

ISARA Lyon
23, rue Jean Baldassini
69364 Lyon CEDEX 07

Chambre d'Agriculture Région Alsace
Espace Européen de l'Entreprise
2 rue de Rome
Schiltigheim - BP 30022
67013 Strasbourg cedex

Analyse de la filière d'épandage de déchets organiques dans le Bas-Rhin

Etat actuel et étude de nouvelles possibilités d'épandage

Mémoire de fin d'études
42^{ème} promotion (2009 – 2014)
16 septembre 2014
Enseignant Responsable :
Grégoire Brossard

Barthez Alix
Elève ingénieur ISARA-Lyon
Directrice de Mémoire :
Céline Veit

Sommaire

Remerciements	2
Sigles et abréviations.....	5
Introduction	6
Contexte et cadre de l'étude	7
1.1. Le contexte agricole du Bas-Rhin	7
1.2. Cadre : La Mission Déchets Matières Organiques et la Chambre d'Agriculture Région Alsace.....	9
1.2.1. La Mission Déchets Matières Organiques.....	9
1.2.2. La Chambre d'Agriculture Région Alsace	9
1.3. Problématique.....	10
2. Les matières organiques dans le Bas-Rhin.....	12
2.1. L'épandage des Produits Résiduaire Organiques.....	12
2.1.1. Définition.....	12
2.1.2. L'intérêt du recyclage agricole des PRO.....	12
2.1.3. La réglementation pour l'épandage des PRO.....	13
2.2. Les types de PRO dans le Bas-Rhin.....	13
2.2.1. Les boues d'épuration des eaux usées	13
2.2.2. Les effluents d'élevage.....	15
2.2.3. Les composts de déchets verts et d'ordures ménagères	15
2.2.4. Les digestats de méthanisation	16
2.3. Les matières organiques dans les sols	17
2.3.1. Les matières organiques vivantes	18
2.3.2. Les matières organiques fraîches (carbone actif)	19
2.3.3. Les matières organiques transitoires (carbone particulaire)	19
2.3.4. Les matières organiques stables	19
2.3.5. L'influence des pratiques agricoles et du complexe pédoclimatique sur les MO des sols ..	20
3. Méthode.....	22
3.1. Identification de l'offre et des débouchés des PRO	22
3.1.1. L'échelle.....	22
3.1.2. La production de déchets.....	22

3.1.3.	L'épandage des déchets.....	24
3.2.	Caractérisation des teneurs en matières organiques dans les sols	26
3.2.1.	Le choix de la méthode et son concept.....	26
3.2.2.	Le Référentiel Régional Pédologique d'Alsace.....	27
3.2.3.	Calcul du déficit de saturation du carbone organique	27
3.2.4.	Traitement des données et restitution cartographique	28
Résultats et analyse		31
4.1.	Production de PRO dans le département.....	31
4.1.1.	Production totale de PRO dans le Bas-Rhin et évolution depuis 2000.....	31
4.1.2.	Répartition de la production de PRO destiné à être épandu dans le département	35
4.2.	La pression d'épandage des PRO.....	38
4.3.	Identification des sols déficitaires en matières organiques	41
4.4.	Synthèse	43
5.	Discussion	46
5.1.	Intérêts et limites de la méthode.....	46
5.1.1.	La production de déchets.....	46
5.1.2.	L'épandage des déchets.....	47
5.1.3.	Caractérisation des taux de MO dans les sols.....	48
5.2.	Perspectives	49
Conclusion.....		53
Bibliographie.....		55
Figures et tableaux		59
Annexes.....		60

Remerciements

A l'issue de ce stage, je tiens à remercier :

Céline Veit, ma maîtresse de stage, pour son accompagnement tout au long de mon stage, l'autonomie et la confiance qu'elle m'a accordée tout en restant disponible.

Grégoire Brossard, mon enseignant responsable, pour ses conseils avisés qui m'ont permis de bénéficier d'un soutien et d'un point de vue extérieur pour une meilleure prise de recul.

Christophe Barbot, collaborateur de Céline Veit, pour toutes les connaissances qu'il m'a apporté sur les matières organiques des sols et pour le temps accordé lors des sorties de terrains.

Paul Van Dijk, Joëlle Sauter et Enzo Venturini de l'ARAA pour leur aide précieuse et le temps qu'ils m'ont consacré pour caractériser les matières organiques dans les sols et cartographier mes résultats.

Patricia Spano, Hélène Janus et Nicolas James du Conseil Général du Bas-Rhin pour l'intérêt qu'ils ont manifesté concernant mon travail.

L'ensemble du personnel du service « Environnement et Innovation », et particulièrement Edouard Cholley et François Lannuzel, collègues de bureau, pour leur accueil et leur bonne humeur qui m'ont permis de m'intégrer dans l'équipe.

Le personnel des services « Elevage » et « Bâtiment » pour la collecte des données sur les effluents d'élevage.

Et l'ensemble des personnes que j'ai rencontré pendant ce stage qui ont participé, de près ou de loin, à son bon déroulement.

Sigles et abréviations

ARAA	Association pour la Relance de l'Agronomie en Alsace
CARA	Chambre d'Agriculture Région Alsace
CORPEN	Comité d'ORientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement
Csat	Quantité maximale de Carbone qu'un sol peut fixer
CTO	Composés Traces Organiques
CUS	Communauté Urbaine de Strasbourg
DeficitC	Déficit de saturation d'un sol en carbone organique
ETM	Eléments Traces Métalliques
GISSOL	Groupement d'Intérêt Scientifique SOL
ICPE	Installation Classée Pour l'Environnement
IGCS	Inventaire Gestion et Conservation des Sols
IPG	Identification Pérenne Généralisée
MDMO	Mission Déchets Matières Organiques
MO	Matières Organiques
PRO	Produits Résiduaire Organiques
RGA	Recensement Général Agricole
SDEA	Syndicat Des Eaux et de l'Assainissement Alsace Moselle
SSOC	Stable Soil Organic Carbon (fraction stable de la matière organique du sol)
STEP	Station d'épuration
UCS	Unité Cartographique de Sol
UTS	Unité Topographique de Sol

Introduction

Les activités humaines engendrent des déchets qui peuvent poser des problèmes sanitaires. Pour y remédier, des systèmes d'assainissement ont été mis en place dès l'Antiquité. Pendant plusieurs siècles, de simples systèmes d'évacuation dans la nature permettaient le recyclage naturel des déchets. Avec l'arrivée de l'industrialisation et l'augmentation de la population mondiale, les déchets domestiques et industriels ont augmenté de façon considérable et ont changé en qualité. Leur rejet dans la nature s'est alors révélé impossible, dépassant la capacité d'épuration des milieux naturels et polluant ainsi l'environnement. Les collectivités et industriels ont alors mis en place des systèmes de traitement spécifiques et notamment des eaux usées, produisant divers types de sous-produits dont seules les boues d'épuration peuvent être recyclées par l'épandage agricole, directement ou après compostage (ADEME, 2003). Les boues peuvent également être éliminées par incinération.

Les boues présentent des caractéristiques agronomiques intéressantes permettant de substituer les engrais minéraux ou d'améliorer la fertilité du sol. Après traitement, elles contiennent toujours des éléments indésirables tels que des métaux lourds, composés organiques et micro-organismes pathogènes. Leur épandage doit être raisonné afin de ne pas excéder les besoins des cultures et éviter toute pollution de l'environnement. Une réglementation stricte fixe les contraintes pour mener à bien ces objectifs. Au sein de chaque préfecture, un organisme indépendant est chargé de valider les dossiers techniques réglementaires concernant l'épandage agricole des boues d'épuration et d'assurer une gestion concertée de la filière.

Aujourd'hui dans le Bas-Rhin, 42% des boues urbaines et industrielles sont épandues localement, directement ou après compostage. Afin de mieux appréhender les besoins des agriculteurs en matières organiques et d'augmenter la valorisation locale des boues, la Mission Déchets et Matières Organique tenant le rôle d'organisme indépendant dans le Bas-Rhin souhaite connaître les dynamiques de production et d'épandage des produits organiques disponibles sur le territoire. Un lien avec les teneurs en matières organiques des sols a permis d'identifier des zones où l'augmentation de l'épandage de produits organiques est prioritaire. Le mémoire présenté ici expose le contexte territorial, le cadre de l'étude, la démarche adoptée, les résultats obtenus et leur analyse, ainsi qu'une discussion apportant des éléments de réflexion pour une meilleure valorisation des boues en qualité et en quantité. L'étude a été conduite avec les données de l'année 2012, réactualisant les travaux réalisés en 2000, 2003 et 2006.

