



8èmes Rencontres du RMT Quasaprove « Recherche appliquée, Formation & Transfert »

Les éléments traces : bilan des contaminations des parcelles et des récoltes sur le réseau Quasaprove

*Laurence Denaix (1), Emma Vivien (1),
Stéphane Thunot (1), Thierry Robert (1), Christophe Nguyen (1),
Guérolé Grignon (2), Benoît Méléard (2) et Emilie Donnat (3)*

(1) UMR Interactions Sols Plantes Atmosphère INRA Bordeaux Sciences Agro

(2) ARVALIS-Institut du Végétal

(3) ACTA



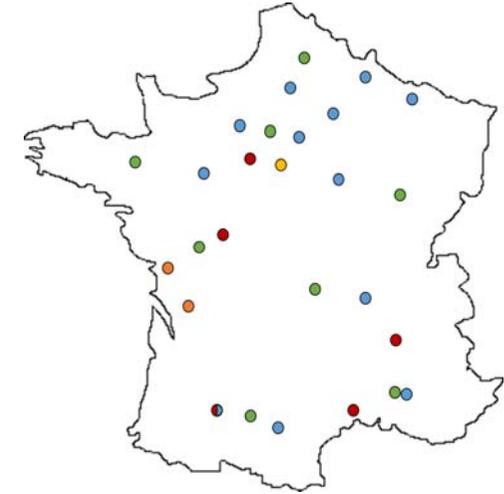
Contexte et Objectifs

- L'usage agricole des sols peut conduire à leur contamination diffuse
- Pour les éléments traces, cette contamination des sols conduit-elle à des contaminations des récoltes?
- Les relations observées en conditions contrôlées sont difficilement transposables au terrain



Construction d'un réseau de parcelles en grandes cultures, en agriculture conventionnelle ou biologique, pour suivre les contaminants (flux, disponibilité, rémanence...)

Le réseau QUASAPROVE



- Créé en 2010
- S'appuie sur des parcelles dans :
 - Des Unités Expérimentales INRA (9)
 - Des instituts techniques (Arvalis, Terres Inovia, ITAB) (7)
 - Des lycées agricoles (11)

- Cultures : blé dur, blé tendre, tournesol

- Echantillonnage :

- Intrants
- Sol
- Végétal

(Stade jeune et à la récolte)

Analyse ETM (As, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Ni, Pb, Zn, U)

Résidus de pesticides

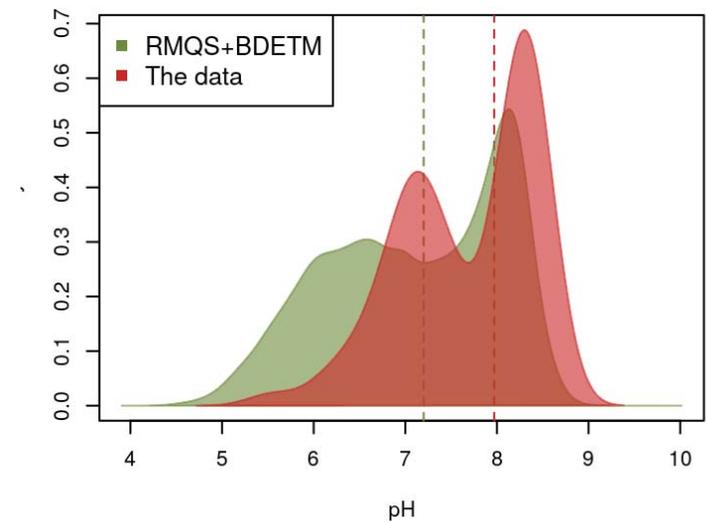
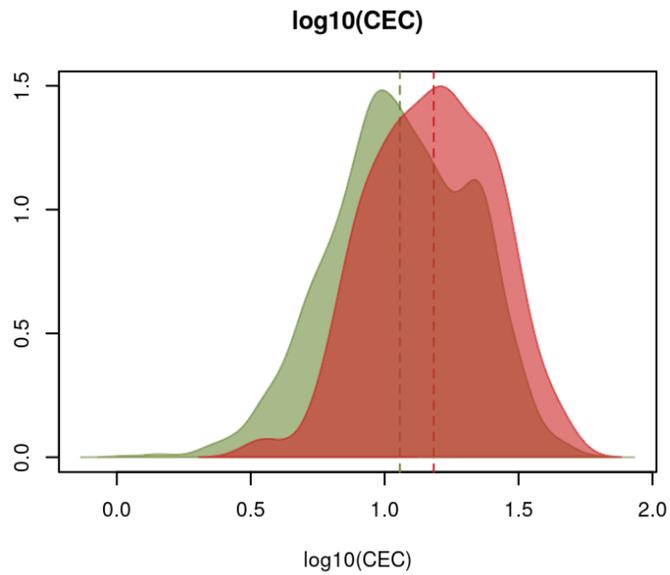
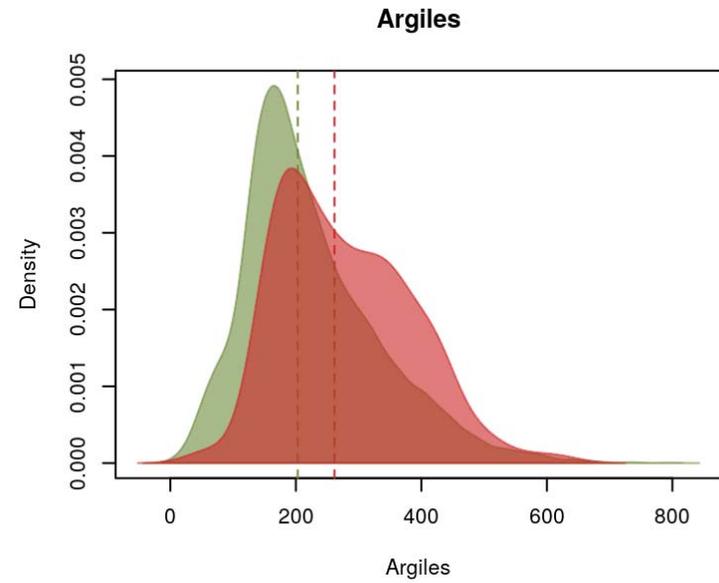
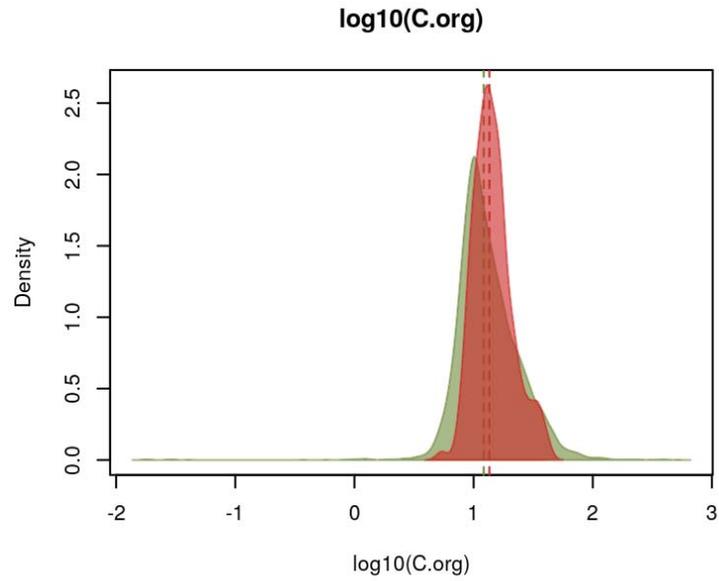
Mycotoxines



