




Avec la participation de l' 

DES SEUILS POUR LE DIAGNOSTIC DE LA PHYTODISPONIBILITE DES ELEMENTS EN TRACES

T. Sterckeman¹, H. Ciesielski¹, D. Baize¹, J. Béraud², A. Bispo³

¹INRA, ²APCA, ³ADEME

La réglementation de l'épandage des boues d'épuration des eaux urbaines

- Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, en application du décret n°97-1133
- Surveillance des ETM : concentrations totales dans le sol à partir desquelles l'épandage n'est pas autorisé.

Tableau 2

Valeurs limites de concentration en éléments-traces dans les sols

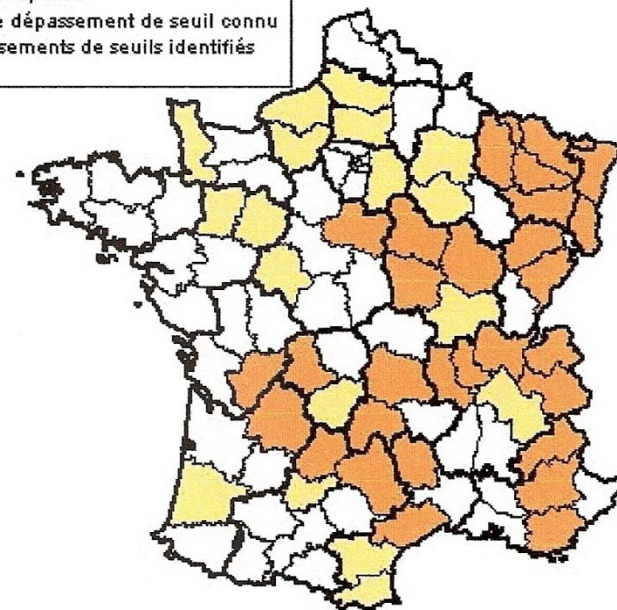
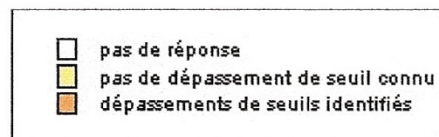
ÉLÉMENTS-TRACES DANS LES SOLS	VALEUR LIMITE EN MG/KG MS
Cadmium	2
Chrome	150
Cuivre	100
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	100
Zinc	300

La réglementation de l'épandage des boues d'épuration des eaux urbaines

- Les teneurs en ETM du fond pédo-géochimique naturel dépassent parfois les seuils réglementaires

		ASPITET 2002	RPG-NPC	Base ANADEME
Cd	nb > seuil	64	2	76
	nb mesures	1808	758	10634
	% > seuil	3,5	0,3	0,7
Cr	nb > seuil	78	5	72
	nb mesures	1807	758	11117
	% > seuil	4,3	0,7	0,6
Cu	nb > seuil	6	0	79
	nb mesures	1812	758	11118
	% > seuil	0,3	0	0,7
Ni	nb > seuil	303	52	659
	nb mesures	1813	758	11275
	% > seuil	16,7	6,9	5,8
Pb	nb > seuil	116	8	126
	nb mesures	1819	758	11150
	% > seuil	6,4	1,1	1,1
Zn	nb > seuil	112	2	80
	nb mesures	1826	758	11161
	% > seuil	6,1	0,3	0,7
Hg	nb > seuil	nd	0	34
	nb mesures	nd	758	8798
	% > seuil	nd	0	0,4

