

Des bilans de phosphore majoritairement négatifs pour les systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage en Midi-Pyrénées.

Quels impacts sur le phosphore biodisponible des sols et l'état de nutrition des cultures ?

Colomb B.¹, Jouany C.¹, Prieur L.²

¹ INRA, UMR 1248 AGIR, BP 52627, F-31326 Castanet Tolosan cedex

¹ INP Toulouse, UMR 1248 AGIR, BP 52627, F-31326 Castanet Tolosan cedex

² CREAB Midi-Pyrénées, LEGTA Auch-Beaulieu, F-32000 Auch Cedex 9

Correspondance : colomb@toulouse.inra.fr

Résumé

La gestion de la fertilité phosphatée des sols de grandes cultures biologiques fait l'objet de débats renforcés, dans le contexte d'une diminution future des ressources en phosphore (P). Une enquête a montré qu'en Midi-Pyrénées une majorité de systèmes de grandes cultures biologiques présente des bilans de P déficitaires. Le niveau des disponibilités en P suivi pendant 10 ans (2003-2012) sur le dispositif expérimental de longue durée de la Hourre (CREAB Auch, France) représentatif des systèmes non irrigués sur sol argilo-calcaire, précise la vitesse avec laquelle celles-ci régressent au cours du temps, en fonction de l'ampleur des bilans négatifs. Les résultats obtenus sur le site montrent que les niveaux des disponibilités atteints n'induisent pas encore de dégradation de l'état de nutrition P des cultures ; les besoins en P des cultures déterminés par le niveau des apports de N faibles, restent limités. Toutefois les problèmes de gestion de la fertilité P sur le temps long demeurent. Au-delà des perspectives d'approfondissement scientifique souhaitables, une première analyse des facteurs sur lesquels il conviendrait d'agir pour permettre aux agriculteurs d'améliorer leurs pratiques est proposée.

Mots-clés : Agriculture biologique, système de culture, fertilisation, phosphore biodisponible, Phosphore Olsen

Abstract: Most of stockless organic farming systems in the Midi-Pyrenees region display negative field P budget. What are the impact on soil P fertility and plant P status?

Soil phosphorus (P) fertility management in organic cropping systems is a debated issue in the general context of decreasing resources in a near future. A survey showed that in Midi-Pyrenees a majority of stockless organic cropping systems present overdrawn P balances. We investigated the impacts of P balances on the soil plant available P and nutrition status on the long-term field experiment of La Hourre (CREAB, Auch, France), which is representative of rainfed systems set on clayey calcareous soils. The changes in soil plant available P were monitored between 2002 and 2012 using P Olsen soil test. The results specified the declining rate of P availability in time and according to the amplitude of the negative balance. The levels of soil available P did not still lead to degradation of the crop P nutrition status; in this context, N inputs are low, so consequently crop P needs remain limited. However the problems associated with long term management of soil P fertility remain. Beyond the desirable scientific perspectives, we propose a first analysis of the factors on which it would be relevant to act in order to allow the farmers to improve their practices.

Keywords: Organic farming, cropping system, fertilization, soil phosphorus availability, Olsen test

Introduction

La gestion du phosphore (P) dans les systèmes de grande culture biologiques a fait l'objet de nombreux travaux basés sur l'évaluation du bilan de P calculé sur une période plus ou moins longue, à l'échelle des parcelles ou des exploitations (Nesme *et al.*, 2013). Plusieurs publications font état de bilans de P déficitaires, aussi bien pour des systèmes de cultures mixtes que des systèmes sans élevage (Berry *et al.*, 2003 ; Cornish, 2009 ; Kirchmann *et al.*, 2008 ; Watson *et al.*, 2008).

En France, Pellerin *et al.* (2003) puis Nesme *et al.* (2012) ont attiré l'attention sur l'existence de telles situations. Peu d'études ont permis de mettre en relation les bilans de P avec l'évolution du P biodisponible des sols, puis de mettre en relation cette dernière avec l'état nutritionnel des cultures. L'effet de bilans négatifs à long terme sur le niveau de productivité des parcelles soumises à la grande culture biologique est peu documenté.

La présente étude apporte des éléments nouveaux dans le cadre de la région Midi-Pyrénées, où les systèmes de grandes cultures biologiques sont majoritairement sans élevage. Elle s'appuie sur deux travaux distincts mais complémentaires. Le premier travail a consisté à préciser la variabilité des bilans de P parcellaires dans le cadre régional. Le deuxième, réalisé dans le cadre du dispositif expérimental de longue durée du CREAB (La Hourre, France) représentatif des systèmes biologiques spécialisés non irrigués de la région, a porté sur l'évolution du P biodisponible en fonction du bilan de P cumulé, et ses conséquences sur l'état de nutrition en P des cultures.

1. Méthode

1.1 Estimation des bilans annuels simplifiés de phosphore dans les systèmes de grande culture biologiques en région Midi-Pyrénées.