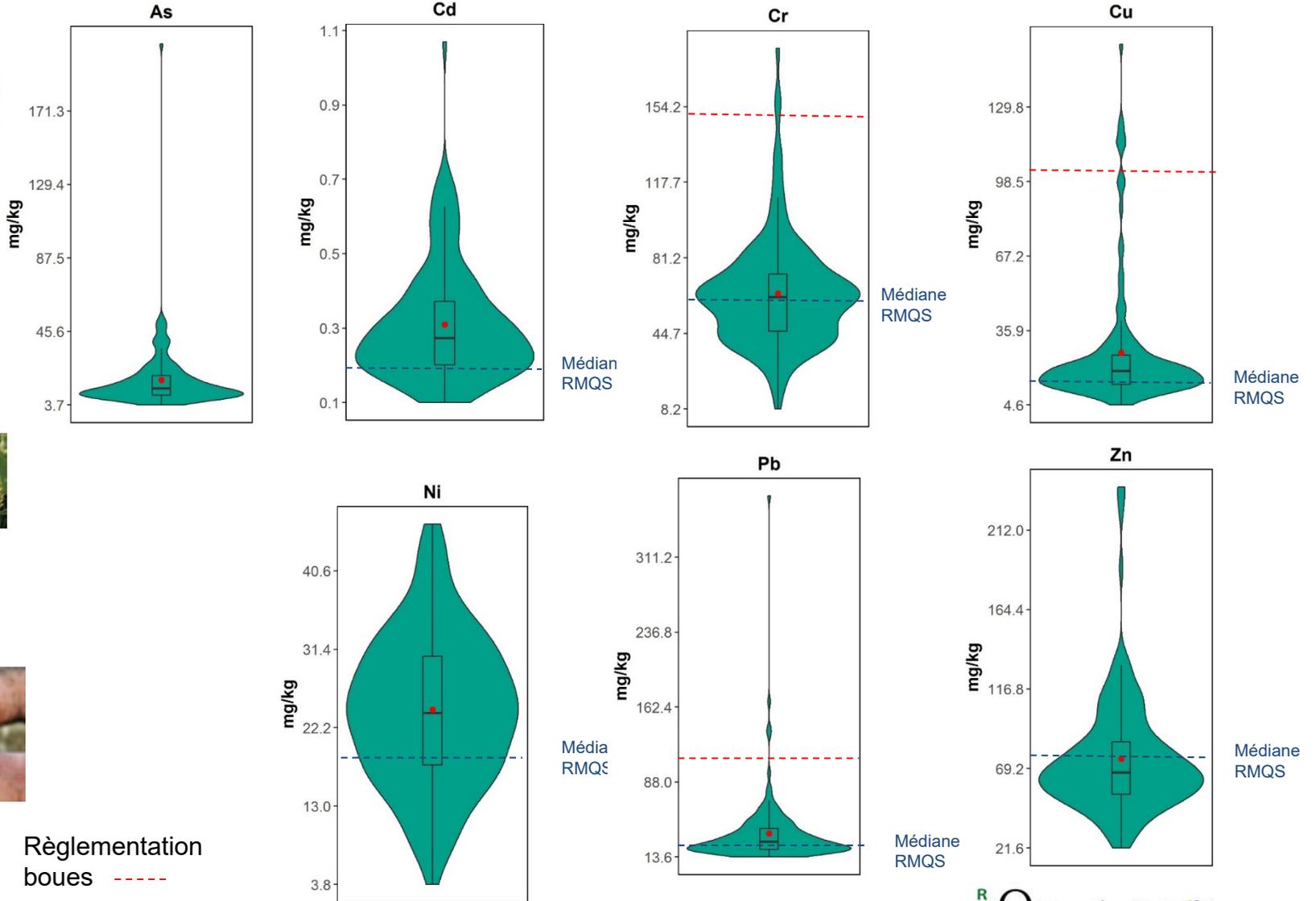
- Enquête annuelle sur les itinéraires techniques



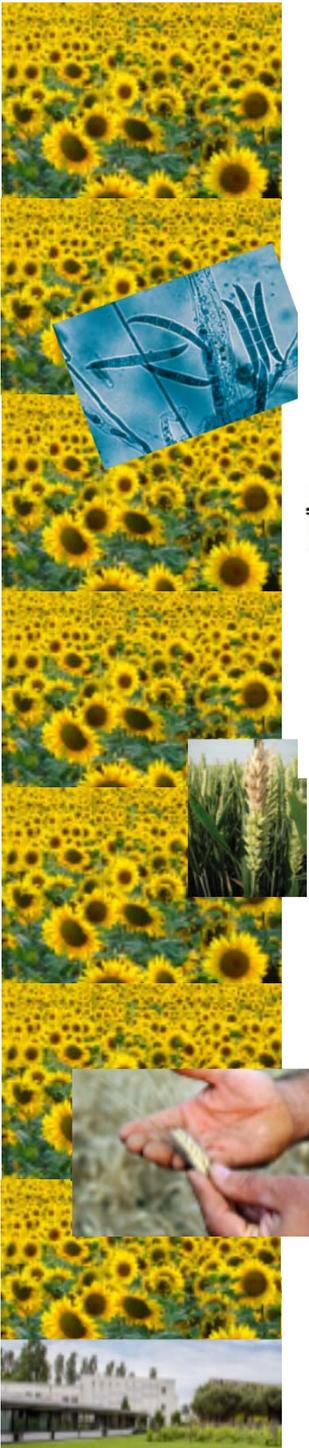
Représentativité des sols du réseau



Résultats sols ETM (n = 147)



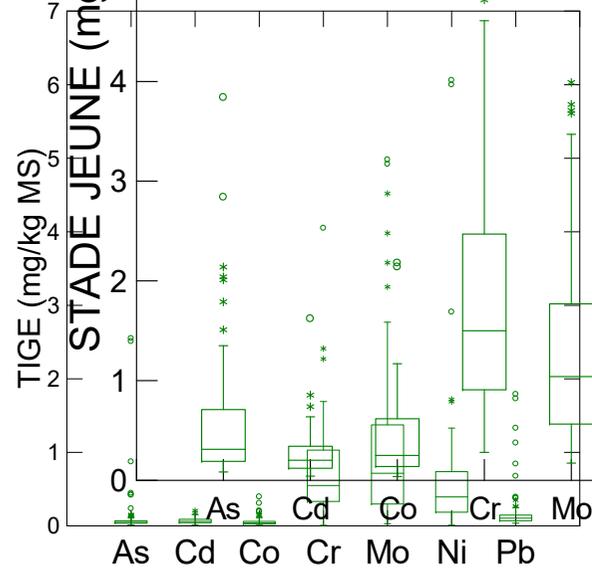
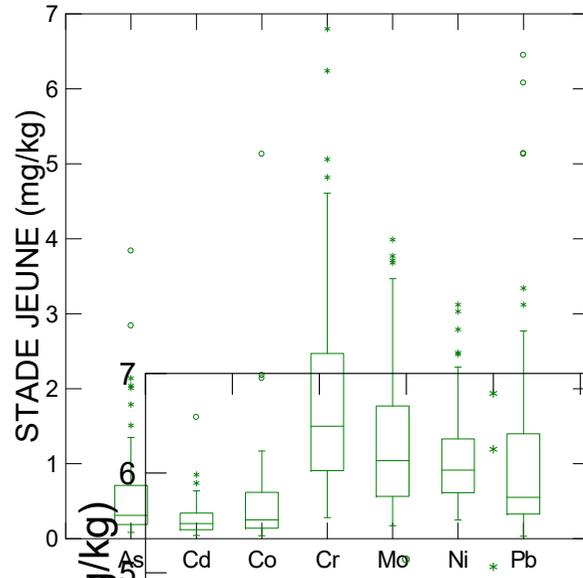
Règlementation boues - - - -



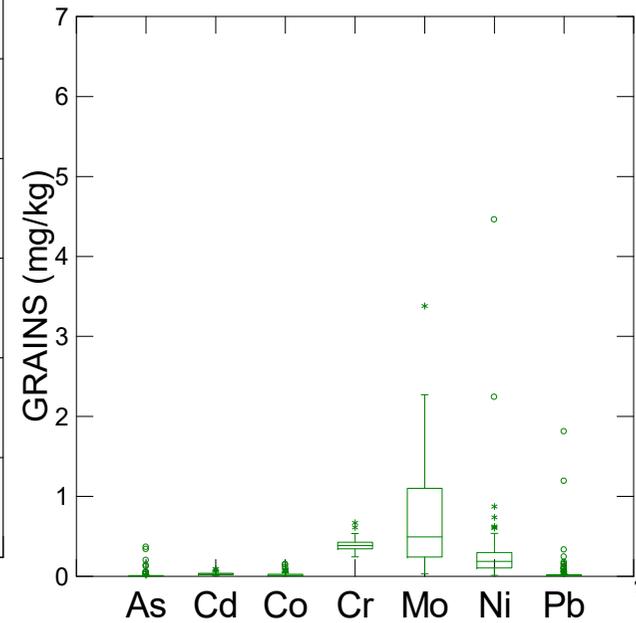
Concentrations moyennes en ETM dans les intrants (mg/kg)

	n	As	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
N	6	0,2	<0,5	2,3	<0,5	<2	4,1	<2	5,6
N (ADEME)		0,3	0,4	6,9	3,4	2,1	5,8	0,5	4,5
P	2	13,7	17,1	180	-	34,1	29,3	4,7	244,5
P (ADEME)		8,6	15,7	149,4	21,9	5,7	28,2	2,9	274,4
PK	8	4,6	9,9	116,9	6,4	20,3	19,6	4,9	184,6
PK (ADEME)		6,1	6,9	85,8	22,6	5	20,5	2	181,9
NPK	3	0,5	6,5	81,9	1,1	11	13,7	2,7	101,6
NPK (ADEME)		5,7	6,2	84,4	16,9	5,3	14,4	2,5	124,8
Organique (divers)	6	3,3	<0,5	14,5	1,7	9,5	4,5	6,9	85
Organique – Fumier Bovin (ADEME)		1,8	0,3	8,0	-	42,8	7,8	4,8	219,5

