

MISSION DAR

Année et numéro du projet : 2004 – n° 226 (du 01-07-05 au 30-06-07)

Titre du projet : **Optimisation du travail du sol en agriculture biologique**

Compte rendu technique final

Organisme chef de file : ITAB

Nom et organisme du chef de projet : Yvan Gautronneau, ISARA Lyon

I – Modalités d'organisation

- **14 conventions** ont été passées entre l'ITAB et les partenaires recevant des financements du CAS DAR.
- **Modalités de pilotage :**
 - o Comité de pilotage
Il s'est réuni trois fois : le 26 avril 2005, le 13 septembre 2006 et le 11 juin 2007. Des comptes rendus ont été rédigés à l'issue de chaque réunion, ils sont disponibles auprès de l'ITAB ainsi que les feuilles d'émergence.
 - o Autres modalités de pilotage
Des groupes de travail ont été mis en place pour coordonner les actions 2A (grandes cultures) et 2B (maraîchage). Ils se sont réunis à plusieurs reprises pour le choix des protocoles et des cultures, l'interprétation des résultats.
- **Calendrier**

Nous présentons les principales étapes et tâches du projet, action par action, dans les tableaux 1 et 2.

- **Tableau de bord de suivi des moyens mis en œuvre**

La coordination du projet a été assurée par quatre personnes, pour la préparation et l'animation des réunions, pour le suivi du projet (respect du calendrier). Le responsable scientifique du projet s'est investi dans le respect des engagements du projet déposé initialement, dans l'animation des réunions du comité de pilotage, et dans le suivi des sites sur le terrain (description des profils cultureux), les deux responsables des actions 2A (grandes cultures) et 2B (maraîchage) ont assuré la coordination des essais spécifiques aux deux filières, et le responsable de l'action 1 a permis la coordination générale de l'ensemble et la valorisation du projet.

- **Les modalités d'évaluation**

Deux types d'évaluation ont été mises en place : une évaluation interne avec la mise en place du comité de pilotage et le suivi d'un calendrier d'avancement des actions au niveau de la coordination générale ; une évaluation externe par le biais de la diffusion des résultats du projet. Le comité de pilotage s'est réuni aux dates prévues, le taux de participants était très satisfaisant. De nombreuses réunions entre les partenaires ont eu lieu, avec visites réciproques entre sites. L'évaluation externe a recouvert différents aspects : prix de l'innovation pour un prototype d'outils de travail du sol simplifié en maraîchage, acceptation d'articles scientifiques dans des revues à comité de lecture ou colloques internationaux, succès des visites d'essais.

Tableau 1 : Calendrier de travail avant la date effective de démarrage du projet (du 1^{er} janvier au 30 juin 2005).

Trimestres	Action 1	Action 2A (grandes cultures)	Action 2B (maraîchage)
1 ^{er} trim. 2005 : démarrage initialement prévu au 1 ^{er} janvier 2005	Organisation de la 1 ^{ère} réunion du comité de pilotage	1 ^{ère} réunion téléphonique des partenaires action 2A le 1 ^{er} mars 2005. Mise en place site de l'ISARA Lyon (fin 2004 - début 2005) : réalisation du point 0, étude de la variabilité du sol (biologique et chimique). Suivi dispositif Kerguehenec.	1 ^{ère} réunion des partenaires action 2B. Caractérisation fine de l'état des parcelles expérimentales. GRAB : mise en place des 2 modalités de travail du sol sur la station. Création de l'outil de travail du sol simplifié au GRAB. Réunion physique des partenaires de l'action 2B le 15 mars à Paris.
2 ^e trim. 2005	1 ^{ère} réunion comité de pilotage : 26 avril	Suivi site Kerguehenec (rapport de stage : FLEGEAU, 2005).	Mise en place des essais ACPEL, GRAB, PLRN. Récolte et mesures de l'essai PLRN.

Tableau 2 : Calendrier de travail (du 1^{er} juillet 2005 au 30 juin 2007).

Trimestres	Action 1	Action 2A (grandes cultures)	Action 2B (maraîchage)
3 ^e trim. 2005 : démarrage du programme	Visite des sites en Rhône-Alpes les 29 et 30 septembre 2005.	1 ^{ère} réunion partenaires action 2A (septembre 2005 à PARIS INAPG) : point méthodologique. 1 ^{ère} année de résultat site ISARA Lyon sur maïs. Mise en place site d'ESA Angers (octobre 2005) : Point 0 effectué sur le site d'Angers puis semis du blé. Mise en place des réseaux de parcelles ISARA Lyon et ESA d'Angers.	2 ^{ème} réunion des partenaires action 2B. Mise en place de l'essai SERAIL. Récolte et mesures de l'essai GRAB.
4 ^e trim. 2005	Rédaction des conventions de partenariat.	Suivi site Kerguehennec (Pois d'hiver) et Angers (Blé). Point 0 réseaux de parcelles ISARA et ESA.	Récolte et mesures des essais ACPEL et SERAIL. Compte rendu de l'essai GRAB.
1 ^{er} trim. 2006		2 ^e réunion téléphonique partenaires (mars 2006). Suivi site Kerguehennec (Pois), Angers (Blé) et Lyon (préparation travail du sol). Suivi réseau de parcelles ESA, ISARA.	3 ^{ème} réunion des partenaires action 2B. Point sur l'état d'évolution de l'état des parcelles expérimentales (analyses). Réunion téléphonique des partenaires de l'action 2B le 31 mars 2006 : discussion sur la campagne 2005 et harmonisation des essais 2006.
2 ^e trim. 2006	Réalisation des états d'avancement de la première année, rassemblement des comptes de réalisation. Visite de l'exploitation de Manfred Wenz le 19 juin 2006.	Suivi site Kerguehennec (Pois), Angers (Blé) et Lyon (Soja). Stagiaire IUT sur développements racinaires et infiltrométrie ESA Angers. Suivi réseau de parcelles ESA, ISARA. 2 ^e réunion partenaires ESA, ISARA et Kerguehennec le 30 mai 2006 (à Kerguehennec) avec atelier thématique sur l'infiltrométrie. Etat d'avancement de l'action 2A pour le 30 juin.	Mise en place des essais 2006 sur les sites de tous les partenaires. Etat d'avancement de l'action 2B à l'issue de la 1 ^{ère} année.
3 ^e trim. 2006	2 ^e réunion comité de pilotage : 13 septembre 2006 à l'ITAB	Suivi site Kerguehennec (Pois), Angers (Blé) et Lyon (soja). Suivi réseau de parcelles ESA, ISARA. 3 ^e Réunion partenaires ESA, ISARA et Kerguehennec le 30 mai 2006 (à Kerguehennec) avec atelier thématique sur l'infiltrométrie Rapport annuel au 30 juin 2006	4 ^{ème} réunion téléphonique des partenaires (29 septembre) Récolte et mesures sur les 4 sites d'essais. Réunion de présentation de l'action 2B auprès de producteurs des Charentes (19 septembre).
4 ^e trim. 2006	Réalisation de 2 articles pour Alter Agri (parus dans les numéros 80 et 81).	Fin traitements des données 2005/06 (sites et réseau), suivi cultures d'hiver sur sites Kerguehennec (Triticale), ISARA Blé) et ESA (lupin). 4 ^e réunion téléphonique partenaires ESA, ISARA et Kerguehennec (septembre 2006).	Récolte et mesures sur les 4 sites d'essais. Réunion des partenaires sur le site de la SERAIL avec profils structuraux et analyses (19 octobre).
1 ^{er} trim. 2007	Réalisation d'un « qui fait quoi ? » sur le travail du sol en agriculture biologique.	Suivi cultures d'hiver sur sites Kerguehennec (Triticale), ISARA (Blé) et ESA (lupin) Suivi réseau de parcelles ESA, ISARA	Mise en place des essais 2007.
2 ^e et 3 ^e trim. 2007	Participation aux enquêtes chez des agriculteurs biologiques dans le Vaucluse. 3 ^e réunion comité de pilotage : 11 juin 2007. 23 juillet réunion pour coordonner la rédaction du rapport complet du projet, et discuter de la diffusion des résultats. Réalisation du compte rendu technique final et de la note synthétique. Rassemblement des comptes de réalisation consolidé.	Suivi cultures d'hiver sur sites Kerguehennec (Triticale), ISARA (Blé) et ESA (lupin). Suivi réseau de parcelles ESA, ISARA. 5 ^e réunion téléphonique partenaires ESA, ISARA et Kerguehennec (mai 2007). Préparation du rapport final pour le 30 septembre 2007	5 ^{ème} réunion téléphonique des partenaires de l'action 2B (29 mai) : harmonisation du traitement et de la présentation des résultats. Récoltes et mesures sur les 4 sites d'essais (profils et analyses de sol). Rédaction des comptes rendus sur chacun des sites. Rédaction de la synthèse finale. Présentation de l'action 2B et des principaux résultats au salon Tech&Bio (Chantemerle les Blés – Drôme - 7 et 8 septembre).

II - Partenariats :

- le rôle et l'apport de chaque partenaire : voir tableau 3

Tableau 3 : Apport de chaque partenaire dans le projet.

Partenaires	Rôle	Moyens humains (en mois)	Budget (en euros)
ITAB	Organisme chef de file, responsable de l'Action 1	15,25	94 077
ISARA Lyon	Coordination de l'Action 2A (grandes cultures), site grandes cultures et enquêtes en Rhône-Alpes ; organisme du chef de projet	20,00	123 373
ESA Angers	Action 2A, site grandes cultures chez un agriculteur et enquêtes en Pays de la Loire	22,00	118 605
Ch. d'agric. du Morbihan	Action 2A, site grandes cultures, site en station (Kerguehennec)	6,00	54 053
Ch. d'agric. de la Drôme	Action 2A, enquêtes en Rhône-Alpes (Réseau Bio Rhône Alpes), comité de pilotage	2,80	18 877
Ch. d'agric. de l'Isère	Action 2A, enquêtes en Rhône-Alpes (Réseau Bio Rhône Alpes)	0,67	8 499
ADABIO	Action 2A, enquêtes en Rhône-Alpes (Réseau Bio Rhône Alpes)	0,96	8 496
Arvalis institut du végétal	Action 2A, expertise, comité de pilotage	0,74	123 373
LDAR	Action 2A, expertise, comité de pilotage	0,50	4 011
GRAB	Action 2B, responsable de l'Action 2B (maraîchage), site maraîchage en station	11,43	86 755
SERAIL	Action 2 B, site maraîchage chez un agriculteur	2,50	28 707
PLRN	Action 2 B, site maraîchage en station	7,02	45 136
ACPEL	Action 2 B, sites maraîchages chez deux agriculteurs	7,11	44 500
Ch. d'agric. de Vaucluse	Action 2 B, expertise maraîchage et enquêtes chez des agriculteurs	2,20	24 428
INRA d'Alénya	Action 2 B, expertise maraîchage, comité de pilotage	1,23	5 532

- bilan du fonctionnement des partenariats

Les partenariats ont fonctionné comme prévu initialement et ont permis le bon déroulement du projet.

III – Déroulement du projet

Afin de faciliter le choix de techniques de travail du sol des agriculteurs, l'objectif finalisé de ce projet est de mettre au point des Outils d'Aide à la Décision Stratégique (OADS) adaptés à l'agriculture biologique pour les grandes cultures et le maraîchage. Ces outils doivent répondre aux questions des agriculteurs : le labour est-il indispensable en agriculture biologique ? Faut-il réduire (ou non) la profondeur de labour sur l'exploitation ? Si le labour est conservé, quels itinéraires techniques types choisir ? La technique des planches permanentes est-elle réalisable en maraîchage ? Si oui, quelles sont les conséquences de la limitation d'usage d'outils rotatifs et l'impact de passages de roues fixes sur la culture ? Ou encore, est-il possible de passer en semis direct, sous couvert permanent vivant en grandes cultures ? Et, pour chaque cas, qu'en est-il de la maîtrise des adventices et de la fertilité du sol ?

La mise au point d'OADS nécessite dans un premier temps d'acquérir des connaissances tant techniques que scientifiques sur les impacts des différents types de travail du sol pour les deux systèmes concernés. Ainsi, **les objectifs à court terme du programme (2 ans) sont** : (1) de connaître les besoins et attentes des agriculteurs biologiques en terme de travail du sol, (2) de connaître les impacts du travail du sol sur la qualité des sols et sur les cultures en place en maraîchage et grandes cultures pour différentes conditions pédoclimatiques, et (3) de diffuser les résultats obtenus afin de mutualiser les connaissances acquises et de construire des OADS utiles et utilisables par les professionnels.

Ce programme comporte ainsi deux actions :

- **l'action 1**, soit la constitution d'un réseau sur la fertilité et le travail du sol en AB, permet de réaliser les objectifs 1 et 3,
- **l'action 2**, soit la réalisation d'expérimentations et de suivis de parcelles sur le travail du sol dans différentes régions en France permet de réaliser l'objectif 2. L'action 2 se décompose en deux sous actions : l'action 2A, correspondant aux systèmes grandes cultures, et l'action 2B, correspondant aux systèmes en maraîchage.

Action 1

○ **rappel des objectifs attendus**

L'action 1 a plusieurs objectifs :

1. faire remonter les besoins et les attentes du terrain (orienter les expérimentations de l'action 2),
 2. identifier les pratiques des agriculteurs (enquêtes), dont des pratiques innovantes pour alimenter le travail de recherche de la partie 2 ; identifier également des données déjà existantes (références, innovations techniques, données expérimentales, etc.).
 3. valider les résultats de la recherche en identifiant des situations où les tester,
 4. transférer les connaissances : valoriser les résultats de recherche (de l'action 2),
 5. orienter le montage d'actions de recherche et d'expérimentations (au-delà de l'action 2).
- **méthodes de travail utilisées** : réunions physiques, rédaction de documents techniques, enquêtes, visites de terrain, réunions et relances téléphoniques
 - **organisation mise en place, pour le chef de file et chaque réalisateur (travail réalisé, moyens humains, matériels et financiers mobilisés)** : voir tableau 3 page 3
 - **étapes et calendrier** : voir tableaux 1 et 2 pages 1 et 2
 - **résultats obtenus** : voir paragraphe IV « Les modalités de valorisation du projet »
 - **Modalités de suivi et indicateurs de réalisation**

Plusieurs modalités de suivi et indicateurs de réalisation ont été utilisées :

- les réunions du comité de pilotage,
- les visites de terrain et rencontres techniques,
- les articles techniques et scientifiques,
- les rapports techniques.

Les réunions du comité de pilotage

Le comité de pilotage s'est réuni trois fois (voir tableau 4).

Tableau 4 : Membres du comité de pilotage, présence aux réunions

Membres du Comité de pilotage et structures	Réunion du 26-04-2005	Réunion du 13-09-2006	Réunion du 11-06-2007
Anne Aveline, ESA Angers	Présente	Présente	Présente
Dominique Berry, SERAIL / Réseau Bio Rhône-Alpes	Présent	Présent	Présent
Frédérique Bressoud, INRA Alénya	Présente	Présent	Présent
Bertrand Chareyron, Réseau Bio Rhône-Alpes	Présent	Présent	Présent
Rémi Chaussod, INRA Dijon	Excusé	Excusé	Présent
Mario Cannavacciuolo, ESA Angers	Présent	Présent	Présent
Henri Cormorèche, agriculteur, région Rhône-Alpes	Présent	Excusé	Excusé
Alain Delebecq, Gabnor et ITAB	Présent	Présent	Excusé
Yvan Gautronneau, ISARA Lyon	Présent	Présent	Présent
Djilali Heddadj, puis Jean-Luc Giteau, Kerguéhennec	Présent	Présent	Présent
Blaise Leclerc, ITAB	Présent	Présent	Présent
Dominique Massenot, AMISOL	Excusé	Présent	Présent
Jospéline Peigné, ISARA Lyon	Présente	Présent	Présent
Jean Roger-Estrade, INRA/INA-PG	Représenté*	Excusé	Excusé
Yves Tachoire, agriculteur, GRAB	Présent	Présent	Présent
Hélène Védie, GRAB	Présente	Présent	Présent
Philippe Viaux, Jérôme Labreuche (Arvalis – Institut du Végétal)	Présent	Présent	Excusé
Pourcentage de présents / excusés	88 %	82 %	76 %

* par Stéphane de Tourdonnet pour cette réunion

Les trois autres indicateurs de réalisation (visites de terrain et rencontres techniques, articles techniques et scientifiques, rapports techniques) concernent la valorisation du projet (voir paragraphe IV « Les modalités de valorisation du projet »).

