



INRA
SCIENCE & IMPACT



QualiAgro – Yvelines, mis en place en 1998

Rappel du cadre général et des objectifs du projet

Ce programme fait l'objet d'une collaboration entre l'UMR EcoSys (Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes) de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et Veolia Recherche & Innovation (VERI).

L'objectif est de caractériser la valeur agronomique de composts d'origine urbaine et leurs impacts sur l'environnement. Le programme est centré sur la mise en place d'un essai au champ prévu aujourd'hui pour une durée de 19 ans (1998-2017).

Le projet comprend :

- la caractérisation des composts : l'accent est mis sur la caractérisation de la matière organique des composts, la mesure de leurs teneurs en éléments traces métalliques (ETM) et en polluants organiques, a minima ceux retenus par les réglementations sur les amendements organiques (NFU 44-051, NFU 44-095).
- L'estimation de la valeur agronomique des composts : elle comprend la valeur fertilisante azotée et phosphatée des composts, leur efficacité à augmenter la matière organique dans les sols, leur effet sur les propriétés physiques des sols (rétention en eau, stabilité de la structure) et sur les activités biologiques en cas d'utilisation des composts en amendement organique en grande culture.
- La caractérisation des impacts environnementaux des composts. L'impact de l'épandage des composts sur la dynamique de l'azote est suivi au champ. La spéciation des ETM est reliée à leur mobilité dans les composts et dans les sols et à leur biodisponibilité vis-à-vis des végétaux. Plusieurs familles de polluants organiques (CTO) sont analysées : les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et polychlorobiphenyls (PCB) depuis le début de l'essai au champ ; plus récemment, la recherche des nonylphénols, alkybenzènesulfonates linéaires et phtalates a été également effectuée. Ces CTO ont fait l'objet de quelques campagnes d'analyse dans les sols, les composts apportés et les parties récoltées des cultures ; actuellement est en cours une campagne d'analyse de résidus pharmaceutiques dans les sols, les eaux et les composts et fumiers appliqués.

Depuis la mise en place de l'essai au champ, les effets des apports de composts sur la qualité des sols et des récoltes sont suivis. Plus récemment quelques parcelles de l'essai ont été équipées de dispositifs permettant de prélever les eaux circulant dans les sols, ce qui permet de suivre également la qualité de ces eaux.

Des campagnes de recherche des pathogènes et indicateurs de traitement dont l'analyse est requise dans les normes 44 095 et 44 051 ont été effectuées en 2004-2005 et 2006-2007 avec des mesures faites dans les sols avant épandage puis après des temps croissants suivant l'épandage jusqu'à la récolte, dans les produits épandus et dans les récoltes depuis 2004.

Localisation du dispositif expérimental

Le dispositif de 6 ha est localisé sur la commune d'Orgeval (Référence cadastrale ZA98) à la limite avec la commune de Feucherolles dans les Yvelines. La parcelle appartient à Mr Bignon (ferme des Beurreries, voir carte de la figure 1).



Figure 1 : Localisation du site expérimental (extrait de la carte Michelin)

Les traitements

Le dispositif de 6 ha (figure 2) 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 rafles 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, TEM

Dans l'essai, les 5 traitements « organiques » sont croisés avec 2 niveaux de fertilisation azotée (fertilisation minérale azotée optimale ou faible ou nulle). Le dispositif est donc formé de 2 sous-essais en blocs à 4 répétitions. Chaque bloc inclut tous les amendements organiques et une parcelle témoin. Les parcelles font 45m de long et 10m de large. Elles sont espacées de 6m. Deux blocs sont espacés de 25 m. Au sein d'un demi-bloc, les 5 traitements sont répartis de façon aléatoire.

Attention, le sous-essai qui reçoit peu ou pas de complémentarité azotée sera appelé « sans N ».