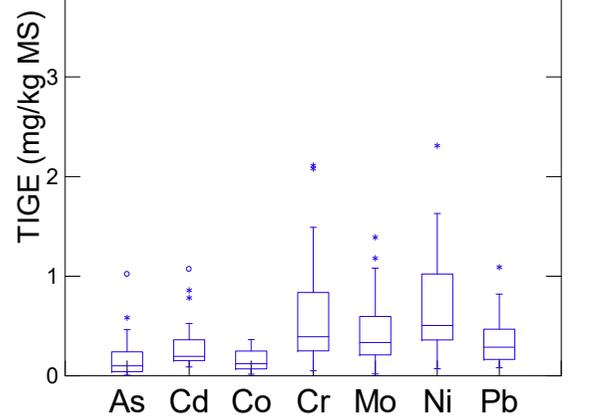
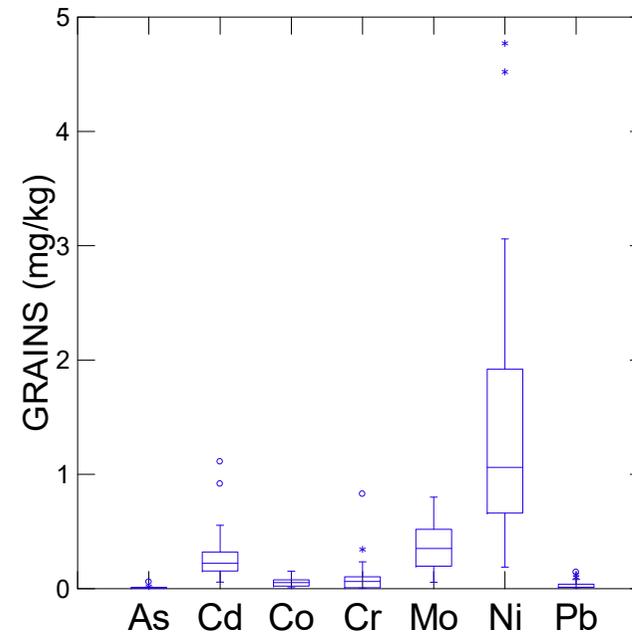
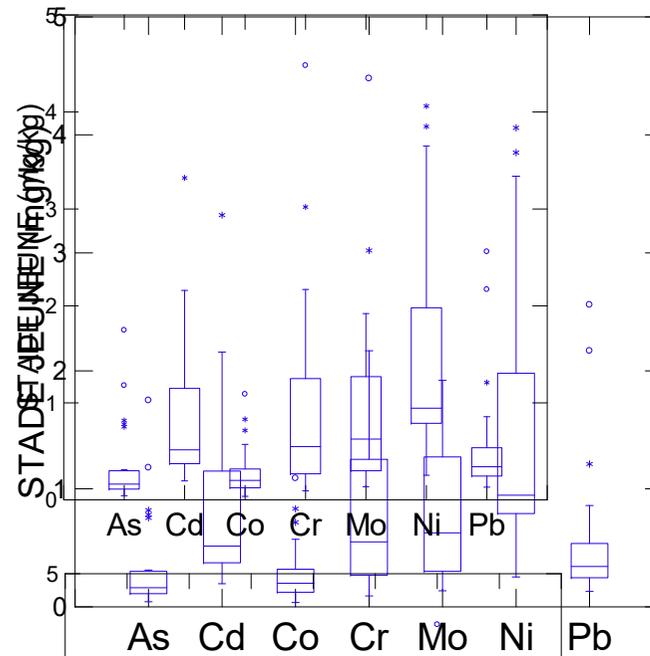
Distribution des concentrations dans les différents organes du blé tendre



Parties aériennes stade tallage
 Cr > Mo - Ni - Pb > As > Co > Cd
 Tige à la récolte
 Mo > Cr > Ni > As - Cd - Pb
 Grains à la récolte
 Mo > Cr > Ni > As - Cd - Pb



Distribution des concentrations dans les différents organes du tournesol



Parties aériennes stade jeune
 $Ni > Cr - Mo - Cd > Pb > Co - As$

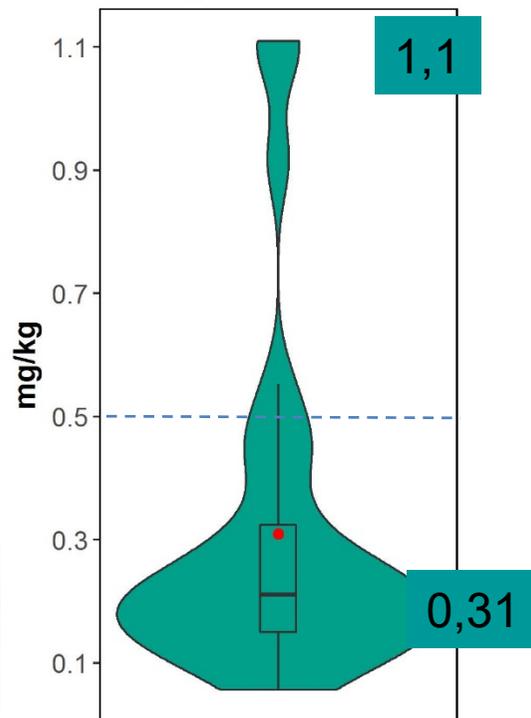
Tige à la récolte
 $Ni - Cr - Mo > Pb > Cd > Co - As$

Grains à la récolte
 $Ni \gg Mo > Cd > Cr > Co - As - Pb$

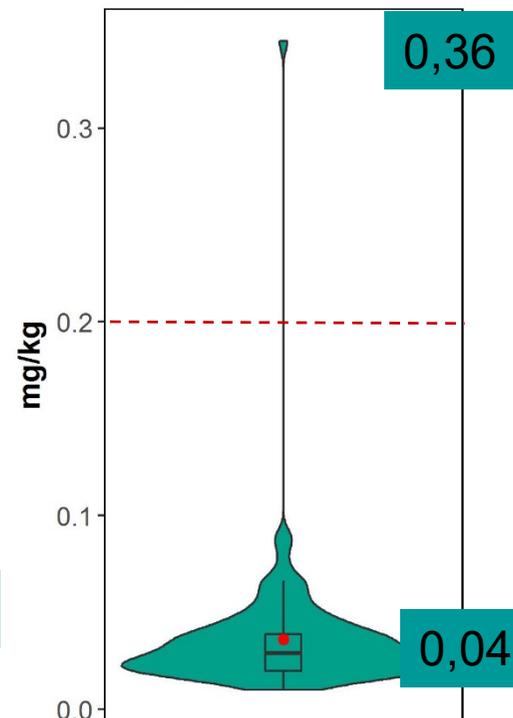
Concentrations en cadmium dans les grains (mg/kg)



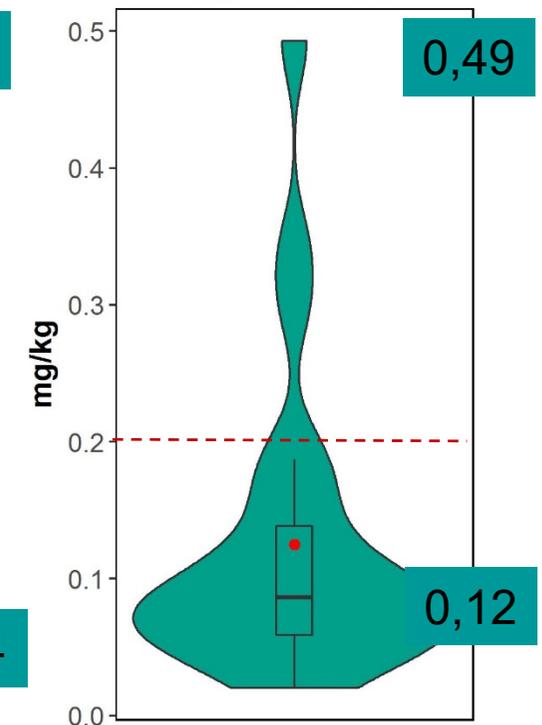
Tournesol (n = 31)



Blé tendre (n = 104)