Dans le cadre du programme de recherche PSDR 3 Midi-Pyrénées, 44 systèmes réels ont fait l'objet d'une évaluation multicritère, dans laquelle la qualité de gestion du phosphore figurait, parmi d'autres indicateurs de la durabilité agronomique (Colomb *et al.*, 2013). Les systèmes, provenant de 19 exploitations d'une surface de 25 à 230 ha, ont été analysés sur 4 années successives. Sur la période étudiée, de 2003 à 2006 inclus, le blé d'hiver représente 29 % des cultures, le soja 23%, le tournesol 11%, la lentille et la féverole 9% chacune. Une dizaine de cultures de niche constituent le pourcentage restant (pois d'hiver, pois chiche, épeautre, avoine, triticale, blé dur ...). Les systèmes sont caractérisés par des rotations courtes à très courtes, comportant deux à quatre cultures différentes. Seulement 3 % des cultures sont suivies d'un engrais vert. Le labour est pratiqué au moins deux années sur trois. 21 systèmes sur 44 sont irrigués.

Les bilans de P ont été calculés de manière simplifiée, par simple différence entre les apports sous forme d'engrais organiques ou d'amendements et les exportations de P par les cultures. Tous les autres flux de P à l'échelle d'une parcelle (en particulier les pertes par érosion ou ruissellement) ont été négligés. Les pratiques de fertilisation (peu nombreuses) et les rendements des cultures nécessaires pour le calcul des bilans de P ont été obtenus par enquête auprès des agriculteurs et validés par les conseillers agricoles qui suivent les exploitations concernées. Les concentrations en P des graines retenues pour le calcul des exportations de P sont issues de la compilation des concentrations mesurées soit sur le dispositif de la Hourre, soit sur le dispositif de fertilisation phosphatée de longue durée de l'INRA à Auzeville (31), conduit de manière peu intensive (Colomb *et al.*, 2007).

1.2 Etude de la dynamique d'évolution du P disponible sur le dispositif expérimental de longue durée de la Hourre.

1.2.1 Présentation du dispositif expérimental

Le domaine de la Hourre a été converti à l'agriculture biologique en 2002. Il est représentatif des systèmes biologiques non irrigués de la région Midi-Pyrénées, basés généralement sur des rotations

courtes, telles que décrites précédemment. L'objectif de l'exploitation qui le gère (Lycée agricole de Beaulieu) est de dégager un revenu acceptable par le biais des productions céréalières et protéagineuses, tout en maintenant la fertilité des sols. Le domaine de la Hourre présente une superficie de 55 ha d'un seul tenant. Le dispositif est composé de sept parcelles de grande taille (entre 3,4 ha et 10,9 ha). Sur le plan agronomique, la principale contrainte provient du nombre de jours favorables pour réaliser les travaux, compte tenu des risques importants de compaction des sols. Le labour est réalisé au moins deux années sur trois, principalement pour son action de désherbage, et de restructuration des sols, dans une région caractérisée par l'absence de gels intenses.

Le site de la Hourre présente deux types de sols différents. Sur les pentes, les sols argilo-calcaires (terreforts) présentent 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, les sols limono-argileux présentent un fort risque d'enneigement temporaire chaque année. Le pH du site varie de 8,2 à 8,7, ce qui n'est pas sans implication vis-à-vis de la disponibilité en phosphore. Certaines parcelles sont très pentues (> 5%). Les teneurs en matières organiques et les rapports C/N sont moyens (respectivement 2,1% et 9,0) et la CEC est élevée. Les sols sont faiblement à moyennement pourvus en phosphore disponible et très bien pourvus en potassium et en magnésium.

Le climat est tempéré avec des influences contrastées (printemps pluvieux, étés chauds et secs, hivers doux et humides). On note un déficit hydrique plus ou moins marqué selon les années ; sur la période considérée, il varie entre 20 mm en 2002 et 414 mm en 2011, avec une moyenne annuelle de 222 +/- 103 mm.an⁻¹.

Deux sous-systèmes biologiques céréaliers sans élevage, représentatifs des exploitations gersoises, sont testés sur le dispositif :

- un système de grande culture non irrigué, en fond de vallée (2 parcelles), intégrant la culture du soja une année sur deux.
- un système de grande culture non irrigué sur coteaux avec une rotation de 4 à 5 ans, non totalement définie à l'avance. Celle-ci comporte du blé tendre une année sur deux, de la féverole, du tournesol ; en fonction du marché ou de contraintes agronomiques (développement d'adventices), des céréales secondaires (orge d'hiver), ou d'autres légumineuses en substitution de la féverole (lentille, pois chiche, pois protéagineux) sont intégrées. Une jachère annuelle à base de trèfle violet peut également être introduite.

Sur l'ensemble de la période des apports de P ont eu lieu avec la fertilisation azotée organique sous forme de plumes hydrolysées ou de protéines animales traitées (PAT) ; ces apports ne sont pas réguliers et ne concernent pas l'ensemble des rotations. Les doses d'apport varient entre quelques kg de P lorsqu'il s'agit de plumes hydrolysées et des doses beaucoup plus importantes lorsqu'il s'agit de PAT (10 et 65 kg P ha⁻¹).

1.2.2 Modalités de calcul des bilans et suivi de l'évolution de la fertilité P du sol

Les bilans annuels de P correspondent à la différence entre les apports par les fertilisants et les exportations dans les grains (F-E). Les bilans cumulés de P sont calculés à partir de 2003 ; le bilan cumulé l'année 'n' correspond à la somme du bilan cumulé de l'année 'n-1' et du bilan de l'année 'n'.