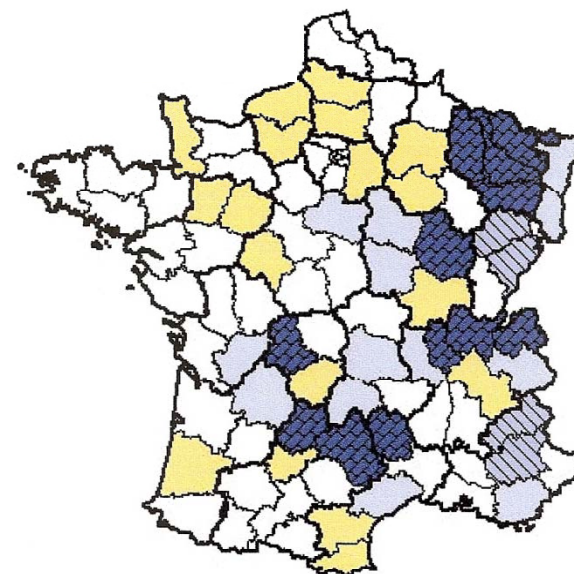
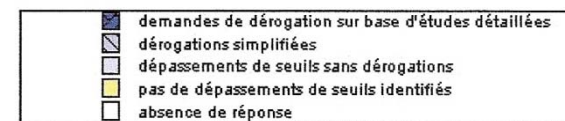
ADEME et APCA (2005)



Dépassement des seuils en ETM du sol en France (enquête ADEME/APCA, 2003)

La réglementation de l'épandage des boues d'épuration des eaux urbaines

- L'arrêté du 08/01/98 prévoit que « *des dérogations [... aux valeurs limites prévues...] peuvent toutefois être accordées par le préfet sur la base d'études du milieu concerné montrant que les éléments-traces métalliques des sols ne sont pas mobiles ni biodisponibles.* »
- L'arrêté ne précise pas ce que signifie « mobile » et « biodisponible », ni les méthodes d'étude.



Demandes de dérogation en France
(enquête ADEME/APCA, 2003)

Le guide de demande de dérogation



DEROGATIONS RELATIVES A LA REGLEMENTATION SUR L'EPANDAGE DES BOUES DE STATIONS D'EPURATION

Comment formuler une demande pour les sols
à teneurs naturelles élevées en éléments traces métalliques ?

Guide technique

Coordinateurs du guide :
J. Béraud (APCA, Paris) et A. Bispo (ADEME-DGBS Angers)

Auteurs :
D. Baize (INRA Orléans)
T. Sterckeman (ENSAIA-INRA/INPL Nancy)
A. Piquet (ENITA Clermont-Ferrand)
H. Ciesielski (INRA Arras)
J. Béraud (APCA Paris)
A. Bispo (ADEME-DGBS Angers)

- Interprétation de la dérogation :
 - Etablir la preuve de l'origine pédo-géologique des ETM considérés
 - « non mobilité » = faible passage dans l'eau lors d'un test de lixiviation
 - « non biodisponibilité » = faible phytodisponibilité = faible extractibilité par des réactifs chimiques ou faible teneur dans les végétaux



Phytodisponibilité des ETM du sol par méthode chimique : ce qui est disponible

- France
 - Absence de méthode dans la pratique, mais divers réactifs utilisés en recherche
 - Absence d'échelle de diagnostic, mais des résultats de comparaison de teneurs sol/plante (AGREDE-QUASAR)
- A l'étranger
 - Suisse : réglementation depuis 1988, basée sur l'extraction par NaNO_3 0,1 M
 - Allemagne : réglementation depuis 1998, basée sur l'extraction par NH_4NO_3 1 M
 - Des seuils fixés après expérimentation *in situ*
- Des travaux de normalisation ISO autour de NaNO_3 0,1 M, NH_4NO_3 1 M et CaCl_2 0,01 M



Analyse des seuils suisses

- Réglementation OSol, 1988, 1998
- *Valeur indicative* : indique une contamination
- *Seuil d'investigation* : oblige à une évaluation du risque pour la santé
- *Valeur d'assainissement* : contraint à la dépollution du sol
- Données pour extraction par HNO₃ M et NaNO₃ 0,1 M
- Basés sur des relations dose/effet (sol/plante le plus souvent) dans le cas de scénarios d'exposition du « *pire des cas réalistes* », établies par expérience en milieu contrôlé et au champ