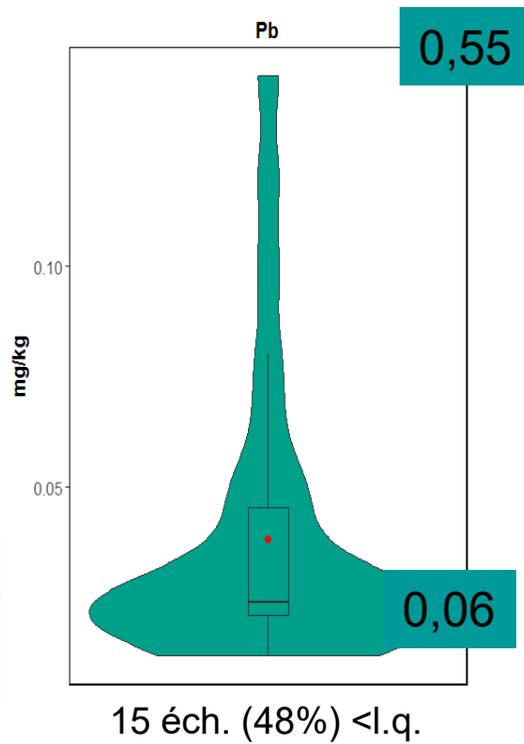
Blé dur (n = 24)



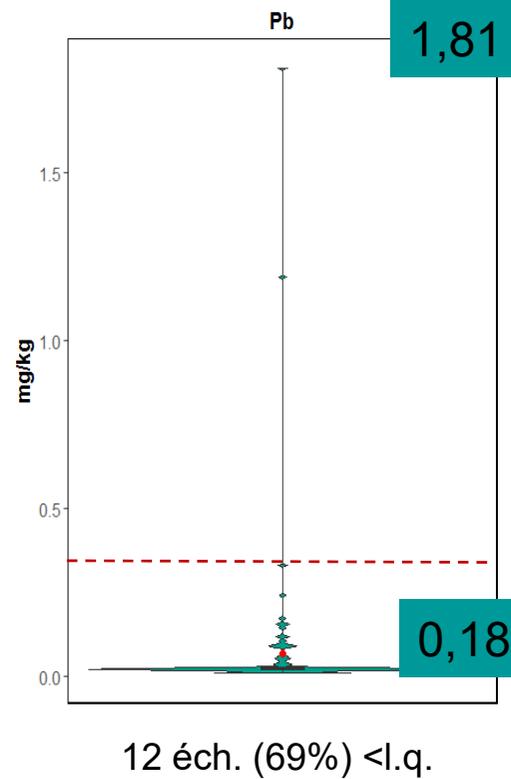
Concentrations en plomb dans les grains (mg/kg)



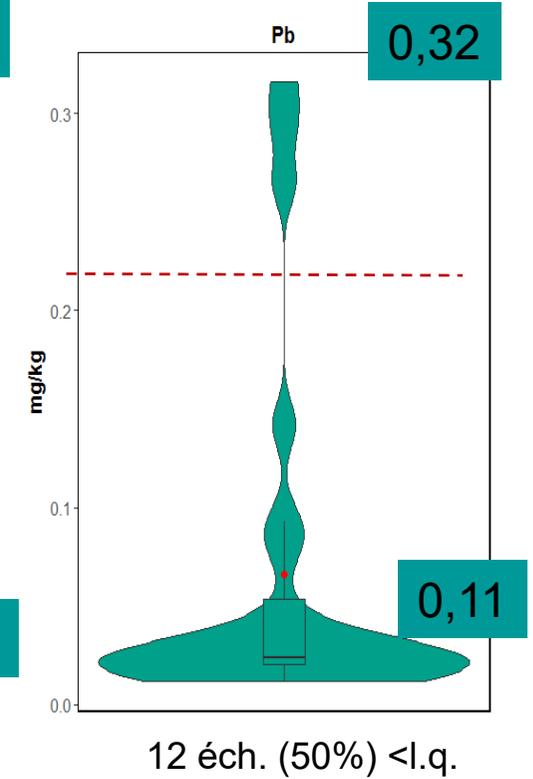
Tournesol (n = 31)



Blé tendre (n = 104)

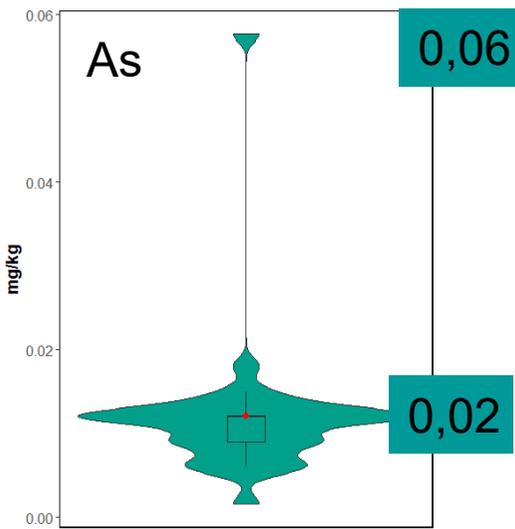


Blé dur (n = 24)



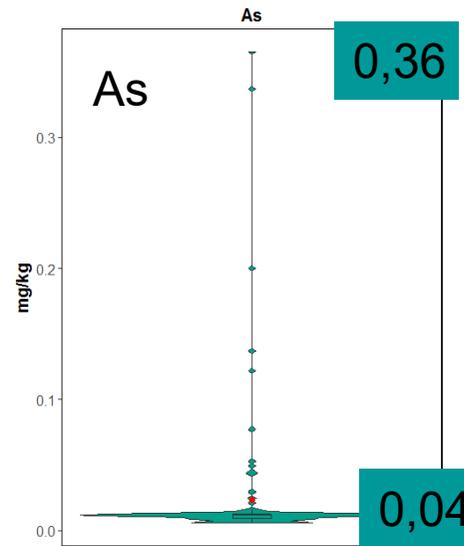
Concentrations en arsenic dans les grains (mg/kg)

Tournesol (n = 31)



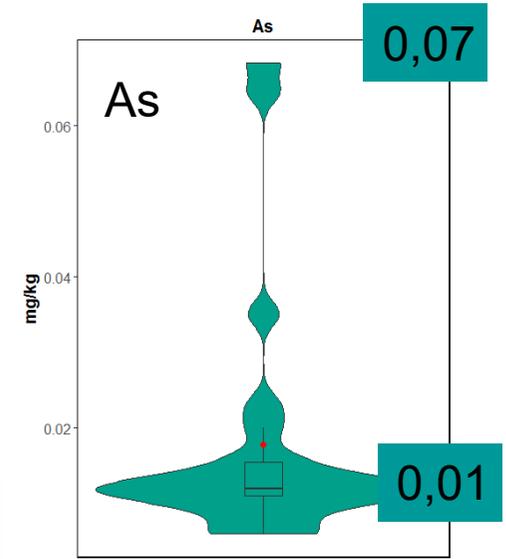
19 éch. (62%) <l.q. (0,006)

Blé tendre (n = 104)



64 éch. (62%) <l.q.

Blé dur (n = 24)

