

# Rapport d'activité annuel de l'unité AGHYLE

Année 2019



Campus Beauvais



Campus Rouen



Campus Rennes

Directrice: Isabelle GATTIN

Directeur Adjoint : Olivier POURRET

*Campus Rouen - Campus Beauvais*



## Table des matières

<b>Contexte</b> - Orientations et enjeux globaux de la recherche de l'unité .....	3
<b>Bilan</b> .....	5
Faits marquants scientifiques .....	5
Axe 1 – Mécanismes des interactions Sol – Plantes – Microorganismes .....	5
Axe 2 – Processus de biodisponibilité des éléments .....	8
Axe 3 – Quantification et modélisation des transferts.....	10
Projets déposés en 2019.....	12
Ressources Humaines.....	12
Soutenance Thèses.....	13
Accueil de nouveaux doctorants.....	13
Acquisition de nouveaux équipements .....	13
Expertises.....	13
Accueil chercheurs étrangers .....	13
Mobilité internationale de chercheurs de l'unité .....	14
Obtention de distinctions – prix.....	14
Formation pour et par la recherche.....	14
Formation professionnelle suivies par les membres de l'unité.....	15
Construction de partenariats.....	15
Nouveaux partenariats académiques.....	15
Relations entreprises.....	16
Valorisation.....	16
Livrables des projets.....	16
Vulgarisation & Communication sur nos activités de recherche.....	16
Articles Scientifiques.....	17
Communications orales.....	17
Communication par affiche .....	19
<b>Perspectives</b> .....	21
<b>Annexes</b> .....	<b>22</b>
Annexe 1 : Liste des projets en cours dans l'unité AGHYLE.....	22
Annexe 2 : Liste des projets déposés dans l'année 2019 et acceptés pour financement .....	27
Annexe 3 : Liste des projets déposés dans l'année 2019 et non retenus pour financement .....	28
Annexe 4 : Liste des projets déposés dans l'année 2019, en cours d'évaluation .....	29
Annexe 5 : Production ACL année 2019 .....	30

## 1) Contexte

### ▪ Orientations et enjeux globaux de la recherche de l'unité

Par sa qualité d'élément interface, le sol joue un rôle majeur dans l'état de l'environnement. Les modalités de gestion des sols, au sein des éco- et agro-systèmes sont de nature à modifier l'état physique, chimique et biologique du(es) sol(s) et avoir des conséquences sur la qualité de l'eau et de l'air. En effet, ces compartiments de l'environnement, souvent étudiés séparément, sont très intimement liés et les processus qui prennent place dans le sol sont susceptibles d'avoir des répercussions importantes sur l'état des autres milieux (transfert de polluants vs purification de l'eau ; émissions de gaz à effet de serre vs stockage C,...). Ainsi, la gestion des sols des éco- et agro-systèmes est au cœur des enjeux du développement durable définis par les Nations Unies en 2015 (Figure 1).



### Soils directly implicated in 6 global goals



Figure 1 : Les sols au cœur des objectifs de développement durable définis par les Nations Unies

L'unité de recherche AGHYLE développe des travaux de recherche centrés sur l'étude de la dynamique des éléments et des organismes vivants dans les agro et écosystèmes et l'impact des activités anthropiques sur l'état des sols et des plantes. En cohérence avec les formations d'ingénieurs dispensées à UniLaSalle, l'enjeu de nos travaux est de développer une approche systémique pour l'étude des agro- et écosystèmes et l'analyse de la performance environnementale et écologique des pratiques de gestion des sols.

Notre objectif scientifique est d'identifier les conséquences des interactions « pratiques de gestion / état des sols / diversité végétale » sur la dynamique des éléments, des organismes édaphiques et la qualité des plantes.

L'unité AGHYLE est structurée en 3 axes :

- (1) Les mécanismes des interactions sol / plantes / microorganismes ;
- (2) les processus de biodisponibilité des éléments
- (3) la quantification et la modélisation des transferts (figure 2).

L'axe 1, orienté sur les interactions sol / plantes / microorganismes a pour enjeu de proposer des solutions alternatives à l'usage des produits phytosanitaires. Cela repose sur une meilleure compréhension des synergies et compétitions pouvant exister entre plantes et organismes

édaphiques et entre les organismes édaphiques eux-mêmes ; ces interactions étant susceptibles de permettre une régulation naturelle des maladies des cultures (biocontrôle, performance écologique des successions culturales...).

L'axe 2 concerne la nutrition des plantes avec un regard croisé sur les rôles respectifs des organismes édaphiques et du système racinaire des plantes dans cette nutrition (dégradation des matières organiques, solubilisation d'éléments minéraux (i.e. P, K)). Il s'agit notamment d'approfondir nos connaissances du cycle des éléments à l'échelle de la rhizosphère, notamment dans un contexte de nouvelles pratiques de gestion (apports de matières organiques, de biointrants, allongement des rotations, précédent cultural légumineuse, etc).

Enfin, l'axe 3 vise à comprendre le déterminisme de l'état physique, chimique et biologique du sol dont découle le transfert d'éléments chimiques et biologiques vers les eaux souterraines. Les travaux de cet axe ont notamment vocation à construire des outils de diagnostic d'état physique, chimique et biologique du sol en lien avec différentes pratiques de gestion dans une perspective de quantification des services écosystémiques rendus par les sols.

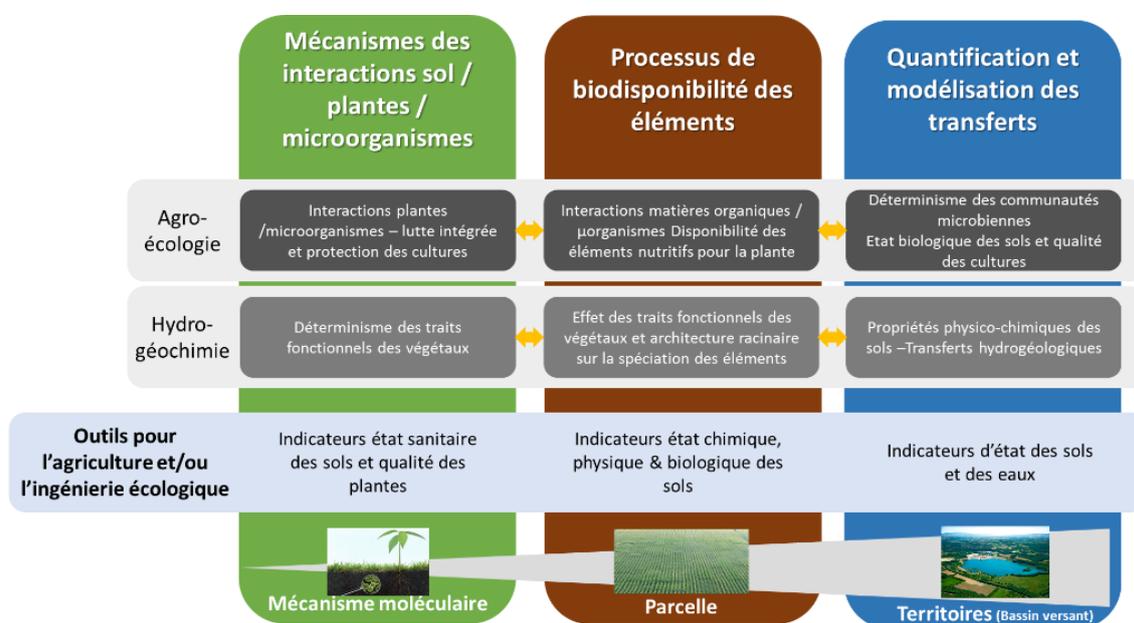


Figure 2 : Structuration de l'unité AGHYLE présentée à l'HCERES, janvier 2017

Un contexte national et régional particulièrement favorable a permis de soutenir les travaux de l'unité AGHYLE en 2019 et de confirmer la pertinence des axes de recherche au regard des questionnements sociétaux. Ces axes s'inscrivent dans une dynamique qui a vu le déploiement par l'INRA des Assises de l'Agriculture et de l'Alimentation : une grande concertation sous le signe de l'agro-écologie et de la multi-disciplinarité. Les Régions Hauts de France, Normandie et Bretagne ont quant à elles lancé cette année les concertations pour la construction des CPER 2021-2027, ce qui a donné l'opportunité à AGHYLE de se positionner comme partie prenante sur les thématiques clés de l'unité aussi bien en Normandie que dans les Hauts de France, avec des propositions structurantes et ambitieuses de recherches et d'investissements. La Région Normandie a par ailleurs ouvert en 2019 un Plan régional pour le développement des protéines végétales pour l'alimentation humaine qui a permis à l'unité de déposer avec succès 2 projets inter unité entre AGHYLE et INTERACT. La démarche Développement Durable qui s'inscrit désormais dans la stratégie de l'Institut a trouvé écho

cette année dans la mise en place d'une COP21 en Normandie, qui a permis d'ouvrir largement les débats autour de problématiques régionales pour lesquelles AGHYLE Rouen a été acteur.

Les actions de développement du réseau international de ces dernières années a lui aussi été générateur de programmes de recherche et de collaborations sur cette année, encourageant les EC à saisir toutes les opportunités pour créer de nouveaux partenariats.

Autant d'ouvertures qui sont en phase avec les travaux et les objectifs de l'unité et qui ont favorisé les résultats qui sont présentés dans le rapport annuel 2019.

## 2) Bilan

### ▪ *Faits marquants scientifiques*

#### Axe 1 – Mécanismes des interactions Sol – Plantes – Microorganismes

Cet axe de recherche vise à enrichir les connaissances scientifiques nécessaires au développement de nouvelles pratiques basées sur la valorisation des régulations biologiques dans l'objectif de réduire le recours aux molécules chimiques pour la nutrition et la santé des plantes.

Historiquement, les travaux conduits au sein de l'unité sont centrés sur les pathosystèmes suivants :

- Blé / *Mycosphaerella graminicola* – septoriose du blé
- Pois / *Aphanomyces euteiches* – pourriture racinaire du pois
- Lin / *Verticillium dahliae* – verticilliose du lin
- *Choisya* / *Phytophthora parasitica* – pourriture racinaire de l'oranger du Mexique

Au cours de l'année 2019, un focus important a été fait sur l'identification et l'étude des mécanismes mis en jeu par des microorganismes bénéfiques susceptibles de lutter contre les pathogènes cités ci-dessus. Ils se sont déclinés à l'échelle de la plante et à celle de la parcelle agricole.

#### *Echelle de la plante*

Une partie des travaux conduits au sein de l'unité concerne les microorganismes bénéfiques aux plantes par leur capacité à les aider à résister aux stress biotiques (maladies) ; la résistance aux stress abiotiques (pollution, sécheresse, salinité,...) est une autre externalité positive de ces microorganismes, mais elle n'a pas été étudiée au cours de cette année.

Les effets bénéfiques des microorganismes du sol peuvent être liés à des relations symbiotiques entre la plante et les microorganismes. Ainsi, dans le cadre de la thèse de Pauline Lusley et du projet régional Vivepois, la diversité des populations bactériennes endophytes présentes dans les nodules de 3 variétés de pois d'hiver et 3 variétés de pois de printemps a été décrite, comparée et mise en relation avec le niveau de tolérance de la plante à la maladie et la sévérité des symptômes observés. L'isolement des bactéries issues des nodules a été effectué sur milieu de culture spécifique YMA (Rangin *et al.*, 2008 ; Perrineau *et al.*, 2011). Au total, 49 souches ont pu être isolées ; parmi elles, 17 ont présenté, au laboratoire, une activité antagoniste envers le pathogène. Si la diversité phénotypique des souches isolées à partir des nodules des variétés de pois de printemps s'est révélée plus importante, l'activité antagoniste, lorsqu'elle a été observée, n'a pas pu être reliée spécifiquement à des variétés de pois de printemps ou d'hiver. En parallèle, une approche plus globale par extraction directe de l'ADN total des nodules et analyse métabarcoding est en cours. Elle a pour objectif d'évaluer le rôle du microbiome associé aux nodules de pois dans la sévérité du développement de la maladie engendrée par *A. euteiches*.

De nombreuses autres rhizobactéries peuvent également être promotrices de la croissance des plantes et sont connues comme biofertilisants potentiels et inducteurs de résistance des plantes. Dans un contexte horticole notamment, la biotisation des substrats par des agents microbiens de biocontrôle est une pratique innovante dans l'objectif de promouvoir la croissance des plantes mais aussi de les protéger contre certains pathogènes. Malheureusement les résultats ne sont pas toujours systématiques ni reproductibles (Mathre *et al.*, 1999). Il apparaît aujourd'hui important d'améliorer la performance et de calibrer l'usage de cette pratique. L'objectif du projet BCA-protect est d'identifier les conditions de culture favorables au développement des agents de biocontrôle pour une biotisation efficace des substrats et donc une protection assurée contre *Phytophthora parasitica*, tout en assurant une bonne croissance des plantes. Un essai en serre a été mené (en l'absence du pathogène) pour étudier l'influence de la méthode d'arrosage (immersion versus goutteurs), le type de substrats (fort ou peu drainant) et la dose d'inoculation sur le maintien des agents de biocontrôle (BCA) testés (*Trichoderma atroviride* et *Pythium oligandrum*) dans la rhizosphère des plantes. Le suivi de ces organismes a nécessité la mise au point de tests moléculaires de PCR en temps réel pour la détection et la quantification de *T. atroviride* et *P. oligandrum* dans les substrats. Ces outils ont ensuite été utilisés pour suivre l'évolution de *P. oligandrum* ou *T. atroviride* après inoculation dans les substrats. Le maintien des 2 BCA est effectif jusqu'à 3 mois de culture. Nous avons pu constater une influence du type de substrat sur le développement des 2 BCA. En revanche, le mode d'arrosage semble n'avoir que peu d'influence ; en particulier nous n'avons pas constaté de lessivage excessif avec un arrosage par immersion. De la même façon, le fait d'inoculer des doses plus importantes de BCA n'entraînent pas de développement significativement plus important des BCA. Il conviendra maintenant d'évaluer l'efficacité des produits testés pour lutter contre *P. parasitica* dans les conditions de culture les plus favorables identifiés ici. Des travaux sur l'utilisation en combinaison de ces microorganismes de biocontrôle sont actuellement en cours.

