

# Essai au champ de longue durée d'Ensisheim : présentation du protocole

Magali IMHOFF<sup>1</sup>, Anne SCHAUB<sup>1</sup>, Nathalie VALENTIN<sup>1</sup>,  
Denis MONTENACH<sup>2</sup>, Sabine HOUOT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Association pour la Relance Agronomique en Alsace - Mission recyclage agricole du Haut-Rhin  
Bâtiment Europe – 2, allée de Herrlisheim – 68000 Colmar [secretariat@mra68.net](mailto:secretariat@mra68.net)

<sup>2</sup> INRA Colmar, SEAV - 28, rue de Herrlisheim - BP 20507 - 68021 Colmar

<sup>3</sup> INRA Grignon, UMR Environnement et Grandes Cultures - F 78850, Thiverval-Grignon

## Présentation du dispositif

L'essai a été mis en place en 1995 sur une parcelle d'agriculteur, et s'est terminé en 2006, après 11 campagnes culturales.

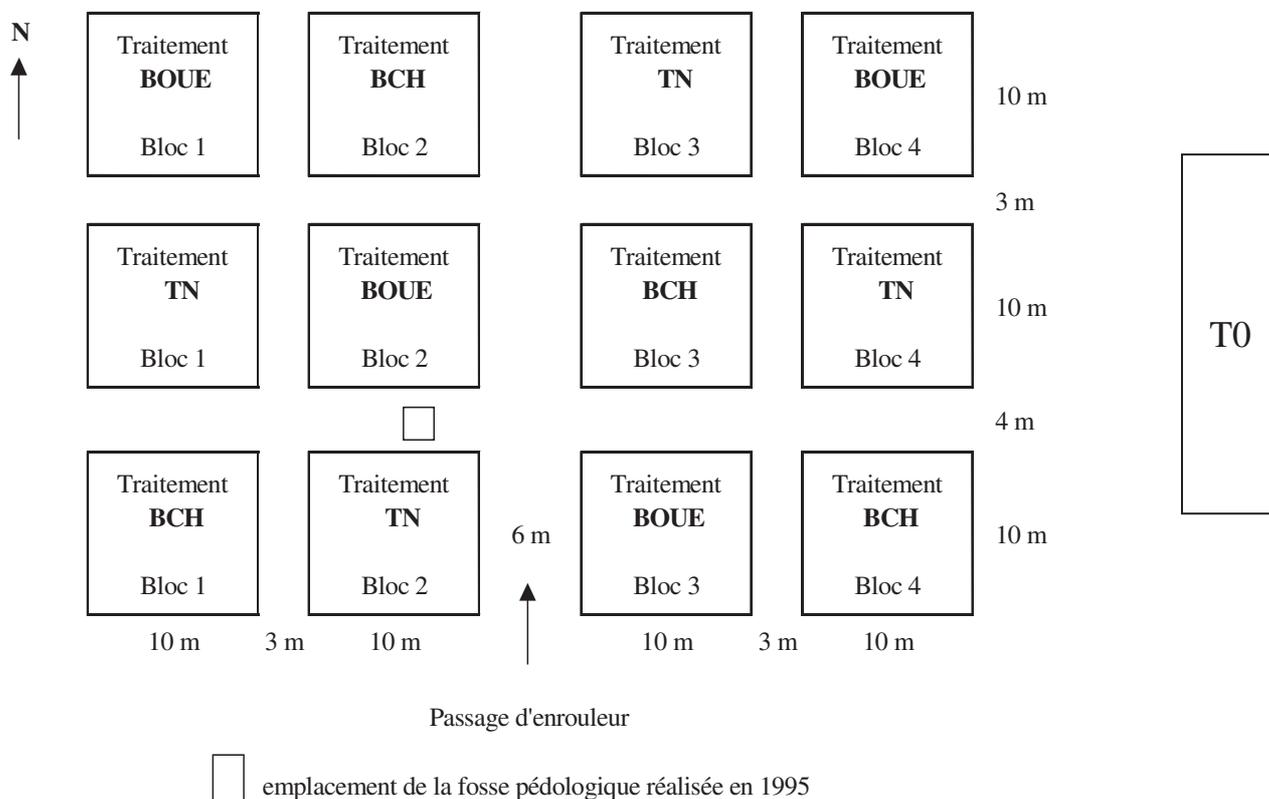
Le dispositif expérimental est de type bloc, comprenant 4 répétitions de 3 traitements (*Figure 1*) :

- une **fertilisation minérale** exclusive, N, P, K « **TN** »
- une **boue urbaine** biologique déshydratée **chaulée** complémentée par des engrais minéraux N, P, K « **BCH** »
- une **boue urbaine** biologique déshydratée **non chaulée** complémentée par des engrais minéraux N, P, K « **BOUE** »

Soit, 12 micro-parcelles de 10 x 10 m chacune, séparées par des bandes tampons de 3 ou 6 m.

En complément, une micro-parcelle « **T0** » sans engrais azoté ni boue, dont l'emplacement change chaque année, permet d'évaluer les fournitures en azote du sol.

**Figure 1 : Plan du site expérimental d'Ensisheim**



## Le contexte pédo-climatique

- ❖ Le sol du site est un sol brun décalcifié rougeâtre, moyennement profond à profond, sur gravier rhénan (néoluvisol fersialitique caillouteux).
- ❖ Sa texture est limono-argilo-sableuse à argilo-limono-sableuse.
- ❖ Son pH initial est à peine de 6 en surface. Ce dernier critère a été volontairement choisi à la limite réglementaire (pH 6), de façon à maximiser la probabilité de transfert des éléments traces vers les cultures et à identifier l'effet chaux de la boue chaulée.
- ❖ Un état initial du sol a été effectué au démarrage de l'essai : analyses paramètres physico-chimiques classiques, des éléments et composés traces dans chaque horizon du sol.
- ❖ Le climat est semi continental, froid en hiver, chaud en été, globalement sec, avec des précipitations plus importantes en fin de printemps et début d'été et plus rares en hiver.

## Itinéraire technique de la parcelle

- ❖ L'essai a pour rotation la monoculture de maïs grain irrigué, sauf en 2005 où un blé a été implanté.
- ❖ Les variétés cultivées sont de 1996 à 1998 « Pactol », de 1999 à 2001 « Clarica », de 2001 à 2003 « Bénicia », en 2005 « Apache » et en 2006 « DK315 ».
- ❖ La parcelle est cultivée en non labour depuis la campagne 2001, avec un travail superficiel sur 5 cm, sans retournement.
- ❖ Les grains récoltés sont exportés, les résidus de culture retournent au sol.

