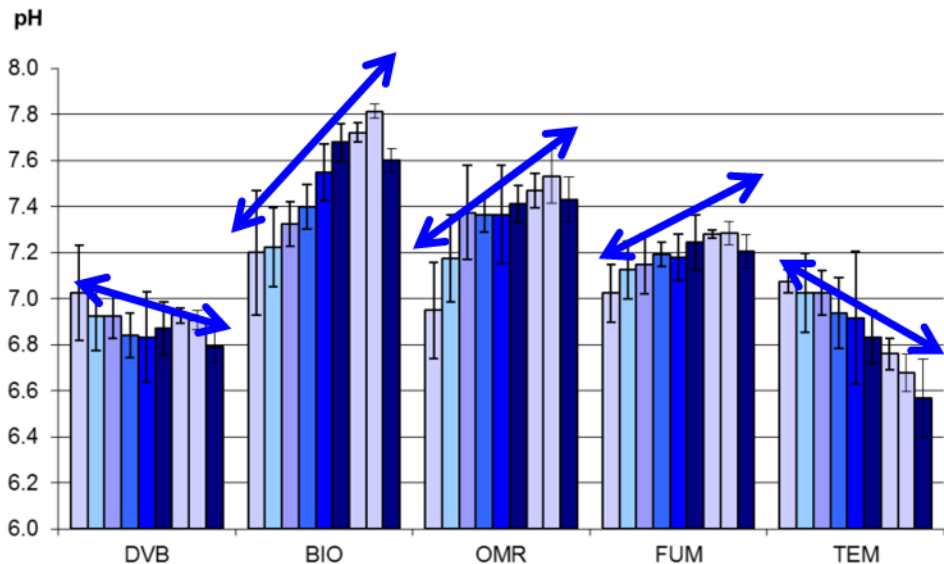
↗ avec le temps et par rapport au témoin
Variable fonction des PRO
+25% OMR, jusqu'à +69% DVB +65% BIO

Relation inverse avec biodégradabilité des PRO
OMR > FUM > DVB > BIO (BIO/DVB + matures)

Quali Agro → Augmentation stock C du sol, supérieure pour PRO de plus forte stabilité MO

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les sols, évolution des propriétés modulant la dynamique des ETM ?



