

Clôture du site expérimental d'Ensisheim

essai suivi de 1995 à 2015

Les objectifs du site expérimental

✓ 1^{ère} phase : de 1995 à 2006

Comparer une fertilisation avec des épandages de boues conformes à la réglementation à une fertilisation minérale classique pour voir s'ils génèrent un risque de dégradation de la qualité des sols et des récoltes.

✓ 2^{ème} phase : de 2006 à 2015

Evaluer l'aptitude du sol à revenir à l'état initial en particulier pour les paramètres pour lesquels une évolution a été constatée durant la 1^{ère} phase.

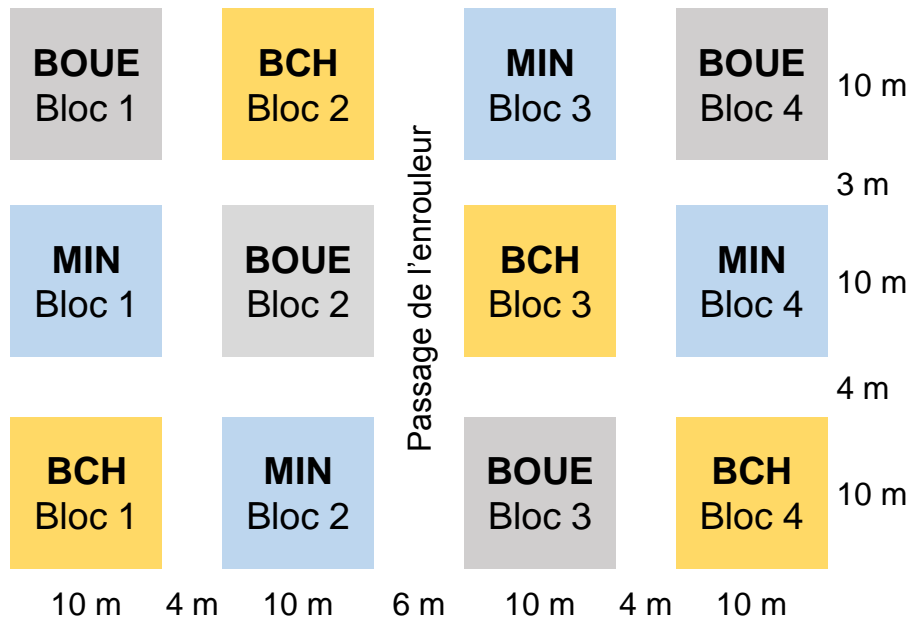
Recueillir

- ✓ des données locales
- ✓ en conditions réelles d'emploi
- ✓ sur du long terme

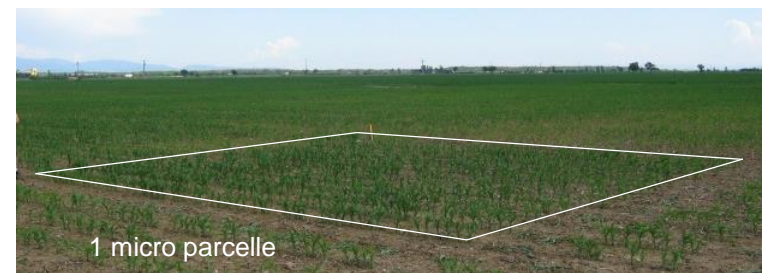
Un dispositif en bloc au champ pour comparer 3 modes de fertilisation

- **BCH** : une boue urbaine biologique **déshydratée** chaulée complémentée par des engrais N, P, K
- **BOUE** une autre boue urbaine biologique **déshydratée** non chaulée complémentée en engrais N, P, K
- **MIN** : une **fertilisation minérale** avec des engrais N, P et, K

Plan de l'essai



- Un pH initial de 6 à peine en surface (seuil réglementaire pour l'épandage de boues)
- Un sol limono-argilo-sableux à argilo-limono-sableux
- Monoculture de maïs irrigué, sauf en 2005 blé
- Des grains exportés / des résidus qui retournent au sol
- En non labour depuis 2001