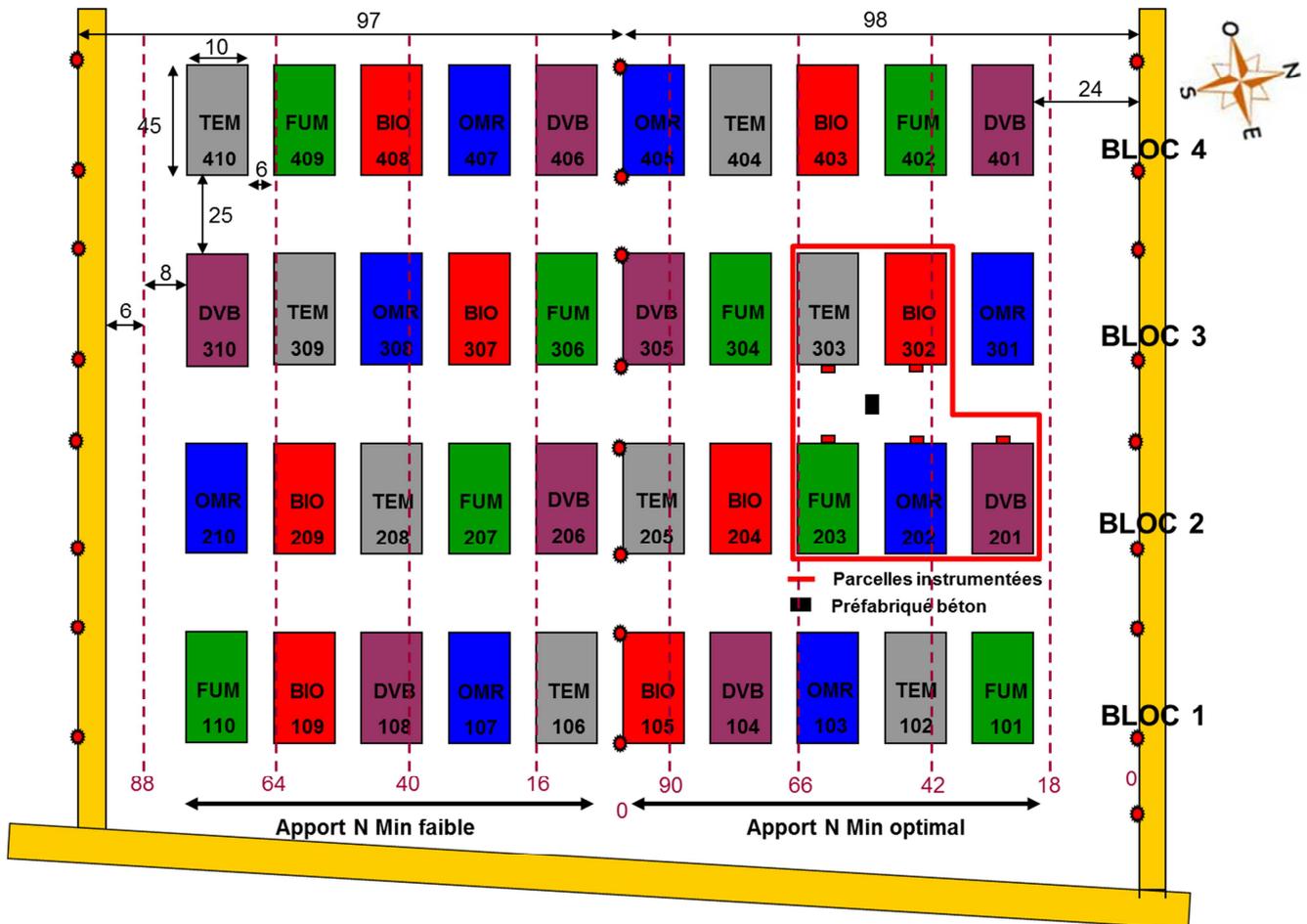


Figure 2 : Plan du dispositif expérimental QualiAgro

Conduite du dispositif

Le dispositif est cultivé selon une rotation blé-maïs, 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, maïs en 2008, blé en 2009, maïs en 2010, blé en 2011, maïs en 2012 et blé en 2013. Le blé est de variété Isengrain entre 2000-2011 ; Caphorn en 2009 et 2013. Le maïs est de variété Anjou 285 entre 1999 et 2008 ; Troubadour en 2010 et Anjou 277 en 2012. Les résidus de maïs sont restitués au sol et enfouis après la récolte du maïs grain. Les pailles de blé sont exportées et seuls les chaumes sont restitués au sol.