Les quantités de P prélevées par les cultures à la récolte sont calculées à partir des concentrations en P des grains et des supports (pailles ou tiges), mesurées par les méthodes d'analyses de référence, et de leurs biomasses respectives. Les exportations correspondent aux quantités de P mobilisées dans les grains. Le suivi de l'évolution de la fertilité est réalisé sur 12 zones dites de références (codées de ZR01 à ZR12) géo-référencées de 50 m de côté qui ont été réparties sur les diverses parcelles du dispositif en fonction du type de sol, et de la topographie (importance et orientation des pentes).

2. Résultats

2.1 Bilans annuels de phosphore des systèmes de grandes cultures biologiques en région Midi-Pyrénées.

Pour les 44 systèmes étudiés, les exportations annuelles s'élevaient en moyenne à 8.7 ± 3.9 kg P ha⁻¹ an⁻¹, tout en variant de 2.5 à 20 kg P ha⁻¹ an⁻¹ (Figure 1). L'irrégularité de la distribution est due à la présence de systèmes irrigués et non irrigués.

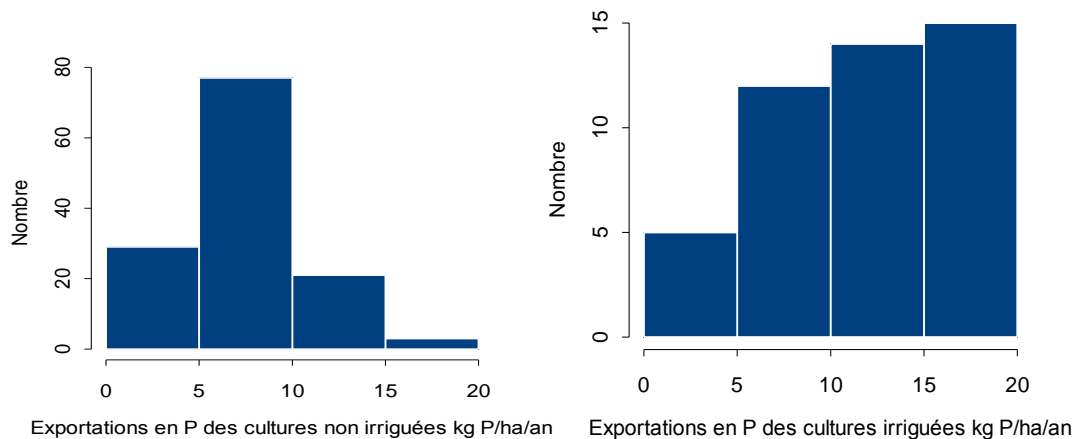


Figure 1 : Distribution des exportations en P estimées pour les grandes cultures biologiques irriguées ou non irriguées de Midi-Pyrénées.

Dix systèmes ont reçu au moins un apport de P sur les quatre années d'étude considérées. La quantité apportée variait de 5 à 35 kg de P ha⁻¹an⁻¹, sous forme de fumier, compost ou engrais organique. Le bilan annuel moyen estimé dans ces situations est de +14.3kg P ha⁻¹ an⁻¹. Pour les 34 systèmes non fertilisés, le bilan annuel moyen est de -8.6 kg de P ha⁻¹ an⁻¹.

La Figure 2 rapporte le bilan annuel moyen de P en fonction de la consommation énergétique des systèmes de culture, révélatrice de leur degré d'intensification, lequel dépend directement des pratiques d'irrigation, de fertilisation, et de mécanisation. Lorsque qu'il augmente, les exportations annuelles moyennes en P augmentent aussi, et les bilans tendent à diminuer. L'effet de l'irrigation sur les bilans de P tient à la fois à l'augmentation des rendements et au fait que les cultures irriguées sont des protéagineux (soja, féverole) dont les graines sont plus concentrées en phosphore que celles des céréales.

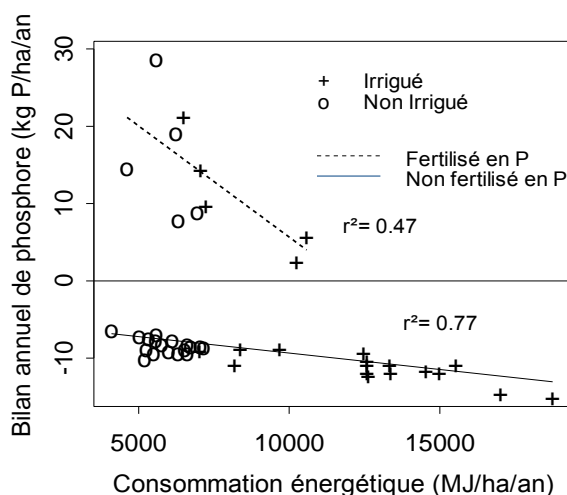


Figure 2 : Bilan annuel moyen de phosphore pour les systèmes de grandes cultures irrigués ou non irrigués, fertilisés ou non fertilisés de Midi-Pyrénées. La consommation énergétique, figurée en abscisse, est révélatrice du degré d'intensification des systèmes de culture.

2.2 Evolution de la fertilité P sur le dispositif de la Hourre sous l'influence des bilans et impact sur l'état nutritionnel P des cultures.

2.2.1 Exportations et Bilans cumulés de P

Les exportations annuelles moyennes sont variables selon les cultures ; elles sont de 14.1 +/- 3.9 kg P ha⁻¹ pour le blé tendre, 13.1 +/- 5.5 kg P ha⁻¹ pour la féverole, 12.7 +/- 2.3 kg P ha⁻¹ pour l'orge, 12.7 +/- 5.9 kg P ha⁻¹ pour le soja et 11.7 +/- 5.5 kg P ha⁻¹ pour le tournesol.

