

# RMT BOUCLAGE

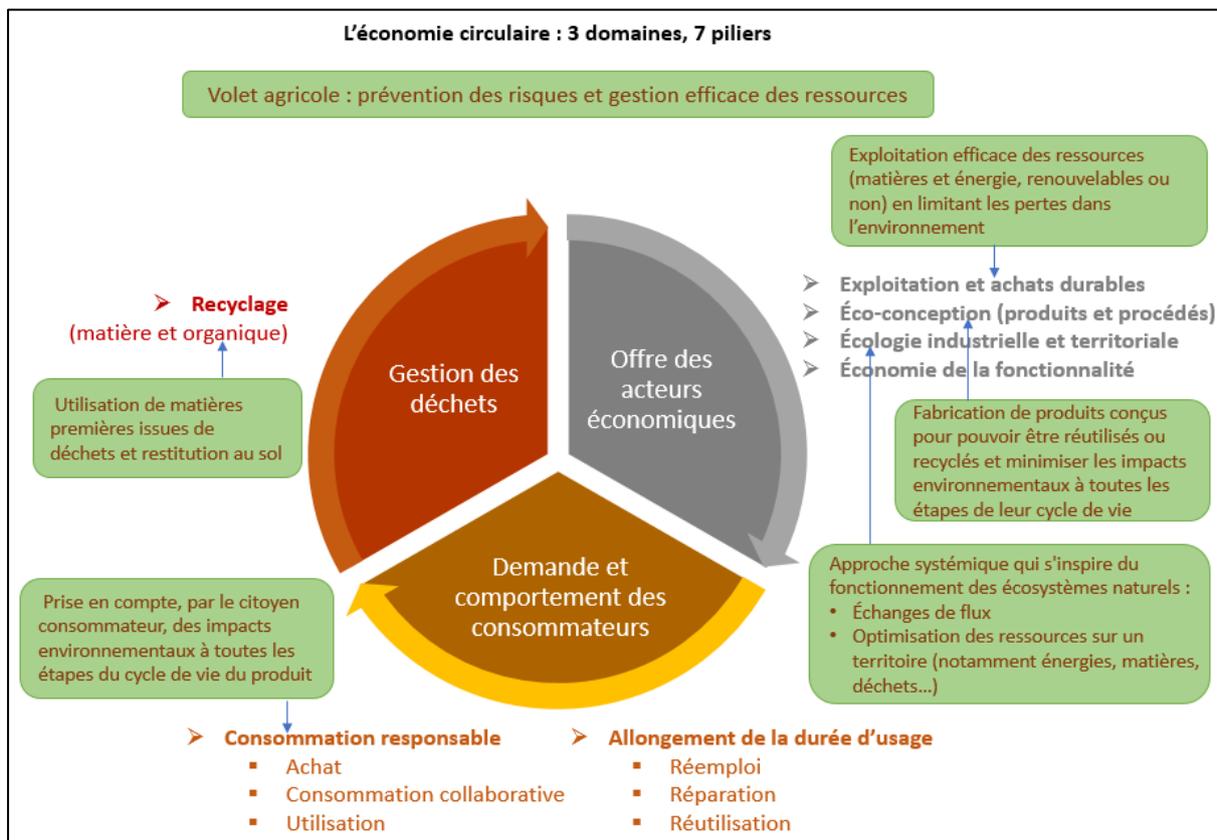
## Recyclage, Fertilisation et Impacts environnementaux

### Programme de Recherche & Développement 2020-2024

#### Table des matières

<b>1. Thématiques et questions traitées par les actions du RMT</b> .....	<b>4</b>
1.1 Impacts du bouclage des cycles biogéochimiques sur l'environnement et la santé .....	6
1.2 Fertilisation et nouvelles technologies (agriculture numérique et de précision, agroéquipements et robotique).....	7
1.3 Aspects économiques de la gestion de la fertilisation.....	8
1.4 Approche « systèmes de culture » et couplage des cycles minéraux.....	9
1.5 Services écosystémiques des sols en lien avec la gestion des matières organiques et des éléments minéraux .....	10
1.6 Gestion et efficacité de la nutrition des cultures .....	10
<b>2. Axes de travail et productions attendues du RMT BOUCLAGE</b> .....	<b>12</b>
2.1.Axe 1 : Prospective, veille scientifique et réglementaire, stratégie d'ouverture .....	13
2.2.Axe 2 : Mutualisation des données, références, modèles et outils .....	15
2.3.Axe 3 : Transfert, formation, appui aux politiques publiques.....	19
<b>3. Modalités d'animation</b> .....	<b>24</b>

Le Réseau Mixte Technologique « BOUCLAGE : Recyclage, Fertilisation et Impacts Environnementaux » réunit de nombreux organismes (45) désireux de s'engager collectivement pour en faire un lieu de références en termes de données, de méthodes et d'outils pour l'accompagnement éclairé des professionnels dans la mise en œuvre du volet agricole de la Feuille de Route « Économie Circulaire » (FREC) publié par le gouvernement français le 28 février 2019, en lien avec la gestion de la fertilisation des cultures et la gestion des cycles biogéochimiques (figure 1).



**Figure 1 : Contributions du volet agricole de la FREC à au moins 5 des 7 piliers de l'économie circulaire.**

(d'après ADEME : <https://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>)

Au terme des 5 ans de sa période d'agrément (2020-2024), le réseau ambitionne d'être incontournable et ce aux échelles stratégiques que sont l'exploitation, le territoire et le bassin de production. Pour cela, le RMT se donnera les moyens de collecter des résultats *ad hoc* et de favoriser le montage de projets visant à produire ou à adapter les outils et méthodes aux nouveaux enjeux assignés à la gestion de la fertilisation en lien avec l'objectif d'un meilleur bouclage des cycles biogéochimiques : l'objectif est d'améliorer la capacité collective d'anticipation et de proposer aux acteurs des territoires, et en particulier aux agriculteurs, et à leurs conseillers, des outils susceptibles de les orienter vers les meilleurs choix tactiques et stratégiques ainsi que vers les meilleures trajectoires de changement.

C'est grâce à la force et la cohérence d'un réseau déjà existant et éprouvé, ainsi qu'à la solidité des acquis antérieurs que ces objectifs pourront être atteints. En effet, le RMT BOUCLAGE s'appuiera sur le RMT « Fertilisation et Environnement » créé en 2007 par 15 membres fondateurs et mobilisant après 12 ans d'existence 34 partenaires. Au cours de sa première phase d'agrément par le ministère en charge de l'agriculture (2007-2013), son programme de travail était largement centré autour de la co-construction et du développement d'outils d'aide à la décision et de diagnostic agro-environnemental. On peut citer AzoFert®, SIMEOS-AMG, RégiFert et Syst'N®. Pour sa deuxième phase d'agrément (2014-2019), le réseau a élargi son champ thématique en vue d'accompagner la transition

agroécologique, en s'emparant davantage des enjeux de la réduction de l'usage d'intrants, de la limitation des pertes d'éléments nutritifs vers l'environnement (eaux souterraines, eaux de surface, atmosphère), et d'une plus grande autonomie en azote et en phosphore. Ainsi, les travaux du RMT « Fertilisation & Environnement » ont porté non seulement sur la fertilisation des cultures, mais aussi sur la maîtrise des cycles biogéochimiques à différentes échelles et niveaux d'organisation, et sur le recyclage agricole des produits résiduels organiques (PRO).

Le collectif mobilisé par le RMT « Fertilisation et Environnement » reste le socle du nouveau RMT BOUCLAGE, mais ce dernier se nourrit de nouvelles contributions, totalisant l'engagement de 45 partenaires. Cet enrichissement du partenariat concrétise l'implication de davantage de filières de production, l'ouverture au champ de l'économie, le renforcement des compétences en agroéquipements et en risques sanitaires et environnementaux, l'exploration de pédoclimats encore plus diversifiés et l'inclusion des nouvelles matières fertilisantes d'origine résiduelle.

Par ailleurs, dans un souci de cohérence et de complémentarité entre les diverses initiatives d'accompagnement du changement, les travaux du RMT BOUCLAGE se feront en étroite collaboration avec les autres dynamiques partenariales (COMIFER, RNEST, RMT MAELE, RMT SPICEE, RMT PhytoStim, RMT Sols et Territoires, RMT Champs et Systèmes Ateliers, GIS APIVALE, GIS GC HP2E...) [*cf. note jointe au dossier*].