Contexte et cadre de l'étude

Le Bas-Rhin est un département alsacien encadré à l'Est par le Rhin, frontière franco-allemande, et à l'Ouest par les Vosges. Deux grands ensembles topographiques marquent le territoire et déterminent l'occupation de l'espace : la plaine, très peuplée, constitue le poumon économique du département, et le massif des Vosges, moins attractif économiquement, reste une zone touristique fréquentée. La population totale du département s'élève à 1 091 500 habitants, dont 451 240 personnes vivant dans la Communauté Urbaine de Strasbourg. La densité de population est de 227 habitants au km², soit le double de la moyenne française (Chambre d'Agriculture Région Alsace, 2012).

1.1. Le contexte agricole du Bas-Rhin

L'agriculture est très présente dans le Bas-Rhin, avec une SAU de 196 127 ha, soit 41% de la surface totale du département. Le climat en plaine est semi-continentale, avec des hivers très froids et des étés chauds et orageux alors que le climat vosgien est montagnueux (Chambre d'Agriculture Région Alsace, 2012). La température moyenne s'élève à 10°C en plaine et peut descendre jusqu'à 5°C en montagne (DREAL Alsace, 2014). Malgré une pluviométrie faible en plaine (700mm/an), les étés chauds et orageux, ainsi que la bonne réserve utile des sols permettent d'obtenir d'excellents rendements en maïs grain, culture la plus répandue occupant 36% de la SAU bas-rhinoise. La nappe phréatique rhénane, peu profonde et abondante, permet pour certaines exploitations d'irriguer à coûts réduits. Les exploitations étant de petite taille, elles sont orientées vers des productions à forte valeur ajoutée. **L'agriculture reste donc diversifiée avec de grandes surfaces céréalières et la présence emblématique des vignes et des cultures spécialisées** telles que le chou à choucroute ou le houblon. L'élevage occupe également une place importante avec 324 015 bovins, 52 236 ovins et 146 946 porcins (Agreste, 2012). Le territoire bas-rhinois se caractérise par la diversité de ses petites régions naturelles visibles sur la Figure 1, influençant l'assolement et les pratiques agricoles.

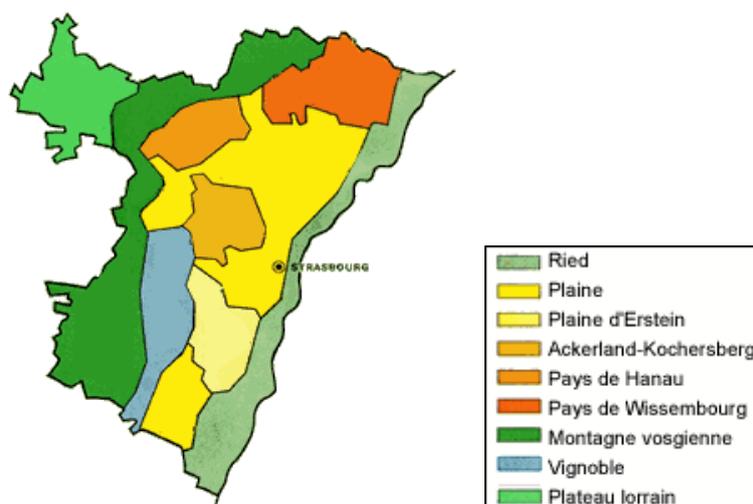


Figure 1 : Les régions naturelles d'Alsace (Veit, 2008)

- Les **Rieds**, zones anciennement inondées par le Rhin, sont aujourd'hui des terres très fertiles où les grandes cultures sont dominantes : la proximité de la nappe permet une mise en place facile de l'irrigation. On y trouve également des zones humides avec des prairies naturelles riches en biodiversité.
- **La plaine** est une zone très fertile grâce à des sols constitués de dépôts éoliens limoneux, appelés limons loessiques. On y trouve des exploitations en polycultures, cultivant essentiellement des céréales, plantes sarclées et quelques cultures spécialisées. L'élevage bovin est assez important.
- **La plaine d'Erstein**, également occupée par des limons loessiques, est particulièrement tournée vers les cultures spécialisées telles que le chou à choucroute, le tabac et les betteraves sucrières.
- **L'Ackerland-Kochersberg** est doté de sols loessiques parmi les plus fertiles d'Alsace. On y trouve une polyculture très variée avec des grandes cultures et des cultures spéciales. L'élevage hors sol y est très présent avec un cheptel bovin important et quelques élevages porcins et volailles.
- **Le pays de Hanau** se caractérise par la présence de vergers et prairies de pâture.
- **Le pays de Wissembourg** possède des terres fertiles sur lesquelles les cultures sont diversifiées et l'élevage très présent.
- **Les montagnes vosgiennes** sont constituées de sols pauvres et acides, essentiellement occupés par de la forêt.
- **Le vignoble** est densément peuplé et les sols calcaires sont favorables à la culture de la vigne. En plus des vignes, on y cultive des cultures annuelles et prairies.
- **Le plateau lorrain**, également appelé Alsace Bossue, est une région moins densément peuplé où l'élevage bovin extensif est très présent. Les sols sont très argileux.

(Veit, 2008) (DREAL Alsace, 2014)

L'abondance d'eau grâce à l'importance de la nappe phréatique, ainsi que la qualité et la diversité des sols sont sans aucun doute les principaux atouts du territoire. L'agriculture y est performante, avec des cultures à forte valeur ajoutée et de hauts rendements. L'intensification des pratiques engendre toutefois des problèmes de pollution de l'eau et de baisse de la qualité des sols. **L'amélioration des pratiques agricoles pour une meilleure protection des milieux constitue un des enjeux de l'agriculture bas-rhinoise.** Le transport et la commercialisation des productions agricoles sont facilitées par le réseau routier développé et l'important bassin de consommation, conséquence d'une forte densité de population. Néanmoins, ce même facteur génère une forte pression sur le foncier, avec une faible disponibilité des terres et des prix élevés. Le Bas-Rhin est un territoire à forte attractivité économique et aux ressources naturelles riches qu'il convient de préserver (Chambre Agriculture Région Alsace, 2012).

1.2. Cadre : La Mission Déchets Matières Organiques et la Chambre d'Agriculture Région Alsace

1.2.1. La Mission Déchets Matières Organiques

Dans le Bas-Rhin, l'organisme indépendant désigné par le préfet pour assurer la coordination de la filière d'épandage des boues est la MDMO¹ issue d'une convention entre le Conseil Général du Bas-Rhin et la Chambre d'Agriculture Région Alsace depuis 1999. Son principal rôle consiste à animer la filière d'épandage des boues, centraliser les informations sur les productions, l'épandage et la qualité des boues d'épuration et réaliser des bilans annuels sur les filières d'élimination des boues servant de documents d'informations aux différents acteurs de la filière. En plus de sa mission au titre d'Organisme Indépendant, la MDMO travaille sur d'autres thèmes comme la promotion de la valorisation agricole et locale des boues, la protection de la qualité des eaux et des sols, la gestion concertée des épandages sur le territoire et la participation à l'établissement de filières d'élimination des déchets générés en agriculture.

L'enjeu est particulièrement fort sur un territoire peuplé où les ressources sont importantes mais fragilisées par l'Homme.

Le budget de la MDMO s'élève à 245 799€ en 2012, dont 97,5% correspondent à des frais de personnel. L'organisme est financé à 43% par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 38% par le Conseil Général et 19% par la Chambre d'Agriculture. Le personnel en charge de mener à bien cette mission est composé de plusieurs ingénieurs à mi-temps du service « Eau, Assainissement, Déchets » du Conseil Général et de deux autres ingénieurs à temps partiel du service « Environnement et Innovation » de la Chambre d'Agriculture (Spano, 2012).

1.2.2. La Chambre d'Agriculture Région Alsace

La CARA² est l'organisme d'accueil au sein duquel le stage de fin d'études s'est déroulé, encadré par un des conseillers chargés de la mission déchets matières organiques au sein du service Environnement et Innovation. La CARA est issue d'une fusion entre les Chambres d'Agriculture du Bas-Rhin et du Haut-Rhin en juillet 2013. Forte de ses 233 salariés et de ses nombreuses antennes décentralisées, elle agit sur tout le territoire de l'Alsace. Elle fait partie du réseau public Chambres d'Agriculture créé en 1920 pour représenter l'agriculture sur un territoire donné, servir d'interlocuteur aux pouvoirs publics et collectivités territoriales, et être le porte-parole des agriculteurs. De cette mission est née un ensemble d'actions axées sur l'environnement, l'économie, la technique et le social. **Les Chambres d'Agriculture assurent le rôle d'interface entre les pouvoirs publics et les acteurs du monde agricole** (Chambres d'Agricultures, 2014). Le Service Environnement et Innovation s'occupe particulièrement des thématiques de protection des eaux et des milieux, accompagnement de projets de méthanisation, expérimentation et conseil en agriculture biologique, qualité des sols, etc.