Action 2

○ **rappel des objectifs attendus**

Les questions auxquelles doit répondre l'action 2 pour atteindre son objectif sont les suivantes :

- Comment adapter les méthodes simplifiées aux différents types de sol et aux différentes cultures ?
- Quelles sont les modifications des propriétés physico-chimiques des sols dues à des techniques de travail du sol différentes ? Et dans quelle mesure les modifications des populations de macro-organismes générées par différentes techniques de travail du sol vont-elles avoir un impact sur la structure du sol ?
- La simplification de travail du sol a-t-elle des conséquences néfastes sur l'enherbement des cultures ? Faut-il envisager une nouvelle façon d'appréhender le désherbage (plus grande tolérance, facilité du désherbage accrue par une meilleure structure) ? Les modifications des propriétés du sol se traduisent-elles par une évolution de la flore spontanée ?
- Quelles sont les conséquences des modifications des caractéristiques du sol sur l'équilibre de la parcelle, et notamment induisent-elles des modifications de la réponse de la culture aux « agressions » (ravageurs, maladies, stress hydrique ...) ?
- Le changement de pratique de travail du sol engendre-t-il des résultats cultureux différents : quantité de produit (rendement) et qualité ?

○ **méthodes de travail utilisées**

L'action 2 se décompose en deux sous action : l'action 2A pour les grandes cultures, et l'action 2B pour le maraîchage.

Dans l'action 2A, deux types de dispositifs ont été mis en place dans différentes régions (Bretagne, Pays de la Loire et Rhône-Alpes) afin de répondre aux questions précédentes :

- Des sites expérimentaux pluriannuels, ayant pour objectif d'étudier les effets d'itinéraires techniques de travail du sol sur (1) la qualité du sol via une approche intégrée des composantes de la qualité du sol (physique, chimique et biologique), (2) la maîtrise des adventices, et (3) le rendement des cultures (analyse des composantes du rendement).
- Des suivis agronomiques de réseaux de parcelles correspondants à différents systèmes de production céréalières biologiques ayant pour objectif principal d'intégrer une diversité de résultats lors de l'acquisition de références régionales sur l'impact du travail du sol en agriculture biologique.

Dans l'action 2B, les dispositifs mis en place sont réalisés dans différentes régions de France (Nord Pas de Calais, Poitou-Charentes, Provence et Rhône-Alpes) afin de comparer plusieurs itinéraires techniques. Les essais sont réalisés sur des sites expérimentaux et chez des producteurs maraîchers, le but étant de comparer et d'intégrer une grande diversité d'itinéraires techniques dans des conditions pédoclimatiques et de cultures différentes. Toutes les données obtenues nous ont permis d'acquérir des références régionales et nationales sur l'impact du travail du sol en maraîchage biologique.

- **organisation mise en place, pour le chef de file et chaque réalisateur (travail réalisé, moyens humains, matériels et financiers mobilisés) :** voir tableau 3 page 3
- **étapes et calendrier :** voir tableaux 1 et 2 pages 1 et 2
- **résultats obtenus**

Résultats obtenus en grandes cultures (Action 2A)

L'action 2A est bâtie autour de trois principaux sites expérimentaux où sont comparés différents traitements de travail du sol dans le contexte de l'agriculture biologique. Une présentation synthétique de ces sites est proposée dans le tableau 5. Sur chacun d'eux, 4 modalités de travail du sol sont comparées (3 blocs) :

1. le labour 'traditionnel' (LT), à 25 – 30 cm de profondeur, où le sol est retourné ;
2. le labour 'agronomique' (LA), peu profond à 15 - 20 cm, sans rasette, où le sol est retourné ;

3. le travail 'superficiel' (TS) avec un outil à dents (canadien ou cultivateur) à 10 – 15 cm sans retournement de sol ;
4. le travail 'très superficiel' (TTS) à 5 cm (sites A, B et C) et/ou un 'semis direct' sous couvert (sites A et B).

Tableau 5 : Présentation des trois sites d'essais de l'Action 2A.

	Lyon	Kerguehenec	Angers
Site	A	B	C
Conversion en A.B.	1999	1996	2000
Début de l'essai	2005	2003	2005
Type de sol	sablo-limoneux	limoneux	limoneux
Climat	730 mm, 10,7°C	891 mm, 11,5° C	704 mm, 12,1° C
Rotation	Luzerne (3 ans) – maïs – soja– blé d'hiver (2007) – soja – maïs	Maïs – triticales – blé noir – pois protéagineux d'hiver– triticales (2007)	Maïs – féverole – blé d'hiver– lupin d'hiver (2007)

En complément des trois sites expérimentaux, deux réseaux de parcelles 'Agriculteurs' ont été mis en place en région Rhône Alpes (9 parcelles – tableau 6) et Pays de la Loire (3 parcelles – tableau 7). Sur chaque parcelle des réseaux, 2 modalités de travail du sol sont testées : la pratique habituelle de l'agriculteur (généralement le labour traditionnel) et une technique de travail du sol dit superficiel ou réduite (le plus souvent un outil à dent travaillant entre 10 et 15 cm).

Tableau 6 : Présentation du réseau de parcelles Rhône Alpes – Action 2A.

Département	Agriculteurs	Culture 2006	Culture 2007	Comparaison ITK
Isère	M. Empereur	Blé	Blé	TS / LT
	M. Vacher	Soja	Blé	TS / LT
	M. Oddos	Blé	Sarrasin	TS / LT
Drôme	M. Valentin	Soja	Blé	TS / LT
	M. Comte	Soja	Blé	LA / LT
	M. Cheva	Maïs	Blé	TS / LT
Ain	M. Fray	Blé	Triticale/pois	TS / LT
	M. Cormorèche	Féverole	Blé	TS / LT
	M. Martin	luzerne	Blé	TS / LT

TS = Travail Superficiel, LT = labour Traditionnel, LA = Labour Agronomique,

Tableau 7 : Présentation du réseau de parcelles Pays de la Loire – Action 2A.

Département	Noms	Culture 2006	Culture 2007	Comparaison ITK
Maine-et-Loire	M. Coutard	Blé	Maïs	TS / LT
Mayenne	P. Lemerrier	Blé	Triticale	TS / SD
Vendée	S. Chevalier	Maïs	Féverole	LT / TS

TS = Travail Superficiel, LT = labour Traditionnel, SD = Semis Direct

Les résultats sont regroupés en 5 parties :

1. La qualité physique du sol,
2. La qualité chimique du sol,
3. La qualité biologique du sol,
4. Les adventices et résultats culturaux,
5. Energie-économie.

Pour chacune de ces parties nous proposons une synthèse par type de mesures effectuées, et donnons un tableau synthétique qui reprend l'ensemble des résultats pour chaque site.

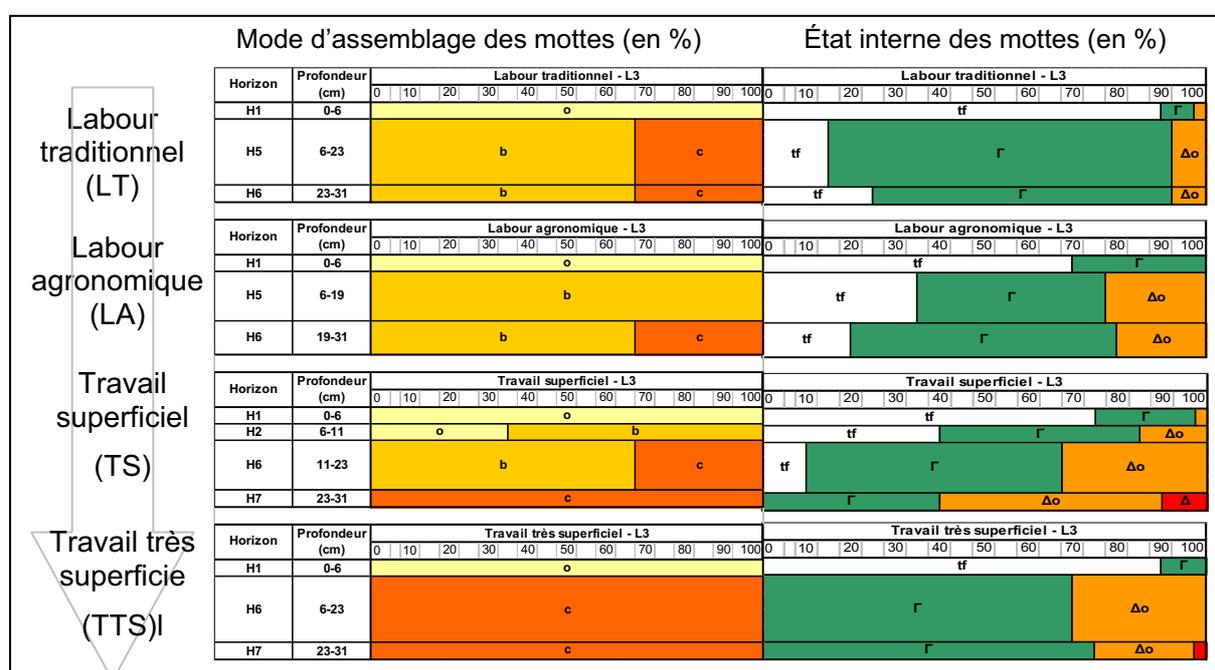
L'ensemble des résultats est ensuite repris dans un tableau indiquant les points forts et les faiblesses de chaque technique.

1. Effet du travail du sol en grandes cultures sur la qualité physique du sol

Profil culturel : évaluation qualitative de la structure du sol

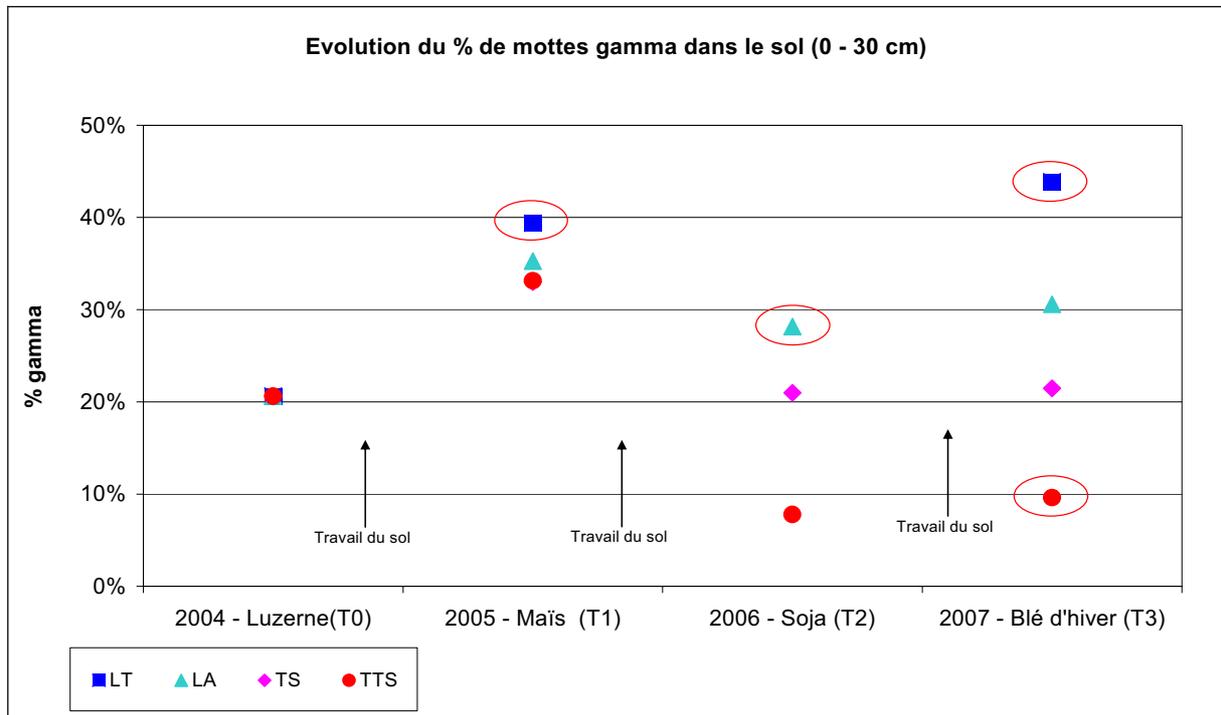
Sur l'ensemble des sites d'essai, la réduction du travail du sol présente des évolutions similaires : une tendance à la prise en masse des TTS et TS dans les horizons non travaillés. Cette tendance est illustrée figure 1 (site C) pour deux critères : (1) le mode d'assemblage des mottes, avec une tendance continue pour le TTS, et (2) l'état interne des mottes, avec une présence de mottes Δ - mottes fortement tassées - majoritairement en TTS et TS. Ainsi dès les premières années de différenciation des techniques de travail du sol, l'observation de l'état du sol permet de distinguer les traitements de travail du sol. Ce résultat est confirmé par l'observation des profils cultureux des parcelles des 2 réseaux : dès la première année nous observons une différenciation des états du sol entre traitement LT et TS.

Figure 1 : Comparaison des profils cultureux obtenus pour les 4 traitements de travail du sol : assemblage et état interne des mottes – lupin 2007 – site C (2 ans). Structures O : ouvert, b : bloc, C continue – tf : terre fine, mottes Γ : gamma (poreuse), Δ : delta (tassée), Δo : delta 0 (peu tassée)



La figure 2 (site A) illustre l'évolution des % de mottes Γ (mottes présentant une forte porosité visible à l'œil) sur 3 années de différenciation de travail du sol. Au fur et à mesure des années, les techniques de labours (LA et LT) présentent des % de l'ordre de 30 à 40 % de mottes Γ sur l'ensemble du profil (0-30 cm) alors que les techniques sans labour (TTS et TS) présentent des % de l'ordre de 10 à 20 %. Cette différenciation est de plus en plus visible au fur et à mesure des années. Ces résultats sont concordants sur les trois sites expérimentaux.

Figure 2 : Evolution du pourcentage de zones non tassées (mottes gamma) pour les 4 traitements de travail du sol sur 3 années – site A (3 ans).



Densité apparente : évaluation quantitative de la porosité du sol

La comparaison des densités apparentes obtenues par les 4 traitements de travail du sol sur chaque horizon (stratifié suivant les différentes profondeurs de travail du sol) montre : (1) une plus forte densité pour la technique TTS en profondeur (exemple figure 3 – site C après 2 ans) et inversement, en surface, la concentration du carbone dans les modalités sans labour est responsable d'une diminution de la densité apparente (site B – figure 4), (2) une évolution plus lente de la densité apparente entre les traitements de travail du sol, avec des différences significatives sur les différents horizons du sol au bout de 5 ans pour le site B (figure 4) qui ne sont pas observées après seulement 2 ans pour le site B (figure 3).

Pour le moment, les parcelles du réseau ne présentent pas de différences entre les deux traitements du travail du sol testés, concernant l'évolution globale de la densité du sol.

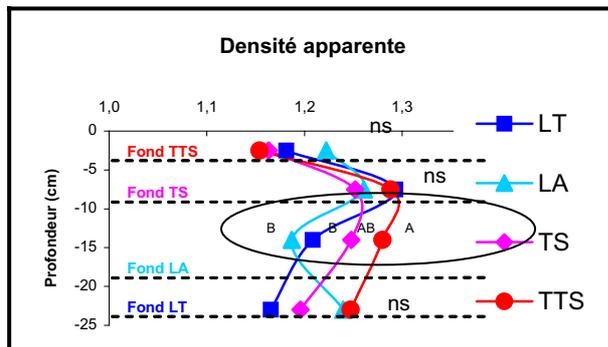


Figure 3 : Profils de densité apparente moyenne par horizon et par traitement en mai 2007 – site C (2 ans).

ns : différence non significative statistiquement
 A, B : différence significative ($P < 0,05$)

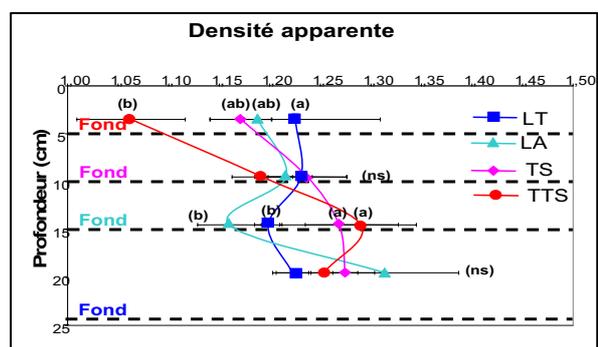


Figure 4 : Profils de densité apparente moyenne par horizon et par traitement – 2007 – site B (5 ans).

ns : différence non significative statistiquement
 A, B : différence significative ($P < 0,05$)

Infiltrométrie

Les résultats obtenus pour les mesures d'infiltrométrie de l'eau dans le sol sont assez variables suivant les sites expérimentaux et les années. Ainsi, peu de conclusions peuvent être tirées de ces mesures. Il ressort que : (1) cette mesure est extrêmement variable et nécessite de nombreuses répétitions (sites A, B et C), (2) la principale conclusion obtenue est que le TTS et TS présentent une meilleure infiltration en surface (figures 5 et 6 – site C).