## La fertilisation

### ❖ La fertilisation organique :

- Les épandages de boues sont réalisés à la fourche. Les boues sont ensuite enfouies par labour (jusqu'en 2001) ou par un travail du sol superficiel sur 5 cm.
- Les doses d'épandage pratiquées reflètent ce qui est réellement pratiqué dans le secteur, soit 20 t MB/ha par épandage pour les 3 premiers épandages et 15 t MB/ha pour les 2 derniers tous les 3 ans.
- Les boues, les doses et les périodes d'épandage sont conformes à la réglementation sur le recyclage agricole et à la directive « Nitrates », puisque l'essai est situé en « zone vulnérable ».
- 5 épandages ont été réalisés en 11/95, 11/98, 11/01, 03/03 et 03/04, pour un total de 20,7 tonnes de matière sèche hors chaux (soit 27,3 t MS totale) pour les boues chaulées et 13,3 tonnes de MS pour les boues non chaulées.

### ❖ La fertilisation minérale :

- Les épandages d'engrais N, P et K sont réalisés à la main, les doses apportées étant différentes pour chacun des 3 traitements.
- Les deux traitements comportant des boues sont complétés par une fertilisation minérale de façon à ce que les différents traitements soient à des niveaux équivalents en éléments N, P et K supposés disponibles pour la culture, en provenance des boues et des engrais. Le calcul des doses d'azote repose sur la méthode du bilan simplifié. La disponibilité du phosphore de la boue chaulée a été évaluée à 70 % équivalent engrais et celle de la boue non chaulée à 100 %.

## Les paramètres suivis

### ❖ Les paramètres analysés dans le sol sont (*tableaux 1 et 2*) :

- des paramètres agronomiques classiques (C organique, pH, CEC...)
- des reliquats azotés
- le phosphore Olsen
- le phosphore isotopiquement échangeable
- les éléments traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, B, Co, As, Mn)
- les éléments traces extractibles à l'EDTA (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Mn)

- les éléments traces extractibles au CaCl<sub>2</sub> (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Mo, Mn)
- les composés traces (PCB 23, 52, 101, 118, 138, 153, 180, benzo(a) pyrène, benzo(b)fluoranthène, fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1.2.3.-cd)pyrène, acénaphthylène, acénaphène, fluorène, phénanthrène, anthracène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, dibenzo(ab)anthracène, naphthalène).
- la biomasse microbienne
- la diversité microbienne
- le dénombrement et l'identification des lombrics.

Les prélèvements sont effectués à la tarière manuelle. Dans chaque micro-parcelle, pour chaque horizon, un échantillon moyen est constitué à partir de 16 prélèvements élémentaires (8 seulement pour les analyses des reliquats azotés et du phosphore) pour chaque horizon.

**Tableau 1 : Récapitulatif des analyses réalisées sur les 12 micro-parcelles de l'essai.**

Année	Période	Paramètres agronomiques				Eléments traces			CTO
		Reliquats N	C orga, pH, CEC ...	P Olsen	P isotopique	totaux	EDTA	CaCl <sub>2</sub>	HAP et PCB
1995	Nov. (état initial)		X	X	X	X			X
1996	Avr. (avant semis)	X							
	Nov. (après récolte)	X		X	X				
1997	Oct. (après récolte)	X		X	X				
1998	Oct. (entre récolte et épandage)	X		X	X	X			
1999	Avr. (avant semis)	X							
	Nov. (après récolte)	X		X	X				
2000	Oct. (après récolte)	X		X					
2001	Mai (avant semis)	X							
	Oct. (entre récolte et épandage)	X	X	X		X			X
2002	Mai (avant semis)	X							
	Nov. (après récolte)	X		X					
2003	Oct. (après récolte)	X		X					
2004	Mars (avant épandage)		X			X	X	X	X
2005	Fév. (sous blé)	X							
2006	Nov. (état final)		X		X	X	X	X	

**Tableau 2 : Récapitulatif des paramètres biologiques mesurés sur les 12 micro-parcelles**

Année	Période	Biomasse microbienne	Diversité bactérienne	Diversité fongique	Abondance et diversité des lombrics
1998	Oct. (entre récolte et épandage)	X			
2005	Sept. (sol nu)		X		
2006	Avril 2006 (avant semis)		X	X	
2007	Avril 2007				X

En complément, à l'état initial une fosse a été ouverte à la pelle mécanique en 1995, dans une future allée pour décrire le profil pédologique (*Figure 1*). Des échantillons de terre ont été prélevés par tranche de 10 cm, sur une profondeur d'environ 1,60 m. Des analyses des paramètres agronomiques et des éléments traces totaux ont été effectuées sur 5 horizons.

A l'état final en 2006, 3 fosses ont été creusées dans le bloc n°3 pour chaque traitement. Des échantillons ont également été prélevés tous les 10 cm. Des analyses des éléments traces totaux, et extractibles EDTA et CaCl<sub>2</sub> sur 5 horizons pour chacune des fosses ont été réalisées.

❖ **Les paramètres mesurés dans les boues et les engrais sont (Tableau 3) :**

- la valeur agronomique (uniquement pour les boues)
- les 13 éléments traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, B, Co, As, Mo, Mn)
- les 7 PCB réglementaires et 16 HAP cités précédemment

**Tableau 3 : Récapitulatif des paramètres analysés sur les boues et les engrais épandus sur l'essai (VA = Valeur agronomique)**

Année	Boues	Engrais N	Engrais P	Engrais K
1995	VA, ETM et CTO			
1996		ETM	ETM	ETM
1997			ETM	ETM
1998	VA, ETM et CTO		ETM	
1999		ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO
2000			ETM et CTO	ETM et CTO
2001	VA, ETM et CTO		ETM et CTO	
2002		ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO
2003	VA, ETM et CTO		ETM et CTO	ETM et CTO
2004	VA, ETM et CTO		ETM et CTO	
2005		ETM et CTO		
2006		ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO

❖ **Les paramètres mesurés dans les végétaux sont (tableau 4):**

- le rendement, le poids de mille grains (PMG), le taux d'amidon (maïs), les protéines (blé)
- les éléments majeurs (N et P...)
- les éléments traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, B, Co, As, Mn)
- les 7 PCB réglementaires et 16 HAP cités précédemment.

