

Projet PROTERR :
**« Optimisation de l'insertion des produits résiduaux organiques
dans le système de culture comme levier des services
écosystémiques rendus par les sols à l'échelle territoriale »**

Application à un territoire alsacien



Anne Schaub (Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est)

Avec la collaboration de :

Anaïs Gravier (CRAGE), Caroline Flisiak (PETR RVGB), Fanny Le Gloux (CRAGE), Paul van Dijk (CRAGE), Renaud Misslin (INRAe), Olivier Théron (INRAe), Julie Wohlfahrt (INRAe), Perlette Totoson (INRAe), Aimé Blatz (INRAe), Magali Imhoff (SMRA68), Nathalie Valentin (SMRA68)

Table des matières

| | |
|--|----|
| 1. Diagnostic initial du territoire Rhin-Vignoble-Grand Ballon en Alsace | 2 |
| 1.1 Sources d'information | 2 |
| 1.2 Contexte géo-pédo-climatique..... | 4 |
| 1.3 Contexte agricole..... | 8 |
| 1.4 L'offre : les ressources en PRO | 11 |
| 1.5 La demande : les pratiques actuelles de fertilisation avec PRO | 18 |
| 1.6 Confrontation de l'offre en PRO et de la demande par l'agriculture..... | 23 |
| 2. Conception de systèmes de culture et de systèmes territoriaux intégrant des PRO : simulation et évaluation avec Maelia..... | 25 |
| 2.1 Hypothèses simplificatrices choisies pour les saisies dans le module agricole..... | 25 |
| 2.2 Pistes de progrès pour simuler les systèmes actuels avec Maelia : introduire de la variabilité dans les pratiques de fertilisation | 29 |
| 2.3 Scénarios prospectifs..... | 29 |

Les effets du retour au sol des produits résiduels organiques (PRO) -effluents d'élevage et d'origine non-agricole (boues urbaines ou industrielles, composts de déchets verts ou de biodéchets...)- sont bien documentés pour leurs intérêts agronomiques et leurs impacts environnementaux. Ils contribuent aux services écosystémiques rendus par les sols à l'agriculteur (par exemple la structuration du sol, la fourniture en éléments minéraux, le stockage et la restitution de l'eau) et à la société (par exemple la régulation du climat, la régulation de la qualité de l'eau). Cependant ces effets sont souvent étudiés séparément et le manque d'outil d'évaluation multicritère est un verrou à l'optimisation de leur insertion dans les systèmes de culture. Par ailleurs c'est à l'échelle territoriale que la gestion des PRO doit être pensée et prendre en compte tous les acteurs concernés. Ainsi, en amont des systèmes de culture, la qualité et quantité des ressources disponibles dans un territoire dépendent des producteurs de PRO (élevages, collectivités, industries), en incluant les responsables des traitements (composteurs, méthaniseurs...). Ces filières amont ne sont pas toujours mises en regard des besoins de l'agriculture dans un territoire.

Les objectifs du projet PROTERR, piloté par INRAE-Ecosys à Grignon, sont d' :

- Analyser les potentialités d'optimisation du **recyclage des PRO** comme levier de la durabilité des systèmes de culture **dans un territoire**, contribuant aux services écosystémiques rendus par les sols.
- Evaluer, à partir d'une proposition de **monétarisation des services écosystémiques**, comment des instruments de politique publique pourraient favoriser le retour au sol des PRO.

Quatre territoires contrastés (en Bretagne, Ile de France, Alsace, La Réunion) sont étudiés pour apprécier la sensibilité des résultats aux contextes pédoclimatique et socio-économique.

La Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est est chargée de diagnostiquer la situation actuelle du **territoire Rhin-Vignoble-Grand Ballon**, de formaliser les données pour leur intégration dans le modèle agricole et le module filière PRO de l'outil d'évaluation multicritère spatialisé Maelia, définir des systèmes de culture prospectifs et/ou des scénarios prospectifs de gestion territoriale des PRO.

A noter que le diagnostic a été réalisé au démarrage du projet PROTERR, en 2018 et 2019. Les filières de retour au sol des PRO évoluent sans arrêt et un diagnostic devient vite obsolète. Le contexte réglementaire par exemple est en train d'évoluer et un nouveau texte prévu en 2021 risque de bouleverser le paysage du retour au sol des PRO.

1. Diagnostic initial du territoire Rhin-Vignoble-Grand Ballon en Alsace

1.1 Sources d'information

Les informations disponibles dans différentes bases de données ou documents ont été collectées et de nouvelles informations ont été acquises par enquêtes en 2018 et 2019 et traitement des données existantes. Quatre stages ont contribué à l'enrichissement des connaissances sur le territoire : Flisiak (M2 Bordeaux Sciences Agro, 2018), Greff et Laclef (projet tutoré M2 ENSAIA, 2018), Gravier (M2 ENSAIA, 2019), Totoson (M2 UHA, 2019).

| Catégories de données | Types de données | Sources |
|-----------------------|------------------------|--|
| Géo-pédo-climatiques | Sols 1/50 000 | BDD des sols (CRAGE) |
| | Occupation des sols | BDD topo (IGN) BDD OCS (GeoGrandEst) |
| | PT à Meyenheim | Météo-France |
| Agricoles | Surfaces en cultures | RPG 2014, RPG 2017 Réunion d'experts* 1/6/2018 (préciser les cultures des groupes de cultures du RPG) |
| | Successions culturales | RPG (2012-2014) et outil RPG-Explorer |

| | | |
|--------------------------------------|--|--|
| | Ilots irrigués | RPG 2009 (information absente plus tard) |
| Ressources en PRO d'élevage | Liste exhaustive 2019 des élevages bovins, caprins, ovins ; nombre et types d'animaux | BDD de la Chambre d'agriculture d'Alsace (données confidentielles) |
| | Liste non exhaustive 2019 des élevages porcins, volailles, lapins ; nombre et types d'animaux | BDD de la Chambre d'agriculture d'Alsace (données confidentielles) |
| | Liste non exhaustive des écuries ; nombre d'animaux, type logement, quantité de fumier, destination, prix de vente | IFCE Grand Est 5 enquêtes téléphoniques 2019 |
| | Bovins, caprins, ovins, porcins, volailles, lapins : nombre et types d'animaux, quantités et types de PRO produits, capacités de stockage, pâturage | 31 enquêtes téléphoniques 2018 7 enquêtes en face à face 2018 & 2019 Conseiller bâtiment Conseiller élevage |
| | Composition des PRO agricoles par type (moyenne, médiane, CV) | BDD de la Chambre d'agriculture d'Alsace |
| Ressources en PRO non-agricoles | Unités de production : type, localisation, production | Enquêtes (SMRA68, Suez Organic, Agrivalor, SM4, Biosite Acacias, Anna Compost, Conseil Départemental) Rapport d'activité 2017 SMRA68 BDD SMRA68 (2013 à 2017) |
| | Flux entrants et sortants en 2018 des plateformes de compostage de boues, de DV, de biodéchets ; production de DV et biodéchets | Enquêtes : Conseil départemental, Aspach, Réguisheim, Eguisheim, Ste Croix |
| | Composition d'un PRO représentatif par type (boues, composts boues, vinasses, digestats) : moyenne, mini, maxi) | SMRA68 |
| | Gestion des déchets au sein des collectivités | Enquêtes (Conseil Départemental, Comm Com Pays de Rouffach Vignoble et Châteaux, Centre Haut-Rhin, Région de Guebwiller, Pays Rhin-Brisach). Bilans d'activité 2017 des 4 com com |
| Pratiques actuelles de fertilisation | Bovins, caprins, ovins, porcins, volailles, lapins : quantités et types de PRO épandus (sur l'exploitation et chez d'autres agriculteurs), doses, dates, fréquences, cultures réceptrices des épandages, fertilisation minérale complémentaire | 31 enquêtes téléphoniques 2018 7 enquêtes en face à face 2018 & 2019 |
| | Quantités, dates, parcelles épandues en boues, composts boues, vinasses en 2016, 2017. Parcelles susceptibles d'être épandues en boues, composts boues, vinasses (plans d'épandage 2019). | BDD spatialisée du SMRA68 |

| | | |
|-----------------------|---|---|
| | Modes de fertilisation minérale et organique (doses, dates, cultures) ; prix des PRO | Véricel (2015) : 35 enquêtes 2014 Expert** cultures (nombreux entretiens pour rédiger des RDD) Réunion experts* 1/6/2018 Plateformes Aspach et Ste Croix. 31 enquêtes téléphoniques 2018 23 enquêtes en face à face 2018 et 2019 |
| | Pratiques hors fertilisation | BDD des évaluations Agri-mieux (CRAGE) Expert** cultures (nombreux entretiens pour rédiger des RDD) |
| | Freins et motivations des agriculteurs par rapport aux PRO ; règles de choix des PRO et des parcelles | 23 enquêtes agriculteurs en 2018 et 2019 SMRA68 Prestataires (Agrivalor, Suez Organic...) |
| Scénarios prospectifs | | Enquêtes : SMRA68, Conseil Départemental, 4 com com, plateformes de compostage, agriculteurs, conseillers ; Ademe locale, agriculteurs, négociant nouveau produit... |

*experts : 2 conseillers cultures de la CAA, un conseiller élevage de la CAA, un ingénieur d'Arvalis, un technicien d'Agrivalor

**expert cultures : technicien d'expérimentation de l'INRA Colmar

Un comité de pilotage a aussi orienté la méthode de recherche des informations et vérifié le diagnostic (3 réunions en 2018-19). Il était composé essentiellement du PETR (salariés, citoyens du conseil de développement), de la CAA (élu, conseillers), du SMRA68, d'agriculteurs, de l'INRAE.

1.2 Contexte géo-pédo-climatique

Délimitation de la zone d'étude

Les Pôles d'Equilibre Territorial et Rural (PETR) représentent un outil de coopération entre Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) sur les territoires situés hors métropoles, ruraux ou non, et correspondant à un bassin de vie. Ils ont pour mission de fédérer les EPCI membres pour mettre en œuvre un projet de territoire concourant au développement économique, écologique, culturel et social. En ce sens, les évaluations multicritères spatialisées de la situation actuelle et de scénarios prospectifs de gestion des PRO les intéressent.

Le PETR du Pays Rhin-Vignoble-Grand Ballon (RVGB) est composé de quatre communautés de communes rurales (68 communes), entre les agglomérations de Colmar au Nord et Mulhouse au Sud, dans le Haut-Rhin (Figure 1). Il est délimité par le Rhin à l'Est et par les crêtes vosgiennes à l'Ouest. Sa surface est de 771 km² et il compte environ 100 000 habitants.

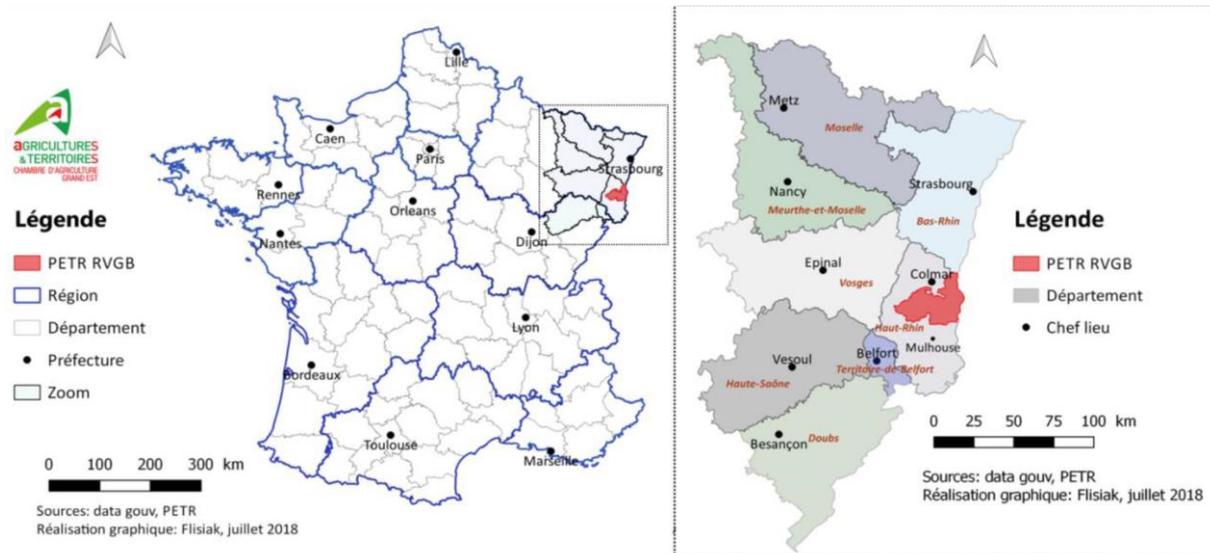


Figure 1 : Localisation du Pôle d'Equilibre Territorial et Rural du Pays Rhin-Vignoble-Grand Ballon (PETR RVGB) (Flisiak, 2018)

Les collines viticoles (en violet) et les zones montagneuses boisées (en vert foncé) du PETR ne sont pas retenues dans la zone d'étude, pour obtenir une zone plus homogène d'un point de vue agricole ; seule la plaine est conservée, constituant les deux-tiers Est du PETR (Figure 2). Deux communes hors PETR (Sainte Croix en Plaine et Herrlisheim) sont ajoutées pour obtenir un territoire continu (délimitées en rouge Figure 2). Le territoire d'étude compte 53 communes, avec une surface de 57 330 ha et environ 70 000-80 000 habitants. Ce secteur a été choisi pour PROTERR car il a le double avantage d'être à la fois rural, il y a donc des agriculteurs utilisateurs de PRO et à la fois densément peuplé donc il y a une production importante de PRO non-agricoles. Il est de plus à proximité de deux agglomérations qui sont de gros producteurs de PRO non-agricoles. Avant l'étude, la proportion respective de PRO agricoles et non-agricoles n'était pas connue.

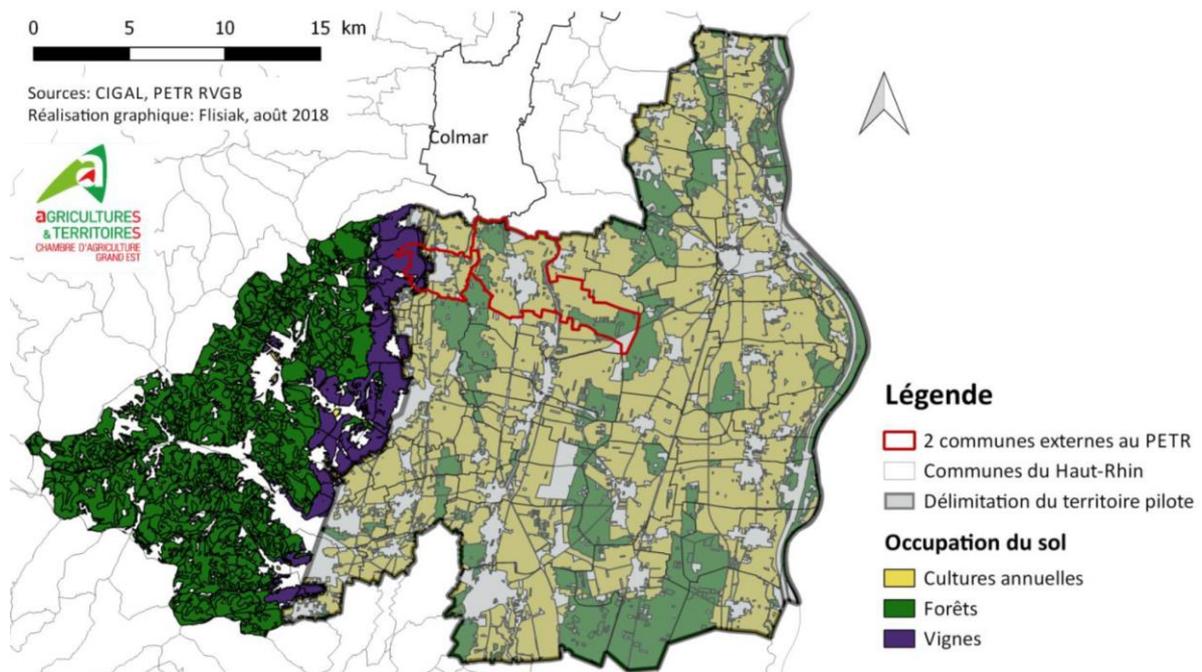


Figure 2 : Localisation du territoire-pilote au sein du PETR RVGB et occupation du sol sur le PETR (Flisiak, 2018)

Paysage

Le territoire pilote présente globalement 2 grandes unités paysagères distinctes, orientées selon l'axe Nord/Sud : celui de la Plaine de l'III et des Rieds, à l'Ouest, et celui de la Hardt et de la basse plaine rhénane, à l'Est.