L'utilisation d'agents de biocontrôle en filière horticole, même si elle n'est pas toujours aisée, est de plus en plus répandue du fait des systèmes de production en conditions semi-contrôlées facilitant la mise en œuvre et l'efficacité des produits. Dans le domaine des grandes cultures, la question de l'utilisation de microorganismes stimulant la croissance et la défense des plantes est plus complexe, notamment du fait des difficultés liées aux conditions climatiques, la variabilité de l'état initial des sols, l'hétérogénéité spatiale,... Les travaux conduits dans le cadre de la thèse d'Erika Samain ont eu pour objectif d'étudier la durabilité de la résistance induite par l'inoculation de grains de blé avec *Paenibacillus* sp. souche B2 (PB2-IR) vis-à-vis de *Mycosphaerella graminicola*, agent responsable de la septoriose, l'une des principales maladies du blé. Cette étude a été conduite en prenant en compte le génotype de la plante, le stade de croissance et la souche de *M. graminicola*. 4 souches de *M. graminicola* et 11 cultivars de blé présentant un gradient de résistance à la maladie ont été testés. L'efficacité de protection par PB2 a été, en condition de laboratoire, de 55 à 94%.

Une étude en conditions de plein champ a permis de mettre en évidence une protection de 71 à 79% lorsque la souche est utilisée seule et pouvant aller jusqu'à 81 à 94% en association avec la moitié de la dose de fongicide recommandée (Cherokee®). Ainsi, l'effet antagoniste direct de PB2 sur *M. graminicola* observé au laboratoire et son effet sur l'expression des gènes impliqués dans la défense de la plante permettent à PB2-IR d'induire sur le blé une résistance importante et durable à *M. graminicola* (Samain *et al.*, 2019).

L'intérêt des souches susceptibles de coloniser les racines de la plante et conférer aux plantes une résistance aux maladies par exemple est un enjeu majeur pour accompagner la transition vers une agriculture moins consommatrice en pesticides. Dans ce contexte, la rhizosphère représente un réservoir idéal pour rechercher des agents de biocontrôle potentiels. Dans le cadre de la thèse de Pauline Lusley et du projet régional Licorne, 149 souches bactériennes ont été isolées de sols normands, sous trois couverts végétaux : pois (hôte sensible à *Aphanomyces euteiches*) et colza (non hôte), situés sur une même parcelle ; féverole (hôte résistant) sur une seconde parcelle. Des tests de

confrontation *in vitro* avec *A. euteiches* ont ainsi permis de mettre en évidence 17 isolats à effet biocontrôle potentiel contre le pathogène, principalement isolés sous couvert colza. Aucun isolat issu de la rhizosphère du pois, pourtant situé sur la même parcelle que la culture de colza, n'a démontré d'activité biocontrôle. Ces résultats confirment le rôle majeur du couvert végétal qui, de par ses exsudats racinaires, semble capable de sélectionner des microorganismes au bénéfice de la santé des plantes (Lusley *et al.*, en préparation). Ils soulignent par ailleurs l'intérêt à considérer les successions culturales et/ou les cultures associées comme levier agronomique pour la protection des cultures contre les agents pathogènes telluriques. Des travaux complémentaires sur l'identification des BCAs et la caractérisation de leurs activités chitinase, cellulase et protéase (...) permettront de mieux comprendre les mécanismes d'action de ces microorganismes. En parallèle, une analyse complète de la diversité du microbiome sous les 3 couverts sera réalisée dans l'objectif d'évaluer la potentialité de structuration par les couverts végétaux de communautés microbiennes à l'avantage de la lutte contre *A. euteiches*.

### Echelle de la parcelle

A l'échelle de la parcelle, de nombreuses études se sont attachées à décrire la suppressivité sélective de sols envers différents pathogènes. Plusieurs paramètres explicatifs, biotiques et abiotiques, ont été identifiés: le pH, la présence de cations comme Mg et K, la quantité d'azote total, la biomasse microbienne et son activité, la diversité et la structure des communautés microbiennes, la présence de certains taxa microbiens (Janvier *et al.*, 2007). Un travail précédent réalisé dans le cadre du projet régional PROLIN II avait permis de qualifier 24 parcelles cultivées en lin fibre selon la densité mesurée en pathogène *Verticillium dahliae* en lien avec le développement des symptômes de la maladie. En particulier, 3 patterns ont pu être soulignés : des parcelles supposées suppressives, réceptives et neutres. Dans le cadre du projet Licorne, notre objectif a été de mettre en lumière le rôle du microbiome du sol dans la gestion des phytopathologies. Pour cela, une approche de métabarcoding par séquençage haut débit a été déployée pour étudier les communautés bactériennes et fongiques. Les résultats obtenus indiquent une distinction significative des communautés microbiennes entre ces 3 parcelles, en particulier l'abondance relative de chacun des Operational Taxonomic Units (OTUs) détectés. Un focus particulier sur les genres microbiens reconnus comme biocontrôle envers *V. dahliae* (Deketelaere *et al.*, 2017) a montré des proportions globales plus importantes des genres bactériens *Bacillus*, *Streptomyces* et *Serratia* dans la parcelle supposée suppressive. De même, des proportions globales plus importantes des OTUs appartenant aux genres fongiques *Mortierella*, *Glomeromyces* et *Myrothecium*. Les différences observées au sein du compartiment biotique constituent probablement un des facteurs explicatifs du caractère suppressif/réceptif de ces sols vis-à-vis de la verticilliose (Bressan *et al.*, en préparation).

Les pratiques agricoles, si elles modifient l'abondance des microorganismes pathogènes dans les sols (Smiley *et al.*, 2013 ; Bressan *et al.*, 2016) et plus globalement, le microbiome du sol, sont également susceptibles d'affecter la qualité sanitaire des productions, (EFSA, 2014; 2015) notamment dans des contextes de maraîchage. Ainsi, les travaux conduits dans le cadre du projet Casdar Pathogreen ont montré que la contamination microbiologique des productions par des bactéries (*E. coli*, *E. coli* entérohémorragiques; *Salmonella* spp.), Parasites (*Cryptosporidium* spp) et/ou les Virus (norovirus humain GI et GII) pathogènes pour l'homme, sont peu rencontrés dans les salades issues de production normande. En effet, la plupart du temps, les prévalences de ces pathogènes étaient faibles, notamment pour les virus et les parasites, dans les conditions d'étude du projet Pathogreen. Cependant, les expérimentations menées en serre sur la contamination volontaire des salades par les bactéries *E. coli* et les Virus (phages MS2, système modèle pour l'infection virale) via l'eau d'irrigation ou par contact direct avec les feuilles de salades, ont montré que ces microorganismes ont les ressources nécessaires pour survivre, par adhésion et internalisation, dans les feuilles et les

racines des salades, ce qui pourrait engendrer des situations sanitaires préoccupantes (thèse Mathilde Camiade Juillet 2019).

Lors de la production primaire des salades, la maîtrise de la qualité de l'eau d'irrigation constitue le principal point d'attention. Il est ainsi recommandé de réaliser une analyse microbiologique de la qualité de l'eau utilisée en production des salades. *E. coli* peut alors être considéré comme un organisme indicateur adéquat pour témoigner de la survenue d'une contamination fécale ; les analyses de la présence ou non d'*E. coli* dans les sources d'eau d'irrigation peut être réalisée facilement à partir de kits disponibles dans le commerce. Par ailleurs, une bonne hygiène générale des sites de production, du matériel et du personnel (des mains par exemple) lors de la manipulation des salades reste un élément clé lors des étapes de récolte, de commercialisation et de préparation, en vue de garantir la sécurité sanitaire des salades.

## Axe 2 – Processus de biodisponibilité des éléments

La biodisponibilité des éléments d'un sol peut être définie comme la capacité de ces éléments à être assimilés par les plantes, la faune ou les microorganismes telluriques ; un proxy-indicateur souvent utilisé consiste en la quantification de la quantité soluble de l'élément étudié. Les mécanismes écologiques responsables de la biodisponibilité des éléments résultent de l'état physique, chimique et biologique des sols. La mise en œuvre d'études pédo-paysagère et édaphique, combinant relevés de terrain, caractérisations de laboratoire et expérimentations en conditions contrôlées permettent de progresser dans la connaissance des facteurs de mobilité/biodisponibilité. Cette approche a été mise en œuvre dans l'écosystème spécifique des collines cuprifères de l'Arc katangais au Congo où la question de la biodisponibilité de Cu et Co a été étudiée dans le cadre d'une collaboration avec l'Université de Liège (Belgique). Les résultats obtenus par Donato Kaya Muyumba (Thèse Université Liège Juin 2019), ont confirmé l'importance des teneurs solubles et/ou disponibles en métaux ainsi que le rôle possible d'autres facteurs (topographiques, physiques...) sur le déterminisme paysager (Kaya *et al.*, 2019a).

L'utilisation de mini-lysimètres combinée à des tests de sorption en laboratoire ont mis en évidence la mobilité verticale et latérale du Cu et Co dans ces écosystèmes. Si la composition chimique des roches métallifères est un facteur majeur de la libération des métaux dans la solution du sol, les propriétés physico-chimiques du sol, en particulier le pH et le taux de matières organiques, conditionnent leur devenir, notamment à travers les processus de sorption (Kaya *et al.*, 2019b).

Ces propriétés physicochimiques des sols sont susceptibles d'être modifiées par des apports exogènes de nature à moduler les teneurs en C, le pH et la porosité des sols (...). Des approches en pots ont notamment permis de montrer un effet de l'apport de biochar sur la production de biomasse (laitue, pensées, basilic). Cet effet s'est révélé dépendant des propriétés physiques et chimiques des biochars étudiés. Ainsi, la production de biomasse a été stimulée par des biochars de faible densité et forte porosité (basilic et laitue). Au contraire une augmentation de pH du biochar a eu un effet restrictif sur la production de biomasse (laitue, pensées) de même que sa conductivité électrique (basilic). La connaissance des relations entre les caractéristiques physique et chimique des biochar et leur effet sur la croissance est importante pour permettre de sélectionner les biochars les mieux adaptés à un milieu de culture dans des contextes horticoles.

Par extension, l'application au champ de ces nouveaux amendements nécessite d'approfondir notre compréhension des interactions caractéristiques chimiques et physiques des biochars versus les propriétés et fonctions des sols, en lien avec la disponibilité des éléments. Ces questionnements font notamment l'objet de 2 projets en cours au sein de l'unité (FUI Biochar et ETN REFLOW). Dans le cadre de ces projets, l'accent sera mis sur l'impact de l'apport de nouveaux produits (biochars, hydrochar) sur la disponibilité en éléments nutritifs ; la disponibilité en Phosphore (P) sera tout particulièrement étudiée.

Ces deux projets s'intègrent dans les démarches d'économie circulaire et de gestion efficace des ressources. Ils visent à contribuer au bouclage des cycles biogéochimiques par le retour au sol d'éléments nutritifs issus de matières ou matériaux auparavant non ou mal valorisés.