Depuis la mise en place du dispositif, aucune parcelle n'a été fertilisée ni en phosphore, ni en potassium. Les composts et le fumier sont apportés tous les 2 ans, en fin d'été (début d'automne en 1998 pour le premier apport), sur chaume de blé. Les quantités de composts et de fumier apportées sont calculées de façon à apporter 4 tonnes de C organique par hectare et par épandage. Après épandage, la parcelle est déchaumée, ce qui permet d'enfouir les composts. Le tableau 1 résume les procédés de compostage utilisés pour les composts étudiés sur QualiAgro.

Neuf épandages ont eu lieu en Octobre 1998 puis Septembre 2000, 2002, 2004, 2006, 2007, 2009, 2011 et 2013. 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.

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		
					procédé	durée	procédé	durée	
OMR	1998 2000 2002 2004	Murianette	OM résiduelles	10-12	SILODA couvert	22j	Sous abri	5j	
	2006 2007	Lantic		30	BRS 3j	andain 1 mois			
	2009	Vatteville la rue	Mélange à façon	12,5	Aération forcée (sans retournement)	1 mois	Extérieur	5j	
	2011	St-Péray-la-Colombe		40					
	2013	Ecorpain	OM résiduelles	6	Aération forcée + 1 retournement	3s	Sous abri	3s	
BIO	1998	Cergy	Fraction fermentescibles des OM + Déchets verts	20	SILODA couvert	1 mois	Sous abri	2 mois	
	2000	Sin le Noble			Aération forcée sous bâche	26j	Andains extérieurs	4 mois	
	2002 2004 2006	Marbache		25	Compostage lent (retournements)	3 mois	Andains extérieurs	3 mois	
	2007	Lorient		15	Fermentation accélérée en tunnels de compostage	5 semaines	Sous abri (dont 2 semaines en aération forcée)	6 mois	
	2009						Sous abri (dont 2 semaines d'aspiration forcée)	3 mois	
	2011								
	2013								
DVB	1998 2000	Nantes	Déchets verts + Boues STEP	20	Andains couverts	3 mois	Sous abri	2 mois	
	2002 2004 2006	Cernay	Déchets verts + Boues STEP (Colmar) + Broyat palettes		Extérieur	1 mois	Extérieur	1 mois	
	2007 2009			40	Aération forcée sous abri	6 semaines	Extérieur	3 mois	
	2011		Déchets verts + Boues STEP (Belfort) + Broyat palettes	20		4 semaines		3 mois	
	2013								
	FUM		1998 2000 2002 2004 2006 2007 2009 2011 2013	Grignon	Fumier de bovins laitiers				

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 (2 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 principaux horizons sont présentés dans la figure 3.

