

Optimisation du travail du sol en AB : Comparaison de deux itinéraires en maraîchage

Bilan 2009-2011

Hélène VEDIE – Abderraouf SASSI– Christelle AÏSSA MADANI
Estelle DELESTRA – Pierre-Yves DUBOIS - Pascale METAIS (stagiaires)

1- CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ESSAI

La réduction du travail du sol est une problématique de plus en plus importante, d'une part pour des raisons de préservation des sols et d'autre part pour des raisons énergétiques, le prix des carburants devenant une charge croissante dans l'économie des exploitations.

En maraîchage, les problèmes de structure de sol sont particulièrement importants, car la succession rapide de plusieurs cultures sur l'année entraîne des passages d'engins répétés dans des conditions de ressuyage et portance parfois inadaptées.

L'objectif de cet essai, mis en place en 2005, est de tester une nouvelle méthode de travail du sol - les « planches permanentes » - en comparaison avec un itinéraire « classique » de travail du sol. Il s'agit de limiter les zones de compaction de la parcelle aux passe-pieds en empruntant toujours les mêmes passages de roues. Sur la planche, le sol n'est jamais labouré et entretenu en priorité avec des outils à dents. Les outils rotatifs ne sont utilisés qu'en cas de nécessité avérée (enfouissement engrais verts...).

Les premiers résultats de l'essai (2005 – 2007) avaient montré que la suppression du labour en maraîchage biologique est tout à fait envisageable : les résultats obtenus sur l'itinéraire « classique », qui ne voit que l'utilisation du Bio 2000 (griffon) et de la herse rotative, sont tout à fait satisfaisant que ce soit en termes de fertilité du sol ou de résultats culturaux. Par contre, les résultats sont défavorables aux planches permanentes où la structure du sol s'est dégradée, ce qui a entraîné une évolution négative de la plupart des paramètres mesurés. Ceci montre l'importance de l'adaptation de l'itinéraire et du matériel en fonction des conditions pédoclimatiques.

A partir de 2008, l'effort a été accru pour améliorer l'itinéraire technique sur les planches permanentes et tenter de restaurer une structure favorable sur cette modalité. L'objectif était d'évaluer la faisabilité de cette technique dans nos conditions pédoclimatiques, et d'en préciser les conditions.

Depuis 2009, cette expérimentation est intégrée dans un programme Casdar « solAB » (2009-2011), piloté par l'ITAB, dont un des objectifs est aussi de mettre au point et valider des méthodes d'observation simplifiées de la fertilité permettant d'évaluer les modifications physiques et biologiques du sol. Cet essai fait donc partie d'un réseau de parcelles expérimentales suivies par différentes stations d'expérimentation régionales en productions légumières : le PLRN dans le Nord, l'ACPEL en Charentes-Poitou et l'ADABIO/SERAIL en Rhône-Alpes. Les protocoles et méthodologies sont harmonisés entre chacun de ces sites, afin d'évaluer les résultats de cette technique de travail du sol dans des conditions pédoclimatiques et pour des systèmes culturaux variés.

Plus largement, ces essais sont reliés à un réseau de parcelles expérimentales sur l'optimisation du travail du sol en grandes cultures et en cultures pérennes.

2- MATERIELS ET METHODES

2.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Essai à 2 modalités et 2 répétitions. Parcelles élémentaires de 400 m² : 8-10 m (4 à 5 planches) X 50m. Parcelle plein champ sur la station d'expérimentation du GRAB. Sol de type Fluviosol, développé dans des alluvions de la Durance, sensible à la battance et aux compactations. Très profond, de texture limono-argileuse (22% A) - Taux de MO : 2,1 % 2005 – 2,5 % en 2007 - pH : 8,3 – C.E.C : 8 Cmol+.

Modalités :

INTITULE	MODALITES	ITINERAIRES	REMARQUE	PRECISIONS
C	TEMOIN : ITINERAIRE « CLASSIQUE »	« BIO 2000* » + HERSE ROTATIVE	CULTURE A PLAT	Alternance des zones plantées de façon à varier les zones de passages de roues
PP	« PLANCHES PERMANENTES »	OUTIL A DENTS + MTCS MARAICHAGE (outil mis au point au GRAB)	CULTURE EN BUTTE OU A PLAT OUTIL A DENTS : « BIO 2000* » puis CULTIVATEUR LÉGER depuis fin 2009	Passages de roues identiques depuis 2005

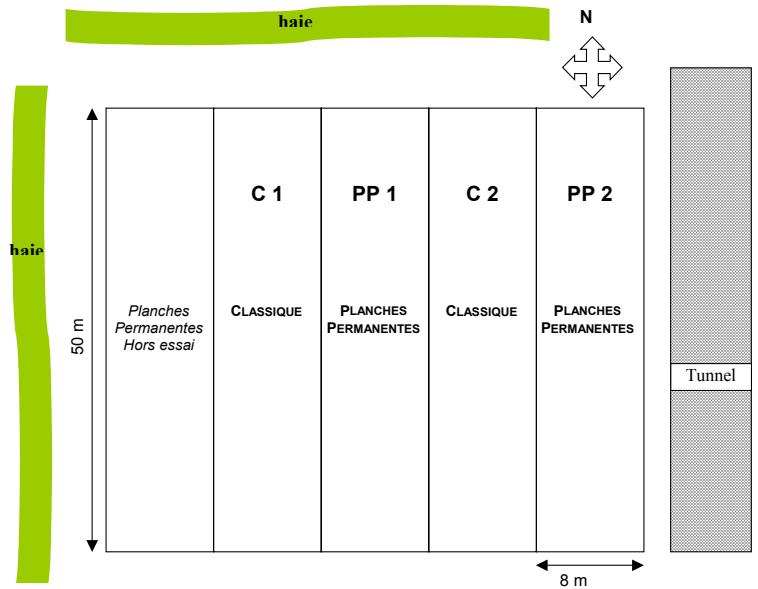
*Le BIO 2000 est proche de l'Actisol, avec des dents plus grosses - largeur de travail de 1, 4 m et profondeur 20 cm environ

Modalité 1 : Itinéraire « classique »

La culture est mise en place à plat, sur des planches qui sont déplacées d'une année à l'autre pour faire varier les zones de tassements. L'itinéraire de travail du sol comprend un nombre restreint d'interventions pour la préparation du sol : pas de labour, outils à dents (type actisol) et des outils rotatifs peu « traumatisants » pour le sol (herse rotative). Le sol est travaillé sur les 20 premiers centimètres.

Modalité 2 : Planches permanentes

Des buttes de 15 cm de hauteur et de 1 m de largeur à la base et 70 cm de largeur au sommet ont été formées en 2005 et conservées jusque fin 2006. Les planches de culture sont depuis soit à plat, soit en buttes très légèrement surélevées, de 10 cm de hauteur maximum, car la culture en butte n'était pas adaptée à des cultures estivales, majoritaires sur cette parcelle. Les passages de roues sont conservés d'une année à l'autre. Dans le cadre de cette expérimentation, un outil de travail du sol spécifique a été mis au point : le « MTCS », Matériel de Techniques Culturelles Simplifiées (voir L07 PACA 07).



Plan de l'essai

2.2 OUTILS UTILISES

Itinéraire classique (C)

La reprise du sol est effectuée par un outil à dent, le bio 2000 de 2005 à 2010 puis un griffon en 2011. La herse rotative permet la préparation finale du lit de semence.



Photo 1 : Outils de travail du sol utilisés dans la modalité classique. De gauche à droite: Bio 2000, griffon et herse rotative

Itinéraire planches permanentes (PP)

La reprise du sol est effectuée à l'aide du Bio 2000 de 2005 à 2009, puis à l'aide d'un cultivateur à dents à partir de fin 2009. La préparation finale du sol est effectuée avec le MTCS maraîchage, un outil constitué de disques étoile mis au point à l'initiative du GRAB. La herse rotative est utilisée ponctuellement de façon superficielle (5-10 cm) pour affiner la surface.



Photo 2 : Outils de travail du sol utilisés dans les planches permanentes. De gauche à droite; Bio 2000, cultivateur à dents et MTCS

Remarque : En 2011, la préparation de sol pour les pommes de terre a été plus importante que les années précédentes : sur C, rotavator et herse rotative ont été utilisés sur 20 cm de profondeur, et sur PP, la herse a été utilisée sur 15 cm. De plus, le motoculteur, équipé d'une fraise rotative ou d'un soc de buttage, a été utilisé sur les 2 modalités pour ouvrir la tranchée de plantation, puis pour réaliser 2 buttages en cours de

culture.

2.3 SUCCESSION CULTURALE

Système de culture plutôt extensif avec un engrais vert d'automne (septembre à mars) et une culture d'été.