En 2011, les exportations cumulées sur la période 2002-2011 varient entre 160 kg P ha⁻¹ sur la ZR07 et 73 kg ha⁻¹ sur la ZR10 ; les fumures cumulées varient entre 124 kg P ha⁻¹ sur la ZR01 et 1 kg P ha⁻¹ sur la ZR09. En conséquence les bilans (F-E) cumulés sur la période 2002-2011 sont tous largement négatifs excepté pour la ZR08 ; ils varient entre + 5 kg P ha⁻¹ sur la ZR08 et -119 kg P ha⁻¹ sur la ZR02.

2.2.2 Evolution des concentrations en P Olsen du sol en fonction du temps

Les résultats des analyses de P Olsen réalisées en 2002, 2007 et 2012 pour les horizons 0-15, 15-30 et 30-45 cm dans les différentes zones de références (ZR) du site de la Hourre sont donnés sur la Figure 3.

Sur l'ensemble des couples « ZR / année », les valeurs du P Olsen mesurées pour l'horizon de sol 0-15 cm sont identiques à celles de l'horizon 15-30 cm ; le P Olsen est homogène sur l'ensemble de l'horizon de labour (0-30cm) ; au-delà de cet horizon, il présente de valeurs plus faibles. En 2002, sur l'ensemble des ZR la valeur de P Olsen mesurée est inférieure à la valeur optimum généralement acceptée qui est de l'ordre de 16-20 ppm de P, soit 35-45 ppm P₂O₅ (Colomb *et al.*, 2007).

Les contrôles réalisés successivement en 2007 et 2012 montrent que l'indicateur diminue de façon régulière depuis le début de l'expérimentation. En 2012, le P disponible mesuré sur l'horizon de sol 0-30 cm se situe à des niveaux inférieurs aux valeurs critiques fréquemment reportées dans la littérature (Colomb *et al.*, 2007) pour 7 parcelles sur 12, où il est devenu inférieur à 15 ppm P₂O₅ soit 7 ppm de P.

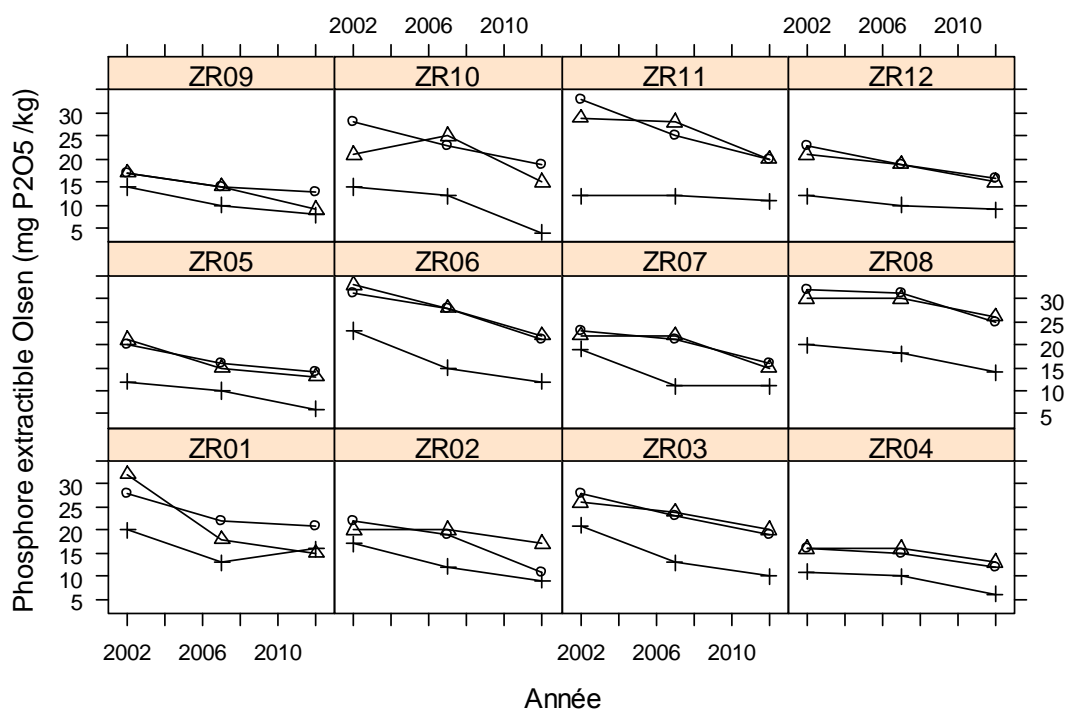


Figure 3 : Evolution de la teneur en P Olsen (mg P₂O₅ kg⁻¹) observée entre 2002 et 2012 dans les 12 zones de références réparties sur le dispositif de la Hourre, dans les trois horizons 0-15 cm (rond), 15-30 cm (triangle), 30-45 cm (plus).