Un dispositif en bloc au champ pour comparer 3 modes de fertilisation

Acquérir des données sur :

- ✓ **Les éléments traces métalliques (14 ETM)** : arsenic (**As**), bore (**B**), cadmium (**Cd**), cobalt (**Co**), chrome (**Cr**), cuivre (**Cu**), fer (**Fe**), mercure (**Hg**), manganèse (**Mn**), molybdène (**Mo**), nickel (**Ni**), plomb (**Pb**), sélénium (**Se**), zinc (**Zn**).
- ✓ **Les composés traces organiques (CTO)** : 7 PCB (PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153, PCB180) et 16 HAP (benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, fluoranthène)














dans les **boues**, les **engrais**, les **sols** et les **cultures**



- ✓ **Valeurs azotée et phosphatée des boues**

Calendrier des 20 ans d'expérimentation

- 5 épandages en 10 ans
- 1 état initial en 1995 et 1 final de la 1^{ère} phase
- Des prélèvements de terres par horizons entre les épandages, puis tous les 5 ans durant la 2^{ème} phase
- Des prélèvements de végétaux (grains et résidus) sur chaque culture (12 maïs et 1 blé)

		1 ^{ère} phase										2 ^{ème} phase					
Prélèvements des grains et des résidus et analyses																	
Apports		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	...	2010	...	2015
BCH	boues	Nov. 1995 20 t			Nov. 1998 20 t			Nov. 2001 15 t		Mars 2003 15 t	Mars 2004 15 t						
	engrais		N	N K	N K	N K	N K	N K	N K	N K	N K	N	N	N	N	N	N
BOUE	boues	Nov. 1995 20 t			Nov. 1998 20 t			Nov. 2001 15 t		Mars 2003 15 t	Mars 2004 15 t						
	engrais		N(P)K	N K	N K	N K	N K	N K	N(P)K	N(P)K	N K	N	NPK	N	N	N	N
MIN	engrais	/	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	N	NPK	N	N	N	N
Prélèvements de terres et analyses		Nov. 1995			Oct. 1998			Oct. 2001			Fév. 2004		Nov. 2006		Nov. 2010	Nov.	Nov. 2015

N = azote P = Phosphore K = Potassium

Les travaux effectués



✓ **Epanrages de boues et apports d'engrais**

À la main pour ajuster les doses durant la 1^{ère} phase

Fertilisation gérée par l'agriculteur sur tout l'essai durant la 2^{ème} phase

✓ **Prélèvements de sols**

16 prélèvements à la tarière par microparcelle :

- sur 3 horizons (0-20, 20-40 et 40-60 cm) avant 2001 (passage en non-labour)
- puis 4 horizons (0-5, 5-20, 20-40 et 40-60 cm)



✓ **Récolte des végétaux**

Les épis sont récoltés puis battus.

Les résidus sont prélevés, on y ajoute les résidus de battage (rafles pour maïs ou glumes et glumelles pour le blé)

✓ **Traitement des données par analyses statistiques**

Avec le logiciel statbox (arvalis) pour statuer sur les différences



Tous les échantillons sont conservés après séchage

5 épandages de boues et une complémentation minérale tous les ans

- Doses d'azote reposent sur la méthode du bilan
- Apports d'engrais minéraux
 - objectif : quantités d'Azote (N), Phosphore (P) et Potasse (K) disponibles pour les cultures identiques sur les 3 traitements
- Les périodes et doses d'épandages respectent la Directive Nitrates

