

# ZOOM SUR ... LE SITE EXPERIMENTAL DE LONGUE DUREE ET DE PLEIN CHAMP D'ENSISHEIM

Ce dispositif expérimental de plein champ a été mis en place, en 1995, chez un exploitant agricole qui n'utilisait pas de produit résiduaire organique, avec une vocation de démonstration, et pour répondre aux questions concrètes et légitimes des exploitants agricoles : des épandages de boues, réalisés selon la réglementation en vigueur, génèrent-ils un risque de dégradation de la qualité des sols et des récoltes, comparés à une fertilisation minérale classique ?

A l'issue des 10 premières années d'expérimentation, parti a été pris de prolonger le suivi, pour évaluer l'aptitude du sol à revenir à son état initial, en particulier pour les paramètres pour lesquels une évolution a été constatée durant la 1<sup>er</sup> phase.

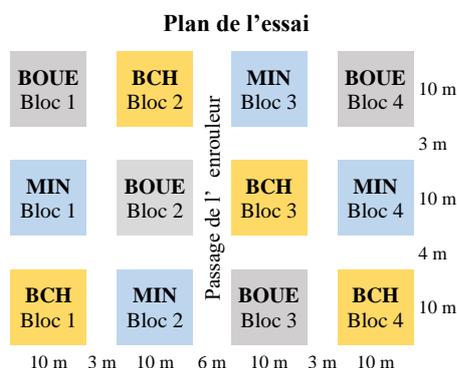
## UN DISPOSITIF EN BLOC POUR COMPARER 3 MODES DE FERTILISATION

■ **BCH** : une boue urbaine biologique déshydratée chaulée complétée par des engrais N, P, K

■ **BOUE** : une autre boue urbaine biologique déshydratée non chaulée complétée en engrais N, P, K

■ **MIN** : une fertilisation minérale témoin avec des engrais N, P, K

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



## 20 ANS D'EXPERIMENTATION

- 5 épandages de boues réalisés sur 10 ans : les 2 premiers, à une dose de 20 t de MB, les 3 suivants, à la dose de 15 t de MB.
- Un état initial permet de caractériser le sol, en novembre 1995 avant le 1<sup>er</sup> épandage de boues.
- Des campagnes de prélèvements de terre pour évaluer les évolutions entre 2 épandages, suivies d'un état final de la 1<sup>er</sup> phase en 2006.
- Durant la 2<sup>em</sup>e phase, un suivi régulier du pH du sol (considéré comme indicateur d'évolution) et 2 campagnes complètes de prélèvements menées en 2010 et 2015.
- 10 cultures de maïs et 1 culture de blé prélevées durant la 1<sup>er</sup>e phase de l'essai (grains et résidus), puis 2 maïs durant la 2<sup>em</sup>e phase.

### Calendrier des 20 ans d'expérimentation

		1 <sup>er</sup> phase										2 <sup>em</sup> phase					
		← Prélèvements et analyses - des grains et des résidus →															
		← - des intrants →															
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	...	2010	...	2015
<b>BCH</b>	boues	Nov. 20 t MB			Nov. 20 t MB			Nov. 15 t MB		Mars 15 t MB	Mars 15 t MB						
	engrais		N K	N K	N K	N K	N K	N K	N K	N K	N K	N	N K	N	N	N	N
<b>BOUE</b>	boues	Nov. 20 t MB			Nov. 20 t MB			Nov. 15 t MB		Mars 15 t MB	Mars 15 t MB						
	engrais		N(P)K	N K	N K	N K	N K	N(P)K	N K	N K	N K	N	NPK	N	N	N	N
<b>MIN</b>	engrais	/	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	NPK	N	NPK	N	N	N	N	
- des sols		Nov.			Oct.			Oct.			Fév.		Nov.		Nov.	Nov. (pH)	Nov.