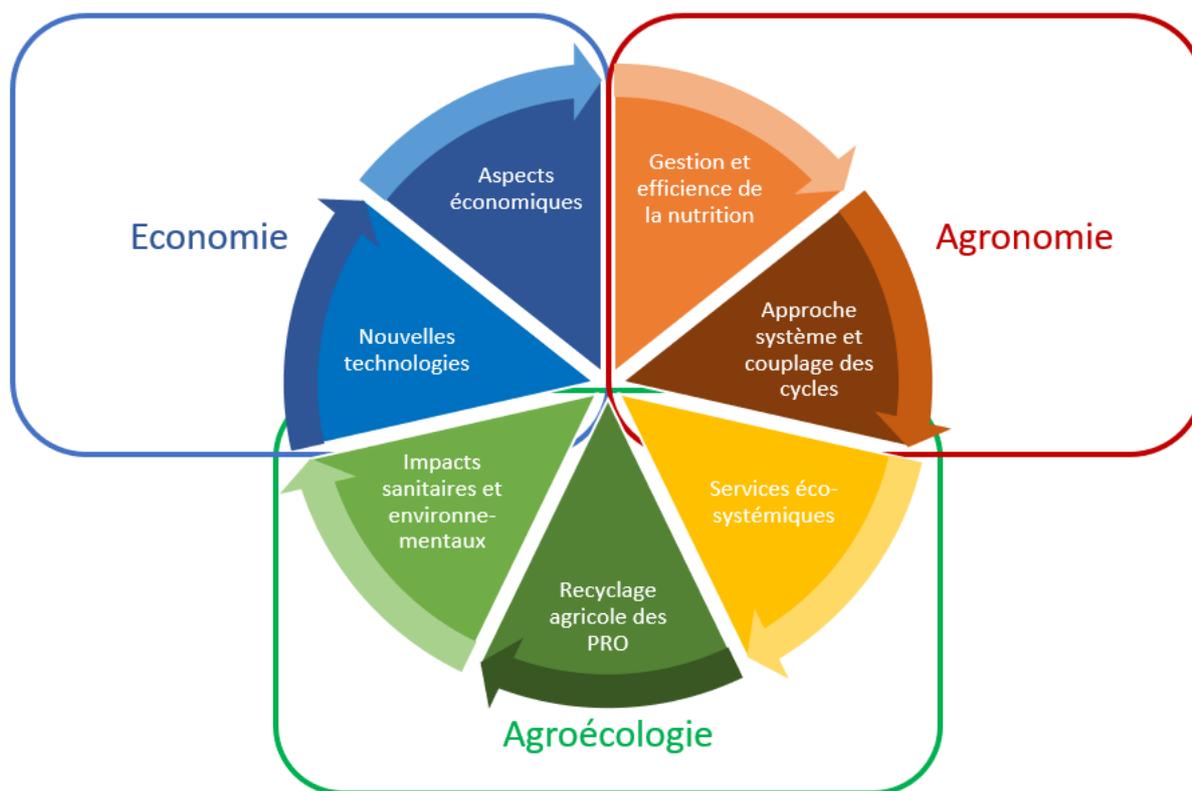
## **1. Thématiques et questions traitées par les actions du RMT**

La nutrition des plantes (disponibilité des nutriments en bonne quantité au bon moment au bon endroit) et la production végétale sont au cœur de la question de la production agricole durable : établir des stratégies qui permettent à la plante d'utiliser les nutriments disponibles dans l'agrosystème, complétés avec la bonne dose d'intrants, en minimisant leur usage et les impacts sur l'environnement. Néanmoins ces questions sont profondément revisitées à l'aune des changements de pratiques et de systèmes de culture. Ces changements sont induits par (i) le virage de l'agroécologie pour répondre aux enjeux du changement climatique, de la préservation de la biodiversité, et de la qualité des milieux et de l'alimentation, ouvrant une place croissante à l'agriculture biologique, l'agriculture de conservation, l'agroforesterie, (ii) la transition volontaire vers l'économie circulaire pour s'adapter à la raréfaction des ressources, conduisant à une plus large mobilisation des matières fertilisantes de qualité issues de ressources renouvelables, une meilleure valorisation des éléments nutritifs de déchets d'origines toujours plus variées ainsi que (iii) la diversification des modalités de production et de valorisation des résidus organiques (composts variés, digestats de méthanisation) ou minéraux (dérivés « déchets-sourcés » : struvite, biochar...) dans les meilleures conditions agronomiques, sanitaires et environnementales.

Ces changements créent de nouvelles situations de production agricole : ils se traduisent principalement par une diversification des cultures au sein des rotations, des allongements des rotations, l'intégration accrue des légumineuses en culture ou en couvert, des associations de cultures, des couvertures du sol plus permanentes via des couverts : cultures intermédiaires piège à nitrate (CIPAN) ou de production de biomasse (CIVE : culture intermédiaire à vocation énergétique), des semis sous couverts vivants ou morts. Ces pratiques visent désormais la fermeture (ou bouclage) accrue des cycles biogéochimiques et favorisent leur couplage (C & N, P, K, S). La fertilisation organique en substitution accrue ou totale aux fertilisants minéraux, le travail du sol réduit ou supprimé (semis direct) qui conduit aussi à modifier la restitution des résidus de culture, l'exportation potentielle des résidus de culture pour des usages non alimentaires (méthanisation, bioraffinerie, agromatériaux) et la création de nouveaux coproduits, sous-produits et déchets potentiellement valorisables en agriculture, modifient aussi fortement le recyclage du carbone vers les sols et à terme la fertilité des sols, et impactent de nombreuses fonctions et donc *in fine* services, rendus par les agroécosystèmes.

Ces changements de pratiques soulèvent donc de nouvelles questions scientifiques relatives à la gestion globale des cycles biogéochimiques à différentes échelles de temps et d'espace. Y répondre passe par l'acquisition de connaissances et de références nouvelles, prérequis pour l'adaptation des outils de diagnostic et de conseil à destination des exploitants agricoles.

Le RMT BOUCLAGE mènera des travaux interdisciplinaires (relevant notamment des domaines de l'agronomie, de l'agro-écologie et de l'économie) visant 1) à comprendre les déterminants des pratiques, seules et combinées, mobilisées pour la gestion des cycles biogéochimiques et de la fertilisation des cultures et dans une approche systémique et anticipatrice, et 2) à en maîtriser les impacts environnementaux et sanitaires. La figure 2 résume de manière schématique les différentes thématiques abordées par le RMT BOUCLAGE.



**Figure 2 : Représentation synthétique des choix thématiques du RMT BOUCLAGE.**

Dans ce contexte, le RMT BOUCLAGE cherchera à faire monter en puissance les trois champs thématiques suivants :

- les impacts du bouclage des cycles biogéochimiques sur l'environnement et la santé humaine et animale (« *One Health* »),
- la prise en compte du numérique et de l'agriculture de précision dans la gestion de la fertilisation,
- l'évaluation des impacts économiques des transitions de pratiques de gestion de la fertilisation et des systèmes.

L'appropriation de ces thématiques émergentes dans les travaux impliquant les partenaires du RMT BOUCLAGE ainsi que le développement de méthodes et outils adaptés reposent sur la consolidation de la thématique de la gestion durable des cycles biogéochimiques et des services écosystémiques fournis par les agroécosystèmes. Ils se feront donc dans une certaine continuité avec les travaux réalisés jusqu'à présent dans le cadre du RMT « Fertilisation et Environnement », RMT qui ne sera pas renouvelé.

Ainsi, les champs thématiques auxquels le RMT BOUCLAGE apportera de nouvelles inflexions sont les suivants :

- une approche systémique avec le couplage des cycles des différents éléments nutritifs et du carbone pour éviter les déséquilibres entre les flux qui conduisent à des pertes et à des impacts ;
- les services écosystémiques rendus par les agroécosystèmes, voire les territoires, en lien avec la gestion des matières organiques et des éléments minéraux ;
- la gestion et l'efficacité de la nutrition des cultures dans des environnements donnés (« triptyque » sol/plante/climat + atmosphère et hydrosphère), en intégrant les effets de la

diversification des systèmes de culture et la valorisation de l'azote d'origine organique (Produits Résiduels Organiques = PRO) et symbiotique (légumineuses).

### 1.1 Impacts du bouclage des cycles biogéochimiques sur l'environnement et la santé

Le développement de l'économie circulaire, avec la nécessité de recycler des résidus organiques en quantités toujours croissantes, et d'origines, de compositions et de formes toujours plus diverses, questionne de façon accrue l'impact résultant de la contamination des milieux par les apports des Matières fertilisantes d'origine résiduelle (MAFOR). La démarche impose de s'intéresser à des échelles larges où sont raisonnés les flux de matières fertilisantes (production, transformation, utilisation) et aux échelles fines de compréhension des processus impliqués dans les risques de pollution.

Le RMT s'attachera donc à **mieux documenter les apports de contaminants réglementés et émergents et leur devenir** (pathogènes, éléments majeurs à usage de fertilisants, éléments traces, composés traces organiques dont les résidus pharmaceutiques, l'antibiorésistance etc., voire éventuellement les microplastiques, les perturbateurs endocriniens...) via les MAFOR (nouvelles sources de MAFOR et MAFOR déjà épandues comme les composts de boues), les engrais minéraux ou les nouvelles formulations de fertilisants (engrais à relargage lent, engrais avec inhibiteurs, etc.) pour en évaluer l'impact potentiel vis-à-vis des différents compartiments de l'environnement (air, eaux, sol), de la santé des écosystèmes (écotoxicologie) et de la santé humaine. Les outils d'aide à la décision devront s'adapter pour tenir compte des flux maximum autorisés en contaminants.

