



Programme RotAB

Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques

Rotations en grandes cultures biologiques sans élevage

Réseau expérimental RotAB :

- Acquis méthodologiques,
- Evolution de la fertilité des sols



ITAB

Institut Technique de
l'Agriculture Biologique

Coordination, rédaction et mise en pages : ITAB

Coordination et rédaction : Michel Mangin, ARVALIS – Institut du végétal, et Laetitia Fourrié, Institut Technique de l'Agriculture Biologique

Contribution : Loïc Prieur (CREAB Midi-Pyrénées), Thierry Quirin (Chambre d'Agriculture de la Vienne/Agrobio Poitou-Charentes), Delphine Bouttet et Jean-François Garnier (ARVALIS – Institut du végétal), Bertrand Chareyron (Chambre d'Agriculture de la Drôme).

Relecture : Laurence Fontaine, ITAB

Maquette : Aude Coulombel, ITAB

ITAB, mars 2011, mise à jour novembre 2011

Pour en savoir plus :

www.itab.asso.fr, page programmes de recherche puis RotAB

<http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/>

SOMMAIRE

Introduction	p.2
Présentation du réseau RotAB	p.3
- Mise en réseau de cinq dispositifs expérimentaux	p.3
- Le dispositif expérimental de la Motte (95)	p.3
- Le dispositif expérimental de Boigneville (91)	p.6
- Le dispositif expérimental de Dunière (26)	p.8
- Le dispositif expérimental d'Archigny (86)	p.10
- Le dispositif expérimental de la Hourre (32)	p.13
Des acquis méthodologiques	p.16
- Des apports mutuels dans la conception, la configuration et l'évolution des systèmes..	p.16
- Partage des méthodologies et construction d'une boîte à outils	p.16
- Capitalisation des résultats : étude de faisabilité d'une base de données commune	p.18
Evolution de la fertilité des sols : enseignements du réseau RotAB	p.20
- Bilans matière et lien avec les teneurs du sol	p.20
o Le phosphore	p.20
o La potasse	p.23
o La magnésie	p.25
o Conclusions sur la fertilité chimique	p.27
- MO et fertilité biologique	p.28
o La biomasse microbienne	p.28
o La minéralisation du sol (C, N)	p.31
o Conclusions sur la MO	p.33
Conclusions et perspectives	p.34
 Annexes	 p.36

■ Introduction

Alors qu'un des principes de l'agriculture biologique (AB) est de rechercher les équilibres entre le sol, les animaux et les plantes, l'influence des cours des marchés, relayée par les structures de collecte, a conduit de nombreux agrobiologistes à développer des systèmes de grandes cultures spécialisés, sans élevage.

Par ailleurs, les engrais organiques du commerce sont de plus en plus coûteux et rares. L'accroissement actuel des conversions de fermes spécialisées dans les plaines céréalières rend encore plus cruciale la question de l'évolution de la fertilité des sols dans ces systèmes. Cet aspect important pour le développement de l'AB est pris en compte par des acteurs du développement et de la recherche en AB, qui ont constitué le « réseau RotAB » (dans le cadre du programme de recherche RotAB).

RotAB est un projet qui a débuté en 2008. Il est piloté par l'ITAB et réunit douze partenaires : Arvalis – Institut du Végétal, INRA, Chambres d'Agriculture, Groupements professionnels d'agriculteurs biologiques. Ce projet de trois ans, avec l'appui du CAS DAR¹ du Ministère de l'Agriculture, porte sur la conception de rotations et assolements durables en systèmes céréaliers biologiques sans élevage.

Le réseau RotAB rassemble cinq dispositifs expérimentaux testant sur le plan agronomique, économique et environnemental des systèmes en grandes cultures biologiques sans élevage.

Si ces dispositifs ont été mis en place indépendamment du projet RotAB, plusieurs années auparavant pour quatre d'entre eux, leur mise en réseau a démarré avec le programme, en ciblant les efforts sur l'évaluation de l'évolution de la fertilité des sols, question importante dans ces systèmes sans élevage.

La mise en réseau de ces dispositifs permet aux partenaires de valoriser les résultats à l'échelle nationale et apporte également des synergies au niveau méthodologique, en termes de configuration des systèmes, de suivi et d'interprétation.

¹ Compte d'Affectation Spéciale du Développement Agricole et Rural

Le réseau RotAB

Mise en réseau de cinq dispositifs

Les dispositifs expérimentaux du réseau RotAB (figure 1) ont été mis en place pour répondre à la demande des producteurs spécialisés. Si chacun de ces dispositifs est ancré régionalement (adaptation au contexte pédoclimatique local et intégration économique), leur mise en réseau leur confère une portée plus générale.

Ces dispositifs doivent gérer des contraintes agronomiques fortes, telles que la limitation de l'utilisation des intrants (en particulier la non utilisation d'engrais de ferme) et de l'introduction des cultures fourragères dans la rotation, tout en ayant un objectif commun de rentabilité économique.



Figure 1 : Localisation des dispositifs expérimentaux du réseau RotAB

Ces systèmes privilégient donc les cultures de vente à haute valeur ajoutée à destination de l'alimentation humaine (blé, soja, tournesol). La fertilisation azotée des cultures est principalement assurée par l'introduction des légumineuses dans la rotation, soit des cultures fourragères (luzerne ou trèfle), en limitant au minimum leur durée dans la rotation pour des raisons économiques, soit des protéagineux tels que le soja, la féverole ou la lentille, qui présentent l'avantage d'être bien valorisés économiquement. Dans certains cas, des rotations dites économiques de type blé-soja ou blé-soja-maïs sont évaluées.

Le dispositif expérimental de La Motte (95)

Le dispositif de la Motte (64 ha) est implanté sur la Bergerie de Villarceaux dans le Val d'Oise (95). Il a été initié sous l'impulsion d'Arvalis-Institut du Végétal, des exploitants de la ferme, de la Chambre d'Agriculture 77 et de l'ITAB. Les opérations culturales sont assurées par le personnel de l'exploitation.

L'essai, mené sur une parcelle certifiée en AB de 64 ha, a démarré en 2003.

Un système biologique céréalier sans élevage a été mis en place en réponse à la demande de certains agriculteurs de régions de grandes cultures céréalières (Ile de France, Centre) qui souhaitent passer en AB mais sans atelier d'élevage et avec une faible dépendance aux apports de produits organiques exogènes. L'objectif de ce système est de produire et dégager un revenu tout en maintenant la fertilité des sols.

La rotation testée est une rotation longue de 8 ans, non irriguée, sur un dispositif grandeur nature. Toutes les cultures de la rotation sont présentes chaque année et l'essai ne comporte pas de répétitions.

Les huit parcelles élémentaires sont de grande taille (de 5,5 ha à 8,6 ha), jugée comme correcte vis-à-vis de la biodiversité (Figure 2). Des zones refuges, pour partie en haies composites, sont intercalées entre chaque parcelle, avec possibilité d'en tirer du bois de chauffage. La parcelle d'essai présente une situation plane à légèrement pentue.

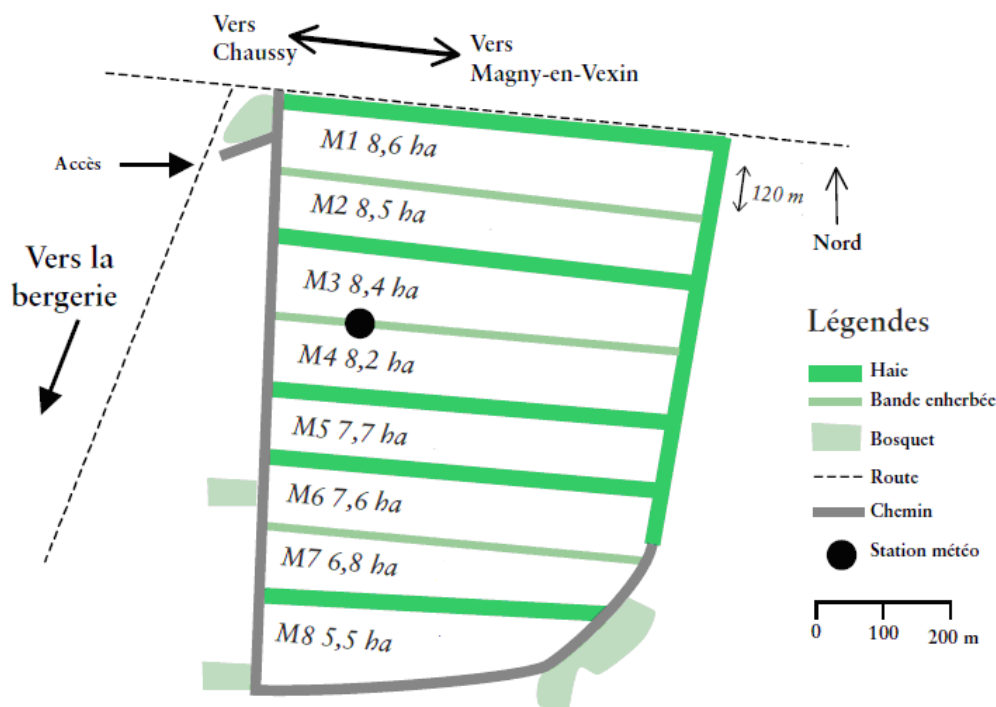


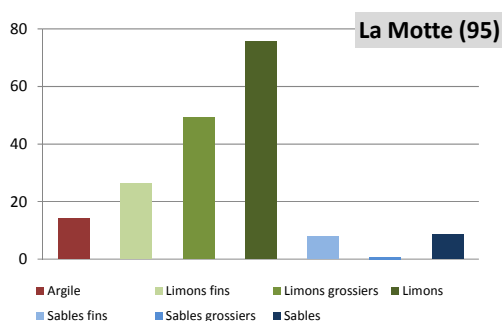
Figure 2 : Plan du dispositif de La Motte

- La situation culturale

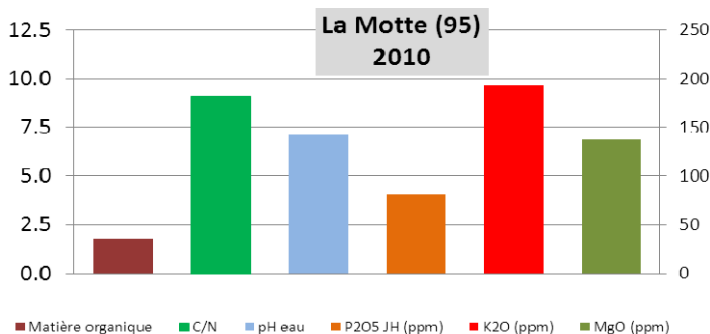
Les sols ont fait l'objet d'une caractérisation au début de l'essai (Graphique 1 et Graphique 2). Ce sont des sols limoneux lessivés profonds à tendance acide et hydromorphe, reposant sur un sous-sol plus argileux et franchement calcaire. Certaines zones sont fortement battantes.

La teneur en MO et le C/N sont moyens (respectivement 1,8 et 9,1). Le sol est faiblement pourvu en phosphore et bien pourvu en potasse.

L'essai a été chaulé en 2010.



Graphique 1 : Texture du sol du dispositif de La Motte



Graphique 2 : Principales caractéristiques physico-chimiques du sol de La Motte

- La rotation et les cultures

Les céréales sont prépondérantes dans la rotation (trois années sur huit) car ces cultures sont bien valorisées en alimentation humaine (marges brutes intéressantes). Les légumineuses servent à fixer de l'azote avant le blé. La luzerne, placée en tête de rotation, permet également de maîtriser les adventices et également d'améliorer la structure du sol.

La rotation testée est la suivante : Luzerne – luzerne – Blé – Epeautre (ou sarrasin) – Féverole (avec une phacélie au préalable) – Blé – Mélange céréale + légumineuse – Blé (avec une moutarde au préalable).

Cette rotation alterne autant que possible les cultures d'hiver avec les cultures de printemps afin de briser le cycle des adventices. La structure de la rotation est fixe mais les cultures peuvent être modifiées. Par exemple, le blé d'hiver de fin de rotation peut être remplacé par de l'avoine nue. Les itinéraires techniques des cultures sont souples et adaptés chaque année. Les rendements moyens obtenus sur le dispositif de la Motte sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Rendements moyens obtenus sur La Motte (2003 – 2010)

La Motte	Luzerne A1 (t)	Luzerne A2 (t)	Blé 1	Céréale secondaire	Féverole	Blé 2	Mélange céréalier	Blé 3
Moyenne (q)	3,3	9,5	44	26	27	39	37	22
Ecart type (q)	5	2	13	11	4	3	6	7

Blé 1 : précédent luzerne - Blé 2 : précédent féverole - Blé 3 : précédent mélange céréalier (association céréale – pois)

La luzerne est implantée au printemps dans le blé précédent (Blé 3). En A1, elle a été ressemée totalement ou partiellement 4 années sur 8 et n'a donné aucune récolte 6 années sur 8. En A2, son rendement est bon et régulier.

Le blé voit son rendement décroître régulièrement en fonction de son rang dans la rotation, sachant que le blé de luzerne est généralement un blé plus orienté rendement et les suivants plus orientés protéines (type Atlass /Renan).

La seconde paille a été une céréale (épeautre, orge, avoine nue, seigle) ou un sarrasin, les meilleurs rendements ayant été constatés avec l'épeautre deux années sur trois où il était présent. Le sarrasin présente une faible productivité sur cet essai.

La féverole (de printemps) est assez régulière si l'on excepte une année sans récolte.

Le mélange céréalier était initialement une association orge – pois protéagineux de printemps, puis ces trois dernières années un triticales d'hiver associé à un pois fourrager.

Le dernier blé de la rotation est irrégulier autour de son rendement limité.



Le dispositif expérimental de Boigneville (91)

Le dispositif est situé sur la station expérimentale d'ARVALIS-Institut du Végétal de Boigneville dans l'Essonne (91). Cette expérimentation a été mise en place en 2007, à la suite de l'essai de la Motte, pour évaluer l'autonomie et la durabilité d'un système AB extrémisé, conduit sans apports d'intrants fertilisants externes et en tirant des indicateurs multiples, technico économiques comme environnementaux.

Le dispositif (4,70 ha) comprend six parcelles. Entre chaque parcelle, une bande enherbée de 6 m a été semée en mélange graminée légumineuse (Figure 3).