N : azote P : phosphore K : potassium

## 5 EPANDAGES DE BOUES ET UNE COMPLEMENTATION MINERALE TOUS LES ANS

Les épandages de boues sont réalisés à la fourche. Les boues sont ensuite enfouies par labour, jusqu'en 2001, puis par un travail du sol superficiel sur 5 cm. Les épandages d'engrais sont réalisés à la main, les doses étant différentes pour chaque traitement.



Cumuls des quantités apportées, de 1995 à 2006

Boues (5 apports)	Seuil de l'arrêté du 08/01/98 pour les boues	Apports d'engrais en t/ha d'engrais		
		Ammonitrate 33,5 %	Super phosphate 45 %	Chlorure de potassium 60 %
Apports en t/ha de MS hors chaux				
BCH	20,7 t	3,9 t	/	2,3 t
BOUE	13,3 t	4,0 t	0,6 t	2,3 t
MIN	/	5,4 t	2,0 t	2,3 t

Les boues, les doses et les périodes d'épandage sont conformes à la réglementation et plus particulièrement aux textes pris en application de la Directive Nitrates et reflètent les pratiques locales du moment. La dose d'azote apportée repose sur la méthode du bilan simplifié. La complémentarité minérale en engrais de BCH et BOUE est calculée pour que les quantités éléments N, P et K disponibles pour la culture soient identiques. Les coefficients de disponibilité de l'azote des boues ont été revus au cours de l'essai, suite aux résultats obtenus. De plus, pour la boue chaulée, les coefficients ont été réévalués par tests de minéralisation en laboratoire, car, à partir du 3<sup>ème</sup> apport, la boue n'était plus issue de la même station d'épuration. Le phosphore disponible a été évalué, en première approche, à 70 % pour la boue chaulée et 100 % pour la boue.

Disponibilité de l'azote des boues prise en compte pour le calcul de la fertilisation durant la 1<sup>ère</sup> phase (exprimée en % de l'azote apporté)

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
BCH	Boue du SITEUCE	50	7*	7*	60	7*	5*					
	Boue de Ruelisheim							33	33	33	5*	0*
BOUE	Boue d'Ensisheim	50	7*	7*	35	5*	0*	45	45	45	5*	0*

\* estimation de l'arrière effet de l'épandage des boues

## DES BOUES ET DES ENGRAIS CARACTERISES A CHAQUE APPORT

Les boues sont analysées lors de chaque apport : paramètres agronomiques, 13 ETM et CTO (16 HAP et 7 PCB). Les 13 ETM sont analysés chaque année dans les 3 engrais.

Cumuls d'ETM apportés par les boues et les engrais de 1995 à 2006

en g/ha	As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
BCH	156	869	41	99	1 085	5 664	23	7 110	85	702	1 670	53	19 272
BOUE	37	424	35	41	536	4 561	11	3 068	100	272	1 031	23	14 185
MIN	25	226	74	5	406	105	1	166	22	91	7	8	1017

Les boues sont conformes.

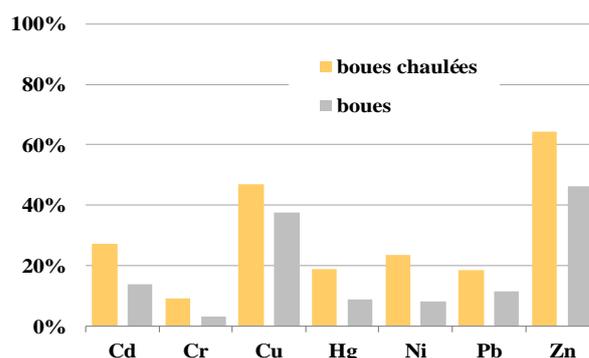
L'engrais phosphaté présente des teneurs relativement élevées en Cadmium.

Les flux d'ETM par traitement (boues + engrais) sont très différents : moins de cadmium apporté sur BOUE et BCH que sur MIN. A l'inverse, les autres ETM sont apportés en plus grande quantité sur BOUE et BCH que sur MIN. La différence la plus notable concerne le Plomb.