La Plaine de l'III et les Rieds sont caractérisés par de grands champs cultivés avec régulièrement des zones plus humides et arborées. Dans la partie Plaine de l'III, le paysage est homogène, le relief plat, et les grandes cultures dominées par le maïs s'étendent sur des vastes surfaces ouvertes. Dans les parties plus humides que sont les Rieds, les champs sont plus petits et diversifiés, avec des cultures et des prairies. Cette dualité s'explique par l'influence des cours d'eau de la rivière de l'III qui coulent dans la Plaine de l'III et façonnent les Rieds. La nappe phréatique alimente les cours d'eau et la Plaine de l'III et ses cultures sont ainsi régulièrement inondées.

Le paysage de la Hardt est bordé de l'III à l'Ouest, et du Rhin à l'Est. Le Sud du paysage de la Hardt est composé d'un grand massif forestier, tandis que le Nord est caractérisé par des champs de grandes cultures. Le relief est plat et le paysage ouvert, avec quelques boisements. Le paysage du Nord de la Hardt est relativement similaire à celui de la Plaine de l'III mais est plus sec. De nombreux canaux ont été construits afin de combler l'absence de cours d'eau, la nappe phréatique étant particulièrement profonde à cet endroit.

Climat

Le climat de la plaine est semi-continentale, caractérisé par des hivers froids et secs et des étés chauds et ensoleillés et une pluviométrie annuelle assez faible (Figure 3). La température moyenne est d'environ 11°C (Météo France 2019). L'obstacle que représente le massif des Vosges est à l'origine d'un « effet de foehn » qui est l'assèchement de la masse d'air qui franchit le relief et qui explique la faible hauteur de précipitations (607 mm par an en moyenne) dans le territoire, qui est situé en aval de la chaîne de montagnes. Avec le changement climatique, la période de précipitations a tendance à migrer du printemps-été vers l'hiver.

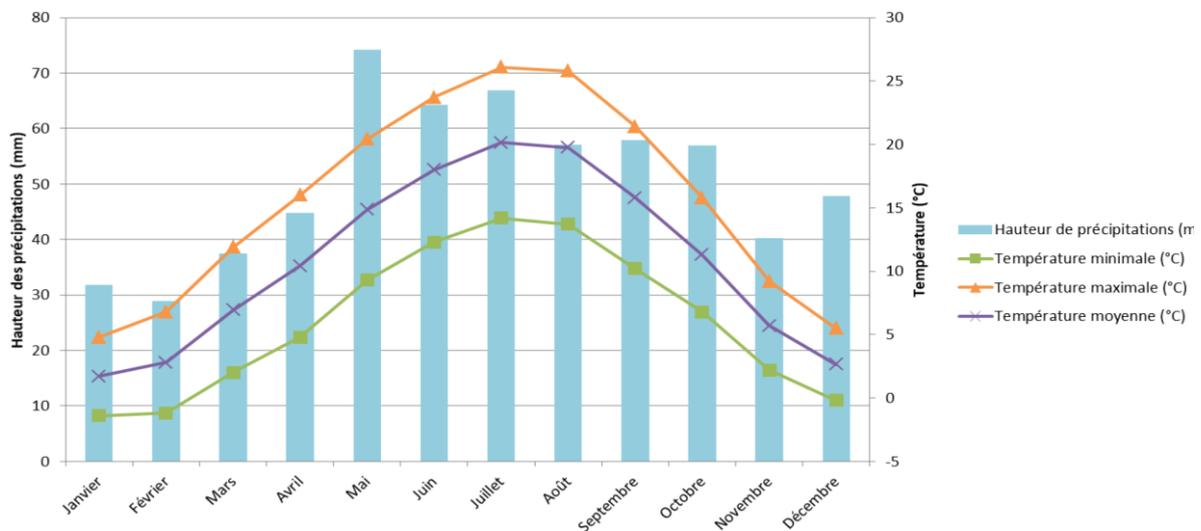


Figure 3 : diagramme ombrothermique de la station météorologique de Meyenheim (1981-2010) (Le Gloux, 2019)

Sols

Le territoire pilote présente une grande diversité de types de sols. Nous avons dénombré une soixantaine de types de sols à l'échelle 1/50 000.

Très schématiquement, nous pouvons les regrouper en trois grands groupes avec une stratification Est-Ouest : les sols sablo-caillouteux sur alluvions calcaires charriées par le Rhin depuis les Alpes, les sols acides de plaine et les sols limoneux calcaires sur plaquages de loess éoliens (Tableau 1 et Figure 4). Les sols sont peu ou pas drainés.

| Type de sol | Profondeur | Texture | Caractéristiques |
|--------------------------------|--|---------------------|---|
| Sols sablo-caillouteux du Rhin | Sols superficiels de Hardt | Faible <50cm | Limono-argilo-sableuse Très caillouteux |
| | Sols profonds de Hardt | Elevée >150cm | Limono-argileuse |
| | Sols de Basse plaine rhénane | Modérée 50-80cm | Limono-sablo-argileuse |
| Sols acides de plaine | Sols des alluvions des rivières vosgiennes | Modérée 60-100cm | Variable Acides (pH <6,5) Hydromorphes |
| | Plaine de l'III | Variable | Limono-argilo-sableuse à argilo-limoneuse Acides (pH <6-6,5) |
| Sols limoneux sur loess | Elevée >160cm | Limoneuse | Bruns Calcaires |

Tableau 1 : caractéristiques des grands types de sol du territoire RVGB (Le Gloux, 2019)

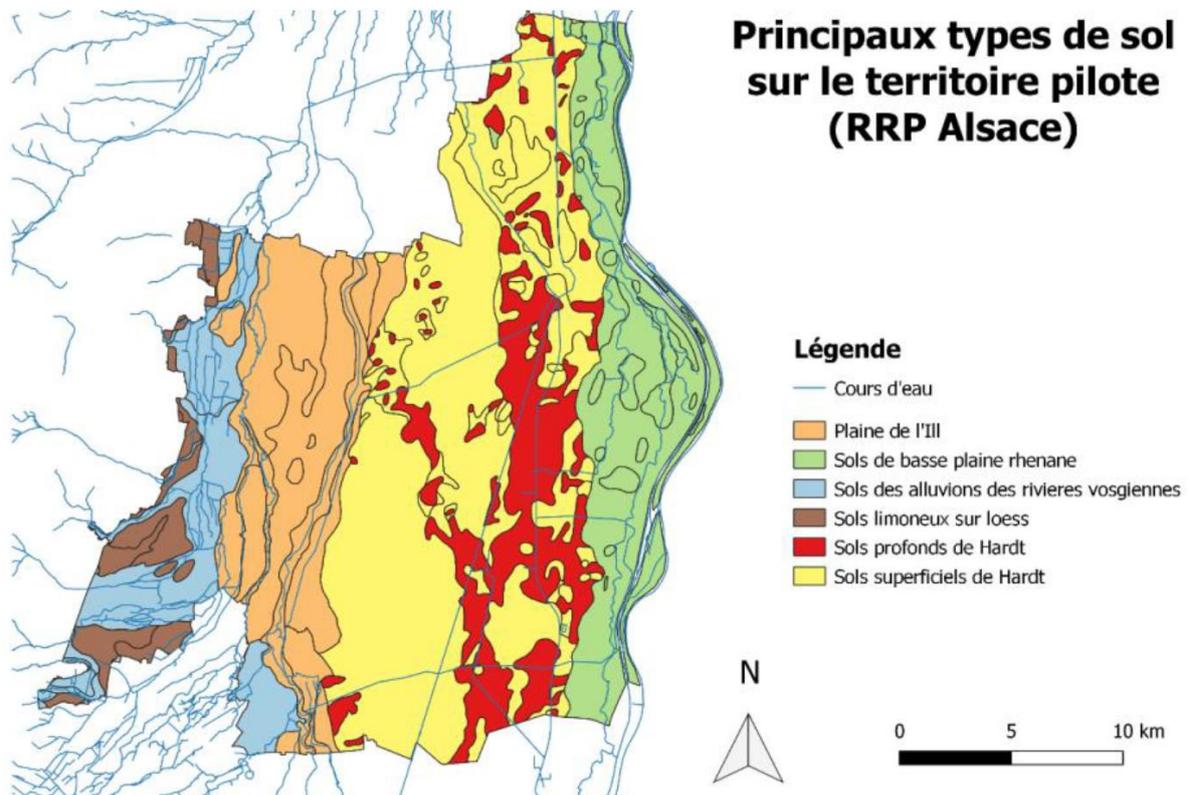


Figure 4 : répartition spatiale des grands types de sol du territoire RVGB (Gravier, 2019)

1.3 Contexte agricole

Cultures

La Surface Agricole Utile (SAU) du territoire pilote est de 32 825 ha (données RPG 2017). En 2014, il y avait 843 exploitations à avoir au moins un îlot dans son périmètre et la taille moyenne de celles ayant la totalité de leurs parcelles sur le territoire était de 52,5 ha ; parmi ces 843 exploitations 58% ont tous leurs îlots dans le territoire.

L'agriculture du territoire est dominée par le maïs grain (Figure 5). En 2017, le maïs représentait 70% de la SAU (RPG) et seulement 1% de ce maïs est du maïs ensilage (réunion d'experts, juin 2018). Les rendements de maïs grain sont élevés (105-129 q/ha en moyenne selon le type de sol) (Tableau 2). Le blé tendre est la deuxième production la plus importante (9% de la SAU en 2017). Il y a une petite nuance entre l'Ouest du territoire, avec davantage de blé et des parcelles plus petites et l'Est avec davantage de maïs que l'Ouest et de plus grandes parcelles. Ces dernières années, la culture du soja s'est beaucoup développée au détriment du maïs (de 2% de la SAU en 2014 à 7% en 2017, données RPG 2014 et 2017). Les autres cultures sont marginales.

L'Alsace produit environ 10% des céréales françaises. Le dynamisme de cette filière est favorisé par sa situation géographique privilégiée, l'Alsace étant localisée au centre du marché européen avec des possibilités d'exporter facilement par le Rhin. Les principaux débouchés sont la transformation par les industries agroalimentaires (amidonnerie, malterie, meunerie...), dont une grande partie des productions est exportée.

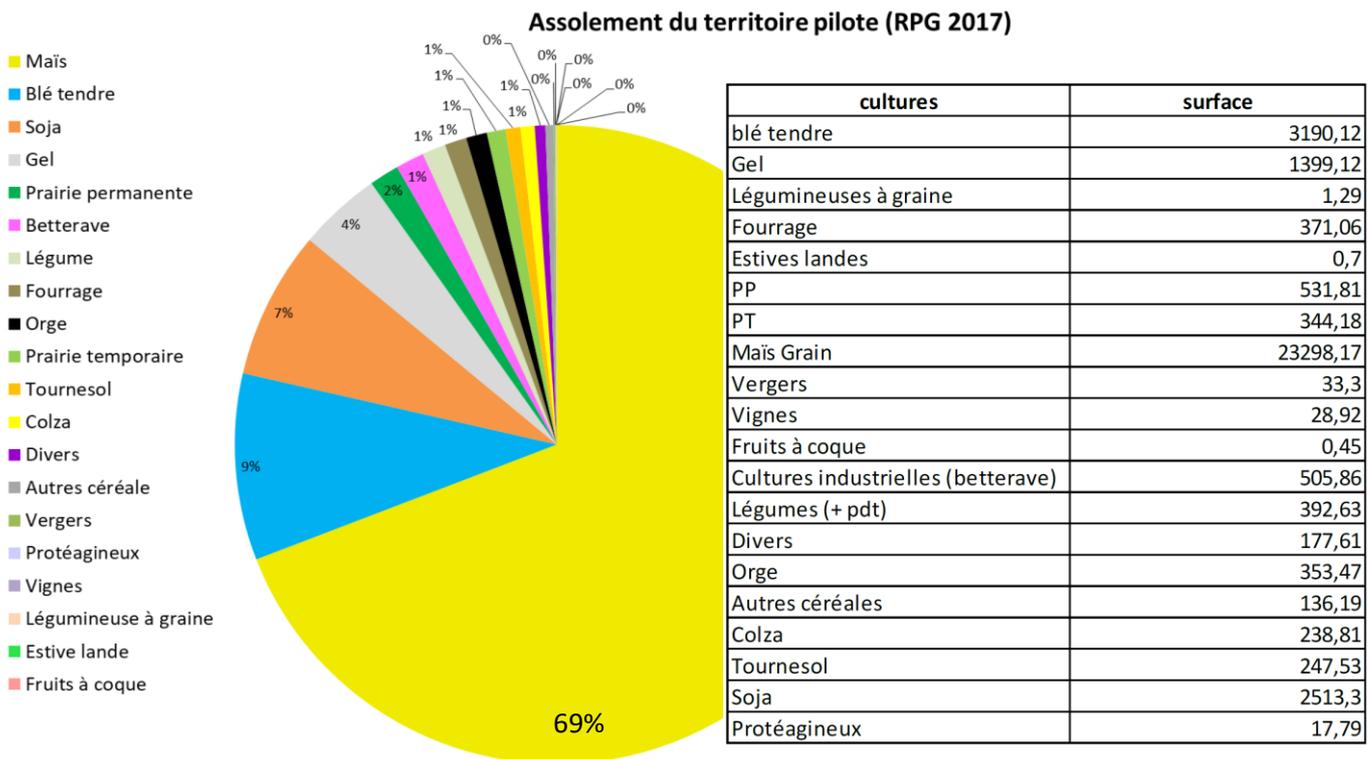


Figure 5 : surfaces des cultures en 2017 en % de la SAU dans le camembert, et en hectares dans le tableau (Le Gloux, 2019)

| | | |
|----------------------|--|-------------------------|
| Maïs grain | Sol Hardt superficielle | 129 q/ha |
| Maïs grain | Sol sableux du Rhin | 126 q/ha |
| Maïs grain | Sol Hardt profonde | 122 q/ha |
| Maïs grain | Sol de plaine de l'III | 118 q/ha |
| Maïs grain | Sol limoneux de loess | 108 q/ha |
| Maïs grain | Sol de l'Ochsenfeld et sols superficiels | 109 q/ha |
| Maïs grain | Sols de Piémont | 105 q/ha |
| Blé | | 80 q/ha |
| Betterave sucrière | | 90 t/ha |
| Maïs ensilage | | 16 tMS/ha |
| Soja irrigué | | 40 q/ha |
| Soja non irrigué | | 30 q/ha |
| Prairies permanentes | | 7 tMS/ha |
| Prairies temporaires | | 8-10 tMS/ha en 4 coupes |
| Luzerne | | 13 tMS/ha en 4-5 coupes |

Tableau 2 : rendements moyens des cultures (réunion d'experts de juin 2018 & BDD des évaluations Agri-mieux des pratiques 2014)

Pratiques culturales dominantes

Une caractéristique très forte de ce territoire est la dominance des systèmes irrigués, 90% de la SAU du territoire pilote étant sous irrigation (Vericel, 2015). Cela s'explique par la présence d'une des plus grandes nappes phréatiques d'Europe à relativement faible profondeur. Au vu du contexte pédoclimatique, c'est l'irrigation le facteur expliquant l'orientation de l'agriculture sur le territoire. Seul l'extrême Ouest du secteur n'est pas systématiquement irrigué car est en bordure de nappe (Figure 6). Les doses d'irrigation moyennes en maïs sont de 7x30 mm en sol superficiel de Hardt, 6x30 mm en sol profond de Hardt, 4x30 mm en sol profond de plaine de l'III, 4x30 mm en Piémont.

