



HAL
open science

Transfert des métaux traces du sol vers les plantes: Comment assurer la conformité des récoltes vis à vis de la réglementation sur les contaminants de la chaîne alimentaire ?

Christophe Nguyen, Jean-Yves Cornu, Bofang Yan, Agathe Vidal, Benoît
Méléard, Béatrice Orlando, Agathe Roucou

► To cite this version:

Christophe Nguyen, Jean-Yves Cornu, Bofang Yan, Agathe Vidal, Benoît Méléard, et al.. Transfert des métaux traces du sol vers les plantes: Comment assurer la conformité des récoltes vis à vis de la réglementation sur les contaminants de la chaîne alimentaire?. Journée du groupe des céréales à pailles, Inrae, Mar 2024, Villenave d'Ornon, France. hal-04678976

HAL Id: hal-04678976

<https://hal.inrae.fr/hal-04678976v1>

Submitted on 27 Aug 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Transfert des métaux traces du sol vers les plantes:

Comment assurer la conformité des récoltes vis à vis de la réglementation sur les contaminants de la chaîne alimentaire ?



Christophe **NGUYEN**, Jean-Yves CORNU, Bofang YAN, Agathe VIDAL



Benoît MELEARD, Béatrice ORLANDO, Agathe ROUCOU



Éléments Traces

Naturels - Ne se dégradent pas

Concentrations environnementales: 0.1% mg/kg

Métaux lourds >5 g/cm³

																	He	
Li	Be											B					F	Ne
												Al	Si				Cl	Ar
		Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra																	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb			
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No			



Oligo-éléments pour les végétaux



Oligo-éléments pour les animaux



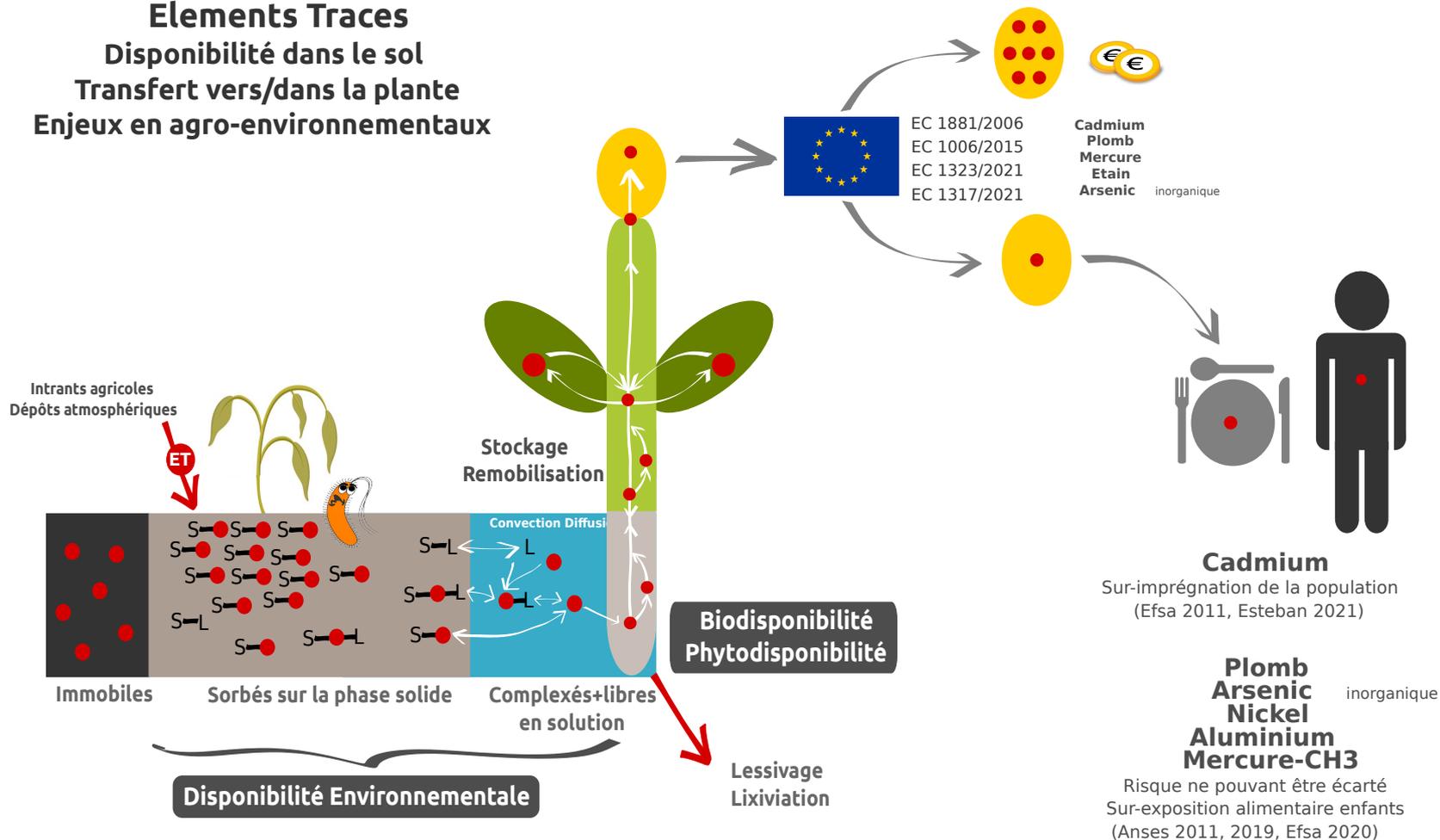
Contaminants environnementaux fréquents

Elements Traces

Disponibilité dans le sol

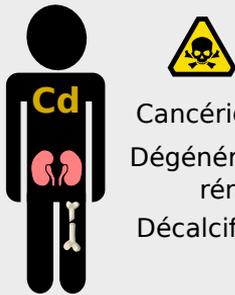
Transfert vers/dans la plante

Enjeux en agro-environnementaux



Cadmium

1/2 vie : 10 - 30 ans



Cd
Cancérigène
Dégénérescence rénale
Décalcification

Sources d'exposition

1  2 

Cd urinaire
18-74 ans
2419 individus

esteban
Santé publique
France
Août 2021

2006-2007
↓ x 1.76
2014-2016

48% 
des individus
> seuil
toxicologique

France
versus
Etats-unis, Italie

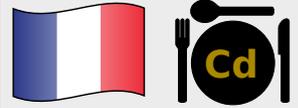


Recommandation Exposition alimentaire au Cd 

µg Cd /kg poids /semaine

1985		7
2009		2.5

EAT2, Anses, 2011



		
µg Cd /kg poids /semaine	1.12	1.68
mg Cd /an	28.6	18.4
Dépassement	0.6 %	14.9 %


Blé dur

Pâtes Semoule



	
8.1	1.3
kg / an / personne	

9.2%
de la dose
de Cd annuelle
admissible

Hardening of regulations

5.5.2023

FR

Journal officiel de l'Union européenne

L 119/103

RÈGLEMENT (UE) 2023/915 DE LA COMMISSION

du 25 avril 2023

concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement (CE) n° 1881/2006

(Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)