Les cumuls de flux en ETM des 5 apports de boues sont loin des seuils réglementaires imposés par l'arrêté du 08/01/98 sur 10 ans.

Les teneurs en CTO sont souvent inférieures, voir proches de la limite de quantification du laboratoire.

Flux apportés par les 5 épandages de boues en pourcentage du seuil réglementaire sur 10 ans (arrêté du 08/01/98)



## DIVERSES INTERVENTIONS SUR LE SITE ET DE NOMBREUX ECHANTILLONS ANALYSES ET CONSERVES

### ▪ Des fosses pédologiques pour caractériser les profils de sol

A l'état initial comme à l'état final de la 1<sup>ère</sup> phase de l'essai, des fosses pédologiques ont été ouvertes : une fosse en 1995 dans l'inter-bloc, puis, en 2006, une fosse par traitement dans le bloc 3.

En 2015, 3 fosses ont été creusées dans le bloc 2. Le pédologue a effectué des prélèvements pour analyses des paramètres agronomiques et des mesures de densité apparentes, en plus de ses observations des profils.



### ▪ Des campagnes de prélèvements de terre, pour piloter l'essai ou évaluer la qualité des sols



Les prélèvements de terre sont effectués à la tarière à main dans chacune des 12 microparcelles. 16 carottes ont été prélevées pour les analyses des paramètres agronomiques, éléments traces métalliques et composés traces organiques.

8 carottes sont prélevées pour les reliquats azotés, les mesures du phosphore ou le suivi du pH, nécessaires au pilotage du site.

3 horizons ont été prélevés jusqu'en 2001, soit 36 échantillons analysés à chaque campagne. Puis, consécutivement à la mise en oeuvre de la pratique du non-labour, l'horizon 0-20 cm a été scindé en 2 : 0-5 et 5-20 cm, soit 48 échantillons analysés lors des 4 dernières campagnes d'analyses.

### ▪ La récolte des végétaux, pour évaluer les biomasses et évaluer la qualité des grains et résidus

Les épis de maïs sont récoltés sur 18 m, 9 m linéaires sur 2 rangs. Ils sont ensuite battus et séchés pour détermination du rendement grains. Les résidus de culture de ces 18 m sont également récoltés, et on y ajoute ensuite les rafles pour déterminer les biomasses des résidus de récolte.

25 épis de maïs sont prélevés de manière aléatoire dans chaque microparcelle. Ils sont battus à la main pour limiter les contaminations métalliques. 5 plantes correspondantes sont prélevées, on y ajoute les rafles. Les échantillons de grains, d'une part, et les résidus de récoltes (tiges + feuilles + rafles + spathes), d'autre part, sont ensuite séchés et broyés pour être analysés.



Pour le blé, les épis de 3 répétitions de 1 m<sup>2</sup> sont récoltés dans chaque parcelle. Les résidus de récolte sont prélevés sur la même surface. Après battage des épis, on ajoute les glumes et glumelles aux tiges et feuilles pour déterminer les rendements et pour les analyses.

### ▪ Une échantillothèque, où sont conservés tous les échantillons prélevés



Dans cette échantillothèque, localisée en sous-sol à l'INRA, sont conservés :

- + de 1000 échantillons de terre,
- + de 400 échantillons de végétaux : grains, résidus de récolte, tiges + feuilles, épis et feuilles de l'épis,
- + une trentaine d'échantillons d'engrais,
- + quelques échantillons de boues (plus difficiles à conserver).

### ▪ Des analyses effectuées par le même laboratoire depuis le démarrage de l'essai

Les échantillons de boues, engrais, terres et végétaux sont tous analysés par le même laboratoire depuis 1995, à l'exception des extractions des ETM au CaCl<sub>2</sub>, effectuées en 2006 par le laboratoire de l'INRA d'Arras. Malgré cette précaution, en 20 ans, certaines méthodes analytiques ont évolué. En 1995, les extractions pour l'analyse des ETM dans les terres étaient, par exemple, faites à l'eau régale et par HF les années suivantes.