¹ Mission Déchets Matières Organiques

² Chambre d'Agriculture Région Alsace

La Chambre d'Agriculture est constituée d'une Assemblée professionnelle constituée de 90 membres, au sein de laquelle toutes les professions du monde agricole sont représentées. Elle est constituée en majorité d'agriculteurs (76 chefs d'exploitations et salariés) et de groupements professionnels (22 membres). Un Bureau chargé de la gestion de la CARA, composé de 22 membres, est élu par l'Assemblée.

Pour mener à bien ses missions, le budget s'élève à 17 116 255 €, dont 63% de charges de personnel, 25% de charges de fonctionnement et 11% de subventions et cotisation. Ce budget est financé par l'imposition à 42%, ce qui reste inférieur à la moyenne nationale des Chambres d'agricultures. Les prestations représentent 28% des recettes, et les subventions et partenariats 29%.

1.3. Problématique

Aujourd'hui en Alsace, l'augmentation de la population et des exigences réglementaires, sociales et politiques en termes de qualité d'épuration de l'eau font accroître les quantités de boues produites (VEIT, 2008). Leur valorisation est plutôt conforme aux objectifs nationaux mais il reste encore une grande marge de manœuvre (DREAL Alsace, 2011). Une partie de la production de boues d'épuration est encore exportée en Lorraine pour être compostée, alternative coûteuse et peu respectueuse de l'environnement au vu des distances à parcourir. La MDMO encourage de plus en plus le recyclage local et agricole de ces boues d'épuration si leur qualité le permet. Parmi ces boues, on observe une quantité non négligeable de sous-produits agro-alimentaires, dont l'épandage agricole paraît alors évident.

En parallèle, les acteurs de la filière agricole bas-rhinoise ont noté une baisse de la teneur en matières organiques des sols sur certaines zones du territoire (DREAL Alsace, 2011). Dans ce contexte, la problématique de l'amélioration du recyclage des déchets organiques (boues d'épuration, déchets verts, biodéchets³) par l'épandage agricole est une voie à étudier pour contribuer au redressement des taux de MO⁴ dans les sols, à condition que les produits proposés aux agriculteurs présentent un intérêt agronomique adapté à leurs besoins. La problématique qui orientera ce mémoire est la suivante :

Existe-t-il des possibilités futures d'épandage agricole de boues d'épuration dans le Bas-Rhin ?

Dans un premier temps, un état des lieux de l'offre et de la demande en déchets organiques dans le département à l'échelle du canton permettra de déterminer les zones sur lesquelles ces déchets sont peu valorisés. Dans un deuxième temps, l'identification des besoins des agriculteurs et la caractérisation du milieu permettront d'évaluer les secteurs qui devraient profiter prioritairement d'actions visant à remonter les stocks de MO. Enfin, nous chercherons à savoir plus précisément s'il existe des possibilités de meilleure valorisation de la matière organique sur ces zones, notamment les boues d'épuration. Cette étude devra tenir compte des contraintes réglementaires, environnementales, des critères de qualité

³ C'est la partie biodégradable des déchets ménagers comme les déchets verts, les déchets alimentaires...

⁴ Matières organiques

souhaités par les acteurs de la filière, de l'intérêt économique et agronomique des produits ainsi que des autres produits organiques que l'exploitant agricole peut utiliser.

En résumé

Le Bas-Rhin est un territoire riche en ressources naturelles et diversifié, au sein duquel l'agriculture est performante et occupe une place importante dans l'économie locale. La forte densité de population et les grands axes routiers facilitent la commercialisation mais sont générateurs de pression foncière. Bien que les ressources en eau soient abondantes et que les sols soient fertiles, une bonne gestion de l'espace et l'adoption de pratiques respectueuses de l'environnement sont indispensables pour les préserver.

En parallèle, la densité de population conduit à des productions importantes de boues de stations d'épuration, dont l'épandage agricole est la filière d'élimination promue par les pouvoirs publics. La MDMO, issue d'une convention entre le Conseil Général du Bas-Rhin et la CARA joue le rôle d'Organisme Indépendant chargé de coordonner la filière.

Dans ce contexte, la MDMO souhaite promouvoir la valorisation agricole locale des boues de stations d'épuration en quantité et en qualité afin de répondre aux besoins des agriculteurs et aux contraintes environnementales. La problématique qui oriente ce mémoire est la suivante : Existe-t-il des possibilités futures d'épandage agricole de boues d'épuration dans le Bas-Rhin ?

Le stage de fin d'étude s'est déroulé au sein du Service Environnement et Innovation de la Chambre d'Agriculture, encadré par un des conseillers de la MDMO.

2. Les matières organiques dans le Bas-Rhin

Afin d'étudier l'offre et les débouchés de matières organiques en prenant en compte des contraintes réglementaires et l'organisation de la filière dans le Bas-Rhin, une recherche bibliographique a été menée. L'objectif est d'identifier les sources présentes sur le territoire, et pour chaque type de produit organique, étudier ses caractéristiques, la réglementation spécifique à l'épandage et les acteurs impliqués dans sa production et son élimination. Ensuite, nous ferons un rappel sur le rôle et le comportement des matières organiques dans les sols.

2.1. L'épandage des Produits Résiduaires Organiques

2.1.1. Définition

Le mot PRO⁵ n'a pas de définition précise mais est utilisé pour désigner l'ensemble des déchets et sous-produits d'activités humaines destinés à être épandus. Sont donc inclus dans cet ensemble les boues de stations d'épuration, les sous-produits industriels, les effluents d'élevage, les digestats de méthanisation et les composts de déchets verts, d'ordures ménagères ou de boues, qu'ils soient normalisés ou sous statut de déchet (Bodet, 2013). Afin de rendre la lecture plus aisée, seule l'expression PRO sera employée pour cette étude.

2.1.2. L'intérêt du recyclage agricole des PRO

Le recyclage des PRO présente des intérêts économiques et agronomiques pour tous les acteurs de la filière dans la mesure où leur qualité et l'aptitude des sols à l'épandage sont vérifiées.

L'utilisation de pétrole étant indispensable à la fabrication des fertilisants de synthèse, **l'apport de PRO en substitution d'une partie des engrais minéraux contribue à la préservation de l'environnement et présente un intérêt économique** pour l'agriculteur. En effet, les PRO sont généralement moins coûteux pour les agriculteurs, voire gratuits lorsqu'ils ont le statut de déchets. Pour les producteurs de boues plus spécifiquement, l'épandage est une voie d'élimination moins onéreuse que l'incinération.

Les PRO contiennent des éléments fertilisants majeurs et secondaires, des oligoéléments et des matières organiques plus ou moins stables. Lorsque le rapport C/N est faible, ils se comportent dans le sol comme des engrais, c'est-à-dire que les éléments fertilisants sont minéralisés rapidement et deviennent assimilables par les plantes. Lorsque le rapport C/N est élevé, la matière organique stable est dégradée lentement et joue un rôle d'amendement organique en participant à la formation du complexe organo-minéral. La structure en est améliorée et le sol résiste mieux à des perturbations extérieures telles que les

⁵ Produit Résiduaire Organique

passages d'engins ou les aléas climatiques. Les PRO sont parfois chaulés et jouent alors un rôle d'amendement calcique, en augmentant le pH et en améliorant la circulation des fluides (Veit, 2013). **La composition des PRO diffère selon leur origine et les traitements qui leurs sont appliqués.**

Enfin, la valorisation agricole des PRO permet d'utiliser le pouvoir épurateur des sols puisque le milieu est hostile aux pathogènes qu'ils contiennent. Cette pratique met en lumière la multifonctionnalité de l'agriculture qui rend service à la société en valorisant des déchets d'activités humaines.