Analyse des seuils suisses

Voie d'exposition	OSol 1998	
	Valeurs indicatives	Seuils d'investigation
	NaNO ₃ à 0,1 mol L ⁻¹	
	Pb	
Cultures alimentaires	-	-
Cultures fourragères	-	-
	Cd	
Cultures alimentaires	0.02	0.02
Cultures fourragères	0.02	0.02
	Cu	
Cultures alimentaires	0.7	0.7
Cultures fourragères	0.7	0.7
	Ni	
Cultures alimentaires	0.2	-
Cultures fourragères	0.2	-
	Zn	
Cultures alimentaires	0.5	-
Cultures fourragères	0.5	-

en mg.kg⁻¹MS

- Il n'y a pas de valeur pour Pb, du fait de sa faible solubilité dans NaNO₃ 0,1 M
- Pour Cd et Cu, les seuils d'investigation se confondent avec les valeurs indicatives
- Pour Ni et Zn, il n'y a pas de seuil d'investigation



Analyse des seuils allemands

- Réglementation BBodSchG, 1998, BBodSchV 1999
- Seuils donnés pour l'extraction par NH_4NO_3 1 M
- *Seuil de précaution (Vorsorgewerte)* : indique une contamination
- *Seuil d'investigation (Prüfwerte)*: oblige à une étude de modification nocive du sol
- *Seuil d'action (Maßnahmenwerte)* : contraint à prendre des mesures de protection, de restriction ou d'assainissement
- Basés sur des relations dose/effet (sol/plante), essentiellement sur des mesures *in situ* des teneurs dans les sols et les plantes

Analyse des seuils allemands

Voie d'exposition	BBodSchuV	
	Seuil d'investigation	Seuil d'action
	NH ₄ NO ₃ à 1 mol L ⁻¹	
	Pb	
Cultures alimentaires	0.1	-
Cultures fourragères	-	-
	Cd	
Cultures alimentaires	-	0,04/0,1 ^b
Cultures fourragères	-	-
	Cu	
Cultures alimentaires	1 ^a	-
Cultures fourragères	1 ^a	-
	Ni	
Cultures alimentaires	1,5 ^a	-
Cultures fourragères	1,5 ^a	-
	Zn	
Cultures alimentaires	2 ^a	-
Cultures fourragères	2 ^a	-