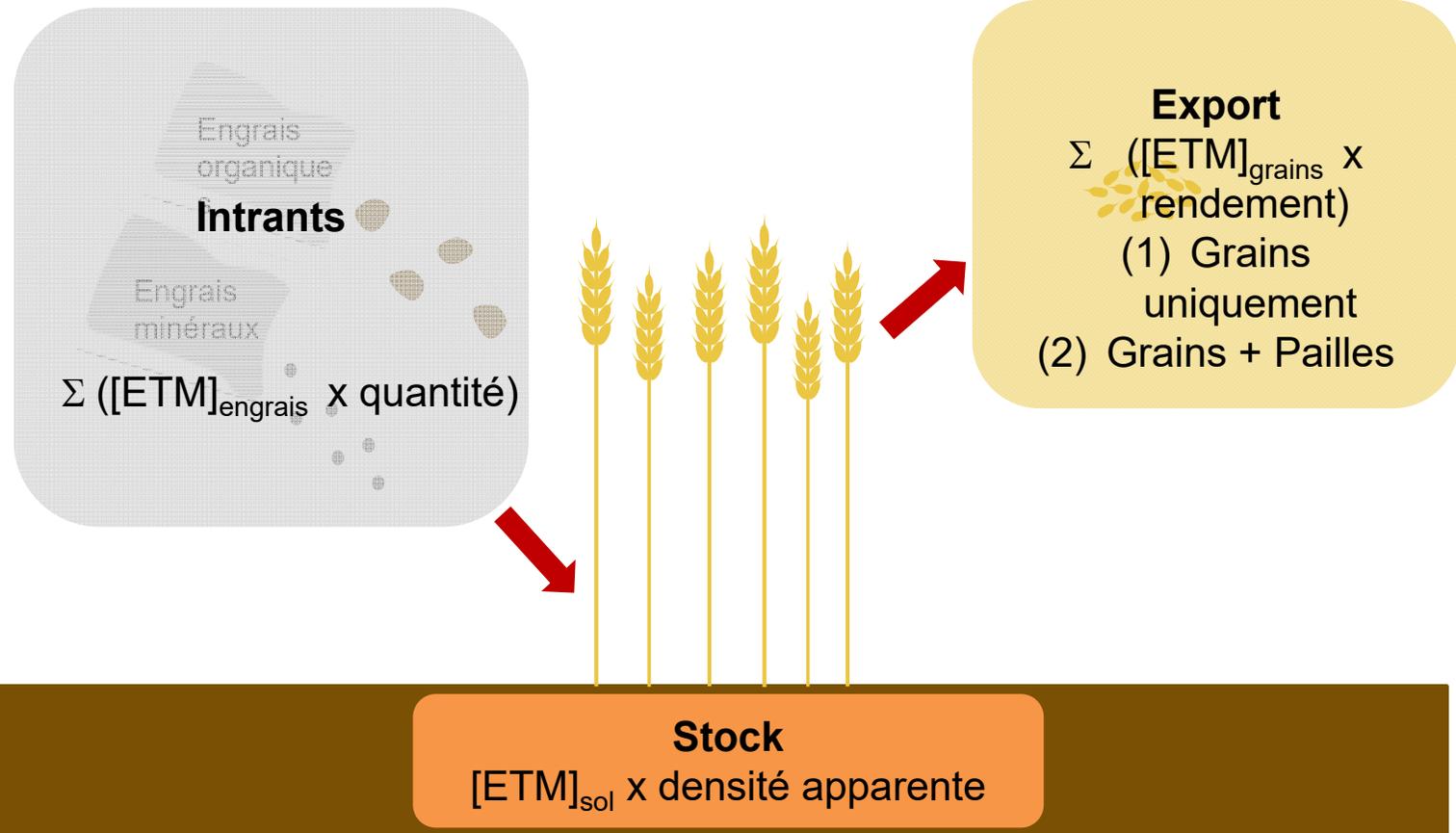


13 éch. (54 %) <l.q.

Les concentrations mesurées sont très faibles, hormis pour des parcelles en blé tendre sur une anomalie géochimique probable (Massif Central)



Flux d'ETM d'origine agricole à la parcelle



Les apports par les retombées atmosphériques et les exportations par lessivage/lixiviation ne sont pas pris en compte

Bilans annuels moyens des flux d'origine agricole selon les cultures (g/ha/an) – Export de grains

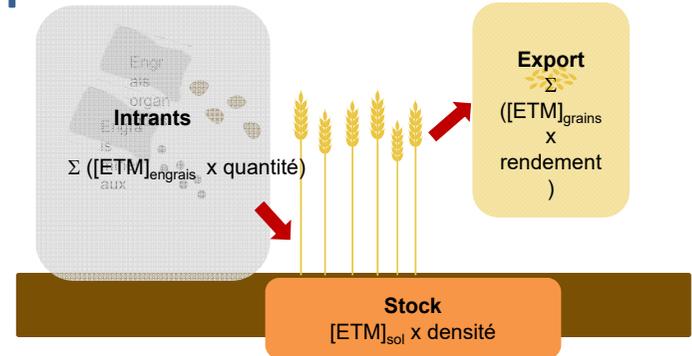
Culture	Conduite	Fertilisation	n	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Blé dur	Conventionnelle	N	7	-0,11	-0,5	-26,8	-0,19	-153
		NPK	11	1,6	2	-24,6	0,68	-123
Blé tendre	Biologique	Organique	15	5,61	1,28	15	12,3	75
	Conventionnelle	N	44	-0,09	-0,03	-26	-0,94	-160
		NPK	17	1,38	2,38	-15,46	0,02	-86
Tournesol	Conventionnelle	N	9	-0,05	-0,87	-30,6	-0,1	-86
		NPK	8	1,67	1,83	-27,68	0,55	-56

Bilans positifs pour :

- ⇒ Les engrais phosphatés
- ⇒ Les engrais organiques en agriculture biologique

Evolution au cours du temps

$$\text{Evolution annuelle} = \frac{\text{Intrants} - \text{Exportations}}{\text{Stock dans le sol}}$$



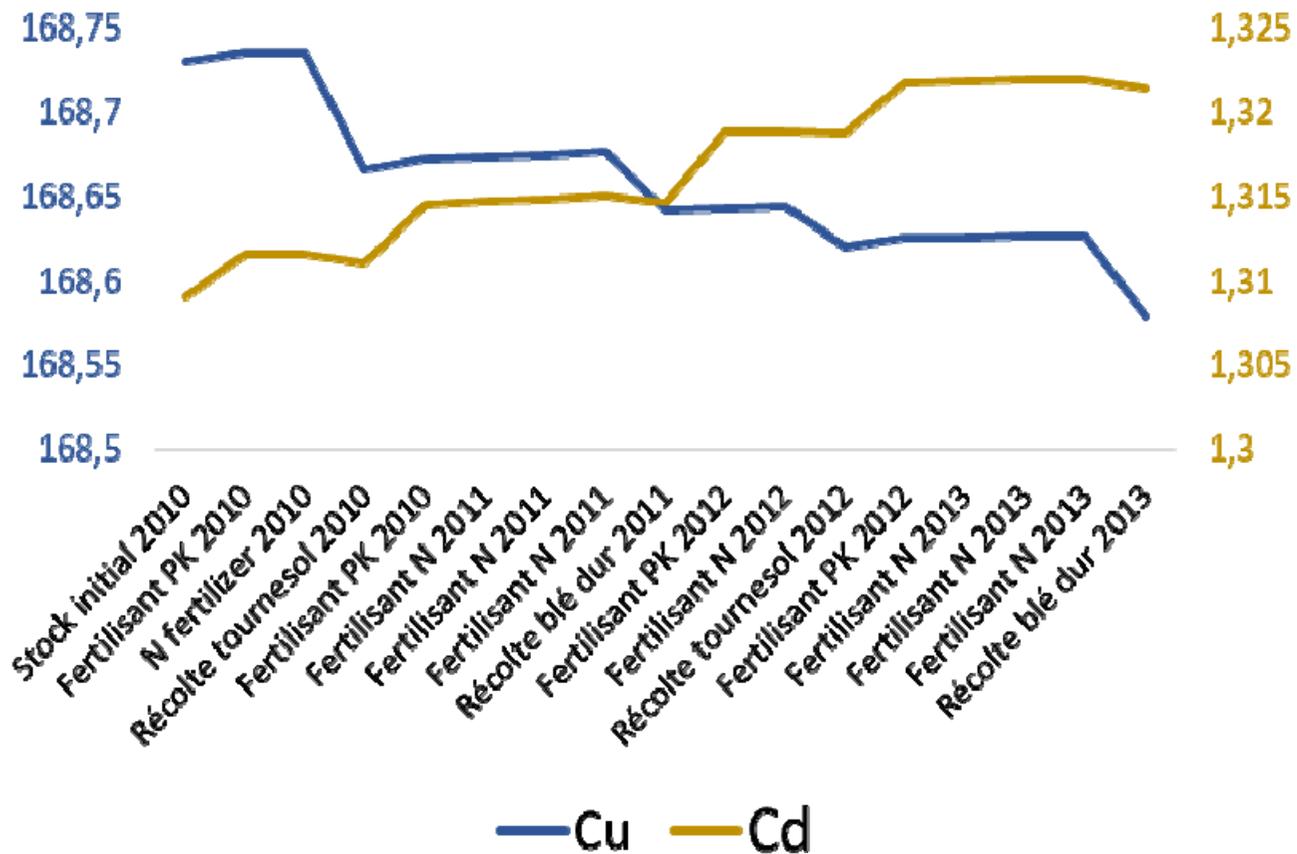
Evolution annuelle (n=76)	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Minimum	-0,001%	-0,142%	-0,08%	-0,006%	-0,11%
Maximum	0,26%	1,03%	1,15%	0,16%	0,98%
Nb d'années pour doubler la concentration de l'horizon de surface	466	97	87	625	102

Les valeurs maximales correspondent toujours à des apports de fertilisants ou amendements organiques