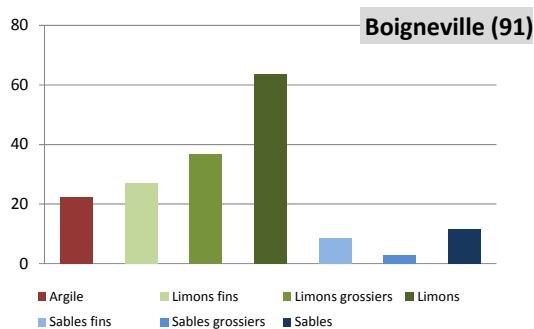


Figure 3 : Plan du dispositif Bio de Boigneville

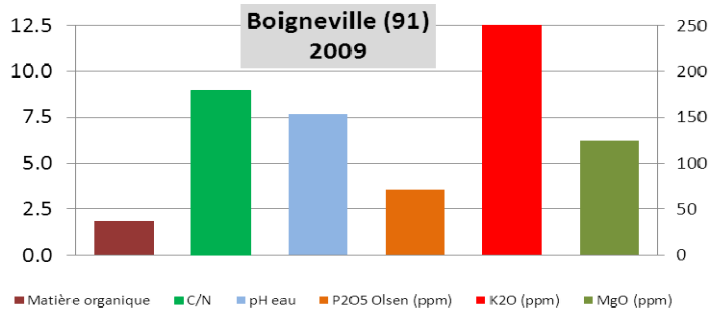
• La situation culturale

Le dispositif est situé sur des limons moyennement profonds (60-80 cm) sains. Ce sol est franchement calcaire et développé sur roche mère calcaire.

Les teneurs en MO et C/N sont moyennes (respectivement 1,8 et 9,0) ; le sol présente une teneur correcte en phosphore et est très bien pourvu en potasse (300 ppm) (Graphique 3 et Graphique 4).



Graphique 3 : Texture du sol du dispositif de Boigneville



Graphique 4 : Principales caractéristiques physico-chimiques du sol de Boigneville

- La rotation et les cultures

Une rotation de 6 ans est testée sur le dispositif : luzerne 1 / luzerne 2 / blé tendre d'hiver / lin (ou sarrasin ou tournesol), avec engrais vert de trèfle au préalable) / féverole d'hiver / blé tendre d'hiver (sursemé en luzerne). Elle est basée sur les cultures les plus courantes dans le Gâtinais et pourra évoluer en même temps que le système. De même, elle est adaptée au type de sol.

La gestion des interventions sur ce système de culture se fait via un jeu de règles de décision, flexibles en fonction de l'état du système.

Les rendements moyens obtenus sur le dispositif bio de Boigneville sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Rendements moyens obtenus sur Boigneville (2008 – 2010)

Boigneville	Luzerne A1	Luzerne A2	Blé de luzerne	Lin d'hiver	Féverole	Blé de féverole
Moyenne (q)	exportée ou broyée		42	15	36	30
Ecart type (q)			16	6	16	5

La luzerne, implantée dans le blé, est exportée pour l'essentiel, avec un souci de retourner au sol la dernière coupe en A2, voire davantage si c'est possible techniquement.

L'essai étant récent, seules trois années de résultats sont disponibles pour les cultures de vente.

Le blé de luzerne est un blé privilégiant le rendement sur la protéine (Atlass).

Le lin a été remplacé par du sarrasin la première année.

La féverole de printemps est d'un bon niveau de rendement.

Le blé de féverole, basé sur une variété orientée protéines (Renan) est nettement moins productif sans apports azotés complémentaires.



Le dispositif expérimental de Dunière (26)

Ce dispositif a été mis en place 1999 sous l'impulsion collective de l'ITCF, l'AGPM, le CETIOM, la Chambre d'Agriculture de la Drôme (CA 26) et l'AGFEE (l'Association de Gestion de la Ferme Expérimentale d'Etoile) dans un département leader pour l'agriculture biologique et où les questions émanaient déjà des exploitations spécialisées en grandes cultures, avec néanmoins parfois un atelier avicole.

L'objectif de ce système biologique de grandes cultures sans élevage est de produire et dégager un revenu tout en maintenant la fertilité des sols. La difficulté vient de l'absence d'effluents d'élevage, compensée pour partie par la présence de légumineuses (soja, luzerne ou vesce portes graines) dans la rotation. Il s'agit ici pour juger de la pertinence d'une rotation de moyenne durée (5 ans) en comparaison d'un système « bio intensif » Plaine de Valence basé sur une rotation courte et l'emploi d'effluents d'élevage avicole.

L'essai a été mis en place sur une parcelle de 3,5 ha, dite « Dunière », certifiée en AB. Les parcelles expérimentales sont de taille moyenne (36 m x 110 m). Il n'y a pas de séparation physique entre parcelles ou de zones refuges pour la faune auxiliaire dans le dispositif (Figure 4). Le travail du sol est un labour classique, l'essai est irrigable en totalité.

Sur le dispositif expérimental, toutes les cultures de la rotation sont présentes chaque année et l'essai ne comporte pas de répétitions. Chaque parcelle expérimentale est subdivisée en deux bandes, l'une conduite telle que les agriculteurs référents conduisent leur culture à l'instant t, appelée **conduite classique**, et l'autre sur laquelle les innovations retenues sont mises en œuvre, dénommée **conduite innovante**. C'est pourquoi les itinéraires peuvent évoluer en permanence.

En 2006, le dispositif a été subdivisé perpendiculairement, la moitié de l'essai recevant un apport de phosphore soluble (apport d'une soixantaine d'unités de P organique sur toutes les cultures en sortie d'hiver).

Les grandes phases de l'expérimentation de Dunière :

- Avant 1999 : parcelle conduite de manière très classique, sans exportations de résidus ou apport de Matière Organique exogène.
- 2000 - 2004 : conduite incluant pour partie des composts de fientes, recours assez systématique à l'irrigation, introduction progressive de la luzerne.
- 2005 - 2009 : introduction du colza, variante Phosphore sur la moitié du dispositif.
- 2010 : modification de l'assolement, introduction de cultures intermédiaires pour répondre à l'arrêté définissant le 4ème programme de la Directive Nitrates.

Dunière : Cultures présentes en 2011

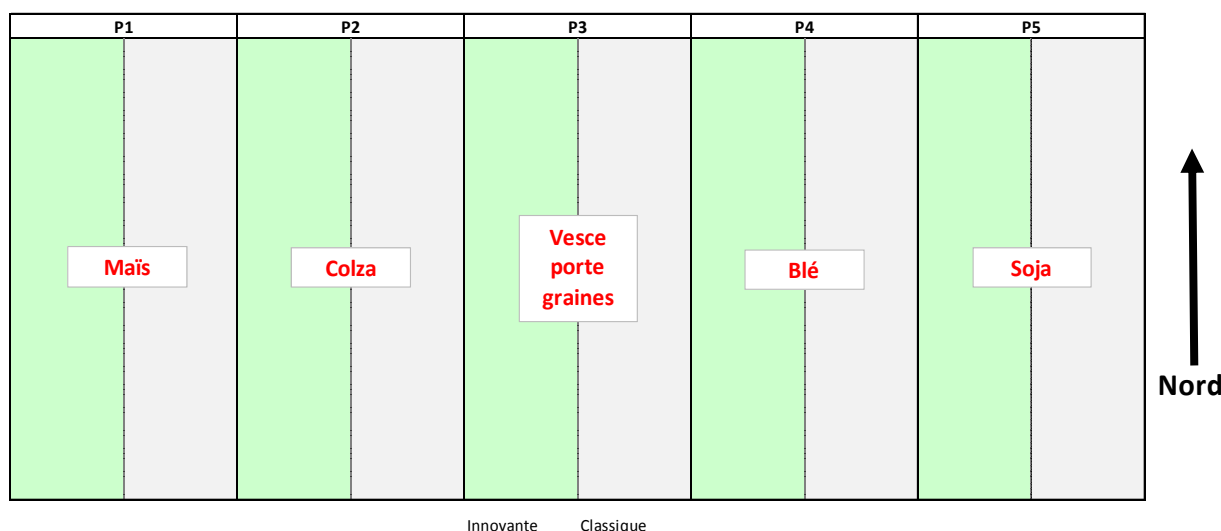
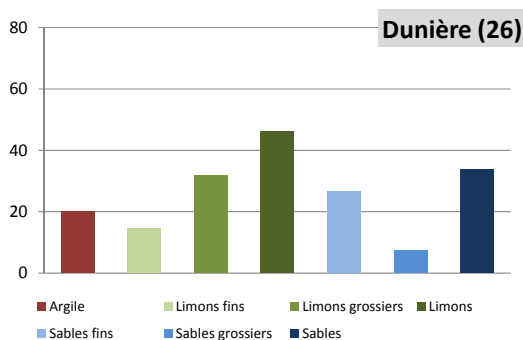


Figure 4 : Plan du dispositif de Dunière

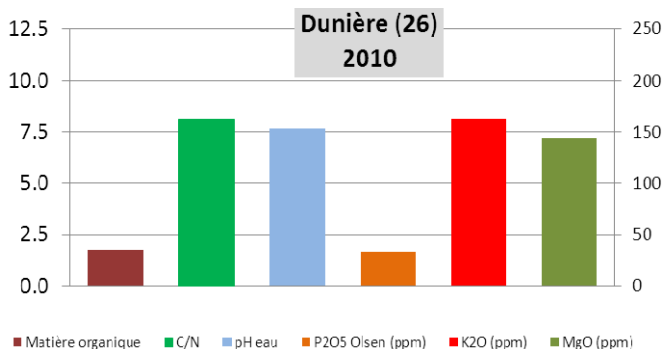
- La situation culturale

Le sol est un sol limono-argilo-sableux calcaire profond, sain, avec une très légère tendance à la battance, une très faible pierrosité, une bonne réserve utile pour les cinq parcelles expérimentales et un pH neutre à basique suivant les parcelles.

La teneur en MO et C/N sont moyens (respectivement 1,8 et 8,1) et le sol est moyennement pourvu en phosphore et bien pourvu en potasse (Graphique 5 et Graphique 6).



Graphique 5 : Texture du sol du dispositif de Dunière



Graphique 6 : Principales caractéristiques physico-chimiques du sol de Dunière

- La rotation et les cultures

De 1999 à 2009, la rotation, d'une durée de cinq ans, était la suivante : soja / blé d'hiver sous ensemencé de luzerne / luzerne porte graines / colza / maïs grain.

Le choix des cultures s'est imposé de la manière suivante : le soja est la culture à forte valeur ajoutée (alimentation humaine), tout comme le blé et le maïs, qui sont importants localement en termes de débouchés. La luzerne porte graines a été introduite en troisième année d'essai car des questions se posent autour de sa gestion en AB (insectes, enherbement, gestion du chantier de récolte). Le colza a été introduit en 2006 suite à la demande des organismes stockeurs locaux qui ont un marché et le satisfont difficilement au vu des difficultés techniques de production.

Un nouveau cycle démarre en 2010, ménageant une large place à la gestion des intercultures (mises en place de cultures intermédiaires). La rotation est la suivante : soja, maïs, vesce porte graines, colza, blé, avec utilisation de repousses voire de semis de cultures intermédiaires entre soja et maïs ou blé et soja.

Les rendements moyens des cultures ont été calculés ; ils sont issus de la moyenne des deux variantes de conduite mises en place culture par culture, toute dose de phosphore confondue (Tableau 3).

Tableau 3 : Rendements moyens obtenus sur Dunière (2006 – 2010)

Dunière	Soja	Blé	Luzerne Porte graines	Colza	Maïs
Moyenne (q)	42	46	3,5	23	98
Ecart type (q)	10	12	3,0	6	19

Le soja irrigué assure des rendements élevés et très réguliers.

Le blé est d'un bon niveau de productivité (fertilisation, irrigation), avec des fluctuations liées à la pression de maladies (rouille brune, fusariose).

La luzerne porte graines est la culture la moins régulière, avec des années sans résultats (désherbage, difficultés de récolte) et un résultat moyen décevant.

Le colza n'a pu être récolté que 3 années sur 5, avec de bons résultats.

Le maïs irrigué est productif, les mauvais résultats de 2010 (qualité de la levée) augmentent la variabilité.

Le dispositif expérimental d'Archigny (86)

L'expérimentation a été initiée au niveau départemental, grâce à un partenariat entre la Chambre d'agriculture de la Vienne, le GAB de la Vienne et Agrobio Poitou Charente et suite à diverses interrogations de la part des professionnels sur les systèmes spécialisés en grandes cultures.

L'essai a démarré en 2006. L'objectif est de construire et de tester des rotations et des itinéraires techniques durables innovants, de les comparer et de les évaluer de façon multicritère (sur le plan économique et agronomique dans un premier temps).

Plusieurs modalités avec différents itinéraires techniques (labour et non labour) et rotations (longues et courtes) sont testées et un suivi est réalisé sur :

- l'évolution de la fertilité des sols et de l'enherbement à long terme,
- la mesure de l'impact technico-économique des différentes rotations,
- l'évaluation des impacts environnementaux des différentes rotations et pratiques.

Le dispositif expérimental, d'une superficie de 14 ha (un seul îlot, certifiés en AB) dont 2,5 ha de bandes enherbées, comprend douze parcelles d'environ 1 ha chacune et est non irrigué (Figure 5). Chaque parcelle représente un système d'étude. Les parcelles sont toutes séparées entre elles par des bandes enherbées qui servent d'accès pour le matériel. Des bandes fleuries, de la largeur des parcelles, ont également été mises en place au centre de l'essai. Enfin, des haies sont présentes sur la longueur de l'essai.

Tous les termes des rotations ne sont pas présents chaque année par souci de gestion mais aussi de pour des raisons d'impossibilité de redécoupage des parcelles du fait du réseau de drainage particulier. Il n'y a pas de répétitions mais les parcelles fonctionnent deux à deux, afin de comparer les modalités labour et non labour.

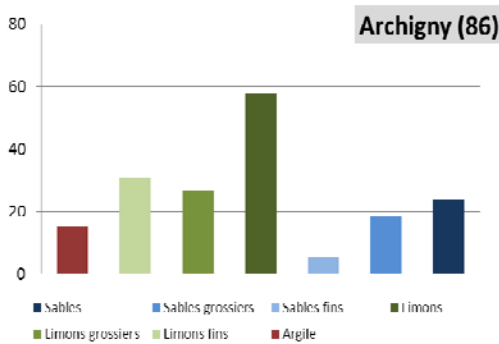


Figure 5 : Plan du dispositif d'Archigny

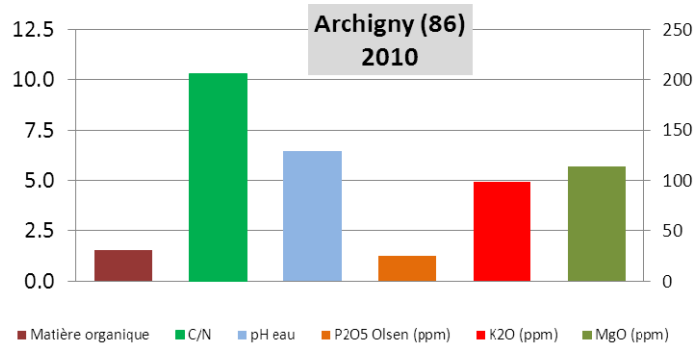
• La situation culturale

Le dispositif est implanté sur des sols limono sableux lessivés, battants, caillouteux, hydromorphes drainés en 2001. Ils sont profonds, à faible capacité d'échange des cations, avec une réserve en eau moyenne à bonne, et ont une tendance à l'acidité (apport de calcaire nécessaire).

