



Marcel Mazoyer, Professeur à l'Université Paris-Sud, a été professeur d'agriculture comparée et de développement agricole à AgroParisTech, directeur du département des sciences économiques et sociales de l'INRA et président du comité du programme de la FAO.

Avant-propos de l'étude des effets du Bactériosol® sur le revenu des exploitations de grandes cultures d'Alsace¹

L'étude des effets du Bactériosol® sur le revenu des exploitations de grandes cultures d'Alsace est essentiellement économique. Mais les enquêtes réalisées, l'analyse et l'interprétation des résultats de cette étude sont autant agro-écologiques qu'agro-économiques et elles sont difficiles à comprendre sans une connaissance suffisante du sol. Commençons donc par résumer ce qu'il faut savoir de la structure, et du fonctionnement du sol et des micro-organismes du sol.

Le sol n'est ni un "simple support" pour les plantes cultivées, comme le disait un professeur d'agronomie dans les années 1960, ni simplement un «être vivant», comme le disait encore un directeur de la division des terres et des eaux de la FAO dans les années 1980. Loin de ces inepties réductrices, visant l'une et l'autre à souligner la nécessité d'utiliser des engrais minéraux, le sol est la chose la plus complexe du monde.

Le sol est en fait la couche superficielle de l'écorce terrestre, où s'entrecroisent et interagissent les quatre parties constitutives de l'écosphère, à savoir : la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Il est composé de matières minérales à l'état solide, liquide ou gazeux, de matières organiques mortes, plus ou moins décomposées et d'une multitude d'êtres vivants : micro-organismes, graines et racines de végétaux, champignons, petits animaux... Et il supporte tous les autres êtres vivants terrestres : des végétaux chlorophylliens autotrophes (se nourrissant d'éléments minéraux pour synthétiser leur propre matière organique) ; des animaux hétérotrophes, et des champignons saprophytes, eux aussi hétérotrophes (se nourrissant de matières organiques provenant d'autres organismes).

La fraction minérale solide du sol, ou squelette du sol, est composée de fragments plus ou moins gros, provenant de la fracturation et de l'altération de la roche mère sous-jacente : des fragments grossiers (blocs, cailloux, graviers) et des particules fines (sables, limons et argiles), dont les proportions définissent la texture du sol.²

La fraction minérale liquide du sol, ou solution du sol, est faite d'eau issue de la pluie ou de la nappe souterraine et de sels minéraux en solution sous forme d'ions provenant de la fixation d'azote de l'air et de la solubilisation des minéraux contenus dans la roche mère et de la minéralisation de la matière organique. La solution du sol occupe les pores du sol, c'est-à-dire les espaces laissés libres par la fraction solide du sol. Là, elle entre directement en contact avec les racines des plantes qui viennent y puiser l'eau et les sels minéraux dont elles se nourrissent.

Un sol est dit saturé en eau, quand tous ses pores ont été remplis d'eau par la pluie ou par inondation. Un sol préalablement saturé en eau est dit ressuyé quand l'eau libre, dite gravitaire, s'est écoulée vers la nappe souterraine ou vers des exutoires de surface.

La quantité d'eau retenue dans un sol après ressuyage, ou capacité au champ, diminue ensuite : du fait de la remontée capillaire et de l'évaporation, du fait de l'absorption par les racines et de l'évapotranspiration des plantes. Puis, au fur et à mesure que la réserve d'eau du sol diminue, la force de rétention de l'eau augmente et, quand elle devient supérieure à la force de succion par les racines, la plante se flétrit et meurt : le point de flétrissement des plantes est atteint.

La réserve en eau utile d'un sol est égale à la différence entre la quantité d'eau maximale qu'il retient après saturation et ressuyage et la quantité d'eau qu'il contient encore lorsque le point de flétrissement des plantes est atteint. Cette réserve d'eau utile augmente avec la teneur du sol en argile et en humus.

La fraction gazeuse du sol, ou atmosphère du sol, est faite d'air et de gaz provenant de la décomposition de la matière organique du sol. Elle occupe les pores

du sol quand ils ne sont pas occupés par la solution du sol. Et elle fournit du gaz carbonique, de l'azote et de l'oxygène aux micro-organismes du sol.