Année	Culture	Observations
2005	Courge (potimarron / butternut)	Culture sur buttes dans la modalité PP. Paillage + irrigation au goutte à goutte
2006	Melon canari	Culture sur buttes dans la modalité PP. Paillage + irrigation au goutte à goutte
	Engrais vert : moutarde automne	Culture à plat
2007	Oignon botte + radis japonais* (+ vesce)	Culture à plat. Paillage + irrigation par aspersion
	Engrais vert : RGI + seigle + vesce	Culture à plat
2008	Epinard d'automne (+ navette fourragère)	Culture sur buttes peu élevées dans la modalité PP. Paillage + irrigation par aspersion
2009	Melon canari	Culture sur buttes peu élevées dans la modalité PP. Paillage + irrigation au goutte à goutte
	Engrais vert : seigle + vesce	Culture à plat
2010	Batavia blonde	Culture sur buttes peu élevées dans la modalité PP. Paillage + irrigation par aspersion
	Engrais vert : avoine + seigle + vesce + blé	Culture à plat
2011	Pomme de terre	Culture sur buttes dans la modalité PP. Buttage + irrigation par aspersion

2.4 MESURES ET OBSERVATIONS

Le calendrier de réalisation des différentes mesures effectuées selon les protocoles expérimentaux définis par les partenaires (cf. cahiers de protocole) est détaillé ci-dessous :

Suivi expérimental	2009	2010	2011
Développement des cultures, maladies et ravageurs	X	X	X
Résultats culturaux	X	X	X
Engrais verts et enherbement		X	X
Enherbement de la culture			X
Nutrition azoté	X		
Humidité (teneur en eau gravimétrique)		X	X
Disponibilité de l'eau (tensiométrie)	X	X	X
Température du sol		X	
Profil culturaux	X	X	X
Test bêche		X	X
Densité apparente		X	X
Infiltrométrie	X	X	X
Analyses chimiques			X
Fractionnement de la matière organique			X
Suivi de la minéralisation de l'azote du sol (tests nitrates)	X	X	X
Biomasse et activité microbienne			X
Etude des macro-organismes du sol (vers de terre)		X	X
Analyses BRDA - HERODY			X
Temps de travaux	X	X	X

Suivi agronomique

Appréciation de la vigueur du couvert végétal et de la sensibilité aux attaques de ravageurs et de maladies

Résultats culturaux sur placettes

Les mesures de rendements sont effectuées sur deux placettes par parcelles élémentaires, soit quatre

répétitions par modalités.

Engrais vert et enherbement

Le taux de recouvrement et la production de biomasse de l'engrais vert et des adventices sont mesurés sur des placettes de 0,5 m de côté, à raison de 6 répétitions par modalité en 2010 et 4 en 2011.

Suivi de l'enherbement de la culture de pomme de terre (2011)

Le taux de recouvrement du sol par les adventices, ainsi que le nombre d'adventices, ont été mesurés sur placettes de 25 cm de côté à raison de 4 répétitions par modalités.

Suivi hydrique et température du sol

Teneur en eau gravimétrique (humidité du sol)

L'humidité du sol est calculée par différence entre le poids frais et le poids sec d'échantillons de sol prélevés sur l'horizon 0-25 cm. La mesure est répétée quatre fois par modalités, toutes les deux semaines pendant la période de culture.

Suivi tensiométrique (disponibilité de l'eau dans le sol) à 20 et 40cm

Trois couples de tensiomètres ont été installés chaque année dans chaque modalité, afin de suivre l'évolution de la tension du sol à 20 cm et 40 cm de profondeur. Le relevé des tensions est effectué manuellement deux fois par semaine en 2009 et 2010, et automatiquement toutes les deux heures en 2011.

Suivi de la température du sol

Les températures du sol (10 cm de profondeur) ont été mesurées uniquement en 2010, sur la période de culture de la Batavia (du 10/05 au 11/06).

Fertilité physique :

Profil cultural

Un profil cultural par modalité est réalisé chaque année en fin de culture afin de caractériser la structure du sol et d'observer les effets spatialisés des interventions culturales : partition horizontale et verticale, mode d'assemblage des mottes et état interne des mottes. L'observation du profil permet aussi de vérifier la profondeur du travail réalisé et de déterminer les profondeurs d'échantillonnage pour les prélèvements ultérieurs (densité apparente notamment).

Test à la bêche (méthode simplifiée)

Le test bêche est une méthode d'évaluation simplifiée de la structure du sol. Un prélèvement de terre (un carré de 20 cm de côté sur 25 à 30 cm de profondeur) est réalisé à la bêche, puis la terre prélevée est décrite visuellement suivant la proportion de terre fine et de mottes en caractérisant les mottes selon leur état interne (Γ , Δ_0 et/ou Δ). Quatre répétitions sont effectuées en 2010 à la fin de la culture de salade sur la planche de culture. En 2011, six répétitions par modalité ont été effectuées sur la planche de culture, et quatre sous les passages de roues, avant la récolte des pommes de terre.

Densité apparente

La densité apparente permet d'estimer la porosité totale du sol, sur planche de culture et sous le passage de roues. Les mesures ont été effectuées en fin de culture de salade en 2010 et avant récolte de pomme de terre en 2011. Elles sont répétées 9 fois sous planche de culture et 6 fois sous passage de roues en 2011, et respectivement 8 et 2 fois sous planche et sous passage de roues en 2010. La densité est mesurée à deux profondeurs différentes : dans l'horizon superficiel (0 à 10 cm) et dans l'horizon inférieur (à 20 cm).

Test d'infiltrométrie (test beerkan simplifié).

Des mesures d'infiltrométrie suivant la méthode dite de « beerkan simplifiée » ont été réalisées à la fin de chaque culture. Cette méthode consiste à mesurer la durée nécessaire à l'écoulement d'un volume d'eau correspondant à 1 cm de hauteur dans un anneau de 30 cm de diamètre environ. L'opération est répétée jusqu'à ce que le régime d'écoulement de l'eau soit constant (saturation). La vitesse d'infiltration à saturation est un indicateur de porosité du sol.

Fertilité chimique :

Analyse de laboratoire (éléments fertilisants, fraction de MO)

Des analyses de sol ont été réalisées dans chaque parcelle élémentaire fin avril 2011 par le laboratoire Celesta, sur deux échantillons composites par modalité. Les analyses d'éléments fertilisants sont réalisées sur 0-25 cm, et le fractionnement de la matière organique sur 0-25 cm d'une part et 25-50 cm d'autre part. Les prélèvements ont été faits deux mois après un épandage de fumier de mouton.

Suivi de la minéralisation de l'azote (mesure des nitrates avec le nitrachek sur l'horizon 0-25 cm)

La teneur en nitrates du sol est mesurée au Nitrachek tous les 15 jours sur un échantillon composite issu de 15 prélèvements entre 0 et 25 cm de profondeur. La mesure est effectuée sur deux échantillons par

modalité en 2009 et quatre en 2010 et 2011.

Fertilité biologique :

Biomasse et activité microbienne

Des mesures de biomasse et d'activité microbienne ont été réalisées fin avril 2011 par le laboratoire Celesta, sur des échantillons de sol composites de 15 prélèvements par parcelle élémentaire. Elles ont été effectuées à deux profondeurs différentes : entre 0 et 25 cm d'une part, et sur 25-50 cm d'autre part.

Etude des vers de terre (méthode simplifiée)

Afin de caractériser les populations de vers de terre, un bloc de sol de 30 cm de côté sur 40 cm de profondeur est prélevé au cours de l'hiver, pendant la culture d'engrais vert. Les vers de terre extraits du prélèvement par tri manuel sont classés selon leur type écologique : anécique, épigé et endogé puis comptés et pesés. Les observations sont répétées 6 fois par modalité.

Evaluation de la fertilité globale : analyse « BRDA-HERODY »

Cette analyse a été effectuée en complément des analyses « classiques » de laboratoire. Les prélèvements ont été faits sur profil en fin de culture, sans répétition.

Enregistrement des interventions et temps de travaux de travail du sol

Les temps de travaux concernant les interventions spécifiques à la préparation du sol sont enregistrés, en minutes par planche de 50 m de long.

Traitement statistique des données

Les données sont analysées comme un essai en randomisation totale avec répétitions par analyse de variance au seuil de 5% et test de Newman Keuls.

3- RESULTATS

3.1 RESULTATS CULTURAUX

Développement des cultures, maladies et ravageurs

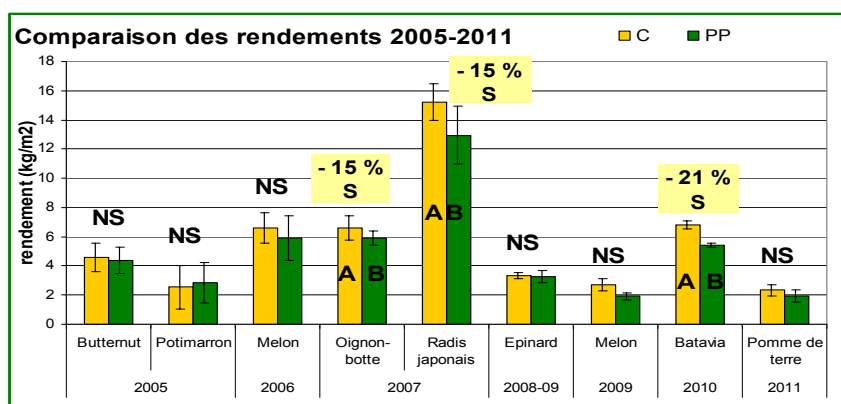
Aucune différence majeure n'a été observée sur le développement des cultures, maladies et ravageurs entre les deux modalités au cours des trois dernières années de l'essai.

Résultats cultureux

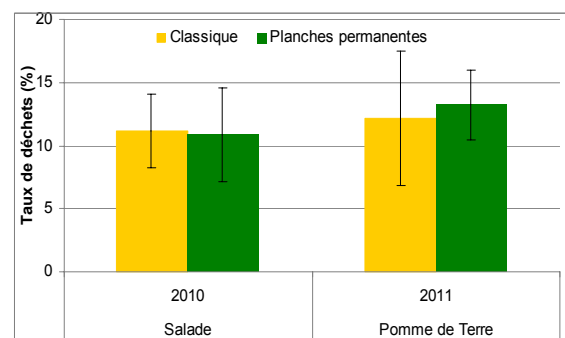
□ Rendements des cultures :

Sur la durée de l'essai, les rendements ont tendance à être inférieurs sur la modalité « planches permanentes » (graphique 1). La différence est statistiquement significative au seuil de 5% en 2007 et 2010, et très proche de l'être en 2009 (p=0,059).