La teneur en MO est plutôt faible et le C/N moyen (respectivement 1,6 et 10,3). Le sol est faiblement pourvu en phosphore et en potasse (Graphique 7 et Graphique 8).



Graphique 7 : Texture du sol du dispositif d'Archigny



Graphique 8 : Principales caractéristiques physico-chimiques du sol d'Archigny

• La rotation et les cultures

Au départ, trois rotations ont été mises en place (une classique et deux extrêmes):

- Un système avec une rotation de type classique, représentative des successions culturales mises en place par les agriculteurs du département : Trèfle violet pendant 18 mois à 24 mois, semé sous couvert de tournesol / blé / triticale / maïs / féverole / blé / tournesol. Les apports d'engrais ne sont pas exclus. On compare ici l'effet du labour (parcelle R5) au non labour (parcelle R4),
- Un système de culture basé sur une rotation courte soja / blé / maïs, avec apport d'engrais et labour non systématique (parcelle R6).
- Un système avec une rotation céréalière (économique), non définie à l'avance, mais régie par différentes règles de décision. Cette rotation a une durée idéale de 7-8 ans. L'objectif est de mettre en place un maximum de cultures de vente (blé maïs aussi soja, maïs, colza, protéagineux,...) et de ne pas introduire de cultures pluri-annuelles types prairies. Un itinéraire avec labour (parcelle R1) est comparé à un sans labour (parcelle R2). Cette rotation est abandonnée en 2010, les résultats économiques sont très décevants (marges nettes moyennes négatives) et les parcelles se sont salées, notamment en chardons.

Hormis pour la rotation courte, les cultures ne sont pas définies à l'avance pour laisser aux techniciens plus de flexibilité lors de la mise en place des cultures. En effet, des contraintes dues au climat ou à l'état structural du sol peuvent influencer le choix de la mise en place ou non d'une culture. De plus, ils peuvent ainsi répondre à la demande du marché et aux opportunités. Pour l'instant, seules des cultures classiques sont mises en place par souci de commercialisation (petites surfaces). Le choix des cultures répond aux règles de décisions suivantes :

- privilégier les alternances cultures d'hiver et cultures de printemps (deux cultures d'hiver, une culture de printemps),
- mettre en place si possible tous les trois ans des légumineuses à graines (féverole, pois de printemps...),
- alterner les espèces.

Les itinéraires techniques sont au contraire assez rigides :

- pour les essais labour : le labour est réalisé de façon systématique,
- pour les essais non labour : le labour est interdit et est substitué par des outils à dents type vibroflex.

Les rendements moyens obtenus (parcelles labourées) sur le site d'Archigny sont présentés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Rendements moyens obtenus sur Archigny (2006 – 2010)

Archigny	Tournesol	Maïs	Blé	Soja ou Féverole
Moyenne (q)	26	27	27	15
Ecart type	4	8	10	3

Le tournesol est la culture la plus régulièrement productive.

Le blé donne des résultats moyens et variables.

Le triticale, présent une seule année sur le dispositif rotation, dégage la meilleure marge brute.

La rentabilité du maïs est faible et sa productivité très variable.

Le soja et la féverole ne donnent que des résultats moyens.

Le trèfle violet présent dans les rotations n'est commercialisé en foin que la deuxième année.



4 Le dispositif expérimental de la Hourre (32)

Le système biologique a été mis en place à la demande des producteurs et de l'ensemble de la filière afin d'étudier la durabilité (évolution MO) d'une exploitation de grandes cultures en AB sans élevage, sans irrigation et sans apport de matière organique exogène (en dehors des fertilisants). Il implique le CREAB, en lien avec le LEGTA de Beaulieu (Auch) et l'INRA de Toulouse.

L'objectif de ce système d'exploitation est de produire et dégager un revenu tout en maintenant la fertilité des sols. La gestion de la disponibilité en azote est étudiée par le suivi des précédents légumineuses, l'intégration de Cultures IntermédiaIRES Piège A Nitrates (CIPAN), et le test de cultures associées. L'utilisation des fertilisants organiques du commerce est modérée (80 kg d'N/ha pour un blé et 40 kg d'N/ha pour une céréale secondaire). La principale contrainte provient du nombre de jours favorables pour réaliser les travaux compte tenu des risques importants de compaction des argiles. Le travail du sol se caractérise par l'utilisation quasi systématique de la charrue, principalement pour son action de désherbage, et pour restructurer les argiles en hiver.

Démarrée en 2002, l'expérimentation se situe sur le domaine de la Hourre, certifié en AB et d'une superficie de 55 ha, d'un seul tenant et non irriguée. Le dispositif (

Figure 6) est composé de 7 parcelles de grande taille (entre 3,4 ha et 10,84 ha) et ne comporte pas de répétitions. Les parcelles sont séparées par des bandes enherbées, les haies restent clairsemées et présentes uniquement de chaque côté du cours d'eau (parcelles LH7 et LH8). Un programme de replantation est en cours sur la période 2009-2012.

Le suivi de l'évolution de la fertilité est réalisé sur 12 zones références (ZR) qui ont été définies selon leur type de sol, leur topologie (pente ou non) et leur orientation. Ces zones sont des carrés de 50 m de côté, géoréférencés.

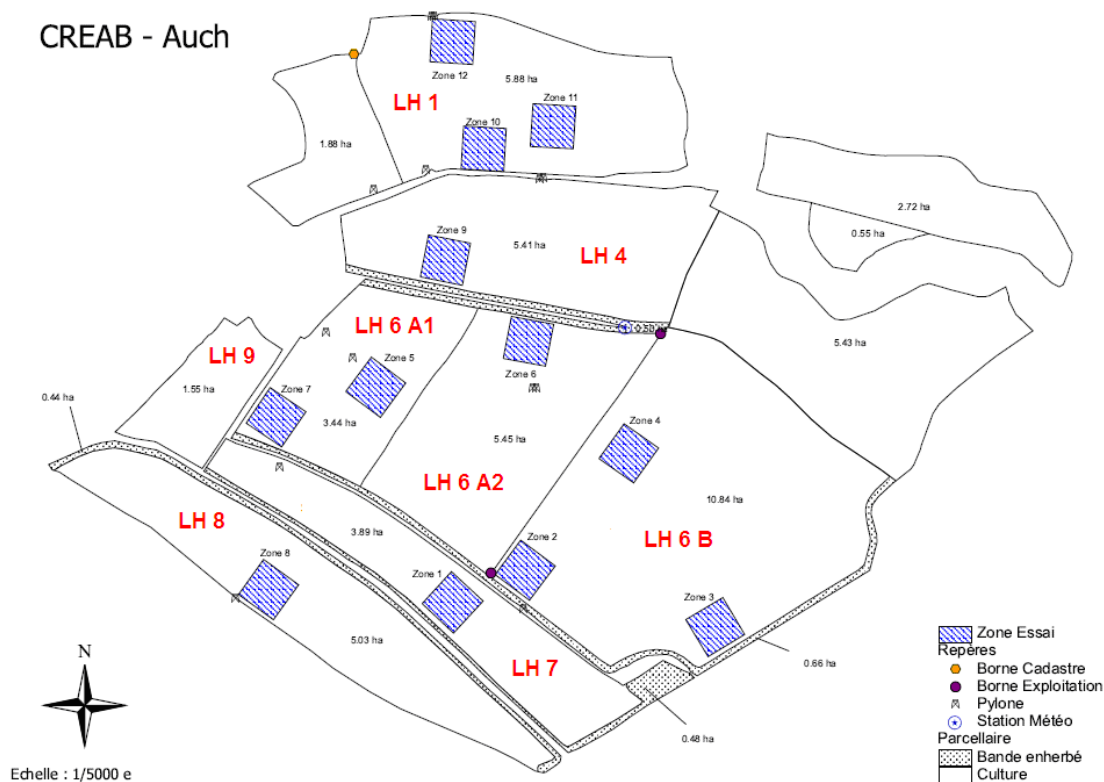
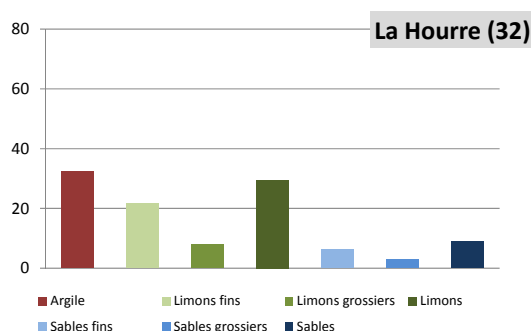


Figure 6 : Plan du domaine de la Hourre, avec l'emplacement des zones référence dans les différentes parcelles

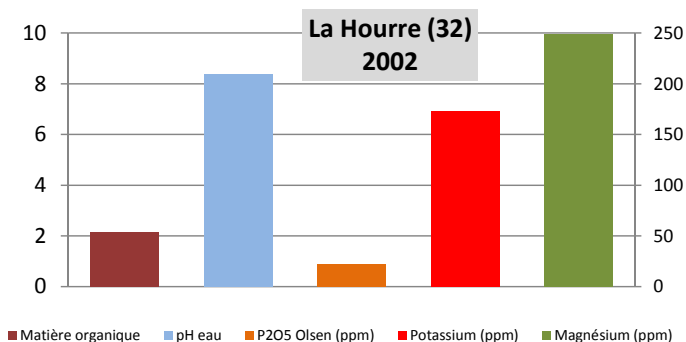
- La situation culturale

Le site de la Hourre présente deux types de sols différents. Les sols sont des sols argileux calcaires (terreforts) sur les pentes, avec une forte hétérogénéité spatiale et des variations de profondeur importantes en fonction de la topographie (entre 30 cm en haut des coteaux et 1,20 m en fond de vallée). En fond de vallée, on trouve des limons argileux à ennoiment temporaire. Le pH du site varie de 8,2 à 8,7, ce qui n'est pas sans poser des problèmes vis-à-vis de la disponibilité en phosphore. Certaines parcelles sont très pentues (> 5%).

Les teneurs en MO et C/N sont moyens (respectivement 2,1 et 9,0) et la CEC est élevée. Les sols sont très faiblement pourvus en phosphore et très bien pourvus en potasse ; les teneurs en magnésium sont très correctes (Graphique 9 et Graphique 10).



Graphique 9 : Texture du sol du dispositif de La Hourre



Graphique 10 : Principales caractéristiques physico-chimiques du sol de La Hourre

- La rotation et les cultures

Le système a été raisonné pour atteindre une viabilité économique. Pour cela, deux rotations ont été mises en place permettant ainsi de cultiver chaque année du soja, culture très rémunératrice (il n'y a que deux parcelles où il est possible de faire du soja en sec).

Deux sous-systèmes biologiques céréaliers sans élevage, assez représentatifs des exploitations gersoises, sont ainsi testés en fonction de la situation topographique :

- un système de grandes cultures en sec sur terre de vallée (2 parcelles) intégrant la culture du soja sans irrigation une année sur deux (rotation économique) ;
- un système de grandes cultures en sec sur coteaux avec rotation non définie à l'avance de 4 à 5 ans : féverole – blé tendre – tournesol avec intégration selon le marché ou les contraintes agronomiques : céréales secondaires (orge d'hiver) ; utilisation de la jachère annuelle pour mettre en place du trèfle violet, intégration d'autres légumineuses en substitution de la féverole (lentille, pois chiche, pois protéagineux).



Les successions de cultures mises en place alternent le plus souvent possible cultures de printemps et cultures d'hiver afin de limiter la pression des adventices. Les cultures les plus présentes sont le blé tendre panifiable, la féverole d'hiver et le tournesol (seule culture d'été cultivable en sec sur un système de coteaux). La rotation n'est pas fixe, elle s'adapte au marché (céréales secondaires et lentille) ou aux contraintes agronomiques (salissement).

Le

Tableau 5 synthétise les rendements moyens des cultures obtenus sur le site de la Hourre.

Tableau 5 : Rendements moyens obtenus sur La Hourre (2002 – 2010)

La Hourre	Fond de vallée		En coteaux				
	Soja	Blé	Féverole	Blé	Tournesol	Pois	Orge
Moyenne(q)	28	39	27	49	24	21	41
Ecart type (q)	11	13	8	23	10	6	8

Les rendements évoqués ici sont appréciés sur des placettes de référence et non parcelle entière

Pour la situation de fond de vallée, le soja donne un rendement d'un bon niveau, assez régulier. Le blé qui suit est également d'un bon niveau de rendement

En coteaux, la féverole (d'hiver) donne un rendement correct et régulier.

Le rendement moyen du blé est excellent mais avec une forte variabilité (une parcelle broyée n'a pas été prise en compte dans cette série).

Le tournesol est régulièrement productif.

Le pois (qui a été une fois une lentille) est la moins intéressante des légumineuses : sitones, pigeons et difficultés de récolte.

L'orge d'hiver est un peu moins intéressante, mais plus régulière que le blé tendre.

Le trèfle violet qui est intégré à cette rotation en coteaux est systématiquement broyé.

Pour chacun des dispositifs du réseau RotAB, une fiche synthétique de présentation résume les informations relatives à chacun ces essais.

A télécharger sur <http://www.itab.asso.fr/programmes/rotation.php>).

Des acquis méthodologiques

Des apports mutuels dans la conception, la configuration et l'évolution des systèmes

La mise en réseau des cinq dispositifs expérimentaux au sein du programme RotAB permet d'analyser des rotations innovantes testées sur des sites expérimentaux de longue durée, indépendants et « ignorants » les uns des autres avant le montage du projet. Les dispositifs existant avant le début du programme RotAB (certains ont été initiés dès 1999), les réunions et voyage d'études avec visite d'essai organisés par le réseau permettent aux responsables des sites d'échanger sur les réussites et les échecs des rotations et systèmes testés, ainsi que sur les règles de décision qui sont mises en œuvre. Les solutions cherchées en réponse aux différentes contraintes subies ou anticipées par le système de production (contraintes sociales, économiques, environnementales et agronomiques) permettent de faire évoluer le système.

Par exemple, lorsque des problèmes de gestion des adventices apparaissent sur un site, des solutions sont recherchées avec l'appui des collègues au niveau de la culture concernée (choix d'une variété adaptée, technique de désherbage mécanique...) ou à l'échelle de la succession culturale (adaptation de la rotation, substitution d'une culture par une autre et/ou allongement de la rotation). De même, des évolutions sont recherchées en réponse à une forte modification des cours des marchés (contrainte économique) ou à un manque de disponibilité en personnel ou matériel (contrainte sociale).

Sur les dispositifs mis en place depuis plus de cinq ans, les partenaires ont pu faire part de leur retour d'expérience, tant sur la conception du système que sur le suivi de l'expérimentation à prévoir, et tirer des enseignements pour les dispositifs plus récents. Par exemple, ces expérimentations systèmes innovantes sans répétition nécessitent de caractériser très finement le sol en début d'essai pour pouvoir à terme évaluer l'évolution de la fertilité dans ces systèmes sans apport d'engrais de ferme.