2.1.3. La réglementation pour l'épandage des PRO

L'épandage d'engrais organiques ou minéraux peut nuire à l'environnement lorsque les quantités sont excessives et ne prennent pas en compte les contraintes du milieu et des cultures. La réglementation commune à l'épandage de tout type d'engrais est la directive nitrate, obligatoire sur la zone vulnérable située au niveau de la plaine du Bas-Rhin et recommandée dans le reste du département (Veit, 2008). C'est une directive européenne transcrite en droit français dans le code de l'environnement, dont la mise en application par arrêté ministériel la plus récente date du 21 décembre 2011. En 2012, le 4^{ème} programme d'action était en application par le biais d'un arrêté départemental. Son objectif est de diminuer la pollution des eaux superficielles et souterraines par le rejet de nitrates issus de l'activité agricole et se traduit par un ensemble de règles de bonnes pratiques agricoles. Elle impose la prévision et l'enregistrement de la fertilisation azotée pour chaque ilot cultural ainsi que le respect de l'équilibre apport/export azoté. Elle définit des périodes d'interdiction de l'épandage selon la culture suivante et le rapport C/N de l'engrais, auxquelles s'ajoutent les périodes de gel, d'inondation, de fortes pluies et de neige. Des distances minimales par rapport aux captages d'eau, aux puits, aux forages et aux aqueducs sont également à respecter.

En ce qui concerne les PRO spécifiquement, la directive nitrate impose une limite de 170kg d'azote organique par ha de surface épandable. Le règlement sanitaire du département de janvier 2001 interdit l'épandage d'engrais organiques à proximité d'habitations ou de zones de fréquentation du public (Préfecture du Bas-Rhin, 2001). De plus, il précise que la capacité d'absorption du sol ne doit pas être dépassée. La liste des textes réglementaire est disponible en Annexe 1.

En plus de ces textes, chaque PRO est soumis à une réglementation spécifique qui sera détaillée dans la partie suivante.

2.2. Les types de PRO dans le Bas-Rhin

2.2.1. Les boues d'épuration des eaux usées

Dans un premier temps, les éléments polluants des eaux usées tels que les éléments volumineux, les graisses et les sables sont isolés grâce au prétraitement des stations. Dans un deuxième temps, l'activité biologique des micro-organismes cultivés dans les stations d'épuration permet de séparer et d'épurer les

matières en suspensions et pollutions contenues dans les eaux. On obtient d'un côté les eaux propres prêtes à être rejetées et d'un autre côté des boues riches en matières organiques et sels minéraux qu'il est possible de recycler en agriculture (Dictionnaire de l'environnement, 2014). Il existe plusieurs types de boues résultant de différents traitements, avec des propriétés fertilisantes propres à chacune :

- Les boues liquides : propriétés semblables à celles des lisiers et servent d'engrais pour les plantes.
- Les boues pâteuses : les teneurs en eau sont réduites afin de faciliter le stockage.
- Les boues chaulées : elles sont issues d'un processus de stabilisation chimique par l'ajout de chaux permettant d'élever le pH à 12 et d'atténuer les nuisances olfactives. Elles intéressent les agriculteurs ayant des sols à pH légèrement en dessous de 7, l'épandage des boues sur sols très acides étant interdit.
- Les boues compostées : le compostage est un traitement de stabilisation aérobie qui permet une hygiénisation facilitant le stockage et l'épandage. C'est un produit stable qui participe à l'amélioration de la structure des sols. Ses caractéristiques sont décrites plus précisément dans la partie « 2.2.3. Composts ».
- Les boues séchées : adaptées pour l'incinération mais peu rentables à petite échelle.

Les choix de ces post-traitements sont faits en fonction des débouchés d'élimination et de valorisation des boues (ADEME, 2014).

Dans le Bas-Rhin, il existe une centaine de stations d'épuration urbaines et quatorze industriels produisant des boues et sous-produits issus de leurs activités. La gestion des stations d'épuration urbaines est assurée par le SDEA⁶ pour la majorité des collectivités, le reste des STEP⁷ étant gérées en régies communales ou par la Lyonnaise des eaux. Les épandages sont assurés par les gestionnaires des STEP ou par des prestataires privés tels que SEDE Environnement, Terralys ou Agrivalor.

Les boues sont considérées comme des déchets rendant les gestionnaires des épandages responsables de leur destination et de leur utilisation (Commission Européenne, 2000). L'unique responsabilité des agriculteurs est de pouvoir justifier par un accord écrit leur consentement quant à l'épandage des boues sur leurs parcelles, conditionnant le montant des aides PAC (Ministre de l'aménagement, du territoire et de l'aménagement, 1998). La réglementation sur l'épandage des boues a été initiée par la Directive 86/278/CEE du 12 juin 1986, transposée en droit français dans le code de l'environnement et mise en application par le décret du 8 décembre 1997 et l'arrêté du 8 janvier 1998. Ces textes imposent l'établissement d'une étude préalable **prouvant l'intérêt agronomique de l'épandage des boues et l'absence d'impacts négatifs sur l'environnement**. L'aptitude des sols à l'épandage doit donc être prouvée. Le producteur de boue doit également fournir un plan prévisionnel d'épandage précisant les doses à apporter, la localisation des parcelles et leurs surfaces ainsi que les périodes d'épandage. Un bilan

⁶ Syndicat Des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle

⁷ Station d'Épuration

annuel est également établi afin de rendre compte du respect du plan prévisionnel et des modifications apportées. S'ajoute à cela l'analyse des boues et des sols recevant les boues afin de vérifier les teneurs en ETM⁸, CTO⁹ et éléments pathogènes qui doivent être en dessous des seuils réglementaires (Ministre de l'aménagement du territoire, 1998). La loi française prévoit un fonds de garantie permettant d'indemniser les agriculteurs en cas de problèmes environnementaux liés à l'épandage de boues sur leurs parcelles (Légifrance, 2006). La liste de l'ensemble des textes réglementaires est disponible en Annexe 1.

Dans une logique de traçabilité, il est interdit d'épandre des boues de différentes stations d'épuration sur la même parcelle. Le Bas-Rhin présente une particularité liée à sa politique de valorisation des boues qui consiste à privilégier l'épandage local au plus proche de leur lieu de production. Ces deux principes conduisent à la délimitation de périmètres d'épandage pour chaque station (Conseil Général du Bas-Rhin, 2008).

Le 10^{ème} programme de l'Agence de l'eau prévoit une prime à l'assainissement lorsque les stations vont au-delà de la réglementation en termes de qualité des boues produites, de valorisation agricole et d'impact sur l'environnement (Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2013). De plus, depuis que la pratique de l'épandage des boues existe, les seuls problèmes survenus concernent des épandages non conformes à la réglementation (ADEME, 2014). Malgré cela, **des controverses persistent quant à leur innocuité à long terme.** Certaines filières telles que le chou à choucroute, le tabac ou le houblon indiquent dans leur cahier des charges l'interdiction d'épandre des boues issues du traitement des eaux usées. De même, les boues ne figurent pas dans la liste positive des fertilisants autorisés en agriculture biologique.

2.2.2. Les effluents d'élevage

Les effluents d'élevage comprennent l'ensemble des déchets produits par l'activité d'élevage autorisés à être valorisés par l'épandage. Ils comprennent les déjections animales, les eaux de nettoyage, les eaux de ruissellement des surfaces occupées par les animaux et le jus d'ensilage. **Les déjections animales ont des propriétés qui diffèrent selon le type d'animal, l'intensité de l'élevage et le mode de traitement des déjections.** Les effluents d'élevage ont le statut de déchets et leur gestion est encadrée par des arrêtés ICPE¹⁰ qui fixent en plus des contraintes d'épandage liées à la directive nitrate, les conditions de récolte, de stockage et d'épandage spécifique aux effluents. D'une manière générale, ce type de PRO est épandu sur l'exploitation génératrice. (Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2012).

2.2.3. Les composts de déchets verts et d'ordures ménagères

Le compost est un procédé de stabilisation de la matière organique qui permet d'obtenir un produit composé essentiellement de matières organiques stables destinées à être humifiées, exemptes d'éléments pathogènes. Il est possible de composter toute sorte de déchets organiques, tels que les digestats de

⁸ Eléments Traces Métalliques

⁹ Composés Traces Organiques

¹⁰ Installations Classées Pour l'Environnement

méthanisation, les boues de stations d'épuration, les déchets verts, les ordures ménagères, etc. Dans le Bas-Rhin, on trouve quatre plateformes de compostage utilisant uniquement des déchets verts, deux plateformes recyclant des déchets verts et boues d'épurations, et une plateforme de compostage d'ordures ménagères et de déchets verts.