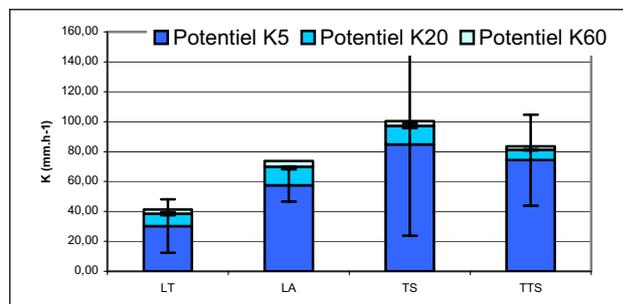


Figure 5 : Conductivité hydraulique à trois potentiels en surface en zone non tassée par traitement de travail du sol (moyenne des trois blocs +/- écarts-type) – site C (2 ans).

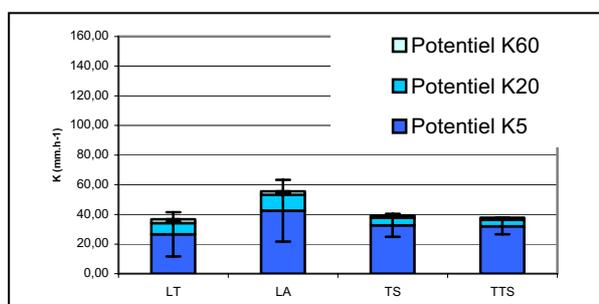


Figure 6 : Conductivité hydraulique à trois potentiels à 17 cm en zone non tassée par traitement de travail du sol (moyenne des trois blocs +/- écarts-type) – site C (2 ans).

Une mesure ponctuelle n'est pas suffisante pour la compréhension des propriétés hydrodynamiques d'un sol. Un suivi dans le temps permettrait de mieux cerner la variabilité inter saisons.

Etat de surface

Pour le site B, en dernière année, l'observation des états de surface a permis d'observer une prise en masse de l'horizon superficiel pour deux modalités : le LT et le TS, avec la formation d'une croûte de battance en surface (0,5 à 1 cm d'épaisseur). Par ailleurs, peu de différences ont pu être mises en évidence entre les traitements de travail du sol, au niveau du faciès (de type F12, correspondant à une croûte sédimentaire dont les microdépressions représentent moins de 30 % de la surface), de la rugosité perpendiculaire et parallèle à la pente (de type R1 et R0, désignant un dénivelé < 2 cm). Cette similarité des états de surface est liée au passage du combiné herse-semoir, dans chacune des modalités.

Tableau 8 : Synthèse des effets des 4 traitements de travail du sol sur la qualité physique du sol

Mesures effectuées	Site A ISARA Lyon	Site B Kerguehennec	Site C ESA Angers	Réseaux de parcelles Lyon	Réseaux de parcelles Angers
<i>Infiltrométrie</i>	Conclusion année 3 : pas de différence significative entre traitement à la surface du sol	Conclusion années 4 et 5 : Différences significatives en surface : TTS > TS-LA-LT Différences significatives en profondeur : LT > TTS-TS-LA en année 4 mais résultats non confirmés en année 5	Conclusion années 0 à 2 : Pas de différence marquée entre traitement ni à la surface du sol, ni à 17 cm	Pas de mesure	Pas de mesure
<i>Densité apparente</i>	Conclusion années 0 à 3 : la différence de densité commence en année 3 (blé) : TTS > TS-LA > LT en profondeur Pas de différence sur 0-5 cm	Conclusion années 4 et 5 : Différences significatives TS-TTS > LA-LT en surface. Résultats inversés en profondeur	Conclusion années 0 à 2 : Différences uniquement sur l'horizon 10-18 cm : TTS > TS- LA-LT	Conclusion année 2 : en attente	Conclusion années 0 et 2 : LT > TS en profondeur Et Semis direct > TS en profondeur
<i>Etat de surface</i>	Conclusion années 0 à 3 : Battance LT-LA > TS-TTS Résidus : TS-TTS > LA-LT	Conclusion années 4 et 5 : Pas de différence significative entre les modalités Taux de recouvrement par les résidus de récolte du précédent TTS > TS-LA-LT (année 4)	Conclusion années 0 à 2 : Année 2 : Taux de recouvrement très important par les adventices, peu de résidus Stabilité structurale tend à : TTS-TS > LA-LT		Conclusion année 0 et 2 : Pas de différence significative de battance entre traitement
<i>Structure du sol : profil cultural</i>	Conclusion années 0 à 3 : Tendence à plus de tassement en TTS > PL-LA-LT	Conclusion années 4 et 5 : Moins de tassement en TTS en surface et en LT en profondeur (année 5). Prise en masse des différentes modalités en profondeur.	Conclusion années 0 à 2 : Tendence à plus de tassement en TTS > PL-LA-LT	Conclusion années 1 et 2 : idem que site C - variation suivant les types de sol	Conclusion années 0 et 2 : TTS : porosité liée aux racines. Prise en masse des différentes modalités en profondeur.

2. Effet du travail du sol sur la qualité chimique du sol

C organique

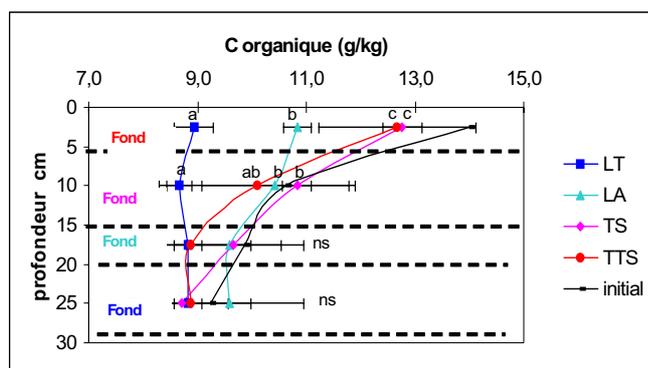


Figure 7 : Profil de la teneur en carbone organique (en g/kg) par technique de travail du sol - site A (3 ans)

ns : différence non significative statistiquement
a, b : différence significative (P < 0,05)

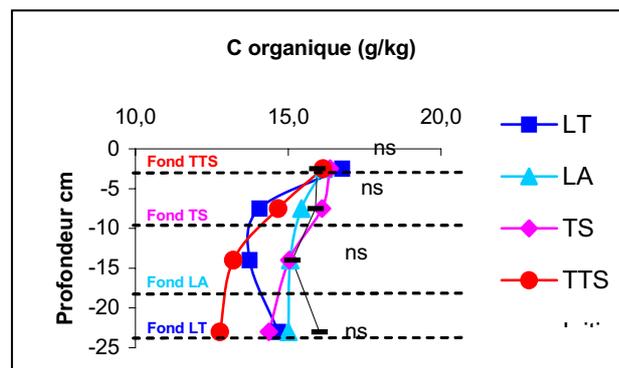


Figure 8 : Profil de la teneur en carbone organique (en g/kg) par technique de travail du sol - site C (2 ans)

ns : différence non significative statistiquement
a, b : différence significative (P < 0,05)

La principale tendance observée sur les sites expérimentaux est la stratification du C organique dans le profil de sol pour les TTS et TS : une concentration accrue en surface comparée aux LA et LT (figure 7 – Site A), où la concentration en C organique évolue peu dans le profil de sol. Toutefois, comme pour la densité apparente, l'âge de l'expérimentation joue et ce résultat est bien visible sur les sites A (3 ans) et B (5 ans) alors que le site C (figure 8 – 2 ans) ne présente pas de différence significative de concentration du C organique pour le moment.

N total

La répartition du N total est globalement la même que celle obtenue pour le C organique.

Reliquats N

Des mesures de reliquats N dans la solution du sol ont été effectuées sur le site B. Toutefois, les résultats obtenus sont faibles et ne permettent pas d'observer de différence entre les traitements de travail du sol. Une des principales raisons de ces faibles valeurs de N mesurées est le choix de rotation du site B présentant peu de prairies et de légumineuses.

Tableau 9 : Synthèse des effets des 4 traitements de travail du sol sur la qualité chimique du sol

Mesures effectuées	Site A ISARA Lyon	Site B Kerguehenne	Site C ESA Angers	Réseaux de parcelles Lyon	Réseaux de parcelles Angers
<i>C organique</i>	Conclusion années 0 à 3 : Concentration du C_{org} en surface en TTS et TS - Homogénéité dans le profil de sol pour LA et LT	Conclusion années 4 et 5 : Concentration du C_{org} en surface en TTS et TS. Homogénéité dans le profil de sol pour LA et LT Pas de différence de stock en année 4.	Conclusion années 0 à 2 : Pas de différence entre modalités Stratification du C significative en TTS	Point 0 : pas de résultat (attendre années 3 ou 4)	Conclusion années 0 et 2 : - en attente année 2 Concentration du C_{org} en surface en TTS, moins net pour TS. Homogénéité dans le profil de sol pour LT
<i>Répartition des éléments minéraux N, P, K, pH, CEC</i>	Conclusion années 0 à 2 pour N : Gradient dans le profil de sol pour TTS et TS - homogénéité dans le profil pour LA et LT	Teneur en MgO et K_2O suit la tendance suivante en surface : TTS > TS > LA > LT. Tendance inversée pour le MgO en profondeur	Conclusion années 0 à 2 : Pas de différence entre modalités Stratification du P en TTS Concentration du K en surface pour tous les traitements	Point 0 : pas de résultat (attendre années 3 ou 4)	Conclusion années 0 et 2 : - en attente année 2 LT et TS : Aucune stratification observée
<i>Reliquats N sortie hiver</i>	Pas de mesure	Conclusion années 4 et 5 : reliquats très faibles compte tenu des apports organiques et de la pluviométrie en période hivernale.	Pas de mesure		Pas de mesure

3. Effet du travail du sol en grandes cultures sur la qualité biologique du sol

Biomasse et densité des vers de terre

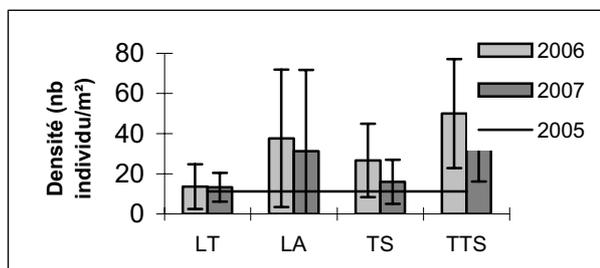


Figure 9 : Evolution de la densité de lombriciens (nombre d'individus/m²) entre 2005 et 2007, par modalité (moyenne +/- écart-type) – site C (2 ans).

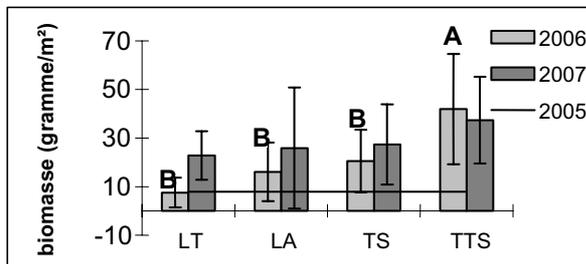


Figure 10 : Evolution de la biomasse de lombriciens (en gramme/m²) entre 2005 et 2007, par modalité (moyenne +/- écart-type) – site C (2 ans).

La population lombricienne est plus importante en biomasse pour le TTS quels que soient les sites expérimentaux (figures 10 et 11), excepté en année 5 sur le site B. Pour les densités (nombre d'individus / m²), les résultats sont variables suivant les sites et années (figures 9 et 12). En effet, un des principaux problèmes rencontrés dans

l'estimation des densités et des biomasses lombriciennes est la forte variabilité spatiale rencontrée de ces indicateurs sur les parcelles expérimentales.

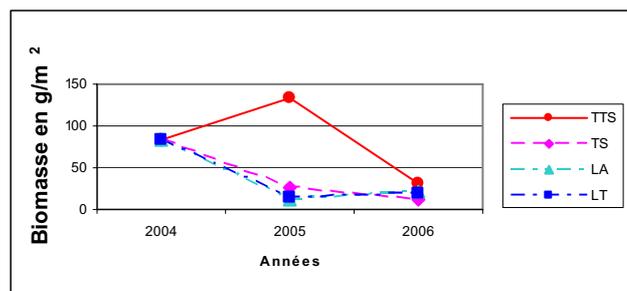


Figure 11 : Evolution de la biomasse de lombriciens (gramme/m²) sur 3 ans par traitement de travail du sol – site A (3 ans).

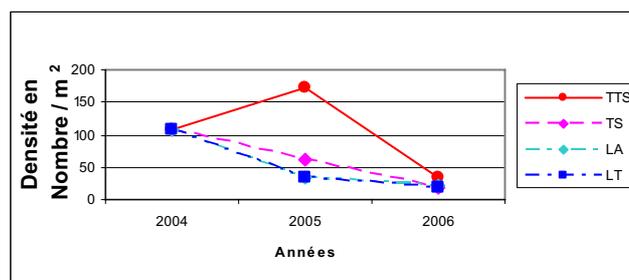


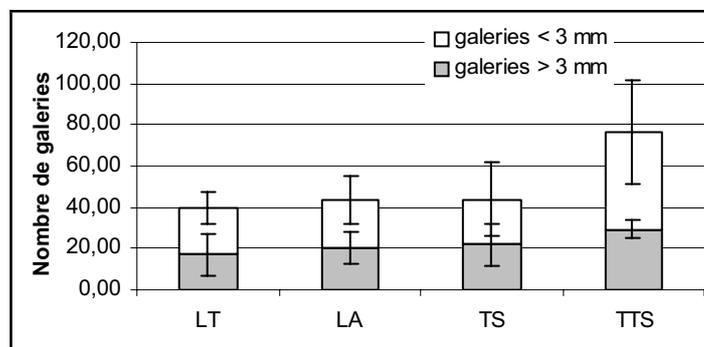
Figure 12 : Evolution de la densité de lombriciens (nombre d'individus/m²) sur 3 ans par traitement de travail du sol – site A (3 ans).

En comparant les résultats obtenus sur les différents sites, il semble que l'évolution des populations lombriciennes est corrélée à la nature de la rotation sur la parcelle (avant différenciation des traitements de travail du sol). En effet, sur le site A (figures 11 et 12), une forte baisse est observée entre 2004 et 2006 quels que soient les traitements de travail du sol, en raison d'une valeur initiale assez élevée (due à 4 ans de luzerne), alors que le site C présente une évolution inverse (figures 9 et 10), la valeur initiale étant très faible (labour profond chaque année pour l'implantation d'une culture annuelle). Quoi qu'il en soit, le traitement TTS présente toujours plus de biomasse lombricienne comparée aux autres traitements.

Galeries de vers de terre

Pour les trois sites expérimentaux, le nombre de galeries de lombriciens comptées à 25 cm de profondeur dans le profil de sol ne présente pas de différence significative entre traitements (exemple figure 13 – site C). Deux raisons sont avancées pour expliquer ce résultat : (1) une très forte variabilité de la mesure qui ne permet pas de dégager des tendances statistiques, (2) un problème de mesures, le comptage n'étant pas pertinent à la profondeur envisagée (problème méthodologique).

Figure 13 : Activité lombricienne en 2007 par traitement de travail du sol (moyenne +/- écart-type) – Site C (2 ans).



Micro-organismes

Sur les sites A et B, la biomasse microbienne, ainsi que le C et N minéralisés, ont été mesurés suivant un protocole expérimental particulier. Ces mesures ont été effectuées en tenant compte de leur place dans le profil de sol (stratification de l'échantillonnage) et de l'état structural des zones de prélèvement (mottes Γ et Δ). La figure 14 illustre les résultats obtenus après une année de différenciation de traitements de travail du sol sur le site A. Les résultats du site B sont concordants avec ces derniers. Ainsi, suivant le type de travail du sol, la biomasse microbienne est distribuée différemment dans le sol : concentrée dans les premiers cm en TTS et TS, plus diluée pour le LA et LT. A l'intérieur des horizons, le tassement du sol (représenté par les mottes Δ) va influencer plus ou moins ces concentrations : forte diminution de la biomasse microbienne dans les zones tassées dans les horizons où cette dernière est très présente globalement.

Figure 14 : Répartition de la biomasse microbienne dans le profil de sol pour chaque traitement de travail du sol – 2006 - site A (1 an).