Ces échanges pragmatiques sur les savoirs-faires et les connaissances de chaque expérimentateur ont été largement appréciés, car riches d'enseignement pour les uns et les autres sur la façon de concevoir et faire évoluer le système que chacun a en charge.

Autre enseignement, la mise en place d'un Comité de Suivi du dispositif expérimental rassemblant des acteurs locaux du développement agricole et agriculteurs biologiques voisins favorise une meilleure construction et une valorisation accrue des expérimentations.

Partage des méthodologies et construction d'une boîte à outils pour évaluer l'évolution de la fertilité des sols

Les partenaires du projet RotAB disposent d'un savoir-faire dans la conception et le suivi d'expérimentations à l'échelle du système de culture. Alors que de plus en plus de sites expérimentaux se convertissent à l'AB (domaines INRA, fermes de lycées agricoles, ...), les approches méthodologiques développées dans les cinq dispositifs expérimentaux du projet RotAB constituent une excellente base de connaissances pour accompagner les sites en conversion, pour aider à la conception des rotations et systèmes à mettre en place, pour faciliter l'élaboration des protocoles expérimentaux.

En particulier, l'étude de l'évolution de la fertilité des sols est une question centrale, surtout dans ces systèmes de culture sans élevage. Ces expérimentations innovantes, sans répétition ni témoin car à l'échelle du système, impliquent impérativement de caractériser très précisément le sol en début d'essai (« point 0 »), à l'aide de mesures et démarches classiques et d'outils de recherche.

Avec l'appui des partenaires du programme, l'ITAB a construit une « boîte à outils » (BAO) pour aider les expérimentateurs à caractériser la fertilité des sols des parcelles expérimentales et leur évolution.

La construction de la boîte à outils repose sur l'inventaire critique de mesures et notations réalisées au niveau d'expérimentations au champ : méthodes, fréquence, conditions de réalisation, coût, facilité d'exécution, facilité d'interprétation, laboratoires éventuels à associer, etc. Une attention particulière est portée à la fréquence de réalisation : pertinence en point zéro, en suivi annuel, en suivi pluriannuel. De cet inventaire critique résulte la mise à disposition de ce que nous appelons la BAO, c'est-à-dire une liste d'outils et de protocoles ciblés avec leurs conditions d'utilisation, mais aussi les conditions de valorisation des données qui en sont issues.

A partir cet état des lieux, trois démarches de caractérisation des sols ont été proposées, en fonction des objectifs expérimentaux et des moyens disponibles (Tableau 6). Cette boîte à outil est donc une grille d'analyse construite pour aider à choisir de façon pertinente les mesures à réaliser et les indicateurs à calculer.

Tableau 6 : Description synthétique des trois menus proposés issus de la Boîte à outils RotAB

MENU 1 (le menu de base)
<p>Objectifs : Connaître la situation culturale</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apprécier l'hétérogénéité de la parcelle : typologie de l'horizon de surface à dire d'expert • Connaître le type de sol : analyse granulométrique (avec décalcification) et état calcique (pH eau, pH KCl, Calcaire total) <p>Application : un essai annuel dans une parcelle chez un agriculteur</p>
MENU 2 (=menu 1 complété)
<p>Objectifs : Connaître le sol d'une parcelle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Appréhender l'hétérogénéité de la parcelle : <i>menu 1</i> + cartographie des rendements d'une culture + se référer à une carte des sols disponible • Connaître le type de sol et sa structure : <i>menu 1</i> + profil cultural • Connaître le statut organique (horizon de surface) : teneur en C et MO, azote organique • Connaître les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface : teneur en P Olsen, CEC et cations échangeables (K, Mg, Ca) • Caractériser l'activité biologique du sol : minéralisation du C et du N en conditions contrôlées (28 jours) <p>Application : un essai pluriannuel dans une même parcelle (caractérisation initiale + suivi)</p>
MENU 3 (=menu 2 complété)
<p>Objectifs : Suivre l'évolution de la fertilité du sol d'une parcelle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Appréhender l'hétérogénéité de la parcelle : idem <i>menu 2</i> (+ carte de résistivité du sol) • Connaître le type de sol et sa structure : <i>menu 2</i> + profil pédologique • Connaître le statut organique (horizon de surface) : <i>menu 2</i> • Connaître les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface : <i>menu 2</i> + P total, P eau, P organique si phosphore étudié • Caractériser l'activité biologique du sol : <i>menu 2</i> + fractionnement de la MO, biomasse microbienne <ul style="list-style-type: none"> • Micro-organismes : taux de mycorhization, qualité de la microflore (ADN ou ARN), activité enzymatique) • Mésofaune et macrofaune du sol : nématodes, capture de la mésofaune, • Macrofaune : vers de terre (population et activité) • Méthode Hérody utile pour caractériser la parcelle et le statut de la MO (en complément des autres approches) <p>Application : un essai pluriannuel dans une même parcelle (point 0 puis suivi tous les 4-5 ans)</p>

Les cinq dispositifs expérimentaux étant de taille très variable (de 3,5 ha pour Dunière à 64 ha pour La Motte), le partage d'expérience a permis également de tirer des enseignements pour la mise en place d'un protocole de suivi de l'évolution du sol. L'hétérogénéité du sol du site

expérimental doit être caractérisée. Il est important de géoréférencer les points de prélèvement pour suivre leur évolution voire, le cas échéant, définir des zones de références pour le suivi, comme cela a été fait sur le site de la Hourre. Ces acquis méthodologiques ont d'ores-et-déjà été partagés avec d'autres dispositifs expérimentaux, comme la plateforme TAB qui se met en place dans la Drôme ou le lycée de la Saussaye-Chartres qui met en place une expérimentation de longue durée en grandes cultures biologiques. La boîte à outils a également été présentée aux membres du RMT Systèmes de cultures innovants (novembre 2010) et aux partenaires du programme régional PaysBlé² (avril 2010).

La boîte à outils pour évaluer la fertilité des sols est disponible sur demande auprès de l'ITAB.

A terme cette boîte à outils pourra être complétée pour d'autres thématiques, comme la maîtrise des adventices, les aspects économiques ou le suivi des cultures.

Capitalisation des résultats : étude de faisabilité d'une base de données commune

La conséquence logique de la mise en réseau des cinq dispositifs est la mise en commun des résultats de leur suivi. Il s'agit de compiler et valoriser de manière transversale les résultats obtenus sur les différents sites.

Pour autoriser les valorisations transversales des résultats au sein du réseau, l'enregistrement sous une même base de données (BdD), utilisant des formats communs de stockage, est souhaitable. Pour cela, la constitution d'une BdD capitalisant les résultats et les données techniques de suivi des essais des cinq dispositifs expérimentaux au fil des années est un objectif important. Cette base doit permettre de caractériser les performances techniques des couples culture/précédent mais surtout les systèmes de culture. L'échelle de la rotation culturale doit donc être prise en compte pour permettre d'aborder par exemple la gestion des bio-agresseurs (y compris adventices) et celle de la fertilité des sols qui doivent être pensées à moyen terme et sont particulièrement pertinentes à considérer dans des systèmes céréaliers biologiques spécialisés.

La construction d'une BdD a été initiée par l'ISARA-Lyon, en lien avec les différents sites expérimentaux. Ce travail a permis de mettre en évidence les spécificités des systèmes en AB et les difficultés à gérer la prise en compte de systèmes complexes à l'échelle de rotations entières. Parallèlement, l'intérêt de l'outil Systemre a été étudié. En effet, cet outil, développé par ARVALIS-Institut du Végétal, est fonctionnel et conçu pour l'archivage de données expérimentales issues d'essais systèmes ou de suivis de fermes.

Une première expérience avec SYSTERRE a été menée avec les 5 sites RotAB : enregistrements des données pour les sites co-gérés par Arvalis et premiers échanges et ouverture de comptes pour les autres ; en particulier, une première approche a été menée sur la valorisation transversale des résultats des sites mis en réseau. Par ailleurs, les compatibilités de cet outil avec d'autres bases de données (RMT SdCi, BASE Ecophyto) sont étudiées par Arvalis, de façon à ce que les résultats du réseau visé par ce projet puissent alimenter d'autres réseaux.

La double approche de conception de base par l'ISARA et d'évaluation de la pertinence de l'utilisation de Systemre a révélé l'importance considérable de l'investissement à fournir pour construire, alimenter et faire évoluer au fil de l'utilisation de telles BdD. Il apparaît ainsi un besoin d'analyse en continu de l'outil (allers-retours entre les praticiens et les gestionnaires de BdD) pour l'adapter aux attentes des expérimentateurs et aux objectifs de la mise en réseau :

- Modalités de saisie : problèmes rencontrés, évaluation du temps à consacrer (ce poste peut être très consommateur de temps, il doit être optimisé au maximum).

² PaysBlé : Développement d'un réseau régional pour expérimenter, maintenir et promouvoir la diversité cultivée des blés de terroir bretons en agriculture biologique.

- Modalités de calculs d'indicateurs : à titre exemple, besoin d'adaptation des calculs des bilans NPK pour prendre en compte les légumineuses présentes dans la rotation ; besoin de création de références pour le calcul d'indicateurs pour des outils innovants tels que l'écimeuse, utilisée en désherbage mécanique en AB.
- Modalités de gouvernance plurielle de la BdD : définition des rôles de chacun, gestionnaire de la BdD, fournisseurs de données, utilisateurs, animateurs du réseau ; formalisation des relations (conventionnement).

Evolution de la fertilité des sols : enseignements du réseau RotAB

Malgré l'absence d'un outil commun de centralisation des résultats des essais disponible dans les délais du programme, l'analyse des données de ces cinq essais permet de mettre en avant quelques points concernant l'évolution de la fertilité des sols, en particulier la fertilité chimique (confrontation des bilans matières phosphore, potassium et magnésium aux teneurs observées dans les sols), ainsi que l'application de méthodes de caractérisation de la matière organique (MO) et de son évolution.

Bilans matière et lien avec les teneurs du sol

Des bilans matières³ ont été calculés sur les cinq dispositifs expérimentaux. Ces bilans ont été faits le plus scrupuleusement possibles, sur la base des rendements constatés, des teneurs des grains et des résidus quand elles étaient disponibles ou, à défaut, des teneurs Comifer 2007.

Les exportations ont ainsi pu être évaluées précisément sur deux sites de longue durée :

- A la Hourre, avec des rendements moyens, les exportations de P sont en moyenne de 13 kg de P₂O₅ /ha /an.
- Pour Dunière, où les rendements sont un peu plus élevés, les exportations sont en moyenne de 31 kg de P₂O₅, 32 kg de K₂O et 5 kg de MgO /ha /an.

Pour les autres sites, les données ne sont pas disponibles et/ou l'essai a démarré il y a trop peu de temps (Boigneville). Les analyses de sols auxquelles ont été confrontés les bilans matières font toujours référence à l'horizon de surface. Le Tableau 7 précise les périodes sur lesquelles les bilans ont été réalisés, et la date de la dernière analyse de sol prise en compte.

Tableau 7 : Périodes considérées pour les bilans matières et date de l'analyse de sols de référence.

Essai	Récoltes prises en compte pour le bilan matière	Date de l'analyse de référence
La Motte	2003 - 2010	Juin 2010
Boigneville	2008 - 2010	Juin 2009
Dunière	2005 - 2009	Mars 2010
Archigny	2006 - 2010	Octobre 2010
La Hourre	2002 - 2007	Mars 2007

- Le phosphore

Le Graphique 11 page suivante montre qu'il y a une liaison entre bilan matière et teneurs en P₂O₅ pour trois sites sur cinq (r² de 0.26) (Dunière, Archigny et La Hourre) et une absence de liaison pour les deux autres sites (La Motte et Boigneville), qui présentent par ailleurs les teneurs en phosphore les plus élevées.

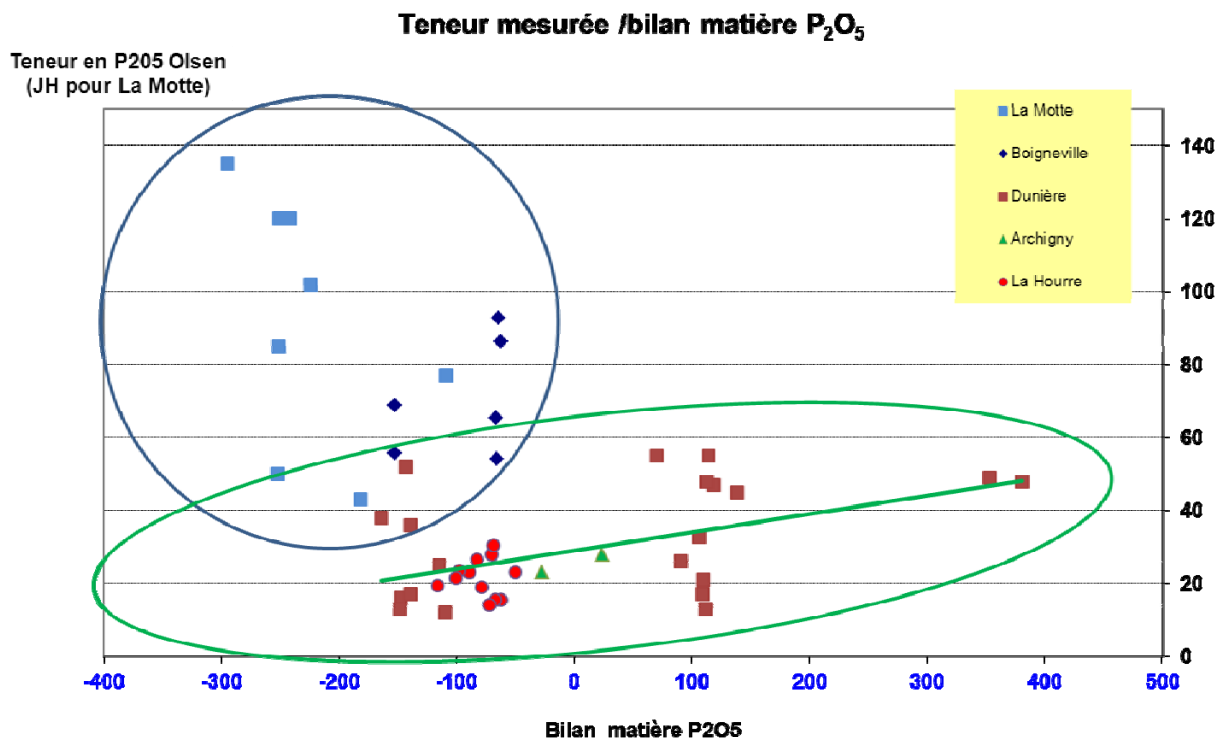
Pour ce qui concerne la liaison avec le Calcium et d'éventuels phénomènes de rétrogradation⁴, les sites d'Archigny, La Motte, Dunière présentent des valeurs de CaCO₃ comprises entre la limite de quantification et 1 % de CaCO₃.

³ Cf. Annexe 1

Le site de Boigneville présente deux parcelles avec 1 et 2 % de CaCO_3 dans l'horizon labouré.