Les avantages du compostage sont multiples : le procédé implique une désodorisation et une hygiénisation du produit et cette stabilisation apporte une souplesse au niveau du calendrier d'épandage. En contrepartie, les ETM et CTO restent présents et la libération de l'azote est nettement plus lente que pour les déchets bruts. **Les composts sont utilisés comme un amendement pour le sol, et non comme engrais pour les plantes.**

Les composts issus de matières premières telles que les boues de stations d'épuration sont dans l'obligation d'être normés NFU 44-095 pour pouvoir être vendus (Ministre de l'agriculture, 2004). Dans le cas contraire, ils subissent la même réglementation que les boues brutes. **La normalisation permet de diversifier les débouchés et de pouvoir s'affranchir des plans d'épandage avec prévisionnel et bilan.** Les producteurs de composts sont alors dans l'obligation d'obtenir des résultats en termes de qualité du produit fini, c'est-à-dire que le compost doit comporter des qualités agronomiques définies telles que les teneurs en azote, phosphore et autres éléments fertilisants. Il doit également présenter une innocuité sanitaire et donc respecter des valeurs en ETM et CTO inférieurs aux seuils imposés par la réglementation des boues. Comme tout produit commercialisé, une traçabilité ascendante et descendante doit être établie. **Dans le cas où le compost n'est pas conforme à la norme, il garde le statut de déchet et est soumis au même règlement que les boues.** Dans le Bassin Rhin-Meuse, les plateformes de compostage qui norment leurs produits et établissent une traçabilité jusqu'à la parcelle font bénéficier au producteur de boue d'une prime attribuée par l'Agence de l'Eau.

Les composts issus de déchets verts ou d'ordures ménagères doivent être normés NFU 44-051 pour pouvoir être vendus.

2.2.4. Les digestats de méthanisation

La méthanisation est un procédé de fermentation anaérobie de matières organiques dont l'objectif est de valoriser du biogaz en énergie, que ce soit sous forme de gaz purifié ou de cogénération de chaleur et d'électricité. Les matières organiques les plus utilisées pour alimenter le méthaniseur sont les effluents d'élevage, les résidus de culture, les biodéchets¹¹ et les boues d'épuration. De cette activité reste un produit appelé digestat dont la valorisation agricole, directe ou après compostage est intéressante (ADEME, 2014). Sa qualité est fortement dépendante des produits en entrée du digesteur mais d'une manière générale, **le digestat a des propriétés semblables à celles du lisier avec un C/N inférieur à 8 et un aspect liquide.** Cependant, il contient une plus grande part d'azote sous forme ammoniacale et est

¹¹ La définition de biodéchet est « tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires » (Article R541-8 du code de l'environnement)

partiellement stabilisé (Gintz, 2013). Dans un contexte où la production d'énergie renouvelable par la méthanisation est fortement encouragée par le Schéma régional Climat - Air - Energie Alsace (SRCAE) et les nouveaux tarifs de rachats du biogaz, **l'installation d'unités de méthanisation dans le Bas-Rhin est en plein essor** (Wolff et Muller, 2013). En 2012, année de référence de l'étude, seulement deux méthaniseurs étaient en place, produisant chacun 250kW. Les quantités de digestats produites en 2012 étant négligeables en comparaison des autres PRO, nous ne les prendrons pas en compte dans cette étude.

Il existe une grande diversité de PRO dont les intérêts agronomiques diffèrent selon leur origine, leur gestion et leur traitement. Certains auront un effet amendant pour le sol, et d'autres un effet plutôt fertilisant pour la plante. Cependant, le comportement des PRO une fois épandus dépend également des conditions pédoclimatiques et des pratiques culturales. Afin de mieux appréhender l'intérêt agronomique des PRO, il est préférable de connaître les dynamiques de transformation des matières organiques dans les sols.

2.3. Les matières organiques dans les sols

Les matières organiques des sols sont l'« ensemble des constituants morts ou vivants d'origine animale, végétale ou microbienne, transformés ou non qui s'accumulent dans le sol et y subissent des transformations physiques, chimiques et surtout biologiques » (Citeau et al, 2008, *in* Duparque et al, 2011). **Les matières organiques apportées au sol subissent un processus d'intégration dans les sols appelé l'humification.** Selon leur composition chimique et leur degré de dégradation, on distingue alors quatre grandes fractions de matières organiques dans les sols : les matières organiques vivantes, fraîches, transitoires et stables. Lorsque les conditions ne sont pas favorables à l'humification et la minéralisation, on assiste à une accumulation de matières organiques inertes, aussi appelées tourbières, qui ne participent pas à la fertilité du sol. La Figure 2 présente les différentes catégories de matières organiques dans les sols et les processus de transformation qu'elles subissent.

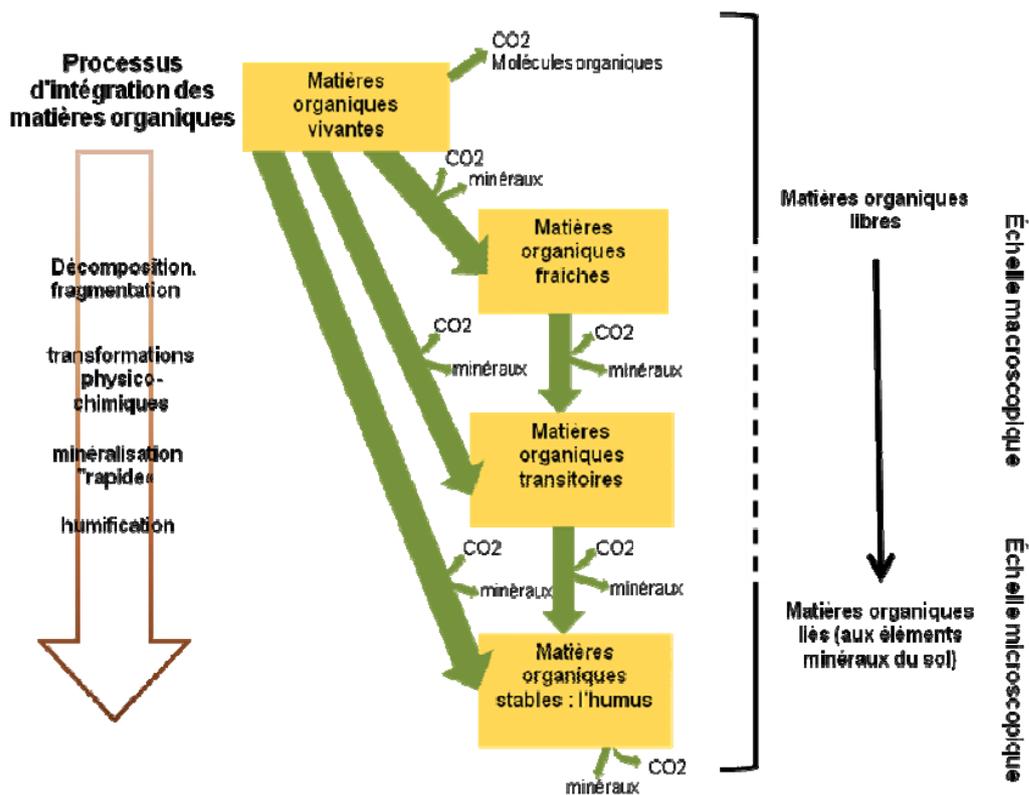


Figure 2 : "Schéma des différentes catégories de matières organiques des sols" (Duparque et al, 2011)

Les matières organiques vivantes agissent donc sur la décomposition des matières organiques fraîches en MO transitoires, puis en MO stables. Les MO vivantes, à leur mort, deviennent elles-mêmes des MO fraîches. Les organismes vivants sont donc au cœur de la fertilité du sol. A chaque étape de décomposition, on assiste à un rejet de CO₂ et de minéraux, appelé « minéralisation primaire ».

2.3.1. Les matières organiques vivantes

Les matières organiques vivantes comprennent la biomasse végétale et animale qui par leur métabolisme consomment des nutriments et de l'oxygène. Ces activités impliquent l'excrétion de substrats organiques et minéraux qui font partie intégrante du réseau trophique de l'écosystème sol. Les MO vivantes participent à court terme à la stabilité structurale du sol, notamment grâce aux racines et mycellium des champignons qui assurent une cohésion entre les mottes de terre. Les macro-organismes jouent également le rôle particulier de mélange des autres fractions de MO dans les différents compartiments des sols tout en créant de la porosité. Ce rôle est surtout tenu par les vers de terres dont les différentes espèces peuvent se déplacer horizontalement en surface (vers de terres épigés), en profondeur (endogés), ou verticalement (anéciques). Les micro-organismes quant à eux ont un rôle prépondérant dans la transformation des autres fractions de MO. **Les matières organiques vivantes sont donc à la fois une composante des matières organiques du sol, mais également acteurs de l'évolution des autres fractions** (FRCA Picardie et al, 2008 in Duparque et al, 2011).