## LES BOUES : UN FERTILISANT EFFICACE

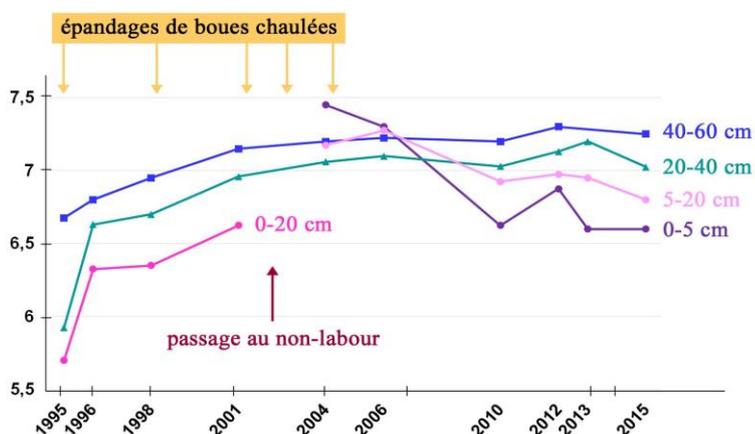
Les épandages de boues se substituent efficacement aux engrais minéraux, pour une partie de la fertilisation. En effet, aucune différence significative entre traitements n'est constatée sur les rendements en grains des différentes années de récolte.

On retiendra, dans la pratique :

- un coefficient équivalent engrais de 100 % pour le **phosphore** apporté par les boues, qu'elles soient chaulées ou non, en situation de sol décarbonaté. Compte tenu des quantités apportées à chaque épandage, une impasse peut être envisagée sereinement, y compris pour des cultures exigeantes, lorsque le sol est correctement pourvu au départ.
- les boues n'apportant pas de **potasse**, cet élément doit être géré indépendamment des apports de boues.
- un coefficient de disponibilité de l'**azote** apporté par les boues, en effet direct, d'au moins 30 % pour les boues (BOUE) et de 50% pour les boues chaulées (BCH), en sols décarbonatés. La meilleure disponibilité de l'azote des boues chaulées est certainement due à l'effet positif résultant du relèvement du pH du sol, qui dynamise le fonctionnement des microorganismes du sol intervenant dans la minéralisation de l'azote.

## LES BOUES CHAULEES : UN AMENDEMENT BASIQUE DURABLE

Evolution du pH sol du traitement BCH



Le sol présente, à l'état initial, un pH acide en surface, mais plus neutre à partir de 40 cm.

A l'issue de 5 apports de boues chaulées, le pH du sol est relevé, en moyenne, de 1,5 points dans l'horizon de surface.

En 2015, soit 11 ans après le 5<sup>ème</sup> et dernier épandage de boues, l'impact de l'épandage de boues chaulées pour le traitement BCH sur le pH et l'état calcique du sol (CaO échangeable) est toujours visible. Le sol n'est pas encore revenu à la situation initiale.

Différences significatives observées statistiquement pour le pH et la teneur en CaO en g/kg de MS pour le traitement BCH en comparaison à MIN

horizons	pH (BCH-MIN)			CaO (BCH/MIN)		
	2006 1 an après le dernier épandage	2010 6 ans après le dernier épandage	2015 11 ans après le dernier épandage	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	+ 72 %	+ 27 %	=
5-20 cm	+ 1,10 pt	+ 0,93 pt	+ 0,50 pt	+ 41 %	+ 30 %	+ 16 %
20-40 cm	+ 0,64 pt	+ 0,63 pt	+ 0,57 pt	+ 17 %	+ 23 %	+ 20 %
40-60 cm	+ 0,37 pt	+ 0,42 pt	+ 0,43 pt	=	=	=

« + » signifie que l'analyse statistique conclut que la valeur pour le paramètre analysé est supérieure pour BCH à celle de MIN.

La différence de pH diminue dans les 3 premiers horizons depuis 2006 entre le traitement avec apports de boues chaulées et le témoin fertilisation minérale, mais elle augmente dans l'horizon le plus profond. Il semble que les carbonates issus de la chaux migrent progressivement vers la profondeur.