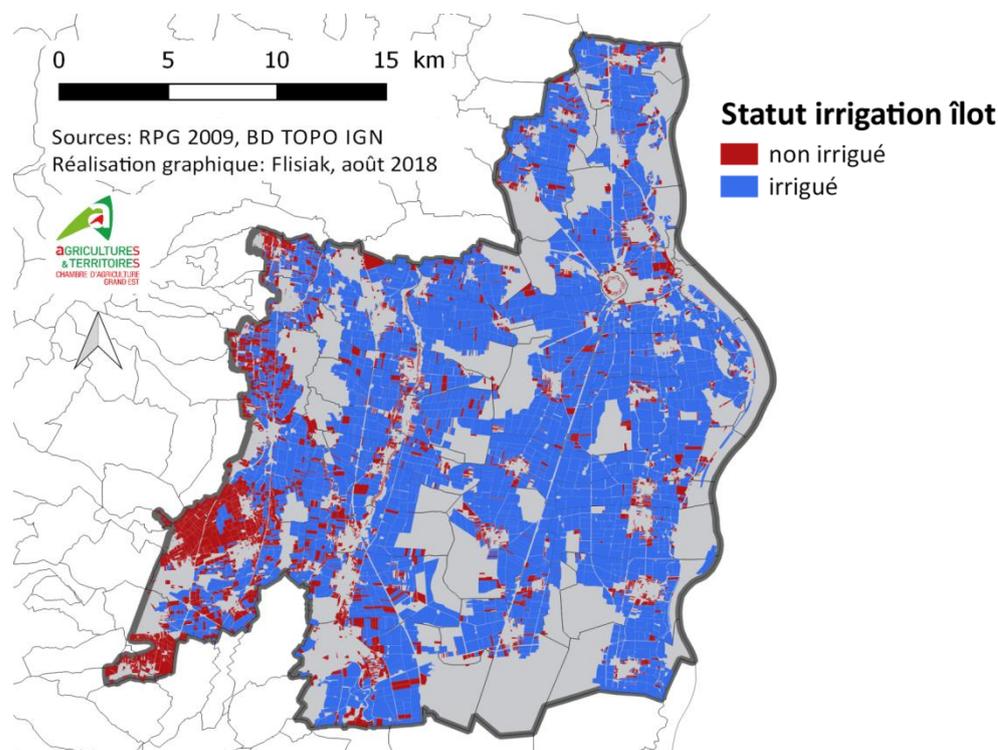


Figure 6 : îlots irrigués en bleu et non irrigués en rouge, sur le territoire en 2009 (ultérieurement cette information n'est plus disponible sur le RPG)

Plus de 90% des surfaces sont occupées par des successions constituées de 4 maïs grain et d'une autre culture (blé tendre d'hiver, soja, maïs ensilage, betterave sucrière, tournesol semence, céréale à paille, légumes) (source RPG, avec l'outil RPG-Explorer).

Le travail du sol est dominé par le labour systématique (80%) chaque année, en hiver (98%), à 25-30 cm de profondeur (BDD agri-mieux).

95% des pailles de céréales sont exportées par les éleveurs d'herbivores et 2 pailles sur 3 sont aussi exportées par les non-éleveurs et vendues (BDD agri-mieux). Environ 10-20% du maïs grain est stocké en cribs (réunion avec les experts, juin 2018), dispositif de séchage grillagé à l'air libre au champ. Dans ce cas, les épis sont récoltés entiers ; les spathes et les rafles sont donc exportées du champ avec les grains (proportion de 12% de rafles pour 88% de grain, Meinrad, com. pers).

Elevage

Les productions animales sont assez peu présentes au regard des productions végétales, avec une centaine d'élevages répertoriés, dont une cinquantaine d'exploitations ayant un nombre significatif de têtes. Les 24 élevages bovins se trouvent essentiellement dans la partie Ouest, ce sont surtout des bovins-viande (seuls 2 bovins-lait) ; ceux à l'Est sont des veaux de boucherie. Les prairies permanentes et temporaires ne représentent que 3% de la SAU et sont destinées à la fauche (pas ou peu de pâturage). Les autres types d'élevage sont peu nombreux (9 porcs avec 6 sur caillebottis, 3 sur paille, 6 volailles dont 2 poules pondeuses et 4 poulets de chair, 6 ovins, 6 écuries, 1 lapins) mais peuvent être de taille importante.

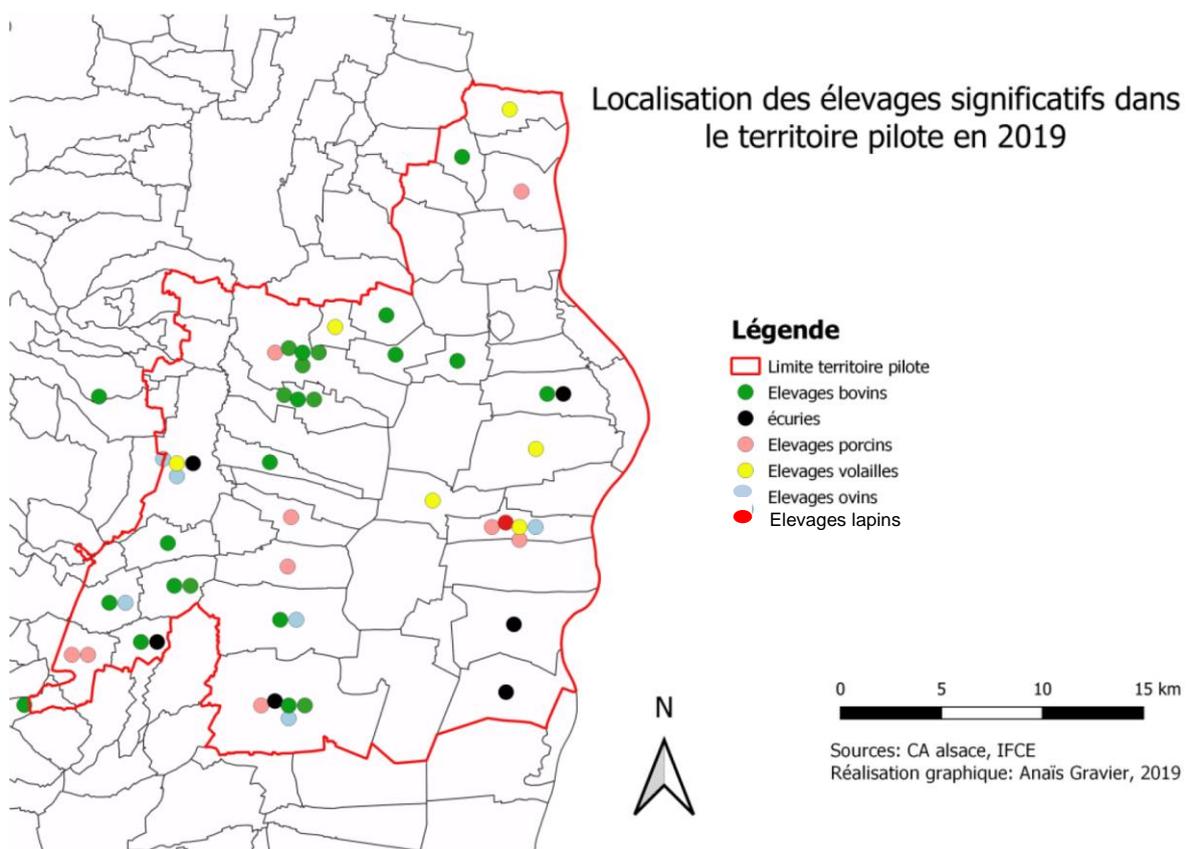


Figure 7 : Localisation des élevages significatifs ; précision à la commune (Gravier, 2019)

Enjeux agricoles

L'enjeu majeur est le maintien d'une activité agricole rémunératrice. L'agriculture locale s'est spécialisée dans une filière maïs grain ultra-performante, avec des rendements très élevés, et un aval organisé autour du maïs (collecte, transport, également quelques usines de transformation en Alsace). Le changement climatique est une menace pour la culture du maïs, comme pour toutes les autres productions agricoles. La nappe permet, de par sa facilité d'accès, de couvrir les trois-quarts des besoins en eau potable des habitants d'Alsace, la quasi-totalité des besoins pour le secteur agricole et plus de la moitié des besoins pour l'industrie (DREAL Alsace, 2014). La ressource abondante n'a pas posé de question sur sa gestion quantitative jusqu'à récemment. Le changement climatique pourrait changer la donne et les performances de l'agriculture locale dépendent de l'accès à l'eau, aujourd'hui, et encore davantage demain.

L'autre enjeu essentiel est la relation entre agriculture et société. Les agriculteurs souffrent de l'agri-bashing. Aux yeux de nombreux habitants de la plaine, le maïs irrigué est emblématique d'une agriculture intensive à laquelle il est reproché la monotonie du paysage, le gaspillage d'eau, l'impact négatif sur la qualité de l'eau.

1.4 L'offre : les ressources en PRO

Types de PRO

15 types de PRO ont été recensés, 8 agricoles, 7 non-agricoles.

La Figure 7 a montré que le nombre d'élevages significatifs est assez faible (52) ; ils sont dits significatifs car ils représentent 95% de l'azote épandu par effluents d'élevage.

La Figure 8 et le tableau 3 montrent un nombre important de sites produisant des PRO non-agricoles, en relation avec la forte densité de population pour une zone rurale, ainsi que la proximité de Colmar et Mulhouse. La production de déchets organiques en provenance des ménages ou d'industries est donc significative. A noter que les plateformes de compostage de boues et de déchets verts (DV) ont la particularité d'être gérées par des agriculteurs (société Agrivalor et Biosite Acacias).

| | Type de PRO | Unité localisée dans le territoire | Unité localisée hors territoire |
|---|--|---|---|
| <u>Unités de production</u> : PRO épandus sur le territoire sans transformation | Boues de lit planté de roseaux ou lagune | 2 (Munchouse, Rumersheim) | |
| | Boues séchées | 2 (Biesheim, Ensisheim) | |
| | Vinasses de distillerie de marc de raisin | | 1 (Sigolsheim) |
| | Boues cellulosiques de papeterie | 1 (Kunheim) | 1 (Kaysersberg) |
| <u>Unités de production</u> : PRO produits sur le territoire et épandus sur le territoire après transformation en compost | Boues de station de traitement de collectivité | 10 (Baltzenheim, Kunheim, Nambenheim, Urschenheim, Wiedensolen, Volgelsheim, Eguisheim, Herrlisheim, Issenheim, Meyenheim) | 1 (Colmar : quelques communes du territoire sont raccordées à la step) |
| <u>Unités de transformation</u> : composts épandus sur le territoire après transformation dans ces unités | Compost de boues | 2 (Réguisheim, Eguisheim) | |
| | Compost DV | 1 (Ste Croix en Plaine) | |
| | Compost biodéchet | | 1 (Aspach) |

Tableau 3 : Unités produisant ou transformant des PRO non-agricoles épandus dans le territoire

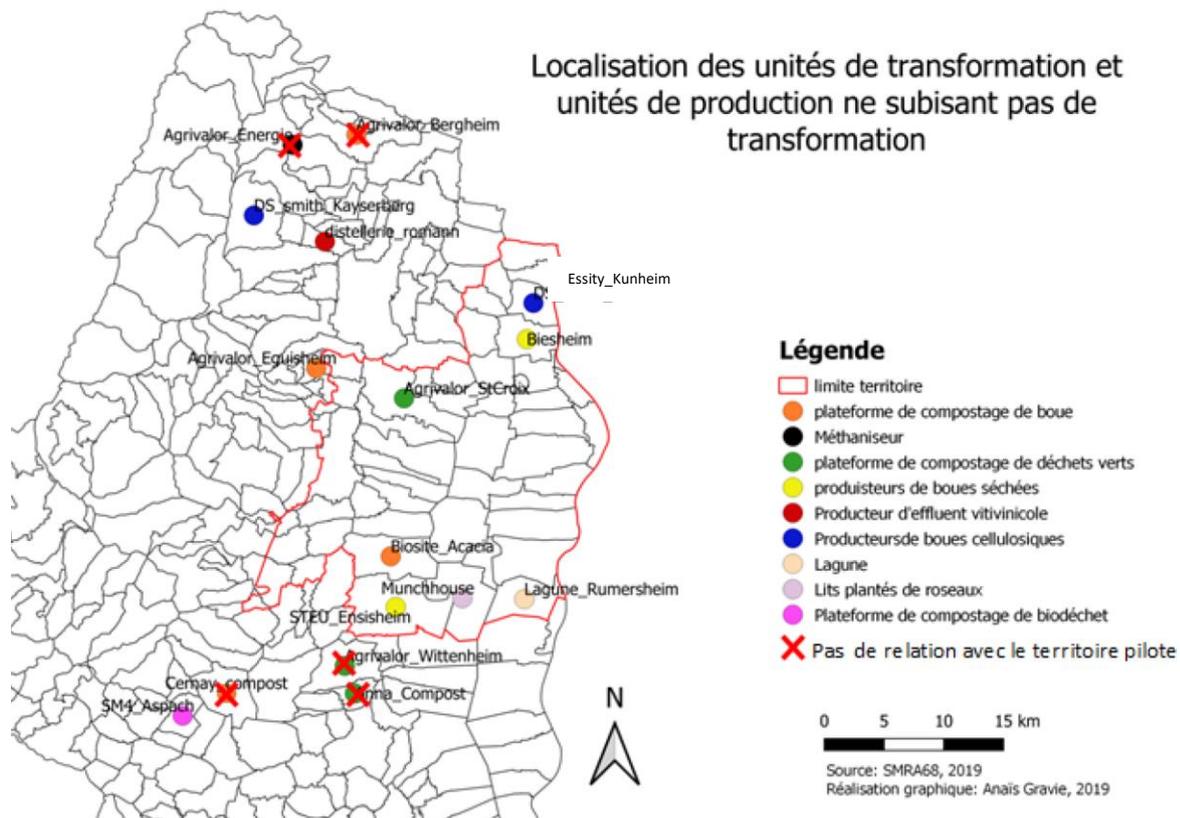


Figure 7 : Localisation des unités de production de PRO épandus en l'état et localisation des unités de transformation (compostage, méthanisation) sur le territoire pilote ou en interaction avec le territoire pilote (Gravier, 2019)

Flux de PRO

Les unités de production et/ou transformation de PRO non-agricoles épandus sur le territoire sont dans et en dehors du territoire ; les PRO transformés dans le territoire peuvent aussi provenir de l'extérieur du territoire. Il en résulte des flux croisés assez complexes (Figure 8).

Une spécificité du département est que 91% des boues urbaines sont compostées, dans quatre plateformes dont deux sur le territoire pilote. Ainsi, des boues extérieures entrent dans le territoire et sortent une fois compostées. Les boues d'une collectivité bien que compostées sont des déchets, hormis le compost de boue normalisé (NFU 44095), du moins en 2019 quand le diagnostic a été fait ; aujourd'hui même le compost de boues normalisé reste un déchet (article 95 de la loi n°2018-938 du 30/10/18 dite loi Egalim). Ainsi, la responsabilité des déchets incombe au producteur, jusqu'à son devenir après épandage ; le compost de boues sera donc théoriquement épandu proche de la zone de production. Cependant, les terres agricoles du territoire reçoivent du compost de boues extérieures (6 650t). Cet excédent est lié à la station d'épuration du SITEUCE (Syndicat Intercommunal de traitement des Eaux usées de Colmar et Environs). Cette dernière produit une quantité importante de boues dont le compost est épandu sur son territoire, mais aussi à proximité de la plateforme de compostage dans le territoire pilote.

A noter que la réglementation sur les fertilisants, notamment les composts, a été remaniée depuis le diagnostic et de nouveaux textes vont sortir en 2021. Le diagnostic a été fait à partir d'enquêtes et de données correspondant au contexte en 2018-19.

Les biodéchets sont collectés par le SM4 (Syndicat Mixte du Secteur 4) sur une large zone, externe au territoire (jusque dans le Sundgau) et interne au territoire (3 communautés de communes sur les 4, Centre-Haut-Rhin ne collectant pas la fraction fermentescible des ordures ménagères, mais mettant à disposition des habitants des composteurs individuels) et compostés à Aspach, en dehors du territoire. Les composts de biodéchets sont très peu valorisés sur les terres agricoles du territoire. La plateforme se trouve en effet à 20 km environ de la commune la plus proche du territoire. A l'inverse du compost de boues qui est géré par des prestataires pour le compte de la collectivité, de

la station jusqu'à l'épandage, le compost de biodéchets est un produit. Le transport du compost et son épandage est géré par l'agriculteur utilisateur. Ainsi, les agriculteurs du territoire se rendent peu à Aspach-le-Haut car cela demande du temps et représente un coût financier.