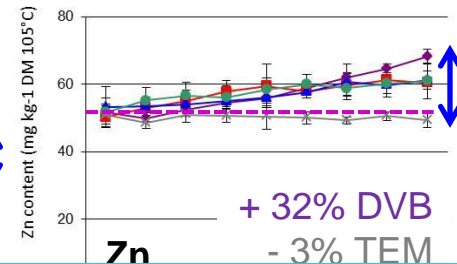
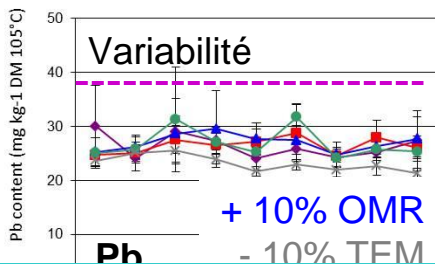
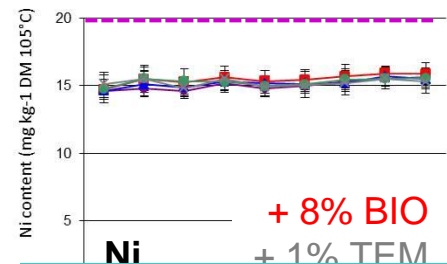
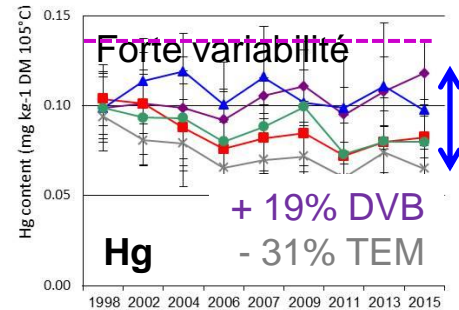
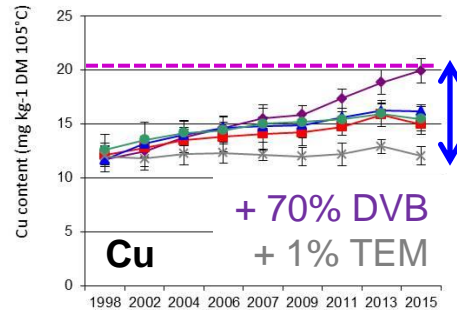
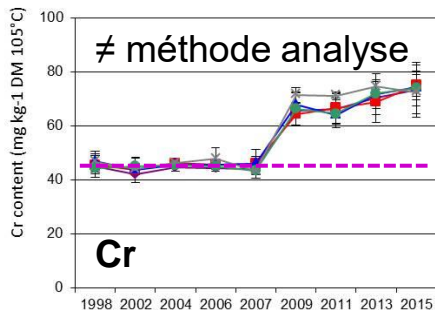
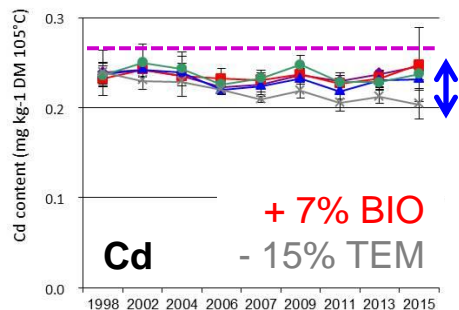
Augmentation du pH du sol (jusqu'à 0,6 unité pH pour **BIO/OMR**)

Composts **BIO** et **OMR** utilisables en amendement basique (Bouthier et al., 2012)

→ Maintien de la CEC du sol, voire augmentation pour le compost biodéchets

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les sols, évolution des teneurs en ETM dans l'horizon de labour ?

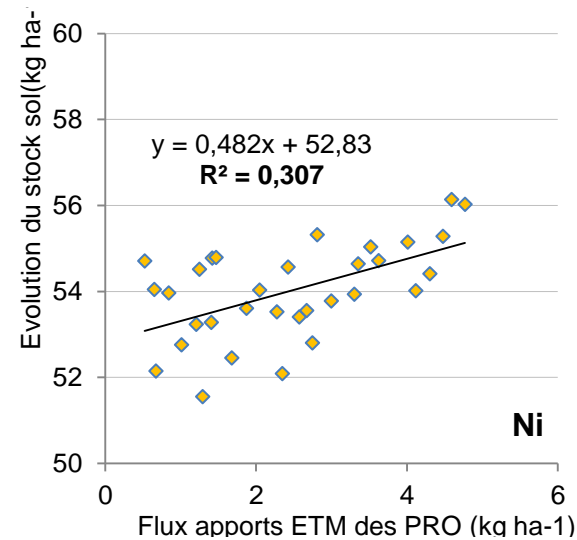
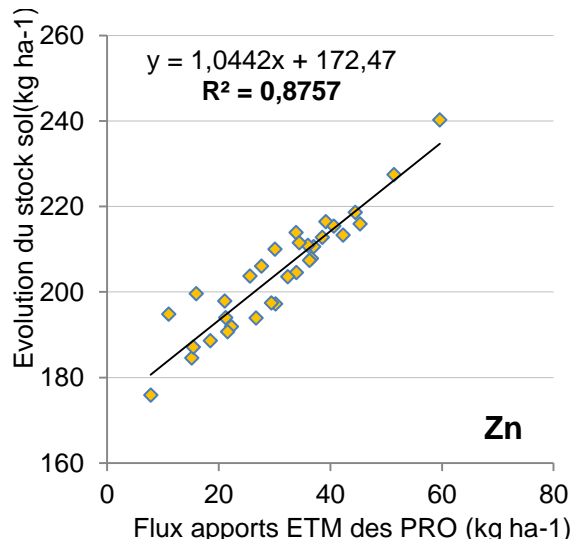
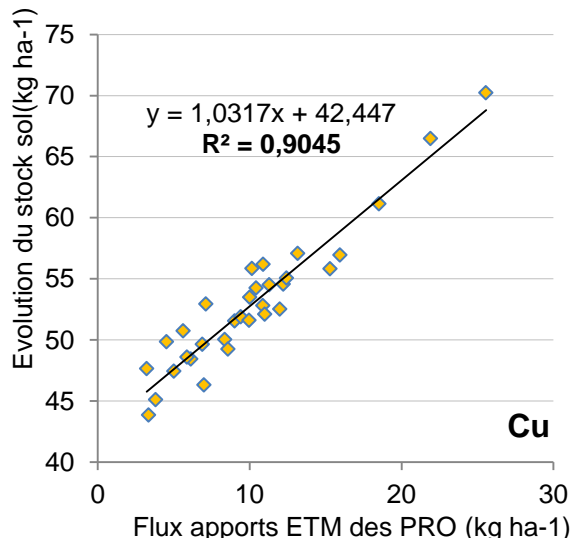