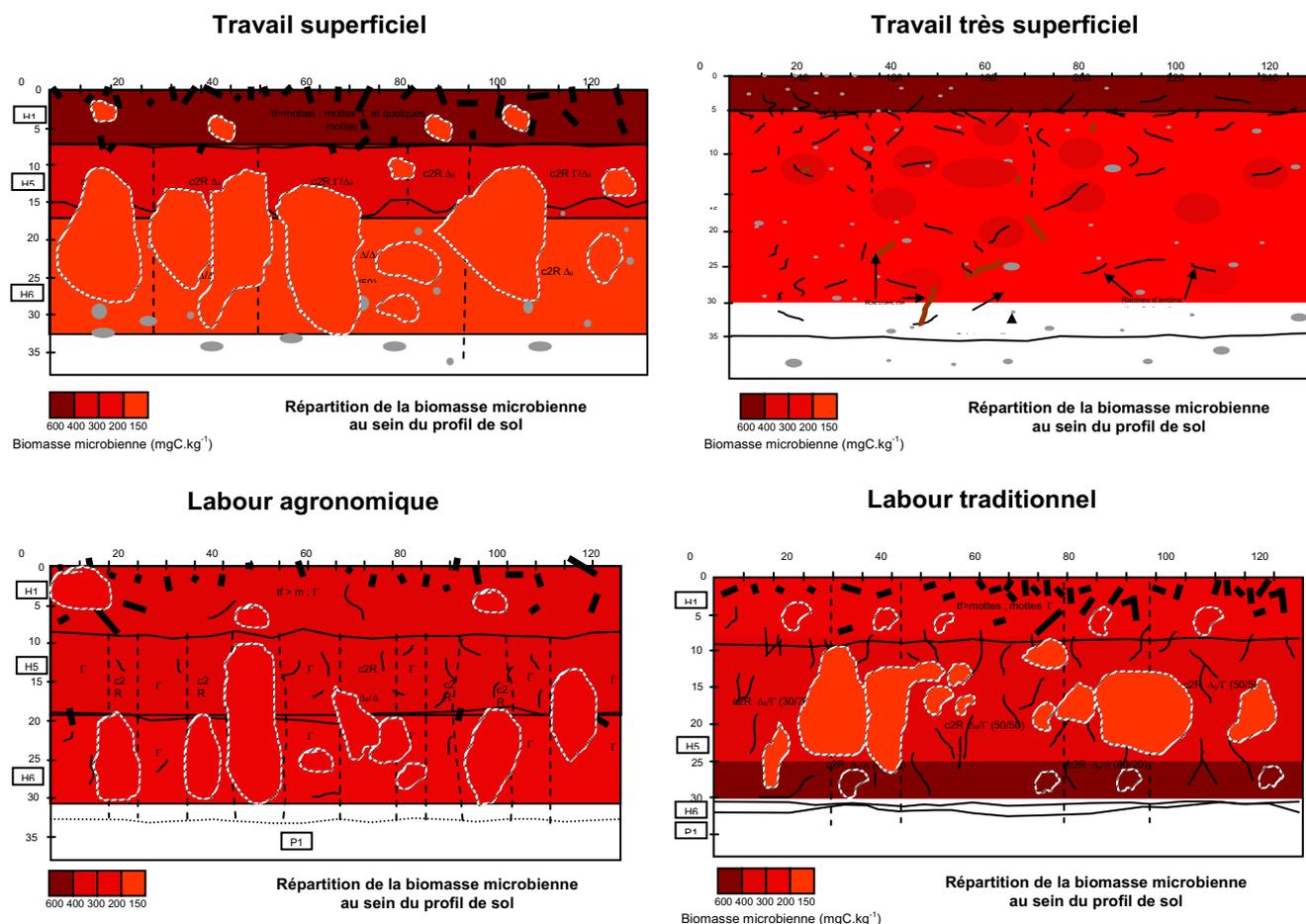


Tableau 10 : Synthèse des effets des 4 traitements de travail du sol sur la qualité biologique du sol.

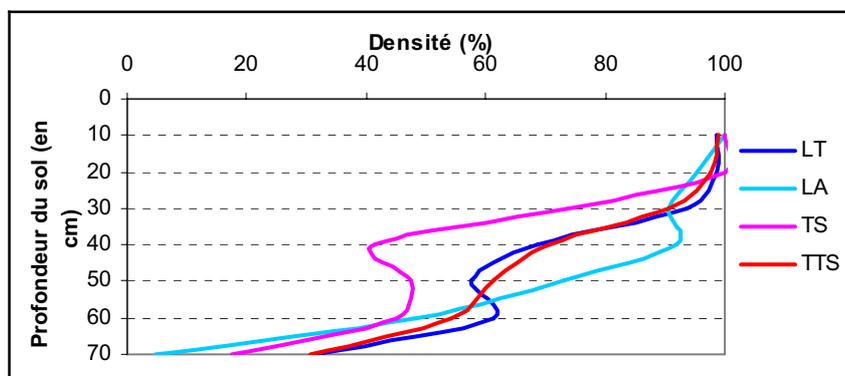
Mesures effectuées	Site A ISARA Lyon	Site B Kerguehennec	Site C ESA Angers	Réseaux de parcelles Lyon	Réseaux de parcelles Angers
Population de vers de terre	Conclusion années 0 à 3 : Différences entre traitement significatives pour la biomasse et densité : TTS > PL, LA, LT Apparition d'épigés en TTS	Conclusion année 4 : Différences significatives entre traitements pour la biomasse et la densité : TTS, TS, LA > LT (année 4) année 5 : pas de différence significative entre les traitements	Conclusion années 0 à 2 : Différences entre traitement significatives pour la biomasse : TTS > TS-LA-LT Apparition d'épigés en TTS	Point 0 : pas de résultat (attendre années 3 ou 4)	Conclusion années 0 et 2 : - en attente année 2 Présence faible au point 0 liée aux rotations (labours) Présence importante après luzernière (5 ans)
Activité fousseuse des vers de terre	Conclusion années 0 à 3 : aucune différence significative (attente résultats année 3)	Conclusion années 4 et 5 : pas de relation entre nombre de biopores et densité de vers en année 4. En année 5 biopores TTS > TS > LA > LT.	Conclusion années 0 à 2 : Aucune différence	Point 0 : pas de résultat (attendre années 3 ou 4)	Conclusion années 0 et 2 : - en attente année 2 Aucune relation établie entre la présence des vers et leur activité
Biomasse et activités microbiennes	Conclusion années 0 à 2 : Différenciation zone tassée / non tassée suivant le travail du sol : effet fragmentation du sol et incorporation des matières organiques	Conclusion années 4 et 5 : Différenciation zone tassée / non tassée suivant le travail du sol : effet fragmentation du sol et incorporation des matières organiques	Pas de mesure	Pas de mesure	Pas de mesure

4. Effet du travail du sol en grandes cultures sur les adventices et les résultats culturaux

Profil racinaire

Les profils racinaires, obtenus pour chaque site d'essais, présentent les mêmes différences entre traitements de travail du sol : une plus faible colonisation racinaire pour le TS et TTS globalement comparé aux labours (exemple figure 15). Toutefois, quels que soient le travail du sol et la culture en place, les profondeurs d'enracinement sont les mêmes.

Figure 15 : Colonisation racinaire du blé – 2006 - en zone non tassée en fonction de la profondeur et par traitement de travail du sol – site C (1 an).



Adventices et rendements

La pression exercée par les adventices sur la culture est plus importante en non labour et suit le gradient suivant : TTS > TS > LA > LT. Les résultats sont semblables pour les deux indicateurs d'appréciation des adventices que sont l'abondance (figure 20) et la biomasse (figures 16 et 18). Suivant le type de culture, les différences entre traitements sont plus ou moins marquées : faible différence dans le cas du blé (figure 16 – site C), différence plus marquée pour le soja (figure 18 – site A).

Les résultats obtenus sur les sites expérimentaux sont moins évidents sur les parcelles des réseaux : la différence de salissement n'est pas systématique entre les différents traitements. En effet, en condition non expérimentale, l'agriculteur a une marge de manœuvre plus importante pour adapter ces techniques de désherbage (principalement en termes de planning), ce qui peut expliquer cette différence. De plus, sur les parcelles d'agriculteurs, les techniques sans labours testées sont globalement moins 'simplifiées' que sur les parcelles d'essais (profondeurs plus importantes), d'où un meilleur enfouissement des adventices.

En corollaire des résultats observés sur le salissement, les résultats concernant les rendements obtenus sont aussi très variables suivant les sites et les cultures : pas de différence de rendements pour le blé (figure 17 – site C), des différences très marquées pour le maïs et le soja (figure 19 – site A) et le triticale (figure 21 – site B).

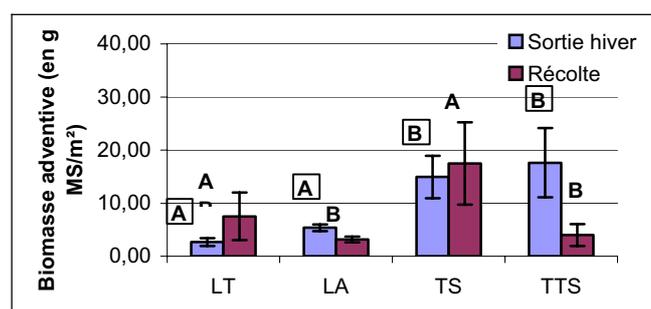


Figure 16 : Biomasse d'adventices à deux dates sous culture de blé -2006 – par traitement de travail du sol (moyenne +/- écart-type) – site C (1 an).

ns : différence non significative statistiquement
A, B : différence significative (P < 0,05)

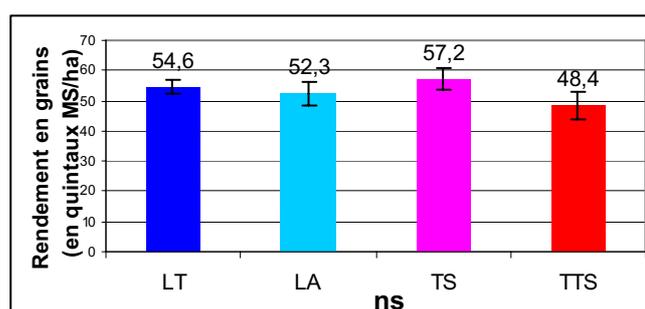


Figure 17 : Rendement en grains du blé par modalité (en qx MS/ha) – 2006 – par traitement de travail du sol (moyenne +/- écart-type) – site C (1 an).

ns : différence non significative statistiquement
A, B : différence significative (P < 0,05)

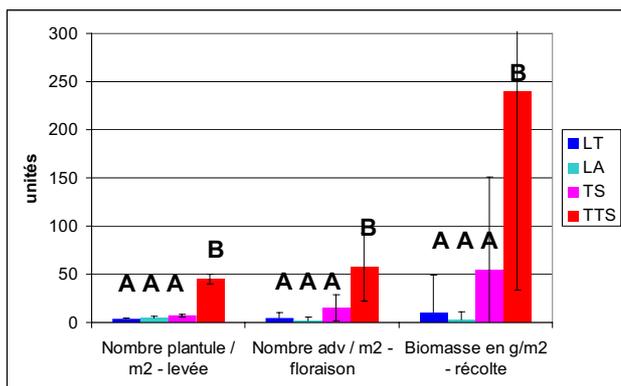


Figure 18 : Biomasse d'adventices à trois dates sous culture de soja -2006 – par traitement de travail du sol (moyenne +/- écart-type) – site A (2 ans).

ns : différence non significative statistiquement
 A, B : différence significative ($P < 0,05$)

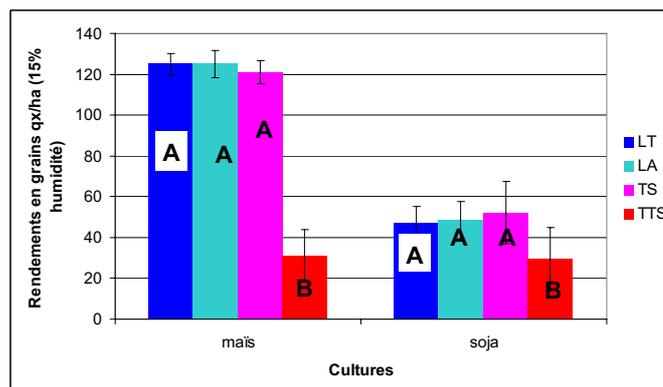


Figure 19 : Rendement en grains du maïs et du soja (en qx /ha) – 2005 - 2006 – par traitement de travail du sol (moyenne +/- écart-type) – site A (1 an et 2 ans).

ns : différence non significative statistiquement
 A, B : différence significative ($P < 0,05$)

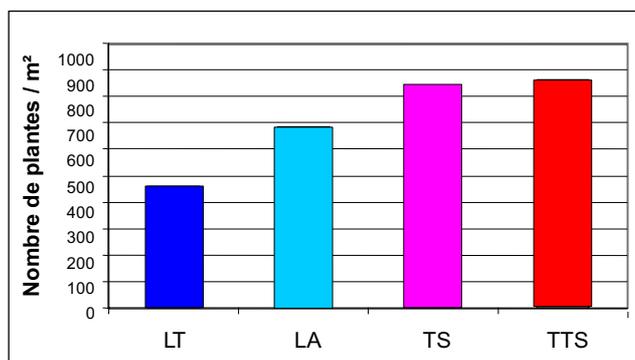


Figure 20 : Nombre de plantes / m² à une date sous culture de triticale – 2007 – par traitement de travail du sol – site B (5 ans).

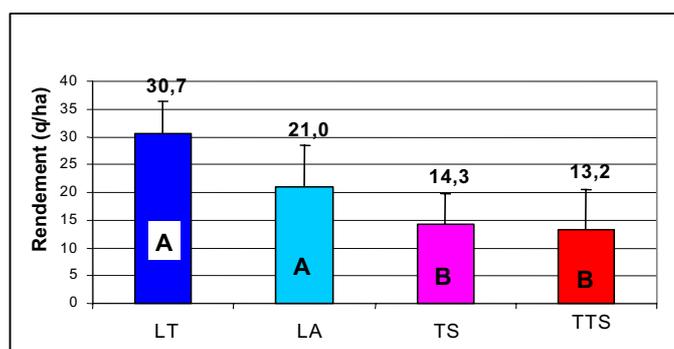


Figure 21 : Rendements en grains du triticale (en qx/ha) – 2007 – site B (5 ans).

ns : différence non significative statistiquement
 A, B : différence significative ($P < 0,05$)

Tableau 11 : Synthèse des effets des 4 traitements de travail du sol sur les adventices et résultats culturaux.

Mesures effectuées	Site A ISARA Lyon	Site B Kerguehennec	Site C ESA Angers	Réseaux de parcelles Lyon	Réseaux de parcelles Angers
Profil racinaire	Conclusion années 0 à 3 : Différences d'enracinement entre traitements mais pas limitante - en attente traitement année 3	Conclusion années 4 et 5 : Profondeur d'enracinement identique pour les 4 modalités. Prospection intégrale sur l'horizon travaillé.	Conclusion année 1 : Pas de différence d'enracinement dans les horizons travaillés pour les 4 traitements	Pas de mesure	Pas de mesure
Rendements (composantes)	Conclusion années 0 à 3 : rendements inférieur en TTS < PL, LA et LT pour maïs et soja En attente année 3 (blé)	Conclusion années 4 et 5 : Nombre de pieds (réussite à la levée) plus élevés pour les 2 labours. Idem pour le rendement (année 4)	Conclusion années 0 à 2 : Pas de différence de rendement en grains (blé), Pas de différence en biomasse	Conclusion années 1 et 2 : Pas de différences significatives - en attente année 2	Conclusion années 1 et 2 : Différences de rendement non significatives Rendement nul en semis direct En attente année 2
Adventices	Conclusion années 0 à 3 : Salissement TTS > TS-LA-LT mais attente année 3	Conclusion années 4 et 5 : Salissement TTS > TS-LA-LT générant la verse de la culture en année 5, et provoquant une concurrence pour le rendement (année 4)	Conclusion années 0 à 2 : Salissement TTS-TS > LA-LT (blé) Infestation très importante par les adventices indifféremment du travail du sol en 2006 (lupin)	Conclusion années 1 et 2 : Pas de différences significatives - en attente année 2	Conclusion années 1 et 2 : Différences de salissement non significatives Excepté : LT : salissement sur une parcelle En semis direct : Salissement important et pénalisant - en attente année 2
Sensibilité aux maladies et ravageurs	Conclusion années 0 à 3 : Pas de maladies et/ou différence	Conclusion années 4 et 5 : Pas ou peu de maladies sur l'essai en années 4 et 5 (choix de variétés peu sensibles)	Pas de maladies ni ravageurs notés	Pas de maladies ni ravageurs notés	Pas de maladies ni ravageurs notés

5. Impacts économique et énergétique des techniques sans labour en grandes cultures

Les réductions de consommations énergétiques et des coûts de production en simplifiant le travail du sol sont variables selon les exploitations et même selon les cultures (figure 22). Il ressort du suivi que le temps de traction est le facteur déterminant de l'intérêt économique et énergétique des TSL. Pour qu'il y ait un gain économique et énergétique conséquent en simplifiant le travail du sol, comme dans le cas du lupin et de la féverole, il a fallu réduire fortement le temps de traction (figure 23). Une réduction de 1,8 heure/ha sur la culture de lupin a engendré une économie de 33 litres/ha de carburant (13 % de la consommation totale) et de 77 euros/ha de charges de mécanisation. Cette réduction ne s'est pas réalisée seulement par l'abandon de la charrue, mais par un raisonnement différent de l'itinéraire technique en TSL. Toutes les situations du réseau de parcelles où les gains économiques et énergétiques sont négligeables en TSL (cultures de blé et culture de maïs), se caractérisent par des itinéraires techniques quasiment identiques à ceux appliqués sur les parcelles labourées.