Les végétaux chlorophylliens du sol (plantes, micro-algues, cyanobactéries) et d'autres bactéries autotrophes synthétisent eux-mêmes la matière organique, en utilisant l'énergie solaire (et, s'agissant des bactéries, d'autres sources d'énergie) pour combiner le gaz carbonique de l'air, l'eau du sol et les sels minéraux nutritifs qui s'y trouvent en solution.

Les organismes hétérotrophes, animaux de surface, petits animaux du sol et micro-organismes animaux du sol³ se nourrissent par ingestion de matières organiques provenant soit directement des espèces autotrophes qui les ont produits, soit indirectement des espèces hétérotrophes qui les ont ingérées et assimilées.

Les champignons saprophytes sont eux aussi hétérotrophes. Ils se nourrissent par absorption de matières organiques mortes, qu'ils contribuent à décomposer et à humifier.

Les minéraux nutritifs indispensables à la croissance, au fonctionnement et à la reproduction des végétaux chlorophylliens, parmi lesquels on distingue les éléments principaux, les éléments secondaires et les oligo-éléments³, proviennent : soit de l'air, c'est le cas de l'azote, soit de la roche mère, c'est le cas de tous les autres, notamment du phosphore et du potassium ; soit de la minéralisation de la matière organique, c'est le cas de tous les éléments. Mais, à la différence des bactéries, les végétaux supérieurs n'ont pas accès directement aux minéraux solides du sol. Ils ne peuvent les absorber qu'une fois ceux-ci dissous dans la solution du sol, grâce à l'activité des micro-organismes ou par dissolution grâce aux sécrétions d'acides organiques par les racines.

L'azote contenu dans les nitrates de la solution du sol provient notamment de la "fixation" de l'azote de l'air, du fait de la synthèse des nitrates par les éclairs et par l'activité de bactéries fixatrices d'azote dont certaines vivent libres dans le sol (bactéries aérobies : Azotobacter, Azomonas), bactéries anaérobies : Clostridium, Citrobacter, cyanobactéries) alors que d'autres vivent en symbiose dans les racines de certaines plantes (Rhizobium des légumineuses, Frankia des aulnes...).

Les sels minéraux nutritifs de la solution du sol, autres que les nitrates, notamment les phosphates et la potasse, proviennent de la dissolution des particules fines du sol (elles-mêmes issues de la fragmentation de la roche mère) par l'eau de pluie chargée en gaz carbonique, légèrement acide, et par l'activité de plusieurs genres de bactéries du sol qui les solubilisent (Bacillus, Pénicillium, Pseudomonas, Rhizobium...).

Sans ces bactéries autotrophes (autotrophes à l'azote), fixant l'azote de l'air et solubilisant les minéraux de la roche mère, pas de solution du sol assez riche en sels minéraux pour alimenter un couvert végétal fertile, et donc pas de matière organique.

La matière organique brute du sol est faite de fragments inanimés de végétaux, d'animaux, de champignons, micro-flore et micro-faune comprises, de leurs cadavres et de leurs sécrétions, excréments ou déjections.

La matière organique fraîche, pas encore décomposée, est ensuite humifiée et minéralisée, par simple oxydation au contact de l'air, ou par l'action combinée des animaux, des champignons et des micro-organismes hétérotrophes qui s'en nourrissent.

L'humification fractionne les grosses molécules de matière organique, en molécules organiques plus petites, les acides humiques, qui constituent l'humus. Certains micro-organismes synthétisent aussi des acides humiques à partir des éléments minéraux du sol.

La minéralisation décompose l'humus, en libérant l'eau, le gaz carbonique et les sels minéraux qu'il contient, et en dégageant de l'énergie. Les micro-organismes hétérotrophes et les champignons saprophytes du sol, qui se nourrissent de matière organique brute, jouent donc un grand rôle dans l'humification de celles-ci.