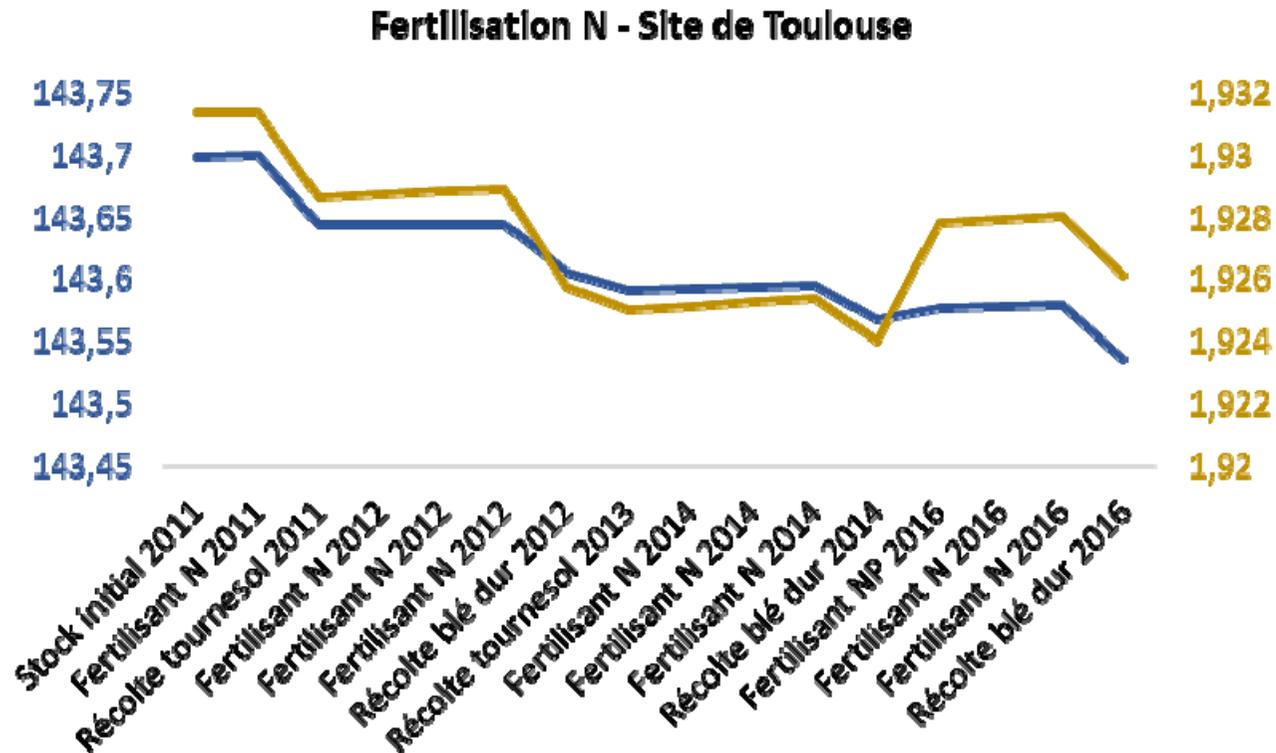
Evolution des stocks (kg/an)

Cas d'un apport annuel de fertilisants N P K

Fertilisation NPK - site d'Avignon



Evolution des stocks (kg/ha) Cas d'une fertilisation essentiellement N

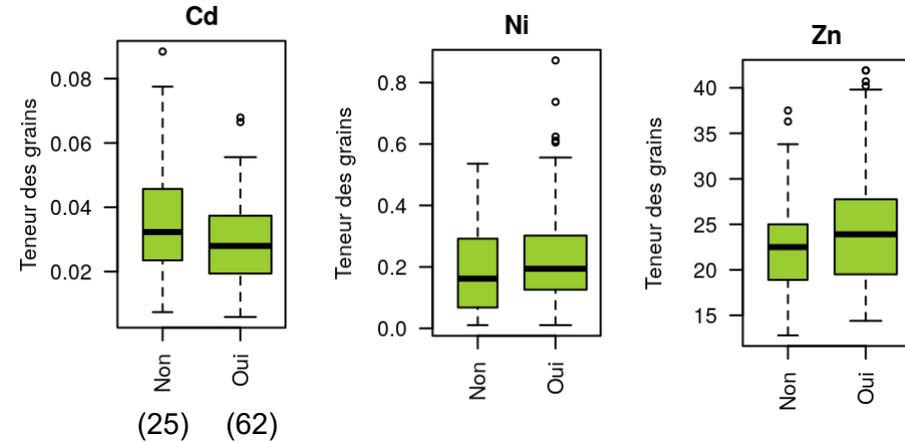


Diminution continue des oligoéléments (Cu, Zn)
Evolution des autres éléments dépend du type de fertilisant utilisé

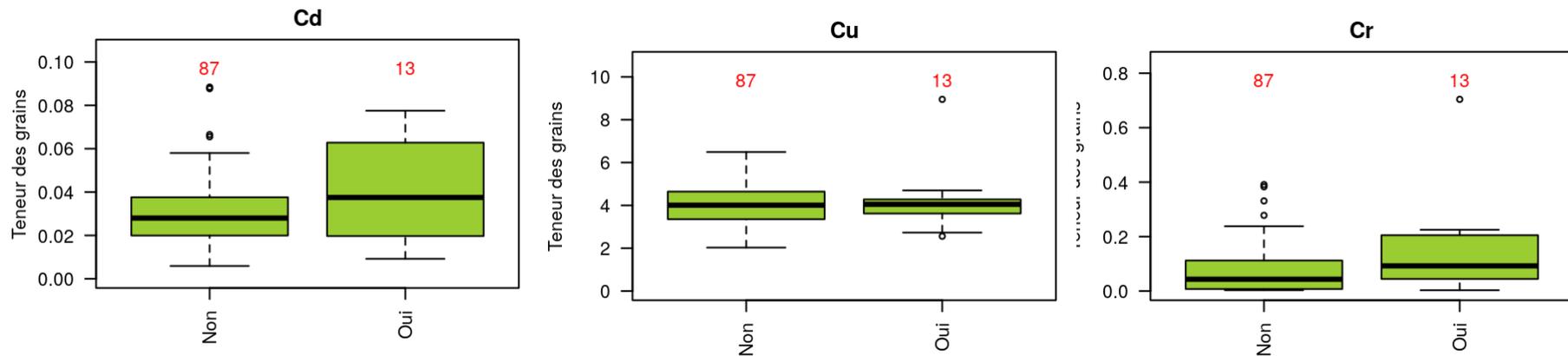
Effet des pratiques avant semis ?

Le labour ?

Aucun effet significatif du labour n'a été mis en évidence sur la composition en ETM des grains de blé tendre



Intercultures ?

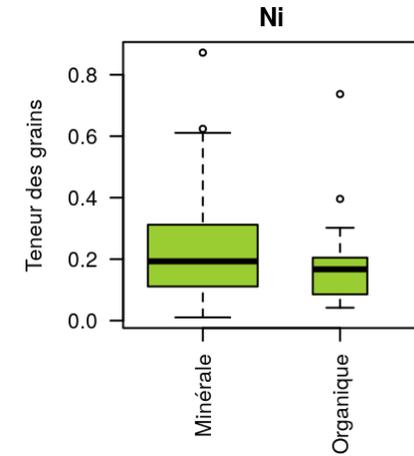
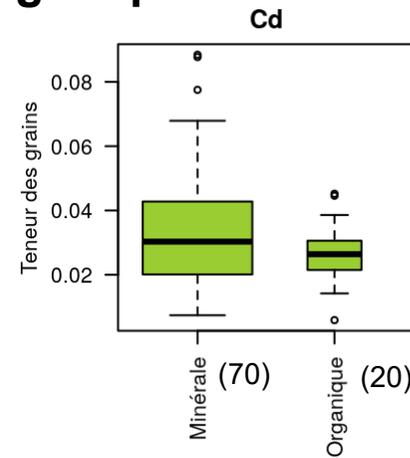


Pas d'effet significatif d'une interculture sur la composition en ETM des grains de blé tendre

Effet des pratiques de fertilisation ?