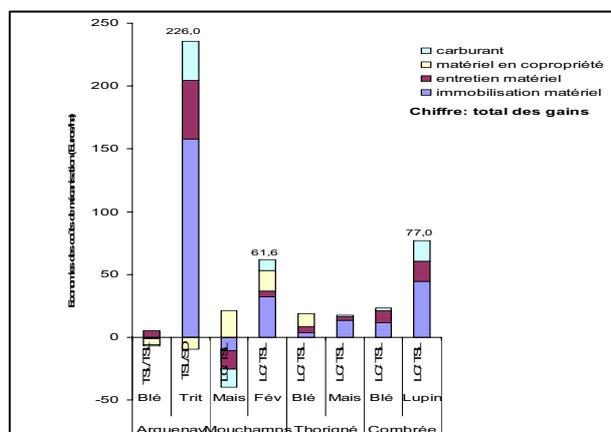


Figure 22 : Economies des coûts de mécanisation en simplifiant le travail du sol (Euros/ha) = coûts de mécanisation en LC – coûts de mécanisation en TSL (ou SD) - site C.

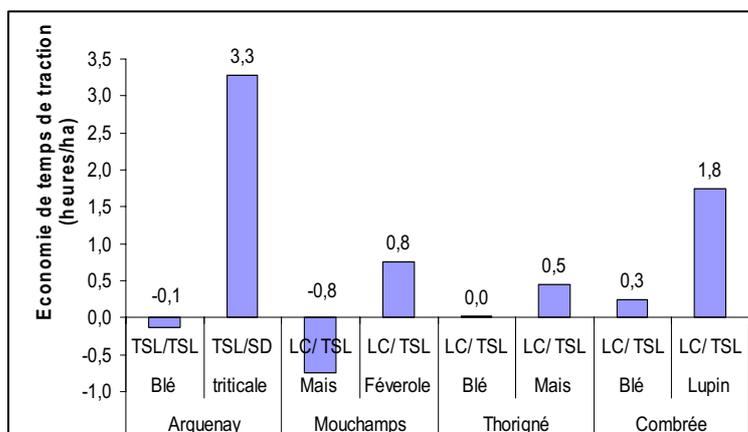


Figure 23 Economies de temps de traction en simplifiant le travail du sol (heure/ha) = temps de traction en LC – temps de traction en TSL (ou SD) - site C.

Points forts et points faibles des résultats obtenus en grandes cultures

Tableau 12 : Points forts et faibles des 4 traitements de travail du sol pour les 3 sites d'essais

Modalités	Points faibles			Points forts		
	Site A Lyon : 3 ans d'essai	Site B Kerguehenec : 5 ans d'essai	Site C Angers : 2 ans d'essai	Site A Lyon : 3 ans d'essai	Site B Kerguehenec : 5 ans d'essai	Site C Angers : 2 ans d'essai
Labour « traditionnel » (LT)	Moins de lombriciens, dus aux outils			Bonne gestion de l'enherbement		
	Dilution de la matière organique dans les 30 cm : visible dès la première année			Meilleure structure du sol (da, profil) en profondeur : due au travail mécanique Meilleure exploration racinaire, mais pas de différence de profondeur d'enracinement.		
Labour « agronomique » (LA)	Moins de lombriciens, dus aux outils (comme LT)			Meilleure infiltration en profondeur de l'eau		
Travail superficiel (TS)	Enherbement intermédiaire	Risque de maladies		Meilleur compromis entre travail mécanique (gestion de l'enherbement, structure du sol) et dilution de la matière organique (seulement sur 20 cm)		
Travail très superficiel ou semis direct (TTS ou SD)	Semis direct sous couvert : problème de compétition et forte hétérogénéité			Bon compromis entre préservation de la structure du sol (création d'une porosité par les dents) et préservation d'un gradient de matière organique (+ concentré en surface)		
	Gestion difficile des vivaces, enherbement difficile à gérer Légère reprise en masse non compensée par la vie du sol (racines, lombriciens)			Temps de travail diminué		
				Meilleure infiltration de l'eau en surface et moins de battance		
				Meilleure stabilité structurale		
				Plus de lombriciens, dus à la faible perturbation du sol, les résidus et la couverture végétale en surface		

Conclusion sur les résultats obtenus en grandes cultures, sur sols limoneux et limono-sableux

Nous présentons cette conclusion sous la forme de réponses aux questions posées à l'origine du projet.

- Quelles sont les modifications des propriétés physico-chimiques des sols dues à des techniques de travail du sol différentes ?

Sur l'ensemble des sites expérimentaux, et sur les parcelles des réseaux, le travail superficiel (TS) et surtout le travail très superficiel (TTS) du sol présentent des structures de sol plus tassées que les techniques de labours. Cette tendance est visible dès les premières années de modification des pratiques. Même au bout de 5 ans (site de Kerguehenec), le travail du sol très superficiel présente toujours une structure plus tassée, et ainsi une densité apparente du sol plus importante en profondeur.

En concordance avec les études déjà menées en agriculture conventionnelle, les TTS et TS présentent dès les premières années un gradient de concentration de C (et N) dans le profil de sol (+ concentré en surface) contrairement aux techniques de labours (dilution dans l'horizon travaillé). Cette concentration et/ou l'effet de protection des résidus en surface conduit à moins de battance (sur les 3 sites). D'un point de vue de la disponibilité en azote, nous n'avons pas constaté de différence. Toutefois ce point a été peu développé dans notre étude et constituera un élément de suivi détaillé dans les années à venir.

- Dans quelle mesure les modifications des populations de macro-organismes générées par différentes techniques de travail du sol vont-elles avoir un impact sur la structure du sol ?

Bien que sur les trois sites expérimentaux le TTS présente plus de densité et de biomasse de lombriciens, leur activité fousseuse n'est pas plus importante. La macroporosité du sol due à l'activité biologique n'est donc pas augmentée et ne permet pas une amélioration de la structure du sol. Deux raisons peuvent expliquer cette observation : il n'y a pas de lien entre les populations de vers de terre et leur activité, et/ou notre observation de l'activité des vers de terre n'est pas assez fine. En effet, d'après d'autres études, il semble qu'il y ait un lien entre les catégories (anéciques, endogés et épigés) ou espèces de lombriciens (qui peuvent avoir des comportements fousseurs différents) et la structure du sol, la taille des individus étant différente entre les catégories écologiques et, certaines catégories étant favorisées par certains traitements du sol. Suite à ces deux années d'essai, nous allons donc revoir notre méthode de caractérisation de l'activité fousseuse des lombriciens.

L'observation de l'enracinement des cultures montre que quel que soit le travail du sol, les racines explorent le sol à des profondeurs identiques. Seules les densités de racines diffèrent : les labours présentent des densités racinaires plus importantes en profondeur comparés aux TTS et TS. Ainsi bien que le sol ait tendance à se tasser

en profondeur pour les TTS et TS, la structure du sol n'est pas un facteur limitant à l'enracinement au bout de 5 ans.

En conclusion, les points les plus marquants de ce travail en termes d'acquisition de connaissances sont :

- pas de différence remarquable d'activité des lombriciens entre traitements de travail du sol au bout de 3 ans alors que la population se différencie,
- faible impact de l'activité biologique en terme d'amélioration de la structure du sol en TTS et TS.
- La simplification de travail du sol a-t-elle des conséquences néfastes sur l'enherbement des cultures ? Faut-il envisager une nouvelle façon d'appréhender le désherbage (plus grande tolérance, facilité du désherbage accrue par une meilleure structure) ? Les modifications des propriétés du sol se traduisent-elles par une évolution de la flore spontanée ?

L'enherbement des cultures présente des différences importantes entre techniques de travail du sol :

- Salissement plus important en TTS comparé aux autres modalités de travail du sol.
- Différenciation des espèces d'adventices suivant les modalités de travail du sol. Le salissement en TTS est dû :
 - aux tentatives de semis direct sous couvert vivant, non concluantes et ayant favorisé un stock important d'adventices dans le sol (sites de Lyon et de Kerguehenec),
 - un développement de vivaces difficilement destructibles sans travail du sol profond (tous les sites).

Toutefois, ce salissement peut être contrôlé en TTS par des faux semis et des hersages.

Les résultats montrent aussi que le retournement du sol n'est pas forcément obligatoire pour contrôler les adventices. En effet, la technique de TS (pas de retournement mais travail du sol à 10-15 cm) ne présente pas systématiquement plus d'adventices, ni de rendements inférieurs à ceux obtenus avec les labours.

- Quelles sont les conséquences des modifications des caractéristiques du sol sur l'équilibre de la parcelle, et notamment induisent-elles des modifications de la réponse de la culture aux « agressions » (ravageurs, maladies, stress hydrique ...) ?

Nous n'avons pas observé d'effets du travail du sol sur les maladies et ravageurs. Néanmoins, le choix variétal en système agrobiologique s'oriente prioritairement vers les variétés peu sensibles aux principales maladies.

- Le changement de pratique de travail du sol engendre-t-il des résultats culturaux différents : quantité de produit (rendement) et qualité ?

Globalement, la technique du TTS présente des rendements inférieurs aux autres techniques. Cette différence est due au salissement, et donc à l'effet compétition des adventices dès la levée des cultures. Le tassement observé dès la première année participe peut-être à la baisse de rendement, mais si tel est le cas, de façon secondaire, l'enracinement des cultures ne présentant pas de différence marquée. Ainsi, lorsque le salissement a été contrôlé, le rendement en TTS n'est pas inférieur aux autres techniques.

Résultats obtenus en maraîchage (Action 2B)

L'action 2B s'articule autour de 4 sites expérimentaux sur des parcelles en maraîchage biologique (tableau 13). Sur chaque site, on compare un itinéraire de travail du sol en "planches permanentes" à un (ou 2) itinéraire(s) "classique(s)".

Tableau 13 : Présentation des 4 sites d'essais en maraîchage.

C* = Classique, itinéraire de référence ; PP* = Planches Permanentes ; EV* = engrais vert

	Rhône-Alpes	Nord	Charentes	Provence
Site	A (producteur)	B (station)	C (producteur)	D (station)
Resp. de l'essai	SERAIL	PLRN	ACPEL	GRAB
Début de l'essai	2001	2003	2005	2005
Type de sol	Limono-argilo-sableux, hydromorphe développé sur des morènes	Argilo-limoneux, drainé	Argilo-limoneux	Limono-argileux développé dans des alluvions
Modalités	C* : labour + rotobèche + cultivateur PP* : cultibutte + vibroplanche	C 1 : labour + herse rotative C 2 : rotobèche + cultivateur PP : actisol + outils à dents	C : labour + herse rotative PP : actisol + outils à dents	C : herse rotative PP : actisol + "MTCS"
Nombre de répétitions	2	3	2	2
Successions culturales	2001 : poireau + EV* 2002 : laitue d'automne 2003 : carotte + EV 2004 : chou d'automne 2005 : EV + épinard 2006 : poireau	2003 : navet 2004 : carotte 2005 : pois + EV 2006 : oignon 2007 : navet	2005 : carotte 2006 : poireau 2007 : pomme de terre	2005 : courges 2006 : melons + EV 2007 : oignons et radis japonais

Itinéraire "planches permanentes" :

- Les passages de roues sont toujours les mêmes depuis le début de l'expérimentation et empruntés à chaque intervention culturale.
- La planche de culture, qui fait 1,2 m à 1,5 m de large selon les sites, est indemne de tout tassement lié aux passages d'outils.
- Les outils non rotatifs, principalement à dents, sont utilisés préférentiellement sur cet itinéraire. L'actisol est l'outil de référence mais certains outils spécifiques ont été mis au point pour le travail sur les planches : "cultibutte" et "vibroplanche" sur le site A, "Matériel de Techniques Culturales Simplifiées" (MTCS) sur le site D. Ces outils sont présentés en encadré page suivante.

Outils mis au point pour le travail du sol en planches permanentes

Sur le site A au GAEC des Jardins du Temple : culture en buttes



Formation initiale des buttes :

Butteuse à disques



Entretien des buttes :

Cultibutte

Constitué de dents qui travaillent à 25-30 cm, d'une herse et de 2 disques qui remontent la butte



Préparation finale :

Vibroplanche

Un soc central permet de travailler le milieu de la planche, des dents assurent la fragmentation

Sur le site D, au GRAB : travail en buttes ou à plat



Entretien et Préparation finale :

Matériel de Techniques Culturelles Simplifiées en Maraîchage (MTCS)

Les disques étoiles alternés au centre de l'outil travaillent le sol sur 15 cm. Un rouleau cage permet d'affiner en surface. Deux disques peuvent être installés pour la culture en buttes.



Itinéraire "classique" :

- Les passages de roues sont aléatoires
- Le labour est la référence sur 3 sites (A, B et C) avec outils animés (rotobèche + cultivateur ou herse rotative). La herse rotative est la référence sur le site D.

Les mesures et observations, harmonisées sur les 4 sites expérimentaux, ont permis d'évaluer l'évolution de la fertilité physique, chimique et biologique, les résultats culturaux, l'évolution de l'enherbement spontané et les résultats sur les temps de travaux.

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux synthétiques reprenant les principaux résultats pour chaque site, et d'une discussion globale sur les conclusions de l'évolution des paramètres. Le détail des résultats de chaque site sera prochainement disponible sur le site de l'ITAB.

1. Evolution de la fertilité physique en maraîchage

Cette évaluation repose essentiellement sur l'observation de profils culturaux (structure du sol et enracinement) à différentes dates sur chaque essai.

Les profils culturaux réalisés sur les différents sites montrent des résultats assez contrastés.

Sur le site B dans le Nord, où les conditions pédo-climatiques sont assez difficiles, la structure est dégradée quel que soit l'itinéraire. Le profil est légèrement plus favorable sous l'itinéraire C2 "rotobèche". La situation est très proche sur le site C en Charentes.

Sur le site A, en Rhône-alpes, la structure de sol apparaît très satisfaisante en 2006 quel que soit l'itinéraire avec l'évolution suivante (figure 24) :

- des compactations latérales, nettes sur les planches permanentes en 2004, ont disparu en 2006. Cette amélioration est liée à la pratique systématique des engrais verts en interculture et à la suppression du décompactage profond sur cet itinéraire.
- Le profil apparaît plus favorable sous l'itinéraire PP en 2006, avec notamment des signes d'activité biologique et un enracinement de la culture plus importants.

Figure 24 : Evolution de l'état interne des mottes en zone L3. Site A (Rhône-Alpes).
(mottes Γ : gamma (poreuse), Δ : delta (tassée), $\Delta 0$: delta 0 (peu tassée))

ETAT INTERNE DES MOTTES : ZONES L3					
Profondeur (cm)	Point 0 (2001)	REF 2004	PP 2004	REF 2006 haut	PP 2006 haut
	0 ----->100%	0 ----->100%	0 ----->100%	0 ----->100%	0 ----->100%
0-5	Γ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Δ	Γ $\Delta 0$
5-10	Γ Φ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$ Δ	Δ	Γ
10-15	Γ Φ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$ Δ	Δ	Γ
15-20	Γ Φ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$ Δ	Γ Δ	Γ
20-25	Γ Φ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$ Δ	Γ Δ	Γ
25-30	Γ Φ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$ Δ	Γ Δ	Γ
30-35	Γ Φ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$ Δ	Γ Δ	Γ
35-40	Γ Φ $\Delta 0$ Δ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$ Δ	Γ Δ	Γ
40-45	$\Delta 0$			$\Delta 0$ Δ	Φ

Sur le site D, en Provence, on assiste à une compaction importante de l'horizon cultivé sur la modalité PP dès 2006. La culture en butte sur cet itinéraire, associée à l'irrigation au goutte à goutte, a provoqué une prise en masse sur les 30 premiers centimètres de ce sol d'alluvions limoneuses particulièrement sensibles à ce phénomène. A partir de fin 2006, on a supprimé les buttes pour revenir en culture à plat, tout en conservant les passages de roues, mais le profil révèle la présence de mottes Δ et $\Delta 0$, témoins des compactations antérieures (figure 25).

Figure 25 : Evolution de l'état interne des mottes en zone L3. Site D (Provence).
(mottes Γ : gamma (poreuse), Δ : delta (tassée), $\Delta 0$: delta 0 (peu tassée))

ETAT INTERNE DES MOTTES : ZONES L3					
Profon- deur (cm)	Point 0 (2005)	Classique 2006	PP2006	Classique 2007	PP 2007
	0 ----->100%	0 ----->100%	0 ----->100%	0 ----->100%	0 ----->100%
0-5	$\Delta 0$ Δ	TF Γ	TF Γ $\Delta 0$	TF Γ $\Delta 0$	TF $\Delta 0$ Δ
5-10	$\Delta 0$ Δ	Γ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
10-15	$\Delta 0$ Δ	Γ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
15-20	$\Delta 0$ Δ	Γ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
20-25	$\Delta 0$ Δ	Γ	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
25-30	$\Delta 0$ Δ	Γ ?	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
30-35	$\Delta 0$ Δ	Γ ?	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
35-40	$\Delta 0$ Δ	Γ ?	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
40-45	$\Delta 0$ Δ	Γ ?	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ
45-50	$\Delta 0$ Δ	Γ ?	Γ $\Delta 0$	Γ $\Delta 0$	$\Delta 0$ Δ

L'évolution de la structure de sol sur les différents sites d'essais illustre parfaitement la diversité des situations en fonction des conditions pédo-climatiques et des rotations culturales. La maîtrise de l'itinéraire de travail du sol s'avère assez complexe sur les planches permanentes, notamment à cause de l'adaptation des outils disponibles à ce travail particulier. Contrairement aux grandes cultures, il y a peu d'outils types utilisables, et la maîtrise de l'itinéraire de travail du sol passe par différentes étapes de mise au point des outils et d'acquisition de savoir-faire. C'est sans doute une des raisons pour lesquelles l'antériorité de l'essai (6 ans) détermine nettement la réussite sur le site A.