2.2.3 Evolution des concentrations en P Olsen du sol en fonction des bilans cumulés

Les relations « indicateur P Olsen-bilans cumulés » sont données dans la Figure 4 pour les horizons 0-15,15-30 et 30-45 pour l'ensemble des zones de référence. Les résultats obtenus montrent une diminution progressive de l'indicateur Olsen lorsque le bilan devient de plus en plus négatif. L'ordre de grandeur de cette variation reste la même pour l'ensemble des ZR à quelques exceptions (ZR06 et ZR08) : en moyenne, pour 1 kg de P sorti de la parcelle on a une diminution de 0.1 point de l'indicateur Olsen (exprimé en g par kg de P_2O_5). Dans le cas des ZR06 et ZR08 caractérisées par des bilans (F-E) respectivement faiblement négatif et positif en 2012 on n'observe pas d'augmentation du P Olsen suite aux apports de P réalisés sous la forme de fertilisant organique (Plumes hydrolysées, PAT, fiente). Le P apporté reste encore sous une forme organique 1 à 3 ans après l'apport et n'est pas pris en compte dans l'extraction Olsen.

En ce qui concerne les autres ZR pour lesquelles les bilans restent toujours négatifs sur la période étudiée, on retrouve une relation indicateur-bilan qui présente une allure identique à celle obtenue dans les systèmes conventionnels : l'indicateur de P disponible diminue progressivement lorsque le bilan devient de plus en plus négatif (Messiga *et al.*, 2010).

Cette évolution se fait de manière parallèle pour les horizons de surface et l'horizon 30-45 excepté pour la ZR11 et la ZR 12 pour lesquelles P Olsen dans l'horizon 30-45 cm ne varie pas avec le bilan. Les relations observées entre les bilans de P à la parcelle et l'indicateur Olsen confirment, pour des sols argilo calcaires et une gamme importante de cultures en système biologique, la valeur générale des relations indicateur-bilan pour contrôler l'évolution du P disponible à moyen terme.

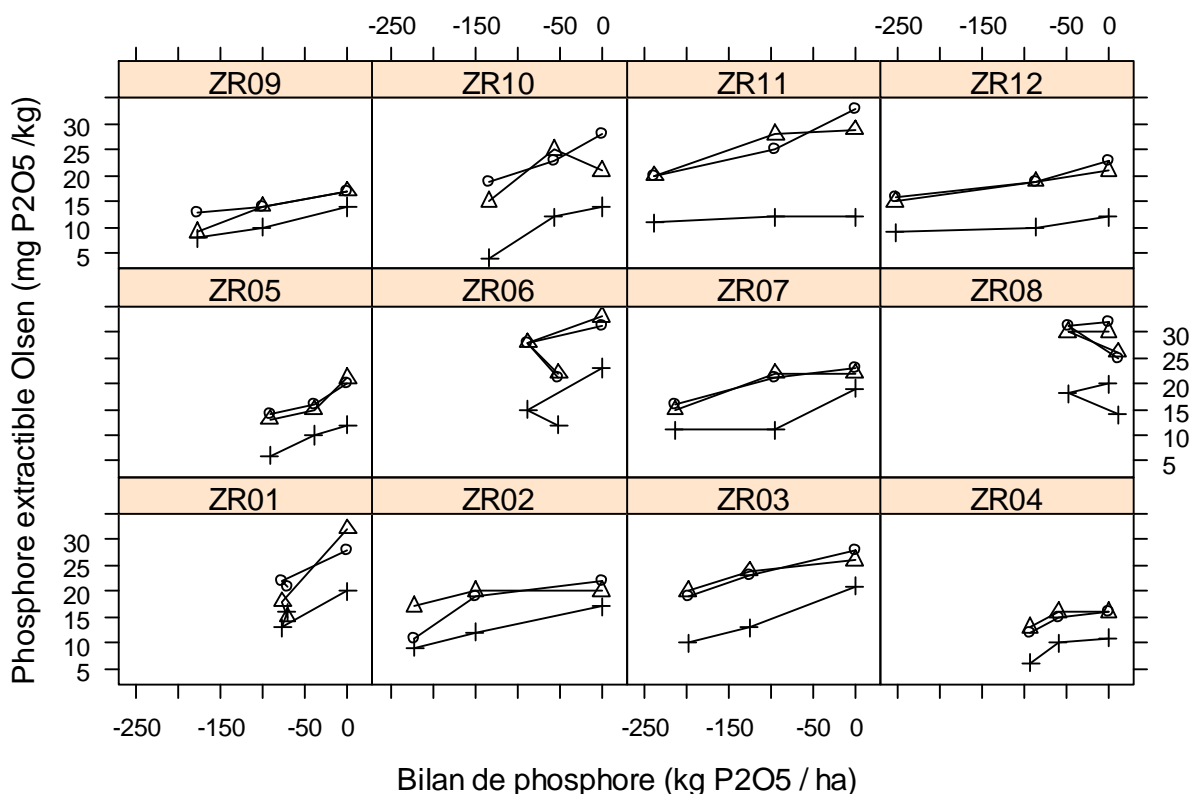


Figure 4 : Evolution de la teneur en P Olsen ($mg P_2O_5 kg^{-1}$) en fonction du bilan de P cumulé dans les 12 zones de références réparties sur le dispositif de la Hourre, dans les trois horizons 0-15 cm (rond), 15-30 cm (triangle), 30-45 cm (plus).