Les impacts principaux visés par le RMT seront **la qualité de l'air, en raison des importantes émissions d'ammoniac** par les activités agricoles, **le réchauffement climatique auquel contribuent les émissions de protoxyde d'azote consécutives aux apports de fertilisants, la qualité des eaux de surface et souterraines, la qualité des sols et la qualité des récoltes.**

Les travaux de recherche sur les pertes de composés polluants (nitrate et ammoniac) ou à effet de serre (protoxyde d'azote) en lien avec les pratiques agricoles sont nombreux. Il s'agira donc pour le RMT BOUCLAGE de co-construire avec les praticiens, les constructeurs de machines, les producteurs d'engrais et de MAFOR et les chercheurs, des solutions (connaissances formalisées, conseils, outils...) pour lever les verrous à l'appropriation de pratiques visant la réduction de ces émissions. Dans le cas de l'ammoniac, des questions de recherche sur l'évaluation des additifs agronomiques, l'optimisation des stratégies de fertilisation (vis-à-vis des émissions), la mise à disposition d'outils de mesure, seront traitées spécifiquement. En ce qui concerne le protoxyde d'azote, le RMT pourra accompagner les travaux de recherche en fournissant des caractérisations actualisées des situations de production et d'usage des MAFOR et engrais. Dans tous les cas, la question du risque de contribution au réchauffement climatique additionnel, ainsi que de pollution de l'air et des eaux de surface et souterraines par les nutriments apportés aux cultures renvoie à la thématique d'une meilleure maîtrise de l'efficacité des apports de fertilisants en raisonnant mieux la synchronisation entre l'offre et la demande en nutriments dans le temps et l'espace. C'est une thématique fortement présente dans le RMT F&E, qui a été notamment conduite en collaboration avec le COMIFER dans le passé. Elle sera poursuivie et la collaboration continuée. L'avancée des travaux sur ces pertes vers l'environnement a acquis un niveau de maturité suffisant pour qu'ils soient maintenant abordés de manière simultanée, et non plus segmentée : c'est l'un des défis que se fixe le RMT BOUCLAGE de favoriser cette dynamique, dans l'objectif d'intégrer les synergies de certaines pratiques (la synchronisation entre l'offre et la demande est particulièrement efficace pour réduire toutes les pertes azotées) et les antagonismes possibles de certaines pratiques entre les différents impacts : par exemple, pour réduire l'impact de la fertilisation azotée sur la qualité de l'air ( $\text{NH}_3$ ), une incorporation pourra conduire à favoriser les impacts en termes de qualité de l'eau ( $\text{NO}_3^-$ ) ou de réchauffement global ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ou non,

selon le contexte pédoclimatique. Cette démarche doit aussi s'inscrire dans la continuité de la réflexion de la réduction des émissions de ces composés en amont de l'apport au champ, que ce soit au sein des filières d'élevage représentées par tous leurs postes (alimentation, bâtiment, stockage-transformation) en relation avec les travaux du RMT MAELE ou concernant les filières de traitement des déchets d'autres origines.

Concernant **la santé humaine** (liée aux produits végétaux et animaux et à l'eau consommés), le RMT restreindra son questionnement essentiellement aux impacts potentiels de contaminants liés aux apports de MAFOR (éléments traces, pathogènes, résidus médicamenteux, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Cette question est importante notamment pour les digestats de méthanisation, qui concentrent jusqu'à 5 fois les polluants et qui sont souvent issus de déchets d'origine très variée, et la possibilité de nouveaux mélanges, posant la question de la traçabilité dans le statut déchet. Le RMT BOUCLAGE s'emparera néanmoins des questions de l'impact sur la santé humaine via l'air respiré dans la mesure où l'ammoniac émis dans l'atmosphère est un précurseur de particules fines.

### 1.2 Fertilisation et nouvelles technologies (agriculture numérique et de précision, agroéquipements et robotique)

Le développement rapide des nouvelles technologies et d'agroéquipements de plus en plus connectés (capteurs, drones et imagerie numérique, outils logiciels connectés embarqués, automatisation et robotisation...) impose au RMT d'inclure dans son programme de travail l'accompagnement des acteurs dans l'utilisation de ceux-ci, et de les prendre en compte dans le raisonnement et le conseil en fertilisation, qui doivent s'adapter aux nouveaux modes de travail des agriculteurs.

Les principales innovations technologiques pouvant impacter le raisonnement et la mise en œuvre de la fertilisation concernent la robotisation des agroéquipements (autonomie des équipements à différents degrés, adaptabilité et modularité des agroéquipements...), le développement de l'agriculture de précision et de l'agriculture numérique (technologies de l'information et de la communication [TICs], outils d'aide à la décision [OAD], capteurs...), la co-conception d'agroéquipements et de systèmes agroécologiques (équipements pour mieux exploiter la diversité fonctionnelle des agrosystèmes, boucler les cycles biogéochimiques, ou mettre en œuvre le biocontrôle) et l'innovation organisationnelle liée aux agroéquipements (gestion optimisée de la chaîne logistique...). Toutefois, la mise en œuvre de ces nouvelles technologies sur les exploitations agricoles ne pourra être effective et efficace que dans le cadre d'une collaboration poussée entre technologues et agronomes.

Le RMT BOUCLAGE, en regroupant ces deux catégories d'acteurs, s'attachera donc à :

- Valoriser, en circuit court, les données captées localement sur des réseaux de parcelles, la numérisation croissante de l'agriculture posant la question de l'intérêt et de la faisabilité de **mobiliser et mutualiser les données agricoles pour optimiser la fertilisation** à des échelles variées, et les données acquises à partir de capteurs embarqués sur les machines d'épandage (analyse des valeurs fertilisantes des produits en temps réel par exemple) pour alimenter les outils d'aide à la décision.
- **Disposer d'outils d'aide à la décision contribuant désormais à l'agriculture de précision** tels que des outils de modulation intra-parcellaire de la fertilisation (la modulation peut en effet constituer un facteur d'efficacité des apports et doit être prise en compte dans les outils et méthodes de conseil).

- **Disposer d'outils intégrés de la fertilisation** en couplant les outils de calcul des doses d'éléments nutritifs à apporter aux cultures développés par le RMT Fertilisation & Environnement (2007-2019) et les outils de fertilisation de précision (cartes de préconisations, outils de maîtrise de dose...) pour diminuer les écarts entre doses préconisées et doses réellement apportées.
- Mieux prendre en compte le **couplage de la fertilisation organique et minérale** et comment l'agriculture de précision et les agroéquipements peuvent répondre à cette problématique de fertilisation couplée.
- Mieux prendre en compte **l'impact des agroéquipements sur les pratiques de fertilisation** et les conséquences environnementales qui en découlent avec un focus sur :
  - le tassement du sol et les potentielles émissions de gaz à effet de serre qui en découlent ainsi que les solutions alternatives envisageables et leur faisabilité de mise en œuvre (épandage sans tonne à lisier, robots d'épandage travaillant en coopération...);
  - Une meilleure connaissance de l'épandabilité des produits organiques qui peut constituer un frein à toute fertilisation de précision et des nouveaux produits fertilisants déchets-sourcés (struvite...). Le RMT examinera également l'influence des procédés de traitement ou de post-traitement (digestats par exemple) sur l'épandabilité des produits. Cette thématique inclut le lien entre techniques d'épandage, en particulier des lisiers, et le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA);
  - la qualité d'épandage et la maîtrise de la dose;
  - L'épandabilité des MAFOR localement sur le sol en présence d'un couvert végétal, dans le cadre de la généralisation des apports de MAFOR au-delà des apports sur prairies et en amont de l'implantation des cultures.
- Disposer de meilleures connaissances sur les **logistiques de chantiers d'épandage pour les produits organiques** et la gestion territoriale des agroéquipements associée à ces chantiers (distances de transport, rendement de chantier...) afin de produire des références et alimenter des outils de gestion de la fertilisation en lien avec les gisements disponibles de MAFOR.

### 1.3 Aspects économiques de la gestion de la fertilisation

Les aspects économiques seront traités à deux échelles complémentaires : d'une part du point de vue de l'agriculteur à l'échelle de son exploitation, et d'autre part à l'échelle territoriale pour prendre en compte les flux d'éléments.

#### 1.3.1. Aspects économiques de l'utilisation des engrais et des amendements

Le RMT BOUCLAGE cherchera à prendre en compte l'importance que revêt **l'aspect économique dans la prise de décision des stratégies de fertilisation minérale et organique de l'agriculteur** à l'échelle de son exploitation. En effet, les seuls critères agronomiques ou d'organisation et de pénibilité du travail ne suffisent pas à déterminer les choix de l'agriculteur en matière de gestion de la fertilité des sols et de fertilisation des cultures. Dans un contexte de raréfaction ou de renchérissement probable de certaines ressources (phosphore, azote) il sera nécessaire de travailler à des démarches d'optimisation globale des intrants minéraux sous contraintes économiques. Ceci pourrait se traiter en se basant sur des fonctions de réponses (de la production en quantité et en qualité) assorties de leurs incertitudes permettant l'identification de stratégies optimisées tant sur leurs performances

moyennes que sur leur variabilité interannuelle ou leur sensibilité à des modifications de marchés (prix et coûts). La valorisation agricole des MAFOR passe également par une meilleure estimation de la valeur économique rendue racine de ces engrais ou amendements par rapport à leur efficacité agronomique. Or, la détermination de cette valeur économique reste complexe et l'identification des éléments y contribuant fera l'objet d'un travail prospectif dans le cadre du RMT.

Nous nous attacherons également aux déterminants de **l'économie de l'épandage**, depuis la production des engrais minéraux et organiques jusqu'à sa mise en œuvre pratique (logistique de transport et d'épandage). Les données étant relativement peu disponibles sur les modalités des chantiers d'épandage (distance de transport des MAFOR, logistique...), il sera nécessaire de suivre et anticiper l'évolution des chantiers d'épandage et d'évaluer les différentes filières d'épandage. Cette approche répondra à un double objectif de conseil technico-économique et d'appui aux politiques publiques relatives à l'augmentation de la part de fertilisants issus de ressources renouvelables.

Il sera également nécessaire de travailler à l'identification des références et méthodes nécessaires à l'évaluation des performances économiques de la fertilisation à des échelles variées : exploitation, territoire, bassin de production.

### 1.3.2. Transferts de fertilité et gestion multi-acteurs

Plus largement, le RMT examinera en quoi le développement du recyclage agricole des déchets et coproduits organiques pose la question du transfert de fertilité intra-exploitation ou entre exploitations, voire à des échelles plus larges en cas d'apport de produits exogènes. Une **évaluation multicritère des transferts de fertilité** sera conduite, incluant les produits non agricoles. Cette approche s'intéressera à la dimension économique de ces transferts. Ces valorisations de déchets et coproduits organiques issus de l'agriculture ou d'activités urbaines et industrielles nécessitent de rechercher des synergies territoriales visant à répondre à des demandes bien caractérisées de la part des exploitations agricoles (notamment en lien avec les besoins en fertilisation organique des cultures). Il s'agit donc de susciter des symbioses industrielles territoriales aptes à contribuer concrètement à l'économie circulaire des territoires. Avec cet objectif de gestion multi-acteurs, des hypothèses (techniques, économiques et environnementales) pourront être élaborées et mises au débat dans des arènes d'acteurs de territoires avec l'appui de sociologues et de gestionnaires des collectivités territoriales. Les outils du RMT pourront être utilisés pour faciliter l'élaboration de telles hypothèses, avec l'appui méthodologique du futur RMT SPICEE (Structurer et Produire l'Innovation dans les systèmes ayant des Cultures et de l'Élevage-Ensemble).