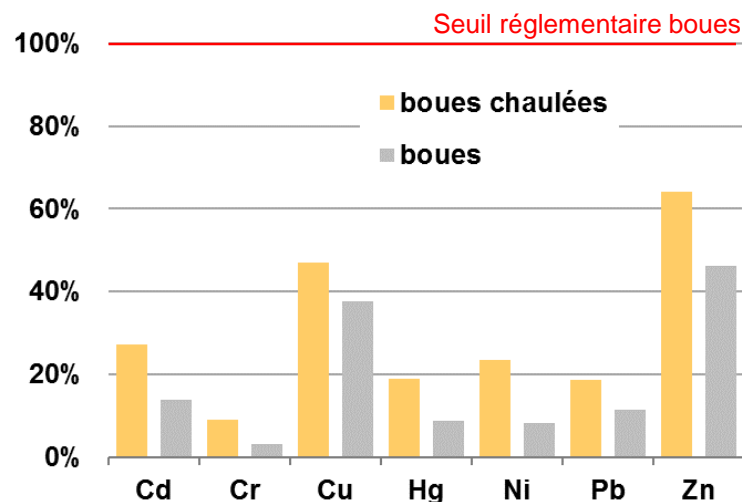
Cumuls des quantité apportées sur 10 ans

		Boues (5 apports) en t/ha de MS hors chaux	Ammonitrate 33,5 % Apports d'engrais en t/ha d'engrais	Super phosphate 45 % Apports d'engrais en t/ha d'engrais	Chlorure de Potassium 60 % Apports d'engrais en t/ha d'engrais	Seuil de l'arrêté du 08/01/98 pour les boues en t MS/ha	
de 1995 à 2006	BCH	20,7 t	3,9 t	/	2,3 t	30 t	
	BOUE	13,3 t	4,0 t	0,6 t	2,3 t		
	MIN	/	5,4 t	2,0 t	2,3 t		
de 2006 à 2015		Apports d'ammonitrate ou d'urée identiques sur tout l'essai - pas d'apport de P ni K					

Des apports conformes à la réglementation (1^{ère} phase)

- Des boues conformes à la réglementation
- Les teneurs en CTO inférieures à la limite de quantification du laboratoire
- Des teneurs élevées en cadmium dans l'engrais phosphaté

Cumuls de flux en ETM des 5 apports de boues sur 10 ans



Cumuls de flux en ETM des boues et engrais épandus en 10 ans (1995 à 2006)

en g/ha	As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
BCH	156	869	41	99	1085	5664	22,9	7110	85	702	1670	53	19272
BOUE	37	424	35	41	536	4561	10,8	3068	100	272	1031	23	14185
MIN	25	226	74	5	406	105	0,56	166	22	91	7	8	1017
BCH / MIN			÷ 2			x 50	x 40	x 40			x 200		x 20
BOUE / MIN			÷ 2			x 50	x 20	x 20			x 130		x 15

Différence de flux la plus notable le Pb : à relativiser comparé aux **retombées atmosphériques** estimées à **1200 à 9000 g/ha sur 10 ans**).

Les principaux résultats acquis

l'essentiel à retenir sur :

- ✓ le plan agronomique
- ✓ l'innocuité

✓ Les 2 boues épandues sont un fertilisant très efficace

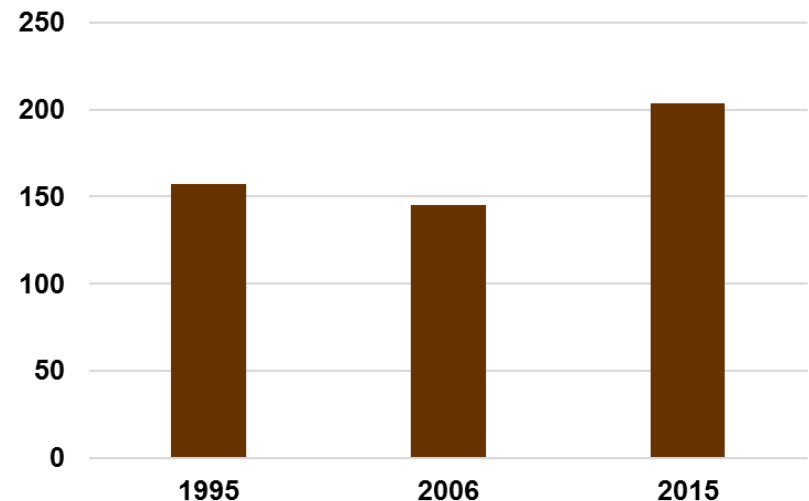
Aucune différence de rendement entre traitements