2.2.4 Impact sur l'état de nutrition en P du blé tendre

Le diagnostic des états nutritionnels des cultures de blé tendre, culture la plus fréquente sur le domaine, a été réalisé par le biais de l'indice de nutrition P établi par Duru *et al.* (1997) pour les graminées. Des indices de nutrition P ont été calculés pour les stades Epi 1 cm et floraison à partir de la mesure des concentrations en N et en P des plantes et du calcul de la concentration en P critique selon l'expression :

$$iP = P_{\text{mesuré}} / P_{\text{critique}}$$

avec :

$$P_{\text{critique}} = 0.15 + 0.065 N_{\text{mesuré}}$$

Les concentrations en N et P, exprimées en %, sont mesurées sur les parties aériennes.

Les indices de nutrition moyens sont de 0.82 +/- 0.09 au stade épi 1 cm et de 0.81 +/- 0.13 au stade floraison ; ces valeurs correspondent à des niveaux de nutrition satisfaisants. On note en parallèle que l'indice de nutrition N (iN) reste faible ; il est en moyenne de 0.67 +/- 0.14 et 0.54 +/- 0.14 pour le stade épi 1 cm et floraison, respectivement.

Par ailleurs, on n'observe pas d'évolution significative des indices entre 2002 et 2012 (Figure 5) quel que soit le stade. En moyenne pour une année donnée, l'indice reste à des niveaux satisfaisants (supérieurs à 0.80) signifiant que le P n'a pas été fortement limitant pour les niveaux de productions de blé tendre sur la période 2002-2012; les fournitures du sol ont été suffisantes pour satisfaire les besoins de la plante qui étaient faibles du fait d'un niveau de fertilisation N peu élevé.

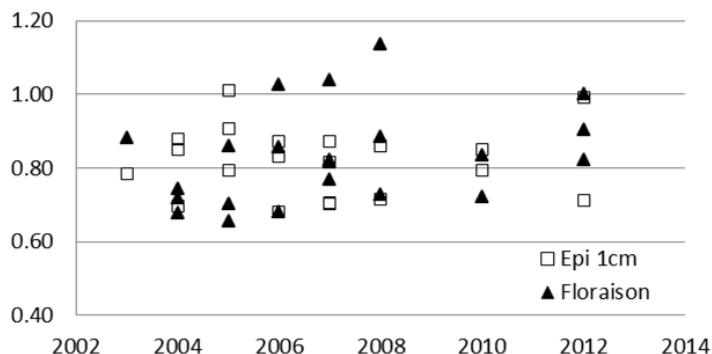


Figure 5 : Indices de nutrition en P (en ordonnée) mesurés entre 2003 et 2012 pour le blé tendre à deux stades de la culture.

On note une variabilité intra annuelle importante pour les iP sur l'ensemble du domaine ; ce résultat est à mettre en relation avec la variabilité du P disponible au sein du parcellaire. La Figure 6 met en évidence une relation significative entre l'indice de nutrition du blé tendre et l'indicateur Olsen mesuré sur l'horizon de sol 0-15 cm pour les 12 ZR ; la relation est meilleure lorsque les indices sont mesurés à la floraison.

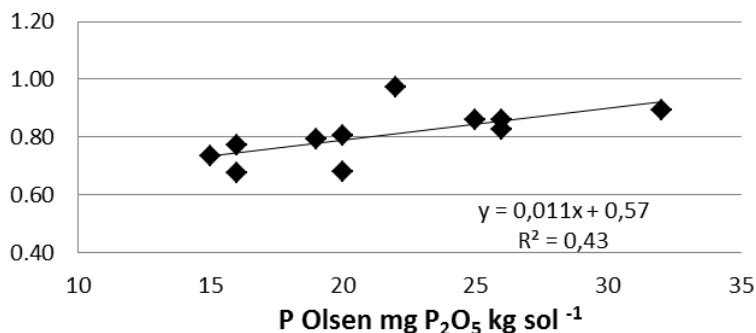


Figure 6 : Relation entre l'indice de nutrition P (en ordonnée) moyen mesuré à la floraison pour le blé et l'indicateur P Olsen mesuré sur l'horizon de sol 0-15 cm pour les 12 zones de références du dispositif de La Hourre.

3. Discussion

Au total, une majorité (80%) des systèmes étudiés en Midi-Pyrénées entre 2004 et 2007 présentait un bilan de P déficitaire. Le déficit moyen est du même ordre que celui obtenu par Kirchmann *et al.* (2008) pour des situations similaires de grandes cultures ne recevant pas, ou peu, de matières fertilisantes phosphatées. Les systèmes ont peu changé depuis lors, en termes de cultures et de pratiques associées, d'après le réseau de fermes suivies par la Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées (données 2010). L'évolution des disponibilités en P est donc un sujet de préoccupation particulièrement motivé.

L'ensemble des données recueillies sur le dispositif de la Hourre montre des bilans cumulés de P fortement négatifs après 10 ans d'essai. Ces résultats précisent l'ampleur et la vitesse des évolutions pour les sols argilo-calcaires, lorsque les bilans sont déficitaires. Pour les sols limoneux (boulbènes), des évolutions de même sens et vraisemblablement plus rapides sont à craindre. En effet, les systèmes biologiques sur boubène sont plus fréquemment irrigués, comportent plus de légumineuses, et présentent des exportations en P plus élevées. Par ailleurs, l'inertie des disponibilités en P est vraisemblablement plus faible que celle des sols argilo-calcaires.