### 1.4 Approche « systèmes de culture » et couplage des cycles minéraux

Le RMT BOUCLAGE s'attachera à aborder les questions à différentes échelles temporelles et spatiales notamment à l'échelle du système de culture (pluriannuel et moyen-long terme), du paysage et du territoire. Ces travaux ont vocation à être traités en interaction avec plusieurs futurs RMT potentiels, notamment :

- Comment les changements de pratiques agricoles visant à l'adaptation à la raréfaction des ressources, au changement climatique... questionnent les modes de raisonnement de la fertilisation et la construction de systèmes de culture (SdC) autonomes vis-à-vis de la fertilisation minérale (en collaboration avec le RMT Champs et Territoires ateliers) ;
- Comment **la gestion des ressources organiques**, notamment *via* les procédés de traitement et de recyclage, peut conduire à la production de nouveaux produits ou matières premières pour les fertilisants et les déchets sous plan d'épandage (ex. : struvite et autres sels de phosphate, composts et digestats normalisés) et se substituer aux fertilisants minéraux classiques. Cette

question sera traitée à l'échelle d'un territoire, en collaboration avec les futurs RMT SPICEE et MAELE « Macro-Elevages-Environnement ». Les conséquences sur le stockage du carbone dans les sols seront identifiées et analysées, en collaboration avec le RMT « Sols et Territoires » ;

- **L'amélioration de modèles numériques de calcul de dose et de diagnostic environnemental** visera à prendre en compte l'échelle des rotations de cultures, les nouvelles cultures, les nouvelles modalités de travail du sol, les situations de couverts et d'interculture, l'état biologique du sol, plusieurs éléments fertilisants (ex. couplage C/N/P/S) et la prévision des impacts environnementaux (nutrition et production des cultures, émissions de gaz à effet de serre, émission de polluants gazeux, lixiviation, stabilisation dans les sols).

### 1.5 Services écosystémiques des sols en lien avec la gestion des matières organiques et des éléments minéraux

La prise en compte des « services écosystémiques » dans nos travaux fait écho aux évolutions conceptuelles et scientifiques à ce propos et traduit principalement la nécessité de tenir compte des multifonctionnalités des sols et des agrosystèmes, mais aussi des synergies et antagonismes possibles résultant des pratiques culturales. Il s'agit d'étudier les processus affectant le système biophysique que représente le sol cultivé pendant les cultures et les intercultures (interactions sol/plante/microorganismes) afin de déterminer les services rendus par celui-ci, selon les pratiques mises en place. Ces travaux permettront de mieux connaître et quantifier les modifications des processus biogéochimiques des éléments C, N et P sur la composition des communautés biologiques, les conséquences sur le bouclage des cycles notamment N et P, et les conséquences sur le fonctionnement physique et biologique du sol et la production de biomasse végétale. Ils viseront également le développement d'indicateurs de risque de pertes d'éléments impactant la qualité de l'air, la qualité des eaux, les flux de carbone et sa séquestration, et également d'indicateurs de la santé et de la qualité des sols.

### 1.6 Gestion et efficacité de la nutrition des cultures

Cette thématique de travail, cœur de compétences des partenaires du réseau, se situe principalement à l'échelle de la parcelle. Elle sera revisitée à la lumière des questions posées (points 1.1, 1.2 et 1.5) : en quoi l'évolution des systèmes de culture, des pratiques agricoles, et la prise en compte des services écosystémiques, questionnent l'étude des processus de manière différente ? Quelles connaissances /références incomplètes, ou questions imparfaitement traitées, deviennent cruciales dans le contexte de l'agro-écologie ? Comment les intégrer ensuite dans les pratiques ? Ces questions relèvent autant de la qualité et de la disponibilité des éléments fertilisants que de l'efficacité, la maîtrise et la réduction de la fertilisation minérale, de l'autonomie des exploitations et de l'économie.

Les priorités porteront sur :

- **L'amélioration de l'efficacité des apports de fertilisants minéraux et organiques** pour les cultures (aussi appelée efficacité des apports). Le faible recouvrement reste problématique et est révélateur de l'ouverture des cycles de N et P et donc des pertes. Ces questions seront traitées en collaboration avec les RMT « Champs et territoires ateliers » et « Phyto-stimulation » pour les pratiques culturales innovantes.
- **L'augmentation de la fixation symbiotique** comme voie d'entrée d'azote pour les systèmes de culture. Par leur capacité unique, les légumineuses sont une clé incontournable pour les pratiques mobilisant les processus agro-écologiques. Ainsi, la transition vers des systèmes plus

durables et à bas intrants nécessite de mieux instruire les flux azotés des agrosystèmes les incluant afin d'adapter les stratégies et les outils à ces dynamiques spécifiques.

- **La contribution des résidus de culture morts ou vivants** (notamment issus des adventices et couverts végétaux) comme source de nutriments et de matières organiques : quel devenir dans les sols ? Quel impact sur les processus CNP, sur la disponibilité des nutriments, sur le stockage de matières organiques, sur l'abondance et l'activité biologique du sol, sur la composante physique des sols et sur la disponibilité de l'eau ?
- **La maîtrise de la fertilisation organique**, déjà au cœur de nombreux projets, devient essentielle. Notre analyse montre qu'elle passe par :
  - i) la caractérisation de la qualité et la typologie agronomique (efficacité azotée) et environnementale (potentiels de pertes sous formes d'ammoniac, de protoxyde d'azote...) des MAFOR (qu'elles soient sous plan d'épandage ou sous forme de produits normalisés). Cette question est un réel challenge qui est posé pour chaque nouvelle matrice arrivant sur le marché en raison de la variabilité de la nature des ressources et des procédés de transformation amont qui affectent les propriétés de ces MAFOR. Un besoin très fort a été exprimé par les représentants des agriculteurs, lors des Etats Généraux de l'Alimentation de 2017 et au sein du groupe de travail sur le « Pacte de confiance » mis en place en 2018 dans le cadre du volet agricole de la Feuille de Route pour l'Economie Circulaire (FREC)<sup>1</sup>, de catégorisation des MAFOR en fonction de leurs caractéristiques (MS, MB, MO), leurs valeurs fertilisantes (disponibilité de l'azote, P, K...) et leurs effets amendants (pH, MO, rétention en eau, structuration, activité biologique...). La perspective de la sortie du statut *déchet* d'un nombre croissant de matières renforce le besoin d'analyser et de réassurer l'intérêt agronomique, l'innocuité et la traçabilité de ces matières afin de garantir des conditions pérennes et durables pour leur retour au sol.
  - ii) la question des conditions de transport et des techniques d'épandage au sol, abordée d'un point de vue des agroéquipements, mais insuffisamment en lien avec l'analyse des impacts environnementaux.
- **L'évolution de la matière organique des sols cultivés** (en quantité et qualité) :
  - i) mieux la modéliser, en particulier dans des systèmes moins intensifs, afin de prédire les conséquences sur la fertilité des sols et sur les flux de minéralisation de C, N et P (par exemple dans l'outil Syst'N® en ajoutant le C, ou dans l'outil SIMEOS-AMG en ajoutant N) en tenant compte du rôle du pédoclimat ;
  - ii) prendre en compte les relations entre pratiques, quantité et distribution des matières organiques et composante biologique des sols. Cette composante biologique contribue fortement aux flux de nutriments et à la biodisponibilité des éléments minéraux, dont l'intensité et la dynamique impactent les pertes. Nous poursuivrons les travaux sur les indicateurs du fonctionnement biologique, et la typologie des pratiques permettant de contribuer à l'élaboration de diagnostics en matière de gestion des matières organiques, de fertilisants et de conseils.
- **La ressource en Phosphore**. Cet élément fait l'objet d'un focus spécifique (bien que mentionné auparavant), car il est encore trop souvent déconnecté des travaux sur N et C. Nous souhaitons mieux comprendre les relations entre fonctionnement microbien et symbiose mycorhizienne et flux de phosphore. Par ailleurs, nous tenterons de savoir comment la biodisponibilité du P est affectée par les cultures (prélèvement, restitution *via* les racines et les résidus, acidification, activité enzymatique...), en interaction avec les pratiques (cultures associées, travail du sol, localisation des apports, formes de P apportées...).

---

<sup>1</sup> <https://agriculture.gouv.fr/le-volet-agricole-de-la-feuille-de-route-pour-leconomie-circulaire>

Le RMT BOUCLAGE vise ainsi à réunir les acteurs, moyens et compétences concernés par toutes ces thématiques scientifiques et techniques, autour d'un programme de travail collectif organisé par type de production envisagée. C'est pourquoi trois axes de travail ont été définis.

## **2. Axes de travail et productions attendues du RMT BOUCLAGE**

Au cours des cinq ans à venir, le RMT BOUCLAGE veut faire évoluer les raisonnements et les pratiques des acteurs concernés par le segment ciblé, en produisant des connaissances actionnables.

De façon générale, le RMT BOUCLAGE s'attachera à faciliter l'incubation et le montage de **projets de R&D** destinés à apporter des réponses opérationnelles aux questions posées et problèmes rencontrés par les agriculteurs et conseillers agricoles dans l'exercice de leurs métiers, dans les thématiques présentées ci-dessus. Ces projets apporteront de nouvelles références, méthodes et de nouveaux outils d'aide à la décision qui s'inscriront à l'interface entre l'agroécologie et la bioéconomie, pour répondre aux enjeux de l'économie circulaire.