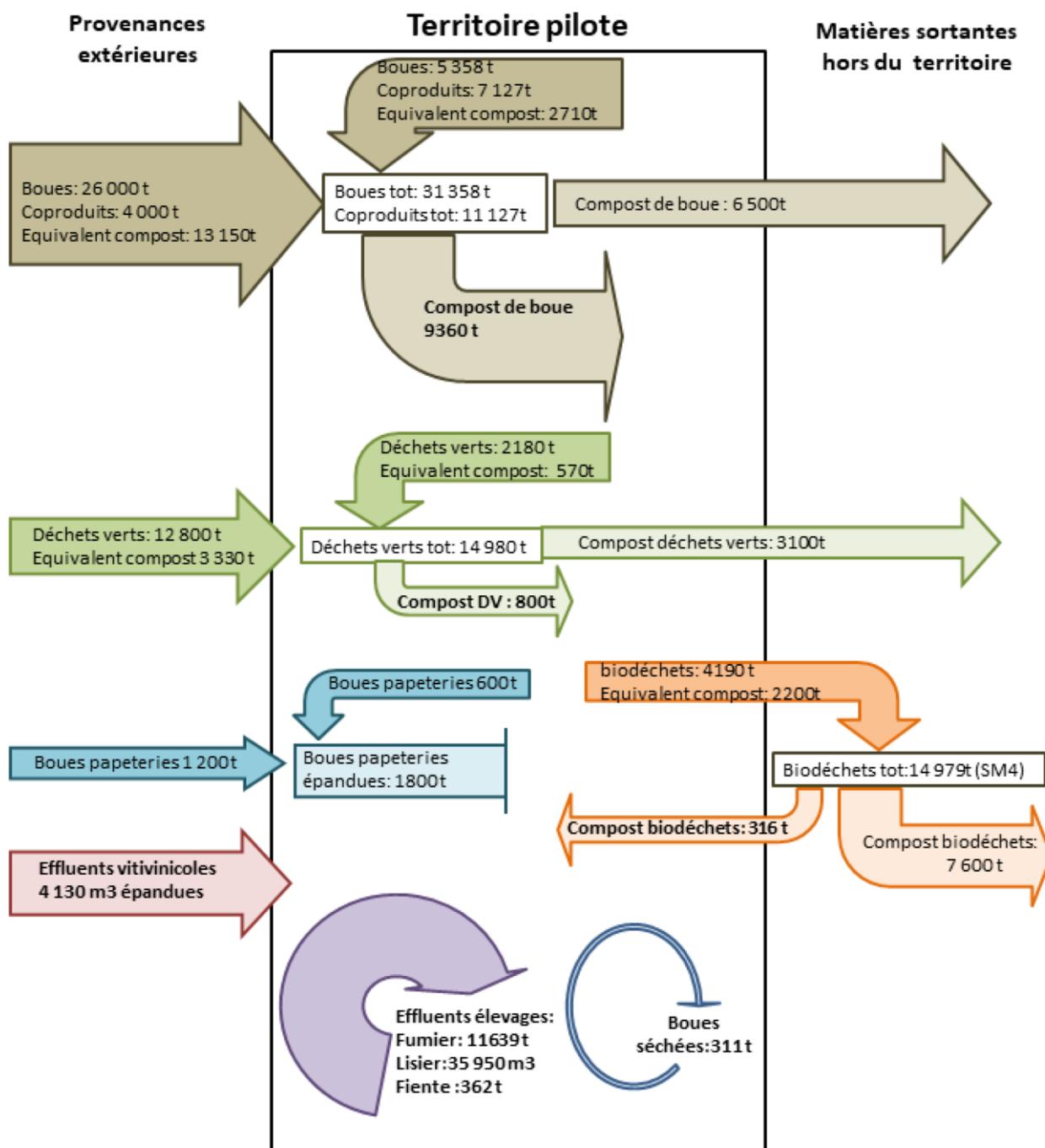


Figure 8 : Flux annuels de PRO en matière brute (Gravier, 2019)

Concernant le compost de déchets verts, bien que la plateforme de compostage soit présente sur le territoire, seulement 800 tMB/an sont valorisées en grandes cultures, le reste est surtout utilisé par les viticulteurs, pépiniéristes et maraichers, dans et hors du territoire.

Les effluent viti-vinicoles représentent un flux important, malgré les 30 km en moyenne de distance depuis le lieu de production. Cet effluent n'est pas négligeable dans la gestion globale des PRO du territoire. En moyenne 4 130 m³/an sont épandus dans le territoire par l'industriel lui-même ou par le biais d'un prestataire.

La quantité de boues de papeterie valorisée est sept fois moins importante en 2019 qu'en 2010. Cela s'explique par la fermeture d'une papeterie. La tendance de la production de ce déchet évolue à la baisse. Aujourd'hui, c'est environ 1 800 tMB/an épanchées.

Les effluents d'élevage, ainsi que les boues séchées, sont épanchés autour de la zone de production. C'est pourquoi, le transport de ces déchets se fait dans un rayon de 5 km environ.

Quantités de PRO

En termes de quantités brutes épanchées sur le territoire, le lisier de porc (52%) est majoritaire, suivi du compost de boues (16%) et du fumier de bovin (10%) (Figure 9).

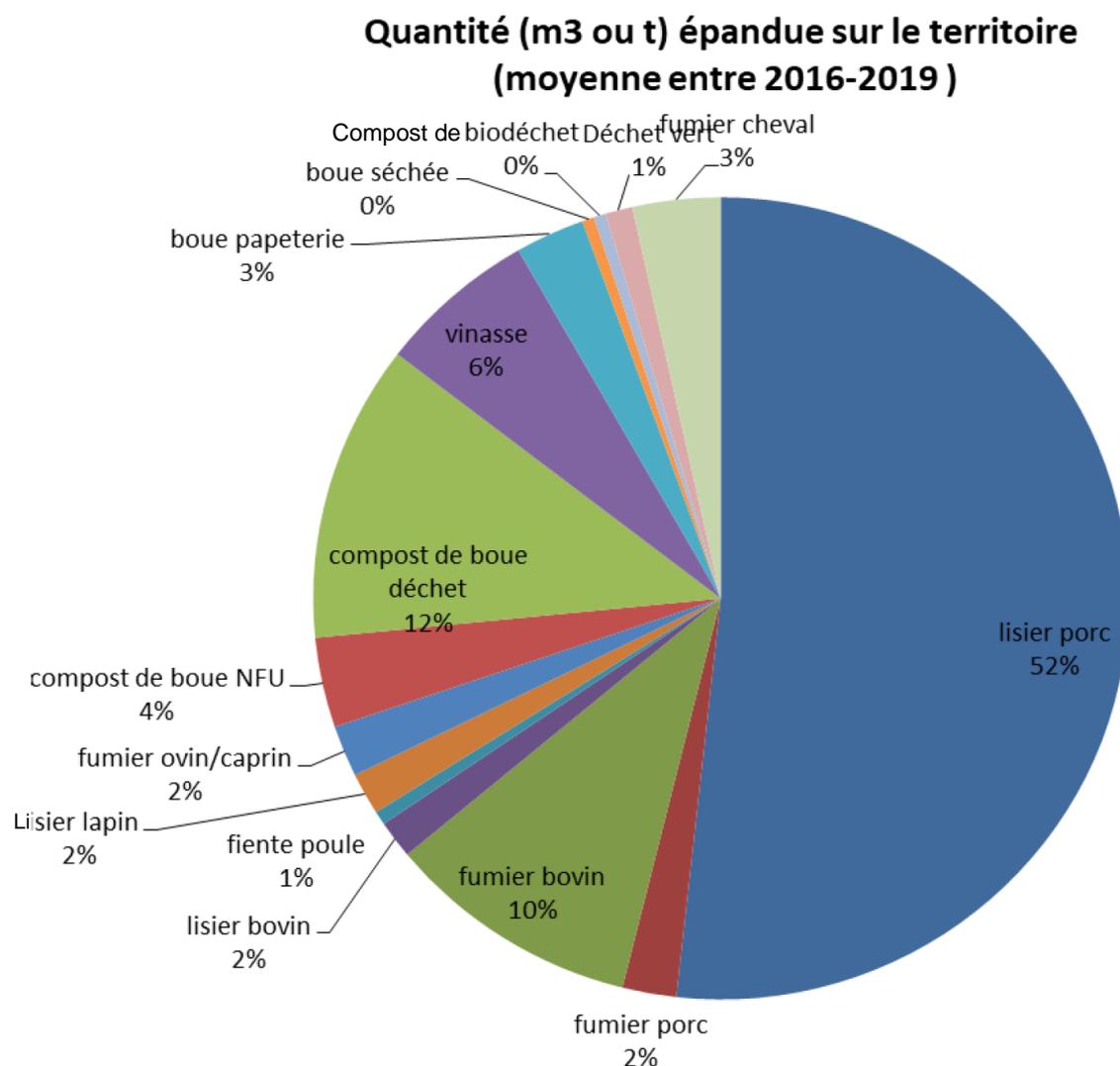


Figure 9 : Quantités annuelles brutes de PRO épanchées (Gravier, 2019)

Surfaces épanchées

Les surfaces épanchées chaque année se répartissent de façon presque égale entre PRO d'origine agricole et non-agricole (Figure 10). Les PRO représentant le plus de surface sont le compost de boue (33% en cumulant le statut produit et le statut déchet) et le lisier de porc (31% des surfaces épanchées le sont avec ce lisier). Le fumier de bovin est également bien présent avec 10% des surfaces épanchées annuellement. Contrairement à des idées reçues, le lisier de bovin ne représente que 1%.

Bien que les PRO soient très divers, ils sont épanchés chaque année sur seulement 9,4% de la SAU. En prenant en compte le temps de retour des épandages sur les parcelles, on estime à 19% les surfaces recevant un épandage régulier (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 3 ans).

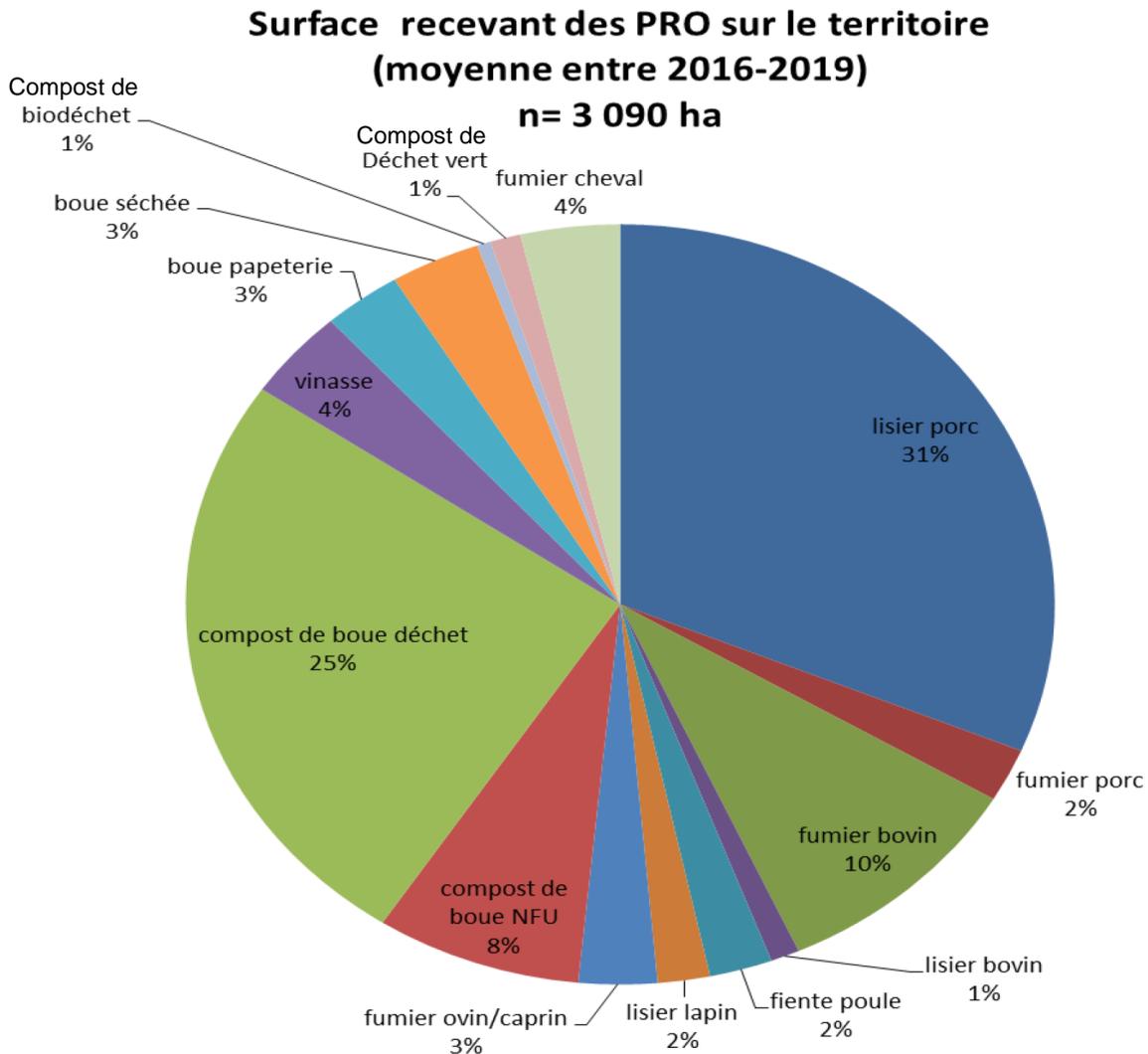


Figure 10 : Surfaces épandues annuellement en différents types de PRO, en % de la SAU (Gravier, 2019)

Répartition spatiale des PRO

La répartition spatiale est un peu hétérogène, mais les PRO agricoles et non-agricoles se complètent en partie (Figures 11 et 12).

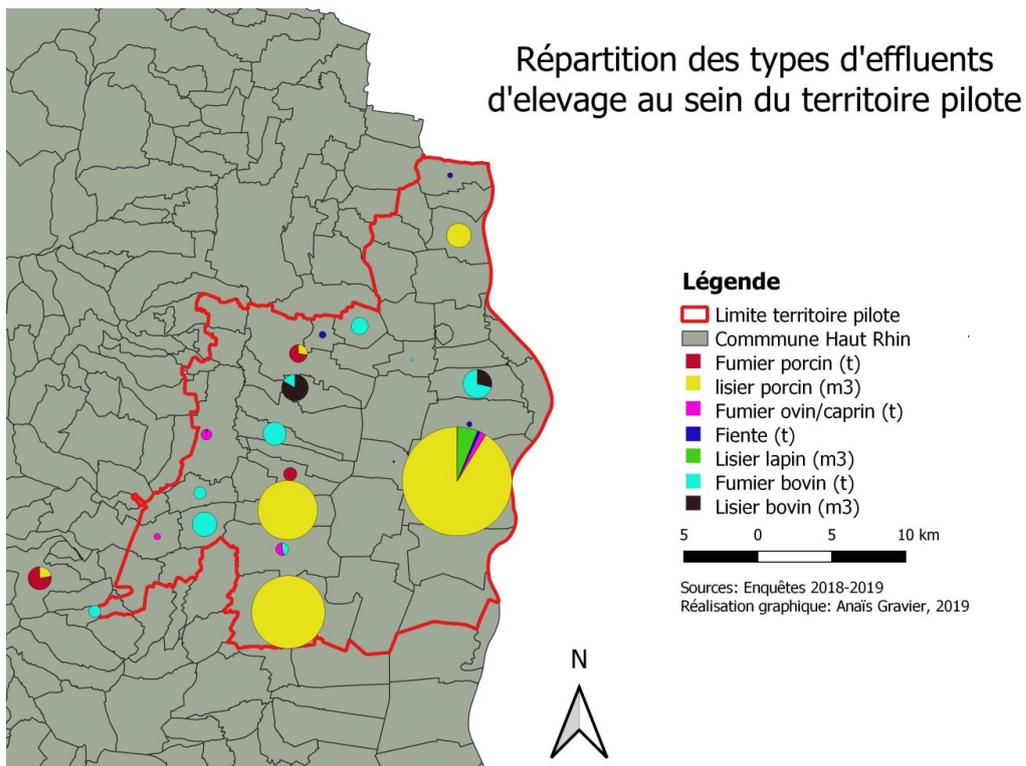


Figure 11 : Répartition spatiale par commune des quantités de PRO agricoles produits en MB/an (Gravier, 2019)