Ainsi, dans les sols agricoles, les processus de biodisponibilité des éléments nutritifs Azote (N) et Phosphore (P) font l'objet de nombreuses recherches, en lien avec la nécessité de réduire les apports exogènes d'éléments fertilisants. Différentes approches sont développées au sein de cet axe de recherche pour une meilleure compréhension des processus de biodisponibilité des éléments :

- La valorisation de matières organiques d'origine résiduaire présentant des effets fertilisants. C'est le cas notamment des boues de station d'épuration riches en P et qui, d'après les résultats obtenus peuvent permettre un apport en P aussi efficace qu'un apport de P inorganique (Houben *et al.*, 2019). Néanmoins, la teneur initiale en P et les formes de P dans les boues, restent des éléments majeurs dans la biodisponibilité de cet élément pour la culture et/ou la microflore du sol.
- Les traits racinaires des plantes sont des caractéristiques intrinsèques importantes pour l'acquisition des éléments nutritifs. Ainsi, la comparaison de 3 plantes (blé, orge et canola) a révélé des stratégies différentes. En présence de source de P peu disponible, le blé et l'orge développent une longueur de racine spécifique plus grande leur permettant une efficacité équivalente pour l'acquisition de P d'origine minérale ou organique, en lien avec une production plus importante d'acide carboxylique. Le canola quant à lui, avec une activité phosphatase acide plus forte, parvient à mobiliser une part de P organique plus importante en comparaison avec une source de P minérale (Nobile *et al.*, 2019).
- Au-delà des traits racinaires, la rhizodéposition de l'azote et du carbone influence la dynamique de la matière organique à l'échelle de la rhizosphère. Dans le cadre de la thèse de Mohamed Kante, la rhizodéposition de l'azote a été estimée par une approche de marquage isotopique. Les plantes ont été enrichies en <sup>15</sup>N par immersion de tissus aériens (pétiole/feuille) dans une solution d'urée concentrée à 0,5% et enrichie <sup>15</sup>N (98% d'excès isotopique). Les résultats de la mesure de la rhizodéposition d'<sup>15</sup>N montrent après 14 jours de marquage, des quantités de <sup>15</sup>N supérieures dans les parties aériennes et souterraines du pois comparativement au blé et au colza. Cette différence de rhizodéposition s'explique par la capacité du pois en tant que légumineuse à fixer l'azote atmosphérique et par un faible besoin du pois d'utiliser l'azote du sol (Khan *et al.*, 2002 ; Mahieu *et al.*, 2009). Un travail est en cours pour mettre au point la quantification de la rhizodéposition C et N, par une approche de marquage isotopique sur un même échantillon.
- L'identification de microorganismes capables de solubiliser des éléments peu disponibles tels que le P ou le Potassium (K). Dans le cadre de la thèse de Charlotte Amy et du projet Epure, des bactéries rhizosphériques ont été isolées sous une culture de colza, de pois d'hiver et de féverole. Elles ont ensuite été criblées sur la base de leurs capacités à solubiliser du phosphore complexé (tri-Ca-P), à utiliser une source organique de P (phytate), à synthétiser des sidérophores, produire des acides organiques, du cyanure d'hydrogène, de l'Acide Indole Acétique (IAA). Ce criblage ayant pour objectif à la fois d'élucider les mécanismes d'action possibles de solubilisation du P mais aussi de mettre en lumière une action directe potentielle sur la croissance des plantes. Les résultats ont montré que l'indice de solubilisation du P complexé au calcium (Ca) est plus important pour les souches isolées sous colza qui présente l'exigence en P la plus élevée. *A contrario* l'efficacité de solubilisation du phytate ne semble pas liée à l'exigence de la plante mais plutôt à des facteurs environnementaux. De plus, le colza semble favoriser des productrices de sidérophores (PSB) par comparaison aux deux légumineuses. De la même manière le colza favorise des souches productrices d'IAA plus efficaces que celles retrouvées sous pois et féverole, bien qu'en proportion plus faible. L'identification des souches par séquençage a révélé une diversité plus élevée sous couvert de colza. Ces résultats suggèrent que le besoin en P des couverts végétaux représente un facteur de sélection de la communauté solubilisatrice de phosphore (PSM) associée à la rhizosphère. L'exigence importante en P du colza semble conduire à la sélection et au recrutement de bactéries bénéfiques possédant un haut potentiel de solubilisation de cet élément.
- Le changement dans les rotations et notamment l'introduction de cultures fixatrice d'azote est susceptible de modifier la biodisponibilité des éléments, celle de l'azote bien sûr mais également

celle du phosphore. Dans le cadre de la thèse de Cyrine Rezgui (projet régional Vivepois), nous avons cherché à évaluer les effets sur le fonctionnement du cycle de N, de la substitution de la culture de colza par celle de pois d'hiver en tête de rotation. Ces effets ont été observés notamment sur les cultures suivantes : blé et orge. La culture de pois, par sa capacité à fixer l'azote atmosphérique a bien un effet sur la dynamique de l'azote. 2 ans après la récolte du pois et du colza, et malgré une gestion équivalente de la fertilisation pour le blé et l'orge qui ont suivi, le reliquat sortie d'hiver est plus important pour l'anté-précédent pois quelle que soit la fertilisation sur les cultures suivantes. Ce travail est actuellement complété par une estimation des pertes d'azote dans les parcelles étudiées via une modélisation agronomique (Stics) (Rezgui *et al.*, en préparation).

L'ensemble des travaux réalisés dans le cadre de l'axe 2 concernant les **processus de biodisponibilité des éléments** montrent l'intérêt croissant dans l'étude des indicateurs d'état chimique, physique et plus particulièrement biologique des sols, que ce soit pour des questions liées à la connaissance du fonctionnement de la biodiversité dans un environnement physicochimiques changeant, ou pour être en mesure de piloter la biodiversité du sol dans le cadre de pratiques agro-écologiques (e.g., biocontrôle des phytopathologies, nutrition des plantes). Ces indicateurs constituent en effet un prérequis pour proposer des pratiques améliorantes garantant le bon fonctionnement des sols agricoles.

### Axe 3 – Quantification et modélisation des transferts

Parmi les fonctions des sols, sa capacité à réguler et épurer l'eau est une conséquence des propriétés hydrogéologiques, des modalités de gestion des sols et des territoires. Dans ce contexte, comprendre le déterminisme de l'état physique, chimique et biologique des sols et ses conséquences en termes de transfert et circulation de l'eau, d'un point de vue à la fois quantitatif et qualitatif est un enjeu majeur.

#### **Déterminisme de l'état biologique des sols**

Parmi les paramètres influençant les communautés microbiennes des sols, la rhizodéposition occupe une place importante et les interactions plantes-microorganismes qui découlent de ce processus de rhizodéposition entraînent des bénéfices réciproques aux protagonistes (Mylona *et al.*, 1995) mais la compréhension de ces mécanismes demeure limitée. Dans le cadre des travaux de thèse de Cyrine Rezgui et Mohamed Kanté, différents essais ont été mis en place pour tester différents dispositifs (cotton wick, split root, rhizom) dans le but de quantifier et de caractériser les exsudats racinaires de différentes espèces végétales (pois, blé et colza) et d'estimer leurs effets sur les communautés microbiennes du sol. Les dispositifs choisis permettent une collecte des exsudats racinaires en sol, ce qui a engendré une difficulté dans l'identification des molécules excrétées par les plantes dans les échantillons collectés, en cause la forte interférence de la matière organique du sol dans l'analyse des exsudats racinaires. Un dispositif en hydroponie sera finalement privilégié pour la collecte et la caractérisation des exsudats racinaires (W. Riah-Anglet, S. Firmin). En ce qui concerne l'étude des communautés microbiennes influencées directement par l'exsudation ou plus globalement par la rhizodéposition, une approche par DNA SIP est en cours de développement et devrait permettre de mieux discriminer les communautés microbiennes et identifier des fonctions potentielles d'intérêt par la quantification notamment des gènes fonctionnels du cycle de l'azote.

Ces travaux ont pour objet de pouvoir contribuer à l'optimisation des pratiques agricoles par une meilleure compréhension de l'effet du couvert végétal sur la composition et les activités des microorganismes du sol. Ce questionnement devient d'autant plus complexe lorsqu'il s'agit d'évaluer

les effets des pratiques agricoles incluant le couvert, le travail du sol, les stratégies de fertilisation (apports organiques et/ou minéraux), la gestion des résidus de culture, la gestion de la santé des plantes (...) sur le compartiment microbien. C'est l'objectif que nous nous sommes fixé dans le projet casdar Microbioterre qui vise à référencer des indicateurs de microbiologie des sols pour les intégrer au menu des analyses de terre de routine proposé par les laboratoires d'analyse. L'an passé, 200 échantillons avaient été prélevés dans des sites agricoles expérimentaux répartis sur l'ensemble du territoire français ; 17 paramètres (microbiologie, caractérisation de la matière organique des sols) ont été mesurés. Le premier niveau d'analyse des données, réalisée cette année, a permis de mettre en évidence des indicateurs liés aux apports organiques (C labile, pH, activité arylamidase, biomasse microbienne), au couvert en culture intermédiaire (fractions granulométrique du C, biomasse microbienne) et au travail du sol (fraction granulométriques du C, C labile, activité protéase).

### Propriétés hydrogéochimiques

#### Exemple des terres rares

Les éléments de terres rares sont des contaminants émergents dans l'hydrosphère, mais le rôle des oxyhydroxydes de manganèse hydratés (HMO) dans le transport des terres rares dans les eaux souterraines reste inconnu. Dans le cadre de la thèse de Haiyan Liu (soutenue en mai 2018) des eaux souterraines ont été échantillonnées le long d'une trajectoire d'écoulement dans la plaine de la Chine du Nord afin de déterminer le comportement de la complexation de surface des oxydes de Mn vis-à-vis des terres rares (Liu *et al.*, 2019). Celle-ci a été complétée par une approche de modélisation. Les résultats montrent que la proportion de néodyme (Nd) complexé par les oxydes de Mn varie de 0,2% à 95,8% et de 0,3% à 99,6% dans les eaux souterraines peu profondes et les eaux souterraines profondes, respectivement. La quantité de terres rares complexées augmente le long du trajet d'écoulement. Les REE liés aux oxydes de Mn présentent des tendances à la baisse avec l'augmentation du nombre atomique. Il a été déterminé que le processus était indépendant du pH, de la teneur en oxydes et de la charge en métal. Ce résultat démontre également que la complexation terres rares/oxydes de Mn joue un rôle clé dans le transport des terres rares dans les eaux souterraines. Néanmoins, les ligands carbonates semblent être des concurrents puissants dans la réduction de la quantité de terres rares adsorbée sur les oxydes de Mn lorsque le pH de la solution dépasse 8.

Pour mieux le comprendre, des échantillons d'eau souterraine ont été collectés avant et après l'injection de CO<sub>2</sub> (Rillard *et al.*, 2019). L'injection de CO<sub>2</sub> a initialement réduit le pH de l'eau de 7,3 à 5,7, ce qui a conduit à l'enrichissement en ions majeurs (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et alcalinité) et en métaux traces dissous (y compris Fe, Mn, As et Zn) dans les eaux souterraines. Les concentrations en terres rares ont également été mesurées dans ces échantillons avant et après la perturbation au CO<sub>2</sub>, afin d'évaluer leur comportement. Un enrichissement total en terres rares s'est produit. Le fractionnement des terres rares été observé avec un enrichissement plus élevé en terres rares lourdes par rapport aux terres rares légères. Le modèle géochimique, développé précédemment, a été utilisé pour évaluer la quantité de terres rares complexée au cours de l'expérience. La modélisation des résultats a montré que la spéciation des terres rares dissoutes avec du carbonate, ainsi que la désorption de la surface des oxyhydroxyde de fer, constituaient les principaux facteurs contrôlant le comportement des terres rares. Cette étude permet de mieux comprendre le comportement des terres rares dissoutes dans l'environnement et l'utilisation potentielle de l'application d'oxydes de fer pour la récupération des terres rares des eaux de drainage des mines.

Les communautés végétales influencent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols elles-mêmes responsables des propriétés hydrogéologiques des sols. Le développement d'une approche basée sur les traits fonctionnels des végétaux permet de mieux comprendre les effets directs de la végétation sur le ruissellement érosif et la rétention des sédiments qui sont des enjeux

majeurs sur un certain nombre de territoire. L'effet des traits racinaires a été évalué à l'aide d'un simulateur d'érosion. Les résultats ont montré que l'efficacité des aménagements végétaux pour lutter contre l'érosion dépend tout particulièrement de la surface foliaire, la densité et le diamètre des tiges (Kervroedan *et al.* 2019). Ces résultats sont particulièrement importants pour la conception des aménagements antiérosifs pour lesquels, les choix de végétation doivent permettre le meilleur compromis entre ces principaux traits fonctionnels. De même, la modélisation de l'efficacité des aménagements antiérosifs devra prendre en compte les interactions entre ces traits racinaires et la rugosité hydraulique pour estimer les flux hydriques et les capacités de rétention des sédiments.

#### ▪ *Projets déposés en 2019*

Au cours de l'année 2019, de nombreux appels à projets au cœur des thématiques de l'unité ont été publiés. Cela a engendré une dynamique remarquable dans l'écriture de projets puisque 28 projets ont été déposés : 21 projets par l'équipe de Rouen et 7 par l'équipe de Beauvais.

Parmi ces projets, 8 ont été acceptés. Ils sont présentés dans l'annexe 2. Parmi eux, les projets PROVEG et Soja Made in Normandie permettront des partages de compétences entre les deux équipes de l'unité AGHYLE et avec les membres de l'unité INTERACT.

Six projets n'ont pas été retenus pour financement, ils sont présentés dans l'annexe 3.

Enfin, 14 projets sont encore en cours d'évaluation, ils sont présentés dans l'annexe 4.

#### ▪ *Ressources Humaines*

##### Recrutement personnel permanent :

- Babacar Thioye, Dr. en Biotechnologies Végétales et Microbiennes et Amélioration des plantes - recruté en tant que CR contractuel le 18 juin 2018 dans le cadre du projet Mycoagra, Babacar a bénéficié d'une titularisation dans le cadre d'un poste d'Enseignant Chercheur en Agro-écologie en avril 2019.

##### Recrutement personnel contractuel :

- Léa Kervroédan, Dr en Ecologie végétale de l'Université Picardie Jules Verne - Amiens ; Chargée d'enseignement en écologie - janvier 2019 à juin 2020.
- Erika Samain : Dr en Biologie végétale de l'Université Picardie Jules Verne - Amiens ; Chargée de recherche en biologie végétale - juillet 2019 à juin 2020.
- Elodie Cusset : Master en Sciences, Technologies, Santé - Mention Biologie Végétale – Parcours type Ecologie Végétale et Environnement de l'Université Toulouse III – Paul Sabatier ; Ingénieur de recherche analyse de données, projet MICROBIOTERRE - 20 mai 2019 – 31 août 2020
- Claire Bildstein, Ingénieur UniLasalle ; Ingénieur de recherche – 07 octobre 2019 au 06 avril 2020 .