→ Augmentation significative [Cu] et [Zn] dans l'horizon d'incorporation des PRO

→ Pas pour les autres ETM

Les teneurs restent similaires aux teneurs habituelles des sols agricoles comparables

Flux d'apports d'ETM par les PRO et variation de stock d'ETM du sol



**[Cu, Zn] augmentant significativement dans le sol
ETM des PRO → Explication l'augmentation des variations de stocks dans le sol**

**Autres ETM, pas/faible augmentation dans le sol
Faible (ex. Ni) ou relation inexistante**

Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sol ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Bilan et futures questions

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

Les apports de PRO : bénéfiques et risques ? Quid de la biodisponibilité ?

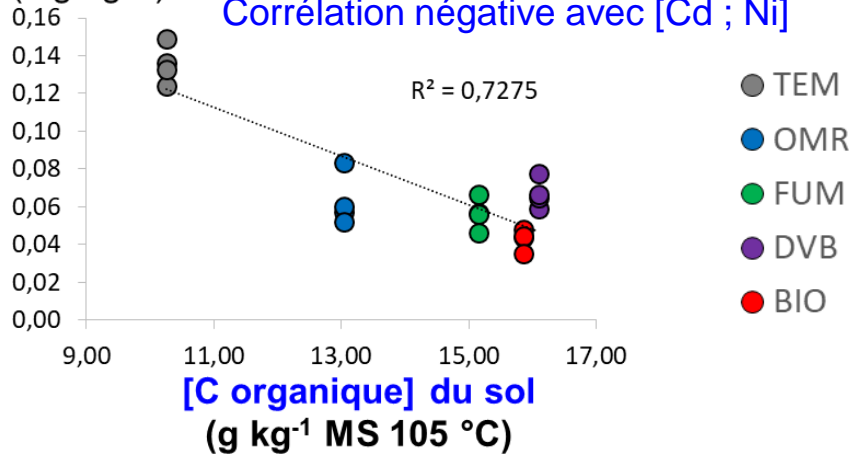
Apports de PRO modifient des propriétés du sol connues pour modifier la (bio)disponibilité des ETM

(Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Harmsen *et al.*, 2005; Smolders *et al.*, 2009; Smolders *et al.*, 2012)

[Cd] parties aériennes

(mg kg⁻¹)