- ✓ **100 % du phosphore disponible dans les boues et boues chaulées** (d'après publication de C. Morel - INRA avec données de l'essai)
- ✓ **au moins 50 % d'azote disponible dans les boues chaulées et 30 % dans les boues** (meilleure disponibilité pour les boues chaulées due à l'effet sur le pH)

Un effet amendement organique masqué

- ✓ par l'enfouissement des résidus de récolte
- ✓ par la technique du non labour mise en œuvre depuis 2001

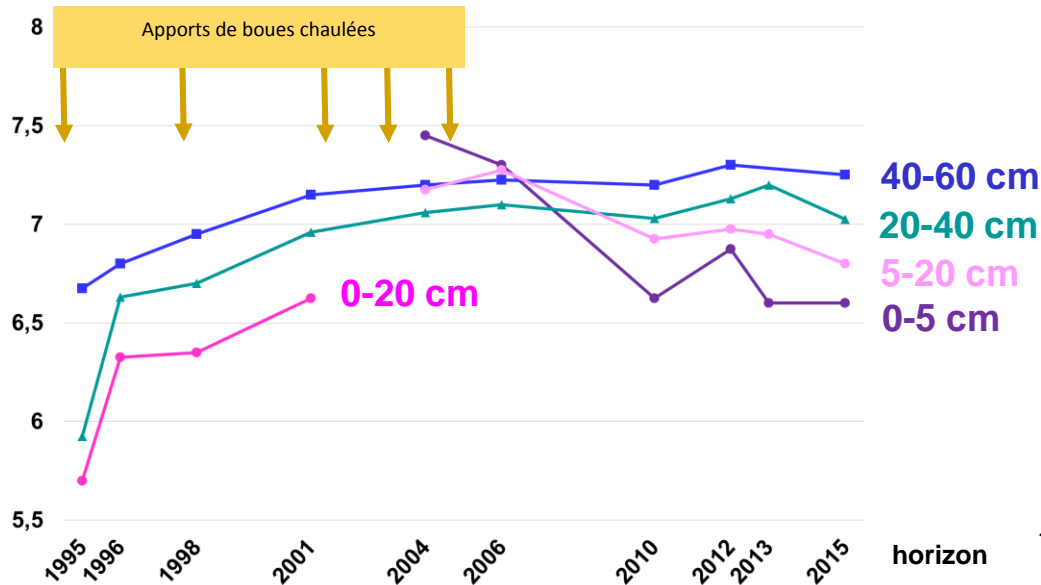
Évolution du stock de MO dans le sol en t/ha pour une même masse de terre des 3 traitements



✓ Les boues chaulées un amendement basique durable

- Après 5 épandages de boues le pH est relevé d'1,5 points (en 2006)
- 11 après le 5^{ème} épandage impact sur le pH et le taux de carbonatation du sol est toujours visible

pH du sol du traitement BCH



horizon	pH BCH – pH MIN		
	2006 1 an après le dernier épandage	2010 6 ans après le dernier épandage	2015 11 ans après le dernier épandage
0-5 cm	+ 1,27 pt	+ 0,58 pt	+ 0,38 pt
5-20 cm	+ 1,10 pt	+ 0,93 pt	+ 0,50 pt
20-40 cm	+ 0,64 pt	+ 0,63 pt	+ 0,57 pt
40-60 cm	+ 0,37 pt	+ 0,42 pt	+ 0,43 pt

- Les carbonates issues de la chaux migrent en profondeur

✓ Pas d'atteinte à la fertilité du sol

Pas de différences entre traitements pour 9 ETM sur 14 après 5 épandages

Des différences pour le Cu, le Hg et le Zn dans les horizons d'incorporation des boues
différences attendues au vu des calculs de bilan (élément apporté – élément exporté).