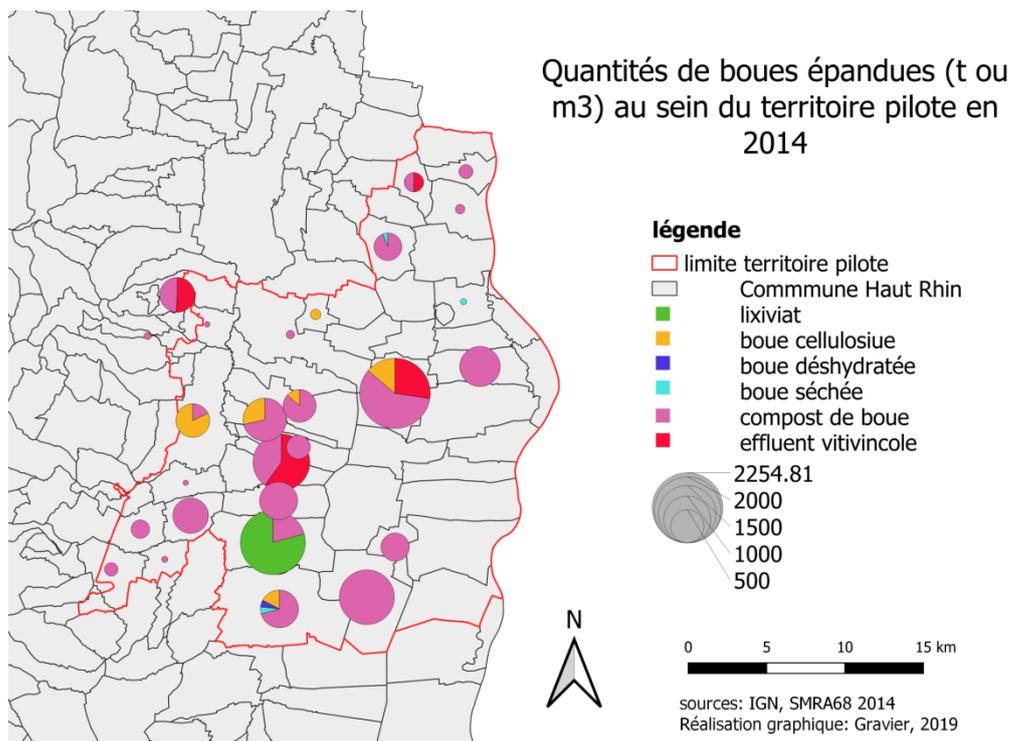


Figure 11 : Répartition spatiale par commune des quantités de PRO non-agricoles épandus en MB/an (Gravier, 2019)
 NB : les lixiviats de la plateforme de compostage de Réguisheim (en vert) représentent un volume important, mais sont en réalité très dilués.

Pour apprécier la répartition spatiale de l'offre en PRO on l'exprime en ressource azotée. Ainsi apparaît un déséquilibre entre la partie Ouest et Est, avec davantage de ressources côté Ouest. Une exception : la commune de Balgau et environs avec de gros élevages (Figure 12).

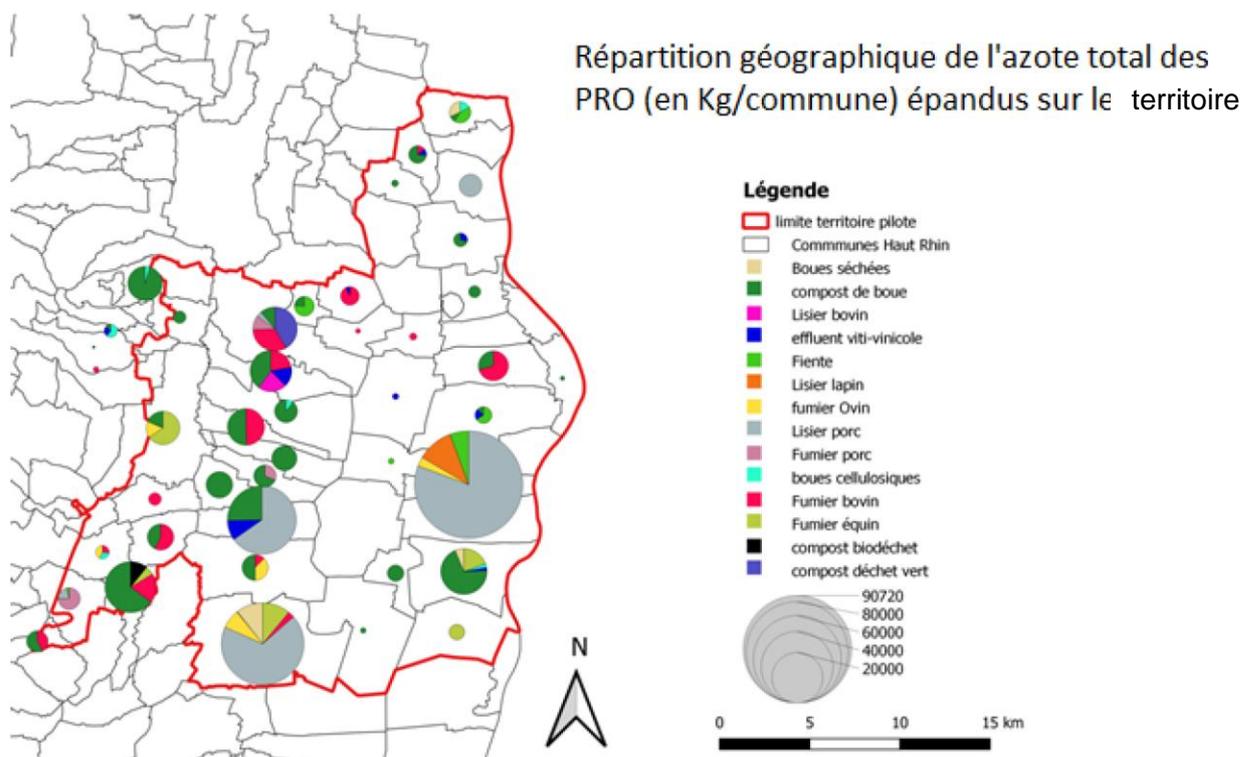


Figure 12 : Répartition spatiale par commune des quantités d'azote total épandues sous forme de PRO (Gravier, 2019)

Le même déséquilibre apparaît si l'on regarde les ressources en phosphore ou en potasse (Figure 13 et 14).

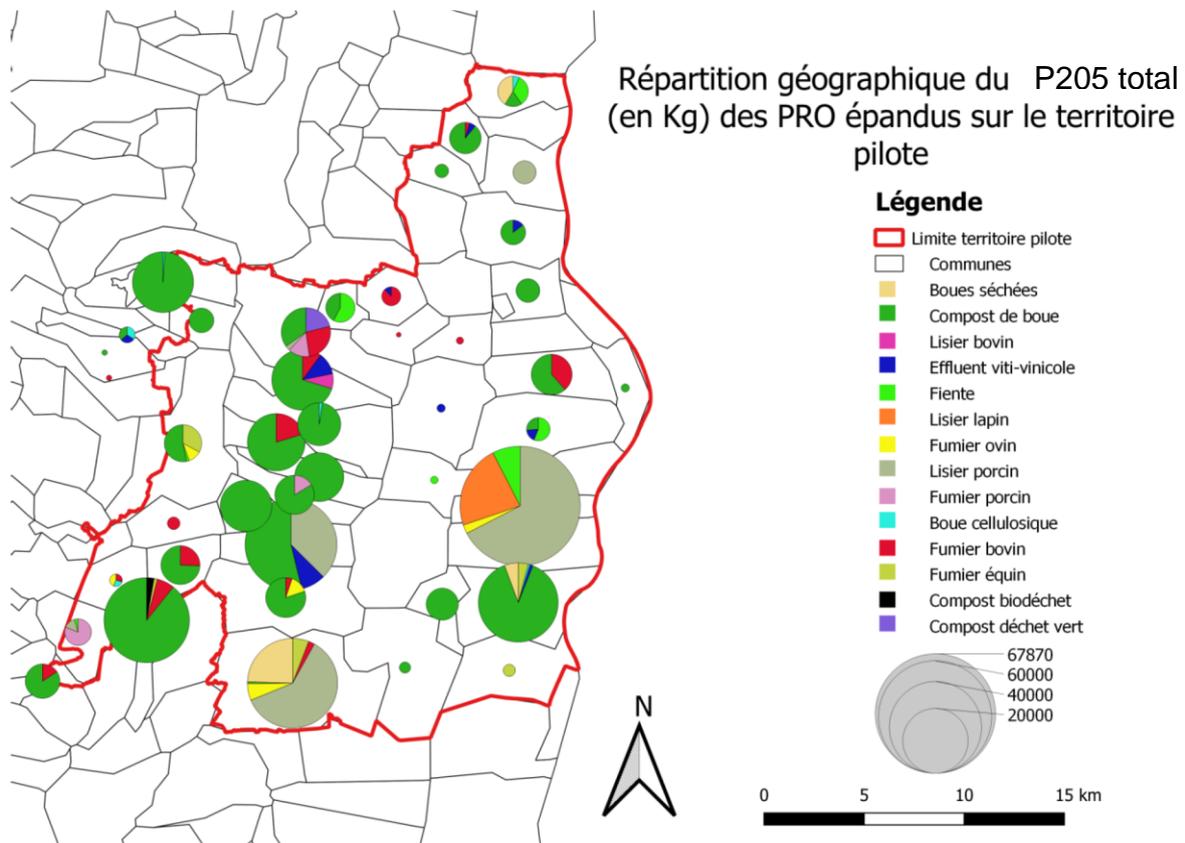


Figure 13 : Répartition spatiale par commune des quantités de phosphore total épanchées sous forme de PRO (Gravier, 2019)

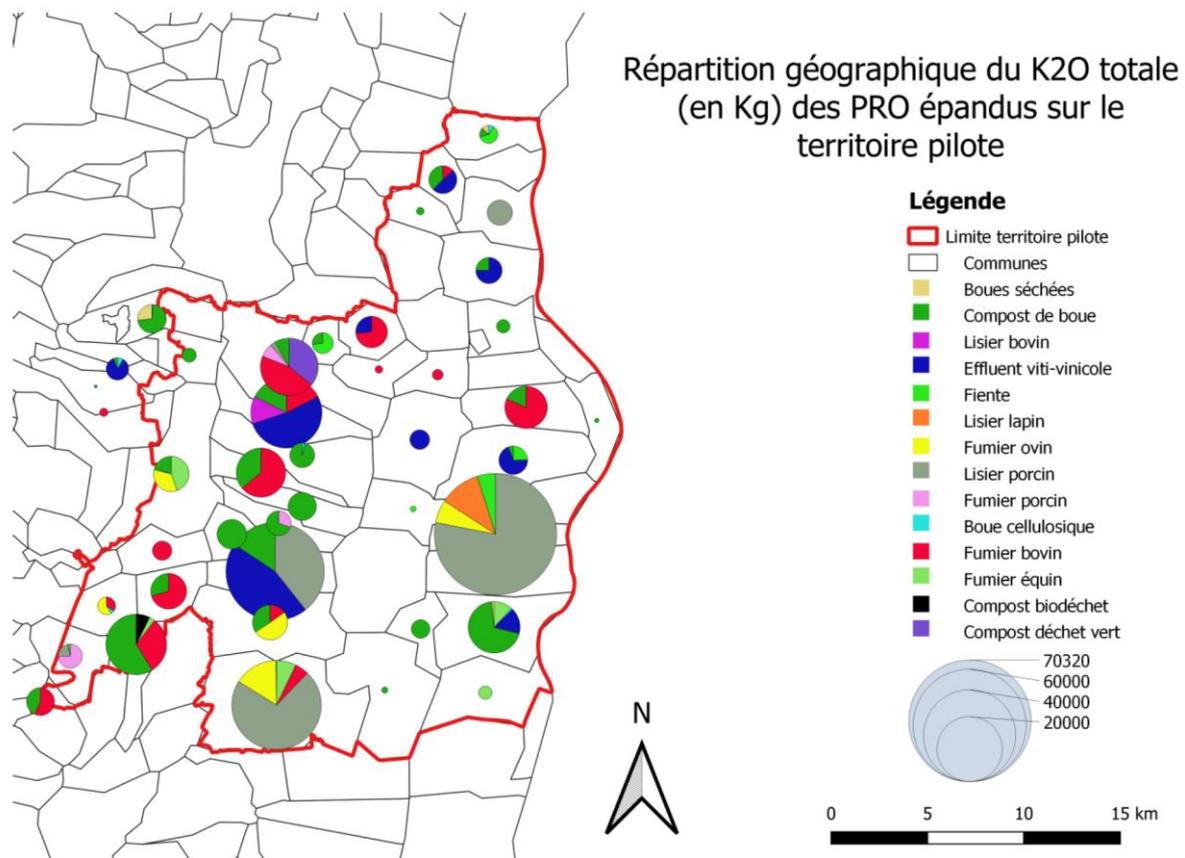


Figure 14 : Répartition spatiale par commune des quantités de potasse totale épanchées sous forme de PRO (Gravier, 2019)

1.5 La demande : les pratiques actuelles de fertilisation avec PRO

Choix du PRO

La stratégie d'usage des PRO par l'agriculteur est essentiellement liée à l'offre en PRO à laquelle il a accès, plutôt qu'à un réel choix de sa part selon des besoins agronomiques.

Il existe sur le territoire trois catégories d'agriculteurs (Figure 15a) :

- Les non-utilisateurs de PRO
- Les utilisateurs de PRO : eux-mêmes scindés en deux catégories :
 - Les producteurs de PRO (« éleveurs »)
 - Les utilisateurs de PRO non-producteurs de PRO (« céréaliers »)

Nous n'avons pas pu identifier au travers des différentes enquêtes des déterminants simples de l'utilisation ou de la non-utilisation de PRO, sauf bien sûr pour les éleveurs. Il semble que les déterminants dépendent de nombreux facteurs, faisant appel à de multiples dimensions (logistiques, économiques, agronomiques, sociales, cognitives...). A titre d'exemple la Figure 16 montre que les freins à l'usage de certains PRO sont à la fois divers et non partagés par tous.