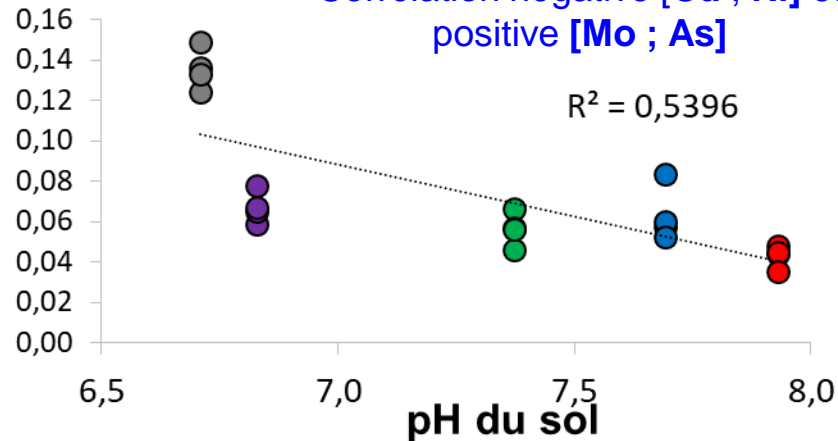
Corrélation négative avec [Cd ; Ni]



[Cd] des parties aériennes

(mg kg⁻¹)

Corrélation négative [Cd ; Ni] et positive [Mo ; As]



Effet protecteur de la MO sur Cd et Ni
(↘ biodisponibilité)

Diminution de biodisponibilité pour Cd/Ni avec augmentation pH (ex. BIO/OMR) ; inverse pour Mo/As

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

Teneurs des parties consommées après 20 ans d'apports de PRO ?

		Cd	Cr	Cu	Hg mg kg ⁻¹ MS	Ni	Pb	Zn
QualiAgro	Blé 1998-2013	0.01 (<)	0.21 - 0.26	3 - 3.5	0.002 - 0.003 (<)	0.11 - 0.21	0.12 - 0.16 (<)	20 - 21
	Orge 2007&2015	0.002 - 0.005 (<)	0.34 - 0.39 (<)	4.9 - 6.3	0.001 - 0.002 (<)	0.11 - 0.13 (<)	0.07 - 0.1 (<)	24 - 30
	Maïs 1999-2014	0.01 (<)	0.07 - 0.11 (<)	2 - 2.2	0.012 - 0.031 (<)	0.2 ± 0.3	0.1 (<)	17.8 - 19.9

(<) la majorité ou la totalité des valeurs étaient inférieures à la limite de quantification

En 2015, pas de différences significative répétable dans le temps,
pour les teneurs des grains (blé/orge/maïs)
des plantes cultivées avec et sans apports de composts/fumier

Teneurs inférieures (souvent) aux seuils de quantification pour Cd, Cr, Hg, Ni et Pb

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

Teneurs des parties consommées après 20 ans d'apports de PRO ?

		Cd	Cr	Cu	Hg mg kg ⁻¹ MS	Ni	Pb	Zn
QualiAgro	Blé 1998-2013	0.01 (<)	0.21 - 0.26	3 - 3.5	0.002 - 0.003 (<)	0.11 - 0.21	0.12 - 0.16 (<)	20 - 21
	Orge 2007&2015	0.002 - 0.005 (<)	0.34 - 0.39 (<)	4.9 - 6.3	0.001 - 0.002 (<)	0.11 - 0.13 (<)	0.07 - 0.1 (<)	24 - 30
	Maïs 1999-2014	0.01 (<)	0.07 - 0.11 (<)	2 - 2.2	0.012 - 0.031 (<)	0.2 ± 0.3	0.1 (<)	17.8 - 19.9
Tremel & Feix 2005	Grain orge	0.02	0.02	5.0	0.01	0.20	0.45	28
	Grain blé	0.03	0.10	4.5	0.01	0.30	0.50	25
Codex Alimentarius 2015	Grains céréales	0.1					0.2	
	Blé	0.2						

(<) la majorité ou la totalité des valeurs étaient inférieures à la limite de quantification

Cd et Pb < valeurs réglementaires et usuelles
Tous les autres ETM < ou ≈ valeurs usuelles (sauf Cr > ou ≈ références)