##### Départs :

- Marie Sauvadet, Enseignant Chercheur en Agro-écologie. Départ fin février 2019.
- Cécile Nobilé, Chargée de recherche en agro-écologie. Fin du contrat en novembre 2019.

Au-delà de ces arrivées ou départ physiques de membres du personnel, il est important de souligner que plusieurs membres de l'unité AGHYLE ont pris des responsabilités en enseignement. Pour AGHYLE Rouen, Marc Legras a été nommé au poste de Directeur des formations pour le campus de Rouen, Adrien Gauthier a pris la responsabilité de la première année du programme international i-

SAFE qui a ouvert en septembre 2019 sur le campus de Rouen. Pour AGHYLE Beauvais, David Houben est devenu responsable de l'équipe Sciences Agronomiques & Environnement du collège Agrosiences ; Anne-Maïmiti Dulaurent et Jessica Bonhoure ont pris la responsabilité respectivement de la 4<sup>ème</sup> année de formation en Agronomie et Agro industrie et de la 3<sup>ème</sup> année de la formation géologie sur le campus de Beauvais.

#### ▪ *Soutenance de Thèses*

- Erika Samain - Etude des interactions PGPRs/génotypes de blé tendre dans la lutte contre la septoriose. Soutenance le 18 juin 2019. Université Picardie Jules Verne – Amiens.
- Mathilde Camiade - Persistance de bactéries entériques antibiorésistantes ou pathogènes sur des végétaux de consommation humaine (modèle : la laitue). Soutenance le 9 juillet 2019. Université de Rouen.

#### ▪ *Accueil de nouveaux doctorants*

- Issifou Amadou. Comprendre le rôle des formes de phosphore sur l'efficacité des sources de phosphore renouvelable pour améliorer la disponibilité du phosphore. Bourse Région Hauts de France (1<sup>er</sup> Octobre 2019 au 1<sup>er</sup> Octobre 2022). Thèse dirigée par Michel Pierre Faucon, encadrée par David Houben.
- Doudou Thianguou. Compréhension hydrogéologique de la nappe de la Craie. Bourse Sénégal (1<sup>er</sup> novembre 2019 – 31 octobre 2022). Thèse co-dirigée par Dr. Lahcen ZOUHRI (UniLaSalle) co-directeur / Pr. Serigne FAYE (Université Cheikh A. DIOP de Dakar, Sénégal) (depuis 12/11/2019)

#### ▪ *Acquisition de nouveaux équipements*

Dans le cadre du projet RIN Normandy Plant Technology, un financement régional a été acquis pour finaliser la station de phénotypage de la Plateforme agrosience, nutrition & santé des plantes NORMAND SERRE située sur le campus de Rouen. Les travaux entrepris concernent la rénovation de la station de phénotypage avec notamment le remplacement du système automatisé, l'amélioration du système d'acquisition par l'installation d'un capteur hyperspectral VNIR, de son logiciel d'acquisition et de traitement des données.

Ce travail a en outre permis une collaboration avec l'ESIGELEC par l'accueil et l'accompagnement d'un d'un groupe d'élèves ingénieurs en automatique et robotique industrielle qui réalise actuellement une évaluation des performances de la plateforme de phénotypage.

#### ▪ *Expertises*

Les chercheurs de l'unité ont contribué à la review de plus de 100 articles : [https://publons.com/researcher/?institution=433861&is\\_core\\_collection=1&order\\_by=verified\\_reviews\\_performed\\_last\\_12\\_months](https://publons.com/researcher/?institution=433861&is_core_collection=1&order_by=verified_reviews_performed_last_12_months)

Expertise pour 2 dossiers de thèses CIFRE en mars et décembre 2019 - sollicitation de l'ANRT – Olivier Pourret.

Evaluation d'une demande de financement de thèse « Persistance et vulnérabilité du carbone nouvellement stocké dans les sols » - sollicitation de AgroParisTech – Isabelle Gattin.

#### ▪ *Accueil chercheurs étrangers*

Accueil de Dmytro Kosiachevskiy - doctorant à l'Ecole Normale Supérieure de Paris au sein du Laboratoire de Mécanique et Technologie, sous la direction de Mohend Chaouche et Kamilia Abahri,

thèse CIFRE avec l'entreprise PAREX Lanko, impliquée dans la chaire d'entreprise AMBIOS (Unité T&A, équipe VAM<sup>2</sup>IN) – Lisa Castel.

Le laboratoire Aghyle a été sollicité pour caractériser des communautés bactériennes et fongiques présentes sur des matériaux biosourcés afin d'appréhender au mieux la durabilité des matériaux et mortiers biosourcés utilisés pour des travaux d'isolation ou de rénovation de bâtiments. En effet, pendant le processus de fabrication du mortier biosourcé (liant minéral + fibres végétales), un développement de micro-organismes peut être observé. Aujourd'hui, l'origine de ces microorganismes (agroressource ou environnement) reste encore largement inconnue. Une extraction d'ADN sur les agroressources et sur des mortiers biosourcés colonisés a été réalisée en vue d'une analyse métagénomique. Les résultats ont montré que certaines populations de bactéries ou champignons sont communes au matériau source et au mortier associé. Toutefois, des populations sont uniquement présentes sur les fibres végétales et sur les matériaux fabriqués. Les micro-organismes présents sur les mortiers n'ont donc pas une provenance exclusivement due à son matériel de départ. Le processus de fabrication et de transformation, ainsi que les conditions de stockage du mortier ont un rôle important dans le développement des micro-organismes présents sur le mortier.

#### ▪ **Mobilité internationale de chercheurs de l'unité**

Babacar Thioye : Mobilité de 2 semaines, du 25 novembre au 6 décembre 2019 à l'Université de Cranfield.

Animation d'un séminaire : « How can we take advantage of the arbuscular mycorrhiza symbiosis in agriculture? »

Entretiens avec les chercheurs : **Dr Ruben Sakrabani** (Senior Lecturer in Soil Chemistry), **Dr Mark Pawlett** (Senior Research Fellow in Soil Biology), **Prof Wilfred Otten** (Professor of Soil Biophysics), **Dr Jacqueline Hannam** (Senior Research Fellow in Pedology), **Dr Paul Burgess** (Reader in Crop Ecology and Management) et **Prof Guy Kirk** (Professor of Soil Systems) sur de futures collaborations scientifiques, des approches pédagogiques mais aussi sur l'opportunité à nos élèves-ingénieurs de compléter leur formation par l'obtention d'un double-diplôme à l'université de Cranfield.

#### ▪ **Obtention de distinctions – prix**

- 2 Prix publons « reviewer » Olivier Pourret Septembre 2019

#### ▪ **Formation pour et par la recherche**

- Encadrement mémoire initiation à la recherche en Géologie 3A et Option recherche en Géologie 4 et 5A.
- Spring Semester Water Management : Janvier- Mai 2019 - 15 étudiants internationaux. Romain Armand, Michel-Pierre Faucon, David Houben, Maïmiti, Olivier Pourret, Carolina Ugarte
- Erasmus Mundus Plant Breeding : Octobre 2018 - Mai 2019 - Environ 25 étudiants impliqués Alicia Ayerdi-Gotor, Sameh Selim, Guérolé Boulch, Bastien Lange, David Houben
- Module Bioindicateur d'état des sols : Mars 2019. L'objectif de ce module mis en place pour la première fois en 2019 était d'appréhender concrètement différents indicateurs biologiques de l'état des sols, de comprendre la mise en place d'un design expérimental au champ, de sensibiliser les étudiants à la complexité de la gestion de données en agronomie, notamment lorsque la base de données intègre des données qualitatives et quantitatives, d'accompagner les élèves ingénieurs dans la compréhension de l'intérêt des indicateurs biologiques des sols et la découverte de leurs principales limites. 20 étudiants ont participé à

ce module de 2 semaines organisé pour la moitié de sa durée au sein des laboratoires de recherche de l'unité AGHYLE. L'ensemble des membres de l'équipe AGHYLE Rouen a été impliqué dans ce module, y compris le personnel technique qui a fortement contribué à la bonne réussite de ces deux semaines. Parmi les livrables demandés aux étudiants à l'issue de ces 2 semaines, une vidéo de présentation du module a été réalisée, elle peut être visionnée en suivant le lien : <https://www.unilasalle.fr/actualites/agronomie-des-eleves-ingenieurs-ont-etudie-les-bioindicateurs-de-letat-des-sols>

#### ▪ **Formation professionnelle suivies par les membres de l'unité**

- Anglais : Tous les membres de l'équipe AGHYLE Rouen ont suivi en 2019 une formation en anglais organisée dans le cadre de la mise en place de la formation d'Ingénieur International Sustainable Agri-Business & Food Engineering (i-SAFE) à raison de 2 à 3h hebdomadaires en cours individuel ou de groupe.
- Formation à l'encadrement des doctorants organisée par l'Association Bernard Grégory. Cette formation permet de se familiariser avec les fondamentaux du management, les appliquer à l'encadrement des doctorant(e)s et de disposer d'outils managériaux pour développer l'autonomie des doctorant(e)s et éviter des situations critiques dans l'encadrement. Elle a eu lieu les 23 et 24 avril 2019 à Paris et a été suivie par 3 membres de l'unité : Wassila Riah-Anglet, Adrien Gauthier et Nadia Laurent.

#### ▪ **Construction de partenariats**

La construction de partenariat s'est faite à travers différentes stratégies :

##### Organisation de séminaires :

- « Etats souhaitables pour les fonctions de stockage et minéralisation de la matière organique dans les sols agricoles » - AGHYLE Campus Rouen, Partenaires du projet Casdar MICROBIOTERRE – 16 & 17 avril 2019.
- « AgFood, Environment & Health » - AGHYLE campus Rouen, Université Cranfield, Université de Parme – 6 & 7 juin 2019.
- Journées SFR Norvege - Centre SEVE – SFR NORVEGE, Université de Rouen, UniLaSalle, Université de Caen, Université de Sherbrooke, IRDA -Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Université du Québec à Trois-Rivières, Université Laval, Université de Montréal, Biotechnologie Ulysee – 3 & 4 juillet 2019.
- Workshop « transition Agroécologique » - AGHYLE Campus Beauvais, SFR Condorcet, Université de Reims, Université Picardie Jules Verne, Liège Université. 90 participants - 18 octobre 2019

##### Participation à des groupes de travail et/ou réseaux nationaux ou internationaux :

- Groupe de travail national sur l'évaluation des services écosystémiques des sols agricoles et urbains - W. Riah-Anglet
- Groupe Biointrants du pôle IAR – M. Bressan
- RMT Elicitra – A. Gauthier
- RMT Sol & Territoires, renouvelé en 2019 sous le même nom – R. Armand
- RMT Fertilisation & Environnement, renouvelé en 2019 sous le nom RMT Bouclage : Recyclage, Fertilisation et Impacts environnementaux – I. Gattin

#### ▪ **Nouveaux partenariats académiques**

Dans le cadre de la thèse de Cyrine Rezgui, une approche expérimentale pour la collecte, la quantification et la caractérisation des exsudats racinaires a été mise en œuvre. Ce travail implique les deux équipes de l'unité AGHYLE et a permis la mise en place d'une collaboration avec le Dr.

Arnaud Lanoue de l'Université de Tours (Laboratoire de Biomolécules et Biotechnologies Végétales - EA 2106).

#### ▪ **Relations entreprises**

La construction de nouveaux projets en 2019 a permis l'émergence de nouveaux partenariats avec des entreprises. Il s'agit en particulier de Sodeleg (Leader Européen de la déshydratation d'oignons Jaunes), Veragrow (Producteur et vendeur de lombricompost et thé de compost), Agrauxine (business unit de Lesaffre dédiée à la protection des plantes), AGRIAL (groupes coopératifs agricoles et agroalimentaires).

D'autres plus anciennes ont vu des concrétisations spécifiques au cours de l'année 2019. C'est le cas notamment de l'entreprise Lallemand Plant Care avec laquelle nous avons développé le projet « stratégies post désinfection des sols ». Il porte sur l'étude de l'impact des stratégies de désinfection des sols en contexte maraîcher sur la fertilité des sols. Ce projet préfigure un travail collaboratif pluriannuel qui devrait se matérialiser par un partenariat de type chaire d'entreprise autour des bio-intrants pour les sols, la nutrition et la santé des plantes.

Au-delà des relations entreprises, les chercheurs de l'unité entretiennent des échanges avec un large panel d'instituts techniques qui sont impliqués dans les différents projets de recherche : Arvalis (Thibault Deschamps), Astredhor (Marc-Antoine Cannesan, Jean-Marc Deogratias), Sileban (Jacques Dubois, Pauline Boutteau), CRAN (Yohan Navasse)...

#### ▪ **Valorisation**

##### **Livrables des projets**

- **Projet PATHOGREEN (W. Riah-Anglet) : mise en place de différents outils pour accompagner les producteurs de salade :**
  - Guide Pathogreen portant sur les risques microbiologiques et les bonnes pratiques agricoles et d'hygiène en production de salades plein champ
  - Mallette pédagogique : affiches et posters sur les bonnes pratiques agricoles et les bonnes pratiques d'hygiène
  - Pathogreen Tool : un outil de diagnostic pour aider les producteurs à cibler les situations à risque vis-à-vis des microorganismes pathogènes en production de salades afin d'identifier des points de vigilance pour éviter et / ou limiter la contamination des salades en plein champ selon les contextes de production.
  