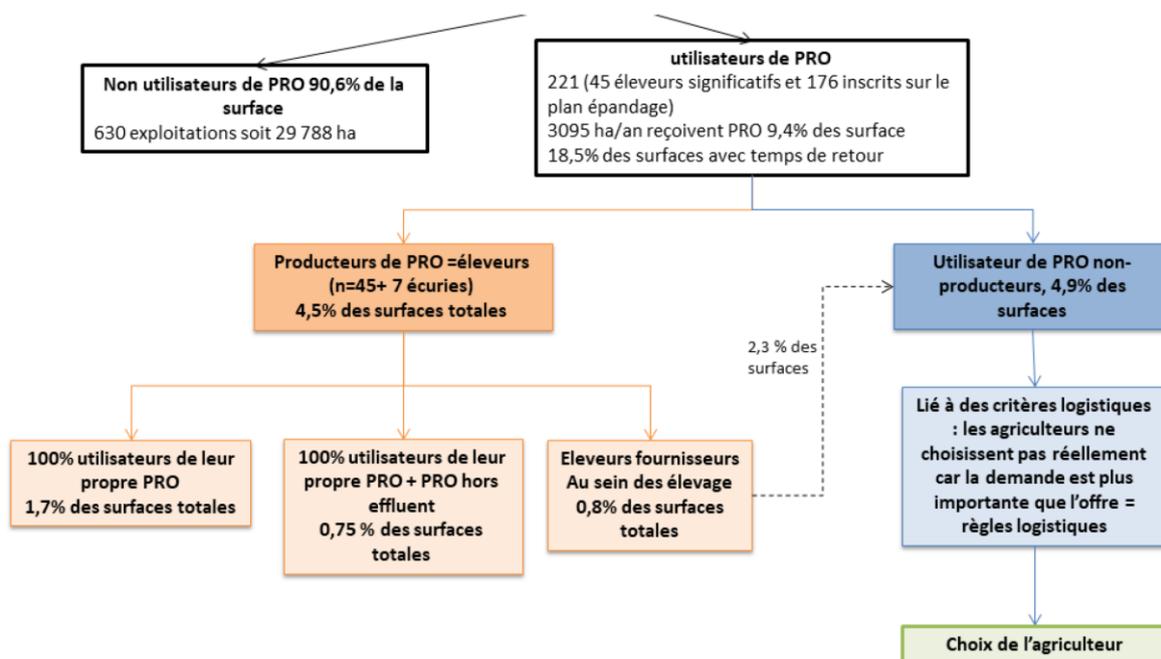


Figure 15a : Typologie des agriculteurs au regard de l'usage des PRO (Gravier, 2019)

Les freins à l'usage de PRO parmi les agriculteurs enquêtés sur le territoire en 2018-2019

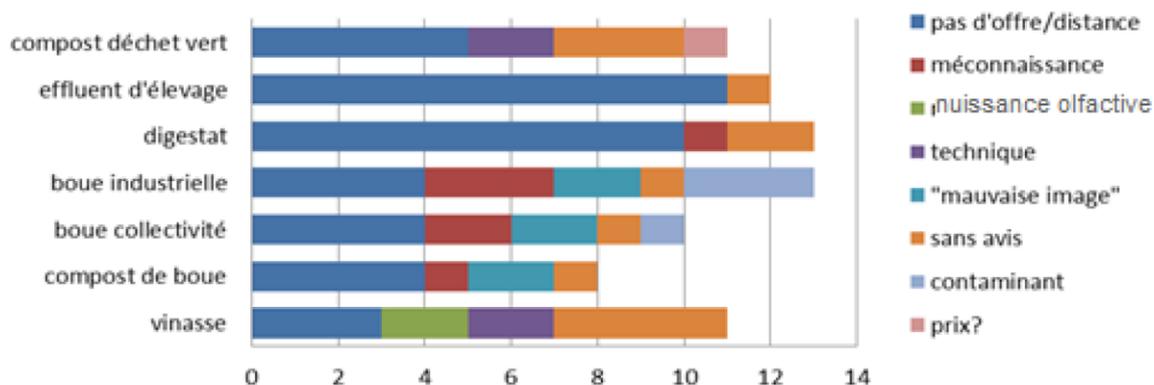


Figure 16 : Freins d'agriculteurs enquêtés vis-à-vis de certains types de PRO (Gravier, 2019)

Les éleveurs utilisent en priorité le PRO qu'ils produisent et 3 stratégies différentes ont été caractérisées (Figure 15b). Certains utilisent d'autres PRO en complément ; pourquoi ces éleveurs et pas d'autres, nous n'avons pas pu identifier les déterminants. Enfin des éleveurs ont un excès de PRO par rapport à leur surface et fournissent des PRO à des voisins agriculteurs dans un rayon d'environ 5 km. Ils échangent les effluents contre de la paille ou bien font payer leur PRO et/ou la prestation. Si les déterminants ne sont pas connus, le type de PRO utilisé et le type de stratégie ont pu être attribués pour les 52 éleveurs, grâce aux enquêtes. Par contre, nous ne connaissons pas la stratégie de choix des parcelles recevant des PRO d'élevage, qu'elles soient dans l'exploitation de l'éleveur ou chez les voisins. Nous n'avons pas eu accès aux plans d'épandage des PRO agricoles non plus. Nous ne connaissons pas non plus les raisons qui font accepter ou non des effluents d'élevage à un voisin.

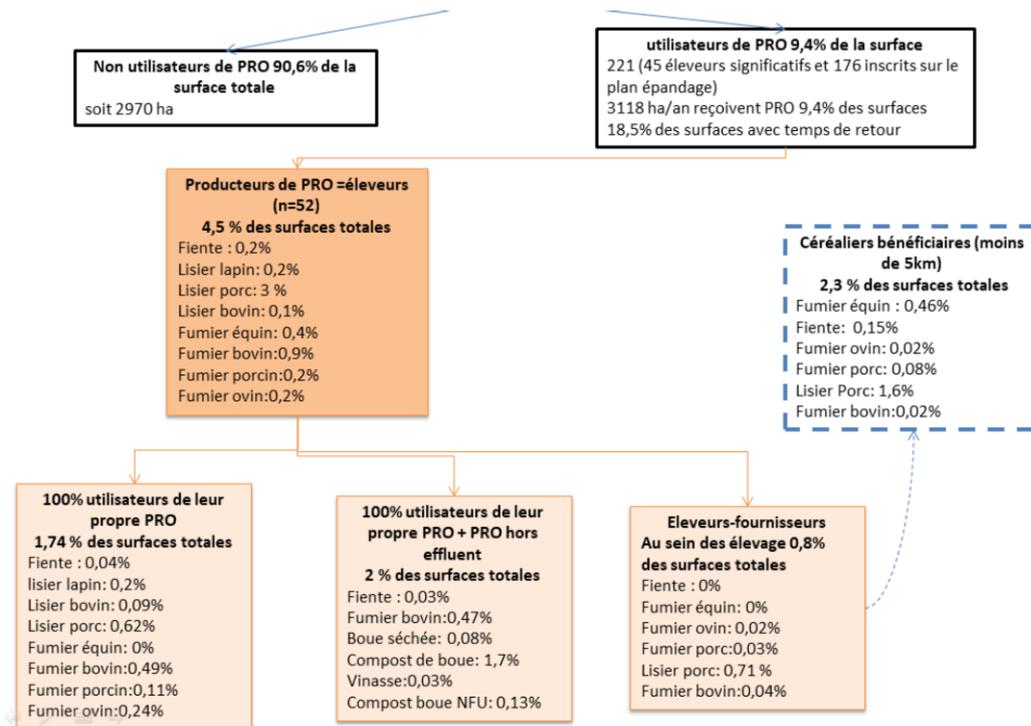


Figure 15b : Typologie des éleveurs au regard de l'usage des PRO (Gravier, 2019)

Les « céréaliers » utilisateurs de PRO sont soumis à l'offre de la filière PRO.

L'épandage d'un PRO sur une parcelle sera guidé essentiellement par la logistique c'est-à-dire les prestataires d'épandage et la distance (Figure 15c). Le déficit de PRO sur le territoire se traduit par une demande plus importante que l'offre. Bien qu'il puisse apparaître des réticences chez des agriculteurs à utiliser certains PRO, la demande est forte et en augmentation.

Pour les PRO non-agricoles sauf les composts de DV et de biodéchets :

Suite à la sollicitation d'un prestataire, ils choisissent de mettre à disposition (ou non) une liste de parcelles pour le plan d'épandage d'un seul PRO « déchet » (même pour les composts de boues normés qui ne sont pas sous statut déchet du moins en 2019 quand les enquêtes ont été faites). Un seul PRO « déchet » par parcelle permet de tracer les PRO et attribuer en cas de besoin les responsabilités à des producteurs de PRO précis. Nous avons eu accès aux plans d'épandage en vigueur en 2019, mais ce sont des données qui évoluent, avec des parcelles qui entrent et sortent des plans, et qui risquent d'évoluer fortement avec les modifications réglementaires prochaines.

Le prestataire choisit les parcelles qu'il veut épandre parmi la liste au fur et à mesure des besoins d'épandage. Les PRO sortent des unités de production ou de transformation quand le stockage devient critique. En période d'été après le blé, il y a moins de demande de PRO car les parcelles sont occupées en majorité par le maïs grain. Dans ce cas de figure, les prestataires se permettent d'aller plus loin pour épandre des PRO « déchet ». Pour les périodes d'automne et fin de l'hiver, les

demandes en PRO sont beaucoup plus importantes liées à la place laissée par les récoltes de maïs. Ainsi, les prestataires épandent en premier lieu sur les parcelles les plus proches de l'unité de production ou transformation et sur une surface d'épandage la plus étendue (grandes parcelles ou regroupées). Puis, ils choisissent des parcelles plus éloignées mais sur de grandes surfaces ou des parcelles proches mais morcelées, selon la quantité de compost qui sort (on accepte plus facilement d'aller plus loin pour une grosse quantité sur une grande surface). Nous avons eu accès aux épandages réellement réalisés en 2016 et 2017, données qui permettront de vérifier que les simulations du module filière PRO sont réalistes.

Pour les composts de DV et de biodéchets :

Ces PRO sont des produits et ne sont pas tracés une fois sortis de la plateforme de compostage. Le critère de la distance à la plateforme est important, puisque c'est l'agriculteur utilisateur qui se charge du transport et de l'épandage. Concernant, le compost de biodéchets, seulement un agriculteur dans le territoire est concerné. Concernant le compost de déchets verts, deux agriculteurs ont pu être identifiés, pas les autres. A dire d'expert, 800 tMB/an de compost de déchets verts sont épandues dans le territoire sur grandes cultures dans un rayon de 10 km maximum autour de la plateforme. De la même façon que l'effluent d'élevage, il est possible que ces agriculteurs utilisent plusieurs PRO.

Une fois les règles concernant la logistique des PRO appliquées (Figure 15c), vient le choix des agriculteurs d'accepter ou non la proposition d'épandage (Figure 15d).

On considère qu'un agriculteur inscrit sur le plan d'épandage accepte le PRO dès que son prestataire le lui propose. Il refuse le PRO uniquement dans le cas d'un cahier des charges spécifique. En effet, dans le cas des parcelles en agriculture biologique (s'il est converti depuis assez peu de temps, il est encore inscrit dans le plan d'épandage), avec de la pomme de terre « La Parmentière » ou avec du blé « Alsépi », les PRO d'origines urbaine et industrielle (sauf vinasse) ne sont pas autorisés, voire les effluents d'élevage « industriel » en AB (nouvelle réglementation). Ils refusent les PRO dans un autre cas de figure, si le prix du PRO est plus cher que l'économie en engrais faite grâce au PRO.

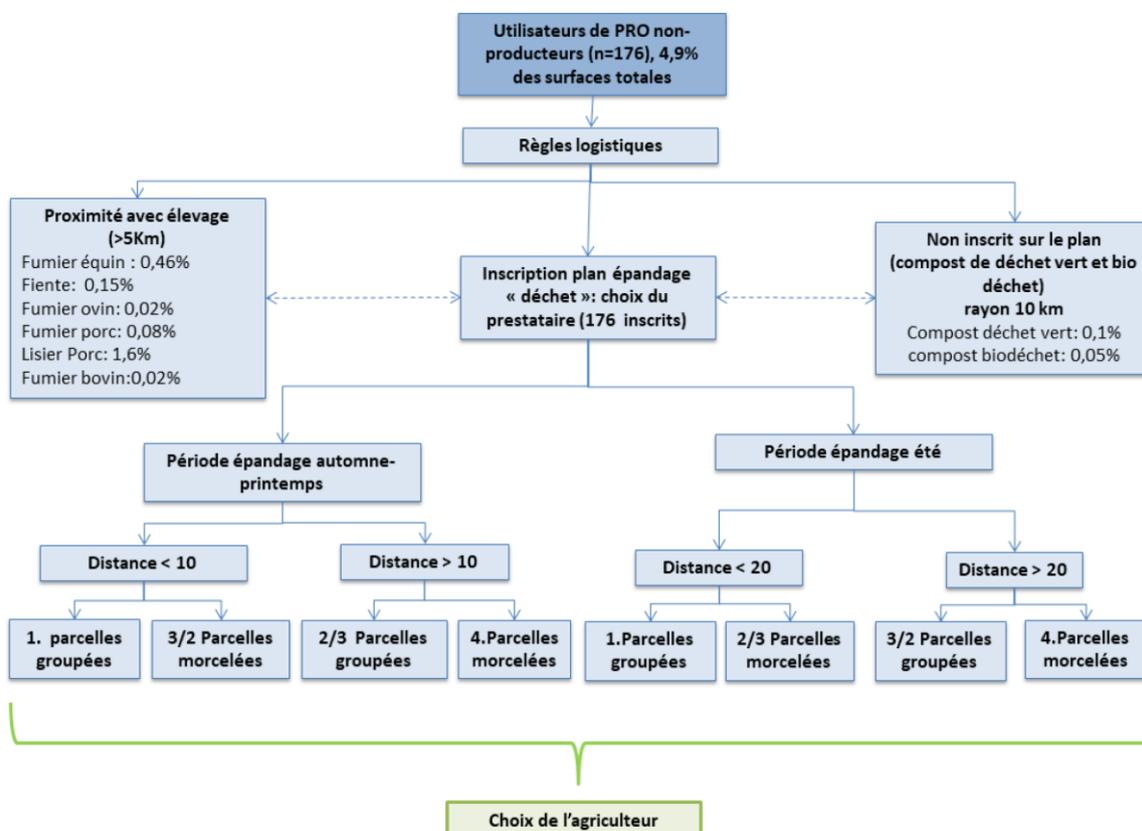


Figure 15c : Règles logistiques des prestataires d'épandage de PRO non-agricoles (Gravier, 2019). Les chiffres 1, 2, 3, 4 indiquent l'ordre de priorité de choix des parcelles à épandre par le prestataire.

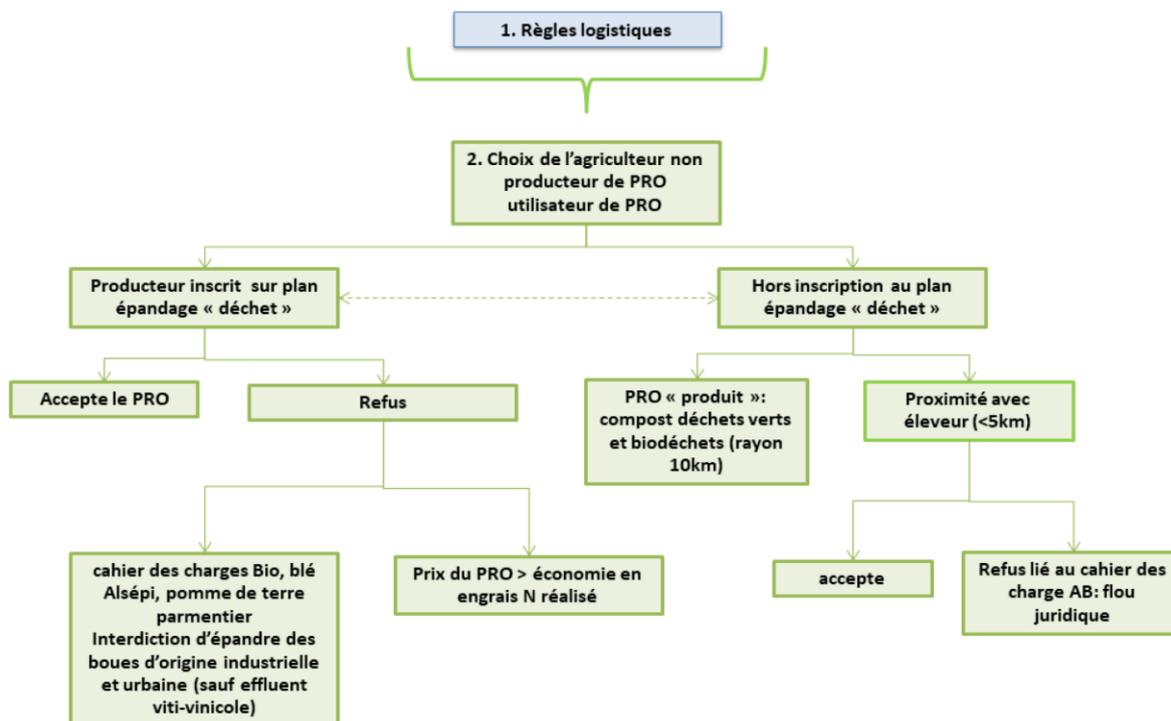


Figure 15d : Stratégie des céréaliers utilisateurs vis-à-vis de l'usage des PRO suite à une proposition de PRO disponible (Gravier, 2019)

Cultures réceptrices de PRO

80% des PRO « déchets » sont épandus pour la culture de maïs, et 10% PRO sont épandus pour le blé. Les parcelles qui bénéficient d'épandage d'effluent d'élevage sont à environ 70% du maïs, à 12% du blé et à 5% de la prairie. Bien que d'autres cultures reçoivent des PRO, nous nous sommes concentrés sur ces cultures principales.