**Tableau 4 : Récapitulatif des paramètres mesurés dans les végétaux**

Année	Organe	Rendement	Majeurs	ETM	CTO	PMG	Amidon	Protéines
1996 à 1998	Feuille de l'épi *			X				
	Grains	X	X	X		X		
	Résidus **	X	X	X				
1999 à 2003	Grains	X	X	X	X	X	X	
	Résidus **	X	X	X	X			
2004	Grains	X	X	X	X	X	X	
	Résidus **	X	X	X				
2005	Grains	X	X	X		X		X
	Résidus **	X	X	X				
2006	Grains	X	X	X		X	X	
	Résidus **	X	X	X				

\* à floraison femelle tiers médian de la feuille

\*\* feuilles + tiges + rafles + spathes (pour le maïs), paille (pour le blé)

D'autres analyses pourront encore être réalisées ultérieurement puisque tous les échantillons (terres, boues, engrais et végétaux prélevés) sont conservés dans une échantillo-thèque.

# Essai Qualiagro (Feucherolles, 78) : présentation du protocole

BODINEAU G.<sup>1</sup>, RAMPON J.N.<sup>1</sup>, BENOIT P.<sup>1</sup>, LE VILLIO-POITRENAUD M.<sup>2</sup>,  
HOUOT S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRA, UMR Environnement et Grandes Cultures, F 78850, Thiverval-Grignon  
bodineau@grignon.inra.fr, Tél. +33130815280

<sup>2</sup>Veolia Environnement R&D, F78520 Limay

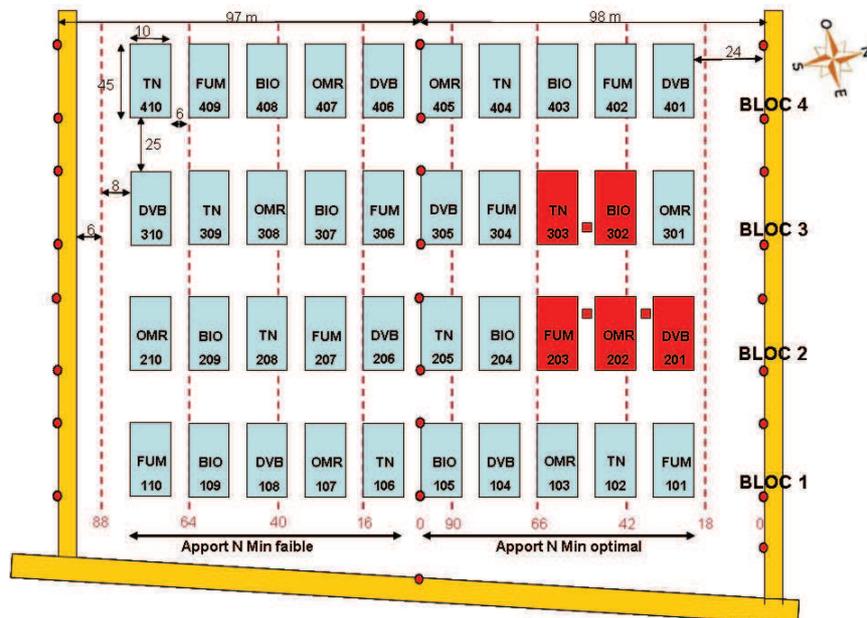
## Présentation du dispositif

Le dispositif « Qualiagro » situé à Feucherolles (Yvelines, Ile-de-France), a été mis en place en 1998 (Houot et al., 2002) et vise à étudier à la fois l'intérêt agronomique de l'épandage de composts mais également les impacts éventuels sur l'environnement.

Le dispositif de 6 ha (Figure 1) comprend 4 blocs de 10 parcelles correspondant aux différents traitements. Les 5 traitements organiques sont croisés avec 2 niveaux de fertilisation azotée. Les 5 traitements organiques sont :

- un compost d'ordures ménagères résiduelles, OMR (compostage d'ordures ménagères résiduelles après collecte sélective des emballages « propres et secs »)
- un compost de boue d'épuration, DVB (co-compostage de déchets verts et/ou broyats de palettes et/ou raffles de maïs et de boues d'épuration urbaines)
- un compost de biodéchets, BIO (compostage de la fraction fermentescible des ordures ménagères collectée sélectivement en mélange avec des déchets verts)
- un fumier de bovins, FUM, amendement organique de référence
- aucun amendement organique (témoin, TN)

Les caractéristiques des procédés de compostage sont décrites dans le tableau 1



Les 4 blocs sont coupés en 2 moitiés. Les deux moitiés incluent tous les amendements organiques et une parcelle témoin ; une moitié reçoit du N minéral (N Min), l'autre moitié n'en reçoit pas ou peu. Les parcelles font 45 m de long et 10 m de large. Elles sont espacées de 6 m. Deux blocs sont espacés de 25 m. Au sein d'un demi-bloc, les 5 traitements sont répartis de façon aléatoire.

**Figure 1 :** Plan du dispositif Qualiagro incluant 4 blocs de 10 parcelles. Les 5 parcelles équipées de dispositifs pour prélever les solutions du sol sont signalées en foncé.

Le dispositif est cultivé selon une rotation blé-maïs (blé : isengrain ; maïs : anjou 285), interrompue transitoirement en 2007, en raison de l'interdiction du maïs suite à une alerte chrysomèle. La succession de culture est la suivante : maïs en 1999, blé en 2000, maïs en 2001, blé en 2002, maïs en 2003, blé en 2004, maïs en 2005, blé en 2006, Orge (sibéria) en 2007 et Maïs en 2008.

Depuis la mise en place du dispositif, aucune parcelle n'a été fertilisée ni en phosphore, ni en potassium.

**Tableau 1 :** Résumés des procédés de compostage utilisés pour les composts épandus dans l'essai Qualiagro.

Compost	Année	Provenance	Déchets entrants	Affinage mm	Fermentation		Maturation durée
					Aération forcée	durée	
OMR	1998 2000 2002 2004	Plateforme 1	OM résiduelles	10-12	OUI	1 mois	
	2006	Plateforme 2		30	NON	1 mois	
BIO	1998	Plateforme 3	Fraction fermentescibles des OM + Déchets verts	20	OUI	1 mois	2 mois
	2000	Plateforme 4		20	OUI	1 mois	4 mois
	2002 2004 2006	Plateforme 5		25	NON	3 mois	3 mois
DVB	1998	Plateforme 6	Déchets verts + Boues STEP	20	NON	3 mois	2 mois
	2000	Plateforme 6		20	NON	1 mois	1 mois
	2002 2004	Plateforme 7	Déchets verts + Boues STEP + Broyat palettes	40	OUI	1,5 mois	3 mois
	2006			20			