A la Hourre, les horizons sous-jacents suivent la même dynamique que les horizons de surface ; leur contribution est à prendre en compte pour la fourniture de P sur le long terme et la durabilité des systèmes biologiques en général.

Fort heureusement, la baisse des disponibilités en P constatée ne se traduit pas encore par une dégradation des états nutritionnels phosphatés des céréales. Pour le soja, les quelques indices de nutrition obtenus (non présentés) conduiraient à la même conclusion. On peut néanmoins se demander quelle serait l'évolution des indices de nutrition iP dans le cas où le niveau des apports de N serait augmenté pour les céréales, puisque ce changement de pratiques aurait pour conséquence une augmentation des besoins de la plante en P.

Rappelons quela courbe générale de réponse (en termes de rendement) des cultures aux disponibilités en P est analogue à une courbe de saturation. Du coté des niveaux de disponibilités élevés, il n'y aucune réponse des cultures à une augmentation ou diminution du niveau. Dans la zone intermédiaire des niveaux de fertilité moyens, la réponse à une diminution ou augmentation des disponibilités est faible. Par contre, une nouvelle baisse sensible de celles-ci fait rentrer généralement dans la zone de réponse tendue de la part des cultures en termes de rendement. Le fait qu'il n'y a pas de baisse de rendement imputable au phosphore montre que l'on serait encore dans la première zone, mais pour combien de temps ?

Dans l'incertitude, comment anticiper sur l'émergence d'une situation de déficit déclaré? Dans le cas de situations à niveaux de P encore acceptable et de bilans faiblement déficitaires, on peut envisager des solutions basées sur l'utilisation de plantes capables de prélever du P peu disponible dans le sol du fait de sa localisation (horizons profonds) ou de sa spéciation chimique ; les légumineuses en particulier, via l'activité de leur système racinaire, permettraient le passage des formes de P non disponibles vers des formes disponibles (Lambers *et al.*, 2011 ; Nesme *et al.*, 2013). Toutefois, de tels leviers ne seront sans doute pas suffisants lorsque les bilans deviendront plus déficitaires et il conviendra tôt ou tard de procéder à des apports de P *a minima* compensateurs des flux de P sortants (exportations) à l'échelle du système de culture, comme cela a été démontré en Australie (Cornish *et al.*, 2008).

Il convient de s'interroger sur les raisons expliquant le fait qu'une majorité de systèmes de culture biologiques ne reçoivent pas de tels apports en quantité suffisante. Il y a sans doute de multiples facteurs, qui interagissent à différents niveaux d'organisation et sur différents pas de temps. La Figure 7 propose une première carte cognitive de ces facteurs, établie de manière discursive avec des conseillers agricoles. Certains facteurs apparaissent plus particulièrement attachés aux systèmes biologiques, d'autres au contexte Midi- Pyrénéen, alors que d'autres encore sont de nature économique

ou réglementaire générale. Il conviendra de préciser ce réseau de facteurs explicatifs avec les parties prenantes pour imaginer l'ensemble des mesures susceptibles d'améliorer les pratiques de gestion de la fertilité phosphatée des sols soumis à la grande culture biologique. La carte suggère que l'amélioration des pratiques de gestion de la fertilité phosphatée des sols sur le long terme résultera de changements affectant des facteurs de natures très différentes.

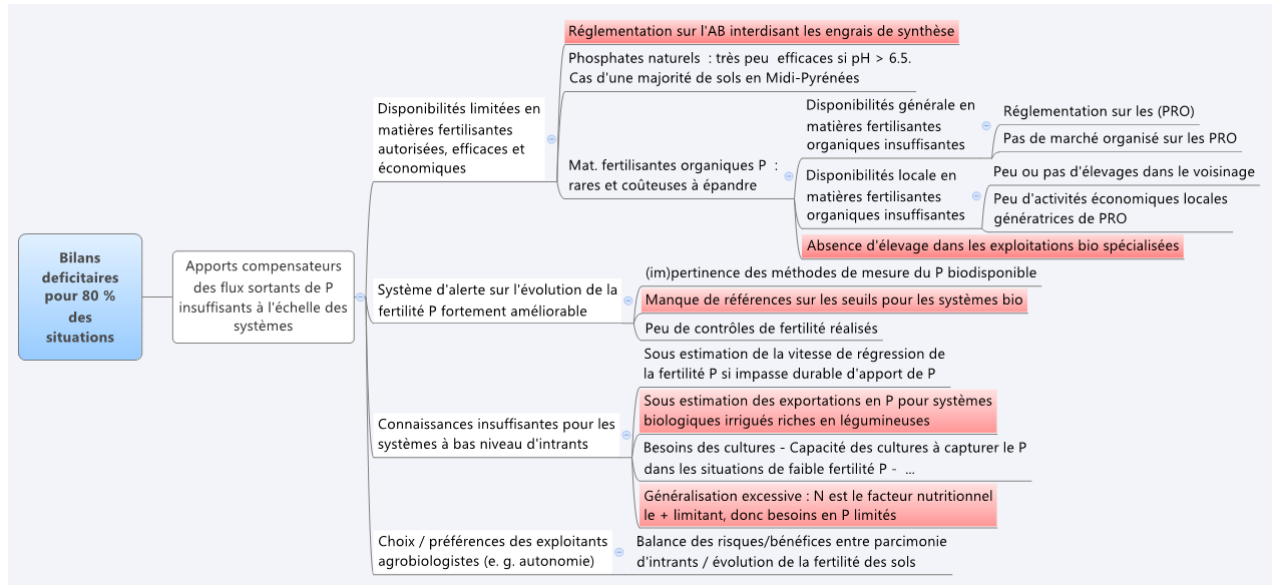


Figure 7 : Une carte cognitive du réseau de facteurs susceptibles d'expliquer la fréquence élevée de systèmes de cultures biologiques présentant des bilans en P déficitaires en Midi-Pyrénées. En rouge, figurent les facteurs plus spécifiquement associés aux systèmes biologiques.