horizon	Conclusions statistiques (années 2006, 2010 et 2015)			Teneurs en mg/kg de MS			
	BCH/MIN	BOUE/MIN	BCH	BOUE	MIN	Moyenne sols français (GISSol 2011)	Seuil arrêté du 08/01/98
0-5 cm	+ 5 % de Cu + 8 % de Zn	+ 5 % de Cu + 5 % de Zn	20,9 63,5	20,9 61,9	19,9 58,9	Cu : 13,3 Zn : 56,4	Cu : 100 Zn : 300
5-20 cm	+ 16 % de Hg + 4 % de Zn	+ 11 % de Hg	0,042 64,0	0,040 62,3	0,036 61,5	Hg : 0,046	Hg : 1

Les teneurs restent : - proches de voire inférieures la moyenne nationale
- inférieures aux seuils réglementaires (Cu et Zn ≈ 20 % du seuil, Hg ≈ 5 %).

Le Cu et le Zn sont des oligo-éléments indispensables aux cultures.

Pour le Hg l'augmentation est très relative compte tenu des teneurs (+0,006 mg/kg de MS pour BCH)

- Petite augmentation du Fe pour BCH (peut-être liée au traitement du phosphore dans le bassin de la STEP par ajout de chlorure ferrique), pas de calcul de bilan (pas systématiquement analysé)
- Baisse du Mn pour BOUE sans explication
- Fe et Mn pas visés par la réglementation

horizon	Conclusions statistiques		Teneurs en mg/kg de MS		
	BCH	BOUE	BCH	BOUE	MIN
5-20 cm	+ 10 % de Fe		26175	25258	23775
20-40 cm	+ 6 % de Fe	/	29475	27050	27743
40-60 cm	/	- 5 % de Mn	899,1	882,5	935,8

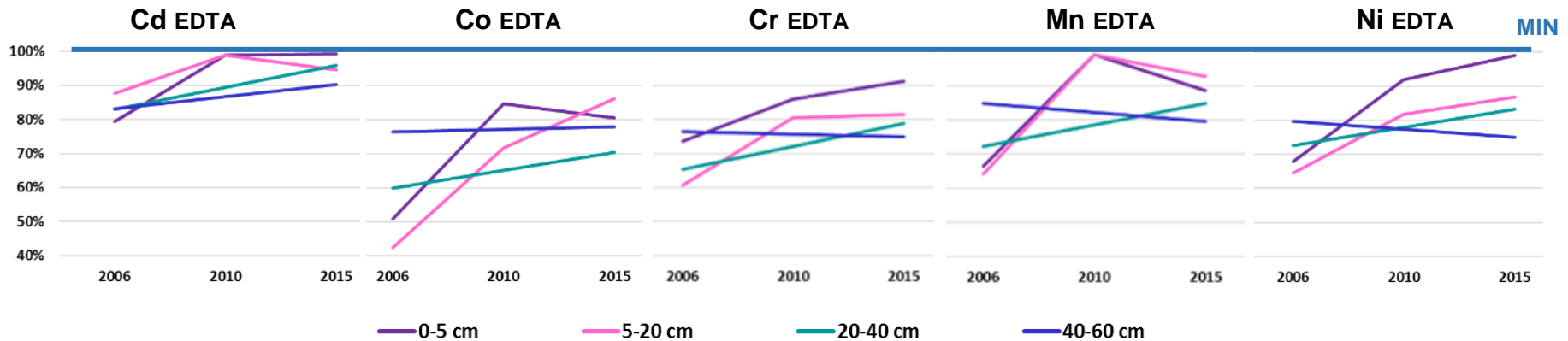
✓ Diminution de la mobilité de 5 ETM dans le sol

Mobilité simulée par des extractions faites au laboratoire

Ex : EDTA extrait les éléments échangeables et complexés dans le sol

✓ 5 éléments traces dont la mobilité était réduite par l'augmentation du pH du sol (BCH)