^aAu delà de ces seuils, il y a risque de baisse de croissance des plantes

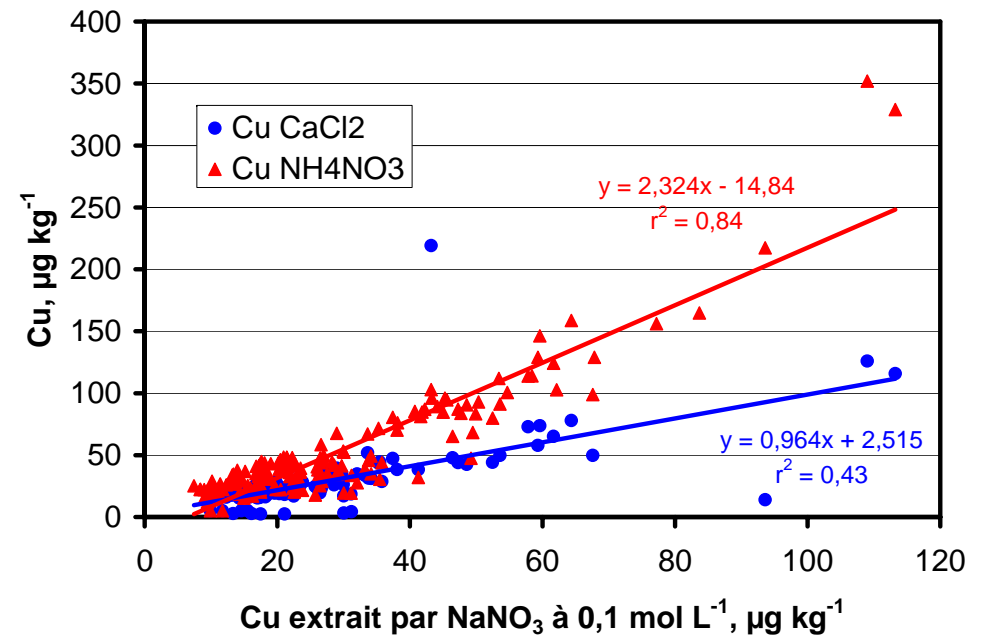
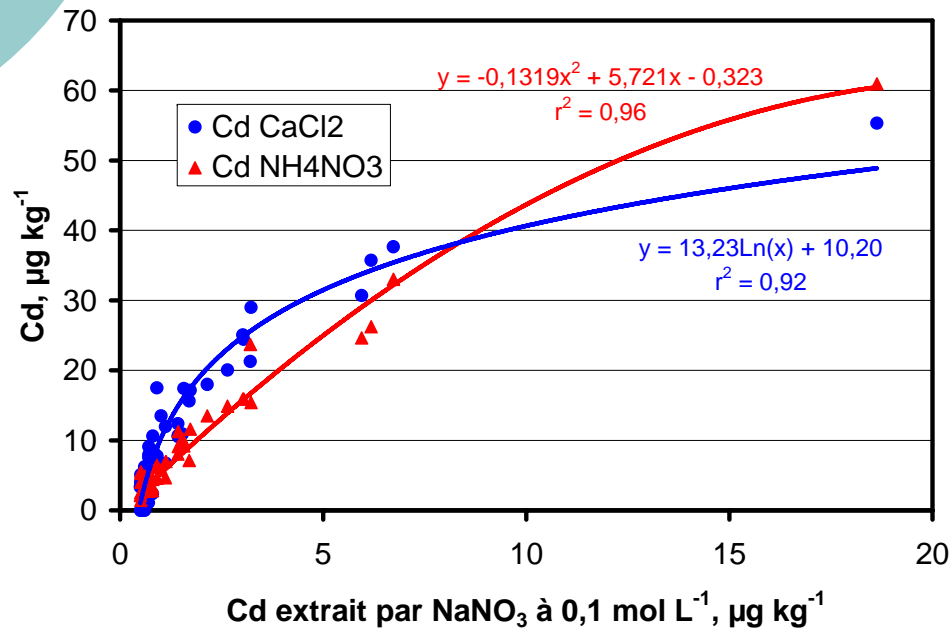
^b0,04 pour les cultures de blé panifiable ou de végétaux accumulant le cadmium