**Tableau 2 :** Quantités épandues dans l'essai Qualiagro.

Année	T/ha	FUM	OMR	BIO	DVB
Épandage 1998	MB	55 (16)	14 (4)	21 (8)	20 (8)
	MS	13 (4)	10 (3)	16 (6)	11 (4)
	N Tot ( kg/ha)	313 (91)	202 (60)	265 (105)	302 (120)
	C org	3.8 (1.1)	3.0 (0.9)	2.6 (1.0)	2.9 (1.2)
Épandage 2000	MB	25 (4)	24 (5)	40 (5)	33 (5)
	MS	11 (2)	19 (4)	24 (3)	20 (3)
	N Tot ( kg/ha)	215 (41)	396 (85)	292 (35)	366 (50)
	C org	4.2 (0.8)	6.0 (1.3)	4.3 (0.5)	3.8 (0.5)
Épandage 2002	MB	41 (10)	13 (3)	37 (6)	35 (6)
	MS	16 (4)	9 (2)	26 (4)	18 (3)
	N Tot ( kg/ha)	419 (103)	156 (41)	358 (57)	428 (81)
	C org	5.4 (1.4)	2.6 (0.7)	4.6 (0.8)	6.5 (1.5)
Épandage 2004	MB	37 (6)	18 (6)	30 (7)	27 (5)
	MS	14 (2)	15 (5)	20 (5)	17 (3)
	N Tot ( kg/ha)	320 (54)	246 (81)	258 (60)	363 (68)
	C org	5.3 (0.9)	3.9 (1.2)	3.3 (0.8)	5.4 (1.1)
Épandage 2006	MB	39 (12)	18 (6)	33 (5)	27 (6)
	MS	15 (4)	10 (3)	19 (3)	18 (1)
	N Tot ( kg/ha)	337 (85)	153 (44)	300 (46)	443 (31)
	C org	4.1 (1.0)	3.9 (1.1)	3.8 (0.6)	4.3 (0.3)
Apport sur 10 ans	C org	22.8	19.4	18.6	22.9
Moyenne apport par épandage	C org	4.6	3.9	3.7	4.6

(T/ha = Tonne par hectare), (MB = Matière Brute), (MS = Matière Sèche), (N Tot = Azote total), (C org = Carbone organique), moyenne (écart type).

Les composts et le fumier sont apportés tous les 2 ans, en fin d'été ou début d'automne, sur chaume de blé. La quantité de composts et de fumier apportée est de **4 tonnes par hectare et par épandage** (tableau 2). Après épandage, la parcelle est déchaumée, ce qui permet d'enfouir les composts. Six épandages ont eu lieu en Octobre 1998 puis Septembre 2000, 2002, 2004, 2006 et 2007. Deux épandages successifs ont été réalisés en 2006 après blé et 2007 après orge, avant de reprendre la succession de culture habituelle avec un maïs en 2008.

### **Contexte pédoclimatique**

La parcelle est située sur le plateau des Alluets le Roi à une altitude de 177m, formé par les sables et grès de Fontainebleau (50 à 60m) coiffés par une fine couche d'argile à meulière (3 à 7,5m) et recouvert d'un dépôt (2m) de limons carbonatés d'origine éolienne appelés loess. Ces loess constituent le support géologique initial au développement de la couverture pédologique. Le sol est de type limoneux lessivé d'une profondeur supérieure à 1.2 m (luvisol d'après le référentiel pédologique français de 1995). Le sol se développe à partir du limon loessique carbonaté qui apparaît vers 1,60m.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 572 mm et la température moyenne annuelle est de 11°C.

Les teneurs initiales en ETM du sol du dispositif expérimental ont été comparées aux teneurs moyennes d'une dizaine de parcelles cultivées selon des pratiques agronomiques classiques situées dans la même région et ayant le même type de sol, ainsi qu'à la moyenne des teneurs dans les sols français (Baize, 2000). Le sol du dispositif a des teneurs en ETM plutôt plus faibles que la moyenne des sols cultivés de la même région. Le dispositif est donc mis en place sur une parcelle représentative et ayant des teneurs en ETM « normales » pour la région et nettement plus faibles que la moyenne nationale.

### **Equipements de parcelles**

La parcelle est équipée d'une station météorologique complète et d'un pluviomètre réfrigéré qui permet la collecte des eaux de pluie pour analyse.

Le suivi du fonctionnement hydrodynamique et les prélèvements de la solution du sol sont effectués sur cinq parcelles recevant chacune un traitement différent (201 : DVB ; 202 : OMR ; 203 : Fumier ; 302 : BIO ; 303 : Témoin). Ces cinq parcelles reçoivent un complément azoté minéral. Une fosse a été creusée dans chacune des cinq parcelles pour décrire le sol et l'instrumenter.

#### ***Suivi du fonctionnement hydrodynamique des parcelles :***

Dans chacune des cinq parcelles étudiées une fosse a été instrumentée sur sept niveaux (20, 40, 60, 80, 100, 130, 160 cm de profondeur). Des sondes TDR (Soil moisture Equipment Corp) installées horizontalement permettent le suivi des teneurs en eau volumique des sept niveaux et des tensiomètres (SDEC France) installés verticalement pour les niveaux 20 et 40 cm et inclinés à 30° pour les autres niveaux permettent le suivi de la pression de l'eau dans le sol. La parcelle témoin est équipée en plus d'un profil de sondes de température (Campbell) installées à 1, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100, 130, 160 cm de profondeur.

#### ***Prélèvement de la solution du sol***

Ces 5 parcelles sont équipées de trois types de bougies poreuses (céramique, PTFE quartz et inox) et de plaques lysimétriques implantées à 45 cm de profondeur, sous l'horizon labouré dans lequel sont enfouis les apports organiques. Ces plaques lysimétriques carrées de 625 cm<sup>2</sup> sont en inox et drainent les eaux gravitaires à l'aide d'une mèche en fibres de verre. Ces eaux gravitaires sont recueillies dans des bidons téflonés et prélevés périodiquement par pompage pendant la saison hivernale.