En 2009, la différence de rendement, bien que non significative, est due à un nombre de fruit supérieur en planche classique alors que le poids moyen des fruits est similaire entre les deux modalités. En 2010, le poids moyen des salades est significativement plus élevé sur la modalité classique, d'où une différence de rendement de 21% en défaveur de la modalité « PP ». Sur pomme de terre (2011), les rendements ne sont pas significativement différents, malgré une tendance toujours favorable à la modalité classique.



Graphique 1 : Rendements de 2005 à 2011. A et B indiquent des groupes homogènes de Newman-Keuls au seuil de 5%, NS : non



Graphique 2 : Taux de déchets sur culture de salades (2010) et pomme de terre (2011)

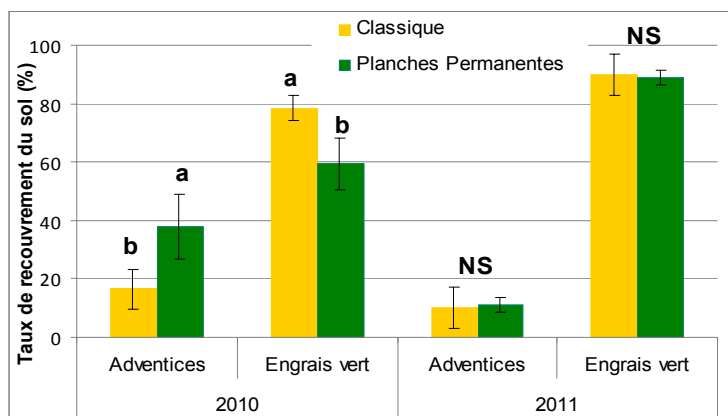
□ Qualité des récoltes :

Globalement, la qualité des récoltes est équivalente entre les 2 modalités. En 2010, le taux de déchets sur

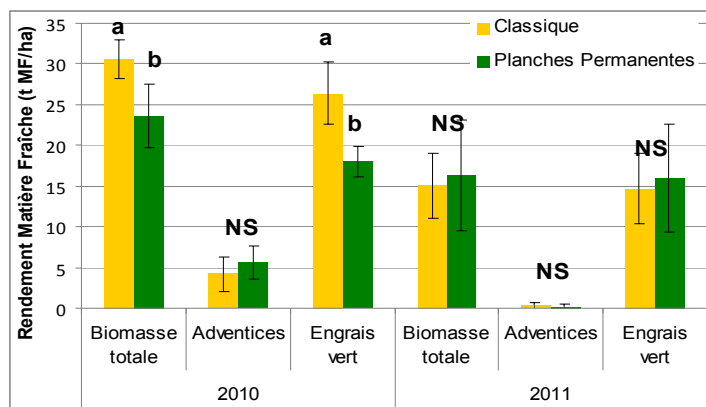
salade n'est pas affecté par l'itinéraire de travail du sol. En 2011, le taux de déchets est légèrement supérieur en planches permanentes, en raison d'une plus forte proportion de pommes de terre vertes, conséquence d'un moins bon buttage sur cet itinéraire. Toutefois, la différence n'est pas statistiquement significative (graphique 2).

Résultats sur les engrais verts :

En 2010, l'engrais vert s'est mieux développé sur la modalité « Classique », limitant le développement des adventices (graphique 3) et produisant une quantité de biomasse plus importante (graphique 4). Ceci peut être dû à une meilleure préparation du lit de semences par la herse rotative en C que par le MTCS en PP. En 2011, le taux d'adventices est très faible sur les 2 modalités, et la productivité de l'engrais vert est équivalente.



Graphique 3 : Taux de recouvrement du sol par les adventices et l'engrais vert en 2010 et 2011. a et b groupes homogènes au seuil de 5%. NS : non significatif

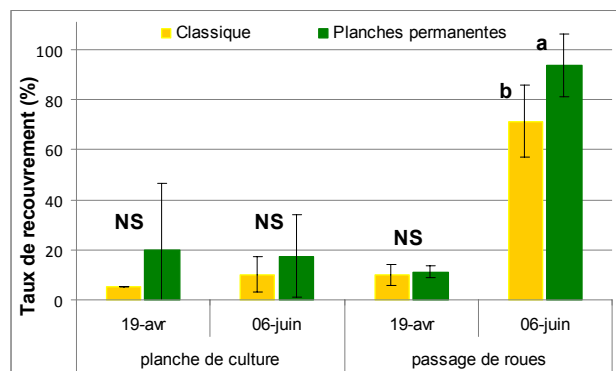


Graphique 4 : Rendements de l'engrais vert et des adventices. a et b indiquent des groupes homogènes de Newman Keuls au seuil de 5%. NS : non significatif

Suivi de l'enherbement de la culture de pomme de terre (2011)

Sur les planches de culture, l'enherbement de la pomme de terre ne diffère pas entre les modalités. Sur les passages de roues par contre, les planches permanentes sont significativement plus enherbées, à la fois en terme de couverture du sol, et de nombre d'adventices (nombre de plantules par m², résultat non montré).

Graphique 5 : enherbement sur pomme de terre, 2011. a et b indiquent des groupes homogènes de Newman Keuls au seuil de 5%. NS : non significatif



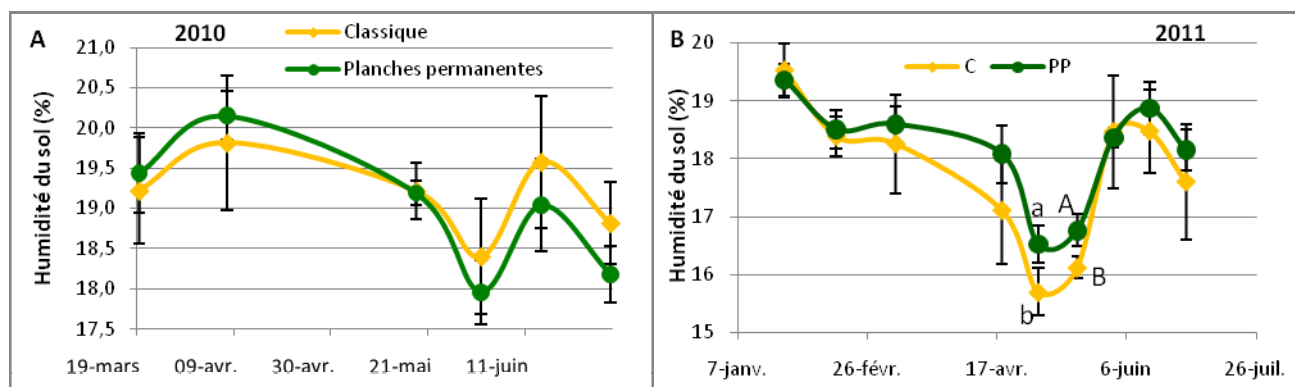
Globalement, sur les 3 dernières années de l'essai, les résultats culturaux sont donc plutôt en défaveur des planches permanentes : les rendements sont plus faibles et l'enherbement est plus important, notamment sur les passages de roues.

3.2 SUIVI HYDRIQUE ET THERMIQUE DU SOL

Suivi de l'humidité (Teneur en eau gravimétrique)

L'itinéraire de travail du sol n'influence pas la teneur en eau du sol en 2010 : le taux d'humidité du sol est similaire entre les deux modalités et les variations au cours du temps suivent les mêmes tendances.

En 2011, bien que les variations de teneur en eau du sol suivent les mêmes tendances au cours du temps entre les deux modalités, on observe un taux d'humidité supérieur en planches permanentes. La différence est statistiquement significative au seuil de 5% pour les deux mesures effectuées en mai 2011. Ce résultat peut traduire une meilleure réserve en eau du sol sur la modalité planches permanentes par rapport à la modalité classique.



Graphique 6: Suivi de la teneur en eau du sol en 2010 (A) et 2011 (B). a et b d'une part et A et B d'autre part indiquent des groupes homogènes de Newman-Keuls significativement différents au seuil de 5%

Suivi de la disponibilité de l'eau dans le sol (tensiométrie)

Sur les 3 années de suivi, les mesures tensiométriques sont très difficiles à interpréter, du fait de la forte hétérogénéité des mesures entre les différentes répétitions. Cette difficulté se retrouve chaque année.

Les tendances observées varient suivant les années et les cultures, et parfois même au sein d'une même saison culturale. Il n'est donc pas possible de tirer de réelle conclusion sur les possibles différences de réserve en eau entre les deux modalités à partir des mesures effectuées.

Les courbes moyennes sont représentées par année dans le graphique 7.

2009 :

Les mesures n'ont pu être effectuées que pendant le mois de Juillet. La disponibilité de l'eau semble similaire entre les deux modalités en surface (20 cm), et supérieure dans la modalité classique en profondeur (40 cm).