En 2015, pas d'effets d'apports de PRO sur des risques de contamination des grains

Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sol ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

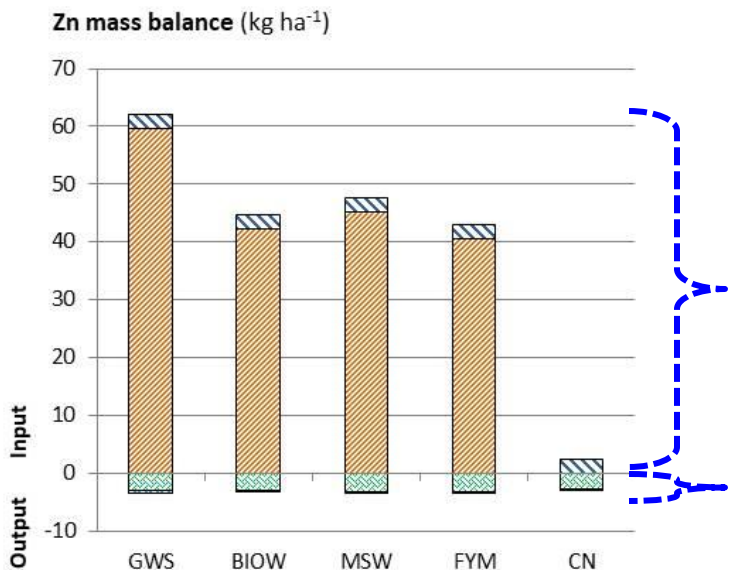
QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Bilan et futures questions

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Intérêt du site QualiAgro pour simuler

→ Bilans et valeurs de références des entrées et sorties de la parcelle



**Flux cumulés (toutes années)
= bilans entrées/sorties**

**Flux moyen annuel
= références (simulations)**

Entrées

PRO : flux ETM apportés par PRO
Air : retombées atmosphériques

Flux ETM des PRO
(pratique agricole)

Flux retombées atm.

Sorties

Plantes : flux exportations
Eau : flux eaux percolés

Flux exportations
des plantes

Flux lixiviation

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Domaine de validité des résultats et intérêt d'un réseau ?

Contexte pédoclimatique :

sol limoneux lessivé ; pH initial 7,0 ; teneur en MO initiale 1,8%

QualiAgro : dispositif au champ

Un contexte pédo-climatique

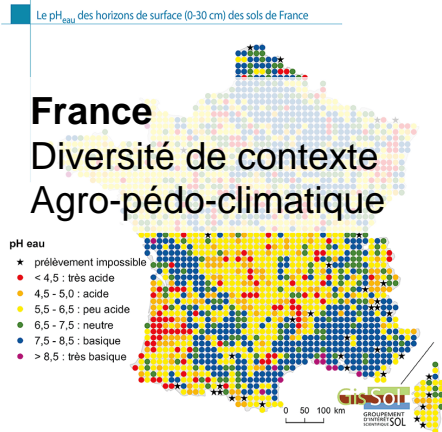
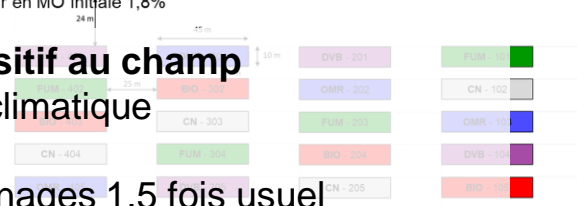
Rotation courte

4 PRO étudiés, tonnages 1,5 fois usuel

irrite du dispositif recevant une fertilisation azotée optimale

iltures : blé – maïs (orge 2007)

andages : tous les 2 ans 4 t C / ha



France
Diversité de PRO
(origine, matières premières/traitements)

Note : Le pH du sol se mesure dans une suspension d'un échantillon de sol. La mesure la plus courante s'effectue dans une suspension aqueuse (pH_{eau}). Les valeurs faibles (pH < 5) sont caractéristiques des sols acides et les valeurs fortes (pH > 7.5) des sols basiques.