Le RMT BOUCLAGE initiera et animera par ailleurs des réflexions prospectives pour anticiper de nouvelles questions pratiques, qu'il traduira le cas échéant sous forme de **nouvelles questions de recherche**, dont le réseau s'emparera.

Le RMT BOUCLAGE accompagnera également les ministères en charge de l'agriculture et de l'environnement dans l'élaboration et la mise en œuvre de **politiques publiques** en lien avec l'économie circulaire et la gestion durable des cycles biogéochimiques et visant la limitation des impacts négatifs des pratiques de fertilisation sur l'environnement et la santé, tout particulièrement ceux concernant la qualité de l'air, de l'eau et des sols.

Enfin, le RMT BOUCLAGE **diffusera le plus largement possible** les nouvelles connaissances et références acquises, sous la forme la plus directement utilisable par le public auquel il s'adressera. Il pourra s'agir par exemple de séminaires scientifiques, de journées thématiques, de fiches techniques, de guides pratiques, etc.

Pour faciliter l'élaboration de résultats, le programme de travail du RMT BOUCLAGE s'articule autour d'axes de travail définis par le type de production qu'ils génèrent. Ces axes sont donc transversaux aux activités du RMT et pas thématiques :

- **Axe 1 : Prospective, veille scientifique et règlementaire, stratégie d'ouverture.**
- **Axe 2 : Mutualisation des données, références, modèles et outils.**
- **Axe 3 : Transfert, formation, appui aux politiques publiques.**

Ces axes s'articulent logiquement (figure 3) et s'alimentent mutuellement en partant de l'idée et de la formulation de questions de recherche (axe 1) pour aller au montage et à la mise en œuvre de projets de R&D (axe 2) puis *in fine* à la valorisation des résultats (axe 3).

La présentation qui suit du contenu de chacun de ces axes est organisée en trois niveaux :

- les **objectifs visés**, notamment en termes de type d'action d'animation et de type de production attendue ;
- les **actions prévues**, c'est-à-dire celles qui sont déjà engagées (soit des projets en cours de montage avec un appel à projet ciblé, soit des projets en cours de mise en œuvre sur des

financements déjà acquis), ou des activités ne nécessitant pas de financement spécifique autre que celui de l'animation, telles que des réunions de groupes de travail ;

- les **actions envisagées**, correspondant à des priorités pour le RMT, mais pour lesquelles les moyens ne sont pas encore acquis et devront être recherchés.

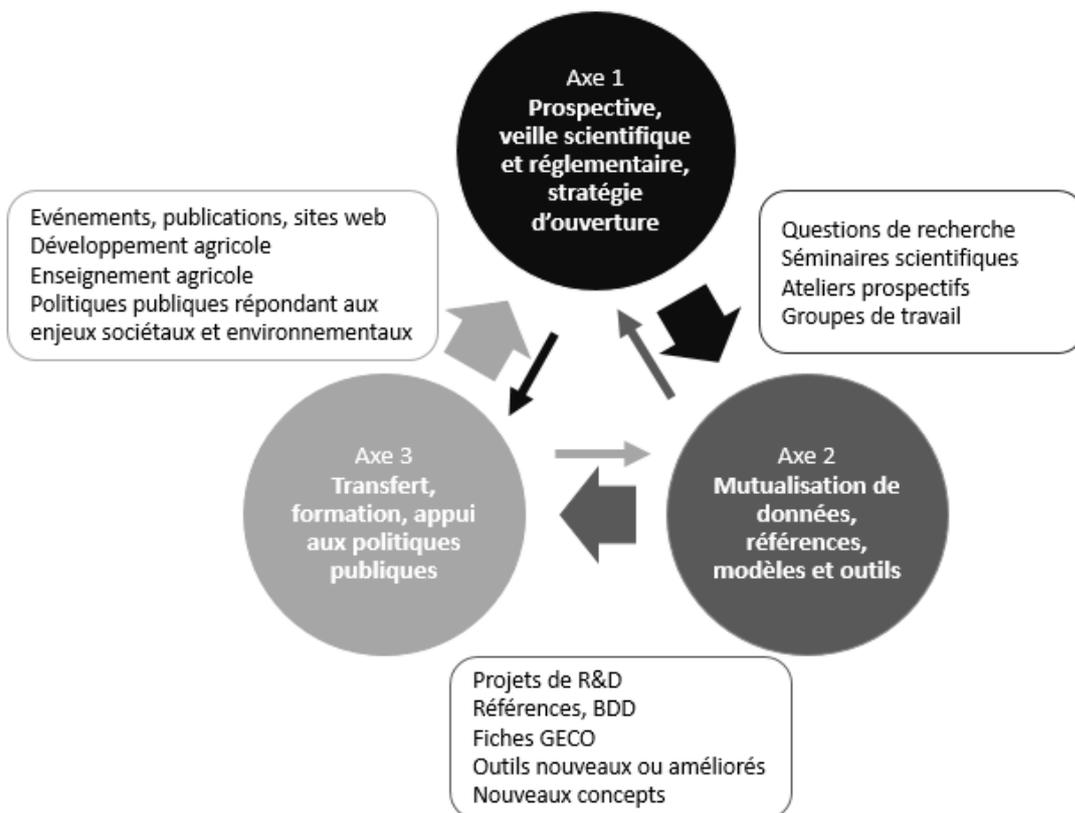


Figure 3 : Articulation des 3 axes de travail du RMT BOUCLAGE.

### 2.1. Axe 1 : Prospective, veille scientifique et réglementaire, stratégie d'ouverture

#### **Objectifs**

Cet axe de travail vise de façon générale à construire la « vision scientifique » du RMT BOUCLAGE, essentiellement par la veille, la réflexion et les échanges. Les objectifs spécifiques sont de :

- Anticiper les besoins des agriculteurs et de leurs conseillers grâce aux échanges entre partenaires et en organisant des débats prospectifs,
- Maintenir une veille scientifique sur les travaux menés et résultats acquis dans le champ thématique du RMT, par d'autres organismes, équipes, UMT, RMT ou projets européens,
- Formuler de nouvelles questions de recherche, animer des séminaires scientifiques pour susciter des échanges entre disciplines différentes, y compris avec des partenaires externes au réseau, susciter le montage de groupes de travail au sein du RMT, notamment sur les thématiques nouvelles : économie, nouvelles technologies, environnement et santé,
- Faciliter et coordonner une veille réglementaire française et européenne, en lien avec les partenaires historiques du RMT (COMIFER, APCA) et hors RMT (European Landowners Organization),
- Entretenir des relations d'échanges avec les partenaires techniques et scientifiques ultramarins et des pays voisins, en particuliers francophones ; s'ouvrir à d'autres systèmes de culture et

pédoclimats, notamment tropicaux, pour élargir les questions de recherche et le domaine d'application des outils et méthodes issus du RMT.

### **Actions prévues & envisagées<sup>2</sup>**

Les actions déjà prévues sont les suivantes :

1- Chaque année **un séminaire scientifique et un atelier prospectif** seront organisés. Les grands thèmes du RMT BOUCLAGE seront traités successivement ou parallèlement sur la période de cinq ans, la proposition des thèmes à traiter étant faite chaque année par les animateurs et discutée en comité stratégique.

Au cours de la vie du RMT BOUCLAGE, un ou des séminaires scientifiques seront organisés au niveau national, et les animateurs et membres du RMT participeront à des sessions de colloques internationaux au niveau européen et dans les DOM, en particulier avec les partenaires belges et suisses du RMT et les partenaires implantés en milieu tropical et dans les pays du Sud (Cirad notamment).

Avec l'évolution des pratiques liées à la transition agroécologique, les questionnements du terrain en matière de fertilisation évoluent. Afin de pouvoir mieux appréhender les nouvelles attentes des utilisateurs, nous organiserons un séminaire de réflexion prospective multi-acteurs associant les agriculteurs, des fournisseurs de solutions fertilisantes (organiques ou minérales), des conseillers et des scientifiques pour faire émerger les besoins et les questions de recherche qu'ils sous-tendent.

### **2- Groupes de travail**

Ces groupes de travail se réunissent sur une durée déterminée (une à plusieurs réunions sur un à trois ans), avec comme objectifs de traiter d'une ou quelques questions précises, par des échanges, des exposés, des invitations d'intervenants extérieurs si nécessaire. Ces réunions de travail ont vocation à déboucher sur des propositions de projets élaborés ensemble et déposés à divers appels à projets (CASDAR, ADEME, ANR...). Ces groupes sont mis en place à l'initiative des partenaires motivés du RMT, les animateurs apportant un soutien logistique à l'organisation, à la diffusion des informations, puis un appui au montage éventuel de projets.

- Dès la première année, un groupe de travail (déjà actif au sein du précédent RMT Fertilisation & Environnement) sera remis sur pied pour mener à son terme la réflexion sur la généralisation possible de l'utilisation du reliquat azoté dans le sol en entrée d'hiver (REH), déjà utilisé en France dans certaines aires de captage, et surtout en Belgique (région wallonne) sous l'acronyme APL (Azote Potentiellement Lessivable) comme outil de contrôle de l'efficacité de la gestion de l'azote à l'échelle de la parcelle.
- Les autres sujets identifiés par divers partenaires du RMT BOUCLAGE et qu'ils souhaitent mettre en œuvre dans les cinq années à venir sont les suivants :
  - ✓ Maîtrise des contaminants liés aux apports de Matières Fertilisantes d'Origine Résiduaire (MAFOR) ;
  - ✓ Démarches territoriales et transferts de fertilité intra- et inter-exploitations ;
  - ✓ Economie de la fertilisation et de l'épandage de produits organiques ou minéraux ;
  - ✓ OAD pour les cultures biologiques, besoins spécifiques de ces utilisateurs ;
  - ✓ Pilotage de la fertilisation en milieu tropical : spécificités et besoin de développement d'OAD adaptés ;

---

<sup>2</sup> S'agissant de l'axe 1 de prospective et veille scientifique, la distinction entre actions « prévues » et actions « envisagées » n'est pas pertinente.