- **Projet EPURE : rendu du rapport final du projet – 18 décembre 2019 – I. Gattin**
  
- **Projet VIVEPOIS : rendu du rapport final du projet – 30 septembre 2019 – W. Riah-Anglet**
  
- **Projet LICORNE : rendu rapport final du projet – 31 octobre 2019 – M. Bressan**

##### **Vulgarisation & Communication sur nos activités de recherche**

- « Efficacité des agents de biocontrôle issus de la rhizosphère: Exemples, freins, leviers » - Conférence invitée pour la journée Biocontrôle, Pôle légumes – Arras, 6 Mars 2019 – M. Bressan, S. Selim.

- « Biodiversité microbienne des sols et valorisation de leur potentiel au bénéfice des plantes (santé et nutrition) » - Conférence invitée : Journée de l'Agro-écologie – Belleville en Caux, 6 juin 2019 - M. Bressan.
- « Réduction des intrants et nutrition des plantes » — Conférence invitée Session 1 - Workshop 1,3 du Sommet AGRI Innovation, 25 & 26 juin 2019 à Lisieux - I. Gattin.
- Table Ronde de la Journée Technique « Nouvelles Solutions de Biocontrôle et Biostimulation », co-organisée par le pôle IAR et RITMO, 17 septembre 2019 à Paris – M. Bressan.
- « Des sols et des plantes pour vivre » - 14 novembre 2019 – Conférence lors de la 16e édition du Festival les Photaumnales – Le Quadrilatère, Beauvais - M.- P. Faucon.
- "Dangerosité des substances chimiques du quotidien" - 22 novembre 2019, 19 à 22h - conférence lors d'un Café-débat organisé par l'Union Régionale des Centres Permanents d'Initiatives pour l'Environnement de l'Oise. Café associatif « L'écume du jour » - S. Firmin.
- Table Ronde de la Journée Technique « Evoluer ensemble et construire l'agriculture de demain », Organisée par la Chambre Régionale d'Agriculture du Centre Val de Loire : « Valorisation de la biodiversité microbienne des sols au service de la nutrition et de la santé des plantes » - 3 décembre 2019 à Nouan-le-Fuzelier – M. Bressan.
- Bernard P.-Y. 2019. Le rôle des sols dans les cycles biogéochimiques. Textes et Documents pour la Classe n°1124, Agrosystèmes : la nature à notre service ? pp 22-25.

5 Articles de vulgarisation scientifique par Olivier Pourret sur Science Trends :

- Pourret O. 2019. Vanadium in shallow groundwaters: a potentially dangerous pollutant? Science Trends.
- Pourret O. 2019. Rare earth elements from manganese oxide rich sediments: some new evidences of extraction and separation. Science Trends.
- Pourret O. 2019. Acid mine drainage: a huge problem around abandoned mines. Science Trends.
- Pourret O. 2019. New insights into the aqueous chemistry of tetravalent cerium. Science Trends.
- Pourret O. 2019. New insights on aquifer perturbation after CO2 injection as illustrated by rare earth element behavior. Science Trends.

### Articles Scientifiques

24 articles scientifiques ont été publiés en 2019 en lien avec les travaux de l'unité. La liste est présentée en annexe 5.

### Communications orales

1. Amy C, Bressan M, Prud'homme M-P, Trinsoutrot-Gattin I, Coquerel R, Laval K, Avice J-C. 2019. Impacts of phosphate limitation and its interactions with nitrogen fertilization on the agronomic performances and nutrient use efficiencies of rapeseed. Journées Scientifiques de la Fédération de la Recherche NORVEGE, Rouen, France. 28-29 Mai 2019.

2. Amy C., Bressan M., Laval K., Avice J-C. 2019. Are culturable Phosphate Solubilizing Bacteria diversity and efficiency shaped by plant cover requirements? Root days, Mont Saint-Aignan, France. 19 et 20 septembre 2019.
3. Bonhoure J, Pourret O, Corbineau L, Feneyrol J, Bosc R. 2019. Le gisement manganifère latéritique de Biniomi (Gabon). ASF, Beauvais, France. 21-25 octobre.
4. Deschamps T, Bouthier A, Chaussod R, Cusset E, Houot S, Laurent N, Le Net J, Leclerc B, Perrin A-S, Recous S, Riah-Anglet W, Roussel P-Y, Trinsoutrot-Gattin I, Valé M. 2019. Evaluation sur des essais au champ d'indicateurs de microbiologie des sols: Premiers résultats du projet MICROBIOTERRE. 14<sup>ème</sup> Rencontre Comifer-Gemas, Dijon, France. 20-21 Nov 2019.
5. Destrebecq A, Sayen S, Pourret O, Guillon E. 2019. Biodisponibilité des agents de contraste à base de gadolinium dans les sols de grandes cultures. Journées Condorcet, Reims, France. 25-27 juin 2019.
6. Dulaurent AM, Daoulas, Houben D. 2019. Les vers de terre influencent-ils l'effet du frass (excrément d'insectes) sur la croissance des plantes ? Journées TEBIS, Villeneuve d'Ascq, France. 30 septembre au 3 octobre.
7. Honvault N, Houben D, Lambers H, Firmin S, Nobile C, Faucon M-P. 2019. Highlighting phosphorus-acquisition strategies in intermediate crops, a functional approach. IPW9, Zurich, Switzerland. 8-12 Juillet 2019.
8. Kante M, Riah-Anglet W, Cliquet JB, Trinsoutrot-Gattin I. 2019. Impact of seed and forage legumes on C and N rhizodeposition, soil microbial communities and C, N and P dynamics in soil. Journées Scientifiques de la Fédération de la Recherche NORVEGE, Rouen, France. 28-29 Mai 2019.
9. Lusley P, Gauthier A, Lakehal L, Bressan M, Laval K, Trinsoutrot-Gattin I. 2019. Phenotype and MIR leaves spectra comparison between healthy and infected pea cultivars with *Aphanomyces euteiches*. Journées Scientifiques de la Fédération de la Recherche NORVEGE, Rouen, France. 28-29 Mai 2019.
10. Pourret O, Bonhoure J, Sallet E. 2019. How rare earth elements help us to better understand fluid circulations and iron oxides associated on cataclastic deformation Bands in porous sandstones: Case study in the Bassin du Sud-Est, Provence, France. ASF, Beauvais, France. 21-25 octobre.
11. Pourret O, Tuduri J. 2019. Continental shelves as traps of rare earth elements. ASF, Beauvais, France. 21-25 octobre.
12. Rezgui C, Trinsoutrot-Gattin I, Benoit M, Laval K, Riah-Anglet W. 2019. Composition and functional shifts in microbial communities due to different crop residues qualities. La journée scientifique de la fédération de recherche NORVEGE, Mont Saint Aignan, France. 28- 29 Mai 2019.
13. Rezgui C, Trinsoutrot-Gattin I, Benoit M, Riah-Anglet W. 2019. Composition and functional shifts in microbial communities due to different crop residues qualities. Journées Scientifiques de la Fédération de la Recherche NORVEGE, Rouen, France. 28-29 Mai 2019.

14. Samain E, Aussenac T, Selim S. 2019. Compatibility, efficiency, and durability of a mixture of three plant-growth-promoting rhizobacteria for promoting wheat growth and inducing resistance against *Mycosphaerella graminicola* and drought stress. PlantBioProtech, Marrakech, Maroc. 19-22 novembre 2019.
15. Tuduri J, Pourret O, Yans J, Gaouzi A. 2019. Deciphering supergene from hydrothermal processes: insights from the world-class shale hosted Imiter Ag (Hg-Pb) deposit (Morocco). ASF, Beauvais, France. 21-25 octobre.
16. Valé M, Bouthier A, Chaussod R, Cusset E, Deschamps T, Houot S, Laurent N, Le Net J, Leclerc B, Perrin A-S, Recous S, Riah-Anglet W, Roussel P-Y, Trinsoutrot-Gattin I. 2019. Disposer de méthodes abordables, précises et robustes pour les indicateurs de gestion des matières organiques dans les sols cultivés. 14<sup>ème</sup> Rencontre Comifer-Gemas, Dijon, France. 20-21 Nov 2019.
17. Yacoumas A, Honvault N, Houben D, Fontaine J, Meglouli H, Laruelle F, Tisserant B, Faucon M-P, Lounès-Hadj Saharaoui A, Firmin S. 2019. Impact d'un polluant émergent, le bisphénol A, sur les traits fonctionnels impliqués dans l'acquisition des minéraux chez le blé. Journées Condorcet, Reims, France. 25-27 juin 2019.

#### Communication par affiche:

1. Amy C, Bressan M, Laval K, Avice J-C. 2019. Are culturable Phosphate Solubilizing Bacteria diversity and efficiency shaped by plant cover requirements? 4<sup>th</sup> Biostimulants World Congress organisé par NewAG International, Barcelone, Spain. 18 au 21 Novembre 2019.
2. Sergheraert T, Chauvel B, Fremont F, Cordeau S, Bernard P-Y, Bloux A. 2019. Retour d'expériences sur le Semis Direct Sous Couvert sans glyphosate. Bilan de la 1<sup>ère</sup> année d'étude du Casdar ENGAGED. 24<sup>ème</sup> Conférence du COLUMA, Orléans, France. 3 au 5 Décembre 2019.
3. Bernard P-Y et Levraut F. 2019. How can agronomists use climatic and agroclimatic indicators to adapt crops to climate change? 3rd Agriculture and Climate Change Conference AGRIC2019, Budapest, Hungary. 24-26 March 2019.
4. Amy C, Bressan M, Laval K, Avice J-C., 2019. Are culturable Phosphate Solubilizing Bacteria diversity and efficiency shaped by plant cover requirements? Journées de la SFR Normandie Végétal, Mont Saint-Aignan, 28-29 mai 2019.
5. Lusley P, Bressan M, Gauthier A, Trinsoutrot-Gattin I, Laval K. 2019. Crop and its rhizospheric microbiome: a resource of biocontrol agents against *Aphanomyces euteiches*. One Health Summer School at Bern, Switzerland. 11-16 Août 2019.
6. Rezgui C, Trinsoutrot-Gattin I, Benoit M, Riah-Anglet W. 2019. The effect of Pea introduction in crop rotation on nitrogen dynamics, microbial communities and enzyme activities. Les journées scientifiques de la SFR Normandie Végétal, Mont Saint Aignan, France. 28- 29 Mai 2019.
7. Rezgui C, Trinsoutrot-Gattin I, Benoit M, Laval K, Riah-Anglet W, 2019. Composition and functional shifts in microbial communities due to different crop residues qualities. Wageningen Soil Conference, 27- 30 Août 2019.

8. Jaunat J, Bambara TSV, Zouhri L. 2019. Modelling the impact of the climate change on the chalk aquifer resources (Northeastern France). 46<sup>th</sup> IAH Congress, Malaga, Spain. 22-27 September 2019.
9. Herbout A, Armand R, Martinez RE, Rizzo D, Pourret O. 2019. Assessment of trace elements distribution in French agricultural soils. DOI: 10.5281/zenodo.3249218. Goldschmidt Conference, Barcelona, Spain. 13-18 August 2019.
10. Ugarte C, Yatskul A, Forster M, Ritz S. 2019. Equipment for evaluating agricultural machinery impacts on soil physical and mechanical properties. Axema, Paris, France. 4 Février 2019.
11. Houben D, Faucon MP, Dulaurent AM. 2019. Phosphorus availability is an important driver of the response of organic matter decomposition to no-tillage adoption. IPW9 . 8-12 Juillet 2019 Zurich, Switzerland.
12. Roisin C, Coutelier A, Faucon M-P, Lounès-Hadj Sahraoui A, Selim S, Fontaine J, Firmin S. 2019. Effets du bisphénol A sur l'expression des microARNs impliqués dans la régulation des défenses anti-oxydantes chez une variété de blé tendre. Journées Condorcet 2019, Reims, France. 25-27 juin 2019.
13. Thioye B, Castel L, Hirissou F, Trinsoutrot-Gattin I, Cauchois A, Legras M. 2019. Influence of vegetal cover on walnut trees mycorrhization under agroforestry and agricultural systems. Journées Scientifiques de la SFR Normandie Végétal, Mont Saint Aignan, France. 28-29 Mai 2019.
14. Thioye B, Castel L, Hirissou F, Trinsoutrot-Gattin I, Legras M. 2019. Behavior of mycorrhizal communities in agroforestry: Case of the walnut plantations associated with maize and faba bean. 4<sup>th</sup> World Congress on Agroforestry, Montpellier, France. 20-22 Mai 2019.

### 3) Perspectives

De nombreux projets ont pris fin en 2019 (Epure, Vivepois, Licorne, Pathogreen, Landmark). Cela apporte l'opportunité de s'inscrire dans la construction de nouveaux projets fédérateurs entre les deux équipes de l'unité AGHYLE, mais aussi avec les autres unités de l'institut.

Notre unité a pour mission (1) de produire des savoirs et savoir-faire en lien avec la compréhension du fonctionnement des agrosystèmes et écosystèmes, (2) de transmettre ces savoirs et compétences aux élèves ingénieurs des parcours « agriculture et agroindustrie », « sciences de la terre et de l'environnement » et i-SAFE (Ingénieur International Sustainable Agri-Business & Food Engineering), (3) de contribuer à l'identification d'innovations au service de l'aide à la décision en agriculture et de l'ingénierie écologique.