2010 :

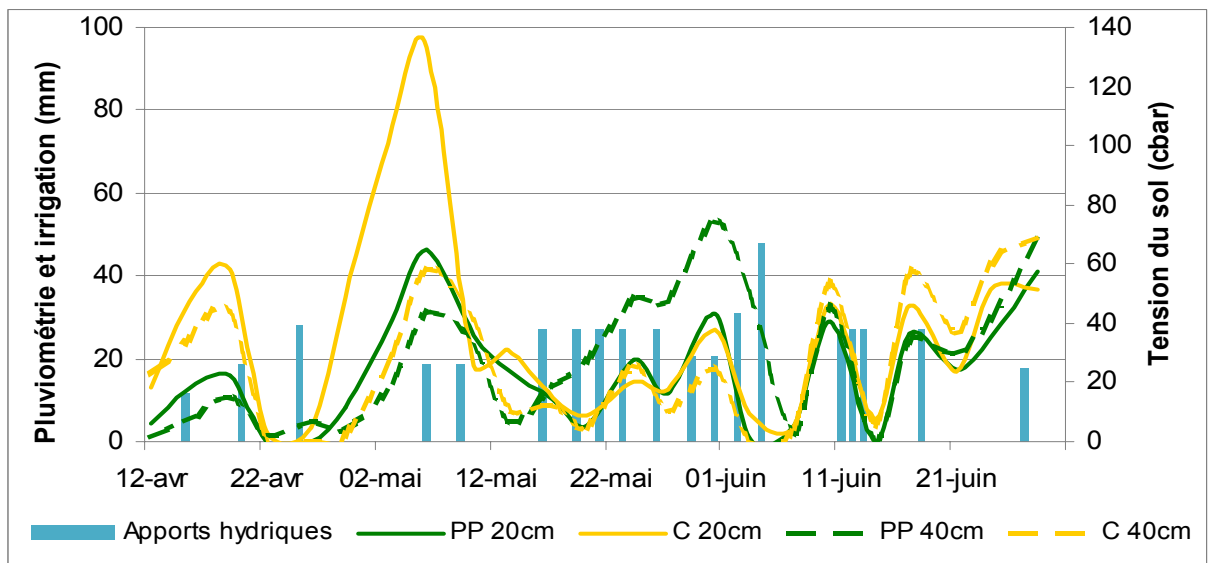
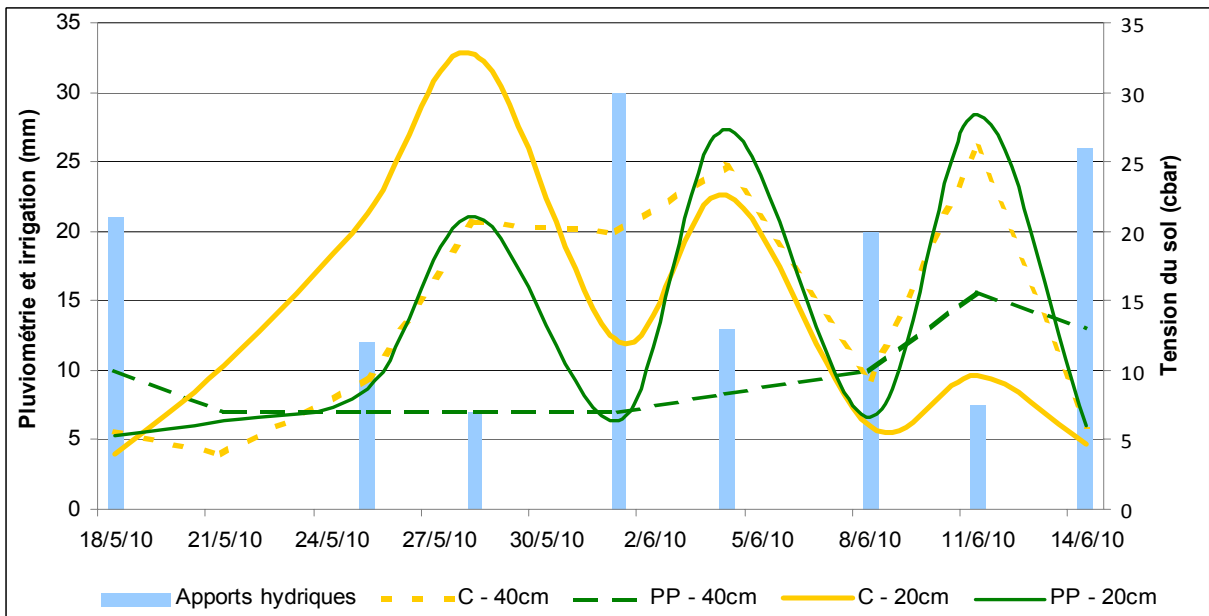
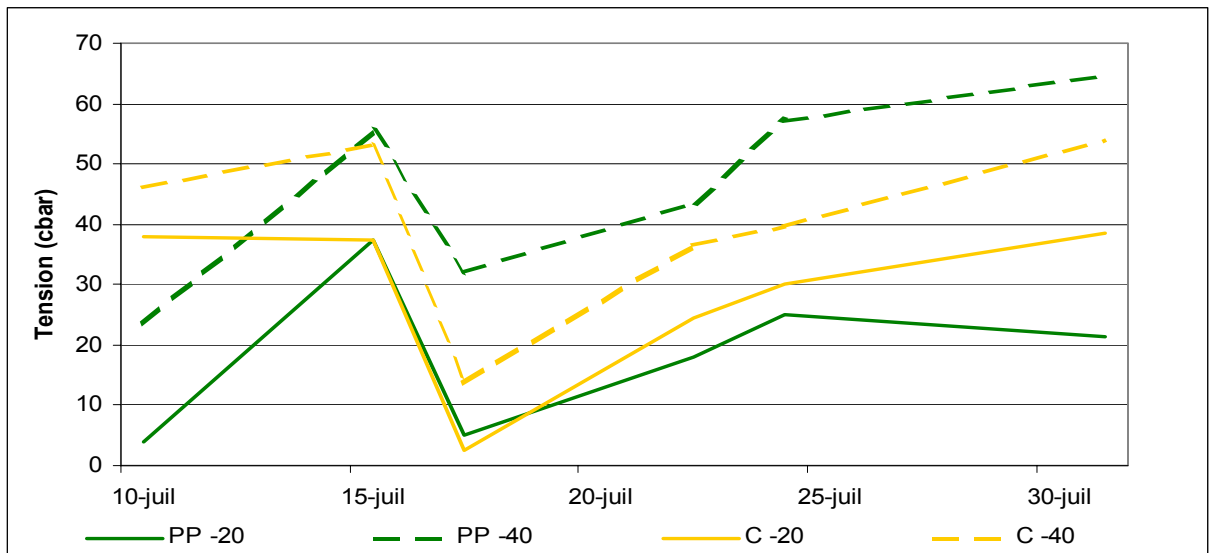
En début de culture, la disponibilité de l'eau en surface est plus élevée dans les planches permanentes, puis cette tendance s'inverse après récolte où la disponibilité de l'eau est plus importante dans la modalité classique. On retrouve donc les mêmes tendances qu'avec la mesure de l'humidité du sol (graphique 6A) mais de façon beaucoup plus marquée. En profondeur, les données tensiométriques de la modalité classique fluctuent au cours du temps, alors qu'elles restent stables et faibles en planches permanentes. Ces résultats suggèrent, inversement aux résultats de 2009, une meilleure réserve en eau en planches permanentes.

2011 :

La disponibilité en eau du sol à 20 cm de profondeur est très variable au cours du temps. Elle est plus élevée en planches permanentes alors que le sol de la modalité classique semble s'assécher plus rapidement, sauf quand les apports en eau ne sont pas limitants (du 10 mai au 20 Juin). On retrouve donc également en 2011 une cohérence entre le suivi tensiométrique et l'humidité du sol (graphique 6B).

A 40 cm de profondeur, la disponibilité en eau du sol est supérieure en planches permanentes en début de culture, jusqu'au 10 mai. Ensuite, la tendance s'inverse, et la disponibilité en eau est meilleure en modalité classique jusqu'aux fortes précipitations des 2 et 4 Juin. L'eau devient alors à nouveau plus disponible en planches permanentes.

Comme en 2010, il semble donc y avoir une meilleure réserve en eau en planche permanentes.



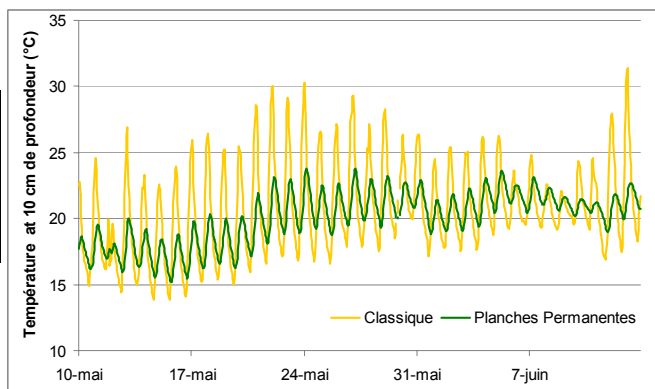
Graphique 7: Evolution moyenne des tensions du sol à 20 cm et 40 cm de profondeur en 2009 (A), 2010 (B) et 2011 (C)

Suivi de la température du sol

Modalité	Température moyenne (°C)	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)
Classique	20,8	13,8	31,4
Planches permanentes	20	15,2	23,8

Tableau 1 : Températures du sol du 10/05 au 11/06 – Batavia 2010

Graphique 8 : Températures du sol à 10 cm de profondeur - Batavia



Sur l'ensemble de la culture, le sol est légèrement plus chaud dans la modalité classique que dans les planches permanentes : les températures moyennes quotidiennes sont de 20,8°C pour « C » et 20°C pour « PP » (Tableau 1). Le graphique 8 montre que les fluctuations journalières des températures du sol sont beaucoup plus importantes dans la modalité classique que dans les planches permanentes. Ces résultats suggèrent que le sol tamponne davantage la température dans la modalité PP, peut-être en raison d'une moindre porosité que dans C.

3.3 FERTILITE PHYSIQUE

Profil culturaux

Les principales conclusions des profils réalisés chaque année dans les 2 modalités de l'essai sont les suivantes :

2009 :

Les deux profils présentent des structurations verticales assez proches, avec un horizon supérieur fragmentaire d'environ 10 cm et des horizons sous-jacents massifs, dont la porosité est plus ou moins bonne. L'horizon supérieur est plus profond et de structure plus favorable dans l'itinéraire classique, la multiplication des passages du MTCS dans la modalité « PP » ayant généré trop de terre fine.

En dessous, la situation a peu évolué dans l'itinéraire « C » par rapport à 2007, avec un horizon massif à porosité intermédiaire sur 10/13-30 cm, et plus poreux en deçà.