## PAS D'EFFET DES BOUES VISIBLE SUR LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

En comparaison du traitement minéral, les apports de boues n'influent pas notablement la teneur en matière organique du sol. L'effet des boues est masqué, d'une part, par l'enfouissement des résidus de cultures et, d'autre part, par la technique culturale du non labour employée sur le dispositif depuis 2001. A l'issue de l'essai, et quel que soit le traitement, le stock de matière organique a augmenté de 32 % par rapport à l'état initial.

## PAS D'ATTEINTE A LA FERTILITE DU SOL APRES 5 APPORTS DE BOUES

Aucune atteinte à la fertilité du sol n'a été mise en évidence à travers cette expérimentation qui représente les pratiques normales d'usage des boues de stations d'épuration urbaines.

Même si des augmentations de teneurs sont constatées par analyses statistiques dans le sol des parcelles ayant reçu 5 apports de boues, principalement pour trois éléments traces (Cu, Zn et Hg) sur les 14 analysés, ces augmentations restent minimales comparées à une fertilisation minérale classique.

### ▪ De très faibles augmentations des teneurs pour 3 ETM sur les 14 analysés, augmentations attendues d'après les bilans

A noter que ces augmentations sont mises en évidence uniquement dans les horizons d'incorporation des boues. Concrètement cela correspond à une **augmentation de teneur dans le sol de : 0,006 mg/kg MS de Hg, 1 mg/kg MS pour le Cu et 3 mg/kg MS pour le Zn.**

Ces augmentations étaient attendues, au vu des calculs de bilan effectués (élément apporté – élément exporté). Les teneurs restent néanmoins dans la moyenne nationale pour ces éléments et largement inférieures aux seuils réglementaires pour l'épandage de boues ( $\approx 20\%$  du seuil pour le cuivre et le zinc et  $5\%$  pour le mercure).

**Différences statistiques observées dans les traitements BCH et BOUE en comparaison à MIN pour les ETM, des 3 campagnes de prélèvements de terres (2006, 2010 et 2015) réalisées après 5 épandages de boues**

horizons	Conclusions statistiques		Teneurs en ETM en mg/kg de MS				Moyenne sols français (GISSol 2011)	Seuil arrêté du 08/01/98
	BCH/MIN	BOUE/MIN	BCH	BOUE	MIN			
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	

« + » signifie que l'analyse statistique conclut que la teneur pour l'ETM analysé est supérieure pour BCH ou BOUE à celle de MIN.

### ▪ Des différences constatées pour 2 autres éléments traces dans les sols

On constate une augmentation de la teneur en fer, dans les terres après apports de boues chaulées uniquement, dans 2 horizons, mais pour cet élément les calculs de bilan n'ont pas pu être réalisés. Il n'y a pas de seuil réglementaire pour le fer, il n'était donc pas systématiquement analysé auparavant. Une hypothèse pourrait expliquer cette légère augmentation : le phosphore était traité par ajout de chlorure ferrique dans le bassin d'aération de la station d'épuration qui produisait les boues chaulées.

Concernant la teneur moindre en manganèse, dans l'horizon le plus profond du traitement avec apport de boues, il n'y a aucune explication.

**Différences statistiques observées dans les traitements BCH et BOUE en comparaison à MIN pour les ETM, des 3 campagnes de prélèvements de terres (2006, 2010 et 2015) réalisées après 5 épandages de boues**

horizons	Conclusions statistiques		Teneurs en ETM en mg/kg de MS		
	BCH/MIN	BOUE/MIN	BCH	BOUE	MIN
5-20 cm	+ 10 % de Fe		26 175	25 258	23 775
20-40 cm	+ 6 % de Fe	/	29 475	27 050	27 743
40-60 cm	/	- 5 % de Mn	899,1	882,5	935,8

### ▪ Des teneurs en CTO indécélables dans les sols

Concernant les **Composés Traces Organiques (HAP et PCB)** mesurés dans les terres en 2004 et 2006, les teneurs mesurées sont systématiquement **inférieures aux limites de quantification** du laboratoire.