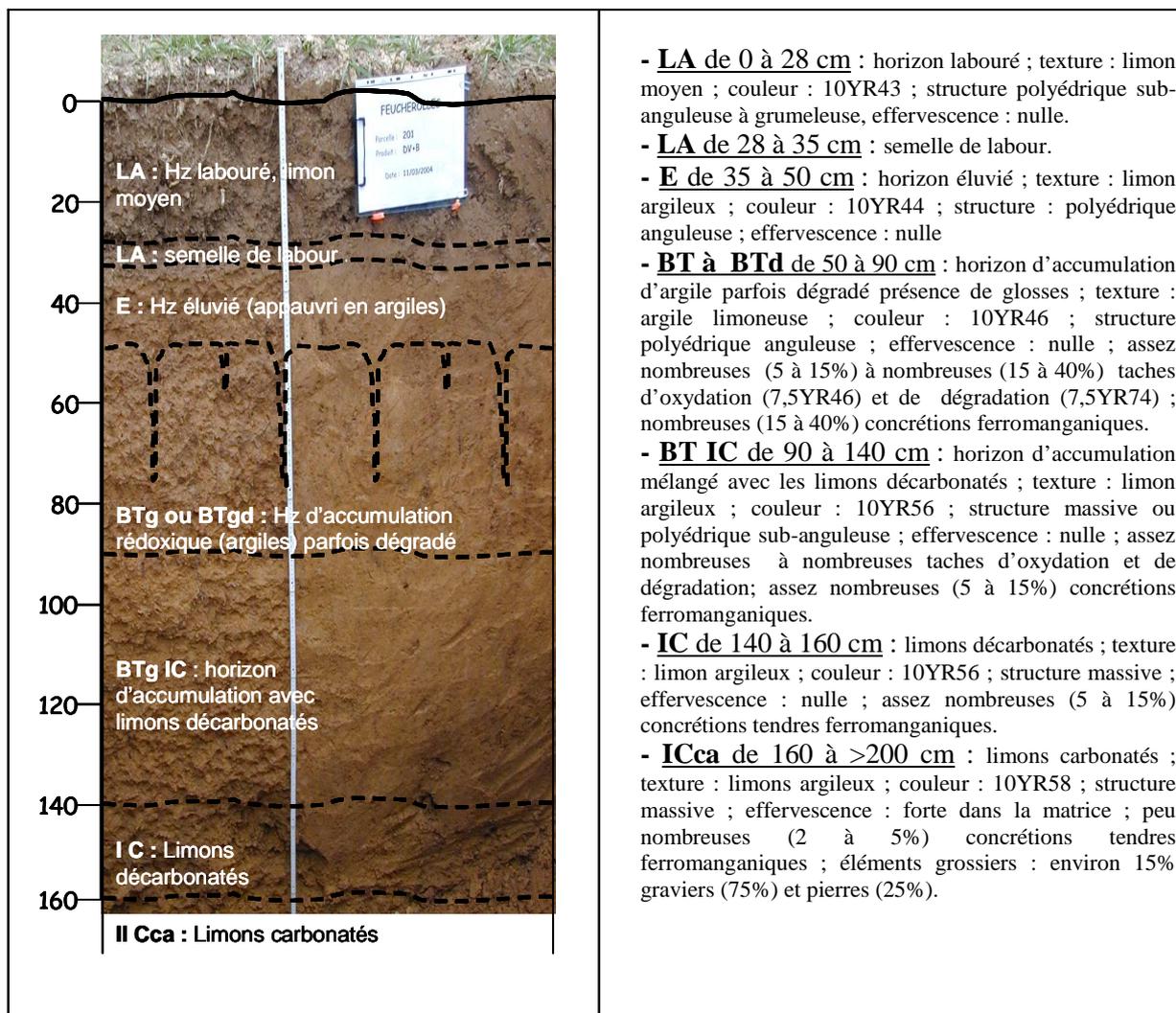


Figure 3 : Présentation du profil pédologique représentatif du dispositif Qualiagro

Les caractéristiques analytiques du sol initial sont résumées dans le tableau 2.

Les analyses confirment bien le lessivage des argiles des 2 horizons de surface vers l'horizon Bt (15% d'argile en surface et 31% à 50 cm). Le sol a une texture limono-argileuse et une structure instable avec un indice de battance de 2,4 (Indice de Marin-Lafèche, 1974). La teneur en matière organique moyenne est de 1.7 %, valeur proche du seuil critique évalué à 1,5 % dans ce type de sol (Le Villio et al., 2001). Sans un chaulage régulier, le sol aurait tendance à s'acidifier (pH actuel de 7,1). Le sol est décarbonaté jusqu'à 1.6 m.

Les teneurs en éléments traces métalliques (ETM) dans l'horizon de surface sont comparées aux teneurs dans le limon décarbonaté (110-150 cm de profondeur). C'est l'horizon à partir duquel se développe le sol ; il est donc considéré comme le fond pédogéochimique, teneur en ETM « naturels ». Dans le loess carbonaté, la forte teneur en carbonatés explique la diminution de la concentration en ETM par rapport au limon décarbonaté (phénomène de dilution). Deux familles d'ETM se distinguent :

- Cu, Zn, Cr, Ni ont des concentrations inférieures dans l'horizon de surface par rapport au fond pédogéochimique. Ces éléments sont présents naturellement dans le sol. Ils ont subi la pédogénèse et ont migré en profondeur avec les particules argileuses (teneurs plus élevées dans l'horizon Bt).
- Pb, Cd et Hg ont des concentrations supérieures dans l'horizon de surface par rapport au fond pédogéochimique. Ils sont d'origine anthropique, apportés avec la fertilisation (on sait que la



fertilisation phosphatée peut être source de Cd) ou liés à la situation de la parcelle en zone péri-urbaine (contamination atmosphérique).