Sur l'ensemble des sites expérimentaux on note par ailleurs une meilleure reprise des sols au printemps.

Tableau 14 : Synthèse des effets des itinéraires de travail du sol sur la fertilité physique.
(C = Classique ; PP = Planches Permanentes)

Mesures et observations	Site A Rhône Alpes	Site B Nord	Site C Charentes	Site D Provence
Profil cultural	2004 : Meilleure structure sous la butte de PP mais compactations latérales 2006 : Bonne structure dans les 2 modalités, plus favorable sous PP avec moins de mottes Δ et plus de traces d'activité biologique. Il n'y a plus de compactations latérales sous PP	2006 : Profil rotobèche > labour = PP. Situation assez dégradée quelle que soit la modalité. Problèmes de compactations latérales sous PP, inférieurs en 2006 qu'en 2004	2007 : Situation de structure assez compactée dans C et PP. Pas de différence marquée entre les 2 modalités. Etat interne des mottes contrasté dans PP (30 % Γ + 40 % Δ + 30 % Δ) et plus homogène dans C (état Δ dominant)	Les profils réalisés chaque année montrent une nette et progressive dégradation de la structure sous les PP où la prise en masse est forte. Le profil réalisé sur C est plus poreux avec plus de traces d'activité des lombriciens
Reprise du sol	Meilleure sur PP	Meilleure sur PP	Meilleure reprise du sol au printemps	Meilleure sur PP

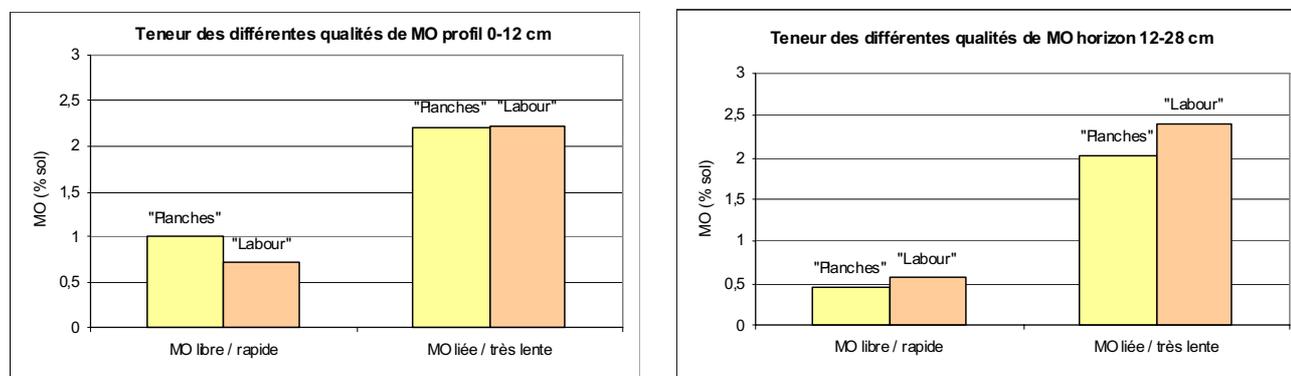
2. Evolution de la fertilité chimique en maraîchage

Le suivi réalisé sur les principaux éléments fertilisants, phosphore, potasse, magnésie, ne montre aucune différence entre les modalités de travail du sol sur les 4 sites expérimentaux.

Les différences touchent principalement l'évolution de la matière organique, avec des différenciations qui s'observent sur 2 sites. On observe sur le site C (figure 26) :

- une homogénéité de la MO dans les 30 premiers centimètres sur la modalité "labour",
- une concentration de la MO en surface sur la modalité "planche fixe", avec des valeurs supérieures sur les 12 premiers centimètres.
- Une augmentation du compartiment "MO libre" correspondant à la fraction grossière de la MO, qui se dégrade plus rapidement, dans les planches permanentes.

Figure 26 : Répartition des différents compartiments de MO en fonction de la profondeur (site C).
MO libre > 50 μ m – MO liée \leq 50 μ m



Les analyses réalisées au laboratoire du BRDA-Hérodé ne révèlent pas non plus de différence significative entre les modalités, sauf sur le compartiment des matières qui s'accumulent sans transformation dans le sol (elles ne

sont ni minéralisées, ni humifiées d'où leur appellation de "Ni-Ni" (tableau 15). L'augmentation de ce compartiment traduit une mauvaise évolution de la MO dans le sol, qui peut être la conséquence :

- d'une mauvaise évolution de la matière organique lors de l'enfouissement en profondeur par le labour (sites B et C),
- d'un défaut d'activité biologique dans l'horizon de surface de la modalité "planches permanentes" à cause d'une structure plus compactée que dans le travail du sol classique (site D surtout, mais aussi B et C),
- d'un problème d'hétérogénéité de terrain liée à une dynamique de l'eau particulière (hydromorphie) et à des teneurs en carbonates irrégulières (site A).

Tableau 15 : Taille du compartiment des MO ni humifiées - ni minéralisées ("Ni-Ni") dans les analyses du BRDA-Hérody réalisées sur les différents sites (en indice de poids moléculaire des Ni-Ni (de 0 à 2000)).

		Site A Rhône-Alpes	Site B Nord	Site C Charentes	Site D Provence
Surface	PP	182,5	200	185	170
	C	160	170	165	120
Profondeur	PP	160	70	155	125
	C	107,5	85	185	105

Le suivi de la dynamique de la minéralisation de l'azote dans le sol, qui a été réalisé sur 2 sites, donne des résultats divergents, mais qui sont cohérents avec les résultats d'activité microbienne mesurées au laboratoire (voir 3) :

- sur le site D, la minéralisation en 2007 est inférieure sur PP par rapport à C. Ce phénomène est lié à une forte compaction dans la modalité PP qui limite l'activité biologique (humidité plus importante et aération moindre),
- sur le site C (figure 27), la teneur en nitrates est de 30 à 40 ppm supérieure dans la modalité PP en années 2 et 3, signe d'une meilleure activité de minéralisation dans cet itinéraire.

Figure 27 : Evolution de l'azote nitrique du sol sur la modalité PP (courbe noire) et C (courbe grise) sur le site C.

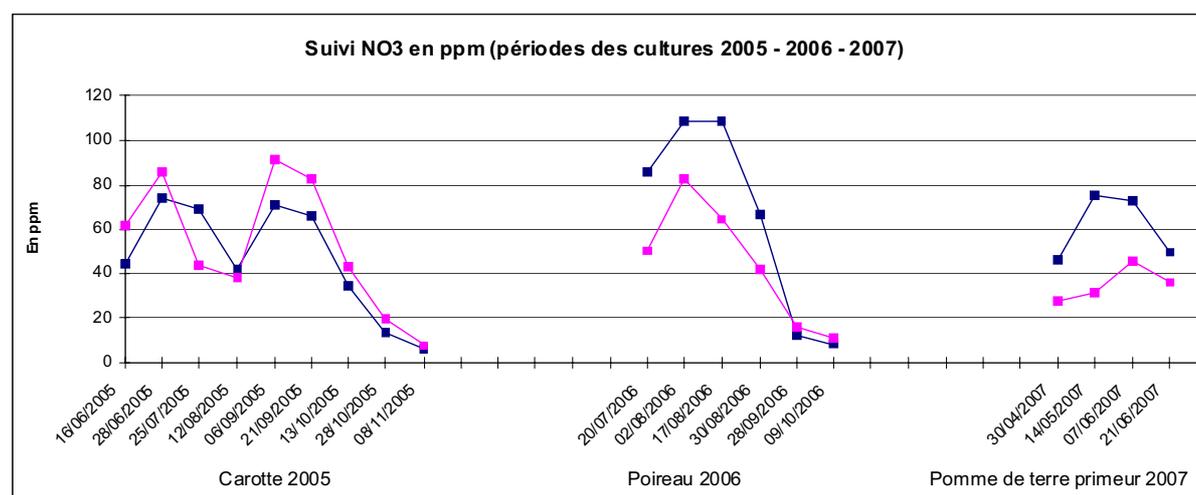


Tableau 16 : Synthèse des effets des itinéraires de travail du sol sur la fertilité chimique.
(C = Classique ; PP = Planches Permanentes)

Mesures effectuées	Site A Rhône Alpes	Site B Nord	Site C Charentes	Site D Provence
Analyses "classiques" pH, CEC, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO, CaO	Aucune différence entre les modalités	Aucune différence entre les modalités	Aucune différence entre les modalités	Teneurs en K ₂ O inférieures sur PP. Pas de différences sur les autres paramètres
Matière Organique, MO "libre", MO "liée"	Légère augmentation du compartiment "MO libre" sur PP	Aucune différence entre les modalités	Concentration du MO en surface sur PP. Légère augmentation du compartiment "MO libre" sur PP	Aucune différence entre les modalités
Analyse du BRDA- Hérody : paramètres chimiques	Aucune différence entre les modalités	Aucune différence entre les modalités	Aucune différence entre les modalités	Aucune différence entre les modalités
Analyse du BRDA- Hérody : compartiments de MO	Teneurs en Ni-Ni supérieures sur PP en surface comme en profondeur	Teneurs en Ni-Ni surface supérieures sur PP que C. Tendance inversée en profondeur	Teneurs en Ni-Ni surface supérieures sur PP que C. Tendance inversée en profondeur	Teneurs en Ni-Ni supérieures sur PP, en surface comme en profondeur.
Minéralisation de l'azote in situ : [NO ₃ ⁻]	Pas mesurée	Pas mesurée	En années 2 et 3, la teneur en NO ₃ ⁻ du sol est supérieure sur PP	En année 3, la teneur en NO ₃ ⁻ du sol est supérieure sur C

3. Evolution de la fertilité biologique en maraîchage

Activité des vers de terre :

Le décompte du nombre de biopores au niveau du plancher du passage des outils de préparation de sol ne s'est pas révélé très discriminant dans cette étude, bien que l'opérateur soit le même sur les 4 sites. La raison principale est l'énorme variabilité de la mesure sur les parcelles.

On constate cependant une amélioration de l'activité des lombriciens en cas de structure de sol favorable (sites A et D) : les vers de terre n'améliorent donc la structure du sol que si la situation n'est pas trop dégradée.

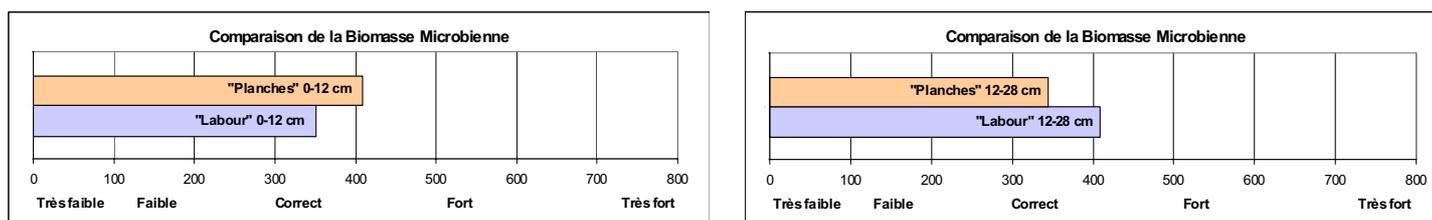
Biomasse et activité microbiennes :

La quantité de biomasse microbienne et son activité sont supérieures sur les PP pour les sites A et B, en liaison avec :

- une structure du sol plus favorable (site A),
- une concentration de la MO, et en particulier de la "MO libre", en surface sur cet itinéraire

Sur le site C, on n'a globalement pas de différences entre modalités, mais on mesure un gradient de biomasse microbienne avec la profondeur, qui suit le gradient de MO libre dans les planches permanentes : supérieur sur 0-12 cm que sur 12-28 (figure 28).

Figure 28 : Analyses de biomasse microbienne en fonction de la profondeur (site C).



Sur le site D, on constate la parfaite cohérence entre la mesure de l'activité minéralisatrice du N au laboratoire (tableau 17) et la mesure des nitrates *in situ* (tableau 16).

Tableau 17 : Synthèse des effets des itinéraires de travail du sol sur la fertilité biologique
(C = Classique ; PP = Planches Permanentes)

Mesures effectuées	Site A Rhône Alpes	Site B Nord	Site C Charentes	Site D Provence
Activité des vers de terre (nb biopores / m ²)	En année 6, nombre de biopores et structure d'origine biologique plus importants dans la modalité PP	Pas de mesure (très peu de galeries sur toutes les modalités)	Pas de différences entre les modalités	Nombre de biopores identique sur les différentes modalités mais structure d'origine biologique plus importante sur la modalité C
Biomasse microbienne (mg C/kg terre)	Légèrement supérieure sur PP (P < 0,07)	Supérieure sur PP (P < 0,029)	Globalement identique sur les 28 premiers cm. Teneurs en surface (0-12) supérieure sur PP que sur C. Tendance inversée en profondeur (12-28)	Pas de différence significative
Activité minéralisatrice du C de la biomasse microbienne (mg C/kg/28j)	Plus importante sur PP	Pas de différence significative entre les modalités	Pas de différence significative entre les modalités	Pas de différence significative entre les modalités
Activité minéralisatrice du N de la biomasse microbienne (mg N/kg/28j)	Pas de différence significative entre les modalités	Plus importante sur PP	Pas de différence significative entre les modalités	Plus importante sur C

4. Résultats culturels en maraîchage

Les résultats sont assez hétérogènes selon les cultures et les sites :

Sur le site A, en Rhône-Alpes, les rendements sont plutôt favorables aux planches permanentes, en lien avec l'évolution positive des différents indicateurs de fertilité physique et biologique. En outre, la qualité des produits est meilleure sur les planches, ce qui est particulièrement net sur les cultures d'automne (tableau 18). Sur ce site, où le sol est à tendance hydromorphe et la pluviométrie relativement élevée, la culture en buttes permanentes permet une culture plus "saine" en facilitant le ressuyage.

Sur le site B, dans le Nord, les itinéraires "planche permanente" et C2 (rotobèche) sont fortement pénalisés par un développement important des adventices que seul le labour (C1) permet de maîtriser (figure 29). Les rendements sont inférieurs sur ces 2 modalités. On constate aussi une déformation importante des carottes sur les rangs de bordure de la planche permanente affectés par des compactions latérales (voir 1). La difficulté de pouvoir préparer un lit de semences suffisamment fin a aussi fortement pénalisé la levée de cette culture.

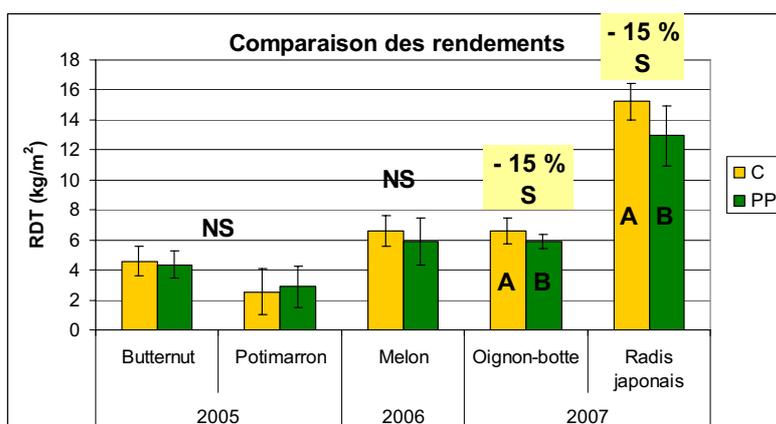
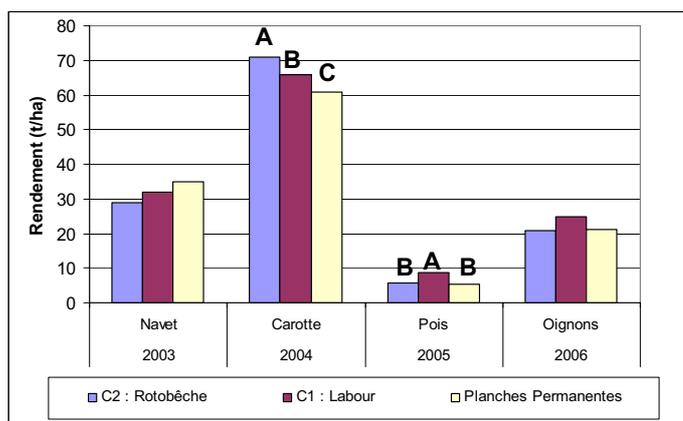
Sur le site C, dans les Charentes, les rendements sont équivalents entre les modalités malgré quelques variations inter-annuelles.