en mg.kg⁻¹MS

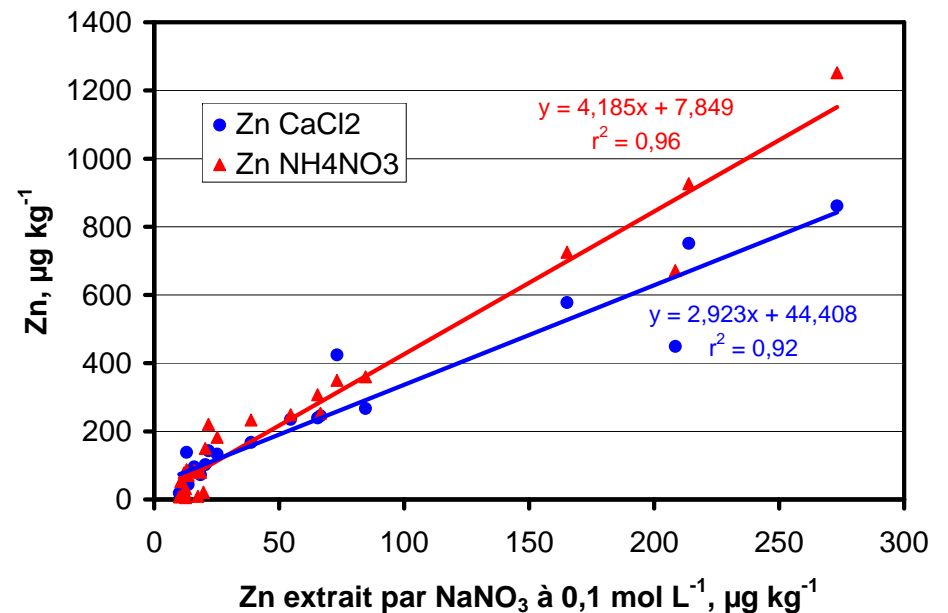
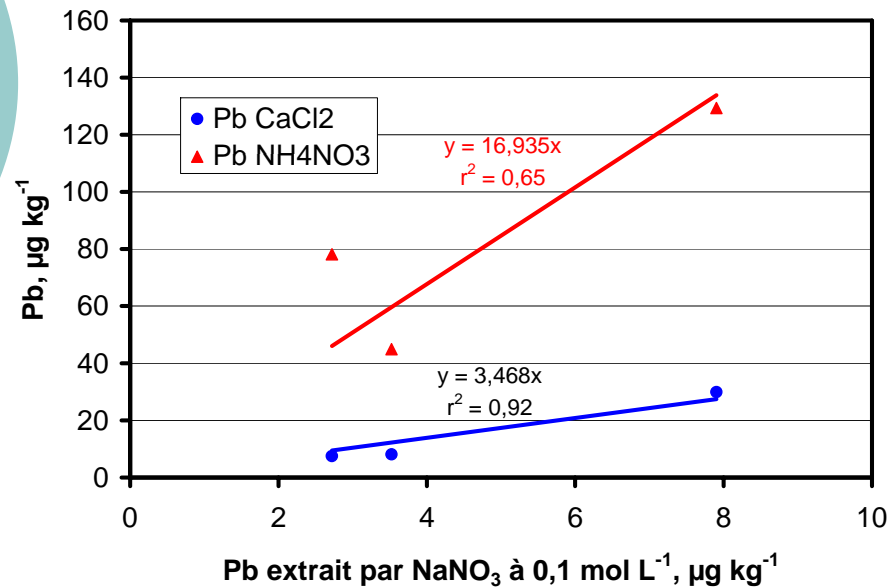
- Il y a un seuil d'investigation pour Pb
- Pour Cd il n'y a pas de seuil d'investigation mais deux seuils d'action selon le type de culture
- Pour Cu, Ni et Zn, il y a des seuils d'investigation, pas d'action

Dérivation des seuils français

- Relation entre les méthodes d'extraction en vogue à l'ISO : NaNO_3 0,1 M, NH_4NO_3 1 M et CaCl_2 0,01 M
Programme AGREDE-QUASAR