- ✓ Connaissances et méthodes mobilisables (ou non) sur la fertilisation soufrée des cultures.

Ces ateliers/groupes de travail pourront aussi faire l'objet de publications de synthèses dans des journaux francophones et/ou scientifiques (type *opinion paper*). Ils restitueront chaque année l'avancée puis les conclusions de leurs travaux, lors des assemblées générales.

### 3- Réalisation d'enquête et d'inventaires

- Une enquête visant à identifier les pratiques des agriculteurs et de leurs conseillers vis-à-vis de la gestion des éléments nutritifs, les problèmes que cela pose et les freins à l'adoption de pratiques agroécologiques, et de pratiques visant la réduction de la fertilisation minérale et de ses impacts environnementaux sera mise en œuvre. L'enquête pourra être diffusée via les réseaux des membres du RMT (APCA, Instituts techniques, ...). Ce travail pourra être conduit en partenariat avec les organismes de formation notamment dans le cadre de projets d'ingénierie proposés à des élèves ingénieurs en fin de cursus.
- Un inventaire des technologies innovantes pour le traitement et la transformation des déchets organiques sera mené de manière à identifier les produits susceptibles d'être disponibles dans l'avenir pour une utilisation agricole. Ce travail sera réalisé en lien avec les travaux conduits dans le cadre du projet européen HORIZON 2020 Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Networks programme REFLOW (<https://etn-reflow.eu/>) qui a débuté en janvier 2019 et dans lequel UniLaSalle est impliqué.

## 2.2. Axe 2 : Mutualisation des données, références, modèles et outils

### Objectifs

Cet axe de travail vise à favoriser le partage entre membres du RMT BOUCLAGE et la valorisation conjointe de concepts, références, modèles et outils. Il vise tout particulièrement l'élaboration de consensus scientifiques, susceptibles d'être valorisés dans des outils d'aide à la décision développés par les partenaires mais aussi dans la co-construction de modèles communs. Les objectifs spécifiques sont :

- (1) **Monter des projets de R&D de qualité.** La plus-value du RMT BOUCLAGE est d'accompagner les porteurs de projets de R&D, de la formulation de l'idée au montage du dossier (via notamment l'organisation de groupes de travail, puis d'apporter une expertise sur les projets en montage en amont de la labellisation des projets...), enfin pour les projets de R&D labellisés par le RMT BOUCLAGE, les accompagner dans la mise en œuvre et la coordination avec les autres projets ;
- (2) **Susciter la mutualisation des méthodes, données et références acquises** par les membres du réseau, promouvoir l'intégration des nouvelles connaissances et références acquises et ainsi améliorer les méthodes, modèles et références dans les outils existants ;
- (3) **Développer de nouveaux outils** plus intégrateurs (par exemple multiéléments avec un couplage NPC...), plus systémiques (rotation, type de couverts, type de travail du sol, intégration de légumineuses et/ou de MAFOR...) et/ou tenant compte des apports de nouvelles technologies (modulation intra-parcellaire...) et de la dimension économique pour répondre aux questions soulevées au point 1.

## Actions prévues

### 1) Sur toutes les thématiques

- Tout au long de la période d'agrément du RMT BOUCLAGE, les animateurs assurent **la veille et la diffusion aux partenaires des appels à projets pertinents pour les thématiques et acteurs du RMT** (CASDAR, ADEME, H2020, ANR, mais aussi les régions via les GO du PEI-Agri...). Le RMT s'appuie sur les réflexions menées en séminaire scientifique et de prospective, sur les propositions élaborées par le groupe de travail *ad hoc* le cas échéant, et suscite si nécessaire la mise en place de tels groupes ou réunions de préparation.
- En amont du dépôt des projets et au moment de la **labellisation de projets**, proposée aux porteurs, les animateurs organisent au moins une séance annuelle d'examen des dossiers par le comité stratégique, apportent leur aide à la rédaction de nouveaux projets, notamment grâce à la relecture critique des manifestations d'intérêt et des projets finaux et l'expression de recommandations.
- Les animateurs participent aux réunions du comité de pilotage des projets de R&D labellisés par le RMT pour suivre l'avancement des travaux et faciliter leur coordination avec les autres projets.

Les autres actions prioritaires qui sont identifiées actuellement s'insèrent dans des projets en cours ou soumis en 2019, et associant plusieurs partenaires du RMT BOUCLAGE.

### 2) Acquisition de références et élaboration de guides sur l'utilisation des PRO/MAFOR

- Il s'agit d'une part de la rédaction d'un **guide comment fertiliser avec des digestats de méthanisation d'origine agricole** (projet FertiDig, si lauréat du CASDAR IP), et d'autre part de l'élaboration d'un **guide d'utilisation des amendements organiques** et le développement des **méthodes d'évaluation de leur « valeur carbone » en contexte maraîcher** (projet PERFORM, si lauréat du CASDAR RT).
- Une base de données mutualisée sur les MAFOR sera construite, référençant des teneurs en nutriments, contaminants, carbone, ainsi que des courbes de minéralisation de l'azote, coefficients d'humification, etc., et mise à disposition du public.
- En contexte ultramarin, deux actions sont menées ou prévues : la première concerne l'acquisition de références sur **l'efficacité azotée de MAFOR** issues de l'élevage, de l'agro-industrie et de l'urbain produites à **La Réunion** et apportées **sur la culture de canne à sucre** en conditions pédoclimatiques contrastées (projet TERO), l'autre abordera l'utilisation et la combinaison des **amendements organiques en maraîchage biologique à La Martinique** : rôles amendant et fertilisant des matières organiques, impacts sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

### 3) Raisonnement de la fertilisation dans une perspective d'amélioration de la fertilité des sols

Le RMT BOUCLAGE a déjà prévu de traiter quatre questions :

- Amélioration et test des **méthodes de raisonnement et de pilotage de la fertilisation azotée** s'affranchissant d'un objectif de rendement, en particulier du blé (projet APPI-N, si lauréat du CASDAR IP), du colza et du tournesol, en tolérant des états sub-optimaux de nutrition azotée du couvert (suivi par les mesures d'INN) permettant de réduire les apports d'azote notamment précoces.
- Mobilisation des **indicateurs de l'activité biologique des sols** dans les démarches de diagnostic et de conseil aux agriculteurs. Les années récentes ont permis, grâce à de nombreux projets financés au niveau national (Microbioterre, Agro-Eco-Sol, Snwoman-Ecosom, etc.), d'acquérir un grand

nombre de données pour référencer des indicateurs d'activité biologique du sol en lien avec la gestion des matières organiques et de la fertilisation. Il s'agira de (i) partager ces connaissances et données, (ii) poursuivre l'intégration des bio-indicateurs du sol dans les démarches de diagnostic de la fertilité des sols agricoles et de pilotage de la fertilisation des cultures pour compléter les démarches et OAD existants. Une connaissance des effets des pratiques sur le fonctionnement biologique des sols en complément des indicateurs physico-chimiques plus classiques apparaît désormais importante pour un certain nombre d'agriculteurs, qui ont conscience des fonctions écologiques régulant la biodisponibilité des nutriments mais aussi la fertilité de leurs sols.

- Cahier des charges de type **Bonnes Pratiques d'Expérimentation/Bonnes Pratiques de Laboratoire** pour les essais sur les matières fertilisantes et supports de culture (MFSC) dans le cadre d'un Groupe de Travail dédié, en lien avec le RMT PhytoStim pour ce qui concernera les biostimulants.
- Analyse de la **complémentarité entre amendements organiques** (surtout N et P), **plantes de service** (légumineuses : N) et **fertilisants minéraux** (dont K).

#### 4) Utilisation, développement, amélioration des OAD

Il s'agit de répondre à la nécessité de mieux gérer la nutrition des cultures dans les nouveaux contextes de pratiques, ou pour des systèmes de culture pour lesquels les outils étaient manquants jusqu'à présent, en augmentant notamment l'efficacité des apports minéraux et organiques. En particulier :

- Dans le contexte des **exploitations en agriculture de conservation**, l'adaptation des outils de pilotage de l'agriculture « conventionnelle » et de gestion des matières organiques des sols (*projet ENkiDU*, si lauréat du CASDAR IP).
- **Pour la vigne et les arbres fruitiers**, développement d'un outil opérationnel de raisonnement et de pilotage de la fertilisation azotée, minérale ou organique (N-Pérennes) prenant en compte la spécificité des cultures pérennes (*projet PerN*, si lauréat du CASDAR IP).
- **Pour les systèmes de cultures annuelles, mobilisant les pratiques de l'agroécologie** (cultures associées de graminées et légumineuses, couverts d'interculture, substitution minéral-organique, etc.), amélioration ou développement de formalismes et extension du domaine de paramétrage de plusieurs outils Syst'N®, AzoFert®, N-Pérennes, SIMEOS-AMG (inclus dans le projet FertiDig si lauréat au CASDAR IP) et réflexion sur l'intégration d'une dimension économique dans ces outils, ou dans de nouveaux outils d'aide à la décision.
- **L'amélioration du couplage entre fertilisation minérale et fertilisation organique** dans les OAD de calcul de dose (ex. AzoFert®, Syst'N®, N-Pérennes), en incluant la gestion des apports de PRO et les nouveaux produits (ex. digestats de méthanisation) ; **adapter ces outils pour le calcul de la dose prévisionnelle en agriculture biologique**.
- **Pour la canne à sucre**, mise à jour de l'OAD SERDAF utilisé à La Réunion pour le conseil en fertilisation : révision de la carte des sols, du module azote et du module phosphore (thèse CIFRE eRcane-Cirad) ; mutualisation des OAD SERDAF (Cirad) et Ferti-Run (chambre d'agriculture) pour l'aide à la fertilisation minérale et organique des cultures réunionnaises ; développement et application d'un **modèle de système de culture d'association d'espèces** pour évaluer l'efficacité d'utilisation des ressources dans les systèmes agroécologiques à base de canne à sucre (projets SIAAM<sup>3</sup>).