Cadmium (Cd)

- **38** new regulated products

- Lowering of some limits :

ex: Bread Wheat: **0.2 to 0.1** mg/kg

Durum Wheat **0.2 to 0.18** mg/kg

Nickel in preparation.....

Projet de fixation de teneurs maximales réglementaires en NICKEL sur les matières premières agricoles

Espèce	Teneur Maximale envisagée
avoine tq	7.5 mg/kg
avoine décortiquée	5.0 mg/kg
blé dur, riz	1.5 mg/kg
riz décortiqué	2.0 mg/kg
autres céréales (dont blé tendre, maïs)	0.8 mg/kg
tournesol	8.0 mg/kg
soja	15 mg/kg

Mise en application au **01 juillet 2026**

Mise en application au **01 juillet 2025**

Source : DGAL, 15 mars 2024

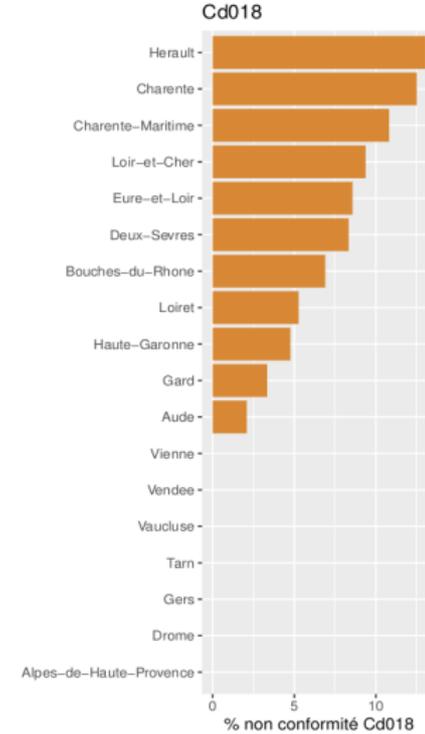
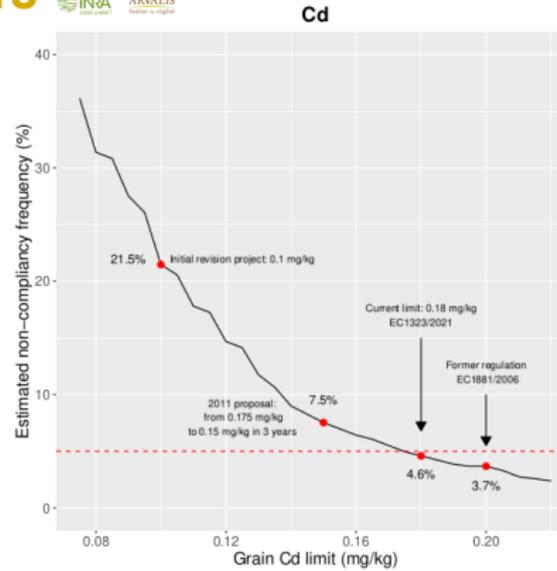
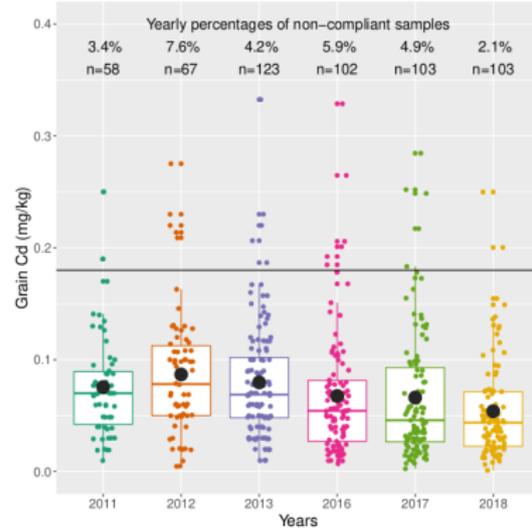
Enjeu sur blés et maïs en France

année de récolte	taux de non-conformité au seuil prévu					
	Blé tendre		Blé dur		Maïs	
	n	%>0.8mg/kg	n	%>1.5mg/kg	n	%>0.8mg/kg
2020	107	0	79	0	-	-
2021	257	0	140	0	48	0
2022	266	0	150	0	50	0

Source : enquêtes collecteurs FranceAgriMer

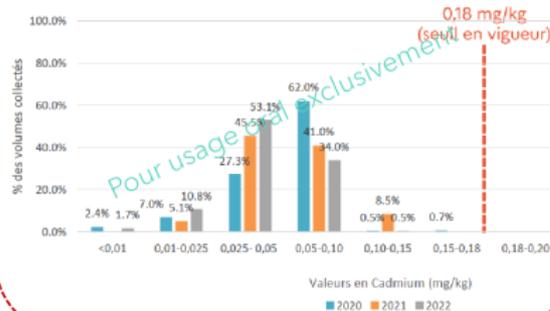
Non conformité du blé dur à la réglementation européenne sur le Cd selon les années, la localisation, l'évolution des seuils

2011-2018



Occurrence du Cadmium sur la collecte de blé dur

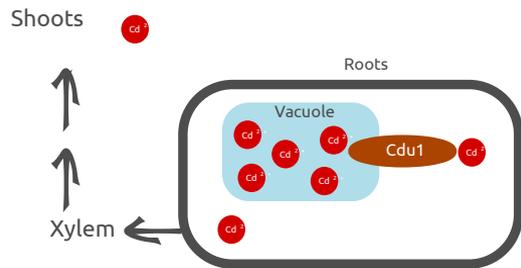
Source : enquêtes collecteurs FranceAgriMer