Dérivation des seuils français



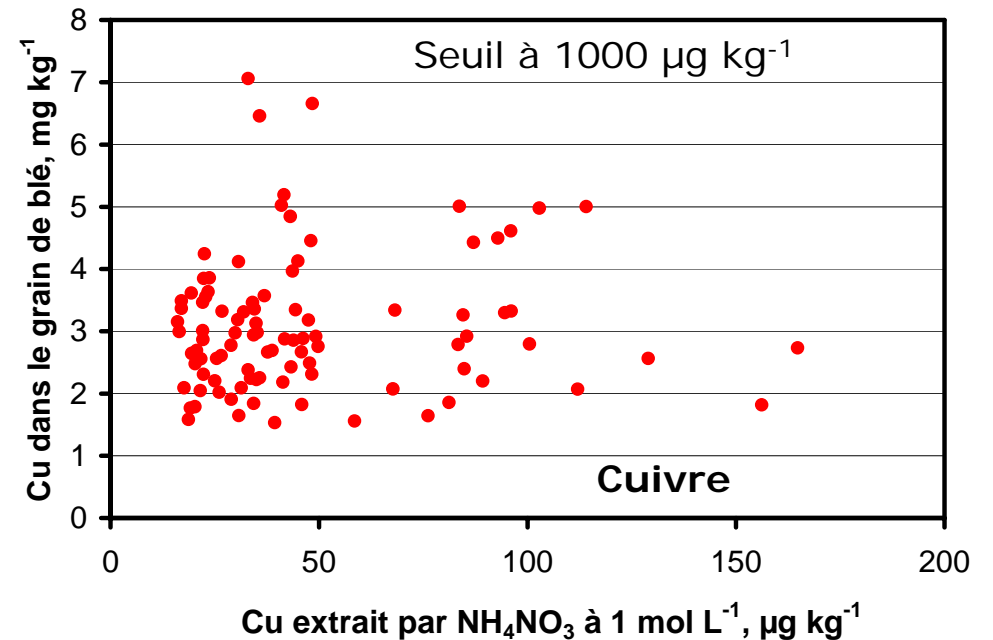
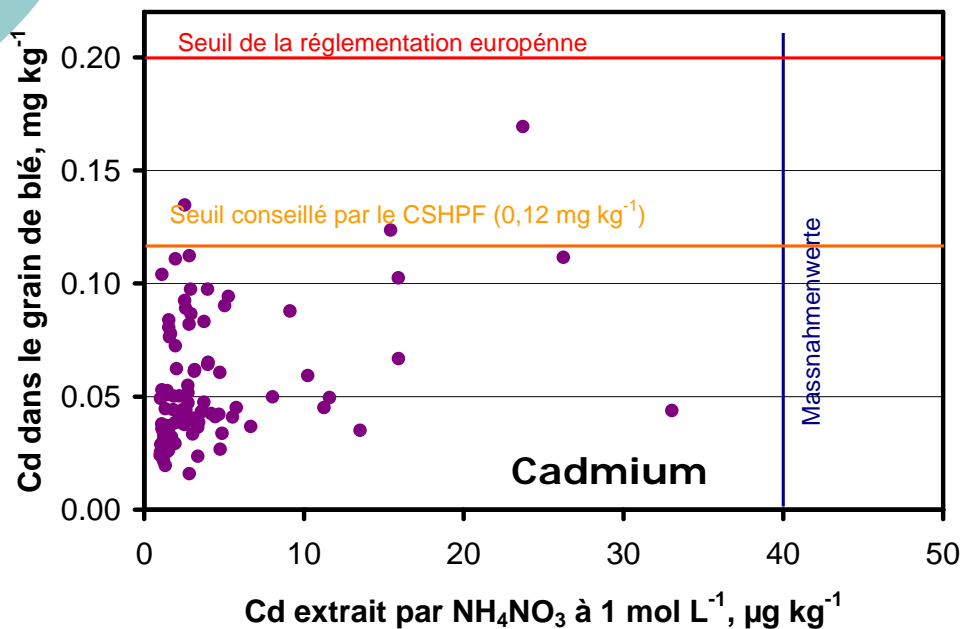
- Les corrélations s'expliquent par un fonctionnement similaire des extractions : échange cationique et complexation d'une partie des ETM sorbés

Dérivation des seuils français

Voie d'exposition	OSol 1998		Seuils d'investigation dérivés de OSol, par les corrélations AGREDE-QUASAR		BBodSchuV	
	Valeurs indicatives	Seuils d'investigation	CaCl ₂ 0,01 mol L ⁻¹	NH ₄ NO ₃ 1 mol L ⁻¹	Prüfwerte (trigger values)	Maßnahmenwerte (action values)
	NaNO ₃ à 0,1 mol L ⁻¹				NH ₄ NO ₃ à 1 mol L ⁻¹	
			Pb			
Cultures alimentaires	-	-	-	-	0.1	-
Cultures fourragères	-	-	-	-	-	-
			Cd			
Cultures alimentaires	0.02	0.02	0.05	0.06	-	0,04/0,1 ^b
Cultures fourragères	0.02	0.02	0.05	0.06	-	-
			Cu			
Cultures alimentaires	0.7	0.7	-	-	1 ^a	-
Cultures fourragères	0.7	0.7	0.7	1.6	1 ^a	-
			Ni			
Cultures alimentaires	0.2	-	-	-	1,5 ^a	-
Cultures fourragères	0.2	-	-	-	1,5 ^a	-
			Zn			
Cultures alimentaires	0.5	-	1.5	2.1	2 ^a	-
Cultures fourragères	0.5	-	1.5	2.1	2 ^a	-