En revanche, dans la modalité « PP », la porosité semble s'accroître dans l'horizon 10-40 cm, les nombreux passages d'actisol et de MTCS, mais surtout l'augmentation apparente de l'activité biologique, ayant amélioré l'état depuis 2007. Cependant, la compaction liée aux passages de roues sur les passe-pieds et aux disques de buttage sur les bordures de la butte est très marquée, et semble difficilement rattrapable.

2010 :

La structure du sol de la modalité des planches permanentes est globalement plus hétérogène sur la largeur de la planche et plus complexe qu'avec la modalité classique.

Les deux profils présentent un horizon supérieur très fragmenté mais de profondeurs différentes : l'horizon de surface mesure 12 cm de profondeur pour la modalité classique (horizon formé par la herse rotative), alors qu'il n'est que de 5/7 cm pour les planches permanentes (horizon formé par le MTCS et la herse rotative).

Les horizons sous-jacents diffèrent entre les modalités : la porosité est satisfaisante dans la modalité classique (50 % de terre fine et 50 % de mottes $\Delta 0$) et homogène entre 12 et 48 cm de profondeur, alors qu'elle est très hétérogène pour les planches permanentes avec des zones plus ou moins compactes à la fois dans la verticalité et l'horizontalité du profil.

Sous le passage des roues, la structure du sol est plus compacte que sous le rang de culture pour les deux modalités. Cependant, la situation est plus marquée pour les planches permanentes où la porosité est moindre.

2011 :

Les profils réalisés dans les 2 modalités sont assez semblables en terme de description de la structure. Un travail du sol plus intense et plus profond pour la culture de pomme de terre, notamment dans la modalité « PP », a homogénéisé la situation. Ainsi, sur la planche de culture, on retrouve un horizon supérieur de 15 cm de profondeur environ dans les 2 modalités avec une majorité de terre fine et mottes friables, même si on note un peu plus de mottes Δ dans la modalité « PP ». Dans l'horizon sous-jacent, la structure est plus massive et compacte, avec une majorité de mottes de type $\Delta 0$. Visuellement cependant, la situation semble meilleure en profondeur sous la modalité planches permanentes, où on observe davantage de traces de phénomènes de gonflement-retrait (mottes Φ) et davantage de traces d'activité biologique.

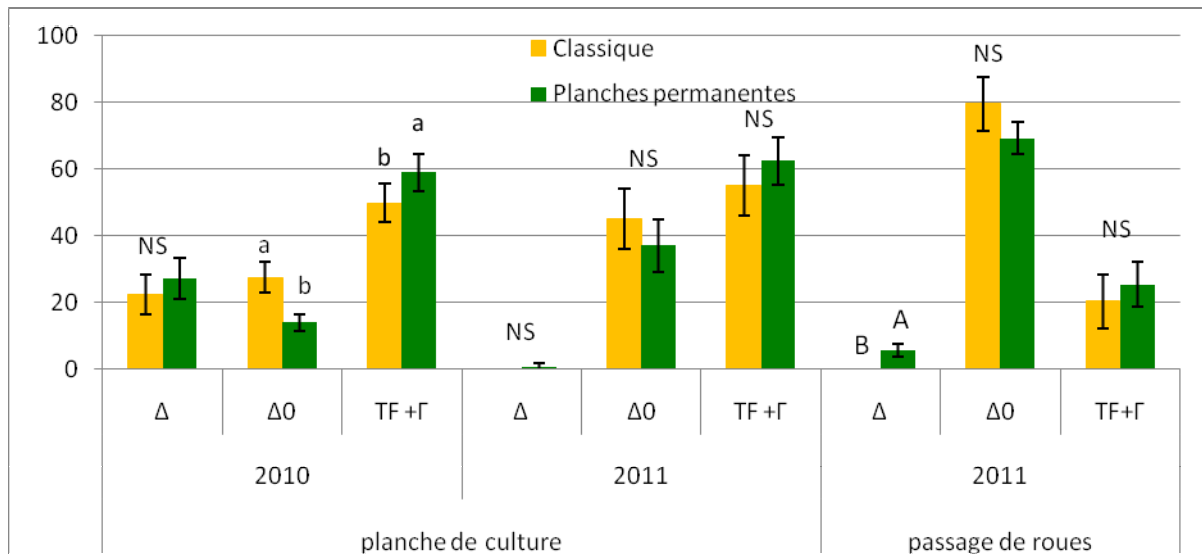
Les passages de roues restent néanmoins plus compactés dans la modalité « PP », héritage de plusieurs années de circulation cumulées.

Test bêche

En 2010, sous la planche de culture, on observe une proportion de mottes $\Delta 0$ statistiquement supérieure sur la modalité classique que sur la modalité « planches permanentes » (graphique 9). Inversement, sur les Planches permanentes, on observe à la fois une proportion plus élevée de terre fine et mottes Γ mais en tendance également de mottes Δ . Les mêmes tendances se retrouvent en 2011 : une plus grande proportion d'éléments ouverts (terre fine et mottes Γ) mais aussi quelques mottes très compactes (Δ) en planche permanentes que l'on ne retrouve pas dans l'autre modalité.

Sous les passages de roues, la structure est plus compactée : moins de terre fine que sous la planche de culture sur les deux modalités, et présence de mottes Δ plus nombreuses en planches permanentes.

Les observations réalisées avec le test bêche ont également permis de distinguer les mêmes horizons que ceux observés sur le profil : en 2010, 2 horizons sur la modalité « C » et 4 horizons sur la modalité « PP » alors qu'on a observé 2 horizons dans chaque modalité en 2011, reflétant l'homogénéisation occasionnée par un travail du sol plus intense sur la modalité « PP ».



Graphique 9 : Répartition des éléments structuraux observés dans les test bêches sur 25-30 cm de profondeur en 2010 et 2011 (moyenne des différents horizons), sous planches de culture et passages de roues. TF : terre fine - Γ : mottes peu compactes – $\Delta 0$: mottes à compaction modérée - Δ : mottes très compactées

Globalement, les observations issues des tests bêche sont cohérentes avec celles des profils culturaux. La limite est apparue en 2010, où le test bêche ne permettait pas de retranscrire l'hétérogénéité latérale observée sur le profil sur la modalité « PP », en raison d'une largeur d'observation trop réduite avec le test bêche.

Densité apparente (graphique 10)

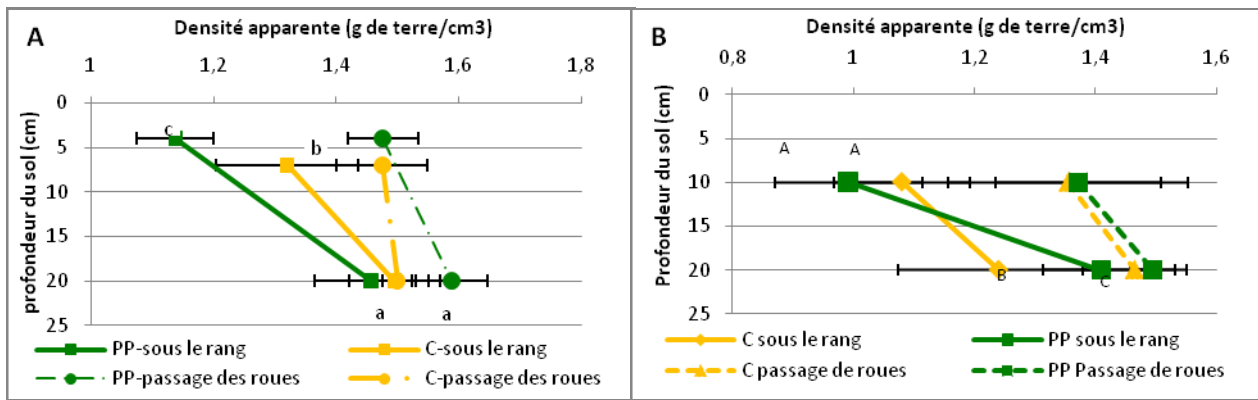
Sur la planche de culture :

La densité apparente est supérieure à 20 cm qu'en surface pour toutes les modalités. En surface, la densité est plus faible pour la modalité « PP » que pour la modalité « C », la différence est statistiquement significative en 2010 mais ne l'est plus en 2011. A 20 cm de profondeur, les densités sont équivalentes en 2010, mais elle est plus importante pour « PP » en 2011.

Sous les passages de roues :

On n'observe pas de différence de densité apparente entre les 2 modalités, même si en 2010 elle est en tendance plus élevée sur la modalité « PP » à 20 cm.

Globalement, les mesures de densité apparente ne confirment donc pas les observations de structure réalisées sur profil et test bêche, notamment sur la nette différence de tassement des passages de roues observée entre les planches permanentes et la modalité classique. Par contre, les valeurs de densité apparente plus faibles sur la planche de culture en 2011 qu'en 2010 semblent confirmer l'intensification du travail du sol entre les 2 années.



Graphique 10: Densités apparentes à 10 et 20 cm sous le rang de culture et sous passage de roues A) 2010 et B) 2011. Les lettres différentes indiquent des groupes homogènes de Newman-Keuls au seuil de 5%.

Test d'infiltrométrie : méthode Beerkan simplifiée

Les courbes d'infiltration représentées pour chaque parcelle élémentaire (2 répétitions par modalité) dans le graphique 11, ainsi que l'importance des écarts-types, illustrent la grande variabilité des mesures. L'hétérogénéité est plus marquée pour les planches permanentes en 2009, et pour la modalité classique en 2010 et 2011. Cette grande variabilité des mesures rend délicate l'interprétation des résultats. Toutefois, les tendances observées les 3 années sont les suivantes

2009

La tendance est à une infiltration de l'eau plus rapide sur la modalité classique.

2010

La très faible infiltration mesurée sur la parcelle C1 en fin de culture est due à un tassement important dû au piétinement lors de la récolte des salades. Cette recompaction était nettement visible en surface lors des mesures. En conséquence, la courbe C1 ne doit pas être prise en compte.