Sur le site D, en Provence, les problèmes de compaction, qui se sont intensifiés au fil des années, se répercutent sur les résultats quantitatifs (figure 29) et qualitatifs des cultures en 2007 : les rendements sont inférieurs de 15 % et les radis japonais sont déformés à 45 % dans la modalité PP, contre 17,5 % dans la modalité C.

Tableau 18 : Aspects quantitatifs et qualitatifs des récoltes obtenues sur le site A.

Modalité	Rendement		Qualité	
	C	PP	C	PP
POIREAU (t/ha) 2001	29,7 (A)	24,2 (B)	Longueur du fût (cm) 12,8 (A)	10,9 (B)
LAITUE (t/ha) 2002	22,75	25,8	Nb récolté / m ² 8,4	9,4
CAROTTE (t/ha) 2003	63,6	70,3	% déformées 8,1 (B)	3,5 (A)
CHOUX (kg/tête) 2004	2,3	2,3		
EPINARD (kg/m ²) 2005	4,8 (B)	5,6 (A)		
POIREAU (kg/m ²) 2006	11,3	12,3	Calibre fût (mm) 31,7	32,4

A, B : différence significative ($P < 0,05$)



site B

site D

Figure 29 : Rendements obtenus sur les sites B (Nord) et D (Provence) (moyenne +/- écart-type).

ns : différence non significative statistiquement
A, B : différence significative ($P < 0,05$)

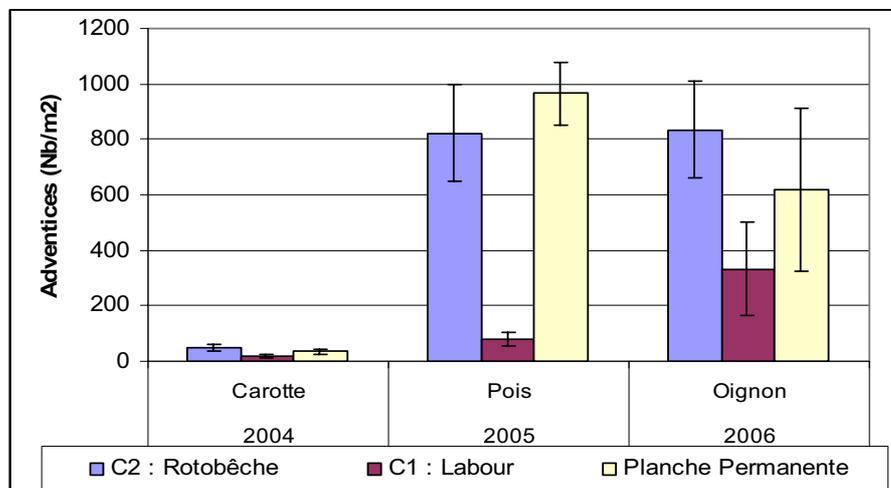
Tableau 19 : Synthèse des effets des itinéraires de travail du sol sur les résultats culturaux.
(C = Classique ; PP = Planches Permanentes)

Mesures effectuées	Site A Rhône Alpes	Site B Nord	Site C Charentes	Site D Provence
Développement des cultures	Pas de différence	Problèmes de levée sur carottes	Problèmes de levée sur PP pour carottes	Reprise plus hétérogène sur PP. En 2007, moins bon enracinement des oignons sur PP
Rendement	La 1 ^{ère} année, le rendement en poireau est inférieur sur les PP. Les années suivantes, le rendement sur PP est au moins équivalent à la modalité C.	Inférieur en 2004 (carottes) et 2005 (pois) sur PP à cause d'une moins bonne levée et/ou d'un enherbement plus important	Rendements équivalents	Identiques en 2005 et 2006. Inférieurs en 2007 sur PP pour oignons et radis japonais à cause d'une structure de sol dégradée.
Qualité des récoltes	Au moins équivalente sur PP	Pas de différence, sauf sur carottes	Pas de différence sauf sur carottes, racines + petites sur PP	Pas de différences sauf sur radis japonais : + 30 % de déformations sur PP
Sensibilité aux maladies et ravageurs	Pas de différences entre les modalités			

5. Evolution de l'enherbement spontané en maraîchage

La gestion des adventices sur les planches permanentes n'est véritablement un problème que sur le site B dans le Nord, où la pression s'est fortement accrue au cours du temps (figure 30). On assiste notamment à une explosion des laiterons, plante vivace, que ni l'itinéraire planche fixe, ni l'itinéraire "rotobêche" ne parviennent à maîtriser. Cette situation conduit à de fréquentes interventions mécaniques de désherbage sur l'itinéraire planche permanente notamment, dans des conditions de ressuyage souvent limitées vu le contexte climatique de la zone.

Figure 30 : Evolution de la pression des adventices sur le site B (moyenne +/- écart-type).



Sur les autres sites, la modification de l'itinéraire de travail du sol n'a pas posé de difficultés majeures, si ce n'est la maîtrise de l'enherbement dans les passages de roues. L'utilisation de paillages de culture et de l'irrigation au goutte à goutte sur le site D limite fortement les problèmes. Sur les sites A et C, on peut avoir selon les cultures 1 ou 2 passages de désherbage de plus dans les planches permanentes que dans l'itinéraire "classique".

6. Résultats des temps de travaux en maraîchage

Les itinéraires de travail du sol suivis sur les planches permanentes, en privilégiant les outils non animés par la prise de force du tracteur, permettent des vitesses d'avancement plus élevées, et réduisent ainsi le temps passé aux opérations de préparation de sol. Le nombre d'intervention peut être plus élevé, mais globalement, on observe un gain de temps. On observe également de meilleures conditions de reprise de sol sur les planches permanentes, ce qui limite le nombre de passages pour la préparation.

Sur le site A, le plus "ancien" dans le dispositif, le gain de temps est de 30 % en moyenne sur 6 ans (tableau 20). Le maraîcher de ce site a d'ailleurs passé la totalité de son exploitation de 8 ha en planches permanentes. Outre le gain de temps, et d'énergie, il voit dans cette méthode de travail de nombreux intérêts en terme d'organisation du travail. Les conditions de travail du sol sont aussi meilleures avec cette technique car le sol se ressuyant mieux, les périodes de praticabilité du terrain sont plus étalées.

Tableau 20 : Temps de travaux comparatifs sur le site A en minute/planche de 70 m de long.

	Itinéraire classique (labour)	Itinéraire Planche Permanente	Gain de temps (%)
Poireau 2001	47 min	21 min	55%
Laitue 2002	42 min	32 min	24%
Carotte 2003	68 min	48 min	30%
Choux 2004	78 min	59 min	31%
Epinard 2005	40 min	34 min	18%
Poireau 2006	64 min	49 min	23%
Moyenne gain de temps			30%

Tableau 21 : Synthèse des résultats des temps de travaux (C = Classique ; PP = Planches Permanentes).

Mesures effectuées	Site A Rhône Alpes	Site B Nord	Site C Charentes	Site D Provence
Temps de travaux	Gain de temps de 30 % sur PP en moyenne sur 6 ans	Gain de temps de 20 % sur PP en moyenne pour les opérations de préparation de sol	Equivalents entre modalités	Equivalents entre modalités
Observations		Ce gain est compensé par le temps passé au désherbage	Beaucoup de temps passé à l'adaptation du matériel sur PP	Pas de labour sur C. Beaucoup de cultures paillées

Points forts et points faibles des résultats obtenus en maraîchage

Le travail du sol en planches permanentes présente **des intérêts certains** : diminution des temps de travaux, amélioration du fonctionnement biologique du sol et **des difficultés** : mise au point du matériel et adaptation aux conditions pédo-climatiques (tableau 22).

Cette action doit se poursuivre pour améliorer l'adaptation des itinéraires de préparation de sol, mieux maîtriser l'enherbement et mieux gérer l'incorporation de matières organiques (résidus de culture et engrais verts).

Tableau 22 : Points forts et faibles des 2 itinéraires de travail du sol sur les 4 sites d'essais.

	Planches Permanentes (PP)		Classique (C)	
	Points forts	Points faibles	Points forts	Points faibles
Site A Rhône-Alpes	Temps de travail réduit Réchauffement plus rapide Meilleur fonctionnement physique et biologique du sol	Difficulté d'incorporation des MO	Maîtrise de l'enherbement Meilleure incorporation des MO	Moins bon ressuyage Temps de travail
Site B Nord	Réchauffement plus rapide Meilleure activité biologique	Matériel Maîtrise de l'enherbement Résultats culture semée	Maîtrise de l'enherbement	Création de lissages et semelles
Site C Charentes	Facilité de reprise du sol Rendements équivalents	Matériel Résultats culture semée Maîtrise de l'enherbement	Maîtrise de l'enherbement	
Site D Provence	Temps de travail réduit Pas de battance Bonne préparation superficielle Facilité de reprise du sol	Matériel Entretien des passages de roues Porosité du sol réduite Rendements inférieurs	Meilleure reprise des cultures Meilleure rendement	Risques de battance

Conclusion sur les résultats obtenus en maraîchage

Comme pour les grandes cultures, nous présentons cette conclusion sous la forme de réponses aux questions posées à l'origine du projet.

- Quelles sont les modifications des propriétés physico-chimiques des sols dues à des techniques de travail du sol différentes ?

Sur la fertilité physique

Le travail du sol en planches permanentes et la suppression du labour sur cet itinéraire se traduit globalement par des structures de sol plus tassées (3 sites sur 4). La compaction affecte l'ensemble du profil, avec une structure plus massive à partir de 15 cm de profondeur et une proportion de mottes tassées (type Δ) plus importante dès la surface sur l'itinéraire "planches permanentes" en comparaison à l'itinéraire de référence (labour sur 3 sites/4). La structure peut être plus dégradée sous les passages de roues permanents, avec des phénomènes de compactations latérales qui se répercutent sur les côtés externes de la planche. Ce phénomène est marqué sur les sites où la fréquence de passage est plus importante, mais peut disparaître au cours du temps : ainsi, les compactations latérales sont importantes sur le site A, suivi par la SERAIL, en 2004 mais ne sont plus visibles en 2006.

L'adaptation des itinéraires et du matériel utilisé sur les planches en fonction des conditions pédo-climatiques et de cultures nécessite plusieurs années. On constate que les problèmes sont particulièrement marqués sur les "jeunes" sites expérimentaux (2 à 3 ans de pratique) alors que la technique donne entière satisfaction, avec une structure du sol au moins aussi satisfaisante que sur le témoin "labour", sur le site le plus ancien (6 ans).

Sur la matière organique

Sur 3 sites sur 4, la pratique des planches permanentes se traduit par une légère augmentation de la concentration en carbone organique, notamment en surface (0-15 cm). L'augmentation touche, le cas échéant, le compartiment des MO les moins évoluées (MO "libres" de taille supérieure à 200 μm). Sur 2 sites, la modalité planche fixe se distingue par un niveau de biomasse microbienne et d'activités microbiologiques potentielles (minéralisation du carbone et de l'azote) plus élevées, mettant en lumière une qualité ou une protection différente de la matière organique. Sur 1 site, ces indicateurs sont moins favorables sur l'itinéraire planches permanentes, en liaison avec un état structural nettement plus dégradé (site D, suivi par le GRAB).

Les analyses réalisées par le laboratoire du BRDA-Hérody montrent quant à elles, sur 3 sites/4, une augmentation du compartiment de Matières Organiques ni humifiées, ni minéralisées ("Ni-Ni") dans les planches permanentes. Cette augmentation traduit une mauvaise évolution des matières organiques, qui ont tendance à s'accumuler sans transformation.

Sur la fertilité chimique

Globalement, on n'observe pas d'impact significatif du changement de pratique de travail du sol sur les différents paramètres chimiques : pH, teneurs en P_2O_5 , K_2O , MgO .

- Dans quelle mesure les modifications des populations de macro-organismes générées par différentes techniques de travail du sol vont-elles avoir un impact sur la structure du sol ?

Malgré des différences de structure de sol entre les modalités de travail du sol, on n'a observé aucune différence sur le nombre d'orifices de galeries au niveau du plancher de travail du sol. On note cependant une structure d'origine biologique plus importante dans les profils culturaux les plus favorables (moins de tassements). La suppression du labour ne se traduit donc pas systématiquement par une augmentation de l'activité des macro-organismes après 3 à 6 ans malgré l'utilisation d'outils moins agressifs sur l'itinéraire planches permanentes.

- La simplification de travail du sol a-t-elle des conséquences néfastes sur l'enherbement des cultures ? Faut-il envisager une nouvelle façon d'appréhender le désherbage (plus grande tolérance, facilité du désherbage accrue par une meilleure structure) ? Les modifications des propriétés du sol se traduisent-elles par une évolution de la flore spontanée ?

La modification de travail du sol a eu pour conséquence :

- Un salissement plus important des parcelles en planches permanentes, qui nécessite, pour 3 sites sur 4, un plus grand nombre d'interventions de désherbage. L'enherbement est particulièrement difficile à maîtriser sur les passages de roues, qui ne sont quasiment pas travaillés (griffonnage superficiel). Mais le temps de désherbage est quasiment le même entre les modalités.
- Une différenciation des espèces sur le site du PLRN (Nord), avec un fort développement des vivaces (laiteron) qui nécessite un travail de désherbage plus fastidieux, avec des conséquences sur le développement de certaines cultures (pois).

Les résultats montrent que la suppression du labour se traduit inévitablement par une augmentation de l'enherbement, mais qu'il n'a pas de conséquences importantes sur le développement de la culture. Il faut

cependant trouver des solutions (adaptation de matériel) pour gérer les adventices au niveau des passages de roues.

- Quelles sont les conséquences des modifications des caractéristiques du sol sur l'équilibre de la parcelle, et notamment induisent-elles des modifications de la réponse de la culture aux « agressions » (ravageurs, maladies, stress hydrique ...) ?

Nous n'avons pas observé d'effets du travail du sol sur les maladies et ravageurs.

- Le changement de pratique de travail du sol engendre-t-il des résultats cultureux différents : quantité de produit (rendement) et qualité ?

Globalement, le travail du sol en planches permanentes a donné des résultats cultureux quantitatifs équivalents aux parcelles labourées pour 3 sites sur 4. Le rendement est inférieur sur le seul site du GRAB, où la structure du sol dégradée a eu des conséquences néfastes pour les cultures (enracinement et rendement inférieurs).

D'un point de vue qualitatif, on note une plus grande hétérogénéité de levée dans le cas de cultures semées liée à la difficulté de préparer finement le sol avec des outils non rotatifs. Si la qualité des produits est équivalente pour la majorité des légumes, elle est inférieure pour les légumes racines qui sont davantage déformés, conséquence de la plus grande compaction de sol (3 sites/4, observations sur carottes ou radis japonais).

- Autres conséquences du changement de pratique de travail du sol

Le travail du sol en planches permanentes améliore le ressuyage du sol et les conditions de reprise au printemps (meilleure portance). Le nombre d'intervention est généralement plus important mais le temps de travail est diminué, jusqu'à – 30 % en moyenne sur 6 ans sur l'essai en Rhône-Alpes suivi par la SERAIL.

Les planches permanentes ont d'autres effets, non mesurés spécifiquement dans cette action, mais potentiellement très intéressants pour les producteurs : facilité de gestion des rotations et du travail, étalement dans le temps des actions de travail du sol et réduction des temps de travaux.

L'adaptation de l'itinéraire de travail du sol et du matériel adéquat (peu de matériels adaptés disponibles en maraîchage) nécessite cependant plusieurs années de "calage" avant d'obtenir des résultats satisfaisants. C'est pourquoi les essais seront poursuivis sur tous les sites expérimentaux pour préciser la faisabilité du changement de pratique de travail du sol en fonction des différentes conditions pédo-climatiques et de culture.

Une autre conclusion de ce travail, au-delà des enseignements sur la technique des planches permanentes, est d'avoir montré que la suppression du labour est tout à fait envisageable en maraîchage. Les résultats obtenus sur les sites B dans le Nord sur l'itinéraire "rotobêche" et sur le site A en Provence, où l'itinéraire "classique" ne voit l'utilisation que de l'actisol et de la herse rotative, l'illustrent parfaitement.

○ **Modalités de suivi et indicateurs de réalisation**

Initialement, 4 principaux types de résultats ont été proposés : (1) l'acquisition de références régionales, (2) leur harmonisation au niveau national dans le but de mettre en place un outil d'aide à la décision, (3) le transfert des connaissances obtenues et ainsi une valorisation des résultats sous forme de journées techniques, articles techniques et scientifiques, et enfin (4) la possibilité de monter de nouvelles actions d'expérimentation complémentaires à ce programme.

IV - Les modalités de valorisation du projet

- les différents modes de diffusions, les diffusions, le public concerné

Les visites de terrain et rencontres techniques

Plusieurs visites et rencontres techniques ont eu lieu dans le cadre du projet (voir tableau 23).