---

<sup>3</sup> SIAAM ("Services et Impacts des Activités Agricoles en Milieu tropical") est un groupe de projets du Cirad (DPP : dispositifs de programmation en partenariat) financés sur Programme Opérationnel de La Réunion (UE, Région, Département, Cirad).

- **L'amélioration de la prise en compte des sols dans les décisions agronomiques** via des outils numériques interopérables et nomades (projet en réflexion OpenTypTerres).

## 5) Nouvelles technologies (agriculture numérique et de précision, agroéquipements et robotique)

Il s'agit ici d'initier les travaux du RMT sur les nouvelles technologies, en réunissant un groupe de travail « **Machinisme & Agronomie** ». Cette démarche initiée pour préparer le projet du RMT BOUCLAGE sera poursuivie et renforcée autour des aspects liés aux agroéquipements en fertilisation : nouvelles technologies d'épandage au service des nouvelles pratiques, agroéquipements et impacts environnementaux et notamment tassements des sols, substitution fertilisation minérale - fertilisation organique et mobilisation des agroéquipements, impacts aux échelles de l'exploitation et du territoire.

### Actions envisagées

Les actions envisagées par le RMT BOUCLAGE s'organisent à ce stade autour de priorités bien identifiées.

#### 1) La valorisation des connaissances sur les services et risques liés aux cultures de légumineuses dans les systèmes de culture

La mobilisation de la source alternative d'azote que représente les **légumineuses** a été identifiée comme cruciale pour le développement des systèmes de culture à faibles intrants et plus autonomes, mais l'ambition de boucler le cycle de l'azote, en limitant les pertes, nécessite de poursuivre l'acquisition des données et de construire des outils d'aide aux choix stratégiques et tactiques, en matière d'espèce de légumineuse et de mode d'insertion permettant d'atteindre les services écosystémiques recherchés.

#### 2) La valorisation des PRO / MAFOR

De nombreuses références ont été acquises sur la composition de ces sources organiques et leur aptitude à la minéralisation, en fonction de l'origine des matières organiques et des processus de transformations. Il est nécessaire d'accompagner leur utilisation et nous mettrons la priorité sur :

- L'élaboration de **guides** à destination des agriculteurs **sur l'épandabilité des produits** pour permettre une fertilisation optimale des cultures (choix du matériel d'épandage selon le type de produit...), l'optimisation de la logistique des chantiers d'épandage (distances de transport, stockage, épandage) en fonction des gisements de MAFOR disponibles et dans le respect de l'environnement (limitation du tassement, réduction des consommations énergétiques...);
- La mise en place d'une étude économique prospective sur l'évolution des chantiers d'épandage et une **évaluation multicritère de différentes filières d'épandage des MAFOR** au niveau local, régional et national (Quels gisements ? Quels besoins de conditionnement pour un export de MO vers des territoires qui en ont besoin ? ...);
- La promotion de travaux pluridisciplinaires pour assurer les bonnes conditions d'utilisation des MAFOR et des engrais organiques élaborés (composition, traçabilité, responsabilité) et **identifier les freins à ces usages**, surtout dans les dimensions économiques et sociales.

#### 3) L'évaluation des risques sur l'environnement et la santé

En plus des actions plus classiques mais indispensables visant à mesurer certains flux (mesures de N<sub>2</sub>O, de volatilisation d'ammoniac, d'estimation de la lixiviation N, P) associés à la gestion des matières fertilisantes et des sols cultivés pour estimer la réalité du bouclage des cycles, nous souhaitons

développer trois actions qui présentent un lien fort avec le dispositif long terme SOERE-PRO (dont les animatrices sont membres du RMT BOUCLAGE) :

- La mise au point d'une **methodologie d'évaluation des risques pour l'environnement et la santé humaine** des pratiques de fertilisation (dans l'idée de la démarche développée autour de l'analyse du cycle de vie [ACV] et de l'évaluation des risques) et avec l'objectif de développer des outils partagés au sein du RMT.
- La mise en place d'une **base de données**, à partir des données des membres du réseau et de la littérature, **sur les contaminants** (recensement des molécules d'intérêt, méthodes d'analyse et laboratoires compétents, matrices testées et quantités relevées...) pour alimenter les outils du réseau.
- L'étude du **devenir** (stabilité, dégradation, recombinaison... ?) **de quelques contaminants** (à définir : les plus abondants ? les plus problématiques pour la santé ? les plus accessibles en terme de dosage ?) à une ou plusieurs étapes du cycle : dans les MAFOR lors des opérations de méthanisation ou de compostage, dans les sols en fonction des caractéristiques du sol et de l'environnement, à l'interface sol/plante pour évaluer les différences de biodisponibilité entre les contaminants et leurs produits de dégradation..., pour identifier des leviers permettant de diminuer l'impact de ces contaminants. Cette étude sera préparée dans le cadre d'un groupe de travail.

#### 4) La mutualisation des données existantes et leur mise à disposition

C'est un enjeu très fort du RMT BOUCLAGE, qui pose non seulement des problèmes de structure, gestion et hébergement des bases de données, mais aussi d'interopérabilité, de propriété, et d'accessibilité. Le Réseau s'efforcera de s'inscrire dans l'objectif 3 du PNDAR ainsi que dans le *plan national pour la science ouverte* (données FAIR), tout en respectant les droits des partenaires.

- Il sera nécessaire de monter un **groupe de réflexion sur la gestion des données** au sein du réseau, en s'entourant d'experts de la question : création de Plans de Gestion de Données, mise à disposition des données dans des dataverse/API (ex. API-AGRO), soutien à la publication de data papers, développement d'ontologies. Le groupe abordera aussi les aspects méthodologiques : de la production de la donnée (méthodes de terrain, de laboratoire, qu'elles soient normalisées ou non, y compris les méthodes alternatives spectrales) jusqu'à l'analyse et le traitement de la donnée.
- La **mutualisation des données** pourrait être envisagée via leur versement dans des entrepôts de données (institutionnels ou nationaux), pour une réutilisation de données tracées (producteur originel, origine géographique, nature, méthode), produites à des échelles larges (par pédoclimat, territoire = région, pays), utiles pour les projets collaboratifs visant l'amélioration des OAD et les mises à jour ou la création des guides de références déjà mentionnés.

### 2.3. Axe 3 : Transfert, formation, appui aux politiques publiques

#### Objectifs

Cet axe de travail vise de façon générale à favoriser **le transfert et l'appropriation les plus larges possibles des résultats** des travaux de R&D vers leurs cibles, constituées non seulement des agriculteurs et de leurs conseillers, mais aussi des élèves et étudiants, et de leurs enseignants, bien au-delà des seuls membres du RMT BOUCLAGE, ainsi que, pour certaines références et/ou méthodes, des décideurs politiques. Les objectifs spécifiques sont de :

- Développer des supports de diffusion des acquis,
- Organiser des événements pour faire connaître et valoriser les résultats des projets,

- Monter des projets spécifiquement destinés à l'enseignement agricole (technique et supérieur),
- Veiller à l'utilisation effective et à l'appropriation des outils par leurs utilisateurs finaux,
- Apporter, via l'expertise des membres du réseau, un appui aux politiques publiques sur les thématiques concernées,
- Élaborer un plan de communication pour le RMT,
- Favoriser la diffusion des connaissances de cette approche globale de la fertilisation.

### **Actions prévues**

- Organisation de **rencontres annuelles** des membres du réseau sous forme de séminaires de 2 jours incluant une « assemblée générale » permettant de présenter les travaux en cours et des résultats récemment obtenus ;
- **Développement et animation du site Internet du RMT**, en hébergeant d'une part des espaces de travail pour les partenaires de projets labellisés par le RMT et d'autre part les livrables des projets une fois qu'ils sont terminés, et en y faisant paraître régulièrement des informations en lien avec les thématiques du RMT ;
- Mise en forme des résultats actionnables des projets sous forme de **fiches GECO**<sup>4</sup> ;
- **Accompagnement des porteurs de projets** :
  - o dans le montage d'actions de valorisation de leurs résultats, actions inscrites dans les projets eux-mêmes,
  - o dans la publication et la valorisation de leurs résultats (articles techniques ou scientifiques, fiches techniques, guides pratiques, plaquettes, stands sur salon ou colloque, exposés oraux dans des séminaires nationaux ou internationaux...).
- Mise à jour régulière du site d'information sur les matières organiques « **Echo-MO** », hébergé par l'ITAB et mis en place avec l'appui du RMT F&E dans la période 2014-2019 ;
- **Appui aux ministères** en charge de l'Agriculture et de l'Environnement dans le cadre des politiques publiques (Directive Nitrate, Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques – PREPA, volet agricole de la FREC...), en partenariat avec le COMIFER, dont la participation active :
  - o au groupe de concertation sur la gestion des éléments nutritifs et des émissions vers les milieux (GENEM),
  - o au groupe national d'appui à la mise en œuvre de la Directive Nitrates (accompagnement des Groupes Régionaux d'Expertise Nitrates – GREN),
  - o à la mise en œuvre du label COMIFER des outils de calcul de la dose prévisionnelle d'azote (en collaboration avec le COMIFER).