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 (tableau 3) 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 (Houot et al., 2008).

Les précipitations et la température moyennes annuelles des 20 dernières années sont de respectivement 614 mm et de 11°C.

Tableau 2 : Principales caractéristiques physico-chimiques du profil de sol du dispositif Qualiagro (moyenne des résultats des 9 fosses)

Horizon	Pfdeur cm	C														
		Argile g/kg	Limon	Sable	orga	N tot	CaCO3	pH eau	CEC cmol+/kg	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg
LE	0-28	152	787	62	9,7	1,0		7,1	9,4	10,8	51,0	46,1	15,6	23,7	0,22	0,06
E	35-50	219	724	58	3,7	0,5		7,3	9,2	10,6	53,2	52,0	20,6	19,5	0,11	0,03
BT	50-90	311	646	43	2,3	0,4		7,5	14,9	14,5	67,8	65,9	30,8	19,8	0,10	0,04
BT IC	90-140	272	702	26	1,5	0,3	1	7,6	14,4	14,2	63,5	63,9	32,4	18,3	0,09	0,03
IC	140-160	238	722	41	1,6	0,3	1	7,6	13,9	13,2	57,8	61,7	33,2	19,2	0,13	0,02
IICca	160->200	226	679	95	1,3	0,2	100	8,4	15,2	11,4	49,5	59,6	25,4	19,0	0,11	0,02
Etype																
LE	0-28	12	20	14	0,7	0,1		0,4	0,6	0,5	2,7	1,9	1,4	1,2	0,01	0,01
E	35-50	18	24	11	0,3	0,0		0,2	0,6	1,1	2,2	2,5	1,7	1,4	0,02	0,00
BT	50-90	18	18	7	0,3	0,0		0,3	1,0	1,3	3,3	2,5	2,7	0,7	0,02	0,01
BT IC	90-140	23	26	6	0,2	0,0		0,3	0,7	1,1	4,4	2,5	1,2	1,1	0,02	0,01
IC	140-160	22	45	22	0,1	0,0		0,3	1,5	1,1	2,8	4,3	1,6	1,8	0,03	0,01
IICca	160->200	23	38	23	0,5	0,0	38	0,1	1,5	1,8	3,8	8,7	3,3	3,0	0,02	0,00

Tableau 3 : Comparaison des caractéristiques analytiques de l'horizon labouré du sol de l'essai au champ (moyenne des 40 parcelles) avec la moyenne des horizons labourés des sols cultivés de même type de la région (10 sols analysés).

	Argile (-----g/kg-----)	Limon	Sable	C orga	CEC cmol+/kg	pH (eau)	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	Hg
							(------mg/kg-----)					(---µg/kg---)	
Essai	150 ±10	783 ±20	67 ±9	11,0 ±0,8	9,4 ±0,6	6,9 ±0,2	11,6 ±0,9	49,2 ±3,4	45,3 ±2,7	15,0 ±0,9	25,3 ±6,1	232 ±13	91 ±16
Autres sols	187 ±23	721 ±32	92 ±37	13,3 ±3,6	9,5 ±1,1	6,6 ±0,8	20,3 ±7,7	52,3 ±3,3	46,3 ±5,8	19,8 ±3,1	38,0 ±13,8	271 ±59	141 ±61

Equipements des parcelles

Le site est équipé d'une station météorologique complète et d'un pluviomètre réfrigéré qui permet la collecte des eaux de pluie pour analyse. La parcelle témoin est équipée en plus d'un profil de sondes de température (Campbell Scientific) installées à 1, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100, 130, 160 cm de profondeur (Figure 4).

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 : FUM ; 302 : BIO ; 303 : TEM). 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.