L'humus lié à l'argile, forme avec celle-ci le complexe argilo-humique. Cet humus lié, est plus stable et, dans un sol régulièrement approvisionné en matière organique, il s'accumule avec les minéraux nutritifs qu'il contient. Ces minéraux stockés, soustraits au lessivage à la morte saison puis libérés par la minéralisation de cet humus à la saison végétative suivante, se retrouvent alors dans la solution du sol, à la disposition des végétaux, où ils viennent s'ajouter aux minéraux directement issus de la fixation d'azote de l'air et

de la solubilisation de la roche mère.

Le complexe argilo-humique est aussi un colloïde qui a bien d'autres propriétés. Il se gonfle d'eau à l'occasion et la libère en cas de sécheresse. Il adsorbe à sa surface des ions nutritifs qui restent directement absorbables par les plantes. Il agglutine les particules du sol, ce qui donne à celui-ci une structure grumeleuse et une porosité, qui facilitent : le travail du sol ; la circulation de l'air, de l'eau, des petits animaux du sol ; et la pénétration des racines et des champignons filamenteux.

Les petits animaux du sol (insectes, acariens, araignées, vers, gastéropodes, petits mammifères) se multiplient avec la végétation et la matière organique, certains parasitent les plantes et peuvent ravager les cultures mais la plupart d'entre eux participent à la décomposition de la matière organique et au remue-mécanisme du sol, et ils en facilitent l'aération et le drainage.

Les champignons filamenteux dits mycorhiziens vivent en symbiose avec les plantes. Leurs filaments colonisent la surface des racines des plantes auxquelles ils fournissent des minéraux nutritifs, qu'ils vont puiser plusieurs mètres plus bas, et desquelles ils reçoivent quelques nutriments organiques. Ces mycorhizes symbiotiques externes des racines ne doivent pas être confondues avec les bactéries symbiotiques internes des racines du genre Rhizobium ou Frankia.

Qu'ils soient autotrophes et fabriquent de la matière organique, ou qu'ils soient hétérotrophes et participent à l'humification et à la minéralisation de celle-ci, les micro-organismes du sol font bien plus que mobiliser et recycler les minéraux nutritifs de la solution du sol : ils réduisent le lessivage et la dénitrification et accroissent le flux des minéraux nutritifs à la disposition des plantes, ils stockent ces éléments dans le sol et donnent au sol une structure favorable à la végétation.

Sur les composts de la technologie Marcel Mézy⁴, se développent une multitude de genres et d'espèces de micro-organismes spontanés autotrophes et hétérotrophes, issus de la nature, cultivés et multipliés par Mézagri, avec un support minéral et organique inerte facilitant leur utilisation. Deux produits issus de cette technologie Marcel Mézy⁴ sont conditionnés et commercialisés depuis 1992 par la SOBAC : le Bactériolite[®] pour ensemercer les fumiers, litières et lisiers et le Bactériosol[®], amendement organique directement épandu sur les sols. Ils sont aujourd'hui utilisés par plus de 10 000 agriculteurs, principalement en France, mais aussi dans plusieurs autres pays d'Europe et du monde.

Dès la fin des années 1990, ces deux produits étaient déjà utilisés largement et avec succès dans les exploitations d'élevage de plusieurs régions de France. De sorte que deux études portant sur les effets du Bactériolite[®] et du Bactériosol[®] sur le revenu des exploitations d'élevage utilisant ces produits ont pu être effectuées en 2005 et 2006 : la première portant sur les élevages de vaches allaitantes du Limousin, la seconde sur les élevages de vaches laitières des Côtes d'Armor.

Ces deux études ont montré que l'utilisation régulière du Bactériolite[®] et du Bactériosol[®] avait permis à ces exploitations : de beaucoup mieux composter les fumiers, litières et lisiers ; d'améliorer la structure des sols dégradés ; de supprimer le chaulage et les engrais phospho-potassiques et, le cas échéant, de réduire la fumure azotée ; de réduire les tétanies d'herbage et les diarrhées des veaux ; de procurer aux utilisateurs de ces produits une marge bénéficiaire nettement supérieure à celle de leurs voisins non-utilisateurs les plus performants.