Conclusion

La gestion de la fertilité phosphatée des sols en grande culture biologique fait l'objet de débats récurrents et motivés dans le contexte d'une diminution future des ressources en P.

L'approche combinant une enquête de pratiques à l'échelle régionale et l'exploitation d'un site expérimental représentatif des pratiques a permis de préciser les enjeux associés à cette question dans le contexte Midi-Pyrénéen. Les inquiétudes quant aux effets immédiats de la baisse du niveau des disponibilités en P sur le rendement des cultures sont levées. Toutefois, dans une perspective de gestion durable de la fertilité, les problèmes demeurent.

Du côté scientifique, il convient de poursuivre les investigations qui préciseront les moyens variés permettant d'augmenter le niveau du P biodisponible dans les sols, ainsi que les relations entre disponibilités et réponses des cultures, en particulier pour les légumineuses et les cultures associées légumineuses-céréales pour lesquelles on dispose encore de peu de références en situation de culture biologiques.

De multiples facteurs conditionneront le principal moteur responsable de l'évolution de la fertilité des sols sur le long terme, à savoir les bilans cumulés de P. Leur identification et la mise en évidence de leurs relations restent à établir. Du côté des pratiques, le recours à des apports de P exogène aux exploitations pourra être nécessaire, pour compléter l'effet d'autres leviers d'action. Il convient de ne pas retarder l'identification des situations susceptibles d'être concernées.

Références bibliographiques

- Berry P.M., Stockdale E.A., Sylvester-Bradley R., Philipps L., Smith K.A., Lord E.I., Watson C.A., Fortune S., 2003. N, P and K budgets for crop rotations on nine organic farms in the UK. *Soil use and Management* 19, 112-118
- Colomb B., Debaeke P., Jouany C., Nolot J.M., 2007. Phosphorus management in low input stockless cropping systems: Crop and soil responses to contrasting P regimes in a 36-year experiment in southern France. *Europ. J. Agronomy* 26, 154-165.
- Colomb B., Carof M., Aveline A., Bergez J.E., 2013. Stockless organic farming: strengths and weaknesses evidenced by a multicriteria sustainability assessment model. *Agron. Sustain. Dev.* 33:593-608. doi:10.1007/s13593-012-0126-5
- Cornish P.S., 2009. Low P farming systems. Special Issue *Australian Journal of Agricultural research*. *Crop and Pasture Science* 2, 100-196
- Duru M., Thélier-Huché L., 1997. N and PK status of herbage: use for diagnosis of grasslands. Diagnostic procedures for crop N management, *Les Colloques*, n°82, ed. INRA, Paris, 125-138
- Kautz T., Amelung W., Ewert F., Gaiser T., Horn R., Jahn R., Javaux M., Kemna A., Kuzyakov Y., Munch J.C., Pätzold S., Peth S., Scherer H.W., Schloter M., Schneider H., Vanderborght J., Vetterlein D., Walter A., Wiesenberger G.L.B., Köpke U., 2012. Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review, *Soil Biology & Biochemistry* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.09.014>
- Kirchmann H., Bergström L., Kätterer T., Andrén O., Andersson R., 2008. Can organic crop production feed the world? In: Kirchmann K and Begstrom L, eds. *Organic crop production: ambitions and limitations*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 39-72.
- Lambers H., Finnegan P.M., Laliberte E., Pearse S.J., Ryan M.H., Shane M.W., Veneklaas E.J., 2011. Phosphorus Nutrition of Proteaceae in Severely Phosphorus-Impoverished Soils: Are There Lessons To Be Learned for Future Crops? *Plant Physiology* 156, 1058-1066
- Messiga A.J., Ziadi N., Plénet D., Parent L.-E., Morel C., 2010. Long-term changes in soil phosphorus status related to P budgets under maize monoculture and mineral P fertilization. *Soil Use Management* 26, 354-364.
- Nesme T., Toublant M., Mollier A., Morel C., Pellerin S., 2012. Assessing phosphorus management among organic farming systems: a farm input, output and budget analysis in southwestern France. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 92, 225-236.
- Nesme T., Colomb B., Hinsinger P., Watson C.A., à paraître. Soil phosphorus (P) management in organic cropping systems: from current practices to avenues for a more efficient use of P resources. In: Penvern S., Savini I., Bellon S. (Eds) "Organic Farming, prototype for sustainable agricultures", Springer Editions
- Pellerin S., Leclech B., Morel C., Linères M., 2003. Gestion de la fertilité phospho-potassique en agriculture biologique : questions posées et premiers résultats. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture de France* 89, 30-34
- Watson C.A., Stockdale E.A., Rees R., 2008. Assessment and maintenance of soil fertility in temperate organic agriculture. *CAS Reviews. Perspective in Agriculture* 3, 21.