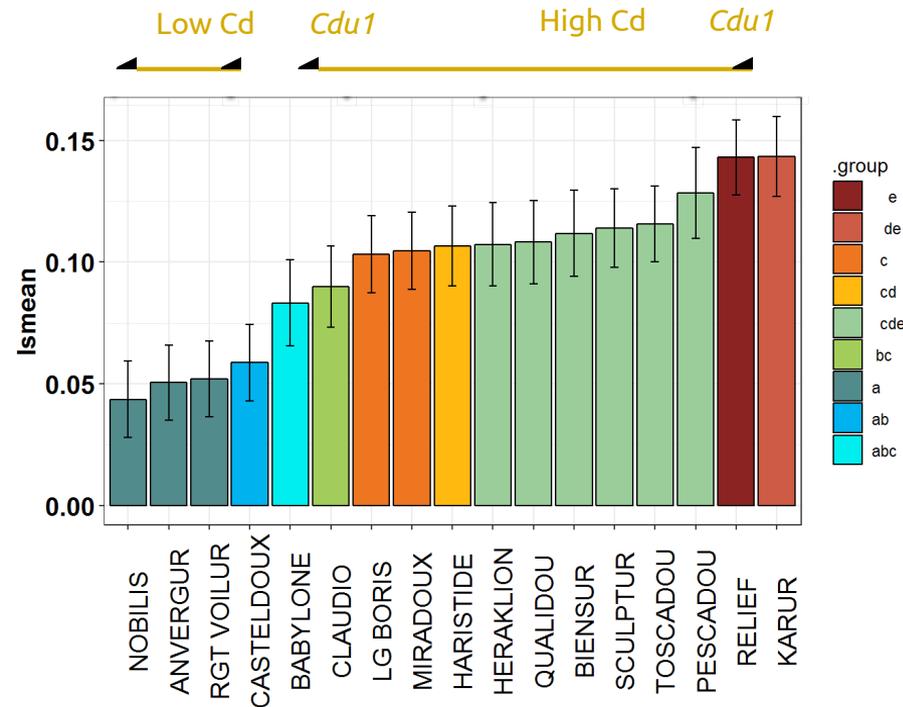
2020-2022

Evolution rassurante malgré un seuil plus plus bas: fort effet des variétés cultivées

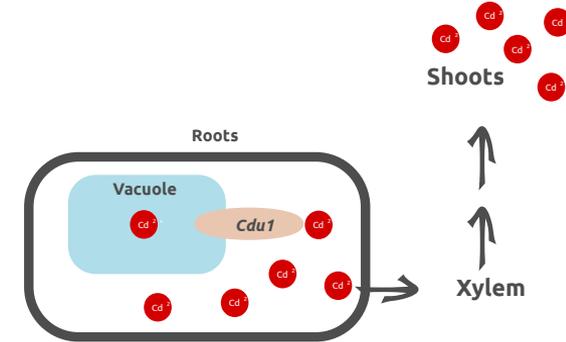
Varietal differences in Cd accumulation as a lever to manage crop contamination



Maccaferri et al., 2019

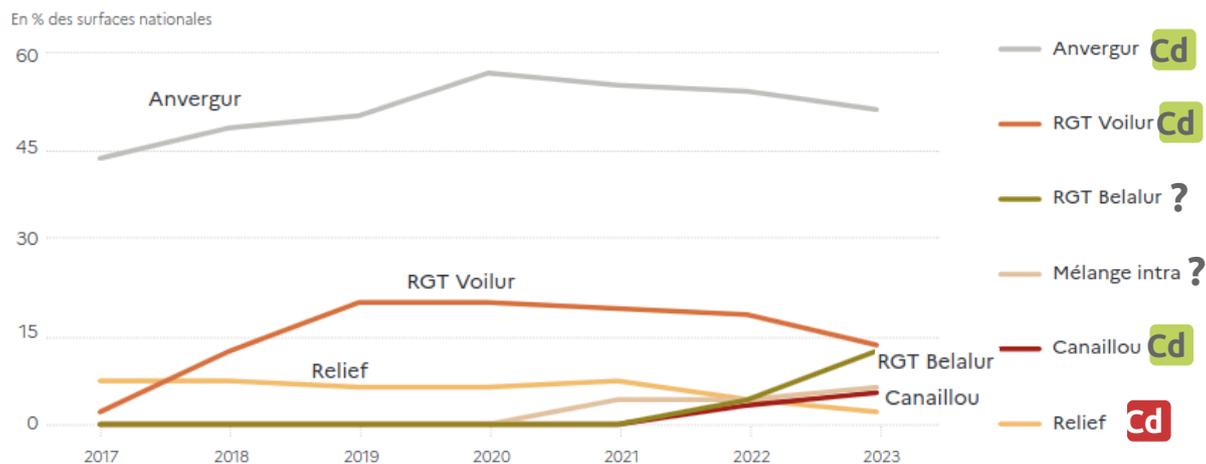


Durum Wheat Varieties



Baisse de la non conformité du blé dur à la réglementation européenne sur le Cd en lien avec les variétés semées ces dernières années

ÉVOLUTION NATIONALE DES PRINCIPALES VARIÉTÉS



Source : FranceAgriMer - Enquête répartition variétale 2016 à 2020 / ARVALIS - Enquête V@riétés des Céréales à partir de 2021

Le choix des variétés n'est pas guidé par l'aptitude à accumuler Cd

> Comprendre la différence inter-variétale d'accumulation de Cd dans les grains

Rôle joué par la biomasse relative des feuilles

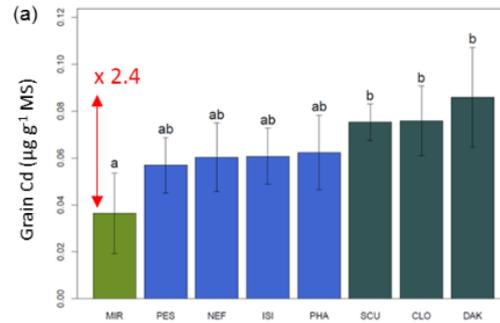
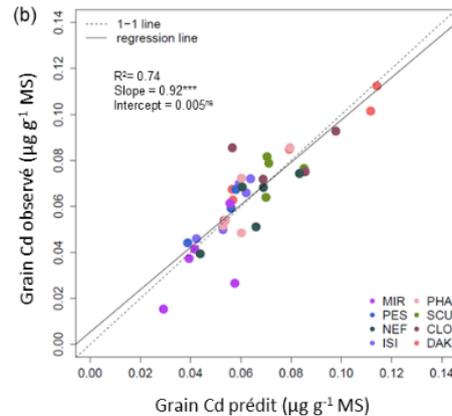


Figure 1

(a) Concentration en Cd du grain à maturité pour les 8 variétés de blé dur testées

(b) Relation entre les valeurs de concentration en Cd du grain prédites par le modèle proposé et celles observées expérimentalement pour les 8 variétés de blé dur testées.