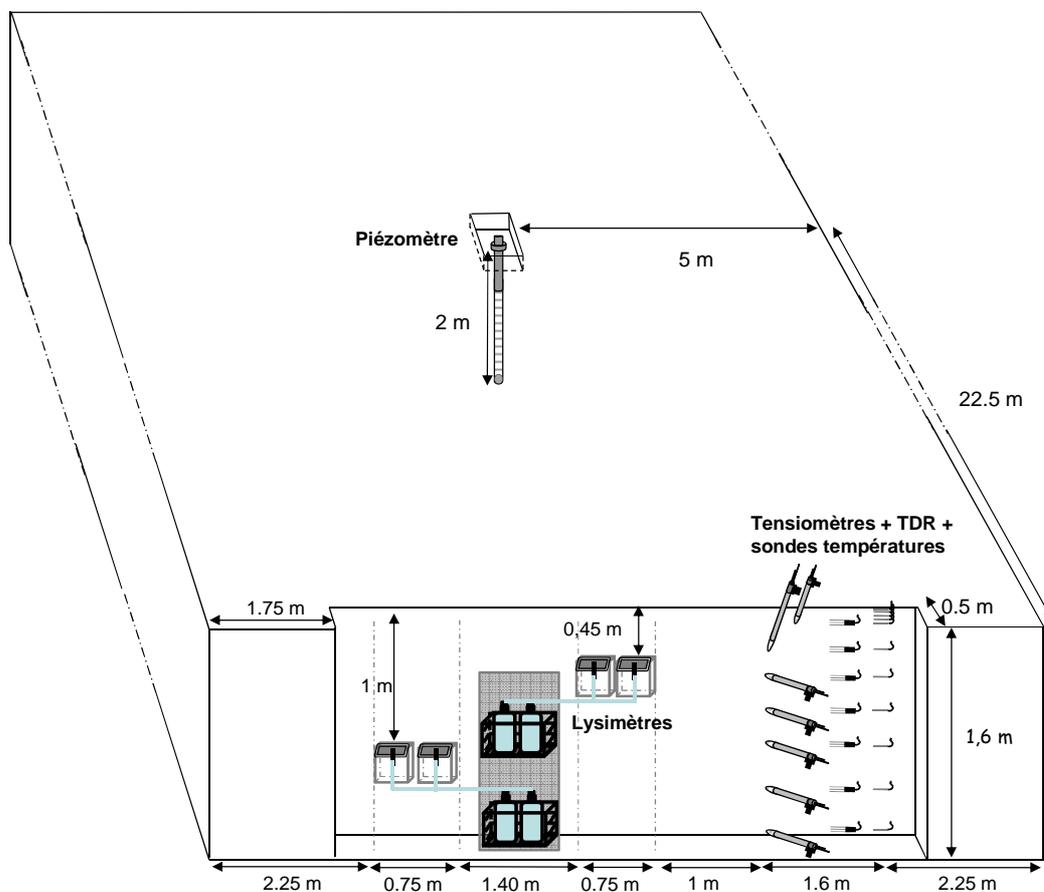


Figure 4 : Représentation schématique de la disposition des systèmes de mesures hydriques, des lysimètres et du piézomètre au sein d'une parcelle (installation 2011).

- Suivi du fonctionnement hydrodynamique des parcelles

Durant l'année 2011, le dispositif s'est doté d'une nouvelle instrumentation automatisée de dernière génération permettant le suivi du fonctionnement hydrodynamique. Dans chacune des cinq parcelles étudiées une fosse a été instrumentée sur sept niveaux (20, 40, 60, 80, 100, 130, 160 cm de profondeur) (Figure 4). Des sondes Time Domain Reflectometry (CS610 ; Campbell Scientific) installées horizontalement permettent le suivi des teneurs en eau volumique des sept niveaux et des tensiomètres (T4e ; UMS) installés pour les niveaux 20 et 40 cm à 30° d'inclinaison depuis une ligne verticale et inclinés à 5° pour les autres niveaux.

permettent le suivi de la pression de l'eau dans le sol. Les mesures se font en continu avec un pas de temps de 4 h (harmonisé à l'échelle du SOERE PRO). La parcelle témoin est équipée en plus d'un profil de sondes de température (L107 ; Campbell Scientific) installées à 1, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100, 130, 160 cm de profondeur. La figure 5 montre leur position sur le profil.