En ce qui concerne la production de savoirs et savoir-faire, les travaux conduits ont été partagés à travers l'écriture d'articles scientifiques, de communications dans des congrès qui sont des voies usuelles de valorisation des travaux de la recherche. Cette année, un effort particulier a été fourni pour contribuer à la diffusion de ces connaissances vers les professionnels par la participation en tant qu'experts à des journées techniques, la publication d'articles de vulgarisation dans Science Trends et dans une revue officielle de l'éducation nationale (Textes et Documents pour la Classe). Par ailleurs, une attention particulière a été portée à la construction d'outils à destination des gestionnaires d'exploitation maraichère pour les accompagner dans la mise en œuvre de bonnes pratiques visant à assurer la qualité sanitaire des salades.

Les deux questionnements scientifiques fédérateurs identifiés dans le bilan de l'année 2018 : (1) la compréhension et la quantification des processus mis en jeu dans l'étude de la disponibilité du phosphore dans le sol et (2) la gestion de la santé des plantes dans un contexte de limitation du recours aux intrants chimiques de synthèse, sont aujourd'hui encore d'actualité.

Le lancement du projet Beer présente l'opportunité d'approfondir les travaux initiés pour la collecte, la quantification et la caractérisation des exsudats racinaires, préalable important pour mieux comprendre la dynamique des communautés microbiennes dans les rotations et pouvoir réfléchir aux rotations les plus appropriées pour la mise en œuvre de cortèges microbiens performants pour la nutrition et la santé des plantes au regard des contextes agropédoclimatiques.

L'acceptation du financement de projets tels que PROVEG et Soja Made in Normandie va nous permettre de poursuivre les travaux mis en place depuis quelques années sur la question de l'introduction de légumineuses dans les rotations de culture et de leurs effets vis-à-vis de la dynamique des éléments nutritifs et de la dynamique des communautés microbiennes (thèses Amira Aschi, Cyrine Rezgui, Mohamed Kante, Pauline Lusley). Ces projets sont également une opportunité de co-construction avec les acteurs de terrain. A l'interface entre sciences agronomiques, biologiques et économiques, ces projets permettront également des collaborations inter-unité.

Enfin, l'ouverture du parcours ingénieur international (International Sustainable Ag & Food Entrepreneurship : i-SAFE) est un atout majeur pour le développement des collaborations à l'international. De nouveaux séminaires, à l'image de celui avec les Universités de Cranfield et Parme en juin dernier, seront organisés avec le Dr. Yakov Kuzyakov (Université de Göttingen), le Dr. Joeke Postma (Université de Wageningen).

#### 4) Annexes

Annexe 1 : Liste des projets en cours dans l'unité AGHYLE

##### **Projets équipe Campus Beauvais en cours en 2019:**

1. Projet National FUI **BIOCHAR 2021** (Gestion de la fertilité des sols par séquestration de carbone stable issu de la conversion thermochimique de biomasses résiduelles de la filière compost -2017/2020).

Objectif : Le projet a pour ambition de valider un nouveau modèle économique de production d'amendements organiques et de supports de culture à forte valeur agronomique intégrant des biochars dans des composts jusqu'ici mal valorisés.

Partenaires : ETIA, INRA, ACF (Loire Compost, Agricompost10, Agriopale)

Contact UniLaSalle : David HOUBEN ([david.houben@unilasalle.fr](mailto:david.houben@unilasalle.fr))

2. Projet Régional **Expertise** (Ecotoxicité du Bisphenol A vis-à-vis de la croissance, de la nutrition en P et des traits racinaires chez une variété de blé -2018/2019).

Objectif : Etudier l'effet du Bisphenol A sur les traits fonctionnels impliqués dans la croissance et la nutrition phosphatée du blé.

Partenaires : UCEIV (ULCO)

Contact UniLaSalle : Stéphane FIRMIN ([stephane.firmin@unilasalle.fr](mailto:stephane.firmin@unilasalle.fr))

3. Projet Régional **Consacre** (Caractérisation de la communication chimique entre *Sphingomonas sediminicola* et les plantes pour un meilleur fonctionnement des sols rhizosphériques -2019/2020).

Objectif : Le projet vise à identifier différents composés intervenant dans la communication chimique entre la plante et *S. sediminicola* et de tester leur rôle agronomique notamment dans l'acquisition de nutriment tel que le phosphore.

Partenaires : EDYSAN (UPJV)

Contact UniLaSalle : Stéphane FIRMIN ([stephane.firmin@unilasalle.fr](mailto:stephane.firmin@unilasalle.fr))

4. Projet **TRAITPHOR** (Agro-écologie des cultures intermédiaires, effet de la diversité fonctionnelle sur la disponibilité du phosphore)-2017/2020) VIVESCIA et ANRT.

Objectif : Le projet a pour ambition d'examiner au sein des cultures intermédiaires, l'effet de la diversité fonctionnelle des traits impliqués dans l'acquisition et la disponibilité du phosphore en vue de gérer durablement la fertilisation des cultures.

Partenaires : VIVESCIA, University of Western Australia and ETH Zurich.

Contact UniLaSalle : Michel-Pierre Faucon ([michel-pierre.faucon@unilasalle.fr](mailto:michel-pierre.faucon@unilasalle.fr))

5. Projet **RESCUE** (Ressource en Eau Souterraine de la craie de Champagne dans les décennies futures) SFR Condorcet 2019

Objectif : Le projet a pour objectif de réaliser un modèle numérique hydrodynamique de la nappe de la craie dans l'ouest de Reims afin de pouvoir simuler l'évolution des volumes exploitables à long termes selon différents scénarii d'évolution de la recharge en réponse au changement climatique.

Partenaires : GEGENAA (URCA)

Contact UniLaSalle : Lahcen Zouhri ([lahcen.zouhri@unilasalle.fr](mailto:lahcen.zouhri@unilasalle.fr))

6. Projet **DOP Picardie** (FEADER Hauts de France)

Objectif : Développement d'une filière soja intégrée combinant sécurité de l'approvisionnement, gestion environnementale, débouchés à forte valeur ajoutée.

Partenaires : Agriculteurs ; Terres Inovia ; Chambre agriculture de l'Oise ; Coopérative Val France.

Contact UniLaSalle : Guénolé Boulch ([guenole.boulch@unilasalle.fr](mailto:guenole.boulch@unilasalle.fr))

7. **CASDAR RT J-Distas** (Prévoir les Jours Disponibles pour réussir les opérations culturales et éviter les tassements des sols en grandes cultures: une plateforme d'outils et données interopérables pour l'aide à la décision stratégique 2018-2021)

Objectif : Ce projet vise à développer un outil de calcul des jours disponibles en agrégeant des indicateurs de tassement, calculés à l'aide d'un modèle dédié, et des indicateurs de traficabilité et de travaillabilité

Partenaires : INRA, Agrotransfert, Arvallis

Contact UniLaSalle : Carolina Ugarte ([carolina.ugarte@unilasalle.fr](mailto:carolina.ugarte@unilasalle.fr))

8. Thèse Région Unravelling the role of phosphorus (P) forms on the efficacy of renewable P sources to improve P availability

Objectif : Comprendre le comportement du P issus de sources renouvelables pour améliorer sa disponibilité.

Partenaires : Gembloux, Uni Liège

Contact UniLaSalle : David HOUBEN ([david.houben@unilasalle.fr](mailto:david.houben@unilasalle.fr))

**Projets équipe Campus Rouen en cours en 2019 :**

1. Projet CASDAR National **MYCOAGRA** (Intérêts de la mycorhization dans les pratiques agricoles et d'agroforesterie– 2016/2020).

Objectif : Le projet a pour ambition de contribuer à la compétitivité des systèmes de cultures favorables à la vie des sols, au stockage du carbone, à la préservation des ressources en eau et à la diminution d'utilisation d'intrants chimiques en agissant pour la prise en compte des symbioses endomycorhiziennes dans les pratiques agricoles.

Partenaires : Chambre d'Agriculture de Dordogne ; Chambre d'Agriculture de la Corrèze ; INRA Dijon UMR 1347 ; Muséum National d'Histoire Naturelle ; Association Française d'Agroforesterie ; CTIFL ; Station de la noix de Creysse ; EPLEFPA du Périgord ; EPLEFPA de Brive Voutezac ; EPL de l'Eure LEGTA de Chambray ; A2C Farming Communication Agriculture de Conservation.

Contact UniLaSalle : Marc LEGRAS et Babacar THIOYE ([marc.legras@unilasalle.fr](mailto:marc.legras@unilasalle.fr); [babacar.thioye@unilasalle.fr](mailto:babacar.thioye@unilasalle.fr))

2. Projet Région **EPURE** (Enhancing Plant Nutrition & Health – 2017/2019).

Objectif : le projet vise à obtenir une meilleure connaissance 1) des mécanismes directs et indirects impliqués dans la nutrition des plantes (C, N, P), 2) des mécanismes impliqués dans la défense racinaire et 3) du rôle des microorganismes pour la santé et la nutrition des plantes.

Partenaires : Unité LMSM EA 4312 Université de Rouen ; Unité GlycoMev EA 3458 Université de Rouen ; UMR EVA INRA 950 Université de Caen.

Contact UniLaSalle : Isabelle GATTIN et Adrien BLUM ([isabelle.gattin@unilasalle.fr](mailto:isabelle.gattin@unilasalle.fr); [adrien.blum@unilasalle.fr](mailto:adrien.blum@unilasalle.fr))

3. Projet région **NPT** (Normandie Plant Technologie – 2019/2021).

Objectif : Acquérir à l'horizon 2021 des équipements de pointe et de développer des méthodes innovantes en phénotypage, imagerie et biochimie permettant l'étude à différentes échelles (rhizosphère, phyllosphère, tissu, cellule, molécule) des effets de stress biotiques et abiotiques variés sur la croissance végétale en interactions avec les microorganismes.

Partenaires : Unité LMSM EA 4312 Université de Rouen ; Unité GlycoMev EA 3458 Université de Rouen ; UMR EVA INRA 950 Université de Caen.

Contact UniLaSalle : Isabelle GATTIN et Adrien BLUM ([isabelle.gattin@unilasalle.fr](mailto:isabelle.gattin@unilasalle.fr); [adrien.blum@unilasalle.fr](mailto:adrien.blum@unilasalle.fr))

4. Projet CASDAR National **Microbioterre** (Référencer des indicateurs de microbiologie des sols et les intégrer dans l'analyse de terre de routine, pour améliorer la gestion des restitutions organiques dans les systèmes de grandes cultures et polyculture élevage – 2017/2020).

Objectif : Le projet Microbioterre vise à intégrer des analyses microbiologiques aux analyses de terre réalisées par des laboratoires. Il s'agit in fine d'élargir le diagnostic et le conseil pour la gestion des pratiques culturales restituant du carbone au sol.

Partenaires : ARVALIS, Terres Inovia, ITAB, INRA UMR ECOSYS et FARE, AUREA-AGROSCIENCES, Chambres d'Agriculture de Bretagne, CELESTA-LAB, SEMSE, RITMO, Chambre d'Agriculture de la région Alsace (CARA), ARAA, Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire, Chambre régionale d'Agriculture d'Alsace-Champagne-Ardennes-Lorraine (CRA-ACAL), LEGTA d'Yvetot.

Contact UniLaSalle : Wassila Riah-Anglet et Nadia Laurent ([wassila.riah-anglet@unilasalle.fr](mailto:wassila.riah-anglet@unilasalle.fr); [nadia.laurent@unilasalle.fr](mailto:nadia.laurent@unilasalle.fr))

5. Projet CASDAR National **Pathogreen** (Contamination primaire des salades par les microorganismes pathogènes : points critiques et leviers – 2016/2019).

Objectif : Ce programme a pour ambition de renforcer la qualité sanitaire des salades destinées à la première et quatrième gamme. Il vise à identifier les origines et les vecteurs de la contamination primaire des salades par les microorganismes pathogènes (bactéries, virus et parasites) en vue de proposer aux producteurs un guide harmonisé de bonnes pratiques culturales permettant d'améliorer la qualité sanitaire des produits avant la livraison.

Partenaires : Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie, Chambres Départementales d'Agriculture (14, 50, 76), ACTALIA (Institut Technique Agro-Industriel), SILEBAN (Station d'expérimentation légumière régionale), Unité LMSM-EA 4312 -Université de Rouen.

Contact UniLaSalle : Wassila Riah-Anglet et Karine Laval ([wassila.riah-anglet@unilasalle.fr](mailto:wassila.riah-anglet@unilasalle.fr); [karine.laval@unilasalle.fr](mailto:karine.laval@unilasalle.fr))

6. Projet **BCA Protect** (Optimisation de la biotisation des substrats horticoles : Alternative pour la lutte contre les pathogènes telluriques. 2018 / 2020)

Objectif : Ce projet consiste à valider et promouvoir l'utilisation des produits de biotisation pour la protection des plantes contre les maladies telluriques dans un contexte horticole. Il s'agit plus spécifiquement d'identifier les conditions de culture favorables au développement des microorganismes constitutifs des produits de biocontrôle et à la croissance des plantes pour une protection efficace et répétable.

Partenaires : ASTREDHOR Seine-Manche, ASTREDHOR SO GIEFP

Contact UniLaSalle : Mélanie Bressan ([melanie.bressan@unilasalle.fr](mailto:melanie.bressan@unilasalle.fr))

7. Projet H2020 Européen **Landmark** (LAND Management, Assessment, Research Knowledge base 2015/2019).

Objectif : Ce projet de recherche a notamment pour ambition de mettre en place une boîte à outils pour le management des sols à l'échelle européenne, en intégrant des indicateurs sur cinq grands types de fonctions des sols : potentiel agronomique ; purification et régulation de l'eau ; séquestration et régulation du carbone ; biodiversité/habitat et cycle des nutriments.