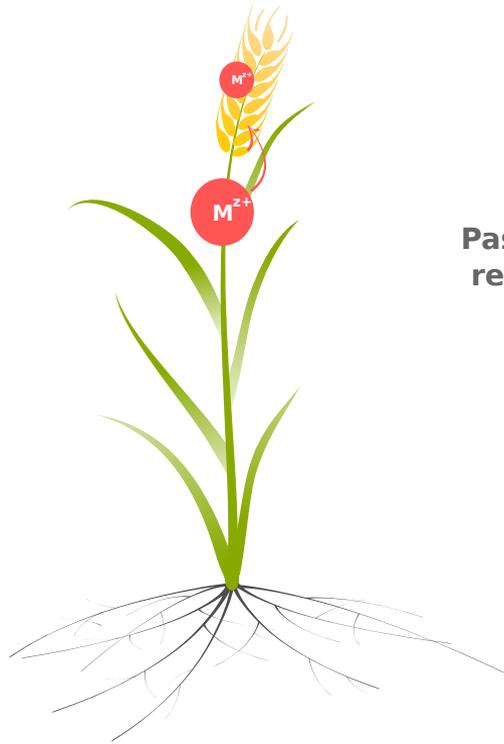


$$Grain Cd = \alpha \times \frac{QCd_{tot} \times (1-RSF) \times Leaves DW^{-\beta}}{Grain DW^{(1-\beta)}}$$

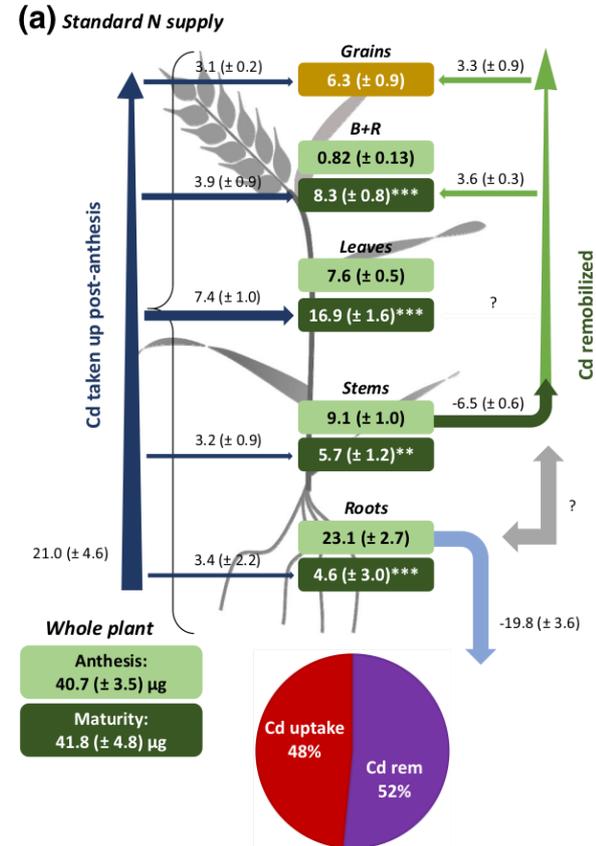
$$\alpha = 0.11 ; \beta = 0.53$$

Remobilisation des ETM dans la plante

Quantification et recherche des règles de régulation



Pas de lien avec remobilisation N

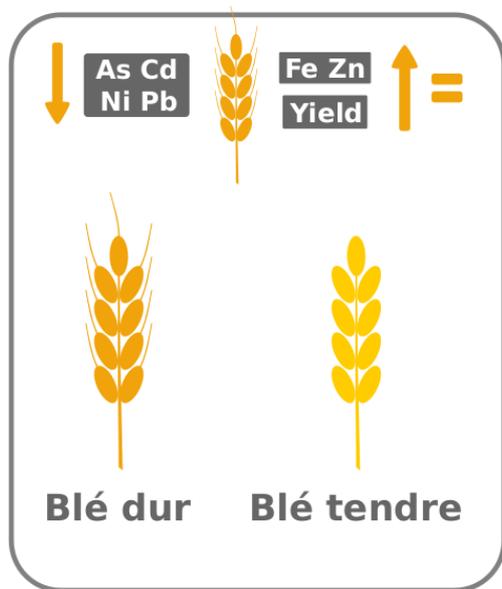


Yan et al., 2018. Plant Soil

Yan et al., 2019, Ecotoxicology and Environmental Safety

B-SWheat

Breeding for Safe Wheat



Sélectionneurs:

Production de variétés améliorées pour la qualité sanitaire et nutritionnelle

Filières

- Satisfaire et anticiper la réglementation sur les contaminants métalliques
- Améliorer la qualité nutritionnelle

Consommateurs

- Améliorer la qualité nutritionnelle et sanitaire d'un contributeur majeur à l'alimentation