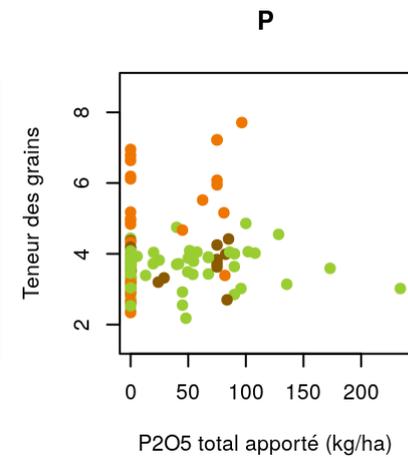
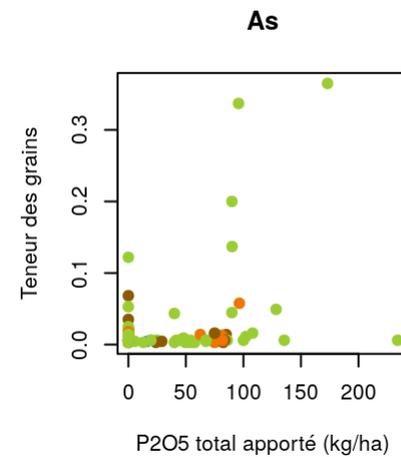
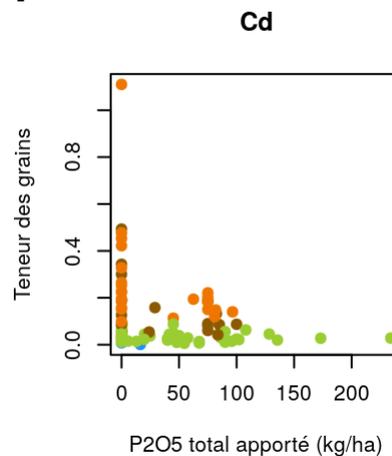
Fertilisation minérale ou organique?

Pas d'effet significatif de la nature de la fertilisation sur la composition en ETM des grains de blé tendre

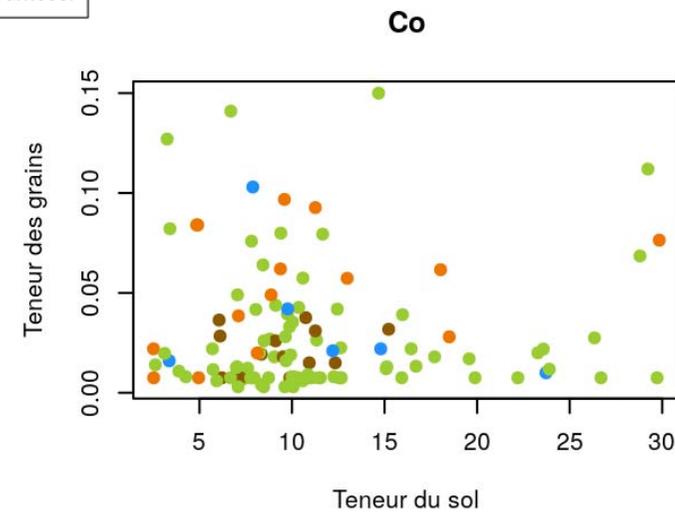
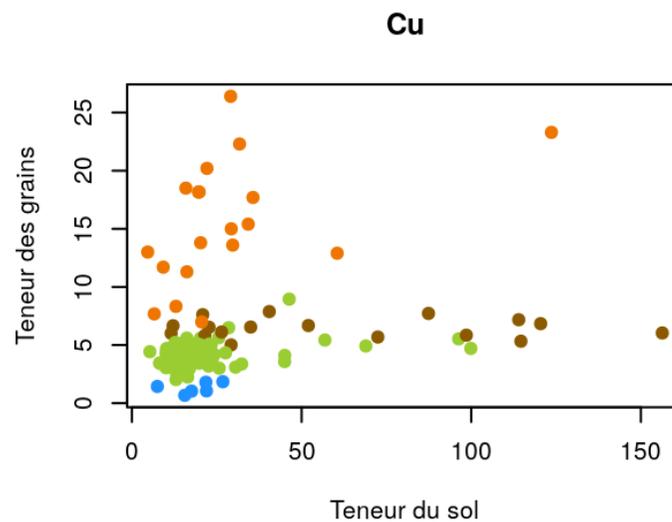
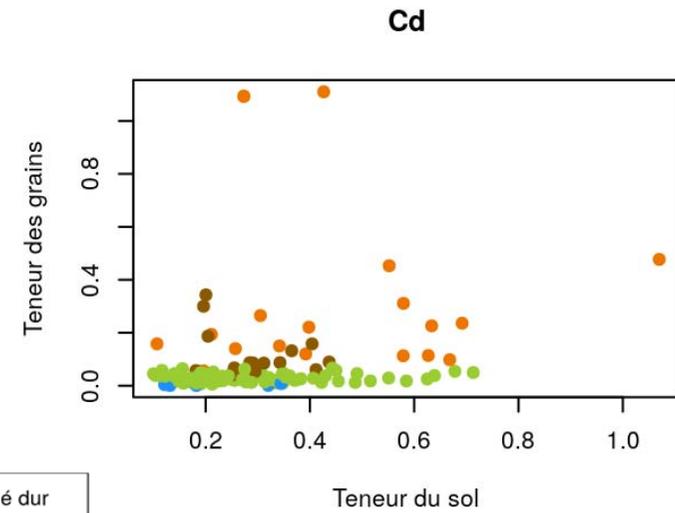
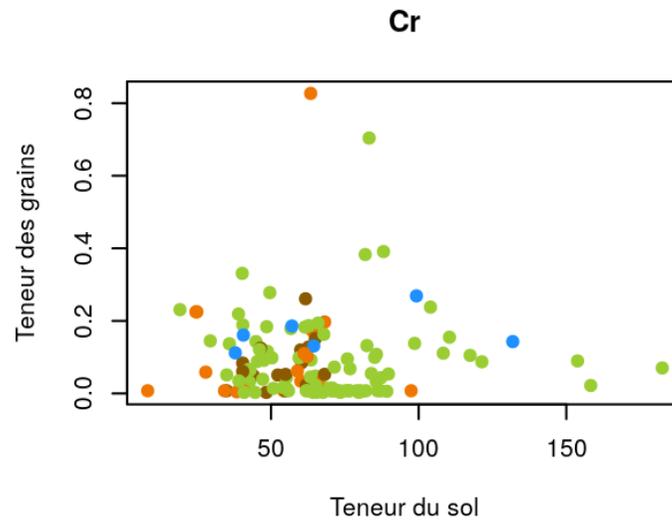


Doses apportées ?

Pas d'effet significatif de la dose de N, P ou K sur la composition en ETM des grains de blé tendre



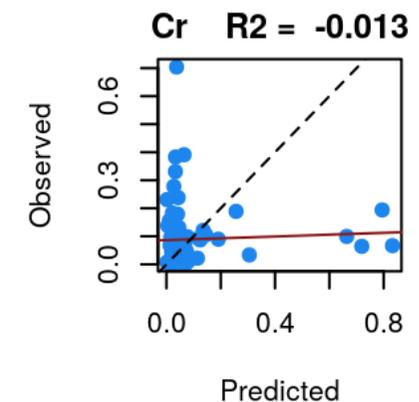
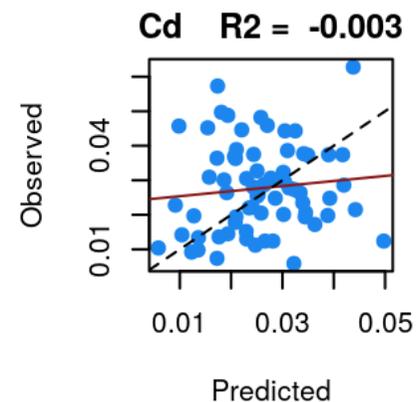
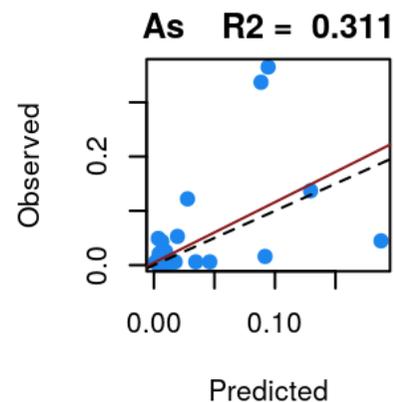
Aucune relation entre la teneur dans les sols et la teneur dans les plantes



Recherche de relations statistiques sans a priori pour le blé tendre

- Paramètres sols (pH, CEC, MO, Argiles, éléments majeurs, éléments traces)
- Paramètres climatiques