En tendance on constate donc que l'infiltration est plutôt meilleure dans la modalité classique.

2011

Les résultats 2011 sont moins hétérogènes que ceux de 2010, même si la variabilité des mesures persiste au sein de la modalité classique.

L'infiltration est en tendance plus rapide en planche permanente, la différence est statistiquement significative au seuil de 5% à partir de 4cm d'eau infiltrés. Cependant, le volume versé n'est pas suffisant et la saturation du sol n'est pas atteinte, ce qui rend délicate toute conclusion.

Globalement, sur les 3 dernières années de l'essai, les mesures de fertilité physique, structure, densité apparente et vitesse d'infiltration, donnent des résultats plutôt mitigés et ne sont pas toujours parfaitement cohérents entre eux, ce qui laisse à penser que les différences sont peu tranchées. On constate cependant que les indicateurs sont plutôt défavorables sur les planches permanentes les premières années mais qu'ils s'améliorent au cours du temps, certains devenant plus favorables aux planches permanentes à la fin.

3.4. FERTILITE CHIMIQUE

Des analyses de sol ont été réalisées dans chaque parcelle élémentaire fin avril 2011 par le laboratoire Celesta. Les teneurs ne peuvent être comparées avec celles des années antérieures car les prélèvements ont été réalisés 2 mois après un épandage de fumier, les valeurs obtenues sont donc très élevées. La comparaison entre modalités reste cependant possible.

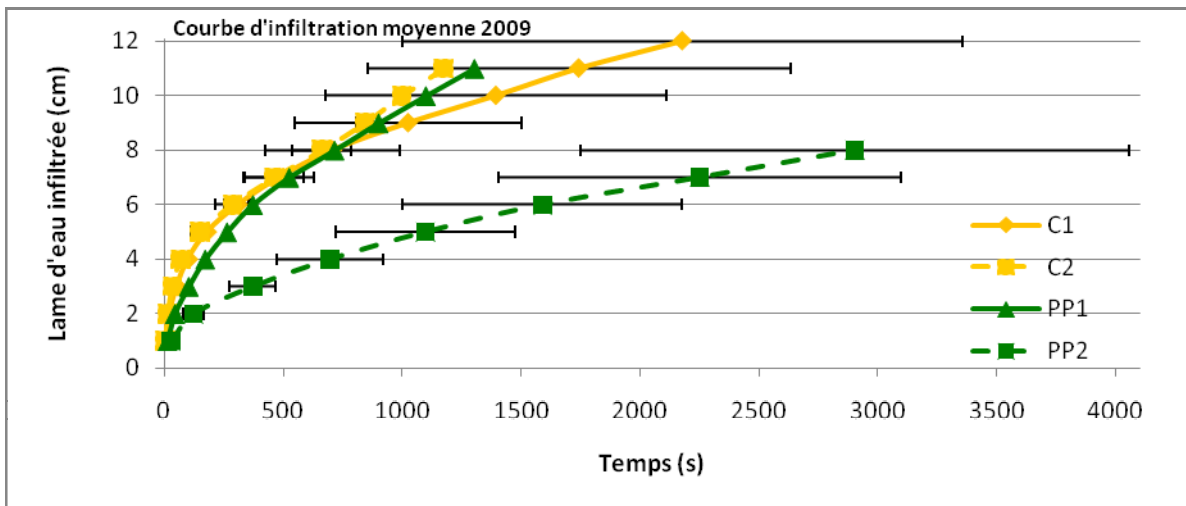
Paramètres chimiques

itinéraire	pH eau	C total	N total	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO	CEC Cmol ⁺
Classique	8,3	17,4	1,75	0,291	0,674	0,304	9,7	8,4
Planches permanentes	8,1	23,7	2,04	0,360	0,890	0,383	9,6	8,8
Stats*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns

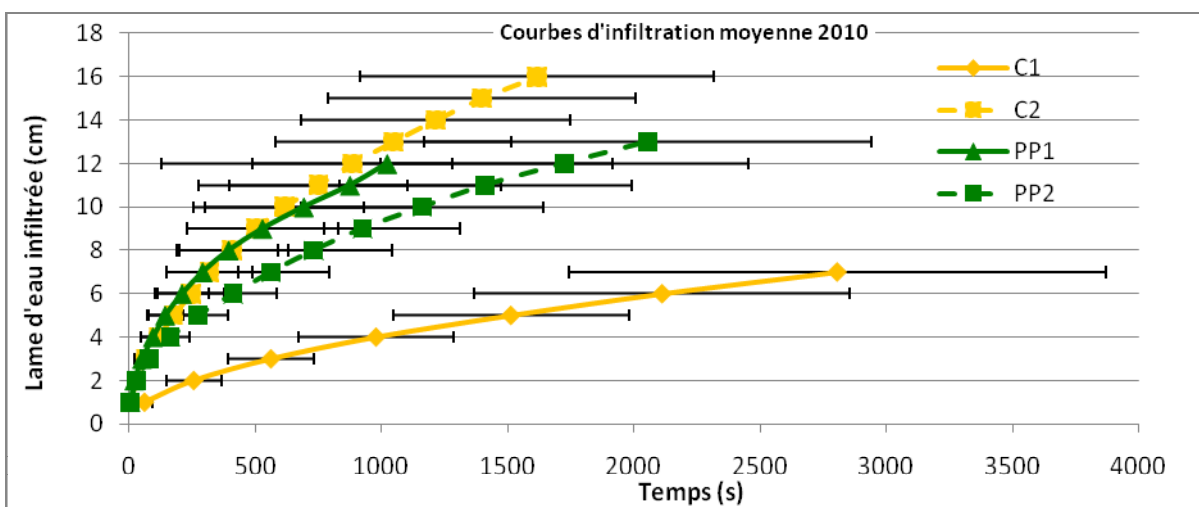
Tableau 2: Résultats d'analyse chimique sur 0-25 cm - 2011. * analyse statistiques au seuil de 5%

Le sol des planches permanentes est globalement plus riche que celui cultivé suivant la modalité classique (C total, N total, P₂O₅, K₂O, MgO et CEC plus élevés). Toutefois, aucune différence n'est significative, du fait

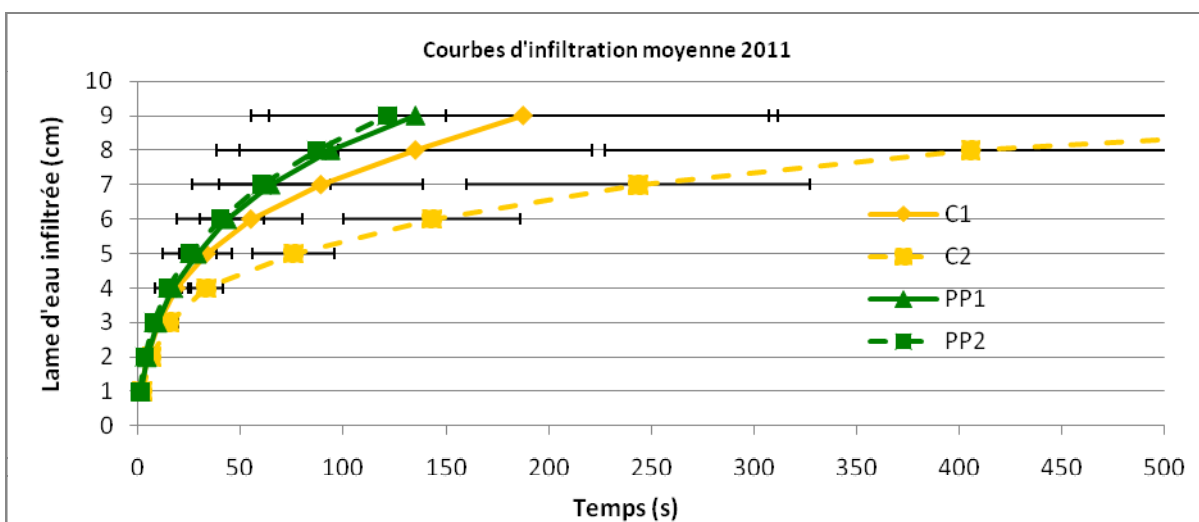
du manque de répétitions (2 par modalités). La situation est donc différente de celle observée en 2007, où les teneurs en K_2O et P_2O_5 étaient en faveur de la modalité classique.



A
2009



B
2010



C
2011

Graphique11 : Courbes d'infiltration moyenne en 2009 (A), 2010 (B), 2011 (C). Moyenne de 3 répétitions par parcelle élémentaire.

Matières organiques

Horizon	itinéraire	MO totale (%)	MO libre (> 50µm)		MO liée (<50µm)	
			%	C/N	%	C/N
0-25	Classique	3,00	0,86 (b)	20,8	2,14	8,3
	Planches permanentes	4,08	1,23 (a)	20,9	2,84	9,8
	Stats*	ns (p=0,07)	S (p=0,005)	ns	ns	
25-50	Classiques	2,64	0,49	21,9	2,15	9,9
	Planches permanentes	3,13	0,81	19,1	2,32	9,9
	Stats*	ns	ns (p=0,07)		ns	

Tableau 3 : Résultats de fractionnement de la matière organique sur les horizons 0-25 cm et 25-50 cm.

* analyses statistiques au seuil de 5% - groupes homogènes de Newman-Keuls

Le taux de matière organique est globalement plus élevé en planches permanentes, mais les différences ne sont pas statistiquement significatives du fait du peu de répétitions (2 par modalités), à l'exception de la matière organique libre. Les différences sont plus fortes dans l'horizon 0-25 cm que dans l'horizon 25-50 cm (tableau 3).