Depuis dix ans la vente du Bactériosol[®] a été étendue aux régions de grandes cultures et l'expérience a montré que l'utilisation régulière de ce produit permettait :

- de supprimer le chaulage et les engrais phospho-potassiques, rendus inutiles du fait de l'activité des micro-organismes solubilisant les sels minéraux issus de la roche mère et du fait de l'accumulation d'humus, ce qui réduit le lessivage ;
- de réduire les engrais azotés, rendus moins utiles du fait de l'activité des micro-organismes fixant l'azote de l'air et de l'accumulation d'humus réduisant le lessivage et la dénitrification.

L'expérience a aussi montré que l'utilisation régulière de Bactériosol[®] permettait le cas échéant d'éviter les carences résultant de l'emploi d'engrais minéraux purs, dépourvus d'éléments secondaires et d'oligo-éléments, grâce à la solubilisation des minéraux plus diversifiés issus de la roche mère ; de rétablir la

structure du sol et par là, de réduire l'érosion des sols abîmés par les pratiques agricoles des dernières décennies et aussi de réduire la pollution des sols, des eaux et des récoltes.

Les observations de terrain et plusieurs études ont montré que dans les sols appauvris (en micro-organismes, en petits animaux et en humus) déstructurés et disposant d'une très faible réserve d'eau utile, l'utilisation régulière de Bactériosol[®] ou de fumure organique traitée au Bactériolite[®] permettait de reconstituer un peuplement vivant, un taux d'humus, une structure et une réserve d'eau utile des plus favorables aux cultures. De plus, dans ces sols pauvres en matière organique, les micro-organismes autotrophes foisonnent et fabriquent chaque année autant de matière organique qu'une haute prairie et séquestrent en quelques années, dans le sol, autant de carbone qu'une forêt tempérée climacique (dont la biomasse est à son maximum).

Le moment était donc venu d'étudier plus précisément les effets du Bactériosol[®] sur le revenu des exploitations agricoles des régions de grandes cultures, où les exploitations utilisant du Bactériosol[®] à la dose prescrite, sur toute leur superficie, depuis trois ans au moins, sont assez nombreuses pour cela. Les résultats de l'étude ainsi réalisée en Alsace, fin 2015 début 2016, sont présentés ci-contre ■

Marcel Mazoyer,
Paris, le 31 janvier 2017

¹ par Marcel Mazoyer professeur, AgroParisTech, Université Paris Diderot

² Fragments grossiers : blocs rocheux (> 20 cm), pierres (5 à 20 cm), cailloux (2 à 5 cm), graviers (0,2 à 2 cm); particules fines : sables (2 mm à 50 µm), limons (50 µm à 2 µm), et argiles (< 2 µm).

³ Certains 'spécialistes' ont pris la très mauvaise habitude : a. d'appeler 'micro-flore' l'ensemble des micro-organismes du sol, y compris les micro-organismes animaux du sol ; b. d'appeler micro-faune du sol l'ensemble des petits animaux du sol (vers de terre, insectes...), qui ne sont pas des micro-organismes.

Ce qui conduit beaucoup de techniciens et de praticiens à méconnaître les micro-organismes animaux du sol et leur rôle : grave erreur. Il faut donc convenir de réserver le terme de micro-flore du sol à l'ensemble des micro-organismes végétaux du sol autotrophes au carbone, de réserver le terme de micro-faune du sol à l'ensemble des micro-organismes animaux du sol hétérotrophes au carbone et d'appeler les petits animaux du sol par leur nom. Pour être utilement partagée la terminologie scientifique doit être intelligible et sans ambiguïté.

⁴ Éléments principaux (azote N, phosphore P et potassium K), éléments secondaires (soufre S, calcium Ca, magnésium Mg, ...) et oligoéléments (fer Fe, manganèse Mn, cuivre Cu, zinc Zn, bore B, molybdène Mo....).

Il y a plus d'êtres vivants dans une cuillère de sol qu'il n'y a d'humains sur terre !