## Analyses effectuées (Tableau 3)

**Tableau 3** : Analyses et mesures réalisées dans le cadre de l'essai Qualiagro.

	<b>Majeurs</b>	<b>ETM totaux</b>	<b>HAP et PCB</b>	<b>Phtalates, LAS et NEP</b>	<b>Dioxines furanes</b>	<b>Agents pathogènes humains</b>
<b>Sol</b> Analyses effectuées avant chaque épandage sur horizon labouré	Depuis <b>1998</b> + N minéral 0-90 cm (3 fois/an)	Depuis <b>1998</b> + Echangeables et complexés depuis <b>2002</b>	Depuis <b>1998</b> mais tous les 4 ans	En <b>2006</b>	En <b>2006</b>	Depuis <b>2004</b> et périodiquement au cours de l'année
<b>Composts</b> Analyses effectuées à chaque épandage	Depuis <b>1998</b>	Depuis <b>1998</b> + Echangeables et complexés depuis <b>2002</b>	Depuis <b>1998</b>	Depuis <b>2002</b>	Depuis <b>2004</b>	Depuis <b>2000</b>
<b>Plantes</b> Analyses effectuées à chaque récolte	Depuis <b>1998</b> (*) (grains et tiges séparés)	Depuis <b>1998</b> (grains et tiges séparés)	Depuis <b>2004</b> (grains uniquement)	Depuis <b>2004</b> (grains uniquement)	En <b>2005</b> (grains uniquement)	Depuis <b>2005</b> (grains et tiges séparés)
<b>Eaux de percolation,</b> Périodicité fonction des précipitations	Depuis <b>2004</b>	Depuis <b>2004</b>				En <b>2006</b> et <b>2007</b>
<b>Précipitations</b> Périodicité mensuelle			Depuis <b>2004</b> (uniquement HAP)			
<b>Gaz Émissions</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>NO</b>	<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>O<sub>3</sub></b>
Mesures réalisées à chaque épandage	<b>2002 2004 et 2006</b>	<b>2006</b>	<b>2006</b>	<b>2006</b>	<b>2006</b>	<b>2006</b>

(\*) : N, P et K seulement jusqu'en 2005 et N, P, K, B, Ca, Na, Mg, Al, Fe et Mn, depuis 2006.

### Programmes rattachés au site Qualiagro

- Programme ADEME Bioindicateurs (mars 2005- mars 2008) : « Recherche de bioindicateurs d'effets des apports de composts ; mise en relation avec la spéciation des polluants dans les sols ». Dans ce programme sont étudiées la structure des communautés microbiennes ainsi que la densité et l'activité des vers de terre dans les sols soumis ou non à épandage de composts ; parallèlement sont étudiées les spéciations des ETM et des HAP dans ces mêmes sols.
- Programme INSU ECCO ECODYN (Sept 2004 – Sept 2007) : « Hétérogénéités spatiales générées par l'enfouissement de produits résiduaux organiques à l'échelle du profil cultural : description et modélisation de leurs impacts sur la dynamique des micropolluants organiques et minéraux ». Ce programme met l'accent sur les effets des apports de composts sur la mobilité des ETM et des pesticides dans les sols, en particulier dans les eaux circulant dans les sols.
- Programme MEDAD GESSOL 2 (mars 2005- mars 2008) : « Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols » Le lien entre stabilité de la structure et quantité et qualité des matières organiques dans les sols est recherché. Le site Qualiagro est un des sites d'étude, les autres étant le site de « La Cage » à Versailles comparant différents systèmes de culture (biologique, intensif, raisonné...) et un site en Normandie où sont comparées des prairies d'âge différents et des systèmes avec et sans travail du sol.
- Programme ANR Santé Environnement (Avril 2006- Avril 2008) « Impact d'activités anthropiques, lagunage et épandage de déchets organiques, sur la dynamique évolutive et le fonctionnement des populations de bactéries pathogènes de l'Homme dans l'environnement »

# Essai au champ de longue durée de Colmar (68) : présentation du protocole

MONTENACH D. <sup>1</sup>, IMHOFF M. <sup>2</sup>, SCHAUB A. <sup>2</sup>, HOUOT S. <sup>3</sup>

<sup>1</sup> : INRA, Service d'Expérimentation Agronomique et Viticole, 28 rue de Herrlisheim, 68021 Colmar, [denis.montenach@colmar.inra.fr](mailto:denis.montenach@colmar.inra.fr)

<sup>2</sup> : Mission Recyclage Agricole du Haut-Rhin, allée de Herrlisheim, 68000 Colmar, [araa@bas-rhin.chambagri.fr](mailto:araa@bas-rhin.chambagri.fr)

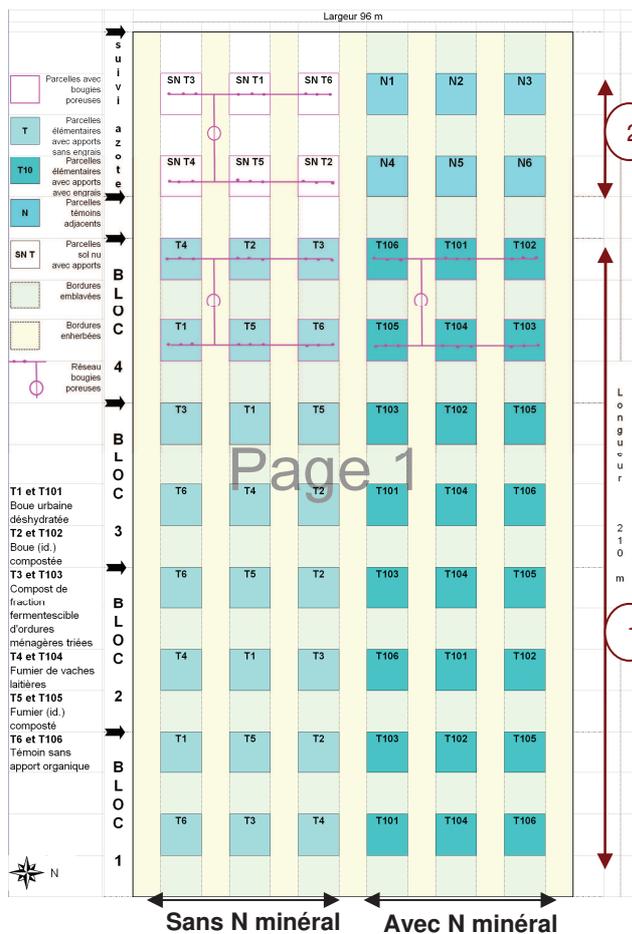
<sup>3</sup> : UMR INRA-INA.PG Environnement et Grandes Cultures, 78850 Thiverval-Grignon, [houtot@grignon.inra.fr](mailto:houtot@grignon.inra.fr)

## Présentation du dispositif

Le dispositif expérimental a été mis en œuvre en 2000 par l'INRA, en collaboration avec la Mission Recyclage Agricole du Haut-Rhin (MRA 68), et pour une durée d'au moins dix ans. Il a pour objet l'étude des conséquences, à long terme, du recyclage agricole de PRO d'origine urbaine et agricole sur la qualité des sols, des eaux d'infiltration, et des récoltes.