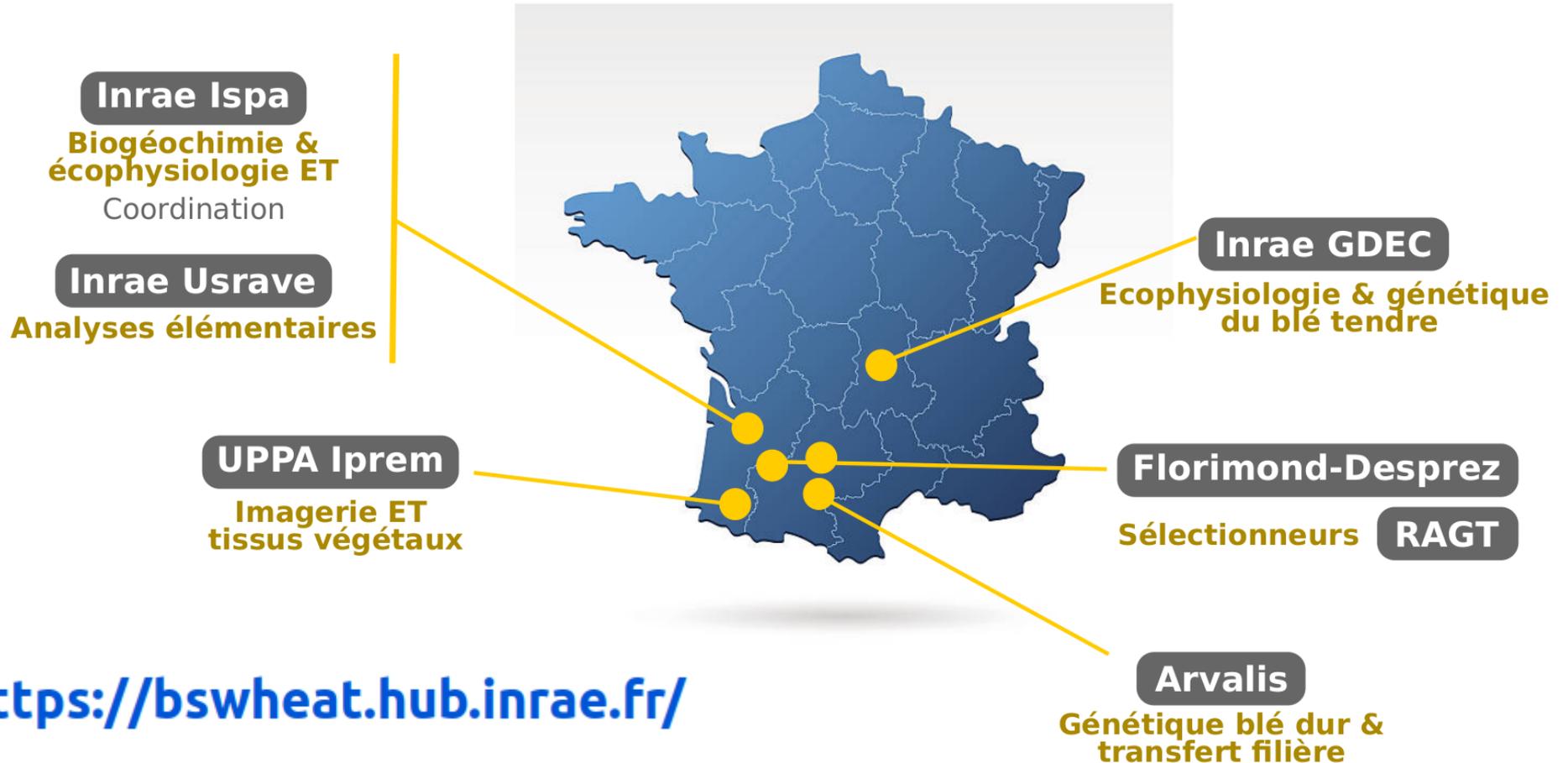
Produire des variétés de blé accumulant peu de contaminants métalliques tout en conservant les teneurs en oligoéléments et les performances de rendement

- Identification de QTL, variants alléliques de gènes ciblés et caractères écophysologiques pouvant servir de marqueurs de sélection
- Caractériser les variétés actuelles par rapport à ces marqueurs
- Tester les marqueurs génétiques et caractères écophysologiques au champ par rapport à l'interaction génotype * environnement
- Comprendre l'écophysologie de l'allocation des ET au grain et le lien avec le rendement