2.3.2. Les matières organiques fraîches (carbone actif)

Les matières organiques fraîches sont issues d'organismes végétaux et animaux morts récemment, pas encore ou peu décomposés. Cette fraction comprend également les déjections des matières organiques vivantes, comme les exsudats racinaires ou les matières fécales de la faune, substances dont les teneurs en carbone sont élevées. Cette fraction est généralement concentrée à la surface du sol et forme la litière. Cependant, on peut aussi retrouver ce type de MO plus en profondeur avec les racines mortes des végétaux ou sur les sols où le labour a mélangé l'horizon supérieur. **Elles constituent une source trophique pour les organismes vivants en leur fournissant de l'énergie et des minéraux**, participant ainsi à la fertilité biologique. Elles améliorent également la fertilité chimique du sol car lors de leur dégradation des minéraux sont rejetés, devenant biodisponibles pour les plantes. Leur composition dépend principalement de leur origine (Duparque et al, 2011).

2.3.3. Les matières organiques transitoires (carbone particulaire)

Les MO transitoires sont issues des MO fraîches qui ont été partiellement décomposées par les micro-organismes. Les MO fraîches et transitoires sont qualifiées de labiles ou libres car elles ne sont pas encore fixées sur les particules fines du sol, et ne sont donc pas protégées. Suivant la composition initiale des MO, la part minéralisée et la part humifiée varient. Les matières organiques compostées ou riches en lignine vont être majoritairement humifiées et participeront ainsi à la formation d'humus lié aux particules fines du sol, augmentant le stock de carbone dans le sol à long terme. Les matières organiques composées de molécules plus labiles seront principalement minéralisées et auront un effet à court ou moyen terme sur la fertilité chimique et biologique du sol (Vian, 2013). **Les MO transitoires participent de la même manière que les MO fraîches à la fertilité biologique et chimique du sol, mais également à la fertilité physique car suivant leur état de décomposition, leurs caractéristiques se rapprochent de l'humus.**

2.3.4. Les matières organiques stables

Les MO stables sont aussi appelées humus et constituent la fraction la plus évoluée qui se lie aux particules fines du sol pour former le complexe organo-minéral, c'est pourquoi elles sont nommées MO liées, par contradiction avec les MO fraîches et transitoires (Duparque et al, 2011). Ce processus permet la protection mutuelle de l'argile et de l'humus. **Sans association, l'argile se délite sous l'action des perturbations extérieures, alors que les agrégats sont nettement plus stables lorsqu'ils contiennent des taux de matières organiques satisfaisants.** Ainsi, le sol a une meilleure résistance aux passages d'engins répétitifs, à l'action du vent ou de la pluie. Les risques de tassement, battance, érosion et autres problèmes agronomiques liés à la structure du sol sont alors fortement réduits. Inversement, l'argile protège l'humus de la minéralisation par les micro-organismes (Huber et Schaub, 2011). Le complexe organo-minéral agit sur d'autres propriétés du sol. Grâce à ses charges négatives il adsorbe des cations, évitant leur lessivage et permettant une restitution aux plantes (Salducci, 2014). Le complexe participe à la formation de micro et macro-agrégats, essentiels à la génération de macro et microporosité. La macroporosité favorise l'infiltration de l'eau et de l'air et la microporosité permet une bonne rétention de

l'eau. La présence de ces deux types de porosité permet d'obtenir un équilibre des flux d'eau et d'air (Duparque et al, 2011).

Bien que l'humus soit protégé de l'action de dégradation des micro-organismes du sol, il subit tout de même une minéralisation très lente de l'ordre de 15 à 50 ans appelée « minéralisation secondaire ». Une partie des éléments minéraux générés par cette minéralisation sont absorbés par les plantes, l'autre partie étant perdue par lixiviation et/ou érosion. (Soltner, 2003 *in* Huber et Schaub, 2011).

2.3.5. L'influence des pratiques agricoles et du complexe pédoclimatique sur les MO des sols

Les cinétiques de minéralisation, qu'elles soient primaires ou secondaires, dépendent d'un ensemble de caractéristiques intimement liées au contexte pédo-climatique et aux pratiques agricoles (Barbot, 2013). En effet, les matières organiques se lient principalement aux argiles et aux limons fins, la formation de complexe est très limitée dans les sols sableux et la minéralisation secondaire y est quasi inexistante au-delà de l'année en cours. Le calcaire est un facteur de ralentissement de la dégradation de l'humus car il joue un rôle de protection supplémentaire par rapport aux argiles et limons fins. Concernant les pratiques agricoles, le travail du sol est le facteur le plus influant sur la vitesse de minéralisation. En retournant le sol et en créant une forte macro-porosité, il expose les matières organiques à l'oxygène, accélérant leur dégradation. Comme il a été expliqué précédemment, la nature des matières organiques apportées au sol joue un rôle déterminant dans la part qui sera minéralisée et celle qui sera humifiée. Enfin, la chaleur et l'humidité sont des catalyseurs des processus de minéralisation (Soltner, 2003 *in* Huber et Schaub, 2011).

Chaque année, la récolte des grains ou de la plante entière cultivée constitue un export de matières organiques. S'ajoute à cela la consommation des matières organiques par la minéralisation de l'humus du sol et des matières organiques fraîches, plus ou moins lente selon les pratiques et le contexte pédoclimatique. **Ces sorties doivent impérativement être compensées par des apports de matières organiques afin de conserver des taux satisfaisants dans les sols, permettant d'assurer une bonne fertilité physique, biologique et chimique nécessaire pour une agriculture performante et durable.**

En résumé

Une réglementation commune à tous les PRO a été mise en place pour encadrer leur épandage afin de préserver la qualité des eaux et des sols. Certains PRO tels que les boues sont soumis à une réglementation supplémentaire. Il est important de prendre en compte cet aspect puisque la réglementation induit une limite des surfaces et des périodes d'épandage.

Les PRO présentent un intérêt agronomique puisqu'ils peuvent apporter de la matière organique au sol pour améliorer sa fertilité et sont chargés en éléments fertilisants pour la plante. Il existe une grande diversité de PRO suivant leur origine, leur gestion et leur traitement, ce qui leur confère des caractéristiques différentes. Leurs effets sur le sol et les plantes sont donc très variés et il convient d'adapter les produits en fonction des besoins pour une performance agronomique et environnementale.

La matière organique est un constituant indispensable au bon fonctionnement du sol. Chaque année, une partie des matières organiques sont exportées par la récolte ou minéralisées par l'action des micro-organismes. Il est alors indispensable de restituer des matières organiques au sol afin de conserver des teneurs permettant une bonne fertilité du sol, et l'épandage des PRO est une solution possible. Selon les types de sols, les matières organiques contenues dans les PRO se comportent différemment. Un sol argileux ou limoneux aura une meilleure capacité à valoriser les matières organiques stables que les sols sableux. Les pratiques culturales et le climat ont également une influence sur la dynamique des matières organiques. Une bonne connaissance des sols et du comportement des matières organiques s'avère donc indispensable afin d'étudier de nouvelles possibilités d'épandage.

3. Méthode

3.1. Identification de l'offre et des débouchés des PRO

Afin d'identifier l'offre en PRO, nous estimerons dans un premier temps l'évolution de la production totale dans le département grâce aux données fournies par les précédentes études en 2000, 2003, et 2006. Dans un deuxième temps, nous cherchons à obtenir les quantités produites par canton en 2012. Nous calculerons ensuite la pression d'épandage par canton afin d'identifier les zones ayant déjà une forte pression d'épandage, pour lesquelles il sera difficile d'accepter des boues supplémentaires. Les cantons dont la pression d'épandage est plus faible présentent donc a priori un plus fort potentiel d'accueil de PRO. Les calculs seront conduits de la même manière, que ce soit pour évaluer l'évolution de la production totale depuis l'année 2000 ou pour identifier la variabilité inter-cantonale en 2012.

3.1.1. L'échelle

Afin de mener à bien l'identification géographique de l'offre et des débouchés de matières organiques, la détermination d'une échelle adéquate se révèle indispensable. L'échelle de la commune s'avère trop précise car un grand nombre d'exploitations sont réparties sur plusieurs communes et compliquent l'analyse. De plus, certaines données, notamment celles issues du recensement général agricole, présentent de nombreux secrets statistiques au niveau communal. **L'échelle retenue est donc le canton qui tout en restant suffisamment précis, permet de mettre en évidence la variabilité des situations au sein du département.** Afin de faciliter l'étude, nous avons regroupé les cantons de Bischheim, Mundolsheim, Illkirch et Schiltigheim avec le canton de Strasbourg car ceux-ci font partie de l'agglomération et constituent une zone peu agricole.