Il a pour principaux objectifs : (1) de caractériser les impacts de l'épandage de trois types de produits résiduaux, d'une part sur les flux d'ETM et de CTO dans les différents compartiments de l'écosystème cultivé (sol, eau, plante cultivée), d'autre part sur la dynamique de la matière organique et de l'azote dans le sol ; (2) de mettre en évidence l'effet du compostage sur ces impacts.

Le dispositif de 2 ha (Figure 1) est implanté sur le domaine expérimental de l'INRA de Colmar (68).



L'essai comprend 60 parcelles de 90 m<sup>2</sup> (9 x 10 m), séparées par des bordures cultivées de mêmes dimensions. Les allées enherbées font 6 m de large.

Le dispositif central d'essai (1) est de type « bloc Fischer » à 4 blocs de 12 parcelles avec, comme facteur principal, le type de PRO épandu tous les deux ans (6 traitements organiques). Ce facteur est croisé avec un second facteur : avec et sans complément minéral azoté.

Les 6 traitements organiques sont :

- une boue urbaine déshydratée BOUE,
- la même boue urbaine compostée DVB (compostage de déchets verts et broyats de palettes et de boues d'épuration urbaines)
- un compost de biodéchets BIO (compostage de la fraction fermentescible des ordures ménagères collectée sélectivement),
- un fumier de bovin FUM,
- le même fumier de bovin composté FUMC,
- un témoin sans amendement organique T.

Figure 1 : Plan du dispositif

Deux essais annexes (2) complètent ce dispositif central.

- Dans le premier, 6 parcelles reçoivent les traitements organiques, mais sont maintenues en sol nu, pour évaluer l'impact des seuls apports organiques sur la qualité des sols et des eaux (codées de SN T1 à SN T6).
- Dans le second, 6 parcelles élémentaires cultivées ne reçoivent pas d'apport organique et reçoivent une complémentarité minérale azotée 2 ans sur 3 (codées de N1 à N6). Chaque année, deux parcelles différentes ne sont pas complémentées en azote et sont destinées à évaluer la fourniture en azote du sol sans amendement ni engrais une année donnée.

L'essai est conduit selon des pratiques agricoles locales. La rotation choisie est la suivante : maïs grain en 2001, blé tendre d'hiver en 2002, maïs grain en 2003, orge de printemps brassicole en 2004, maïs grain en 2005, blé tendre d'hiver en 2006, betterave sucrière en 2007.

Elle répond au double objectif de la représentativité agricole régionale d'une part, et de la diversité des modèles biologiques d'autre part.

Les variétés sont les mêmes pendant toute la période : Bénicia pour le maïs, Biscay pour le blé, Astoria pour l'orge et Léopard pour la betterave.

La parcelle n'est pas irriguée, le sol ayant une bonne réserve utile. Elle est également naturellement bien drainée.

Depuis la mise en place du dispositif, aucune parcelle n'a été fertilisée en phosphore, ni en potassium.

Les produits résiduels organiques sont épandus tous les 2 ans. Quatre épandages ont eu déjà eu lieu en mai 2001, février 2003, janvier 2005 et février 2007. Les PRO sont enfouis par le labour (29 cm) qui suit immédiatement l'épandage. Les quantités moyennes épandues en tonnes de matière sèche à l'ha sont : BOUE, 3 T/ha ; DVB, 7,5 T/ha ; BIO, 9,3 T/ha ; FUM, 7,9 T/ha ; FUMC, 6,4 T/ha.

Les doses à épandre sont calculées sur un apport d'azote total identique pour tous les traitements et restreint à 170 kg N<sub>total</sub>/ha, limite supérieure exigée par la directive « Nitrates ».

## **Contexte pédoclimatique**

Le sol est caractéristique des sols limoneux se développant sur lœss. C'est un sol limoneux faiblement argileux à limoneux, calcaire, profond sain sur loess, reposant en profondeur sur les alluvions sablo-caillouteuses de la Fecht. Les horizons supérieurs sont partiellement décarbonatés par rapport au matériau originel. Le pH dans l'horizon labouré est de 8,3.

Le climat de Colmar est semi continental, sec, froid en hiver et chaud en été. Les précipitations sont plus importantes en fin de printemps et en début d'été, et rares en hiver. Les précipitations moyennes annuelles sont de 567 mm et la température moyenne annuelle est de 10,5°C (moyennes 1972-2006).

Dans les horizons de surface, les teneurs en ETM sont plus faibles que les valeurs médianes trouvées dans l'ensemble des sols français (Baize, 2000), sauf pour Cd et Cu sans doute d'origine anthropique et en lien avec la fertilisation phosphatée, les apports de scories potassiques et les traitements fongicides des cultures antérieures.

## **Equipements de parcelles**

La parcelle est équipée d'une station météorologique complète (température de l'air, pluviométrie, ETP et rayonnement) et d'un pluviomètre réfrigéré qui permet la collecte des eaux de pluie pour analyse.

### ***Prélèvement de la solution du sol***

Des prélèvements sont effectués périodiquement durant les périodes de drainage à l'aide de bougies poreuses en céramique.

- 54 bougies à 140 cm de profondeur sont réparties dans 18 parcelles (dont 6 parcelles cultivées recevant un complément azoté minéral, 6 parcelles cultivées sans complément azoté minéral et 6 parcelles maintenues en sols nus).

- 18 bougies à 100 cm de profondeur sont réparties dans 6 parcelles cultivées recevant un complément azoté minéral.

### *Suivi du fonctionnement hydrodynamique des parcelles*

Le suivi du fonctionnement hydrodynamique à différentes profondeurs est prévu à partir de 2008 sur six parcelles recevant chacune un traitement différent (5 PRO et un témoin). Ces 6 parcelles reçoivent un complément azoté minéral.

Des sondes TDR (Soil moisture Equipment Corp) destinées à mesurer les teneurs en eau des sols ont été installées dans les 6 parcelles (à 20, 40, 60, 80, 100, 120 et 140 cm de profondeur). Ce réseau est complété par des tensiomètres (SDEC France) pour mesurer la pression de l'eau dans le sol. Ils sont implantés aux mêmes niveaux dans 2 parcelles, et uniquement en surface dans 4 autres parcelles.

Enfin, le dispositif est complété par des thermistances *Campbell* destinées à la mesure de la température du sol, tous les 20 cm entre 10 et 140 cm de profondeur dans une parcelle Témoin.