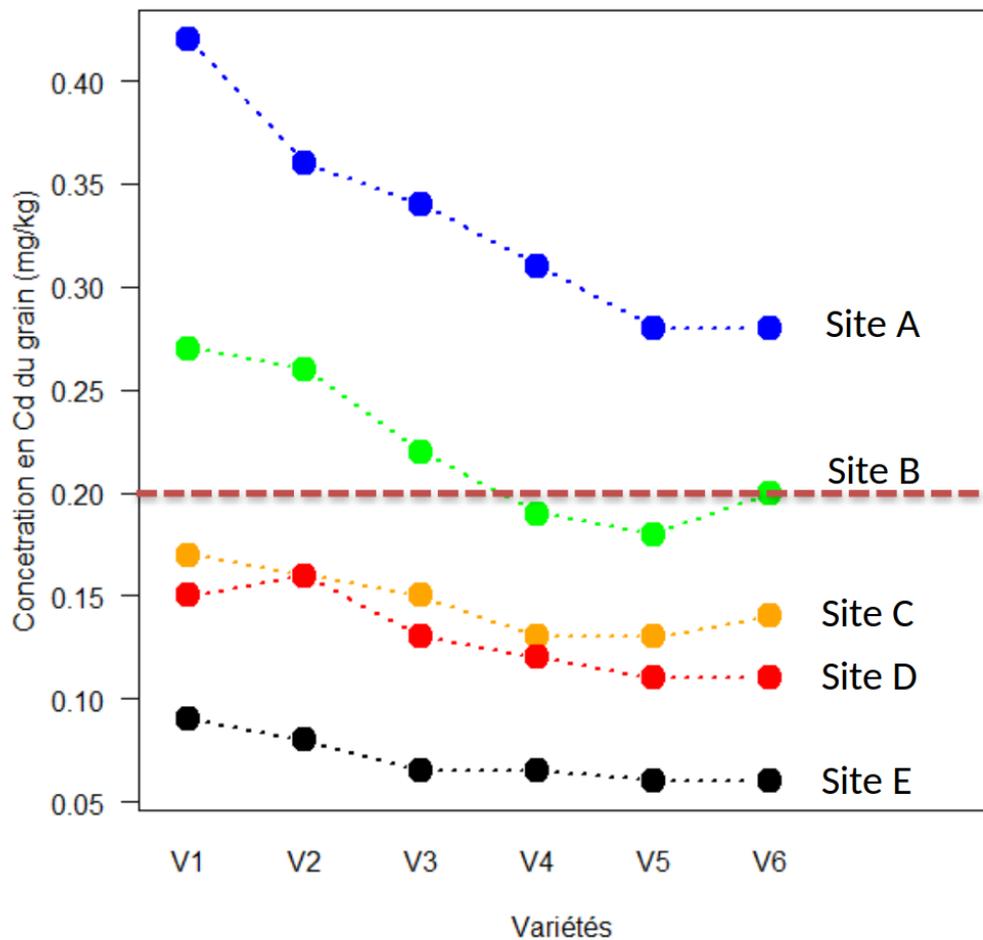
2023-2027

695 581 euros

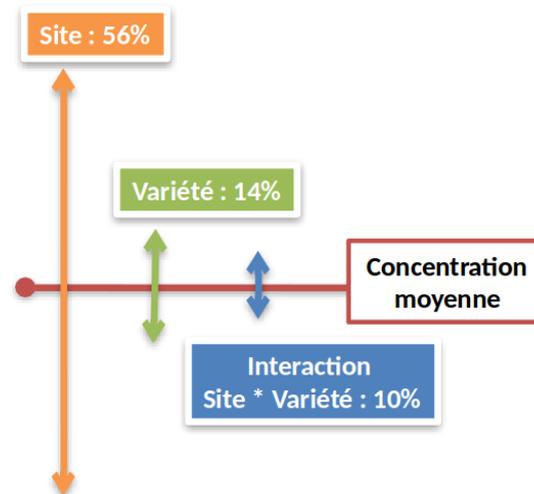


<https://bswheat.hub.inrae.fr/>

Cd dans le grain de blé dur : effet du site de culture et de la variété



Sources de variation



Bléssur a tool for predicting compliance of durum wheat to Cd regulation

560 Paired Samples



Soil: Total Cd, pH, organic C, clay, loam, calcareous
Grain: Cd

Statistical Modeling

$$\text{Proba}(Y=1) = f(\text{Soil predictors} + \text{Variety})$$

Machine learning
Random Forest
Logistic regression

Cross validation for model selection



Web application



Bléssur

<https://ispa.bordeaux.inra.fr/services/blesur/>



Model performances

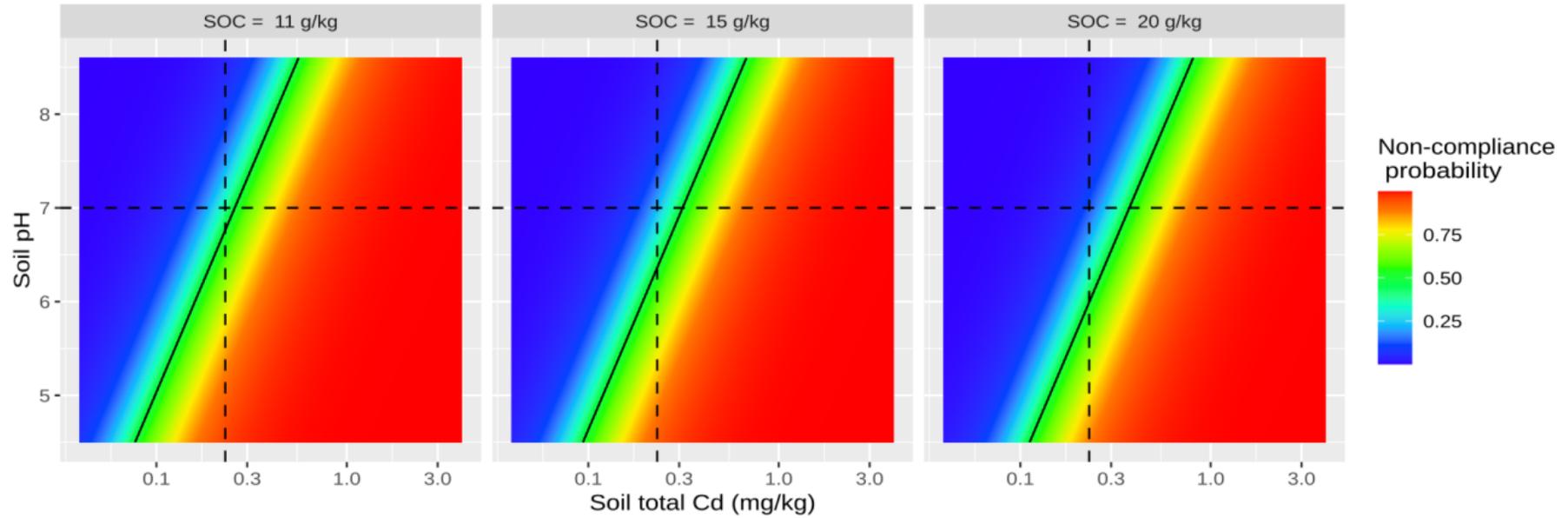
	Detection	Reliability
Compliance	88%	89%
Non-compliance	82%	75%

Biodisponibilité du Cd du sol : Rôle majeur de la teneur totale, du pH (et de la MO)