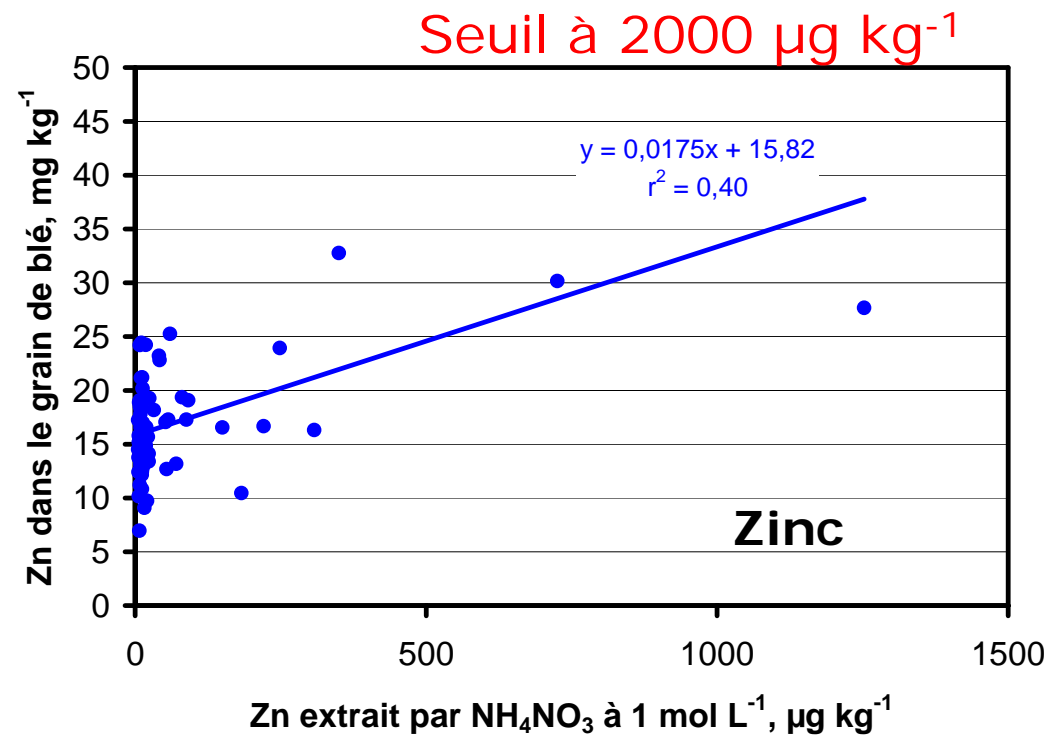
Validation des seuils

- Comparaison avec les teneurs dans le blé (Programme AGREDE-QUASAR)