- *Prélèvement de la solution du sol*

Dans les 5 parcelles, quatre lysimètres inox à mèche en fibre de verre (instrumentation 2011) drainent les eaux gravitaires à une profondeur de 45 cm (X2 ; 25x25cm) et 100cm (X2 ; 25x50cm). Ces eaux gravitaires sont recueillies dans des bidons en verre borosilicate et prélevés périodiquement par pompage pendant la saison hivernale. En 2009, au centre des 5 parcelles, un piézomètre a été installé à une profondeur de 2 mètres afin de suivre l'évolution de la nappe perchée située au niveau du toit des argiles à meulière.

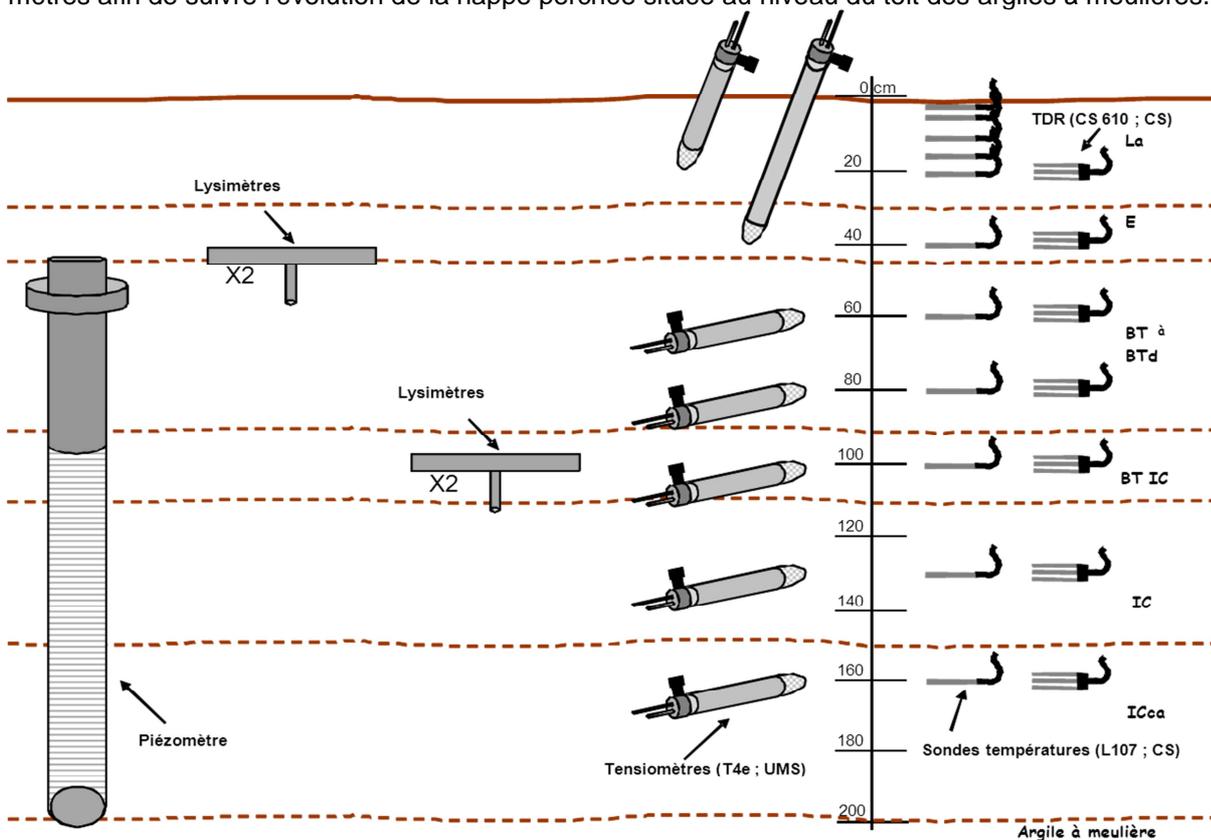


Figure 5 : Profil d'implantation des nouveaux systèmes de mesures hydriques, des lysimètres et des piézomètres.