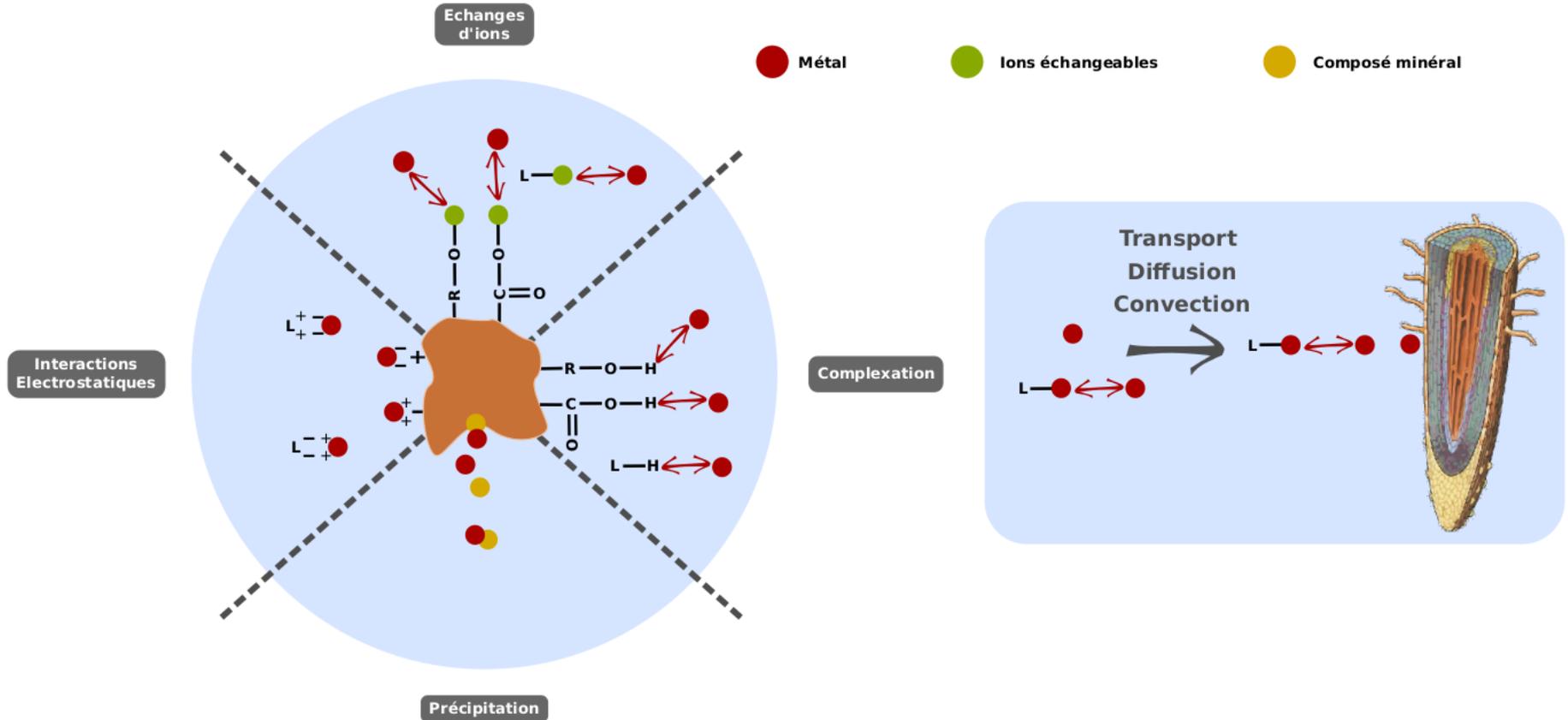
Blé dur: Cartographie du risque modélisé de non conformité

Durum wheat - Logistic model - Soil Cd + pH + SOC Limit: 0.18 mg Cd/kg



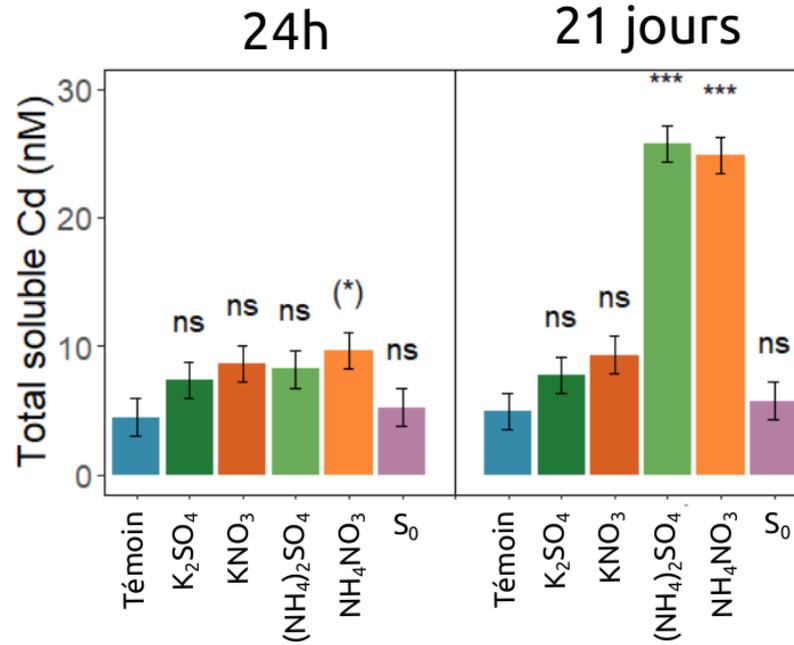
----- Médianes nationales

Biodisponibilité des ETM dans le sol



Apport de soufre sous différentes formes à un sol non calcaire & Effet des contre-ions

Vidal et al., 2024 soumis



Entrées/sorties du Cd dans les sols agricoles

Ordres de grandeurs



Engrais
20-100 kg P₂O₅/ha
20-60mg Cd/kg P₂O₅
0.4 - 6 g Cd/ha/an

Retombées atmosph.
0.2 g Cd/ha/an

Fumier
6T MS/ha
0.15 mg Cd/kg MS
0.9 g Cd/ha



Exportation cultures
0.2 - 1.3 g Cd/ha/an

Lixiviation
0.3 - 3 g Cd/ha/an
=f(Cd_{sol}, pH, MO)



BILAN
-3.7 à + 1.9 g Cd/ha/an

Stocks (0-25 cm)
150 à 3750 g Cd/ha

Leviers d'actions pour limiter la contamination des cultures par les éléments traces contaminants

Evaluer le risque

- Outils de prédiction (Ex. Bléssûr)
- Référentiels

Agir sur la biodisponibilité dans le sol

- Ajustement pH proche neutralité
- Pratiques de fertilisation, qualité intrants (dose, type, localisation)

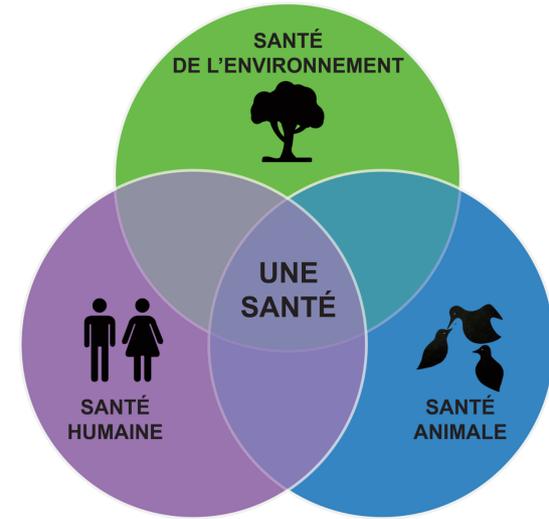
Levier végétal

- Type de culture (Espèces/organes consommés)
- Choix de la variété/cultivar



Giuseppe Arcimboldo: L'été

Ludwig Andreas Feuerbach
"Der Mensch ist, was er ißt."