Par contre, le site de La Hourre a des teneurs en CaCO_3 comprises entre 15 et 39 %.

La teneur moyenne est de 28 %, sans liaison évidente entre la teneur en phosphore et celle en calcium, mais avec l'ensemble de points le plus groupé des cinq sites.



Graphique 11 : Bilan matière en P et conséquences sur les teneurs récentes à l'analyse

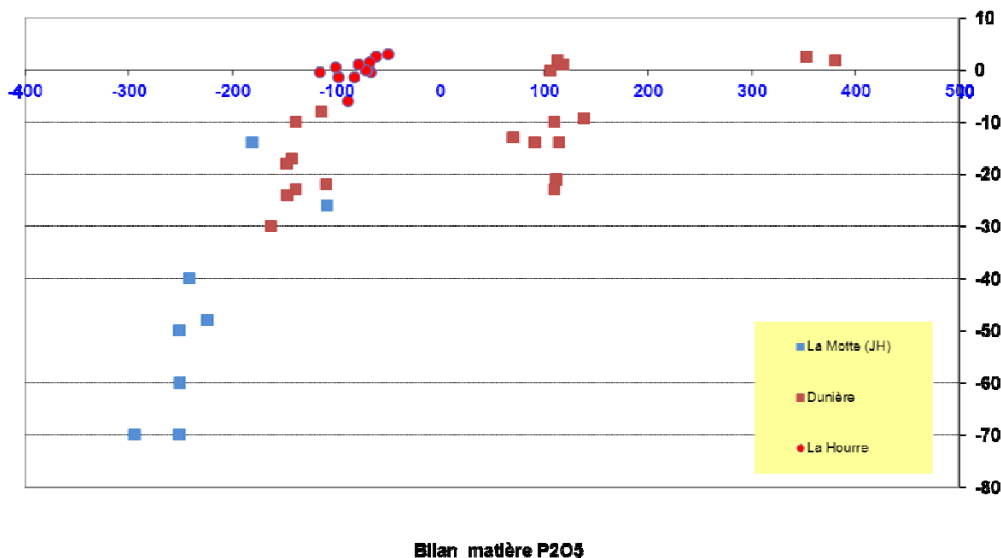
Si l'on considère non plus la teneur à la dernière analyse (cf. Tableau 7) mais l'évolution des teneurs entre les deux dernières analyses, on est contraint d'éliminer les essais de Boigneville (une seule série d'analyses) et Archigny (P Joret-Hébert à la mise en place de l'essai, P Olsen pour les analyses récentes).

On peut alors considérer (Graphique 12) qu'il y a un effet faible du bilan matière sur les teneurs à l'analyse jusqu'à un défaut de bilan d'environ 150 kg sur la période d'étude, et que l'effet est beaucoup plus important pour des défauts de bilan supérieurs. Ces résultats sont néanmoins à prendre avec précaution car les défauts de bilans importants sont liés au seul site de La Motte, pour lequel ce sont des teneurs en Phosphore Joret-Hébert et non pas en Phosphore Olsen qui sont disponibles.

⁴ En présence d'ions Calcium en excès, le phosphore se trouve bloqué sous forme de phosphate tricalcique ou cristallise sous forme d'apatite, ce qui le rend quasiment insoluble et ne permet plus sa mobilisation dans des conditions satisfaisantes pour alimenter la solution du sol.

Teneur mesurée /bilan matière P₂O₅

Delta de teneur en P205



Graphique 12 : Bilan matière en P et conséquences sur l'évolution des teneurs à l'analyse (ppm)

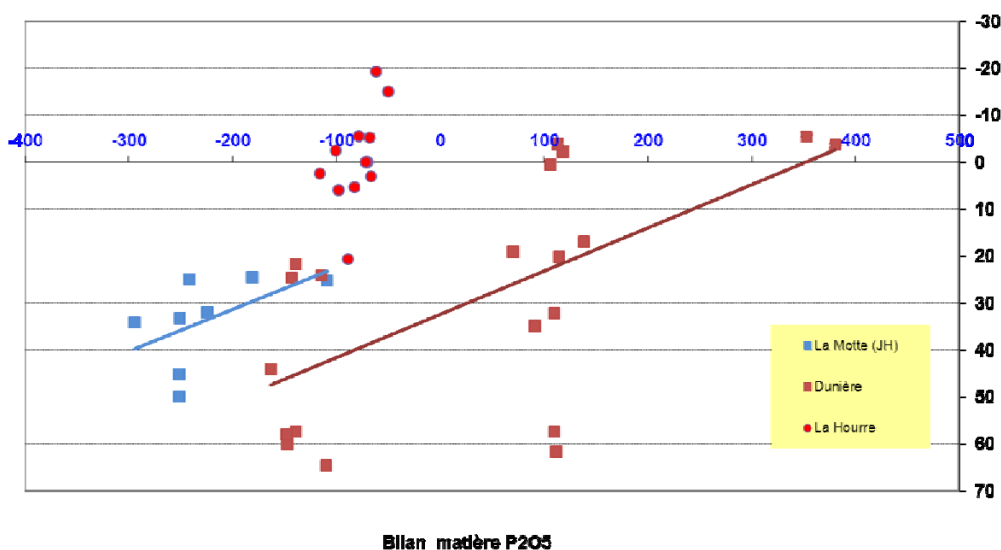
Le Graphique 13 donne la même représentation, mais avec un delta de teneur en pourcentage, autorisant ainsi un rapprochement des sites d'essai indépendamment du type d'analyse.

La baisse des teneurs de l'horizon de surface est considérable puisqu'elle peut atteindre **jusqu'à 60 %** sur les deux sites les moins concernés par le Calcium : La Motte (période de 8 ans) et Dunière (période de 5 ans).

Pour ces deux sites, si l'on essaie de relier bilan et évolution des teneurs, on trouve des pentes des courbes de tendances similaires : - 0,089 et - 0,092 respectivement, mais avec une liaison très moyenne, les R² étant respectivement de 28 % et 38 % pour les deux essais.

Teneur mesurée /bilan matière P₂O₅

Delta de teneur en P205



Graphique 13 : Bilan matière en P et conséquences sur l'évolution des teneurs à l'analyse (en %)

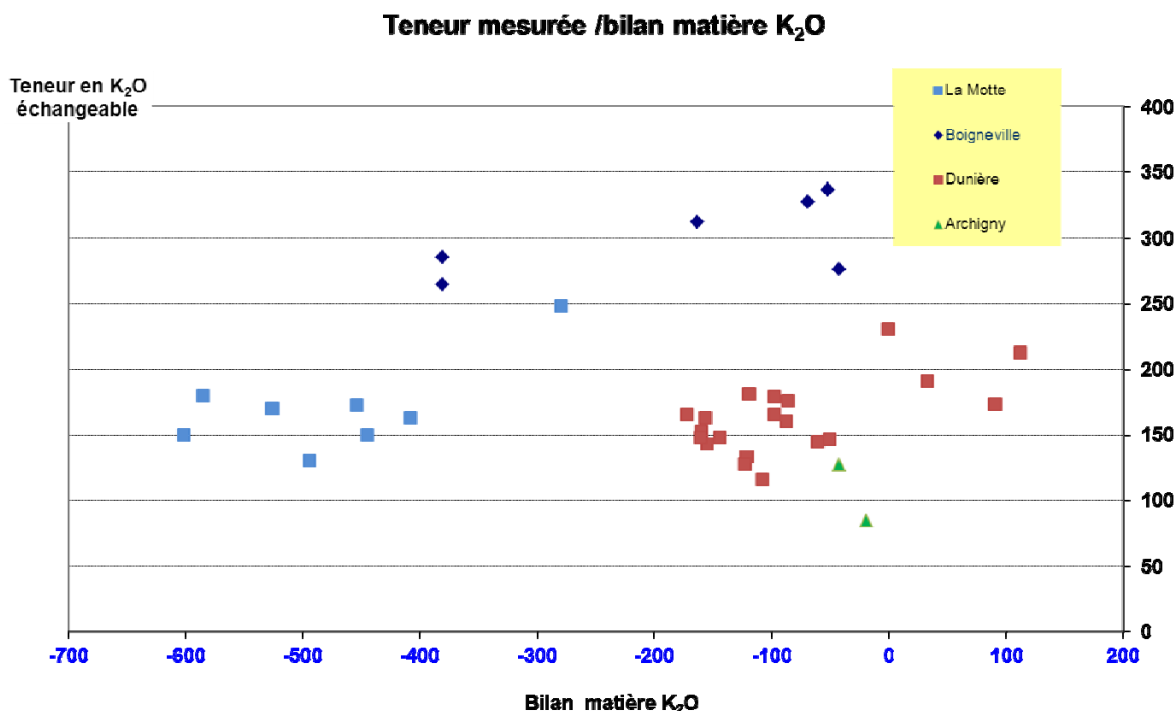
- La potasse

La même démarche a été menée pour la potasse. Les analyses détaillées n'étant pas disponibles pour le site de La Hourre, cette analyse concerne les sites de La Motte, Boigneville, Dunière et Archigny.

Il faut rappeler que chacun de ces essais a sa propre dynamique en fonction de la rotation et des exportations.

Pour le site de La Motte, des pailles et du foin de luzerne sont exportés, sans compensation en retour. Il en est de même pour Boigneville où la totalité de la luzerne en A1 et la majorité de la luzerne en A2 est exportée, en attendant de trouver une solution satisfaisante de retour au sol de cette luzerne (compost ?).

Le Graphique 14 montre que le niveau de bilan est variable sur l'ensemble des quatre sites, avec un petit arrière effet des apports de composts de 2005 (dernière année d'apport) sur une parcelle du dispositif de Dunière qui explique les quelques points pour lesquels le bilan est positif. Le bilan très fortement négatif sur La Motte s'explique par les exportations de foin et de luzerne non compensées par des apports d'engrais de ferme.

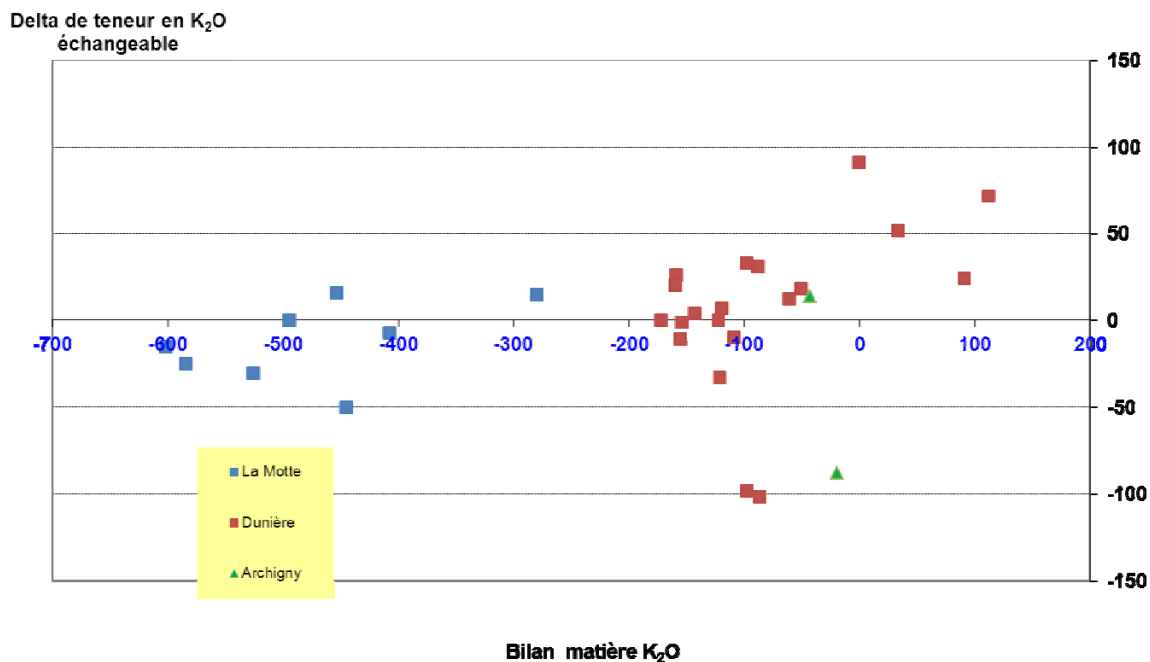


Graphique 14 : Bilan matière en K₂O et teneurs correspondantes (ppm de K₂O échangeable)

Compte tenu de la diversité des richesses initiales des sols, il est préférable de comparer les évolutions de teneurs, ce qui exclut l'essai de Boigneville, trop récent pour avoir eu une deuxième série d'analyses.

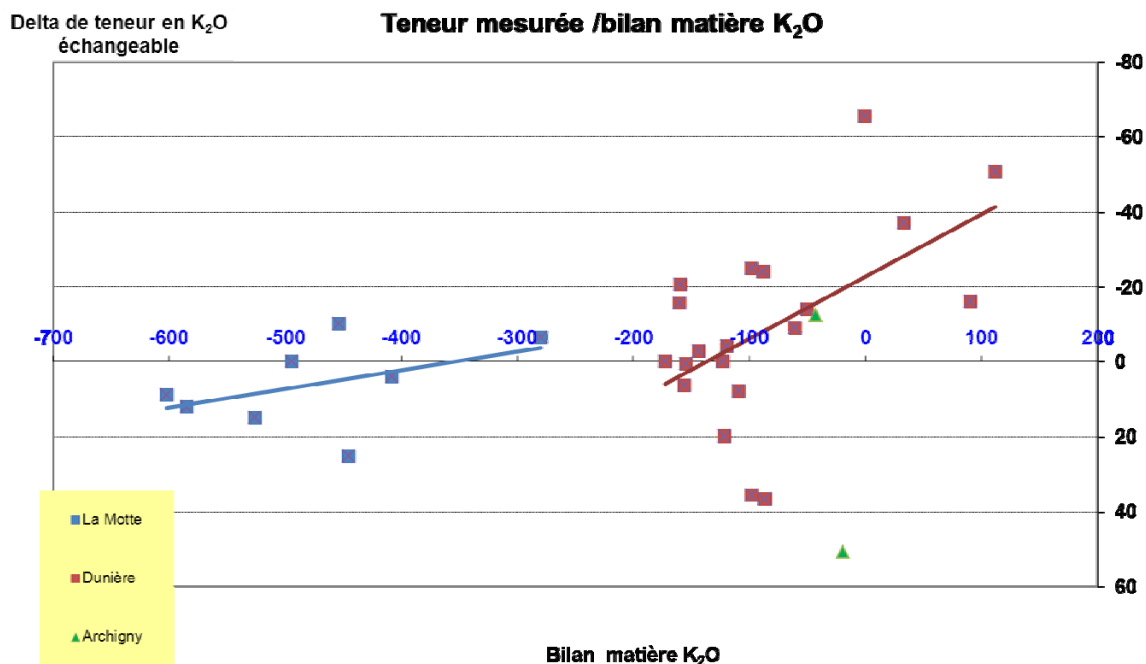
Le Graphique 15 montre qu'il n'y a pas d'incidence du niveau du bilan sur l'évolution des teneurs. Il est important que rappeler que l'essai de La Motte est un site initialement plutôt bien pourvu en potasse, ce qui peut influencer sur la vitesse de réponse. Par ailleurs, les analyses y sont pratiquées en juin, la diversité de l'occupation des sols à cette époque (et la nature des résidus de la culture précédente) peut à elle seule amener de la variabilité avec, par exemple, une forte mobilisation après luzerne comparativement aux arrière effets d'une orge de printemps...