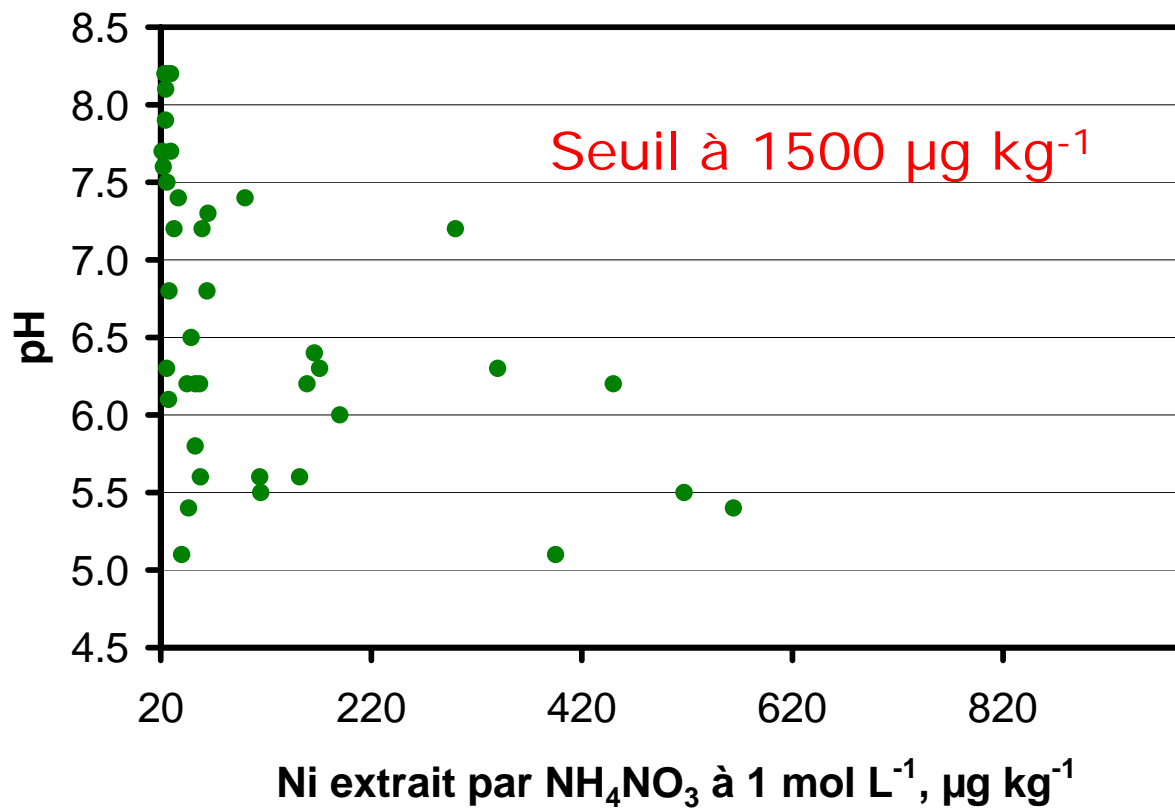
Validation des seuils

- Comparaison avec les teneurs dans le blé (Programme AGREDE-QUASAR)



Validation des seuils

- Cas du Nickel : pas de teneurs dans les grains de blé



Mesurés sur 122 échantillons de sols agricoles français (Programme AGREDE-QUASAR)

Validation des seuils

- Application sur un jeu d'essai

	NH ₄ NO ₃ à 1 mol L ⁻¹			
	Cd	Cu	Pb	Zn
Nombre de mesures ¹	180	180	180	180
Limite de quantification (LQ)	1 ou 1,5	15	3	5 ou 10
Nb de valeurs > LQ	92	114	11	64
Nb de valeurs < LQ	88	66	169	116
1er décile	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
1er quartile	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Médiane	1,04	19,53	< LQ	< LQ
3ème quartile	5,21	34,48	< LQ	25,13
9ème décile	12,5	66	< LQ	246
Maximum	55	249	62	5180
Seuil d'investigation dérivé	50	700	-	1500
Nb de valeurs > seuil	1	0	-	2
	<i>E 15</i>			<i>IDC2 & IDC3</i>

Conclusions

- Choix de NH_4NO_3 1 M car
 - Problème de détection avec NaNO_3 0,1 M
 - Pas de seuil en CaCl_2 0,01 M
 - Des références d'interprétations
 - Solidement établies en Allemagne
 - Convergentes avec les seuils suisses
 - Applicables au contexte pédo-climatique français
 - Cohérentes avec les données françaises
- Expertise basée sur des données existantes relativement peu nombreuses
 - Nécessité de mesures et essais complémentaires pour une généralisation
 - Pourrait se faire par l'intermédiaire des LAT et de leur partenaires...

Élément	Seuils (mg kg ⁻¹)
Cd	0,04
Cu	1
Ni	1,5
Pb	0,1
Zn	2



Merci à l'ADEME, à l'INRA...

et à vous tous pour votre
attention !