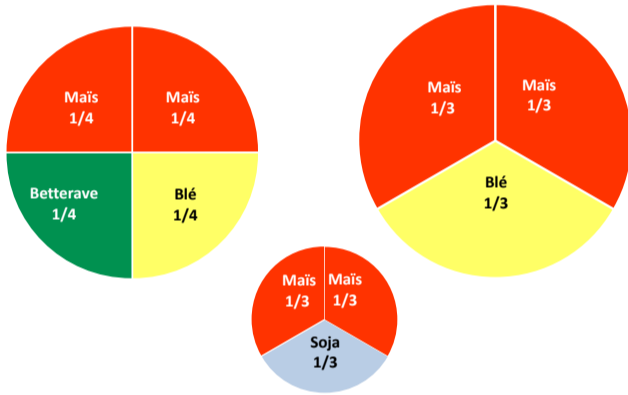
Illustrations : Marion Jouffroy
<https://www.lappeldusol.fr/>

Détail de l'étude scientifique supervisée par le Pr MAZOYER

Les études conduites de façon totalement indépendante par Marcel Mazoyer, professeur émérite à AgroParisTech, spécialiste mondialement connu de l'économie agricole, ont démontré l'intérêt économique des Technologies Marcel Mézy® dans les exploitations d'élevage. L'utilisation du Bactériosol® dans les régions de grandes cultures ayant beaucoup progressé ces dernières années, il était intéressant d'en étudier les effets.

L'étude dont les principaux résultats sont présentés ici, a été conduite par Marcel Mazoyer, assisté par Jérémie Cottat, chargé d'étude, diplômé de l'Université Paris-Sud. Elle a pour objectif de comparer les marges bénéficiaires des cultures pratiquées dans les exploitations alsaciennes utilisant du Bactériosol® et dans les exploitations voisines comparables les plus performantes n'en utilisant pas.

3 080 hectares enquêtés sur 3 rotations

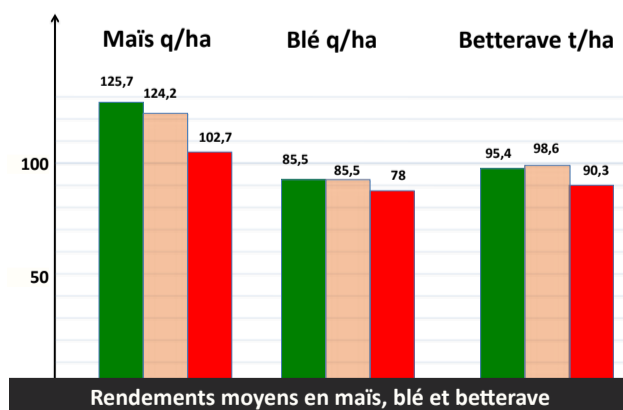


La région Alsace a été choisie comme site de cette étude. Les exploitations utilisatrices à 100 % de leur surface depuis 3 ans ou plus ont été choisies pour l'étude afin que les mesures soient significatives sur l'utilisation du concept. Les enquêtes approfondies réalisées ont porté sur 35 exploitations et sur les itinéraires techniques, les coûts, les produits et les marges bénéficiaires de 3 080 ha de cultures, dont 1 832 hectares de maïs, 820 hectares de blé, 332 hectares de betterave sucrière et 96 hectares de soja. Ont donc été enquêtées : 17 exploitations, utilisant du Bactériosol® depuis trois ans au moins, sur toute leur surface et 18 exploitations proches, comparables n'en utilisant pas, situées sur le même type de sol, pratiquant la même rotation et réputées les plus performantes du voisinage.

Légende

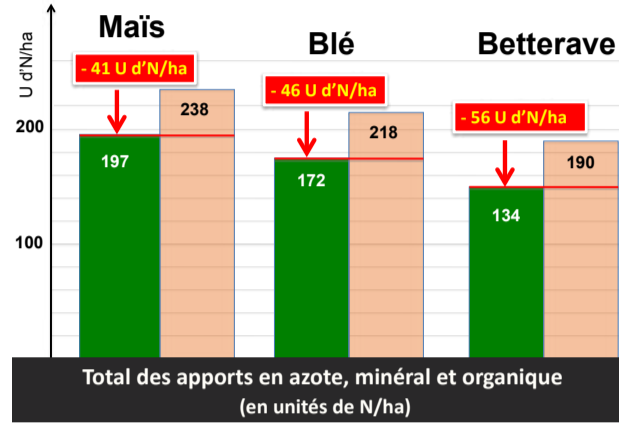
- Utilisateurs
- Non-utilisateurs voisins les plus performants
- Rendements moyens régionaux