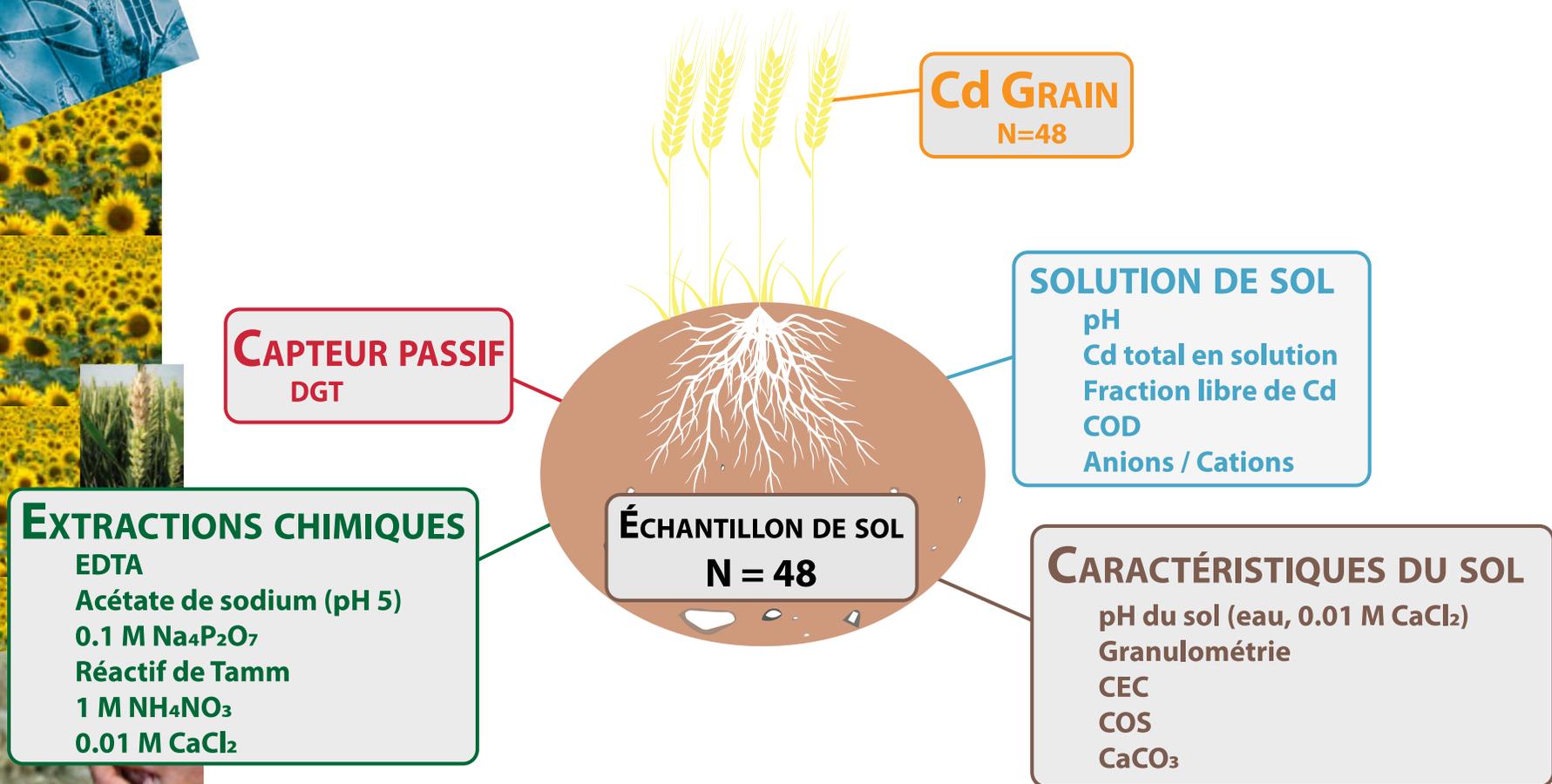
Exemple du grain de blé tendre



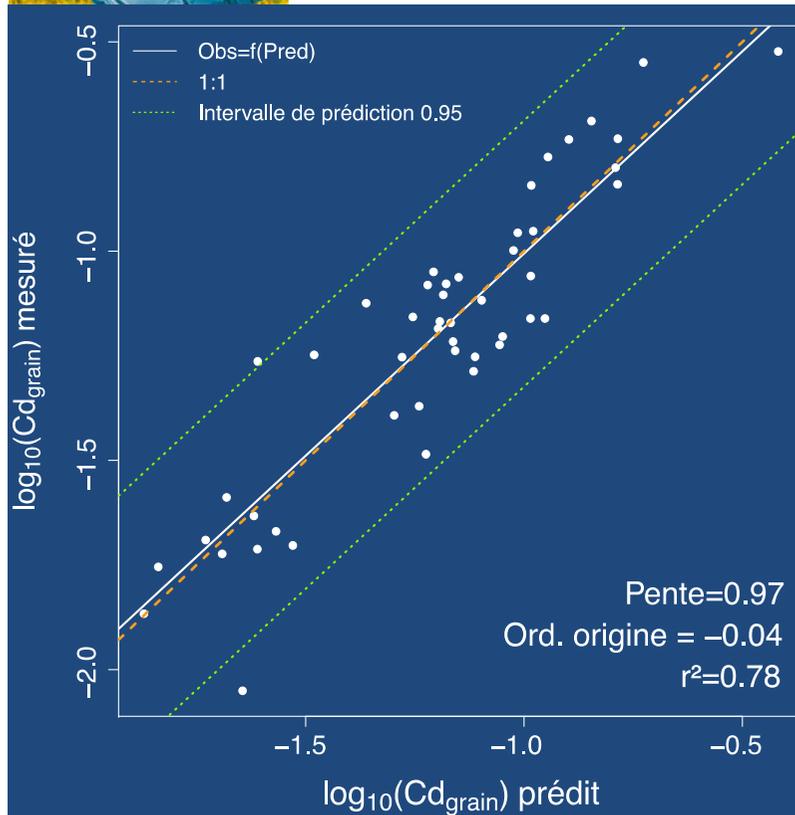
=> Aucune relation statistique prédictive des concentrations dans le grain, la paille ou les parties aériennes au stade tallage n'a pu être mise en évidence



Modèle de phytodisponibilité



Modèle prédictif de la composition en cadmium des grains de blé dur



$$\begin{aligned} \log_{10}(\text{Cd}_{\text{grain}}) = & 1.39 + 0.43^{***} \log_{10}(\text{Cd}_{\text{ss}}) && 29.5 \% \\ & - 0.30^{***} \log_{10}(\text{Calcaire}) && 34.5 \% \\ & + 1.15^{***} \log_{10}(\text{CEC}) && 10.2 \% \\ & - 0.60^{***} \log_{10}(\text{MnO}) && 6.8 \% \end{aligned}$$

$$r^2 = 0.81$$

$$\text{VIF} = 1.96$$

Cd_{ss} : Concentration d'exposition

Calcaire : Effet pH

CEC : Charges négatives du sol

MnO : Oxyde de manganèse : Phase de sorption spécifique



Conclusion & Perspectives

- Le projet a permis d'acquérir de nombreuses données en conditions de plein champ
- Réseau QUASAPROVE permet de suivre la dynamique des contaminants en conditions réelles
 - Mise en évidence de flux non négligeables de métaux en agriculture biologique
 - Rôle important des engrais phosphatés sur les flux d'As, Cd, Cr, Pb.
- La variabilité importante (sols, climat, pratiques) n'a pas permis d'expliquer les teneurs mesurées dans les végétaux
- Partenariat privilégié avec les lycées agricoles : construction d'une plateforme participative, sensibilisation des futurs acteurs des filières agricoles
- Le réseau peut s'ouvrir à d'autres études (RECOTOX)

RECOTOX

R
M
T Quasaprove



Merci à

Tovo Rabemanantsoa, Patrice Soulé, Veronique Desfond, Stéphane Ruy, Guillaume Audebert, Patrice Walczak, François Gastal, Christophe Montagnier, Philippe Le-Roy, Thierry Morvan, Sébastien Darras, Rosemonde Devaux, Alain Berthier, Pascal Marget, Antoine Lebrethon, André Gavaland, Patrice Rouet, Gilles Tison, Denis Cadier, Laurent Flachetto, Sylvie Dauguet, Patrick Retaureau, Pascal Fauvin, Bernard Seguin, Eric Jarry, Hélène Mainard, Patrice Lavene, Dominique Desclaux, Loïc Prieur, Thierry Quirin, Bernadette Joyau, Laurie Castel, Loïc Charpentier, Francine Gascoin, Jean-Luc Coppenolle, Samuel Quinton, Daniel Fetus, Patrice Duhamel, Emmanuel Lahirigoyen, Florian Sanchez, François Painvin, Pierre Cochon, Jean-Michel Charles, Anaïs Pouliquen, Franck Rieger, Dominique Marle, Laetitia Vanesson, Maxime Destombes, Caroline Thill, Thierry Begue, Magali Espinosa, Irène Aucourt, Rachida Collet & Marie Lebeau.