Partenaires : 17 pays européens + la Chine et le Brésil, soit 22 structures de recherche.

Contact UniLaSalle : Isabelle Gattin ([isabelle.gattin@unilasalle.fr](mailto:isabelle.gattin@unilasalle.fr))

8. **Projet Innovative Training Networks (ITN) Call: H2020-MSCA-ITN-2017 REFLOW (Phosphorus REcovery for Fertilisers from dairy processing Waste – 2018/2021).**

Objectif: Ce projet a pour objectif de tester de nouveaux procédés de traitement des déchets organiques issus des entreprises laitières (traitements thermiques, utilisation de suspension microbiennes, ...) et d'évaluer les conséquences de ces traitements sur la composition biochimique de ces déchets organiques.

Partenaires :

*Académiques* : Université de Limerick (Irlande), Université de Galway (Irlande), Université de Swansea (Pays de Galles), Université de Venise, Université de Gent, Université de Wageningen (Pays Bas)

*Socioéconomiques* : Biomass Heating Solutions Ltd, Agricultural Catchments Programme, Aurivo Dairy Ingredients, Lakeland Dairies

Contact UniLaSalle : Isabelle Gattin et Nadia Laurent ([isabelle.gattin@unilasalle.fr](mailto:isabelle.gattin@unilasalle.fr); [nadia.laurent@unilasalle.fr](mailto:nadia.laurent@unilasalle.fr))

9. **Projet Vivepois (Nouvelle culture régional au service de l'agroécologie: le pois d'hiver - 2016/2019).**

Objectif: Ce projet a pour objectif d'évaluer l'effet de l'introduction d'une culture de légumineuse, le pois d'hiver, sur la performance agronomique, environnementale et économique des successions culturales. Il s'agira au travers de la mesure d'indicateurs écologiques (état biologique du sol, potentiel infectieux lié à Aphanomyces euteiches), physicochimiques (fixation symbiotique de l'azote/disponibilité et physique du sol) et agronomiques (rendements, niveaux d'intrants N et produits phytosanitaires) de produire des références permettant d'identifier les atouts et les contraintes liés à l'implantation de cette culture.

Partenaires : Chambre d'Agriculture de seine maritime, agriculteurs du GIEE Pois d'hiver en pays de Bray.

Contact UniLaSalle : Wassila Riah-Anglet et Isabelle Gattin ([isabelle.gattin@unilasalle.fr](mailto:isabelle.gattin@unilasalle.fr), [wassila.riah-anglet@unilasalle.fr](mailto:wassila.riah-anglet@unilasalle.fr))

10. **Projet Licorne (Lutte Intégrée Contre les phytopathogènes microbiens telluriques en grande culture - 2016/2019)**

Objectif: ce projet a pour ambition de contribuer au développement de solutions pour une lutte intégrée contre les phytopathologies telluriques par la gestion de l'inoculum pathogène, dans un contexte de grande culture en région Normandie. Ce travail doit permettre d'évaluer les risques d'implantation d'une culture, et ainsi proposer une meilleure gestion de la parcelle avec des pratiques culturales adaptées (choix d'espèces et de variétés, rotation des cultures, application de solutions de biocontrôle, influence de l'itinéraire technique, contribution du microbiome associé à la rhizosphère)

Partenaires : Laboratoire LMSM, Evreux, laboratoire Glycomev Université de Rouen

Contact UniLaSalle : Mélanie Bressan ([melanie.bressan@unilasalle.fr](mailto:melanie.bressan@unilasalle.fr))

11. **Projet BEER (Bactéries, Exsudats Et Rhizodépôts - 2019/2022)**

Objectif: Ce projet est proposé dans le but de faire des avancées majeures dans la description analytique et fonctionnelle des rhizodépôts et, ainsi, de mieux comprendre les voies de construction d'une rhizosphère permettant à la plante-hôte une croissance efficace et une capacité à résister aux agressions biotiques ou abiotiques

Partenaires : les laboratoires Glyco-MEV (EA 4358 URN[1]), EVA (UMR 950 INRA-UCN[2]), AGHYLE (UniLaSalle Rouen) et LMSM (EA 4312 URN), appartenant à la SFR Normandie-Végétal (FED 4277), l'UMR COBRA (UMR 6014 CNRS-INSA-URN) et les deux plateformes d'Imagerie normandes CMABio<sup>3</sup>

(SF ICORE 4206 - UCN) et PRIMACEN (URN). [1] URN : Université de Rouen-Normandie, [2] UCN : Université de Caen-Normandie

Contact UniLaSalle : Wassila Riah-Anglet et Mélanie Bressan ([wassila.riah-anglet@unilasalle.fr](mailto:wassila.riah-anglet@unilasalle.fr) ; [melanie.bressan@unilasalle.fr](mailto:melanie.bressan@unilasalle.fr))

## Annexe 2 : Liste des projets déposés dans l'année 2019 et acceptés pour financement

UNITE AGHYLE Rouen							
Dispositif AAP	Autorité	Nom du projet /objet	Porteur	Partenaires principaux	Coût total pour Unilasalle	subv sollicitée	statut
CASDAR: AAP Recherche Technologique	DGER	<b>NOROSTAN:</b> Mise au point d'une méthode indirecte d'estimation du caractère infectieux des norovirus dans les salades	ACTALIA	université de Lorraine, EPLEPPA, SVFPE	15 600,00 €	10 686,00 €	déposé le 6/03/19 accepté
AAP RIN Emergent 2019 Région Normandie	Région Normandie	<b>BEER</b> :Bactéries, exsudats et rhizodépôts	UniLaSalle	Univ Rouen GlycoMev, LMSM; Univ caen UMR EVA INRA	85 000,00 €	85 000,00 €	déposé le 15/04/19 accepté
RMT Recyclage, Fertilisation et Impacts environnementaux	Ministère Agriculture et Alimentation	<b>RMT BOUCLAGE : Recyclage, Fertilisation et Impacts environnementaux</b> Les travaux menés par le RMT BOUCLAGE viseront à réduire l'utilisation d'intrants minéraux, améliorer l'efficacité de la fertilisation pour réduire les pertes d'éléments nutritifs vers l'environnement, favoriser le recyclage agricole des produits résiduels organiques et allonger et diversifier les successions (et associations) culturales.	ACTA	INRAe, CIRAD, Agroscope, CRAW, Gembloux ABT, ISARA, UniLaSalle, Yncréa, Agrocampus, VetAgro Sup, Arvalis, Terres Inovia, ITB, CTIL, ITAB, Idele, Astredhor, IFPC, APCA, CRAB, CA02, CA45, CRA GE, CRA PdL, CA28, CA974, Bergeis nationale, lycées agricoles Chartres, Poitiers, pontivy, Agro-transfert, eRcane, Agrosolutions, Aurea, LDAR, RITTMO, FNCUMA, AXEMA, UNIFA, CerFrance, TRAME, ADEME			déposé le 9/05/2019 accepté
Plan Régional des protéines végétales destinées à l'alimentation humaine	Région Normandie	<b>PROVEG</b> : évaluer l'intérêt de 5 cultures susceptibles de pouvoir accroître la production de protéines végétales au sein des systèmes de culture normands.	UniLaSalle	GlycoMev (Univ Rouen) CER France	438 600,00 €	263 160,00 €	déposé le 15/04/19 accepté
Plan Régional des protéines végétales destinées à l'alimentation humaine	Région Normandie	<b>Soja Made in Normandy</b> Développer la filière du soja en Normandie via des itinéraires techniques novateurs construits sur des pratiques agroécologiques	UMR 950 INRA/UniCaen EVA (Ecophysiologie Végétale et Agronomie)	TERRES INOVIA Chambre agriculture de Normandie AGRIAL AGRAUXINE by LESAFFRE UniLaSalle	335 500,00 €	201 300,00 €	déposé le 30/09/2019 accepté

UNITE AGHYLE Beauvais							
Dispositif AAP	Autorité	Nom du projet /objet	Porteur	Partenaires principaux	Coût total pour Unilasalle	subv sollicitée	statut
Thèse Région HdF	FEDER HdF	Thèse Région Unravelling the role of phosphorus (P) forms on the efficacy of renewable P sources to improve P availability	AGHYLE	Gembloux (U Liège, Belgique)	91 548 €	45 774 €	accepté
SFR Condorcet 2020	SFR Condorcet	SITerrDisPho - Utilisation du Silicium et des Terres rares pour mieux tracer et comprendre la bio-Disponibilité du Phosphore dans les sols agricoles	AGHYLE	Gembloux (U Liège, Belgique)	7 000 €	7 000 €	accepté
INTERREG North West Europe	FEDER	CCC-HUB - Creating and sustaining charcoal value chains to promote a circular carbon economy in NWE Europe	CYCLANN + AGHYLE	15 partenaires européens: - UNI KASSEL, sub-Partner BUPNET, Baden-Baden, Haniel, Sub-Partner Anthropia, blinc, SWEA, CWH, AU, AILE, Sub-Partner ENSCR, UniLasalle, IrBEA, ProNatura, Apeldoorn	302 000,00 €	302 000,00 €	accepté

### Annexe 3 : Liste des projets déposés dans l'année 2019 et non retenus pour financement

UNITE AGHYLE Rouen							
Dispositif AAP	Autorité	Nom du projet /objet	Porteur	Partenaires principaux	Coût total pour Unilasalle	subv sollicitée	statut
CASDAR Innovation et Partenariat - manifestation d'intérêt déposée en novembre 2018, validée en CSO	DGER	<b>ACCESS:</b> Evaluation de l'Agriculture de Conservation sur la qualité biologique des Sols et la durabilité des Systèmes	CER France	INRA Nancy, GIEE, lycée agricole Yvetot , lycée agricole Chambray, asso BASE	247 276,00 €	197 219,00 €	déposé le 9/04/19 refusé
AAP Innovation & Partenariat 2019	DGER	<b>APPI N :</b>	CRAN	Agro paristech, supagro, ESA, ISARA,			déposé le 9/04/19 refusé
AAP Innovation & Partenariat 2019	DGER	<b>ADELAIDE:</b> Adaptation Des Exploitations LAitières bovines aux conséquences Du changement climatique	IDELE	CNIEL, INRA Lusignan, ARVALIS Institut du végétal, FCCEL, UniLaSalleChambre Régionale d'Agriculture de Nouvelle Aquitaine, des Deux Sèvres,des Pyrénées Atlantiques, de l'Indre et loire, de la Haute Marnne, des Vosges AFPF, Lycée agricole de PixierécourtFerme expérimentale de Derval.	17 875,00 €	12 513,00 €	déposé le 9/04/19 refusé
RMT phytostim	Ministère Agriculture et Alimentation	<b>RMT PHYTOSTIM</b> partager avec le RMT les travaux de recherche dans le domaine de la protection des plantes dans un contexte de transition agroécologique via la stimulation du système immunitaire végétal et le développement	Arvalis	Acta, agrocampus ouest, Agroscope, AGROSUP Dijon, Arvalis, Astredhor, CATE, CEA – BIAM, CA71, CA29, CNRS, CTIFL, FNAMS, GEVES, IFPC, IFV, INRA, INVENIO, ITAB, ITEIPMAI, Liège Université, Gembloux Agro Bio Tech, Lycée horticole d'Avize, Planete Légumes, Pôle IAR, Réseau Horticole et Paysage, RITTIMO, SUPAGRO Montpellier, TERRES INOVIA, UniLaSalle, UNILET, Université BLAISE PASCAL, de BOURGOGNE, de PERPIGNAN VIA DOMITA, de Picardie Jules Verne, de REIMS, de ROUEN, de TOURS, du Littoral et de la côte d'Opale, PAUL SABATIER TOULOUSE, Vegenov, Vegepolys, YNCREA Ouest & Hauts de France			déposé le 9/05/2019 Refusé

UNITE AGHYLE Beauvais							
Dispositif AAP	Autorité	Nom du projet /objet	Porteur	Partenaires principaux	cout total pour Unilasalle	subv sollicitée	statut
SFR Condorcet 2019 exceptionnel	SFR Condorcet	SITerrDisPho - Utilisation du Silicium et des Terres rares pour mieux tracer et comprendre la bio-Disponibilité du Phosphore dans les sols agricoles	AGHYLE	Gembloux (U Liège, Belgique)	7 000 €	7 000 €	refusé
H2020 SFS-35-2019-2020-Topic A (2019)	Europe	Africa Force - Sustainable intensification of AFRICAn farming systems FOR Cereals by using beneficial microorganisms	SFR Condorcet	40 partenaires	na	na	refusé