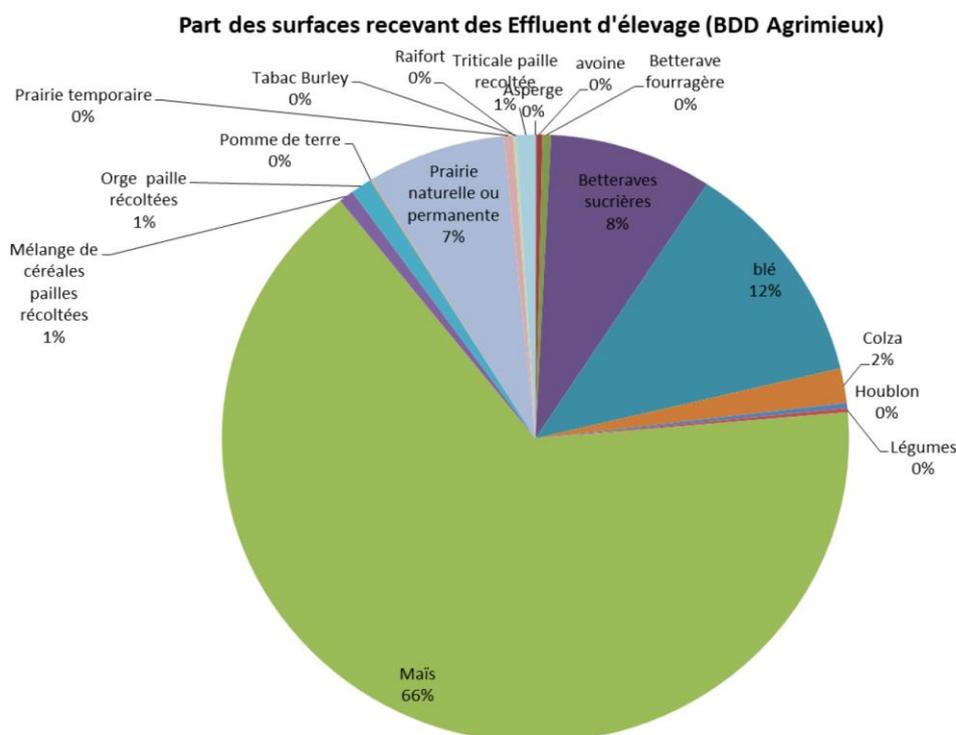


Figure 17 : Destination des PRO d'élevage en % de surface selon la BDD Agri-mieux (Gravier, 2019)

Proportion des surfaces recevant des PRO hors effluent d'élevage

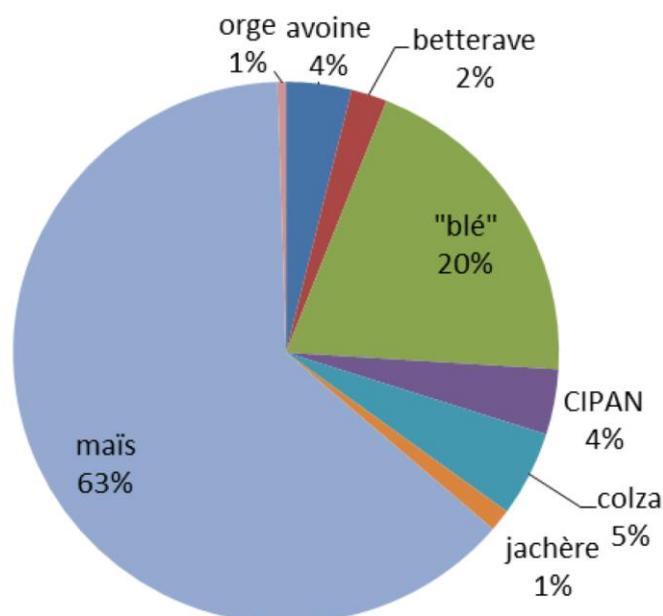


Figure 18 : Destination des PRO non-agricoles en % de surface, selon le SMR68 (Gravier, 2019)

Conduite de la fertilisation avec des PRO

Les doses et les dates d'épandages varient d'un PRO à un autre (Tableau 4).

| type de PRO | quantités épandues (t ou m3) par ha (moyenne pondérée) | temps de retour (années) | Azote totale (kg/ha) | % azote disponible année n | N disponible (Kg/ha) année n |
|------------------------|--|--------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| lisier porc | 35 | 1 | 138 | 80% | 110 |
| fumier porc | 20 | 3 | 80 | 40% | 32 |
| fumier bovin | 22 | 4 | 110 | 40% | 44 |
| lisier bovin | 30 | 1 | 81 | 70% | 57 |
| fiente poule | 5 | 2 | 136 | 90% | 122 |
| lisier lapin | 20 | 1 | 168 | 75% | 126 |
| fumier ovin | 15 | 4 | 29 | 20% | 7 |
| compost de boue NFU | 10 | 2 | 165 | 20% | 33 |
| compost de boue déchet | 10 | 2 | 135 | 20% | 27 |
| vinasse | 35 | 2 | 73 | 15% | 11 |
| boue papeterie | 20 | 2 | 26 | 0% | 0 |
| boue séchée | 3 | 2 | 137 | 35% | 48 |
| compost biodéchets | 20 | 2 | 140 | 10% | 14 |
| compost déchets verts | 20 | 2 | 140 | 20% | 30 |
| fumier cheval | 20 | 3 | 33 | 30% | 10 |

Tableau 4 : Pratiques moyennes de doses et fréquences de retour de PRO (Gravier, 2019)

Concernant le raisonnement d'apport en engrais minéral azoté pour compléter les PRO, des différences ont pu être relevées entre les utilisateurs de PRO d'origine agricole et non-agricole. D'après nos enquêtes auprès des agriculteurs céréaliers utilisateurs de PRO non-agricoles, l'écart à la dose d'azote recommandée est en moyenne de 7 kgN/ha, ce qui correspond aux résultats de l'étude Agri-mieux où l'écart à la dose recommandée est de 8 kgN/ha (Véricel, 2015). Pour les utilisateurs de PRO d'élevage, qui ne bénéficient pas d'un conseil systématique comme les utilisateurs de PRO non-agricoles, l'écart à la dose en azote recommandée est 30 kgN/ha (Véricel, 2015).

Concernant les apports en P, K les agriculteurs interrogés font l'impasse de la fumure de fond l'année de l'apport de PRO et la suivante.

1.6 Confrontation de l'offre en PRO et de la demande par l'agriculture

Un territoire actuellement en déficit de PRO

Le tableau 5 récapitule la part du maïs et du blé selon le type de sol et les rendements en fonction du type de sol, ce qui permet de calculer les besoins culturaux en NPK. L'hypothèse faite est que les besoins en NPK cumulés des autres cultures sont faibles sur le territoire comparés à ceux du maïs et du blé et sont négligés. Le tableau 6 récapitule les besoins en NPK des cultures du territoire avec l'apport en NPK par les épandages en PRO. Dans le cas de l'azote, les PRO apportent 6,1% d'N total ce qui signifie une quantité d'N disponible encore plus faible. Dans le cas du phosphore et de la potasse, les PRO apportent à l'ensemble du territoire 20% de P2O2 et 7,7% de K2O.

| | Maïs grain | | Blé | |
|--------------------------------------|----------------|---------------------------------|---------|---------------------------------|
| | SAU maïs grain | objectif des rendement (qx/ha) | SAU blé | objectif des rendement (qx/ha) |
| sol de basse plaine rhénane | 4645 | 140 | 418 | 90 |
| sol de la plaine de l'III | 6169 | 140 | 740 | 90 |
| sols des alluvions des rivières vosg | 329 | 90 | 577 | 70 |
| sols limoneux sur loess | 1239 | 125 | 189 | 90 |
| sols profond de Hardt | 4469 | 140 | 268 | 90 |
| sol superficiels de hardt | 8996 | 140 | 450 | 90 |

Tableau 5 : Rendements moyens par type de sol (Gravier, 2019)

| | Besoin (maïs et blé) (en t) | offre des PRO (en t) | part des PRO selon les besoins |
|------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------|
| N total | 5761,5 | 352 | 6,1% |
| P2O2 total | 1926,3 | 384 | 19,9% |
| K2O total | 4206,4 | 325 | 7,7% |

Tableau 6 : Besoins en NPK totaux du maïs et du blé (assimilés aux besoins du territoire) et offre en NPK totaux par les PRO épandus (Gravier, 2019)

Le territoire dans sa globalité est en déficit de PRO par rapport aux besoins culturaux en NPK. Comme les épandages de PRO et par conséquent de NPK apportés par les PRO sont répartis de façon hétérogène (cf. Figures 12, 13, 14), il est utile d'analyser si les zones recevant davantage de PRO sont en déficit, en équilibre ou en excès. Les calculs sur la commune de Balgau à l'Est et la commune d'Ensisheim au Sud où les apports de NPK sont les plus élevés du territoire montrent qu'il y a un déficit de la ressource par rapport aux besoins de l'agriculture (Tableaux 7 et 8).

| Balgau | Besoin (maïs et blé) (en t) | Offre des PRO (en t) | Part des PRO selon les besoins |
|------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------------|
| N total | 572 | 91 | 16% |
| P2O2 total | 173 | 68 | 39% |
| K2O total | 157 | 70 | 45% |

Tableau 7 : Besoins en NPK totaux du maïs et du blé (assimilés aux besoins du territoire) et offre en NPK totaux par les PRO épandus (Gravier, 2019)

| Ensisheim | besoin (maïs et blé) en t | offre PRO (en t) | part des PRO selon les besoins |
|-----------|---------------------------|------------------|--------------------------------|
| N | 309 | 53 | 17% |
| P2O | 97 | 37 | 38% |
| K2O | 87 | 38 | 43% |

Tableau 7 : Besoins en NPK totaux du maïs et du blé (assimilés aux besoins du territoire) et offre en NPK totaux par les PRO épandus (Gravier, 2019)

Peu de pistes de ressources en PRO supplémentaires

Les biodéchets sont déjà collectés pour être compostés à Aspach, en porte à porte sur les Com Com de Guebwiller et Rouffach, et en dépôt volontaire sur la Com Com Rhin-Brisach. La Com Com Centre-Haut-Rhin n'envisage pas de les collecter, mais de continuer à promouvoir le compostage individuel. Les boues pouvant être épandues le sont, essentiellement sous forme compostée. Le territoire reçoit déjà du compost des boues de Colmar et environs, en dehors du territoire. Les boues de la station

d'épuration de Mulhouse sont écartées du retour au sol et sont incinérées, sauf quand l'incinérateur est en maintenance, où elles sont compostées et épandues. Le durcissement annoncé de la réglementation sur les matières fertilisantes aura peut-être pour conséquence d'ôter certains PRO de la filière de recyclage agricole pour les orienter vers l'incinération par exemple.

Le Conseil départemental ne souhaite pas encourager les particuliers à déposer encore plus massivement leurs déchets verts en déchèterie car cela a un coût élevé. Ils promeuvent donc plutôt le compostage individuel.

La filière bois-énergie tend à se développer aux alentours du territoire pilote Mulhouse, Rixheim, Cernay, St Louis, Colmar). La chaufferie de Colmar produit 150 t/an de cendres qui étaient stockées depuis sa création et sont épandues depuis 2018. Elles sont épandues à 7t par ha, soit 21 ha/an du territoire seraient concernés. La chaufferie de St Louis produit 500 t de cendres, stockées pour le moment (SMRA68).

Un autre produit commence à être épandu sur le territoire, nommé Melagran. Ce PRO est d'origine allemande. C'est un déchet issu de la transformation de betterave en vitamine. Melagran est un fertilisant organique (NFU 42001). Plusieurs agriculteurs du territoire ont essayé ce produit, dont les agriculteurs interrogés qui semblent convaincus. Il est appliqué à 6tMB/ha soit 115 kgN/ha disponible, 210 kg P2O5/ha et 130 kg K2O/ha à un prix de 165 euros/ha. 450 ha pourraient être concernés.

A l'avenir, des concurrences entre filières pour les ressources en PRO ?

Des filières biomasse-énergie seront amenées à se développer sur le territoire pilote (méthanisation, chaufferies bois). Comme l'offre de PRO est faible comparée à la demande, tout développement d'une nouvelle filière qui capte des PRO les soustrait à des filières existantes et risque de provoquer des conflits d'usage avec surenchérissement sur les prix. Ces filières produisent aussi de nouveaux PRO qui sont autant de ressources pour le territoire.

- Construction d'unités de méthanisation

Il n'y a pas de méthaniseur aujourd'hui sur le territoire, mais quelques unités sont en projet. L'introduction d'un méthaniseur induit des modifications de flux de biomasses sur un secteur pour alimenter le méthaniseur et valoriser le digestat et des évolutions d'assolement et de pratiques.

Un projet de méthanisation, Florigaz, porté par la Com com de Guebwiller, est en discussion depuis 2013 à Issenheim, mais semble aujourd'hui abandonné. Une étude a été menée pour un objectif de 8 300 MW de puissance électrique potentielle et 8 500 MW de puissance thermique potentielle. Ainsi, le méthaniseur a besoin 30 000 tMB/an. D'après l'étude, plusieurs élevages dans un rayon de 10 km seraient concernés. Les déchets des industries agroalimentaires alimenteraient aussi le méthaniseur. Les biodéchets de la communauté de communes de Guebwiller et des supermarchés seraient eux aussi valorisés par le digesteur. Le projet à Issenheim produirait 21 400t/an de digestat liquide, ce qui concernerait potentiellement 1500 ha/an.

Le SM4 a un projet de méthaniseur sur le site de compostage d'Aspach-le-Haut pour traiter les biodéchets. Le digestat produit serait composté avec des déchets verts.

Un méthaniseur est en projet à Munchouse, porté par des agriculteurs. Il méthaniserait 10 000 tMB/an : du lisier de porc, du fumier de bovin, des déchets agroalimentaires et des CIVE. Il produirait 11 000 m3/an de digestat, soit 500 ha épandus/an avec un plan d'épandage de 2 600 ha.

Un autre projet de méthanisation agricole est en cours à Ungersheim, commune limitrophe du territoire.

- Développement de la filière bois énergie

Les chaudières font appel à de la biomasse provenant des forêts mais aussi des déchets verts (taille de bois) qui sont actuellement valorisés au sein du territoire à travers le compost de boue.

2. Conception de systèmes de culture et de systèmes territoriaux intégrant des PRO : simulation et évaluation avec Maelia

Dans PROTERR, un module filière PRO a été développé par l'INRAE Colmar. Il peut fonctionner seul et simuler les flux de biomasses entre unités de production de PRO (UP : élevages, stations d'épuration...), unités de transformation (UT : plateformes de compostage par exemple) et unités de consommation des PRO (UC : les parcelles agricoles épandues). Il peut aussi être couplé avec le module agricole de Maelia, qui simule les interventions agricoles sur les parcelles.

L'instanciation du territoire RVGB nécessite à la fois de renseigner les données pour le module filière PRO, ce que INRAE s'est chargé de faire à partir des données transmises par la CRAGE, issues du diagnostic, et de renseigner les données pour le module agricole, sous forme de « règles de décision » décrivant l'intervention de l'agriculteur sur la parcelle en fonction d'autres données (météo, état du sol ou de la culture...), ce que la CRAGE s'est chargée de faire, en saisissant dans une interface développée par INRAE Colmar.

Le but de PROTERR est notamment de concevoir le module filière PRO, développer des fonctionnalités supplémentaires concernant la fertilisation dans le module agricole, développer la simulation des cycles du C et de N pour calculer de nouveaux indicateurs de type lixiviation de nitrates, stockage de C dans le sol ou émissions de N₂O.

La finalité est d'avoir un outil capable de simuler la situation actuelle, ainsi que des scénarios prospectifs avec de nouveaux systèmes de culture et/ou de nouvelles organisations dans les filières de retour au sol des PRO, et d'évaluer la situation actuelle et les scénarios sur des critères socio-économiques et environnementaux, à l'échelle territoriale.

2.1 Hypothèses simplificatrices choisies pour les saisies dans le module agricole

Types de sol

A l'échelle 1/50000, on dénombre 40 UCS correspondant à plus de 60 UTS. Pour spatialiser les types de sol, on a attribué l'UTS dominant de l'UCS à l'UCS. Puis les UTS ont été regroupés en 5 grands types, correspondant à de grandes différenciations de conduites des cultures concernant la fertilisation : sols superficiels (irrigués), sols profonds (irrigués), sols limoneux de loess (irrigués), sols de Piémont irrigués, sols de Piémont non irrigués.

Cultures

Seules les cultures ayant une surface supérieure à 1% de la SAU ont été conservées : maïs grain, blé, soja, cipan.