3.1.2. La production de déchets

L'objectif est d'étudier de nouvelles possibilités d'épandage des boues d'épurations industrielles et urbaines actuellement destinées à d'autres filières d'élimination. Cependant, **les autres types de déchets produits localement influencent fortement la décision des agriculteurs quant à l'utilisation de ces boues.** En effet, les éleveurs priorisent l'épandage des effluents produits sur la ferme. Seront donc pris en compte les déchets organiques suivants :

- Les boues d'épuration urbaines et industrielles épandues localement
- Les effluents d'élevage de bovins, ovins, caprins, volailles et porcins
- Les composts de déchets verts et d'ordures ménagères.

On notera que les composts de déchets verts et d'ordures ménagères sont généralement normalisés. Ils ont tout de même été pris en compte car les plateformes de compostage du département privilégient la distribution locale de leurs produits, parfois même mis à disposition gratuitement¹². En ce qui concerne les autres produits commercialisés en tant qu'amendements et fertilisants organiques, ils sont la plupart du

¹² Information obtenue par enquête auprès des plateformes de compostage.

temps produits hors du département et revendus par des fournisseurs locaux, c'est pourquoi leur utilisation ne sera pas étudiée.

Afin de pouvoir additionner les quantités de PRO produits, **le choix a été fait de les représenter en fonction de l'azote, du phosphore et de la matière organique**. Dans le corps du mémoire, seuls les résultats concernant le gisement de PRO en fonction de l'azote seront exposés. Le fait d'exprimer la quantité de PRO en fonction de l'azote suffit pour additionner et comparer les quantités de PRO. Exprimer les résultats en fonction du phosphore et de la matière organique permet d'avoir une autre approche mais pas de conclure quant aux nouvelles possibilités d'épandage. Les résultats et commentaires de la production de phosphore et matières organiques seront donc présentés en annexe.

Pour mener à bien ces calculs, il est nécessaire de connaître ou de faire des hypothèses quant aux quantités de déchets produits, la composition des déchets et les caractéristiques des parcelles épandues telles que la surface ou la localisation. Les données disponibles et hypothèses sont les suivantes.

a) Les boues urbaines et industrielles

Les bilans de productions et des analyses de boues d'auto-surveillance réglementaire de chaque STEP en 2012 ont permis de calculer les quantités d'azote, de phosphore et de matières organiques produites par station.

b) Les effluents d'élevage

Le détail des données utilisées pour calculer la production d'azote et de phosphore sont disponibles en Annexe 2.

Concernant les calculs sur l'azote et le phosphore produits, les données utilisées sont les suivantes :

- les données IPG¹³, les bases de données du service élevage et du RGA¹⁴ 2010 nous renseignent sur les effectifs de chaque type d'animal par commune ou par canton.
- Les données CORPEN¹⁵ définissent les sécrétions d'azote et de phosphore pour chaque type d'animal pour une espèce donnée. Pour les bovins laitiers, le temps passé à l'extérieur du bâtiment et le niveau de production ont été pris en compte. Pour cela, une typologie par canton, disponible en Annexe 3, a été établie à partir des données du contrôle laitier.

On obtient donc grâce aux effectifs les quantités d'azote et de phosphore produits par type d'animal. On notera qu'une partie des déjections des animaux à la pâture n'est pas maîtrisable. Ce qui nous intéresse dans cette étude est le fait que les PRO retournent au sol, c'est pourquoi on considère que la totalité des

¹³ Identification Pérenne Généralisée

¹⁴ Recensement Général Agricole

¹⁵ Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'ENvironnement

effluents d'élevage est « épandue », que ce soit de manière directe par la pâture ou par l'intermédiaire de l'épandage maîtrisé.

Pour le calcul de la matière organique produite, les fumiers étant enrichis en paille, les teneurs en matières organiques sont supérieures à celles du lisier. Une typologie des systèmes de gestion des effluents d'élevage a été établie grâce à des enquêtes auprès des conseillers des antennes décentralisées de la CARA. Le détail de cette typologie et les données utilisées pour calculer la production en matière organique sont disponibles en Annexe 4 et Annexe 5 .

c) Les composts de déchets verts et d'ordures ménagères

Des enquêtes auprès des plateformes de compostage ont permis d'obtenir les quantités produites et les analyses des produits.

3.1.3. L'épandage des déchets

a) Surfaces mobilisées pour l'épandage

Seuls les plans d'épandage des boues d'épuration urbaines et industrielles ont été mis à notre disposition, nous renseignant sur les doses et surfaces d'épandage, ainsi que la localisation des parcelles. Il a donc été nécessaire d'établir des hypothèses permettant d'estimer les surfaces épandues pour les effluents d'élevage, les composts de déchets verts et les composts d'ordures ménagères.

L'ensemble de la plaine du département est soumis à la directive nitrate, ce qui signifie que **les apports d'azote organiques ne doivent pas dépasser en moyenne 170 kg sur la surface épandable d'un ilot** et l'équilibre apport/besoin en azote doit être respecté.

Afin d'estimer les surfaces ayant reçu des effluents d'élevage, nous faisons l'hypothèse que la pression d'épandage sur une parcelle correspond à la pression maximale autorisée, à savoir 170kg d'azote par ha. Cela nous permet d'estimer les surfaces épandues pour chaque type de déchet à partir des quantités produites. Le paramètre « équilibre des apports et besoins en azote » ne peut pas être pris en compte directement car il est impossible de considérer les types de cultures et objectifs de rendements à une telle échelle. Cependant, le facteur limitant est généralement le seuil des 170kg/ha (Veit, 2008).

b) Localisation des épandages

Les données et hypothèses concernant la localisation des parcelles épandues sont les suivantes :

- Boues urbaines et industrielles : la traçabilité des épandages jusqu'à la parcelle agricole a permis de localiser précisément les épandages.
- Les effluents d'élevage : on considère que la totalité des effluents produits est épandue sur le même canton.

- Les composts de déchets verts et d'ordures ménagères : enquête auprès des plateformes de compostages.

c) La surface épandable par canton

On cherche à comparer les surfaces actuellement mobilisées pour l'épandage agricole avec la surface potentiellement disponible pour recevoir des matières organiques, à savoir la surface épandable, afin d'évaluer la pression d'épandage au sein de chaque canton.

Une terre agricole épandable est une surface qui ne présente pas de contre-indication à l'épandage d'engrais minéraux ou organiques (Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011). Les premières restrictions à l'épandage sont dues à l'application de la directive nitrate avec des distances minimales à respecter par rapport aux captages d'eau, aux puits, aux forages et aux aqueducs (Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011). L'épandage des déchets organiques connaît des restrictions supplémentaires : les terrains doivent être éloignés des habitations afin d'éviter toute nuisance olfactive (Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Bas-Rhin, 2001). En plus de ces contraintes spatiales, les périodes d'interdiction d'épandage peuvent limiter les surfaces épandables lorsqu'il n'y a pas d'adéquation entre les périodes autorisées et les besoins des cultures.

En ce qui concerne les boues d'épuration spécifiquement, les sols ne doivent pas contenir des valeurs en ETM et CTO supérieures aux seuils réglementaires (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1998) et leur capacité d'épuration doit être vérifiée. Enfin, certaines filières à forte valeur ajoutée et sous cahier des charges telles que le chou à choucroute, le tabac et le houblon interdisent leur épandage (Veit, 2008).

Cependant, il n'existe pas de base de données référençant les zones à restriction et les délais impartis ne permettent pas l'identification précise des surfaces épandables. Deux hypothèses ont donc été choisies afin d'encadrer la situation réelle :

- Hypothèse haute : comparaison avec la SAU cantonale qui comprend la totalité des surfaces utilisées en agriculture, ce qui correspond à une surestimation de la surface épandable.
- Hypothèse basse : comparaison avec la surface labourée qui englobe les cultures de maïs, oléagineux, céréales, protéagineux, cultures spécialisées, excluant les prairies permanentes et les vignes (Insee, 2014). Cela correspond à l'hypothèse basse car elle sous-estime les surfaces épandables. En effet, des boues peuvent être épandues sur des prairies et les déjections non maîtrisables issues du pâturage ne sont pas prises en compte.

A défaut d'avoir les informations concernant l'aptitude des sols à recevoir des engrais organiques, ce paramètre sera négligé.