### **Actions envisagées**

- Organisation de **journées thématiques** permettant de valoriser les acquis auprès des chercheurs, ingénieurs et conseillers agricoles ;

---

<sup>4</sup> Site collaboratif d'échange et de partage de connaissances utiles à l'action autour de l'agroécologie. <https://geco.ecophytopic.fr/a-propos-de-geco>. Il met à disposition des fiches co-construites par une communauté de contributeurs. Les connaissances proposées sont éprouvées scientifiquement ou issues de savoir-faire et de retours d'expériences. Elles peuvent être enrichies ou remises en question par tous les utilisateurs disposant d'un compte.

- Elaboration de **ressources pédagogiques** sur les systèmes à faibles pertes azotées vers les eaux et l'air, adaptées à différents niveaux d'enseignement pour aller au-delà du projet N'EDU ;
- **Accompagnement des EPLEFPA** impliqués dans les projets du RMT, dans la construction de séquences pédagogiques, et sur la thématique « services écosystémiques du sol » ;
- Valorisation de ces séquences pédagogiques par :
  - o Une formation dans le cadre du Plan National de Formation (PNF),
  - o Des fiches pollen sur le site <https://pollen.chlorofil.fr/> pour témoigner des innovations pédagogiques dans l'enseignement agricole,
- **Diffusion vers l'enseignement technique agricole** des documents techniques des membres du RMT BOUCLAGE.

La figure 4 présente une esquisse du programme prévisionnel des travaux prévus et envisagés dans chacun des trois axes du RMT BOUCLAGE.

Figure 4 : Calendrier prévisionnel des travaux du RMT BOUCLAGE.

Légende :

⇒	Démarrage
...	Travaux continus
x	Réunion prévue
R	Restitution

Axes	Actions	Année 1				Année 2				Année 3				Année 4				Année 5				
		T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	
Axe 1	Séminaires prospectives		x			x				x				x							x	
	Groupes de travail	...	⇒	...	x	...	x	...	x	R												
	Généralisation approche REH/APL			⇒	...	x	...	x	...	R												
	Démarche territoriale et transfert fertilité			⇒	...	x	...	x	...	R												
	Inventaire et maîtrise des contaminants MAFOR			⇒	...	x	...	x	...	R												
	Economie épandage fertilisation			⇒	...	x	...	x	...	R												
	OAD pour les cultures en agriculture biologique					⇒	...	x	...	x	...	x	...	R								
	Spécificités et besoin pilotage fertilisation milieu tropical					⇒	...	x	...	x	...	x	...	R								
	Carences et fertilisation soufrée des cultures					⇒	...	x	...	x	...	x	...	R								
	Enquêtes/inventaires																					
Technologies innovantes traitement et transfo° déchets orga.				⇒	...	R																
Freins à l'adoption des pratiques agroécologiques				⇒	...	R																
Axe 2	Appui au montage des projets/ comités de pilotage	x	...	x	...																	
	Utilisation des PRO/ MAFOR et risques environnementaux et santé																					
	Guide utilisation des digestats de méthanisation	⇒	...	...	...	x	...	...	...	x	...	...	...	x	R							
	Amendements organique maraîchage biologique	⇒	...	...	...	x	...	...	...	x	...	x	R									
	MAFOR Canne à sucre	⇒	x		x		x		x				x	R								
	BDD mutualisée caractérisation et minéralisation MAFOR					⇒	...	x	...	x	...	x	...	R								
	BDD mutualisée contaminants MAFOR										⇒	x		x		x				x		R
	Accompagnement utilisation des MAFOR (plusieurs volets)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	R		
	Méthodologie évaluation des risques sur l'envt et la santé								⇒		x		x				x				x	R
	Raisonnement de la fertilisation dans une perspective d'amélioration de la fertilité des sols																					
Pilotage fertilisation azotée INN	⇒	...	...	...	x	...	...	...	x	...	...	...	x	R								
Mobilisation bioindicateurs dans diagnostics			⇒	...	x	...	x	...	...	x	R											
Cahier des charges bonnes pratiques pour les essais sur MFSC	...	...	...	...	R																	

Axes	Actions	Année 1		Année 2				Année 3				Année 4				Année 5						
		T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	
	Complémentarité NPK amendement / plantes de service <i>Connaissances sur services et risques liés à l'insertion légumineuses</i>					⇒ ... x ...			x ... x ...				x ... x ...			x R						
	<b>Développement des OAD</b>					⇒ x x			x x				x			x R						
	Adaptation OAD à systèmes en agriculture de conservation					⇒ x x			x x				x			x R						
	Développement et paramétrage pratiques de l'agroécologie					□			⇒ x x				x		x					x R		
	Paramétrage produits organiques / adaptation agri biologique					⇒ x x			x x				x		x R							
	Pratiques agroécologiques en système canne à sucre <i>Prise en compte des sols via outils numériques interopérables</i>					⇒ x		x				x			x	R						
<b>Nouvelles technologies/agroéquipement</b>																						
GT machinisme & agronomie, impacts environnementaux <i>Evaluation multicritère des filières d'épandage des MAFOR</i>		⇒		x		x		x		R												
<b>Groupe de travail mutualisation des données et mise à disposition</b>			⇒		x		x		x		x		R									
<b>Axe 3</b>	Transfert, formation ; appui aux politiques publiques	<b>Rencontres/séminaires</b>																				
		Séminaires annuels		x			x			x				x							x	
		Journées thématiques							x			x				x					x	
		<b>Sites Internet</b>																				
		Espaces de travail des membres et projets	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		Site Echo-MO	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		<b>Valorisation des résultats</b>																				
		Résultats actionnables, Fiches GECO									...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Appui à la publication et diffusion articles techniques			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
<b>Ressources pédagogiques</b>																						
Accompagnement EPLEFPA séquences pédagogiques					...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
Elaboration fiches "POLLEN"					...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
<b>Appui aux politiques publiques</b>																						
Apport expertise Directive Nitrate, PREPA, FREC...		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Participation groupe national appui GREN		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Participation groupe GENEM		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Mise en œuvre label COMIFER des OAD calcul de dose	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x			

### **3. Modalités d'animation**

Le RMT sera animé par une équipe d'animateurs constituée d'une animatrice principale, d'une animatrice scientifique, et d'animateurs d'axe.

Les animateurs pressentis à ce stade sont les suivants :

- Animatrice générale : Mathilde Heurtaux, Acta
- Animatrice scientifique : Sophie Générmont, INRA
- Axe 1 : Jean-Marie Paillat, Cirad et Isabelle Trinsoutrot-Gattin, UniLaSalle
- Axe 2 : Caroline Le Roux, LDAR, Baptiste Soenen, Arvalis et Sophie Générmont, INRA
- Axe 3 : Sophie Agasse, APCA et Mathilde Heurtaux, Acta

En outre, des groupes de travail animés par des membres du RMT seront mis sur pied pour traiter de certaines questions spécifiques, et pourront donner naissance à des projets.

Les animateurs assureront les tâches suivantes :

- **Pour l'animatrice principale :**

- de façon générale, assurer la coordination et la bonne marche des activités du RMT
- soutenir la mise en œuvre effective de son programme par les membres du RMT
- faciliter la fluidité des relations entre les membres du RMT
- faciliter la fluidité des relations du RMT avec les partenaires externes (techniques, scientifiques et financiers) et les autres dispositifs partenariaux
- être à l'initiative des réunions du comité stratégique du RMT, proposer des ordres du jour, assurer leur organisation logistique et leur animation
- coordonner l'organisation des assemblées générales, séminaires et ateliers
- diffuser les informations utiles aux partenaires
- mettre à jour et animer le site Internet du RMT (alimentation du contenu des pages publiques, construction et mise à disposition d'espaces de travail d'accès limité, gestion des comptes d'utilisateurs et droits d'accès)
- assurer le suivi administratif et financier de la convention relative au RMT.

- **Pour l'animatrice scientifique :**

- de façon générale, assurer la valeur ajoutée scientifique du RMT
- proposer des thèmes de séminaires, ateliers de réflexion, journées techniques et participer à leur préparation et organisation
- coordonner les activités de veille scientifique et mobiliser les membres autour de la réflexion prospective, participer aux relations scientifiques avec les autres dispositifs (de type GIS, RMT, AFA, COMIFER, RNEST)
- susciter la formulation de nouvelles questions de recherche
- veiller à l'articulation des axes de travail entre eux et à leur alimentation mutuelle par leurs productions respectives
- susciter et soutenir la production de publications à caractère scientifique et technique chaque fois que cela est justifié.
- soutenir les animateurs d'axes dans la mise en œuvre de leur programme de travail et dans la formulation de questions scientifiques
- co-animer les réunions du comité stratégique du RMT.

- **Pour les animateurs d'axes :**

- coordonner les activités des partenaires impliqués dans son axe de travail
- s'assurer du respect de l'agenda de son axe, mobiliser les partenaires de son axe en vue de la production effective des livrables attendus, et participer à leur rédaction le cas échéant
- participer aux réunions des comités de pilotage des projets labellisés dans son axe (à partager entre co-animateurs)
- se montrer force de propositions pour la mise en œuvre de nouveaux projets, la création de groupes de travail, la mise en route de prospectives, de nouveaux contacts utiles pour la réalisation du programme de travail de son axe
- participer au montage du contenu et à l'animation des assemblées générales et des séminaires scientifiques
- contribuer à la conception des lettres d'information du RMT, à alimenter le contenu du site Internet pour son axe, mobiliser les participants de son axe pour fournir les informations
- participer aux réunions de l'équipe d'animation du RMT (soit physiques, soit à distance)
- participer à l'élaboration des ordres du jour des réunions du comité stratégique du RMT, et prendre part à ces réunions
- contribuer à la coordination générale des activités du RMT.

Le temps d'animation d'axe est estimé à une dizaine de jours par an (hors animation de projet spécifique et participation au RMT en tant que membre actif).