### **Analyses effectuées**

**Tableau 1** : Analyses et mesures réalisées dans le cadre de l'essai de Colmar

	<b>N minéral</b>	<b>Majeurs</b>	<b>ETM</b>	<b>HAP et PCB</b>	<b>Phtalates, LAS et NEP*</b>	<b>Pesticides</b>
<b>Sols</b> Analyses sur horizons 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 cm	3 fois par an					
<b>Sols</b> Analyses sur horizon labouré avant épandage		Depuis 2000 tous les 2 ans	Depuis 2000, tous les 4 ans Totaux + échangeables et complexés depuis 2004	Depuis 2000 tous les 4 ans		
<b>PRO</b> Analyses à chaque épandage		Depuis 2001	Depuis 2001 Totaux + échangeables + complexés	Depuis 2001	Depuis 2001	
<b>Plantes</b> Analyses à chaque récolte		Depuis 2001 Grains et résidus de récolte	Depuis 2001 Grains et résidus de récolte	En 2004 sur un bloc Grains	En 2004 sur un bloc Grains	
<b>Eaux de percolation</b> Périodicité fonction des précipitations		Azote minéral depuis 2001 Carbone total et organique depuis 2005				En 2006
<b>Précipitations atmosphériques</b> Relevés permanents Analyses trimestrielles		Depuis 2004	Depuis 2004	Depuis 2004		

\* LAS : Linear alkylbenzene sulfonates, NEP : Nonylphénols

# Essai au champ de Bergheim : présentation du protocole

Magali IMHOFF<sup>1</sup>, Anne SCHAUB<sup>1</sup>, Nathalie VALENTIN<sup>1</sup>,  
Denis MONTENACH<sup>2</sup>, Sabine HOUOT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Association pour la Relance Agronomique en Alsace - Mission recyclage agricole du Haut-Rhin - Bâtiment Europe – 2, allée de Herrlisheim – 68000 Colmar [secretariat@mra68.net](mailto:secretariat@mra68.net)

<sup>2</sup> INRA Colmar, SEAV - 28, rue de Herrlisheim - BP 20507 - 68021 Colmar

<sup>3</sup> INRA Grignon, UMR Environnement et Grandes Cultures - F 78850, Thiverval-Grignon

## Présentation du dispositif

L'essai a été mis en place en 2002 sur une parcelle d'agriculteur.

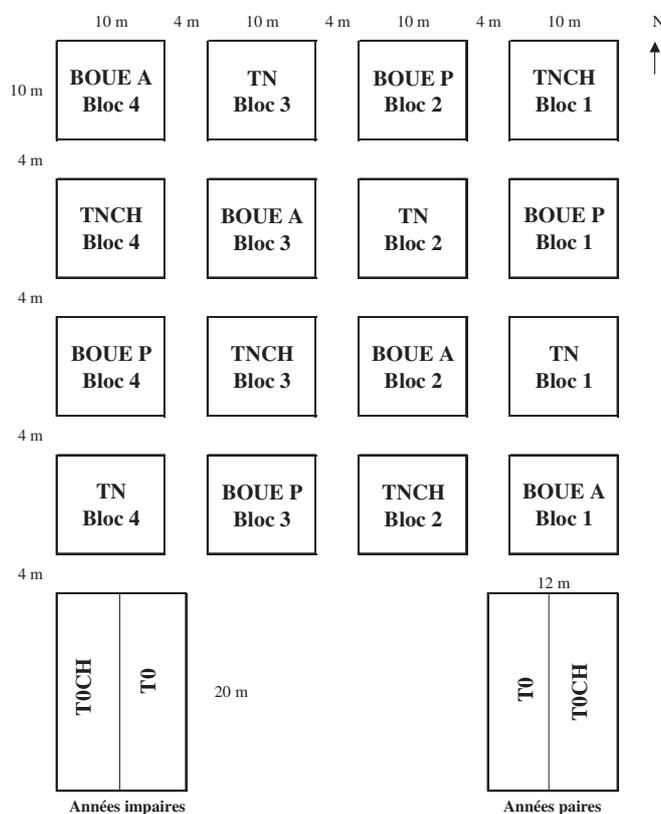
Le dispositif expérimental est de type carré latin, comprenant 4 répétitions de 4 traitements (Figure 1) :

- une **fertilisation minérale** exclusive nommé « TN »
- une **fertilisation minérale accompagnée d'un chaulage** appelé « TNCH »
- une **boue cellulosique de papeterie**, complétée par des engrais, nommé « BOUE P »
- une **boue agroalimentaire déshydratée chaulée**, complétée par des engrais appelé « BOUE A »

Soit, 16 micro-parcelles de 10 x 10 m chacune, séparées par des bandes tampons de 4 m.

En complément, 2 bandes « **témoin zéro azote** », sans engrais azoté ni boue sont placées à l'extérieur de l'essai de façon à évaluer l'azote prélevé par la culture. L'une des 2 bandes (T0CH) est chaulée comme le traitement TNCH, l'autre non (T0) afin de déterminer l'effet du chaulage sur la disponibilité de l'azote. Ces témoins changent d'emplacement chaque année, un emplacement pour les années paires, un pour les années impaires. Le chaulage est réalisé tous les 2 ans sur les 2 emplacements en même temps que le traitement EC et les épandages de boues.

Figure 1 : Plan du site expérimental de Bergheim



## Le contexte pédo-climatique

- ❖ Il s'agit d'un sol " Glacis d'alluvions vosgiennes du Piémont Alsacien ". C'est un sol brun lessivé rougeâtre, moyennement profond à profond, sur gravier d'origine vosgienne.
- ❖ Sa texture est sablo-argilo-limoneuse en surface à limono-argilo-sableuse en profondeur.
- ❖ Son pH initial est légèrement inférieur à 6 en surface. Ce dernier critère a été volontairement choisi à la limite réglementaire (pH 6), de façon à maximiser la probabilité de transfert des éléments traces vers les cultures et à identifier l'effet des boues sur le pH.
- ❖ Un état initial du sol a été effectué au démarrage de l'essai : analyse de chaque élément et composé trace dans chaque horizon du sol, afin de pouvoir comparer ensuite les différents traitements sans biais.
- ❖ Le climat est semi continental, froid en hiver, chaud en été, globalement sec, avec des précipitations plus importantes en fin de printemps et début d'été et plus rares en hiver.