Tableau 23 : Liste des visites et rencontres réalisées dans le cadre du projet (hors réunion du comité de pilotage)

Date de la visite	Lieu visité	Personnes présentes
6 juillet 2005	Parcelle expérimentale du GRAB, démonstration de matériel (3 autres visites et présentations de la technique et de la machine ont été réalisées dans l'année auprès d'étudiants du CFPPA 30, CFPPA 84 et de l' IUP Phytprotection d'Avignon.	Ingénieurs et techniciens du GRAB, conseillers agricoles, agriculteurs, étudiants.
31 août 2005	Visite chez Manfred Wenz, Allemagne.	Joséphine Peigné et Yvan Gautronneau (ISARA Lyon).
20 septembre 2005	Visite de la parcelle d'essais de travail de sol au GRAB, discussion sur les problèmes rencontrés.	Annick Taullet, Cyril Bertrand (GRAB), Blaise Leclerc (ITAB).
29 septembre 2005	Exploitation maraîchère du GAEC des jardins du temple, suivi par la SERAIL (Rhône-Alpes) : observation des planches et du matériel mis au point sur l'exploitation, par Joseph Templier, membre du GAEC et concepteur de ce matériel.	Les membres du GAEC, Annick Taullet (GRAB), Blaise Leclerc (ITAB), des agriculteurs.
30 septembre 2005	Parcelle d'essai suivi par l'ISARA, chez M. Claude Barbet (Rhône) : Après une présentation de l'essai par Joséphine Peigné et Yvan Gautronneau (responsable scientifique du programme), visite de la parcelle, incluant deux fosses d'observation du profil cultural, commenté par Yvan Gautronneau.	Environ 25 personnes, moitié agriculteurs (biologiques ou conventionnels intéressés par le travail du sol), moitié techniciens, ingénieurs et enseignants-chercheurs, dont la plupart font partie du projet.
6-7 décembre 2005	Journées Techniques fruits et légumes de l'ITAB à Beaune, atelier consacré au travail du sol en planches permanentes en maraîchage.	Une cinquantaine de participants à cet atelier, lequel était animé par l'ensemble des partenaires de l'action 2B.
1 ^{er} février 2006	Journées techniques maraîchage biologique ITAB/CTIFL, atelier consacré aux expérimentations sur les planches permanentes.	Une centaine d'agriculteurs, techniciens, chercheurs.
12 février 2006	Réunion avec des producteurs au PLRN	Techniciens, agriculteurs
20 mars 2006	Réunion d'un groupe sur le travail du sol en maraîchage à Vourey (38).	Techniciens, agriculteurs
16 juin 2006	Portes ouvertes à Kerguehenec.	Techniciens, agriculteurs
19 juin 2006	Visite de l'exploitation de Manfred Wenz à Ottenheim, Allemagne, en présence. Le matin présentation de la ferme et de la machine qui sert à travailler le sol et à semer (conception Eco-Dyn, Ulrich Schreier). L'après-midi a eu lieu un tour des parcelles.	Une cinquantaine de personnes dont environ 40 Allemands et 10 Français.
3 juillet 2006	Visite des parcelles du PLRN, observation de profils culturaux.	Techniciens, agriculteurs
18 septembre 2006	Observation d'un profil cultural sur le site de l'ACPEL	agriculteurs, techniciens de chambres d'agriculture, MAB 16
19 septembre 2006	Portes ouvertes sur les planches permanentes en maraîchage à Bessac (Charentes), avec interventions du GRAB et de la SERAIL.	DDAF, conseils généraux, MAB 16, GAB 17, journalistes, agriculteurs, coopératives, techniciens de ch. d'agriculture, centres de formations
27 septembre 2006	Visite des parcelles du PLRN	Techniciens, agriculteurs
19 octobre 2006	Visite de la parcelle d'essais de travail de sol au GAEC des jardins du temple, observation des profils structuraux.	Techniciens, agriculteurs
5 mars 2007	Diffusion de résultats lors de l'assemblée générale ordinaire du GAB 17.	Techniciens, agriculteurs
26 mars 2007	Portes ouvertes parcelle expérimentale de la SERAIL au GAEC des Jardins du Temple. Présentation du matériel, des itinéraires techniques et des résultats expérimentaux.	Techniciens, agriculteurs
28 mars 2007	Réunion d'un groupe technique de réflexion sur le travail du sol au PLRN	Techniciens, agriculteurs
26 avril 2007	Observation profils culturaux sur le site de l'ACPEL.	Techniciens, agriculteurs
28 mai 2007	Observation profils culturaux sur le site du PLRN.	Techniciens, agriculteurs
8 juin 2007	Observation profils culturaux sur le site du GRAB.	Techniciens, agriculteurs
19 juin 2007	Observation profils culturaux sur le site de l'ACPEL.	Techniciens, agriculteurs
26 juin 2007	Portes ouvertes parcelle expérimentale du GRAB. Présentation des résultats de l'essai et matériel de travail du sol.	Techniciens, agriculteurs
7-8 septembre 2007	Salon Tech&Bio dans la Drôme, atelier consacré aux cultures en buttes en maraîchage, restitution du projet, démonstration de matériel.	Environ 4 000 visiteurs sur 2 jours
4-5 décembre 2007	Journées Techniques fruits et légumes de l'ITAB à Caen, atelier consacré aux planches permanentes, restitution du projet.	Environ 100 personnes attendues

Les articles techniques et scientifiques

Action 2A (grandes cultures) :

Colloques nationaux et internationaux

- Cannavacciuolo, M., Peigné, J., Aveline A., Giteau, J-L., Gautronneau, Y., 2007. Les Techniques de travail du sol en Agriculture Biologique : Impacts sur la structure du sol et les populations lombriciennes. 9^{èmes} Journées Nationales d'Etude des Sols, 3/4/5 Avril 2007, Angers, pp 293-294.
- Peigné, J., Aveline, A., Cannavaciuolo, M., Giteau, J.L., Gautronneau, Y., 2007. Soil structure and earthworm activity under different tillage systems in organic farming. Proceedings of the 3rd International Congress of the European Intergrated Project Quality Low Input Food (QLIF), Edited by Urs Niggli, Carlo Leifert, Thomas Alföldi, Lorna Lück and Helga Willer - March 20-23, 2007, University of Hohenheim, Germany, 205-208 p.
- Vian, J.F., Peigné, J., Chaussod, R., Roger-Estrade, J., 2007. Assessment of tillage systems in organic farming: influence of soil structure on microbial biomass. First results. Proceedings of the 3rd International Congress of the European Intergrated Project Quality Low Input Food (QLIF), Edited by Urs Niggli, Carlo Leifert, Thomas Alföldi, Lorna Lück and Helga Willer - March 20-23, 2007, University of Hohenheim, Germany, 209-212 p.
- Peigné, J., Vian, J.F., Gautronneau, Y., Chaussod, R.; 2006. Effects of tillage system on soil microbial activity: the need of experimental design and soil sampling based on field spatial variability. In ISTRO 2006, Kiel.
- Soil Tillage Systems under Organic Framing in France, Peigné, J., Gautronneau, Y., Aveline A & Cannavacciuolo, M., poster présenté au congrès international de l'IFOAM 2005 à Adélaïde, Australie.

Articles scientifiques

- Peigné, J., Ball, B., Roger-Estrade, J., David, C. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming ? A review. Soil Use And Management, juin 2007, n°23, pp 129-144.

En préparation :

- Peigné, J., Vian, J.F., Cannavaciuolo, M., Chaussod, R. Variabilité spatiale du site d'essai de Lyon : mise au point de méthode d'échantillonnage d'indicateurs microbiologiques dans le cadre d'un essai sur le travail du sol (en cours).
- Vian, J.F., Peigné, J., Chaussod, R., Roger-Estrade, J. Comparison of 4 tillage systems in organic farming: effect of soil structure and organic matter repartition on microbial biomass and its global activity (en cours).

Articles de vulgarisation

- Peigné, J., Gautronneau, Y., Cannavacciuolo, M., Aveline, A., 2005. Les techniques culturales simplifiées en agriculture biologique. Alter Agri n° 70, mars/avril 2005. pp 11-14.
- Peigné, J., Gautronneau, Y., 2007. Travail du sol en grandes cultures biologiques : pratiques et attentes, Alter Agri, Alter Agri n° 81, janvier février 2007, pp 29-31.
- Giteau J.L. *et al.*, 2007, Le non labour en agriculture biologique, Cap Agro printemps (Brochure CRAB), pp.47-48.
- Giteau J.L. *et al.*, 2007, Techniques de travail du sol en agrobiologie, Résultats d'expérimentations et de suivis techniques "Grandes Cultures" en agrobiologie en région Bretagne (Brochure IBB), pp.17-24.

Rapports

Kerguehennec (Chambre d'Agriculture de Morbihan)

- LEBRETON A., 2007, Impact des techniques sans labour sur les propriétés agronomiques du sol et sur le comportement des cultures en conduite agrobiologique, 80 pages + annexes (rapport d'Ingénieur en Agriculture, Esitpa).
- GRIMAUD R., 2006, Impact des techniques sans labour sur les propriétés agronomiques du sol et sur le comportement des cultures en conduite agrobiologique dans le contexte pédo-climatique breton, 54 pages + annexes (rapport de Master Professionnel Science et Productions Végétales, Agrocampus).
- FLEGEAU, M. 2005. Impact des techniques sans labour sur l'état structural du sol et sur le comportement des cultures en conduite agrobiologique dans le contexte pédoclimatique breton. Licence professionnelle « animateur agri-environnement », EPLEA Courcelles Chaussy. 80 p.

Lyon (ISARA-Lyon)

- Vian, J.-F. 2005. Analyse de la variabilité spatiale de descripteurs physico-chimiques et microbiologiques du sol : caractérisation initiale d'une parcelle d'essai sur le travail du sol. Master de Recherche 'Ecologie Microbienne' Université Claude Bernard Lyon 1, ISARA Lyon, INRA Dijon. 25 p.

- Etudiants ISARA Lyon – spécialisation 5^{ème} année Agro-écologie. 2005. Rapport d'étude : Premières années de résultats sur l'essai 'Travail du sol en agriculture Biologique' sur le site de Thil. Sous la direction de J. Peigné (ISARA Lyon), A. Aveline et M. Cannavacciuolo (ESA Angers). 89 p.
- Etudiants ISARA Lyon - spécialisation 5^{ème} année Agro-écologie. 2006. Rapport d'étude : Résultats année 2 sur l'essai 'Travail du sol en agriculture biologique' sur le site de Thil. Sous la direction de J. Peigné (ISARA Lyon), A. Aveline et M. Cannavacciuolo (ESA Angers). 102 p.

Angers (ESA Angers)

- Brohier M., Daniel M., Guerry B., Lepointeur T., Moret B., Revault M., Soilleux J., Skiker S. 2006 – Impacts agronomiques des Techniques Culturelles Simplifiées en Agriculture Biologique dans les Pays de Loire. Etude ESA 4^{ème} année – option Productions Végétales, 105 p.
- Montoir M. 2006 – Quelle optimisation du travail du sol en Agriculture Biologique ? Mémoire IUT Brest. 30 p.
- Guinot A-S. 2007 – Etude des impacts physiques de la simplification du travail du sol en agriculture biologique. Mémoire IUT Clermont. 20 p.
- Amouchal M. 2007 – Les techniques culturelles simplifiées en grandes cultures : quels résultats agronomiques, économiques et énergétiques ? Etude sur un réseau d'exploitations en agrobiologie en Pays de Loire. Mémoire INH 50 p.
- Richard E. 2007 – Impacts de quatre techniques de travail du sol sur les propriétés du sol et sur le comportement du couvert végétal : bilan de deux années d'expérimentation en agriculture biologique dans le Maine et Loire. Mémoire Master professionnel Sciences et Productions Végétales Option Agronomie Agrocampus Rennes – Université Rennes 1, 55 p.
- Bastien T., Beslot O., Chereau M., Chiavetago M., Chouteau S., Cornee M., Maitrepierre F., Reboul N., Robert P. et E. Tharreau, 2006 – Etude des impacts agronomiques des techniques Culturelles Simplifiées sur la culture biologique de lupin à Combrée (Pays de Loire) 126 p – Etude ESA/LEVA IM1 Productions Végétales.

Action 2B (maraîchage) :

- Taulet, A. octobre 2004. L'agriculteur Provençal. p 4
- Taulet, A. janvier 2005. Réussir Fruits et Légumes n° 236. pp 48-49
- Taulet, A. juillet 2005. L'agriculteur Provençal n° 1131.
- Taulet, A. août 2005. Savoir Vert. p 7
- Berry, D., 2005. Planches permanentes en maraîchage : une technique de travail du sol expérimentée en Rhône-Alpes. PHM n°472, sept.2005.
- Taulet, A. octobre 2005. L'exploitant Agricole supplément n° 285.
- Taulet, A. octobre 2005. L'exploitant Agricole. p 27
- Taulet, A. novembre 2005. Cultures légumières Hors série. pp 28-29
- Taulet, A. novembre-décembre 2005. Biofil n° 43. pp 16-17
- Taulet, A. Décembre 2005. Alter Agri n° 67. pp 7-8-9
- Taulet, A. Décembre 2005. Savoir Vert. p 5
- Taulet, A., 2006. Le MTCS maraîchage, 2^{ème} prix de l'innovation au Miffel 2005. Alter agri N°75, janv./fév 2006
- Berry, D., 2006. Les Planches permanentes, une technique de travail du sol. Alter agri N°75, janv./fév 2006
- Berry, D., Taulet, A., 2006. Les atouts des planches permanentes. Biofil n°44, janv./fév.2006
- 6 juillet 2007. L'agriculteur provençal n°1234. Portes ouvertes du 26 juin au GRAB
- **Compte-rendus annuels** d'essais rédigés par le GRAB (Taulet/Védie), l'ACPEL (Lhote), le PLRN (Grébert) et la SERAIL (Berry/Demeusy)

Un **document de référence complet présentant l'ensemble des résultats du projet** sera disponible fin 2007, sous format pdf téléchargeable gratuitement, notamment sur le site de l'ITAB (<http://www.itab.asso.fr> rubrique agronomie). Un « qui fait quoi » sur le travail du sol en agriculture biologique, tableau recensant les travaux en cours, passés ou en projet sur ce thème, sera également disponible sur le site de l'ITAB.

- exploitation et valorisation des résultats, de l'expérience acquise

Orientation du montage de nouvelles actions de recherche et d'expérimentation

Lors de la première année, la station INRA SAD de Mirecourt (Vosges) a rejoint le programme de l'action 2A. Elle a ainsi mis en place un essai sur le travail du sol dans des systèmes polyculture-élevage.

Une manifestation d'intérêt a été présentée en 2006 suite à l'appel à projets d'innovation et de partenariat 2006 du DAR par une partie des partenaires du programme (titre : mise au point d'outils de terrain pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur le sol, MI n° 6072).

- **les transferts prévus**

Des transferts sont possibles d'une part vers d'autres systèmes de productions - moyennant des expérimentations spécifiques – notamment pour les cultures pérennes, d'autre part vers l'agriculture conventionnelle à bas intrants, la problématique des techniques culturales simplifiées en grandes cultures conventionnelles étant l'utilisation d'herbicides pouvant altérer la qualité des ressources en eau potable.

V – Les perspectives

- **les points forts et les points faibles du projet**

Les points forts ont été les multiples échanges entre les différentes équipes concernées, aussi bien au sein d'une même filière (maraîchage, grandes cultures), qu'entre les deux filières. Un point fort remarquable du projet a été la mise en place d'un protocole commun sur tous les sites, notamment pour l'observation du profil cultural qui a été réalisée par la même personne (Yvan Gautronneau) sur tous les sites concernés, ce qui a permis des débats très enrichissants lors de l'interprétation des résultats. La coordination impliquant quatre personnes a été très efficace, aussi bien dans la préparation et l'animation des réunions, que pour le bon déroulement du projet (respect du calendrier). Le responsable scientifique du projet s'est notamment investi dans le respect des engagements du projet déposé initialement, dans l'animation du comité de pilotage, et dans le suivi des sites sur le terrain (description des profils culturaux), les deux responsables des actions 2A (grandes cultures) et 2B (maraîchage) ont assuré efficacement la coordination des essais spécifiques aux deux filières, et le responsable de l'action 1 a permis la coordination générale de l'ensemble et la valorisation du projet.

Les points faibles ont été essentiellement liés à des problèmes spécifiques de mise en place d'essais, dus en partie à son caractère innovant (choix des cultures, enherbement, matériel non spécifique, aléas climatiques).

- **les difficultés rencontrées**

Difficulté initiale de mise en place en raison du retard administratif au démarrage du projet (entre la décision de retenir le projet et la signature de la convention). La réunion de lancement et la mise en place des premiers essais ont eu lieu avant la date effective de début du projet.

- **les suites envisagées**

Des travaux vont se poursuivre sur le thème du projet (optimisation du travail du sol en agriculture biologique) chez la plupart des partenaires, mais le rythme soutenu des réunions techniques, visites, suivi par le comité de pilotage, va disparaître faute de financement spécifique.