Suivi de la minéralisation de l'azote du sol

Les courbes d'évolution des teneurs en azote nitrique du sol sur 0-25 cm au cours des cultures estivales sont présentées dans le graphique 12. Ces courbes montrent qu'en 2009, la minéralisation a été plus précoce dans la modalité classique après l'apport d'engrais organique mais que la différence disparaît au bout d'un mois. En 2010, le phénomène est similaire avec des teneurs légèrement plus élevées dans la modalité classique pendant 1 mois environ, mais un inversement de tendance ensuite. Pour ces 2 années, les résultats ne sont cependant pas significatifs du fait de l'hétérogénéité des mesures. En 2011, le type de travail du sol n'a pas d'influence sur la minéralisation.

Le retard de minéralisation observé en 2009 et 2010 sur planches permanentes après l'apport de fertilisants est peut-être une conséquence de la structure plus compacte dans cette modalité, et donc moins favorable à l'activité minéralisatrice. La différence n'existe plus en dernière année, traduisant peut-être l'amélioration de la structure du sol sur la modalité « planches permanentes ».

3.5. FERTILITE BIOLOGIQUE

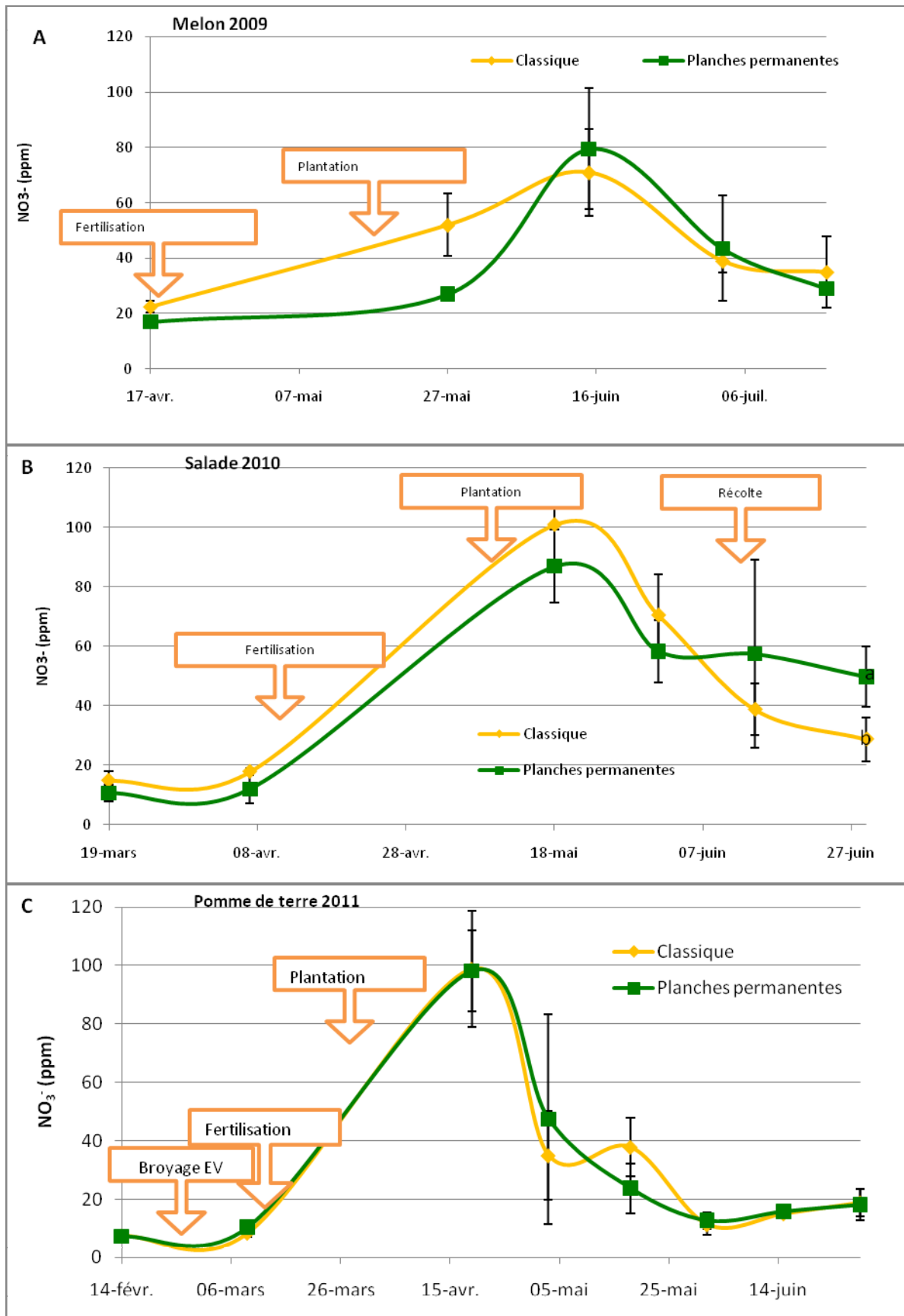
Biomasse microbienne

Horizon	itinéraire	Biomasse Micro.		IAM	C minéralisé		N minéralisé		U / an
		mgC/kg	%Corg.		mgC/kg/28j	%Cor g	mgN/kg/28j	%Nor g	
0-25	Classique	386	2,2	0,14	677	3,9	52,3	3,0	274
	Planches permanentes	544	2,3	0,23	999	4,2	74,7	3,6	392
	Stat*	ns	ns		ns	ns	ns	ns	ns
25-50	Classiques	179	1,2	0,05	353 (a)	2,3	29,1	2,1	153
	Planches permanentes	242	1,3	0,21	536 (b)	3,0	37,3	2,3	196
	Stat*	ns	ns		S p=0,004	ns	ns	ns	ns

*analyses statistiques au seuil de 5% - groupes homogènes de Newman-Keuls

Tableau 4 : Résultats de biomasse et activité microbienne sur les horizons 0-25 cm et 25-50 cm

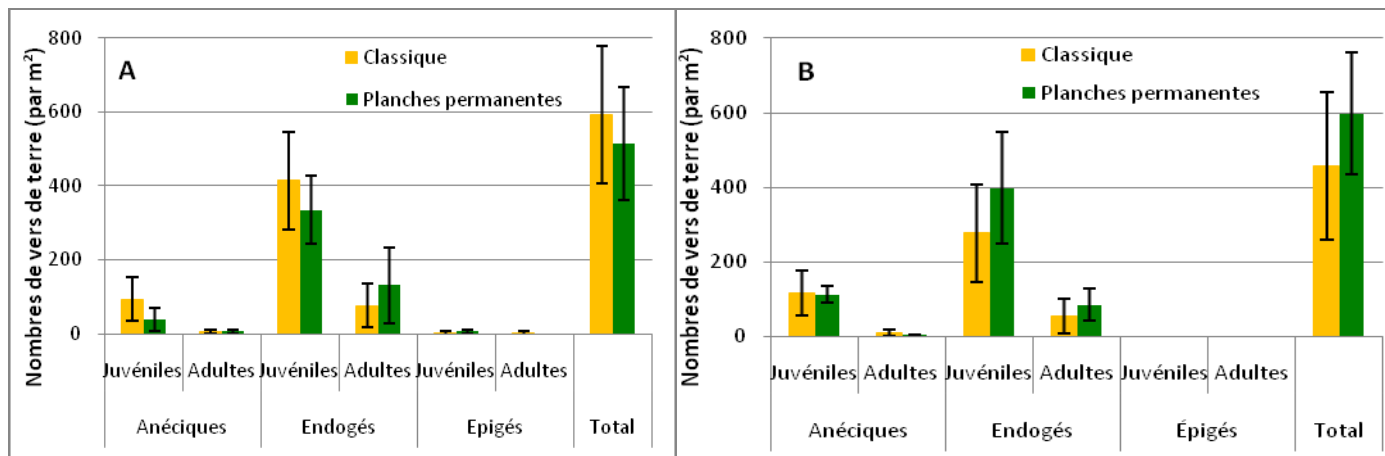
La biomasse et l'activité microbienne sont nettement supérieures dans la modalité planches permanentes sur les 2 horizons 0-25 cm et 25-50 cm mais les différences sont rarement significatives du fait du manque de répétitions : seul un échantillon par parcelle élémentaire a pu être analysé, soit deux par modalités.



Graphique 12 : Evolution de l'azote nitrique du sol sur 0-25 cm, A) sur melon en 2009, B) sur salade en 2010 et C) pomme de terre en 2011.

Etude des macro-organismes du sol (vers de terre)

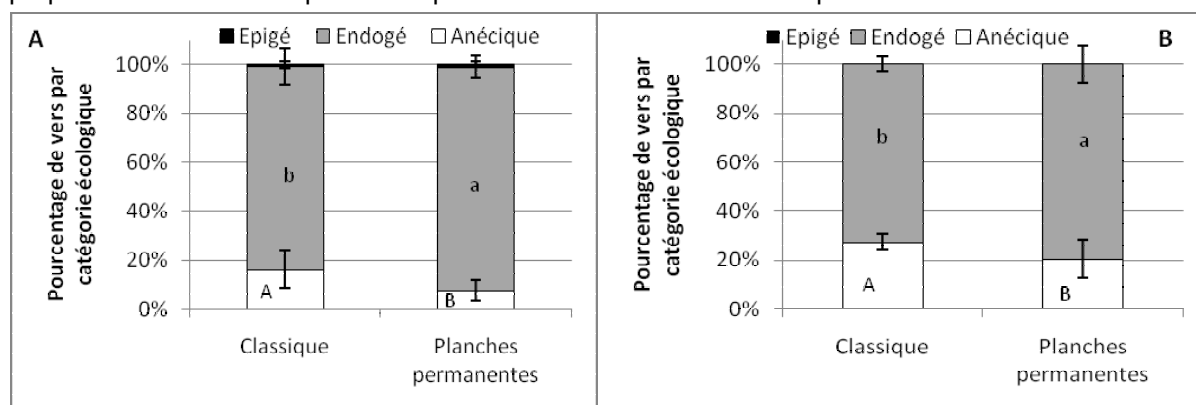
En 2010 et 2011, il n'y a pas de différence significative de nombre (graphique 13) et de biomasse (résultats non montrés) de vers de terre, ni par catégorie écologique, ni en nombre total, à cause de la très forte variabilité des mesures. La tendance observée est différente en 2010 et 2011, où le nombre de vers de terre est respectivement plus élevé en C puis en PP, la différence étant due aux endogés.