Annexe 4 : Liste des projets déposés dans l'année 2019, en cours d'évaluation

UNITE AGHYLE Rouen							
Dispositif AAP	Autorité	Nom du projet /objet	Porteur	Partenaires principaux	Coût total pour Unilasalle	subv sollicitée	statut
AAP RIN Emergent 2019 Région Normandie	Région Normandie - Evaluation ANR	<b>ALBATOR</b> : Acclimation of Linum usitatissimum and Brassica napus to global warming through thermopriming and rhizobacteria inoculation	Université de Caen	Unilasalle	112 150,00 €	112 150,00 €	déposé le 15/04/2019 refusé déposé à nouveau le 21/11/2019
CPER 2021-2027	Région Normandie	<b>MICROCOSMOS (μCOSMOS)</b> : Approches de microfluidique intégrée ou à façon couplées à l'analyse de micro-environnements complexes pour la caractérisation du vivant et de la biodiversité	Université de Caen	Université de Caen (UR ABTE, U2RM, UMR 6143 M2C, FRE BOREA « Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques » MNHN, CNRS 2030, UNICAEN, Sorbonne Université, UA, IRD 207 (Caen, Pôle CTM), CRAHAM - UMR 6273 CNRS (Archéologie, Caen, Pôle HCS) ; Plateformes CMABio3, CBM et Platin', SFR ICORE ), Université de Rouen (LMSM , Glyco-MEV, UR ABTE, PBS-BRICS, Plateformes PRIMACEN & N2S (Evreux)), UniLaSalle, Plateforme Normand Serre (Rouen)	700 000,00 €	700 000,00 €	déposé le 19/09/2019
France AGRIMER		<b>CONCEPT</b> : Identification et compréhension des interactions entre consortia pathogènes et microbiens bénéfiques du sol pour une approche intégrée contre le dépérissement des plantes en pépinière ornementale et arboriculture fruitière	ASTREDHOR Seine Manche	Unilasalle IFPC	126 876,00 €	101 202,00 €	déposé le 15/10/19
CO3 - Adème	ADEME	<b>BIOREC</b> : Evaluation des effets du BIOchar issu de la valorisation des REfus de Compostage de déchets verts sur les sols et plantes agricoles	CER France Normandie Maine	Unilasalle SMEDAR FERTIVERT	139 000,00 €	98 000,00 €	déposé le 15/10/19
AAP Ecophyto Les approches globales pour limiter l'utilisation des produits phytopharmaceutiques		<b>INTERACT</b> : Caractérisation de l'infestation précoce du consortium pathogène responsable de la pourriture racinaire chez Choisya ternata et évaluation d'un agent de biocontrôle.	Université de Rouen - Laboratoire Glyco-MEV (EA4358)	Unilasalle PRIMACEN ASTREDHOR Seine-Manche	78 576,00 €	58 932,00 €	déposé le 28/10/19
AAP générique 2020	ANR	<b>BIOQUOQUET6</b> : Fundamental Research to improve biocontrol by quorum quenching and Type 6 secretion system	Université de Rouen, site d'Evreux - LMSM (EA 4312 )	Unilasalle, GlycoMEV (EA 4358 Université de Rouen), EVA (UMR INRA-UCBN 950 Université de Caen Normandie)	237 660,00 €	118 830,00 €	dépot MI le 18/10/19
AAP Ecophyto Les approches globales pour limiter l'utilisation des produits phytopharmaceutiques		<b>PROPHLEG</b> : Combinaison et équilibre des leviers agronomiques prophylactiques et curatifs pour la gestion des pathogènes et le maintien de la fertilité des sols en contexte légumiers	Unilasalle	Silleban, Lallemand Plant care	205 372,00 €	154 029,00 €	déposé le 28/10/19
RIN RECHERCHE PLATEFORME	Région Normandie - Evaluation ANR	<b>Projet RPT</b> équipements visant à étudier les interactions sol – plante – microorganismes en environnement contrôlé et à plusieurs échelles au sein de la plateforme Normand Serre	Unilasalle	SFR Normandie Végétale (fed 4277)	73 920 € dont 26 000€ Invest hors EPT R	646 000,00 €	déposé le 21/11/2019
RIN RECHERCHE EMERGENT	Région Normandie - Evaluation ANR	<b>PEANUTS</b> : Protection du pois contre Aphanomyces euteiches par Un agent de biocontrôle extrait d'un Sol normand	Laboratoire LMSM EA4312 Univ Rouen	Unilasalle		73 920,00 €	déposé le 21/11/2019
RIN RECHERCHE EMERGENT	Région Normandie - Evaluation ANR	<b>COSMIC2020</b> : Contrôle du recyclage du Soufre dans le système sol-plante par une culture de Moutarde InterCalaire	UMR 950 INRA-UCN EVA	UMR 1121 INRA UL LAE Uni Lorraine UniLaSalle	45 000,00 €	45 000,00 €	déposé le 21/11/2019
RIN RECHERCHE TREMPIN	Région Normandie - Evaluation ANR	<b>Pea Again</b> : Comprendre les mécanismes qui sous-tendent la construction et l'assemblage de cortèges microbiens rhizosphériques impliqués dans la nutrition et la santé des cultures de pois	Unilasalle	Laboratoire LMSM EA4312 Laboratoire GlycoMEV EA4358 UMR 950 INRA-EVA	242 500,00 €	195 500,00 € (+ 47 000€ GoLasalle)	déposé le 21/11/2019
Casdar Innovation et Partenariat	Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation	<b>PERFAGROBIOC</b> : Performance agroécologique des produits de biocontrôle en grandes cultures et cultures industrielles	CRAN	CRAN, CRA PdL, CRA Bretagne, CRA Centre – Val de Loire, CA28, CA 37; FDGEDA 18, ITB, Terres Inovia, NATUP, UNILASALLE (AGHYLE et INTERACT); Université de Rennes; Auxovégétal; MFR de Coqueréaumont	Coût total projet tous partenaires: 625 000 € à discuter si dépôt du dossier finalisé	Subvention demandée tous partenaires: 500 000 € à discuter si dépôt du dossier finalisé	Dépôt MI le 26/11/2019

UNITE AGHYLE Beauvais							
Dispositif AAP	Autorité	Nom du projet /objet	Porteur	Partenaires principaux	cout total pour Unilasalle	subv sollicitée	statut
Partenariats Hubert Curien (PHC)   Campus France	Campus France	ResUd - Impact des changements climatiques sur la vulnérabilité des ressources souterraines dans le sud méditerranéen : approches numériques et socio-économiques	AGHYLE (L. Zouhri)	Univ Tunis	27 000 €	27 000 €	en attente
Post-doc MOGPA	Campus France	Sorbing Removal - Sorbing and Photocatalytic Potentials of Rutile for Removal of Organic and Mineral Xenobiotic from Mining Wastewater	AGHYLE (O. Pourret)	CYCLANN	75 000 €	75 000 €	en attente

Annexe 5 : Production ACL année 2019

1. Ayerdi Gotor, A., E. Marraccini, C. Leclercq, and O. Scheurer, *Precision farming uses typology in arable crop-oriented farms in northern France*. Precision Agriculture, 2019. In press.
2. Chane A. , C. Barbey, Y. Bourigault, O. Maillot, S. Rodrigues, M. Bouteiller, A. Merieau, Y. Kontoghiorghi, A. Beury-Cirou, R. Gattin, M.G.J. Feuilloley, K. Laval, V. Gobert, X. Latour, *A flavor lactone mimicking AHL quorum-sensing signals exploits the broad affinity of the QsdR regulator to stimulate transcription of the rhodococcal qsd operon involved in quorum-quenching and biocontrol activities*. Frontiers in Microbiology, section Plant Microbe Interactions, 2019. 10: 786.
3. Coulibaly S.F.M., B. Winck, M. Akpa-Vinceslas, L. Mignot, M. Legras, E. Forey and M. Chauvat, *Functional assemblages of Collembola determine soil microbial communities and associated functions*. Frontiers Environmental Science - Soil Processes, 2019. doi : 10.3389/fenvs.2019.00052
4. Hammami, S., L. Zouhri, D. Souissi, A. Souei, A. Zghibi, A. Marzougui, and M. Dlala, *Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia)*. Arabian Journal of Geosciences, 2019. 12(21): p. 653.
5. Héloir, M.C., M. Adrian, D. Brulé, J. Claverie, S. Cordelier, X. Daire, S. Dorey, A. Gauthier, C. Lemaître-Guillier, J. Negrel, L. Trdá, S. Trouvelot, E. Vandelle and B. Poinssot, *Recognition of Elicitors in Grapevine: From MAMP and DAMP Perception to Induced Resistance*. Frontiers in Plant Science, 2019. 10:1117. doi: 10.3389/fpls.2019.01117
6. Houben, D., E. Michel, C. Nobile, H. Lambers, E. Kandeler, and M.-P. Faucon, *Response of phosphorus dynamics to sewage sludge application in an agroecosystem in northern France*. Applied Soil Ecology, 2019. 137: p. 178-186.
7. Kaya Muyumba, D, O. Pourret, A. Liénard, J. Bonhoure, G. Mahy, M.N. Luhembwe, and G. Colinet, *Mobility of copper and cobalt in metalliferous ecosystems: Results of a lysimeter study in the Lubumbashi Region (Democratic Republic of Congo)*. Journal of Geochemical Exploration, 2019b. 196: p. 208-218.
8. Kaya Muyumba, D., E. Ilunga wa Ilunga, M.P. Faucon, G. Mahy, A. Liénard, M. Séleck, M. Ngongo Luhembwe, and G. Colinet, *Factors of variation of soil chemical properties in metalliferous ecosystems of Tenke-Fungurume, Katanga, Democratic Republic of the Congo*. Tropicultura, 2019a. 37(1).
9. Kervroëdan, L., R. Armand, M. Saunier, and M.-P. Faucon, *Effects of plant traits and their divergence on runoff and sediment retention in herbaceous vegetation*. Plant and Soil, 2019. 441(1): p. 511-524.
10. Liu, H., H. Guo, O. Pourret, Y. Chen, and R. Yuan, *Role of Manganese Oxyhydroxides in the Transport of Rare Earth Elements Along a Groundwater Flow Path*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019. 16(13): p. 2263.
11. Nobile, C., D. Houben, E. Michel, S. Firmin, H. Lambers, E. Kandeler, and M.P. Faucon, *Phosphorus-acquisition strategies of canola, wheat and barley in soil amended with sewage sludges*. Scientific Reports, 2019a. 9(1): p. 14878.
12. Nobile, C., J. Denier, and D. Houben, *Linking biochar properties to biomass of basil, lettuce and pansy cultivated in growing media*. Scientia Horticulturae, 2019b: p. 109001. In press.

13. Ors, M., B. Randoux, A. Siah, G. Couleaud, C. Maumené, K. Sahmer, P. Reignault, P. Halama, and S. Selim, *A Plant Nutrient- and Microbial Protein-Based Resistance Inducer Elicits Wheat Cultivar-Dependent Resistance Against Zymoseptoria tritici*. *Phytopathology*, 2019. doi: 10.1094/PHYTO-03-19-0075-R.
14. Pourret, O. and A. Hursthouse, *It's Time to Replace the Term "Heavy Metals" with "Potentially Toxic Elements" When Reporting Environmental Research*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019. 16(22): p. 4446.
15. Pourret, O., J.-C. Bollinger, and E.D. van Hullebusch, *On the difficulties of being rigorous in environmental geochemistry studies: some recommendations for designing an impactful paper*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. In press.
16. Quintela-Sabarís, C., E. Auber, S. Sumail, J.-F. Masfarau, M.-P. Faucon, F. Watteau, R.F. Saad, A. van der Ent, R. Repin, J. Sugau, R. Nilus, G. Echevarria, and S. Leguedois, *Recovery of ultramafic soil functions and plant communities along an age-gradient of the actinorhizal tree Ceuthostoma terminale (Casuarinaceae) in Sabah (Malaysia)*. *Plant and Soil*, 2019. 440(1): p. 201-218.
17. Rillard, J., O. Pourret, P. Censi, C. Inguaggiato, P. Zuddas, P. Toulhoat, P. Gombert, and L. Brusca, *Behavior of rare earth elements in an aquifer perturbed by CO2 injection: Environmental implications*. *Science of The Total Environment*, 2019. 687: p. 978-990.
18. Samain, E., T. Aussenac, and S. Selim, *The Effect of Plant Genotype, Growth Stage, and Mycosphaerella graminicola Strains on the Efficiency and Durability of Wheat-Induced Resistance by Paenibacillus sp. Strain B2*. *Frontiers in Plant Science*, 2019. 10(587).
19. Sauvadet, M., Van den Meersche, K., Allinne, C., Gay, F., de Melo Virginio Filho, E., Chauvat, M., Becquer, T., Tixier, P., J.-M. Harmand, *Shade trees have higher impact on soil nutrient availability and food web in organic than conventional coffee agroforestry*. *Science of the Total Environment*, 649, 1065-1074.
20. Souissi, D., L. Zouhri, S. Hammami, M.H. Msaddek, A. Zghibi, and M. Dlala, *GIS-based MCDM – AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia*. *Geocarto International*, 2019: p. 1-27. In press.
21. van Leeuwen, J.P., R.E. Creamer, D. Cluzeau, M. Debeljak, F. Gatti, C.B. Henriksen, V. Kuzmanovski, C. Menta, G. Pérès, C. Picaud, N.P.A. Saby, A. Trajanov, I. Trinsoutrot-Gattin, G. Visioli, and M. Rutgers, *Modeling of Soil Functions for Assessing Soil Quality: Soil Biodiversity and Habitat Provisioning*. *Frontiers Environmental Science*, 2019. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00113>.
22. Zghibi, A., A. Mirchi, L. Zouhri, J.-D. Taupin, A. Chekirbane, and J. Tarhouni, *Implications of groundwater development and seawater intrusion for sustainability of a Mediterranean coastal aquifer in Tunisia*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019. 191(11): p. 696.
23. Zouhri, L. and R. Armand, *Groundwater vulnerability assessment of the chalk aquifer in the northern part of France*. *Geocarto International*, 2019: p. 1-24. In press.
24. Zouhri, L., K. El Amari, D. Marier, A. Benkaddour, and M. Hibti, *Bacteriological and geochemical features of the groundwater resources: Kettara abandoned mine (Morocco)*. *Environmental Pollution*, 2019. 252: p. 1698-1708.