Des rendements au moins aussi élevés

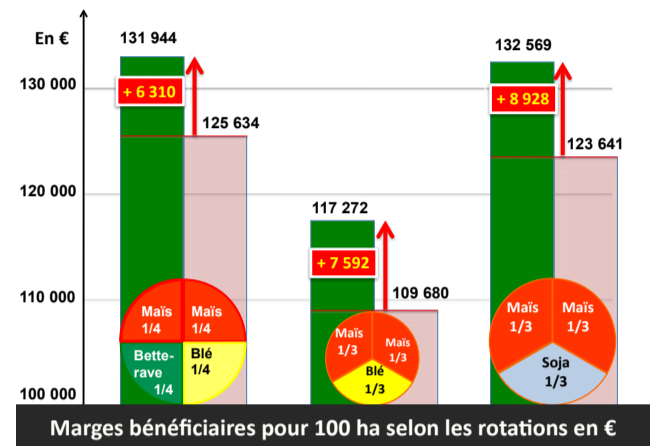


Comme le montre le graphique ci-dessus, en matière de rendement, les utilisateurs de Bactériosol® font jeu égal avec les non-utilisateurs voisins comparables les plus performants et ont des rendements très supérieurs aux rendements moyens d'Alsace, qui sont eux-mêmes pourtant parmi les plus élevés du monde.

Des intrants très inférieurs



Des marges bénéficiaires en moyenne nettement supérieures



Les marges bénéficiaires pour 100 hectares en rotation des utilisateurs sont en moyenne nettement supérieures à celles des non-utilisateurs voisins les plus performants :

- ▶ + 6 310 € pour 100 hectares pour la rotation maïs 1/4, maïs 1/4 ha, blé 1/4, betterave sucrière 1/4
- ▶ + 7 592 € pour 100 hectares pour la rotation maïs 1/3, maïs 1/3, blé 1/3
- ▶ + 8 928 € pour 100 hectares pour la rotation maïs 1/3, maïs 1/3, soja 1/3.

Conclusions agro-économiques et agro-écologiques

Les exploitations alsaciennes de grandes cultures utilisant du Bactériosol® sur 100 % de leur surface, sont donc beaucoup plus autonomes et plus rentables que les exploitations de grandes cultures n'en utilisant pas. Elles emploient, en effet, moins d'engrais, de phytosanitaires et d'eau d'irrigation, ce qui réduit les pertes par drainage et la pollution des terres, des eaux et des produits agricoles. Elles emploient notamment - 9,5 % de phytosanitaires pour le maïs, - 17,3 % pour le blé et - 16,9 % pour les betteraves, ce qui baisse les charges.

Les utilisateurs de Bactériosol® n'emploient pas d'engrais minéraux phospho-potassiques et emploient nettement moins d'azote et de produits phytosanitaires que les non-utilisateurs, ils économisent ainsi, indirectement, les carburants fossiles qui ont servi à les fabriquer, ainsi que moins de fuel grâce à la réduction du nombre de passages, ce qui finalement réduit d'autant les émissions de gaz à effet de serre et les dépenses associées.

Les utilisateurs de Bactériosol® pratiquant l'irrigation observent généralement que leurs cultures résistent mieux à la sécheresse, qu'ils peuvent souvent commencer à irriguer quelques jours plus tard que les autres et ainsi économiser un ou deux tours d'eau.

Les utilisateurs de Bactériosol® observent que la décomposition et l'humification de la matière organique brute, notamment des feuilles et cannes de maïs, se trouvent accélérées, ce qui facilite les opérations culturales ultérieures et contribue de manière importante à séquestrer plus de carbone.