## DES DIFFERENCES DE MOBILITE DES ETM APRES 5 APPORTS DE BOUES

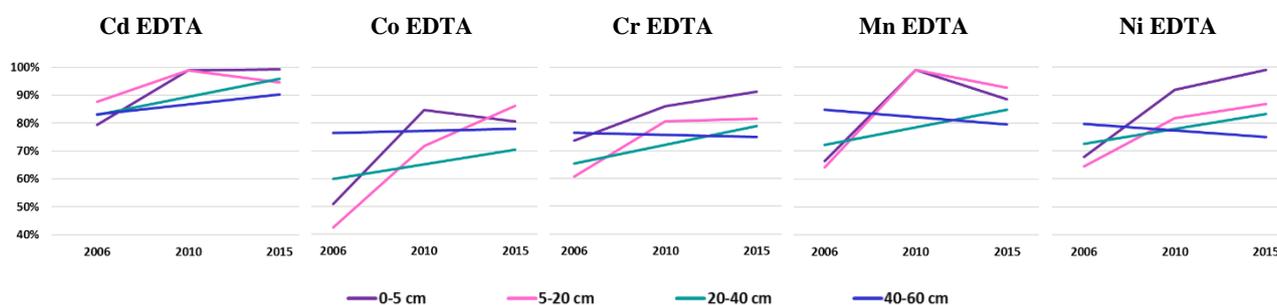
La **mobilité de 8 éléments traces métalliques (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn)** est évaluée, au laboratoire, au moyen de 2 extractants (EDTA et CaCl<sub>2</sub>). La mobilité des éléments traces, à l'exception du Plomb, évolue dans le temps en fonction de deux critères prioritaires : le pH et le taux de matière organique du sol.

### ▪ 5 éléments traces dont la mobilité est limitée par effet pH

Une augmentation du pH du sol a tendance à limiter la mobilité de certains éléments traces. Ceci est confirmé dans le traitement BCH pour 5 éléments traces : Cd, Co, Cr, Mn et Ni.

En 2006, 2 ans après le dernier épandage de boues chaulées, les teneurs en éléments EDTA des sols sont inférieures à celles du témoin minéral. Ces éléments sont donc considérés comme moins disponibles pour les cultures. Au fur et à mesure du temps, les teneurs augmentent progressivement dans tous les horizons, sauf dans 20-40 cm, pour devenir identiques à celle de la fertilisation minérale. C'est, en effet, dans l'horizon 20-40 cm, que la différence de pH entre le traitement avec apports de boues chaulées et la fertilisation minérale reste encore la plus marquée en 2016 (+ 0,57 pt de pH).

Evolution des teneurs en éléments échangeables et complexés du traitement BCH en % du témoin MIN

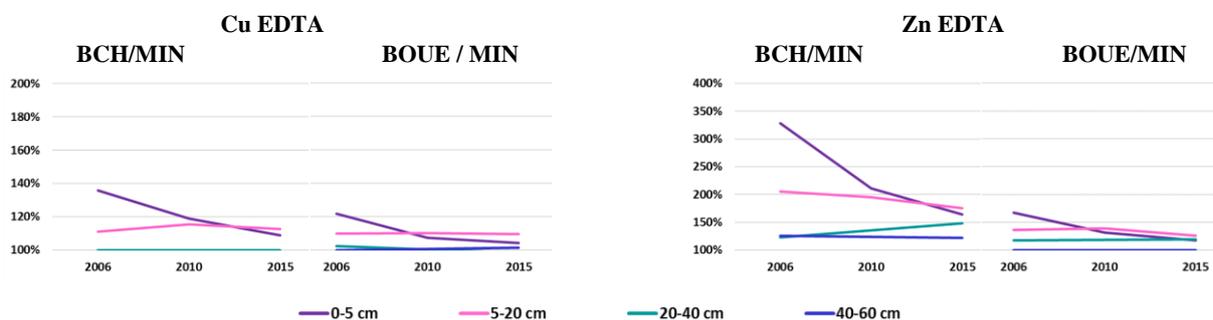


### ▪ 2 éléments traces dont la mobilité est accrue

A l'inverse, la mobilité du Cu et du Zn est augmentée dans les deux traitements boues. Elle est davantage à mettre en relation avec les quantités apportées, d'une part, et la teneur en matière organique du sol, d'autre part.