Teneur en ETM EDTA de BCH en % de celle de MIN



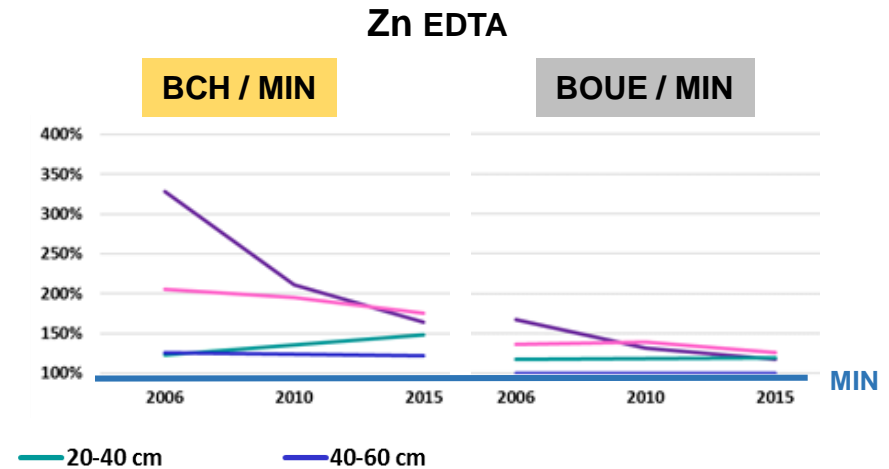
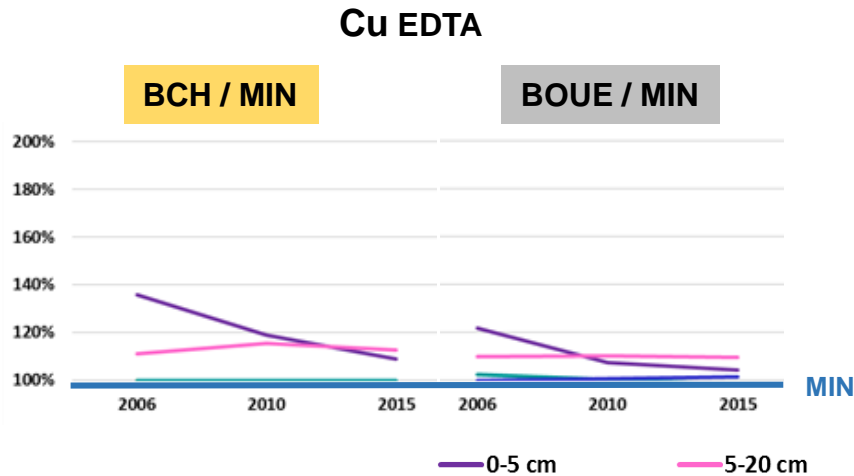
Teneurs en éléments EDTA

- augmentent pour redevenir identiques au témoin MIN dans les horizons de surface
- stagnent dans les horizons plus profonds (Cr, Mn et Ni) où le pH augmente légèrement depuis 2006.

✓ Des effets sur la mobilité des ETM dans le sol

✓ 2 éléments dont la mobilité était accrue par l'apport de boues

Teneurs en ETM EDTA de BCH ou BOUE en % de celle de MIN



- ✓ Les teneurs en Cu EDTA diminuent pour redevenir identique à MIN dans les horizons superficiels.
- ✓ Dans les horizons inférieurs (20-40 et 40-60 cm) peu d'évolution,