Graphique 13 : Nombres de vers de terre par catégorie écologique A) en 2010 et B) en 2011

Il est donc difficile de voir le lien entre le type de travail du sol et le nombre de vers de terre.

Par contre, la structuration des communautés de lombrics (graphique 14) diffère entre les deux modalités, et ce en 2010 comme en 2011. Les lombrics sont composés en large majorité par les endogés dans les deux modalités. Toutefois, leur présence est significativement plus marquée en planches permanentes : respectivement 91% et 83% pour « PP » et « C » en 2010, et 79% et 73% en 2011. A l'inverse, la proportion de vers anéciques est supérieure dans la modalité classique.



Graphique 14 : structure des catégories écologiques de vers par modalité, A) en 2010 et B) en 2011. Les lettres différentes indiquent des groupes homogènes de Newman Keuls au seuil de 5% en 2010 et 6% en 2011.

3.6 RESULTATS DES ANALYSES DU « BRDA-HERODY »

Cette analyse a été effectuée en complément des analyses chimiques, mais sur des horizons différents et plus tard dans la saison de culture (après récolte). Les prélèvements ayant été réalisés sur les profils (1/modalité), l'analyse statistique des résultats est impossible.

Paramètres chimiques

Horizon	Itinéraire	CF	fines	Fer L	Fer A	AT	% Mg	Mn 1	Mn 2	P	K	Mg	Al
0-10 cm	Classique	1,2	14%	40	30	8,5	>30	0	0	2	5	5	0
	PP	1	12%	50	40	8,7	>30	0	0	1	5	5	0
10-20 cm	Classique	1,2	14%	50	30	8,5	>30	0	0	2	5	5	0
	PP	1,1	14%	50	30	8,5	>30	0	0	2	5	5	0
20-30 cm	Classique	1,2	14%	50	30	8,6	>30	0	0	1	5	5	0
	PP	1,1	14%	50	30	8,6	>30	0	0	1	5	5	0

Tableau 5 : Paramètres chimiques de l'analyse du BRDA Hérody 2011

Il n'y a aucune différence visible entre les modalités sur les paramètres chimiques mesurés.

Matières organiques

Horizon	Itinéraire	MTO	HS	MOF	3 F	Ni-Ni
0-10 cm	Classique	5,1	4,4	12,8%	1,8	245
	PP	5,1	4,5	12,7%	1,75	310
10-20 cm	Classique	5,1	4,5	11,8%	1,65	260
	PP	5,1	4,4	14,6%	1,8	310
20-30 cm	Classique	5,1	4,5	11,7%	1,8	220
	PP	5,1	4,5	12,7%	1,65	235

Tableau 6 : Teneurs en différentes fractions de matière organique - Analyses du BRDA Hérody 2011

Les analyses traduisent une augmentation nette du compartiment de matières organiques insolubilisées (« Ni-Ni » pour « Ni minéralisées, Ni humifiées ») sur l'ensemble de la parcelle depuis 2007 (résultats de 2007 non montrés). Ces matières organiques insolubilisées sont plus concentrées en planches permanentes qu'en classique, ce qui était déjà le cas lors des analyses de 2007.

D'autre part, il semble y avoir plus de matières organiques facilement minéralisables (MOF) dans les planches permanentes que dans la modalité classique, ce qui serait cohérent avec les analyses de matière organique libre (tableau 3).

3.7 RESULTATS SUR LES TEMPS DE TRAVAUX

Le travail en planches permanentes a permis de réduire le temps de travail de 2005 à 2007 (tableau 7), grâce à l'utilisation d'outils non animés par la prise de force qui permettent des vitesses d'avancement plus élevées. En 2007-2008, l'état structural s'est avéré très dégradé sur les planches permanentes. Afin d'y remédier, le travail du sol a été intensifié sur cet itinéraire à partir de 2008 (nombreux passages de MTCS, adaptation d'un griffon à la place du Bio 2000 et utilisation plus courante de la herse rotative de façon superficielle), ce qui s'est traduit par un temps de travail nettement plus important sur la modalité planches permanentes en 2008 et 2009. En 2010, on atteint un équilibre des temps de travaux entre les deux modalités. En 2011, moins de temps a été consacré, hors buttage (à priori temps de buttage identique sur les 2 modalités), à la préparation de sol, et surtout sur les planches permanentes.

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Culture	Courge	Melon canari	Oignons botte + radis japonais	Epinard d'automne	Melon canari	Batavia blonde	Pomme de terre
Classique	14,2	14,2	12,7	3	13,2	15,01	8,33
Planches permanentes	13,9	13,4	10	5,9	23,4	15,89	4,43
Réduction PP par rapport à C (en %)	2,11 ↓	5,63 ↓	21,26 ↓	-96,67 ↑↑↑	-77,27 ↑↑	-5,91 ↑	46,82 ↓





Tableau 7 : Comparaison des temps de travaux sur les 2 modalités depuis la mise en place de l'essai. Temps en minutes par planche de 50 m de long.

L'itinéraire de travail du sol de la modalité classique étant déjà simplifié (pas de retournement du sol), la marge de réduction possible de temps de travail est très faible. Le travail en planches permanentes ne permet donc pas, sur cet essai, d'atteindre les diminutions de temps de travail de l'ordre de 30% observé sur les planches permanentes au GAEC des Jardins du Temple, essai conduit par l'ADABIO.

4- CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Pour résumer de façon très synthétique l'ensemble des résultats obtenus sur les différents indicateurs suivis au cours de notre essai travail du sol, nous utiliserons la figure ci-après, qui donne pour chaque indicateur une évolution positive sur les planches permanentes (+), ou négative (-) ou pas de différence notable (=), par rapport à la modalité « Classique ». La flèche verte indique l'évolution au cours du temps.












Résultats culturaux

Rendements	 ou 
Enherbement passages de roues	 / 

Organisation du travail

Temps de travail	Peu de différences en moyenne
-------------------------	-------------------------------

Indicateurs de fertilité

Structure Profil cultural, test bêche, Da, Infiltr	   / 
Réserve en eau	
Fertilité chimique Disponibilité NO ₃ - Teneurs MO – Elements majeurs	  
Activité biologique	  

Un très grand nombre d'indicateurs ont été mesurés sur cet essai afin d'analyser l'impact de méthodes différentes de travail du sol sur les résultats culturaux, le comportement de l'eau dans le sol et l'évolution des paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol. Le bilan final, réalisé en 2011 suite à une culture de pommes de terre, semble montrer une évolution encourageante des indicateurs de fertilité – notamment biologique – sur les planches permanentes, alors que la situation était très dégradée sur cette modalité en 2007. Par contre, nous n'avons pas obtenu d'effets positifs de la technique des planches permanentes sur notre essai en terme de résultats culturaux, avec des rendements plutôt inférieurs et un enherbement plus important. Nous n'avons donc pas vraiment vu d'avantage de cette technique par rapport à un itinéraire simplifié en plein mis en œuvre dans la modalité « classique ». De plus, la tendance à la compaction (% de mottes Δ) est notable et la suppression totale d'outils rotatifs s'avère impossible dans notre sol de texture limono-argileuse, dont la sensibilité à l'auto-tassement est importante.

L'essai « travail du sol » mis en place sur la station expérimentale du GRAB en 2005 prend fin cette année. Il nous a permis de mieux cerner quelles pratiques étaient à favoriser ou à éviter dans notre type de sol. La mise au point, le test et la validation d'un grand nombre d'indicateurs de la fertilité des sols dans le cadre du projet SolAB ont été riches d'enseignements et nous ont permis d'étudier de façon approfondie l'évolution du sol. Cependant, la mise en œuvre d'un très grand nombre d'indicateurs dont les résultats sont très hétérogènes rend complexe l'analyse globale des résultats qui fait essentiellement ressortir des tendances. La difficulté est certainement accrue sur notre dispositif où les modalités n'étaient finalement pas suffisamment tranchées pour pouvoir faire ressortir des différences nettes. C'est pourquoi nous préférons le stopper après 8 années.

Nous poursuivons cependant nos travaux sur le thème du travail du sol et de son impact sur la fertilité, en étudiant de façon approfondie quelles sont les pratiques et les équipements les plus répandus chez les producteurs. Cette étude permettra de mettre en place un nouveau dispositif avec des modalités 1) représentatives de la pratique pour les modalités témoins et 2) plus tranchées de façon à mieux en cerner les impacts sur les cultures, l'organisation et la fertilité des sols.

Cette phase de reconnaissance terrain, couplée à une étude bibliographique approfondie sur différentes alternatives de travail du sol en maraîchage, nous permettra d'envisager la mise en place d'un nouvel essai pluriannuel à court terme.

ANNEE DE MISE EN PLACE : 2005 - ANNEE DE FIN D'ACTION : non définie

ACTION : nouvelle en cours en projet

Renseignements complémentaires auprès de : H. Védie – GRAB - BP 11283 84911 Avignon cedex 9 - tel 04 90 84 01 70 - fax 04 90 84 00 37 - helene.vedie@grab.fr

Mots clés du thésaurus Ctifl : travail du sol – planches permanentes – maraîchage biologique - profil cultural – densité apparente – test bêche – indicateurs de fertilité du sol

Date de création de cette fiche : mai 2012