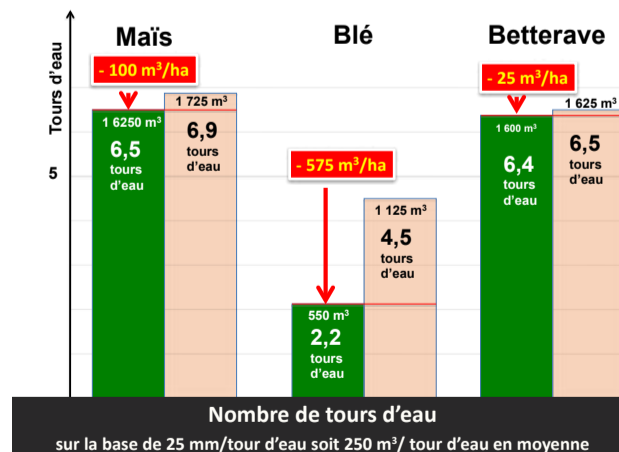
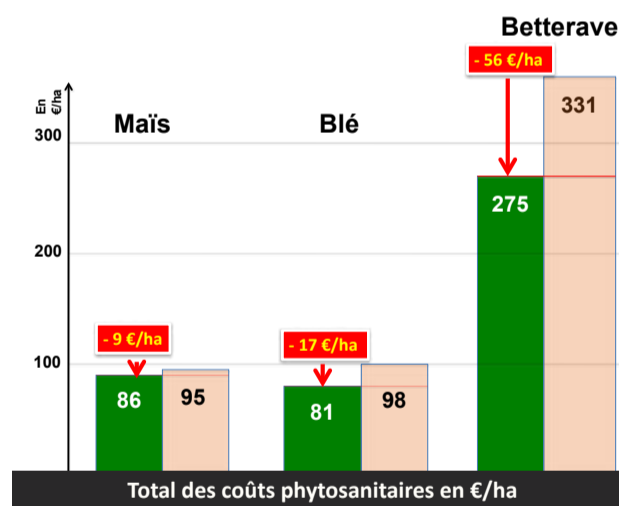
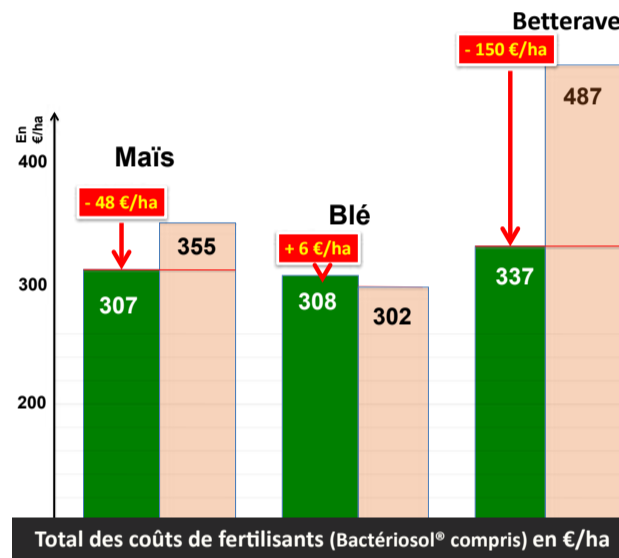
Ces exploitations rendent ainsi des services écosystémiques importants, qui méritent d'être mieux connus, pris en compte et rémunérés à leur juste valeur.

CONCLUSION

L'étude démontre qu'en système céréalier en comparaison avec les exploitations voisines comparables les plus performantes, Bactériosol® permet :

- une diminution des charges d'intrants (fertilisation + phytosanitaires)
- une économie d'eau (diminution du nombre de tours d'eau et du stress hydrique des cultures)
- un maintien voire une amélioration des rendements de production
- un bilan carbone amélioré

---> UN GAIN D'AUTONOMIE et une amélioration de la marge sur 100 ha en rotation de + 63 à + 89 €/ha par rapport au non-utilisateurs les plus performants du secteur



Comme le présentent les graphiques précédents, les apports à l'hectare des utilisateurs en N minéral et organique, en fertilisants (N, P, K et Bactériosol®), en phytosanitaires et en eau d'irrigation sont généralement très inférieurs à ceux des non-utilisateurs voisins les plus performants.

Les utilisateurs de Bactériosol® n'utilisent plus de PK, ont diminué l'apport d'N et emploient nettement moins de produits phytosanitaires que les non-utilisateurs (- 9,5 % de phytosanitaires pour le maïs, - 17,3 % pour le blé, - 16,9 % pour les betteraves).