Teneur mesurée /bilan matière K₂O



Graphique 15 : Bilan matière en K₂O et évolution des teneurs (ppm de K₂O échangeable)

Pour pallier les points vus précédemment, les variations de teneurs ont été exprimées, tout comme pour le phosphore, en valeurs relatives. Comme pour le phosphore, il est difficile de trouver une continuité entre les deux principaux nuages de points (Graphique 16).



Graphique 16 : Bilan matière en K₂O et évolution des teneurs (en % de la teneur initiale)

Site par site, on trouve une liaison faible entre le bilan et l'évolution des teneurs, mais surtout, les pentes ne sont pas homogènes entre La Motte (0,050) et Dunière (0,167), avec un R² de 0,30 contre 0,20 pour La Motte. Cet écart est bien plus important que ne le laisseraient penser les

teneurs moyennes de chaque site au printemps 2010 : 200 ppm à La Motte contre 160 ppm à Dunière.

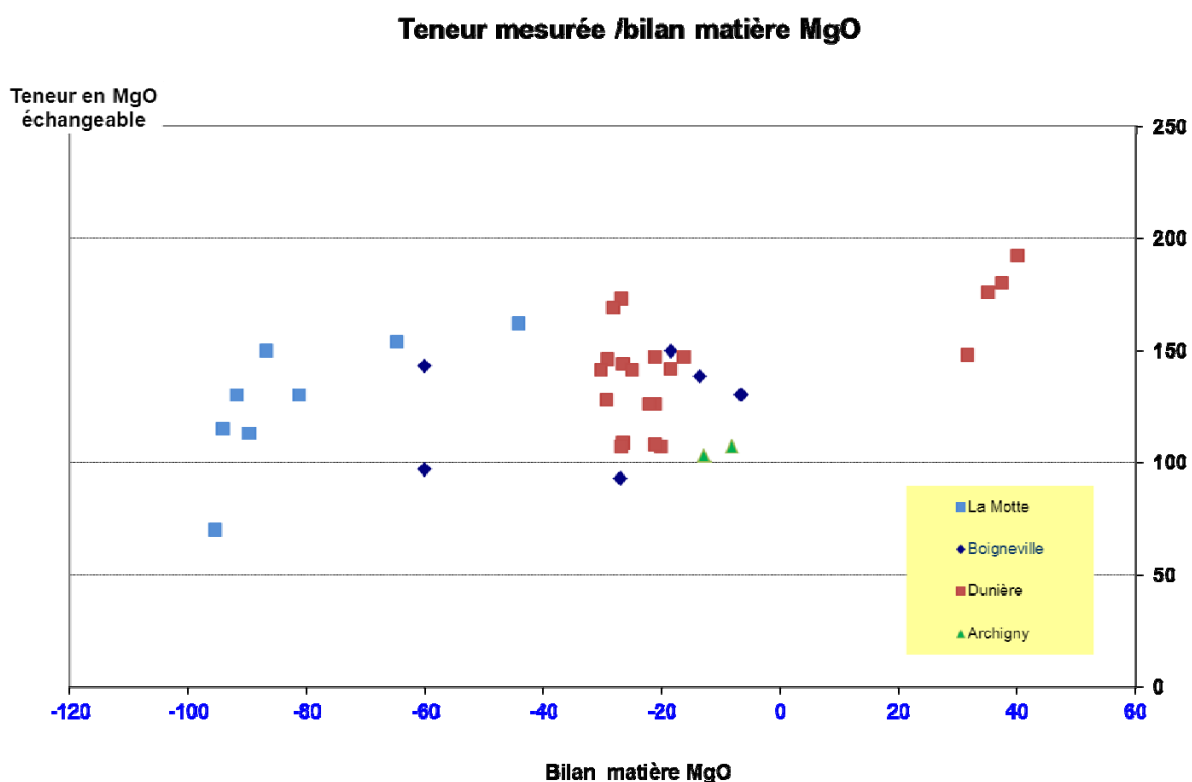
Il est plausible que le sol libère du potassium qui ne soit pas échangeable, la teneur à l'analyse ne représenterait alors pas assez bien la réalité (tout comme pour le phosphore d'ailleurs).

- La magnésie

La même démarche a été menée pour la magnésie. Les analyses détaillées n'étant pas disponibles pour le site de La Hourre, cette analyse concerne les sites de La Motte, Boigneville, Dunière et Archigny.

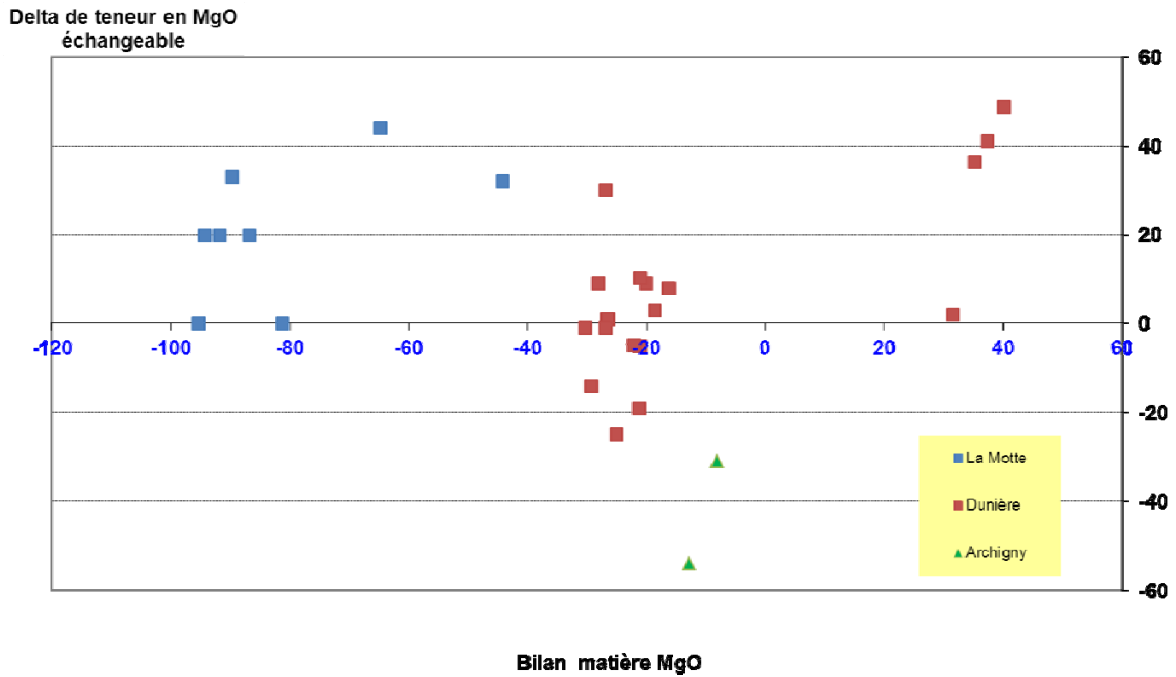
Pour la magnésie, la plage de variation des bilans matière est bien plus resserrée que pour le phosphore et le potassium.

Les teneurs fluctuent moins autour de la moyenne et on observe une tendance générale qui semble peu lier bilans matière et teneurs dans les sols, quelle que soit son expression (cf. Graphique 17, Graphique 18 et Graphique 19).



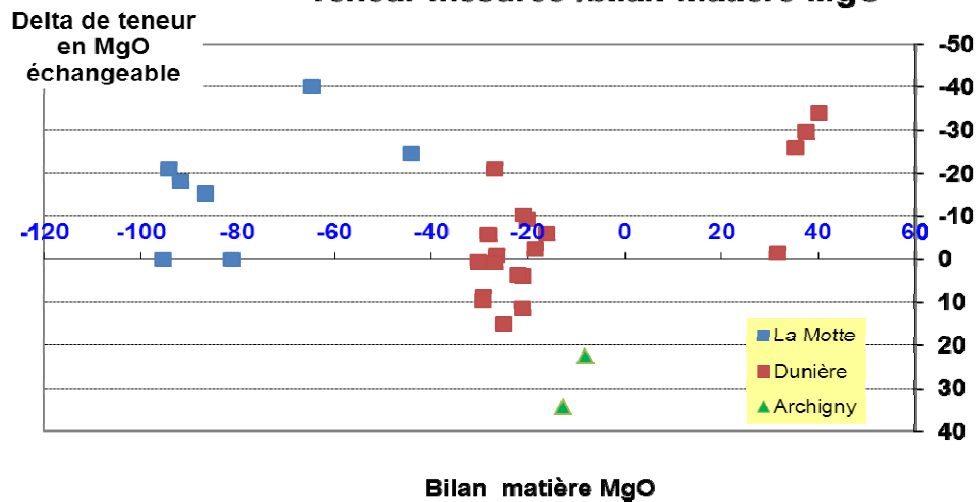
Graphique 17 : Bilan matière en MgO et teneurs (ppm MgO échangeable)

Teneur mesurée /bilan matière MgO



Graphique 18 : Bilan matière en MgO et évolution des teneurs (ppm de MgO échangeable)

Teneur mesurée /bilan matière MgO



Graphique 19 : Bilan matière en MgO et évolution des teneurs (en % de la teneur initiale)

- **Conclusions sur la fertilité chimique**

L'analyse des résultats disponibles sur les cinq dispositifs de RotAB permet de confirmer des connaissances déjà constatées par ailleurs, comme le niveau moyen d'exportation des cultures, lié au rendement, faible pour la magnésie, faible à moyen pour le phosphore et important pour le potassium dès lors que l'on exporte des résidus de culture.

Pour la potasse, la liaison entre les déficits de bilans et l'évolution des teneurs va certes dans le même sens, mais cette liaison est plus que floue : compte tenu de la mobilité de la potasse, on peut imaginer des prélèvements par les plantes et/ou des redistributions par les résidus plus importants que pour un élément moins mobile comme le phosphore.

Il faut rappeler que l'on est majoritairement (à l'exception d'Archigny) sur des sites à teneur correcte à l'analyse. D'importants déficits sont constatés sur La Motte, site pour lequel les teneurs des produits exportés ne sont pas disponibles et très concerné par des exportations de luzerne, plante réputée capable de faire de la consommation de luxe.

Enfin, la bibliographie ne signale pas de problèmes majeurs de mobilisation de la potasse quand elle est présente.

Pour le phosphore, la liaison déficit de bilan – évolution des teneurs est plus consistante, ce qui est sans doute normal pour un élément peu mobile dans le sol.

Le fait que les pentes des droites de régression reliant bilan matière et évolution relative des teneurs sur les deux sites les plus représentés et peu concernés par un excès de calcaire soient très proches est aussi un élément intéressant.

Néanmoins les bilans plongent très vite, on peut atteindre 10 % de baisse relative de teneur par année culturale et les teneurs les plus basses avoisinent des niveaux (15 ppm de P Olsen) généralement considérés comme critiques en agriculture conventionnelle.

Il ressort que **le phosphore pourrait très vite devenir le facteur limitant du rendement après l'azote dans les systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage.**

Rappelons néanmoins que les essais (certes conventionnels) disponibles montrent une très faible réponse aux apports, y compris pour ces niveaux de richesse et pour des plantes réputées exigeantes.

Néanmoins, pour la première fois après cinq apports successifs de 60 unités de P soluble (engrais organique) en couverture au printemps, le colza 2010 de Dunière donne une réponse vis-à-vis du rendement, colza qui est réputé être moyennement exigeant en ce qui concerne le phosphore.

Les cinq dispositifs mis en réseau n'ont pas pris en compte de façon organisée l'aspect **mycorhization** (un point est disponible en début d'essai à La Motte, non systématisé) ainsi que l'analyse du deuxième horizon de sol, rendant ainsi difficile l'interprétation des résultats sous l'angle évolution du stock du sol.

MO et fertilité biologique

Quatre des cinq essais ont fait l'objet d'un suivi de la matière organique (MO) du sol, avec différentes caractérisations⁵.

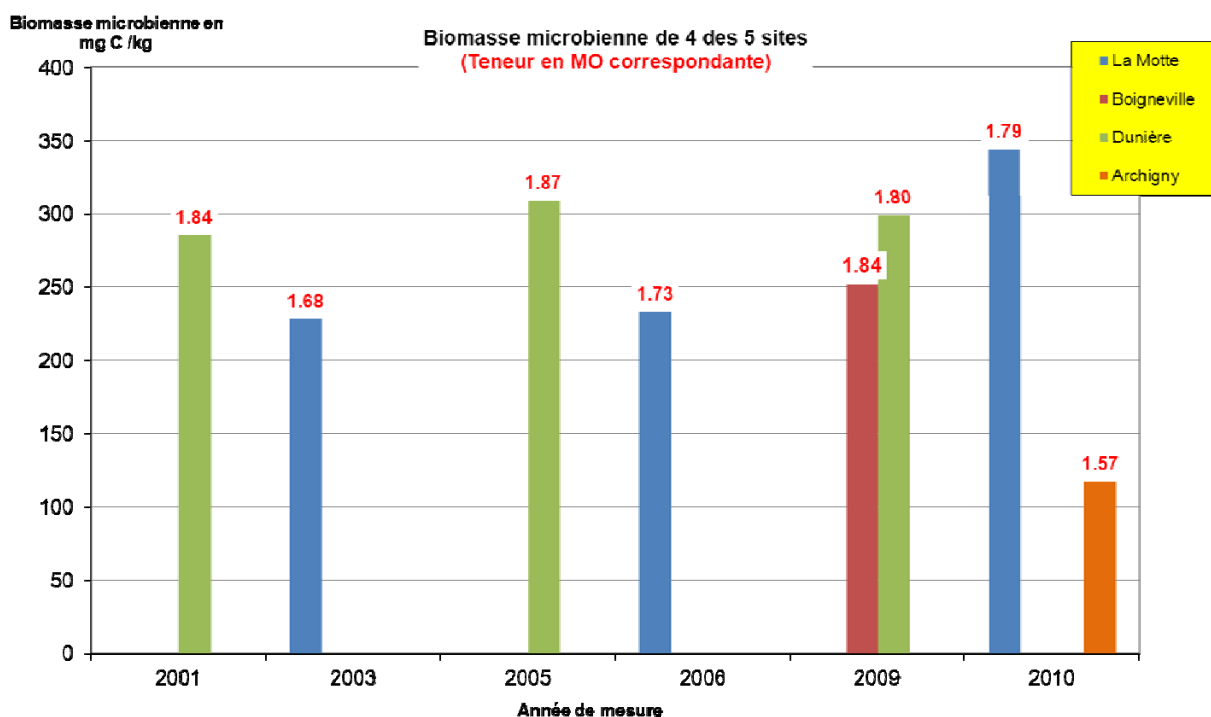
Les plus courantes sont la biomasse microbienne et la minéralisation du carbone et de l'azote du sol.