## Itinéraire technique de la parcelle

- ❖ La rotation est orge brassicole de printemps/maïs grain non irrigué.
- ❖ La parcelle est cultivée en non labour, jusqu'en 2005, puis en labour conventionnel.
- ❖ Les grains récoltés sont exportés, les résidus de culture retournent au sol.

## La fertilisation

### ❖ La fertilisation organique et le chaulage :

- Les épandages de boues et de chaux sont réalisés à la main et ensuite enfouis par un travail du sol superficiel sur 5 cm.
- Les doses d'épandage pratiquées pour les boues reflètent ce qui est réellement pratiqué dans le secteur, soit 20 tonnes MB/ha tous les 2 ans.
- Les quantités de chaux apportées sont équivalentes à celles apportées par les boues agro alimentaires chaulées.
- Les boues, les doses et les périodes d'épandage sont conformes à la réglementation sur le recyclage agricole et à la directive « Nitrates », puisque l'essai est situé en « zone vulnérable ».
- 4 épandages de boues et de chaux ont été réalisés ou sont prévu en novembre 2002, août 2004, janvier 2005 et janvier 2008.

### ❖ La fertilisation minérale :

- Les épandages d'engrais N, P et K, sauf pour le premier apport, sont réalisés à la main, les doses apportées étant différentes selon les traitements.
- Les deux traitements comportant des boues sont complétés par une fertilisation minérale de façon à ce que les différents traitements soient à des niveaux équivalents en éléments N, P et K supposés disponibles pour les plantes, en provenance des boues et des engrais. Le calcul des doses d'azote repose sur la méthode du bilan simplifié.

## Les paramètres suivis

### ❖ Les paramètres analysés dans le sol sont (cf. tableau 1) :

- des paramètres agronomiques classiques (granulométrie, C organique, CEC...)
- des reliquats azotés
- le phosphore Olsen
- le pH
- les éléments traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, B, Co, As, Mn)
- les éléments traces extractibles à l'EDTA (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, Mn)

- les composés traces (PCB 23, 52, 101, 118, 138, 153, 180, benzo(a) pyrène, benzo(b)fluoranthène, fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1.2.3.-cd)pyrène, acénaphthylène, acénaphtène, fluorène, phénanthrène, anthracène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, dibenzo(ab)anthracène, naphthalène).
- des matières actives phytosanitaires : atrazine, isoproturon ...

Les prélèvements sont effectués à la tarière manuelle. Dans chaque micro-parcelle, pour chaque horizon, un échantillon moyen est constitué à partir de 16 prélèvements élémentaires (8 seulement pour les analyses des reliquats azotés, pH et du phosphore) pour chaque horizon.

**Tableau 1 : Récapitulatif des analyses réalisées sur les 16 micro-parcelles de l'essai.**

Année	Période	Paramètres agronomiques				Eléments traces		CTO
		Reliquats N	pH	P Olsen	C orga, CEC ...	totaux	EDTA	HAP et PCB
2002	Novembre (état initial)		X	X	X	X	X	X
2004	Janvier (avant semis orge)	X	X	X				
2007	Janvier (avant semis orge)	X	X	X				
2009	Après récolte (état final)		X	X	X	X	X	X

En complément, à l'état initial pour décrire le profil pédologique une fosse a été ouverte à la pelle mécanique en 2002, dans une future allée (cf Figure n°1 page 1). Des échantillons de terre ont été prélevés par tranche de 10 cm, sur une profondeur d'environ 1,20 m. Des analyses des paramètres agronomiques et des éléments traces totaux, extractibles à l'EDTA et des matières actives de produits phytosanitaires ont été effectués sur 3 horizons.

Pour compléter les prélèvements de terres effectués à l'état final dans les micro-parcelles, 4 fosses seront réalisées, une pour chaque traitement. Des échantillons seront également prélevés tous les 10 cm et les mêmes analyses qu'à l'état initial seront réalisées.

❖ **Les paramètres mesurés dans les boues, la chaux et les engrais sont (Tableau 2) :**

- la valeur agronomique (uniquement pour les boues)
- les 13 élément traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, B, Co, As, Mo, Mn)
- les 23 composés traces

**Tableau 2 : Récapitulatif des paramètres analysés sur les boues et les engrais épandus sur l'essai (VA = Valeur agronomique)**

Année	Boues	Chaux	Engrais N	Engrais P	Engrais K
2002	VA, ETM et CTO	ETM et CTO			
2003			ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO
2004	VA, ETM et CTO	ETM et CTO			
2005			ETM et CTO		
2006	VA, ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO
2007			ETM et CTO		
2008	VA, ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO	ETM et CTO
2009			ETM et CTO		

❖ **Les paramètres mesurés dans les végétaux sont (tableau 3):**

- le rendement, poids de mille grains (PMG)
- les éléments majeurs (N et P...)
- les éléments traces (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, B, Co, As, Mn)
- les 23 composés traces (PCB 23, 52, 101, 118, 138, 153, 180, benzo(a) pyrène, benzo(b)fluoranthène, fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1.2.3.-cd)pyrène, acénaphthylène, acénaphène, fluorène, phénanthrène, anthracène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, dibenzo(ab)anthracène, naphtalène).
- les tests de micro-brassage et micro-maltage pour les échantillons de grains d'orge.

**Tableau 3: Récapitulatif des paramètres mesurés dans les végétaux**

Année	Organe	Rdt	PMG	Majeurs	ETM	Micro-brassage	Micro-maltage
2003	Grains de maïs	X	X	X			
	Résidus de récolte*	X		X			
2004	Grains d'orge	X	X	X	X	X	X
	Résidus de récolte*	X		X	X		
2005	Grains de maïs	X	X				
	Résidus de récolte*	X					
2006	Grains de maïs	X	X	X			
	Résidus de récolte*	X		X			
2007	Grains d'orge	X	X			X	X
	Résidus de récolte*	X					
2008	Grains de maïs	X	X	X	X		
	Résidus de récolte*	X		X	X		
2009	Grains d'orge	X	X	X	X	X	X
	Résidus de récolte*	X		X	X		

\* feuilles + tiges + rafles + spathes (pour le maïs), paille + glumes + glumelles (pour l'orge)

D'autres analyses pourront encore être réalisées ultérieurement puisque tous les échantillons (terres, boues, chaux, engrais et végétaux prélevés) sont conservés dans une échantillo-thèque.

**NB : L'essai de Bergheim est le plus récent des 4 essais menés en réseau. C'est pourquoi ses résultats ne sont pas intégrés à la synthèse.**

**INTERVENTIONS ORALES : SYNTHÈSES THÉMATIQUES DES  
ESSAIS MENÉS EN RESEAU**