Fraction du Cd de l'engrais
retrouvée dans la plante
l'année de l'apport



0.5-2.2%

Bracher et al., 2021



30 kg P₂O₅/ha
60mg Cd/kg P₂O₅

1.8 g Cd/ha

Cd engrais --> plante

40 mg Cd/ha

Blé dur
50 Qx/ha

+0.008 mgCd/Kg

Blé tendre
70 Qx/ha

+0.006 mgCd/Kg

Seuils réglementaires
(mg Cd/kg)

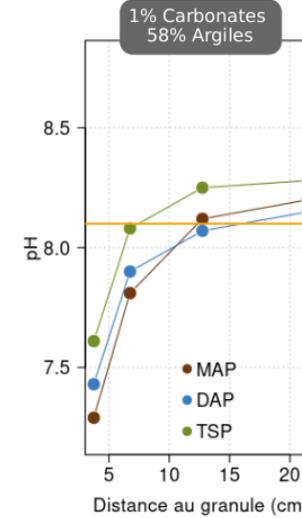
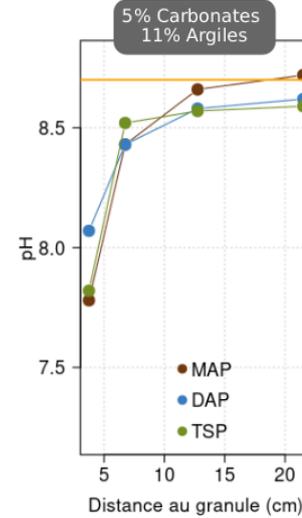
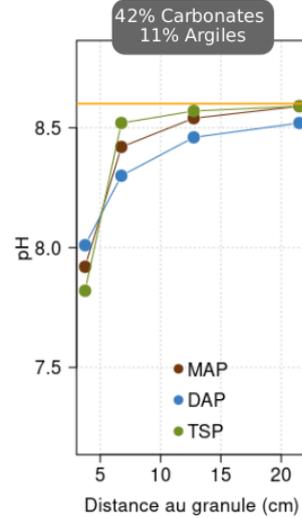
Seigle et orge: **0.05**
Blé tendre **0.1**
Blé dur: **0.18**

Effets immédiats de la fertilisation P sur la biodisponibilité

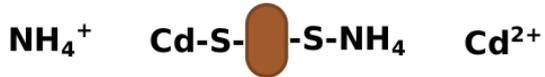
Acidification

pH **↓** jusqu' à **-0.6 unités**
pH

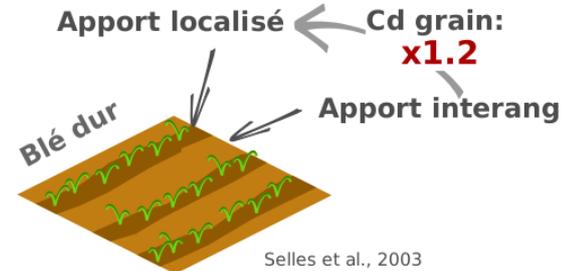
d'après Lombi et al., 2005



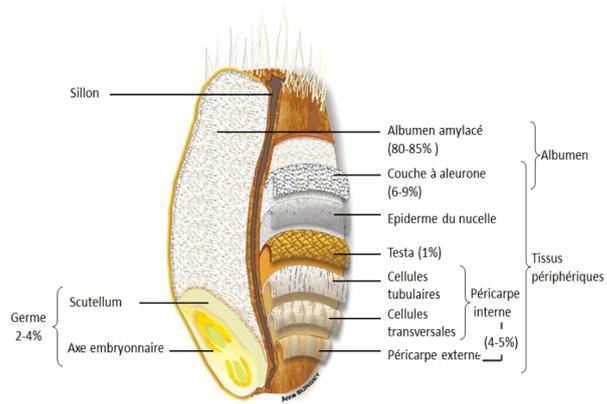
Désorption



Risque des apports localisés



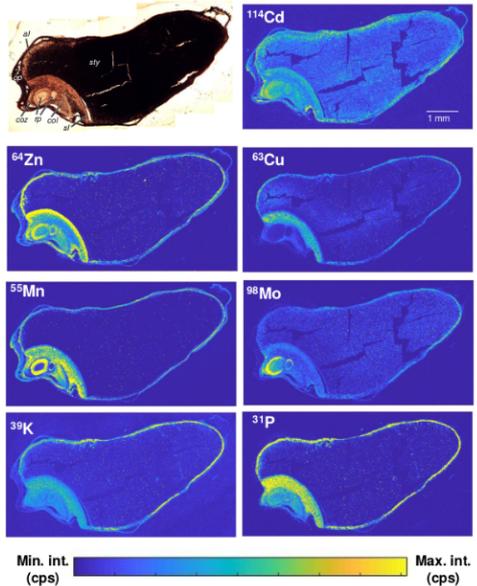
Selles et al., 2003



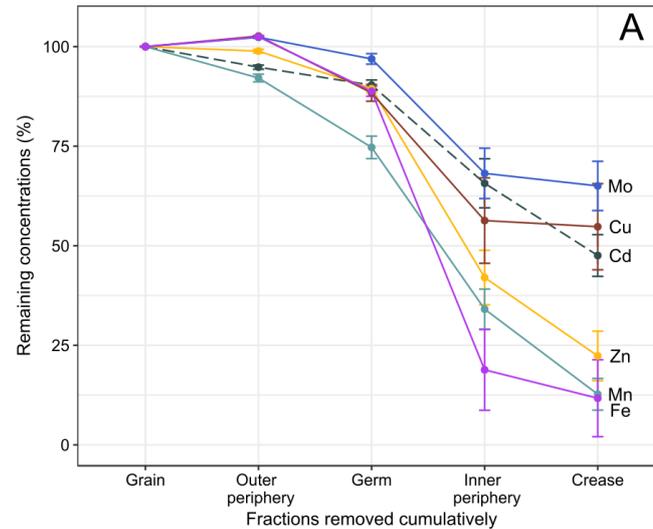
Co-Localisation des éléments dans le grain de blé dur

- * Compréhension des voies d'accumulation
- * Impact sur la qualité nutritive et sanitaire

Cartographie par Laser Ablation ICPMS
MP Isaure S. Mounicou, Iprem, Pau



Analyse de fractions après dissection du grain



(Yan et al., 2020, Envir. Pollut.)