Les prairies sont également conservées car elles sont importantes comme surfaces réceptrices de PRO. Non simulables par Maelia, elles seront intégrées au module filière PRO en tant qu'unité de consommation de fumier de bovin.

Pratiques hors PRO

Les pratiques reposent sur des entretiens poussés avec un expert, la réunion des experts de juin 2018 et les enquêtes de 2014 (Véricel, 2015).

Pour le travail du sol nous avons simplifié en un labour systématique chaque année, à l'automne.

Deux conduites différenciées ont été saisies pour le blé : blé pailles exportées et blé pailles non exportées.

Nous n'avons pas saisi de conduite spécifique maïs cribs, même si cela concerne environ 7% de la SAU. Il n'y a en effet pas d'interaction entre la conduite du maïs en cribs ou non et la gestion des PRO. Par contre, le fait de conduire un maïs en cribs ou non a un effet sur le retour au sol des résidus de culture et sur les stocks de C dans le sol. Si on s'intéresse à l'aspect stockage de C dans le sol ou teneur en MO, il faudra alors faire des scénarios en jouant sur des paramètres pour provoquer des restitutions de biomasse différenciées.

Conduites actuelles saisies dans l'interface

15 conduites actuelles sans PRO sont saisies dans l'interface du module agricole de Maelia et seront attribuées au type d'agriculteur « non utilisateur de PRO ».

| Cultures | précédent | Type de sol |
|------------------------|------------|----------------------------------|
| Maïs grain | Tous | Superficiel |
| Maïs grain | Tous | Profond |
| Maïs grain | Tous | Limon-loess |
| Maïs grain | Tous | Piémont irrigué |
| Maïs grain | Tous | Piémont non irrigué |
| Blé pailles restituées | Maïs grain | Irrigué (Sup, prof, Limon, Piem) |
| Blé pailles restituées | Maïs grain | Piémont non irrigué |
| Blé pailles restituées | Soja | Irrigué (Sup, prof, Limon, Piem) |
| Blé pailles restituées | Soja | Piémont non irrigué |
| Blé pailles exportées | Maïs grain | Irrigué (Sup, prof, Limon, Piem) |
| Blé pailles exportées | Maïs grain | Piémont non irrigué |
| Blé pailles exportées | Soja | Irrigué (Sup, prof, Limon, Piem) |
| Blé pailles exportées | Soja | Piémont non irrigué |
| Soja | Tous | Irrigué (Sup, prof, Limon, Piem) |
| Cipan | Blé | Tous |

Tableau 8 : caractéristiques des 15 conduites sans PRO à attribuer aux agriculteurs non-utilisateurs de PRO

Seulement 6 des 15 PRO ont été saisis dans l'interface : ceux qui représentent les plus grandes surfaces épandues (compost de boues, lisier de porc, fumier de bovin, vinasses) auxquels on a ajouté les boues séchées et les composts de DV.

Le soja en tant que légumineuse ne reçoit pas de PRO, ce qui nous amène à saisir 11 conduites avec PRO, qui seront attribuées aux agriculteurs utilisateurs de PRO. Chaque conduite contient en général 7 stratégies de fertilisation : une stratégie minéral pur (correspondant au cas où l'agriculteur utilisateur de PRO n'a pas de PRO disponible) et une stratégie par PRO (compost de boue, lisier de porc, fumier de bovin, vinasse, boues séchées, composts DV). Il y a certains PRO qui ne sont pas épandus sur certaines cultures, en général pour des questions de calendrier d'épandage, c'est pourquoi certaines cultures ont moins de 7 stratégies.

| Culture | Précédent | Type de sol | Stratégies de fertilisation |
|------------------------|------------|---|--|
| Maïs grain | Tous | Superficiel | 7 : minéral, compost boue, vinasse, boues séchées, compost DV, lisier porc, fumier bovin |
| Maïs grain | Tous | Profond | 7 : minéral, compost boue, vinasse, boues séchées, compost DV, lisier porc, fumier bovin |
| Maïs grain | Tous | Limon loess | 7 : minéral, compost boue, vinasse, boues séchées, compost DV, lisier porc, fumier bovin |
| Maïs grain | Tous | Piémont irrigué | 7 : minéral, compost boue, vinasse, boues séchées, compost DV, lisier porc, fumier bovin |
| Maïs grain | Tous | Piémont non irrigué | 7 : minéral, compost boue, vinasse, boues séchées, compost DV, lisier porc, fumier bovin |
| Blé pailles restituées | Maïs grain | Irrigué (Superficiel-Profond-Limon loess-Piémont) | 5 : minéral, compost boue, vinasse, compost DV, fumier bovin |
| Blé pailles restituées | Maïs grain | Piémont non irrigué | 5 : minéral, compost boue, vinasse, compost DV, fumier bovin |

| | | | |
|------------------------|------------|---|--|
| Blé pailles exportées | Maïs grain | Irrigué (Superficiel-Profond-Limon loess-Piémont) | 5 : minéral, compost boue, vinasse, compost DV, fumier bovin |
| Blé pailles exportées | Maïs grain | Piémont non irrigué | 5 : minéral, compost boue, vinasse, compost DV, fumier bovin |
| Cipan épandage été | Blé | Tous | 3 : compost boue, compost DV, fumier bovin |
| Cipan épandage automne | Blé | Tous | 4 : compost boue, vinasse, compost DV, fumier bovin |

Tableau 9 : caractéristiques des 11 conduites à attribuer aux agriculteurs utilisateurs de PRO

Pratiques actuelles de fertilisation

La dose d'engrais minéral azoté est calculée en 2 temps, le calcul de la dose recommandée, à laquelle on ajoute l'écart moyen à la dose recommandée.

La dose recommandée repose sur :

- La méthode de calcul et les références du référentiel Alsace de la Directive Nitrates du 22/08/2019
- Les niveaux moyens de rendement par type de sol issus de la réunion d'experts de juin 2018
- Une dose moyenne de PRO par type de PRO et une période principale d'apport de PRO par type de PRO, issues des enquêtes 2019
- La composition moyenne en N par type de PRO issue du référentiel Alsace et des analyses du SMRA68

L'écart moyen à la dose recommandée repose sur les enquêtes 2014 (Véricel, 2015) et nos enquêtes (13 kg N/ha non utilisateurs de PRO, 30 kgN/ha éleveurs, 8 kgN/ha utilisateurs de PRO non-agricoles). Il est considéré que l'agriculteur fait systématiquement l'impasse en PK l'année de l'épandage.

Règles de décisions

Les pratiques telles que décrites au-dessus ont été transformées en règles de décision d'intervention de l'agriculteur en fonction de l'état du milieu (météo, sol, culture).

Exemple de règles de décision de la conduite du maïs en limon-loess sans apport de PRO :

Les 2 premières lignes se lisent de cette façon : le labour peut avoir lieu entre le jour 293 (20/10) et le jour 15 (15/1) dès que l'agriculteur est disponible et que les conditions d'état du milieu sont remplies. Entre le 20/10 et le 31/12, l'agriculteur laboure la parcelle dès que l'humidité du sol est inférieure à 80% de la capacité au champ. Si au jour 1 (1^{er} janvier), il n'est pas encore intervenu, alors il intervient dès qu'il est disponible (car l'humidité du sol est toujours inférieure ou égale à 100% de la capacité au champ).

| | outil | période | Date début | Date fin | Paramètre de condition 1 | Valeur de condition 1 | Paramètre de condition 2 | Valeur de condition 2 |
|-----------------------------|-------------------|---------|------------|----------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Travail du sol 1, période 1 | charrue | automne | 293 | 365 | Humidité du sol | <80% de CC | | |
| Travail du sol 1, période 2 | charrue | automne | 1 | 15 | Humidité du sol | <100% de CC | | |
| Travail du sol 2 | Vibro1 facultatif | mars | 70 | 90 | Humidité du sol | <90% de CC | | |
| Travail du | Vibro2 | avril | 91 | 122 | Humidité | <90% de | | |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|----------------|-----|-----|------------------|-------------|-------------------------|----------------|
| sol 3, période 1 | obligatoire | | | | du sol | CC | | |
| Travail du sol 3, période 2 | Vibro2 obligatoire | Avril mai | 123 | 135 | Humidité du sol | <100% de CC | | |
| Semis, période 1 | Semoir | avril | 92 | 116 | Humidité du sol | <90% de CC | Tmax Tmin 5 jours | >15°C >5°C |
| Semis, période 2 | Semoir | mai | 117 | 136 | Humidité du sol | <100% de CC | Tmax Tmin 5 jours | >0°C >-10°C |
| Traitement 1 | Pulvé | mai | 125 | 140 | | | | |
| Traitement 2 | Pulvé | juin | 161 | 172 | | | | |
| Irrigation | 35 mm | | 167 | 228 | Déficit hydrique | >35 mm | stade | >14F |
| Récolte, période 1 | MB | Sept oct | 263 | 310 | Humidité du sol | <85% de CC | stade | >maturité |
| Récolte, période 2 | MB | nov | 311 | 320 | Humidité du sol | <100% de CC | stade | >ensilage |
| Apport 1 | 100 kg 18-46 | Au semis semis | 92 | 136 | | | | |
| Apport 2 | 195 kg urée | Mai juin | 136 | 172 | stade | >4-5F | | |
| Apport 3 | 260 kg urée | juin | 158 | 188 | stade | >10-12F | | |
| Apport 4 | 333 kg 0-15-30 | avril | 85 | 134 | Humidité du sol | <85% de CC | | |

Tableau 10 : règles de décision qui déclenchent les interventions au champ des parcelles de maïs en sol limon-loess par les agriculteurs non utilisateurs de PRO

Exemple de stratégie de fertilisation avec du lisier de porc de la conduite du maïs en limon-loess :

| | quantité | période | Date début | Date fin | Paramètre de condition 1 | Valeur de condition 1 |
|----------|-------------------|----------|------------|----------|--------------------------|-----------------------|
| Apport 1 | 35 m3 lisier porc | Mai | 122 | 153 | stade | 2F |
| Apport 2 | 172 kg urée | Mai juin | 136 | 172 | stade | 4-5F |
| Apport 3 | 172 kg urée | juin | 153 | 188 | stade | 10-12F |

Tableau 11 : règles de décision qui déclenchent les interventions au champ des parcelles de maïs en sol limon-loess pour la stratégie lisier de porc par les agriculteurs utilisateurs de lisier de porc ; s'ils n'ont pas de lisier de porc disponible, alors ils basculent sur une stratégie engrais minéral pur.

Limite principale des hypothèses simplificatrices

La dose d'azote minéral diffère pour chaque PRO et pour chacune des 7 stratégies de chaque PRO. Comme la fertilisation est la thématique qui nous intéresse, il est important d'introduire des nuances entre type d'agriculteurs, ce qui est le cas.

Par contre, nous n'avons pas introduit de variabilité entre agriculteurs d'un même type. C'est pourtant une réalité qui a un effet sur les impacts (marge ou lixiviation par exemple). Or, pour le moment, nous avons par triplet (culture, précédent, type de sol) un seul niveau de rendement pour calculer la dose de N à appliquer, ainsi qu'une seule dose de PRO par type de PRO et une seule

période d'apport du PRO par culture, conduisant à une seule dose d'engrais minéral complémentaire.

| | Délai de retour à la rotation (années) | qté | périodes d'épandage (gras : priorité par type PRO) | | |
|------------------|--|-----|--|---|-------------|
| | | | sur maïs | sur cipan | sur blé |
| lisier porc | 1 | 35 | avant ou sur semis | ? 15 j avant semis et 20j avant destruction | |
| fumier porc | 3 | 20 | oct avant maïs | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |
| fumier bovin | 3 | 22 | oct avant maïs | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |
| lisier bovin | 1 | 30 | avant semis maïs | 15 j avant semis et 20j avant destruction | |
| fiente poule | 2 | 5 | avant ou sur semis | ? 15 j avant semis et 20j avant destruction | |
| lisier lapin | 1 | 20 | avant ou sur semis | ? 15 j avant semis et 20j avant destruction | |
| fumier ovin/cap | 3 | 15 | oct avant maïs | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |
| compost boue | 2 | 10 | oct avant maïs | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |
| vinasse (type I) | 2 | 35 | oct nov | oct nov | avant semis |
| boue papeterie | 2 | 20 | oct-décembre avan | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |
| boue séchée | 2 | 3 | avant semis maïs | | |
| compost biodéc | 2 | 20 | oct avant maïs | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |
| compost DV | 2 | 20 | oct avant maïs | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |
| fumier cheval | 2 | 20 | oct avant maïs | (15j avant et) 20j avant destruction | avant semis |

Tableau 12 : Choix faits par type de PRO : sur la quantité de PRO épandue, la fréquence, les périodes d'épandage par culture

| | | Sols | | | | |
|-------|----------------|---------|----------|-------------|--------------|------------------|
| | | sol_sup | sol_prof | limon_loess | piemont_irri | piemont_non_irri |
| MaïsG | qx/ha (15% MS) | 129 | 119 | 110 | 109 | 105 |
| BléH | qx/ha (15% MS) | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Soja | qx/ha (14% MS) | 42 | 42 | 42 | 42 | 30 |

Tableau 13 : Choix faits de rendement par type de sol

2.2 Pistes de progrès pour simuler les systèmes actuels avec Maelia : introduire de la variabilité dans les pratiques de fertilisation

Il serait intéressant de davantage coller à la réalité des agriculteurs qui ne font pas tous la même chose, en introduisant de la variabilité conduisant à une même moyenne : faire varier la dose de PRO et faire varier l'écart à la dose recommandée d'engrais minéral complémentaire.

2.3 Scénarios prospectifs

Il était prévu d'évaluer la situation actuelle et des scénarios prospectifs. Cela n'a pas pu se faire sur ce territoire.

Il était prévu les scénarios suivants :

Modifier la fertilisation

- Fertilisation conforme aux recommandations : par rapport aux pratiques actuelles, quelles conséquences sur la marge et les impacts environnementaux, en moyenne, et selon les années climatiques ?
- En inversé : est-il possible de modifier la fertilisation pour obtenir au moins la même marge et moins d'impacts négatifs sur l'environnement, en moyenne, et selon les années climatiques ?

Modifier l'assolement du territoire

L'autonomie azotée et/ou protéique des cultures et des élevages est une question d'actualité et le plan protéines pousse au développement des légumineuses. La surface de soja a plus que triplé entre 2014 et 2017. Des filières sont en étude, comme une filière de déshydratation de 2500 ha de luzerne

s'appuyant sur la récupération de chaleur « perdue » par d'autres installations. Il peut être intéressant de simuler les conséquences de l'augmentation de la part de légumineuses sur le territoire, sur les flux de PRO au sein du territoire (les légumineuses n'ont pas besoin d'azote) et les conséquences économiques et environnementales.

- Augmenter la part de soja, en testant différentes proportions
- Introduire 2500 ha de luzerne

Insérer un méthaniseur sur le territoire

L'insertion d'un méthaniseur a des conséquences sur l'offre de PRO et la fertilisation des cultures (certains PRO disparaissent, le digestat apparaît), sur les assolements et systèmes de culture. Il peut être intéressant de simuler plusieurs possibilités et leurs conséquences économiques et socio-environnementales. Les possibilités à tester peuvent concerner les intrants du méthaniseur (quels PRO, en quelles proportions, des cive ou des cultures ou des résidus de culture, en quelles proportions...), les parcelles émettrices d'intrants pour le méthaniseur, les post-traitements (séparation de phase ou non), les parcelles destinataires du digestat.

Références bibliographiques :

- Flisiak C. (2018). Diagnostic du rôle des produits résiduels organiques dans le bilan humique d'un territoire-pilote situé dans la Plaine D'Alsace. MFE Ecole Nationale Supérieure de Sciences Agronomiques de Bordeaux Aquitaine, 52p.
- Gravier A. (2019). Description de la gestion des produits résiduels organiques sur un territoire de la plaine haut-rhinoise, dans le but de proposer des scénarios alternatifs de gestion. MFE ENSAIA, 65p.
- Le Gloux F. (2019). Optimiser le stockage de carbone dans les sols agricoles et limiter les émissions de GES à l'échelle des systèmes de culture d'un territoire de la plaine d'Alsace. MFE Agro Campus Ouest Rennes, 34p.
- Véricel G. (2015) VERICEL, G., 2015. Evaluation des modifications de pratiques de gestion de l'azote des agriculteurs d'Agr'eau Plaine : rapport final. 76p.