Dans les traitements avec des boues chaulées, comme ceux avec des boues, la disponibilité du Cu et du Zn est accrue par rapport au témoin minéral, en 2016. La différence est beaucoup plus marquée pour le Zn : jusqu'à 3 fois plus de Zn disponible, en 2006 après 5 épandages de boues chaulées, que pour une fertilisation minérale. Là aussi, les teneurs diminuent progressivement depuis l'arrêt des épandages pour redevenir identiques à celle d'une fertilisation minérale classique.

Evolution des teneurs en éléments échangeables et complexés des traitements BCH et BOUE en % du témoin MIN



Les extractions faites au CaCl<sub>2</sub>, qui permettent d'estimer les éléments échangeables, montrent en 2015 que la teneur en Mn est moindre pour BCH dans les 3 premiers horizons : le traitement avec apports de boues chaulées présente moins de Mn par rapport au témoin fertilisation minérale (50 % de MIN). On observe également moins de Ni échangeable dans le traitement fertilisé avec des boues chaulées dans les horizons 5-20 et 20-40 cm (40 % de MIN). Dans l'horizon 20-40 cm, le Co échangeable est également moins présent (30 % de MIN).

**11 ans après l'arrêt des épandages, la mobilité de la plupart des éléments traces n'est pas redevenue identique à celle du témoin MIN, à l'instar du paramètre pH ou du taux de carbonatation du sol.**

## AUCUN EFFET SUR LA QUALITE DES CULTURES

Les épandages de boues comparés à une fertilisation minérale classique sont **sans conséquence sur la qualité des récoltes et des résidus de cultures**.

### ▪ Pas d'effet répété sur les teneurs dans les grains analysés

Si des différences sont observées dans les grains de maïs, elles ne se répètent pas dans le temps, à l'exception du manganèse et du nickel. Il y a, en effet, moins de manganèse et de nickel dans les grains issus des traitements avec apports de boues chaulées, pour 2 des 13 années culturales suivies. On ne peut cependant pas encore parler de tendances.

Pour les grains de blé récoltés en 2015, des différences sont observées pour 5 ETM sur 14. Il s'agit, soit d'un artefact de l'année, soit la culture de blé est plus facilement impactée.

Conclusions statistiques sur les teneurs des 14 ETM totaux des traitements BCH et BOUE en comparaison à MIN, des 13 campagnes de prélèvements des grains

	Récoltes après arrêt des épandages												
	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		

« + Zn » indique que BOUE ou BCH présente une teneur en Zn dans les grains, statistiquement plus élevée que celle de MIN.

### ▪ Moins de Cd et de Mn prélevés par les résidus de culture fertilisés avec des boues chaulées

Des différences apparaissent ponctuellement pour certains ETM dans les résidus de culture.

A noter toutefois que pour le Cadmium et le Manganèse, les résidus de récolte (tiges + feuilles + rafles + spathes) de maïs du traitement fertilisés avec des boues chaulées en contiennent moins 6 années sur 12. La tendance est donc confirmée.

Les résidus de cultures ne sont pas exportés et retournent au sol.

Conclusions statistiques sur les teneurs des 14 ETM totaux des traitements BCH et BOUE en comparaison à MIN, des 13 campagnes de prélèvements des résidus de récolte

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

## RETOUR D'EXPERIENCE

Après 20 ans d'expérimentations, de nombreux enseignements sont à tirer, concernant ce site expérimental.