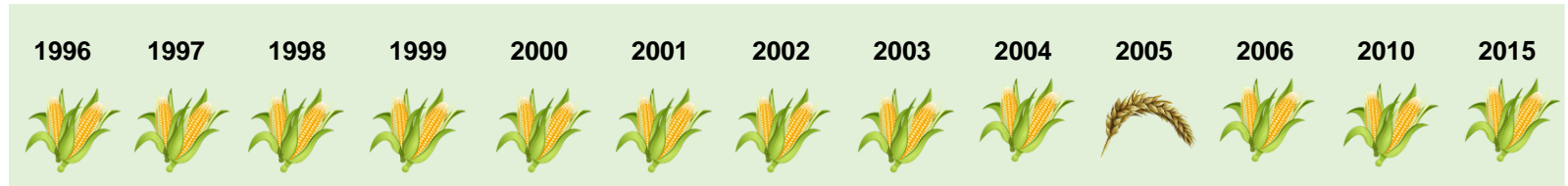
- ✓ Les teneurs en Zn diminuent également
- ✓ Pour le Traitement avec boues chaulées (BCH) en 2015, les teneurs de 4 horizons restent supérieures à celles de MIN.

Un effet sur la mobilité plus marqué avec apport de boues chaulées

✓ Aucun effet des épandages de boues sur la mobilité du plomb.

✓ Pas effet sur la qualité des cultures

Teneurs dans les grains

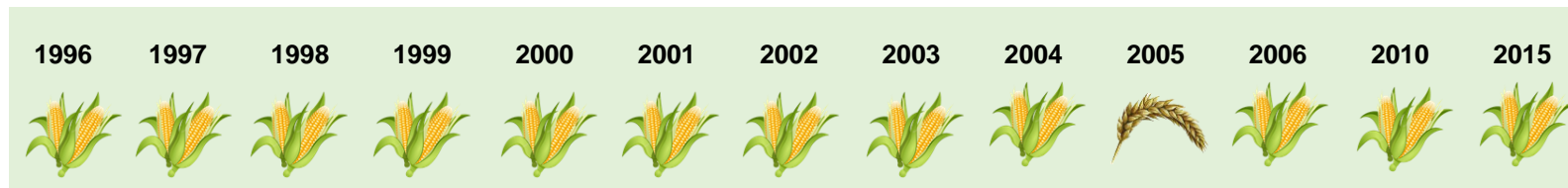


Teneurs dans les grains en comparaison à MIN

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2010	2015	
BCH / MIN	+ Zn					- Ni	- Mn		- Mn		- Ni	- Cd + Hg + Mo - Mn	+ Mo	
BOUE / MIN	+ Zn		+ Mo							- Ni	+ Hg	+ Zn	+ Se	

- ✓ Pour le Cd, le Zn, le Hg, le Mo et le Se des différences entre les traitements avec boues et MIN uniquement 1 récolte sur 13.
- ✓ Moins de Mn dans les grains du traitement avec apports de boues chaulées (BCH) dans les grains de 3 récoltes (2001, 2003 et 2005) sur 13.

✓ Pas effet sur la qualité des résidus de récolte



Teneurs dans les résidus en comparaison à MIN

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2010	2015
BCH / MIN	- Mn				- Cd - Mn		- Cd - Mn	- Cd - Mn	- Cd + Co + Mo - Mn + Se - Zn	- Cd + Mo - Mn	- Cd + Mo - Mn	- Mn + Ni	- Cd
BOUE / MIN		+ Ni			+ Co		+ Hg		+ Cr + Ni + Mo	- Cd + Zn	+ Co + Cr + Zn	+ Zn	

- de Cd dans les résidus de cultures fertilisées avec des boues chaulées (BCH) de 7 récoltes sur 13.
- de Mn dans les résidus de cultures de 8 campagnes prélevées sur 13.

Les autres différences apparaissent pour 1 ou 2 récoltes voire 3 uniquement pour le Mo et le Zn.
Rappel les résidus de cultures retournent au sol.

En conclusion :

Les boues se substituent efficacement à une partie des engrais : NP (CaO)

On ne constate pas d'atteinte à la fertilité des sols ni à la qualité des cultures par rapport à une fertilisation minérale classique

Les différences de mobilité des éléments traces liées aux apports de boues sont réversibles.

10 ans après l'arrêt des épandages, le sol n'est pas encore revenu à son état initial (pH, notamment)