Certains sites ont acquis des données sur les métabolites microbiens, le fractionnement de la MO, voire la mycorhization (mais ne sont pas présentées dans le présent document).

- La biomasse microbienne

La biomasse microbienne a été mesurée au printemps (en mars pour les sites de Dunière, La Hourre et Boigneville, en juin à La Motte, en octobre à Archigny).

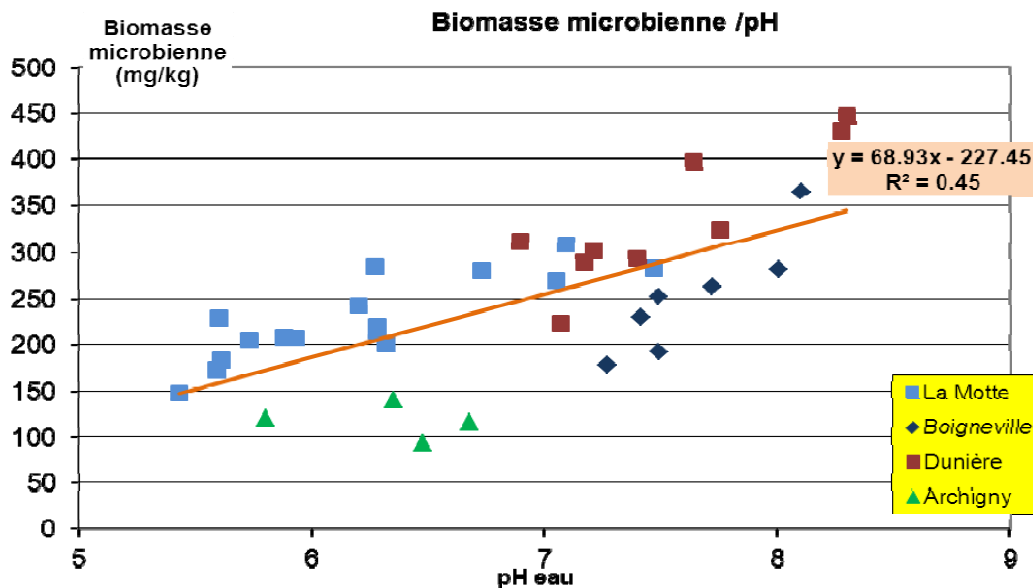
Le Graphique 20 montre qu'il n'y a pas d'évolution nette du taux de MO pour les deux sites les plus anciens. Les valeurs de biomasse microbienne sont comparables pour trois des quatre sites, la valeur moyenne la plus faible pour le site de limons sableux de la Vienne (Archigny).



Graphique 20 : Biomasse microbienne des différents essais

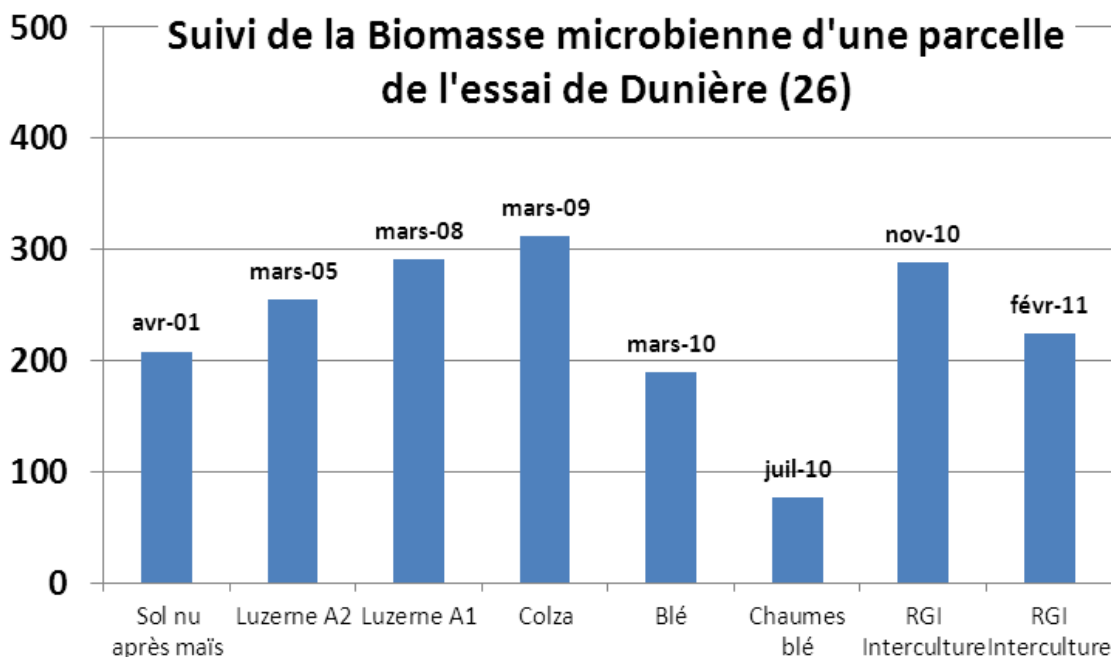
Le Graphique 21 montre, comme l'indique la bibliographie, une assez bonne liaison avec le pH eau des parcelles d'essai.

⁵ Cf. Annexe 2



Graphique 21 : Biomasse microbienne et pH eau

La biomasse microbienne est un moyen de caractériser le sol mais, par sa nature même, elle varie au cours du temps.



Graphique 22 : Variabilité de la biomasse microbienne

Le Graphique 22 rapporte les données disponibles sur une parcelle de l'essai de Dunière.

Les derniers points (2010) correspondent à la volonté d'essayer, par un suivi régulier, de distinguer ce qui ressort des strictes conditions de milieu, nature du couvert et quantités de nutriments organiques disponibles pour l'activité microbienne et de l'incidence des conditions météo et de l'humidité du sol.

Au printemps 2001, la mesure a été effectuée sur des chaumes de maïs en attente de semis de soja.

Au printemps 2005, comme au printemps 2008, les prélèvements sont été réalisés sous une luzerne, de 2 ans en 2005, d'un an en 2008 (implantation au printemps sous couvert de blé).

Au printemps 2009, c'est un colza précédent luzerne.

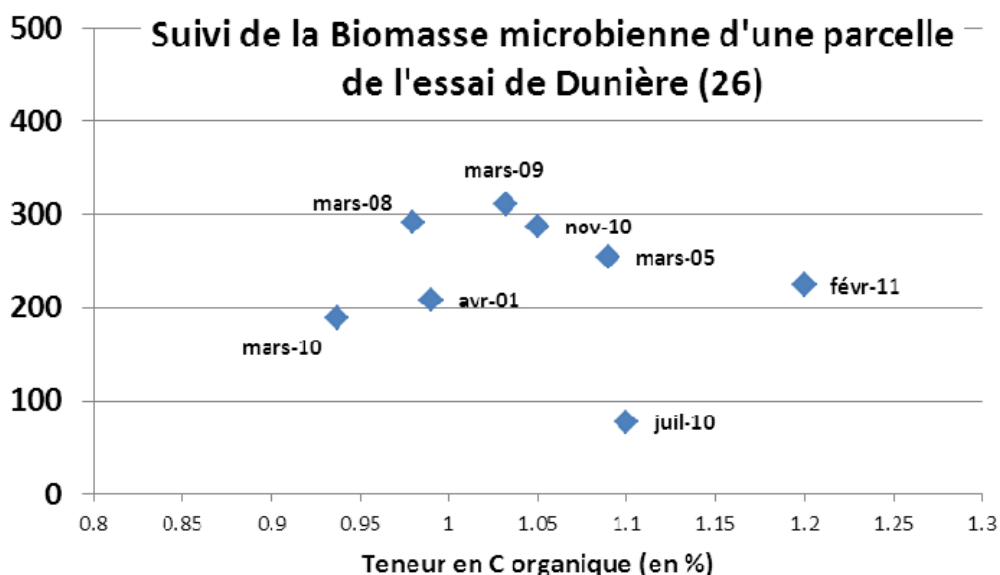
Au printemps 2010, c'est un blé de colza qui est implanté ; la biomasse est plus faible.

En juillet 2010, le sol est très sec, les résidus très peu digestibles (pailles et chaumes), la quantité de biomasse microbienne tombe à 75 mg de C microbien /kg de carbone.

En novembre 2010, le sarrasin semé en fin d'été en interculture est gelé, le RGI spontané occupe bien l'espace disponible.

De même en février, juste avant le labour pour le maïs suivant, les conditions moins favorables ont fait baisser la biomasse microbienne.

Le fait d'être toujours sur la même parcelle permet ainsi de constater qu'il n'y a pas de liaison entre C microbien et teneur en C organique correspondante, teneur qui fluctue de 0,95 à 1,20 %.



Graphique 23 : Biomasse microbienne en fonction de la teneur en carbone du sol

Le Graphique 23 permet de visualiser, sur cette petite série, l'incidence du couvert et des résidus disponibles pour l'activité biologique du sol, mais aussi l'effet des conditions climatiques.

- La minéralisation du sol

Ce stock de matière organique doit déjà servir à alimenter les plantes.

La minéralisation est aujourd'hui accessible via des mesures de minéralisation en conditions contrôlées à 28 jours normalisés.

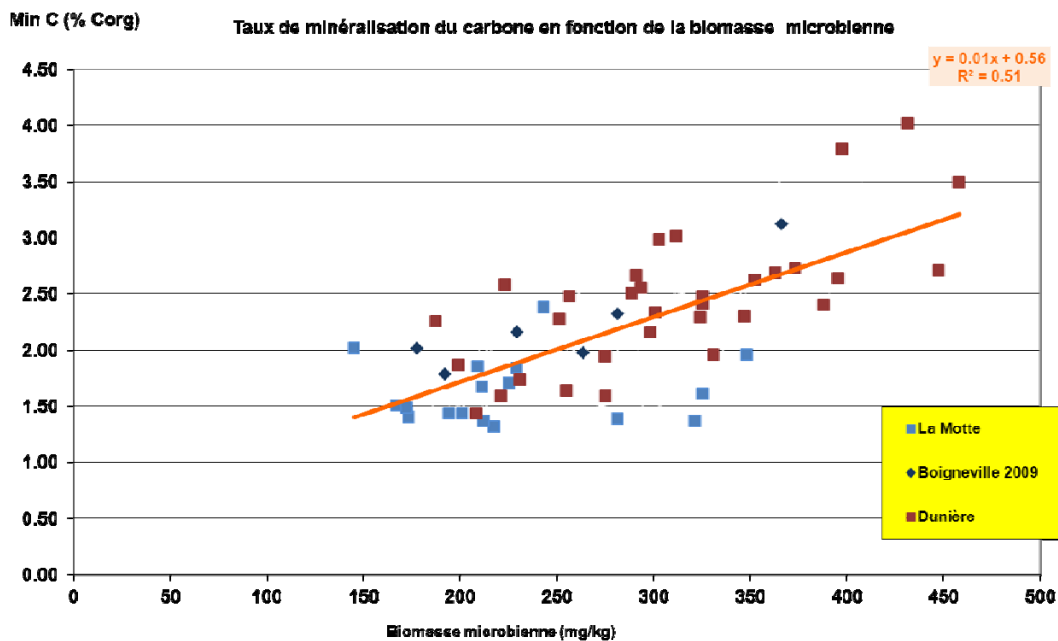
L'ensemble des données n'est pas accessible pour La Hourre et Archigny.

Minéralisation du carbone

Le Graphique 24 rassemble trois séries de mesures (2001, 2005 et 2009) pour Dunière et une série pour les deux autres lieux d'essai (La Motte et Boigneville).

Les mesures de ces trois essais se complètent bien, même si la minéralisation est un peu plus stable sur La Motte.

La biomasse microbienne explique 51 % de la variabilité de la minéralisation du Carbone, minéralisation qui varie d'un facteur supérieur à deux entre les extrêmes.



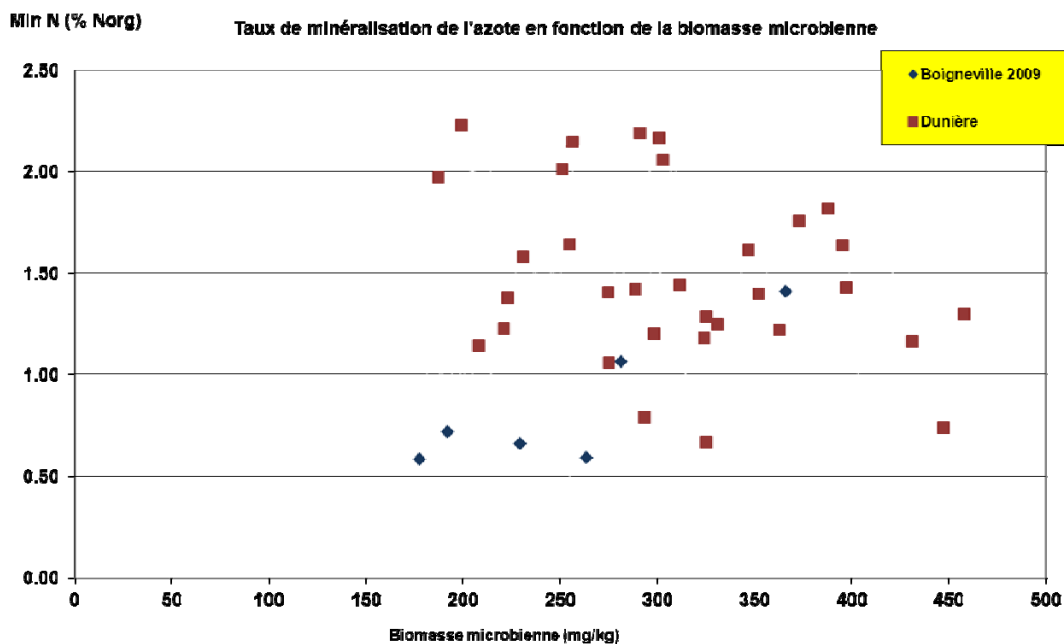
Graphique 24 : Biomasse microbienne et minéralisation du Carbone

Minéralisation de l'azote

Le Graphique 25 rassemble quatre séries de données, dont trois pour Dunière.

Le nuage de points qui en résulte ne permet pas d'en tirer la moindre tendance permettant de relier l'activité microbienne et la vitesse de minéralisation de l'azote.