### Le dispositif

- Il aurait été intéressant que la boue chaulée, soit issue de la même station d'épuration que la boue non chaulée. Les 2 boues épandues étant issues de 2 stations différentes, elles présentent des caractéristiques différentes qui ne permettent pas d'observer l'impact de la chaux seule en comparant les 2 traitements.
- Un ou deux apports supplémentaires de boues auraient pu être réalisés pour maximiser les flux, tout en respectant la réglementation.
- La taille des parcelles (100 m<sup>2</sup>) est un peu limite, compte-tenu de la durée de l'essai et du nombre de prélèvements effectués.
- Le bornage régulier des parcelles, par un géomètre, est indispensable pour ce type d'essai de longue durée.
- Ce type de dispositif de longue durée nécessite une vigilance toute particulière, la moindre erreur, de fertilisation notamment, peut avoir des répercussions pendant plusieurs années.

### La conduite du dispositif par un agriculteur

En dehors des prélèvements, des apports de boues et engrais, les travaux sont réalisés par l'agriculteur, comme sur le reste de sa parcelle (semis, désherbage, irrigation, ...).

- Le choix de l'itinéraire technique est contraint par les choix de l'exploitant pour sa parcelle. Ainsi, au cours de l'essai, l'agriculteur a décidé de passer sa parcelle en non-labour, en 2001. Les horizons de prélèvements de sol ont donc été modifiés (horizon 0-20 scindé en 0-5 et 5-20 cm), ce qui complique l'exploitation des résultats de l'essai et en particulier, le suivi pluriannuel.

### Les analyses faites par laboratoire

Même si la précaution a été prise de faire appel au même laboratoire depuis 1995 pour les analyses, les méthodes d'analyses évoluent au cours du temps. Veiller à garder la même méthode ou à recalibrer les méthodes entre elles.

Veiller également à faire passer des témoins dans les séries analytiques pour appréhender les écarts de mesure. Une vigilance particulière, sur ce point, doit notamment être portée aux analyses qui ne sont pas normalisées

### La base de données et le traitement des données

- L'intégration des données dans une base de données est essentielle. Les données sont d'ailleurs préparées pour leur intégration dans la base de données nationale gérée par l'INRA. Les modalités d'accès aux données et de leur utilisation doivent cependant être formalisées.
- Le traitement statistique des données présente parfois des difficultés. Il est, en effet, nécessaire d'établir, et ce, dès le début du traitement, la gestion des résultats d'analyses inférieurs à la limite de quantification du laboratoire, ou la gestion des résidus suspects, par exemple.
- Certains résultats statistiques sont à relativiser au vu des différences mise en évidence. C'est le cas, par exemple du Mercure dans le sol de cet essai.
- Compte tenu de la masse de données à traiter, et des interactions entre les différents paramètres, il est difficile d'établir des conclusions simples, pouvant être valorisées concrètement sur le terrain

### L'échantillothèque

La conservation de tous les échantillons, boues, engrais, sol et végétaux est indispensable. Cependant, l'échantillothèque doit permettre un stockage des échantillons dans de bonnes conditions (contenant, température, humidité).

- Porter une attention toute particulière à la conservation de l'état initial du sol
- Attention également à la gestion de ces échantillons, envoi pour analyses complémentaires et retour du laboratoire en termes de quantité.
- Le séchage pour conservation des échantillons doit être réalisé, sans qu'il induise des modifications sur l'échantillon.



L'essai d'Ensisheim a confirmé l'intérêt agronomique des boues, sans générer d'impact négatif supplémentaire par rapport à une fertilisation minérale classique que ce soit sur la fertilité des sols ou sur la qualité des cultures.

Cet essai est un des rares dispositifs en France, suivi sur 20 ans avec autant de mesures d'après le recensement des essais du CASDAR Pro.



Les données et les échantillons de cet essai constituent un support pour d'autres études ou recherche. Ces données pourraient être traitées par des experts sur des thématiques non explorées pour le moment.

Clôture de l'essai menée avec le soutien financier de