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Le SOERE PRO – Observatoire de Recherche en Environnement PRO

Tutelle : INRA

<https://www6.inra.fr/valor-pro>

5 sites observation détaillées
≠ contextes agro-pedo-climatiques

Monitoring commun complet PRO, sol, plantes, eau

Propriétés physico-chimiques
Contaminants
Variables biologiques

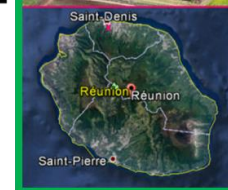
Emissions N₂O, CO₂

Eau percolation

Données climatiques
Fonctionnement hydrodynamique

4 sites
Intégrés à ANAEE-France

3 sites associés
2 sites historiques et 1 site au Burkina Faso



Plan

Introduction

QualiAgro, 20 ans de monitoring sur les métaux

Les composts, évolution depuis 20 ans et apports d'ETM aux sol ?

Les sols après 20 ans d'apports de composts ?

Les plantes après 20 ans d'apports de composts ? Safe or not ?

QualiAgro, un site de longue durée, support à l'évaluation & intégré dans un réseau

Bilan et futures questions

Bilan et futures questions

Quelles questions ?

plante

Teneurs et risques ?
Quid des normes ?

Teneurs en ETM ?
Evolution depuis 20 ans ?
Effet des traitements

PRO

Evolution des propriétés et des teneurs ETM dans le sol ?
Flux d'apports d'ETM par les PRO versus stock présent dans le sol ?
Effets positifs et risques des apports répétés de PRO sur les ETM ?

sol

Biodisponibilité ?

Evolution des ETM du sol à « très » long terme ?

Bilan et futures questions

Quelles réponses ?

plante

Teneurs < ou \approx réglementation / littérature
Pas d'effet des apports de PRO

PRO

→ [ETM] depuis 1998
ETM « soluble » > OMR (MO peu stable)
< pour BIO/DVB (stables)

sol

Augmentation [Cu ; Zn], surtout pour DVB
Flux d'apports d'ETM des PRO \approx augmentation de stock Cu/Zn
Augmentation pH (BIO/OMR), augmentation C org. (BIO/DVB)
→ modulation biodisponibilité des ETM
→ [ETM] inférieures aux valeurs sans risques

Biodisponibilité :
Diminution pour Cd/Ni
Augmentation pour Mo/B/As/Sb

En 2100, augmentation des teneurs dans le cas pratique courante, pas de risque atteint
Un site de longue durée : nécessaire pour caler des simulations/modèles
→ Comparer/valider résultats dans d'autres contextes → réseau SOERE PRO

Bilan et futures questions

Perspectives ?

plante

Teneurs et risques ?
Confirmer les résultats
dans diversité situations

Modélisation spéciation ?

Modélisation effets origine x traitement ?

Diminution teneurs ?

PRO

Evolution spéciation post-épandages répétés ?

Bilan à l'échelle de la parcelle dans diverses situations ?

Simulation évolutions dans diverses situations ?

Evaluation des propriétés du sol et (bio)disponibilité dans diversité de contextes ?

Biofortification (ex. Zn) ? Fertilisation en oligo-éléments par des PRO ?

sol

Biodisponibilité ?

Exposition des organismes ?

Interactions/rétroactions organ./contaminants ?

Simulation des ETM du sol à « très » long terme pour diverses situations ?

Méta-analyses, validation d'indicateurs d'effets ?

Confronter et valider les résultats

→ Diversité de situations

→ Agréger les résultats entre essais

→ Terres rares, autres ETM (ex. Ag, Sb)

→ Surtout contaminants organiques (Cf Benoit et al.)