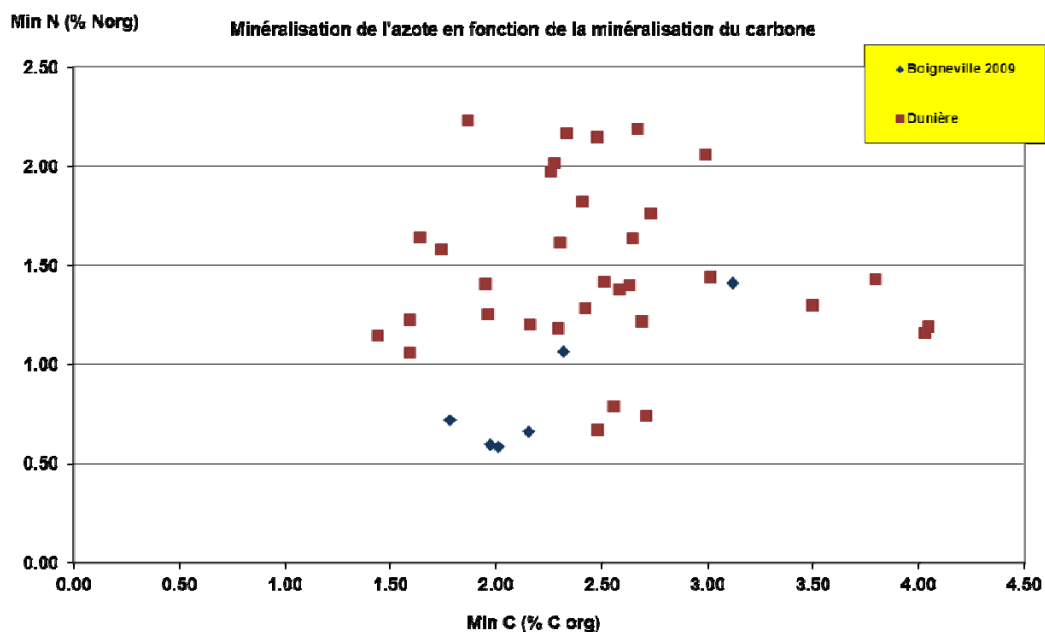
Même en tenant compte du fait que le graphique est principalement basé sur un lieu d'essai, difficile d'imaginer que des points supplémentaires permettraient de dégager une liaison entre les deux critères.



Graphique 25 : Biomasse microbienne et minéralisation de l'azote

Il est normal d'essayer de rapprocher minéralisation du carbone et minéralisation de l'azote.

La dispersion des points observée sur le Graphique 26 ne permet pas d'envisager une liaison intéressante entre les deux critères, que ce soit globalement ou essai par essai.



Graphique 26 : Minéralisation du Carbone et minéralisation de l'azote

- Conclusions sur la MO

Avec au maximum neuf années de recul sur l'essai le plus ancien, il est difficile de trouver une tendance forte à l'évolution du taux de MO.

La biomasse microbienne est un critère qui différencie plus les situations, avec un aspect dynamique que ne permet pas le classique rapport C/N.

Néanmoins, elle varie au cours du temps, cette variabilité doit être intégrée dans un référentiel pour permettre la valorisation de l'analyse, notamment parce qu'elle peut orienter et objectiver des conseils d'apport de MO exogène comme cela commence à se pratiquer aujourd'hui : composts jeunes, composts matures, ...

Il semble que les rotations mises en place et les interventions culturales dans les sites d'essai permettent de faire tourner les sols sous l'angle carboné.

Mais à court terme, la problématique des systèmes de grandes cultures biologiques spécialisés est la disponibilité de l'azote pour les cultures, en particulier pour les non légumineuses qui représentent une bonne partie des cultures biologiques. Les résultats des deux essais du réseau RotAB ne permettent pas de conclure. Il serait nécessaire de compiler des données d'autres dispositifs pour pouvoir dégager des éléments de conclusion sur ce point.

■ Conclusions et perspectives

La mise en réseau des cinq dispositifs expérimentaux constituait une **opération pilote** pour l'ITAB et les responsables de sites. D'ores et déjà, après un cycle de fonctionnement, la mise en réseau des cinq dispositifs d'essais dans le cadre de RotAB se révèle riche d'enseignements pour les partenaires du projet, que ce soit pour le partage de méthodologies et de types de suivi de la fertilité du sol, les synergies créées ou la mise en commun des résultats qui oblige à mieux les formaliser. Les partenaires du réseau plébiscitent donc la poursuite de ce travail en commun.

Ce réseau a permis de réaliser l'importance de rencontres régulières pour **échanger entre praticiens** sur leurs savoirs-faires et leurs connaissances sur la configuration systémique. Il a de plus permis de réfléchir sur les aspects méthodologiques et a mis en évidence l'intérêt de proposer une « boîte à outils ».

Ce réseau n'a pas comme but de remettre en cause les rotations mises en place ou plus globalement la conception des systèmes d'essais en grandes cultures sans élevage. Il invite par contre chaque expérimentateur à hiérarchiser les facteurs sur lesquels jouer dans la démarche de conception et d'évolution des rotations. Globalement, à un moment ou un autre, de façon délibérée ou à l'issue d'une réflexion progressive, les cinq sites se sont préoccupés **d'autonomie azotée** ou de réduction des apports azotés extérieurs et ont imaginé puis développé des stratégies dans ce sens. La réflexion sur un taux maximum de **couverture du sol** est plus récente et ne concerne pas encore tous les sites, de même que la prise en compte d'aspects parasitaires liés au sol. La **gestion des adventices** n'est pas encore un objectif prioritaire dans ces essais, même si tous les sites sont concernés à des degrés variables par des annuelles gênantes (ray grass d'Italie à Dunière, ...), des vivaces classiques (le chardon quasiment partout), voire plus inattendues comme le chiendent à La Motte. Et, bien sûr, au fur et à mesure que vont se mettre en place des outils opérationnels et multicritères pour apprécier les résultats techniques, économiques et environnementaux des essais, les systèmes vont évoluer et définir peut-être d'autres priorités.

Parallèlement, ce réseau a permis de progresser sur les **aspects méthodologiques** (chaque site d'essai a décidé seul des analyses réalisées, du pas de temps auquel elles ont été faites, ...) et a mis en évidence l'intérêt de proposer une « boîte à outils » (BAO). Le module établi dans le cadre de RotAB est ciblé sur la fertilité des sols et son évolution ; il propose trois démarches de caractérisation du sol, équivalent à trois niveaux de rapport qualité-coûts variables en fonction des objectifs de l'expérimentation mais aussi des contraintes budgétaires.

La BAO se révèle un outil précieux pour les responsables de dispositifs expérimentaux :

- d'une part pour programmer les notations et protocoles adaptés aux objectifs suivis et aux moyens de l'expérimentateur ; cette anticipation comprend l'éventualité du prélèvement d'échantillons pour analyses ultérieures (en l'attente de budgets ou méthodes d'interprétation non disponibles initialement) ;
- d'autre part en tant que sujet d'échanges et de discussion au sein du réseau : pertinence de l'utilisation de telle ou telle mesure, possibilité de mise en commun des résultats, économies en matière d'analyses lorsque l'on optimise leur réalisation en profitant de l'expérience des collègues (point non négligeable sachant que les responsables de sites sont toujours en recherche de financements...).

Il est en particulier prévu de développer la BAO sur d'autres thématiques que celle de la fertilité. Le thème des adventices se révèle, notamment, prioritaire. Le développement de la BAO passera par l'inventaire, la caractérisation et l'évaluation des mesures et notations effectuées au niveau des adventices, mais aussi au niveau des cultures et sur les méthodes mises en œuvre pour évaluer l'impact d'une pratique de désherbage. Une telle boîte à outil permettra de créer des passerelles entre acteurs de l'agriculture conventionnelle et biologique (l'agriculture biologique étant ainsi considérée comme un prototype d'agriculture durable).

Le réseau RotAB s'est construit à partir de 5 sites expérimentaux préexistants, plus ou moins anciens (de 1 à 9 ans), aux caractéristiques très différentes. Le travail en réseau s'est appuyé sur les attentes des partenaires, mais également sur leur expérience respective. L'harmonisation des protocoles n'a jamais été un objectif poursuivi au sein du réseau, afin de respecter la richesse de ce **réseau pluriel**. La mise en place d'outils communs pour la valorisation des résultats a été étudiée mais n'a pas été imposée.

Cette démarche s'est révélée fructueuse puisque le réseau a été productif : mutualisation des méthodes de conception des expérimentations systèmes, construction d'une boîte à outils pour évaluer la fertilité des sols, mise en commun de résultats sur l'évolution de la fertilité des sols en systèmes de grandes cultures biologiques.

Le travail en réseau des dispositifs expérimentaux en grandes cultures biologiques nécessite d'être poursuivi. Fort de cette expérience menée dans le cadre de RotAB, le réseau s'élargit d'ores-et-déjà. Le lycée de Chartres-La Saussaye a rejoint le réseau et des échanges avec d'autres sites expérimentaux (INRA Mirecourt, CA Bretagne – Kergéhenec, ISARA-Lyon-Thil, INRA Mauguio, ...) sont en cours.

Puissent les nouveaux sites expérimentaux en AB bénéficier des réflexions, des avancées (mais aussi des échecs, à valeur pédagogique) des plus anciens.

■ Annexes

④ *Annexe 1 : Méthode de calcul du bilan matière*

Le bilan matière consiste à essayer d'évaluer, année par année, toutes les entrées et sorties d'éléments d'une parcelle (en général, les sorties se situent au niveau des parties aériennes des plantes car aucun essai n'exporte de tubercules).

Il suffit donc d'avoir une estimation des quantités de semences, de grains, de paille, de foin, d'engrais le cas échéant, en n'oubliant pas les ressemis et les cultures intermédiaires, et de les multiplier par des teneurs en P_2O_5 , K_2O et MgO , issues d'une analyse ou, à défaut, des valeurs Comifer (2007).

Il a pu y avoir quelques difficultés à trouver la composition PKMg des graines de luzerne ou de pois fourrager, et les apports par les semences sont généralement négligeables, sauf dans le cas de la féverole (doses de semis élevées et forte teneur en phosphore).

Il a été tenu compte de la proportion de chaque composant dans le cas des associations.

Quand la culture a été détruite, les exportations ont été considérées comme nulles, ce qui est juste, indépendamment de la vitesse de retour au sol des éléments minéraux contenus dans les parties aériennes détruites.

C'est la différence apports – exportations qui a ensuite été mise en regard d'une analyse de sol, sol qui est le réservoir d'éléments fertilisants et la destination des résidus de culture.

Quelques données d'analyse de l'horizon sous labour sont disponibles mais le calcul d'une variation de stock d'éléments fertilisants, qu'il serait plus judicieux de mettre en regard d'un bilan matière, renvoie à des déterminations précises de densité apparente, de transferts entre horizons, de disponibilité des éléments, et a donc toute chance de ne pas donner d'informations plus pertinentes que la teneur à l'analyse de l'horizon de surface, lieu privilégié des échanges.

④ *Annexe 2 : les analyses permettant de caractériser la matière organique*

La première détermination est celle du Carbone organique, exprimé en %, valeur qui est ensuite multipliée par 1,72 pour estimer la teneur en MO du sol.

Parallèlement, on dose l'azote organique, ce qui permet de calculer un rapport C/N, dont on estime que plus il est bas et plus la minéralisation de la MO est rapide. Il est le plus souvent voisin de 10 dans les sols de grande culture.

La biomasse microbienne est obtenue par comparaison entre un échantillon fumigé (fumigation au chloroforme qui tue les microorganismes) et un échantillon non fumigé. On estime une variation des quantités de Carbone soluble qui s'exprime en mg de C microbien/kg de C organique ou en % du C org.

Cette mesure qui est aujourd'hui standardisée commence à se développer en grandes cultures, sans que pour autant le référentiel qui permettrait d'interpréter les mesures soit suffisamment développé pour autoriser des comparaisons (et surtout les conclusions que l'on peut en tirer sur le fonctionnement du sol) entre deux échantillons ou deux sites.

D'autres méthodes de caractérisation de la MO existent, qui ont pu être mises en œuvre sur une partie des essais : métabolites labiles et fractionnement de la MO notamment.

La minéralisation du carbone et de l'azote s'obtient très facilement par des dosages de CO_2 ou de $NO_3 - NH_4$ qui se dégagent d'un échantillon de sol mis en incubation dans des conditions de températures et d'humidité normalisées.

Elle donne une indication sur la vitesse d'évolution de la MO sous l'action des microbes et de la macrofaune du sol.

Les valeurs rapportées ici sont issues de minéralisation à 28 jours, moins coûteuses que les données à 90 jours, et représentent environ 4 à 6 mois de minéralisation dans les conditions du champ.

Elles sont exprimées en pourcentage de la valeur initiale.

Le « réseau RotAB » consiste en cinq dispositifs expérimentaux de longue durée, certifiés en agriculture biologique, étudiant des systèmes de grandes cultures sans élevage.

Leur mise en réseau vise à partager méthodologies, résultats et interprétations. L'objectif est de trouver des réponses communes, mais également spécifiques à chaque site, aux problématiques soulevées par ce type de système de culture.

L'originalité de la démarche réside dans la préservation des particularités et des méthodologies mises en œuvre par chacun. L'objectif n'est pas d'homogénéiser les approches en recommandant, par exemple, des protocoles communs, mais bien de s'enrichir de la multiplicité des approches développées et de l'expérience acquise par chaque acteur. Les dispositifs RotAB sont ainsi très différents (3 à 55 ha, 3 à 11 ans d'ancienneté, répétitions ou non, comparaison ou non de rotations), menés en stations expérimentales, lycée agricole, ou chez un agriculteur.

Dans le cadre du projet RotAB (2008-2010), cette mise en réseau a permis de tirer des enseignements sur l'évolution de la fertilité des sols (phosphore, potassium, magnésium et matière organique) dans ces systèmes spécialisés sans élevage où la question du maintien de la fertilité est prégnante. Les travaux des partenaires ont également permis de construire une « boîte à outils », à destination des expérimentateurs, pour évaluer la fertilité des sols et suivre son évolution.

La rotation
est une construction ordonnée de la succession d'espèces cultivées sur une même parcelle. Elle a pour objectif d'assurer des conditions favorables au développement des cultures, en favorisant la fertilité du sol et en minimisant le développement de bio-agresseurs.

Avec le soutien financier de :



RotAB est un programme de recherche centré sur l'étude des rotations pratiquées ou à recommander en systèmes de grandes cultures biologiques. Elles sont le moyen-clé pour gérer la fertilité des sols et protéger les cultures, pour limiter les impacts environnementaux tout en assurant la viabilité économique de la ferme.

Les résultats du programme sont disponibles sur le site de l'ITAB www.itab.asso.fr

RotAB est un projet d'innovation et de partenariat du CAS DAR du MAP (Compte d'Affectation Spéciale du Développement Agricole et Rural - Ministère de l'Agriculture). Financements 2008-2010.

Pilotage : ITAB.

Partenaires : ARVALIS - Institut du végétal, Chambres d'Agriculture de la Drôme, de Seine-et-Marne, des Pays de la Loire, Agrobio Poitou-Charentes, Bio Centre, CREAB Midi-Pyrénées, INRA UMR AGIR, Groupe ESA, ISARA Lyon, Agrocampus Ouest.