Les résultats de la répartition de la production et de l'épandage des PRO au sein du département permettent d'étudier la dynamique de la filière et d'identifier des zones avec un potentiel d'épandage de PRO supplémentaire. Afin de compléter l'analyse et de déterminer les secteurs sur lesquels il serait le plus intéressant d'augmenter la valorisation agricole des PRO ou de modifier leur qualité, nous avons cherché à caractériser des taux de matières organiques dans les sols. Cette approche vise à étudier les secteurs où les taux de matières organiques dans les sols sont considérés comme faibles d'un point de vue agronomique. Elle oriente donc l'étude vers l'épandage de PRO stables avec des rapports C/N élevés qui participent à la formation de l'humus dans les sols.

3.2. Caractérisation des teneurs en matières organiques dans les sols

3.2.1. Le choix de la méthode et son concept

Afin de déterminer les besoins en MO, nous avons souhaité identifier les sols dont les teneurs en matières organiques sont trop faibles et ne permettent pas au sol d'assurer ses principales fonctions, à savoir de lui conférer une bonne structure, tenir le rôle de réservoir d'éléments disponibles pour la plante et représenter une source trophique pour les micro-organismes du sol (Duparque et al, 2011). Pour évaluer les taux de matières organiques, **il est indispensable de prendre en compte le type de sol car chacun a une capacité plus ou moins grande de fixer le carbone organique et aura sa propre valeur optimale de teneur en MO pour assurer toutes ses fonctions.**

Les recherches bibliographiques ont permis de faire un état des lieux des méthodes de caractérisation des taux de matières organiques des sols à partir de données facilement accessibles. La liste détaillée des méthodes, principes, avantages et inconvénients sont disponibles en Annexe 6. **Aujourd'hui, il existe peu de références sur la détermination de seuils de MO différenciant une situation de teneur en MO convenable d'une situation insuffisante** (Duparque et al, 2011). Les seuls modèles reconnus comme fiables consistent à calculer des indicateurs de stabilité structurale en fonction des taux de MO et de la granulométrie. Ces démarches ne correspondent pas aux objectifs de l'étude puisqu'elles ne prennent en compte qu'un seul aspect de la fertilité des sols. Une autre approche serait de faire déterminer des seuils par avis d'experts. Pour un critère et un type de sol donnés, chaque expert trace une courbe faisant le lien entre les taux de MO et la qualité du sol vis-à-vis du critère en question. La démarche est à renouveler pour tous les critères et types de sols. Les données sont ensuite agrégées et on peut choisir, de façon arbitraire, la courbe moyenne ou la courbe la plus faible (Laboubée, 2007). Cette méthode n'est pas envisageable à une telle échelle car il ya une grande diversité de sols dans le Bas-Rhin et le nombre de données à traiter serait trop grand.

De ce constat, nous avons choisi de ne pas juger si les teneurs en MO sont satisfaisantes ou non, mais seulement de hiérarchiser les sols entre eux vis-à-vis de leur potentiel de séquestration du carbone. Le concept est appelé « déficit de saturation des sols » (DéficitC) et part du principe que **la quantité de carbone organique stable contenue dans un sol est limitée et déterminée par la quantité de**

particules fines du sol, à savoir les limons fins et l'argile. Le modèle calcule à partir des caractéristiques du sol la différence entre la quantité maximale de carbone que ce sol peut fixer et la quantité mesurée dans le sol. Cette différence correspond au déficit de saturation des sols en carbone et peut représenter le **potentiel de séquestration du carbone**. Un résultat négatif signifie qu'il y a plus de carbone que le sol ne peut en fixer et un résultat positif signifie qu'il y a un déficit du stockage du carbone. Ce concept a été testé et validé dans un grand nombre de stations d'expérimentations et adapté à de nombreux pays, notamment en France (Angers et al, 2011). Bien que cette méthode permette seulement de hiérarchiser les sols entre eux, nous pouvons tout de même considérer que les sols les plus déficitaires en carbone organique ont des taux de MO faibles. De plus, un sol avec un gros déficit de saturation de carbone organique peut en fixer encore beaucoup avant d'atteindre son maximum de fertilité. Inversement, un sol avec un petit déficit de saturation ou avec une faible capacité de fixation (sols très sableux par exemple) ne pourra pas valoriser la matière organique apportée car une plus grande partie du carbone sera perdu par lessivage ou érosion. Cette méthode permet donc d'identifier des zones où le carbone apporté sera valorisé pour une meilleure fertilité agricole des terres.

3.2.2. Le Référentiel Régional Pédologique d'Alsace

Le RRP¹⁶ est une base de données élaborée par l'ARAA dans le cadre du programme national IGCS¹⁷ piloté par le groupement GISSOL¹⁸. Il a été construit avec une précision au 1/250 000, adapté à l'échelle régionale.

Des unités pédopaysagères ou Unités Cartographiques de Sols représentant des zones homogènes au niveau du climat, de la géologie et de l'hydrographie ont été définies et géoréférencées dans une base géométrique. Au sein de chaque UCS¹⁹, sont associés 1 à 5 types de sols différents ou Unités Topographiques de Sol dont on connaît les caractéristiques (Carbone organique, pH, argile, limons, etc) grâce à des sondages tarières, des profils et des analyses. L'ensemble est enregistré dans une base sémantique. A ce niveau de résolution la localisation exacte n'est pas renseignée mais le pourcentage occupé par chaque sol au sein d'une UCS a tout de même été estimé. Le Référentiel Régional Pédologique Alsace décrit 80 UCS et 300 types de sols.

Pour cette étude, une sélection de paramètres (Carbone, argile et limons fins) ont été extraits de la BDSols pour les horizons de surface de tous les types de sols.

3.2.3. Calcul du déficit de saturation du carbone organique

La formule de calcul de la quantité maximale de carbone qu'un sol peut fixer est la suivante :

$C_{sat} = 4,09 + 0,37 (\text{Argile} + \text{limons fins})$ avec C_{sat} = teneur en carbone maximale que le sol peut fixer.

¹⁶ Référentiel Régional Pédologique

¹⁷ Inventaire Gestion et Conservation des Sols

¹⁸ Groupement d'Intérêt Scientifique SOL.

¹⁹ Unité Cartographique de Sols

Le calcul du déficit de saturation du carbone organique correspond à la différence entre la quantité maximale de carbone qu'un sol peut fixer et la quantité de carbone mesurée. D'après l'étude "Estimating and mapping the carbon saturation deficit of French agricultural topsoils" (Angers et al, 2011), une partie du carbone organique du sol n'est pas liée aux minéraux et ne peut se fixer aux particules du sol, ne participant pas au stockage du carbone dans le sol. Cette part de carbone a été estimée à 15% dans les sols arables français, ce qui signifie que seulement 85% du carbone mesuré est fixé au sol.

La formule de calcul du déficit de saturation du carbone organique est donc la suivante :

$$\text{DeficitC}^{20} \text{ (en g de C/kg de sol)} = \text{C}_{\text{sat}} - \text{SSOC}$$

avec SSOC = Stable Soil Organic Carbon = 85% Soil Organic Carbon.

3.2.4. Traitement des données et restitution cartographique

La difficulté de l'utilisation de cette base de données dans le cadre de cette étude est de mettre en relation les résultats par UCS avec les résultats de la répartition de la production et de l'épandage des matières organiques, agrégés par canton. De plus, la représentation cartographique s'avère compliquée car une valeur doit être associée pour chaque UCS, alors que les caractéristiques des sols au sein d'une UCS sont différentes.

Plusieurs possibilités s'offrent à nous :

- Représenter la valeur de DeficitC du type de sol le plus présent au sein de chaque UCS
- Représenter la moyenne des DeficitC des sols de l'UCS
- Représenter la classe de valeur dominante de l'UCS
- Déterminer un seuil de DeficitC du sol au-dessus duquel on considère que le déficit est important et représenter le pourcentage de sols de l'UCS dont le déficit est supérieur à ce seuil.

Les deux dernières possibilités ont été retenues car elles permettent de dégager les grandes tendances et mettent en évidence les déficits les plus importants.

- a) Classe de valeur la plus dominante de l'UCS

Dans un premier temps, nous avons déterminé des classes de valeurs. Nous avons regroupé les valeurs inférieures ou égales à zéro dans une classe appelée « Pas de déficit ». Pour les sols en déficit, nous avons choisi la répartition statistique de l'ensemble de ces sols pour déterminer les limites des classes. On obtient donc les classes suivantes sur le

Tableau 1.

²⁰ Déficit de Saturation en Carbone

Tableau 1: Classes de déficit

Valeurs	Classe
≤ 0	Pas de déficit
]0 ; 5,15] (Quartile 1)	Classe 1
]5,15 ; 10,24] (Médiane)	Classe 2
]10,24 ; 13,25] (Quartile 3)	Classe 3
$> 13,25$	Classe 4

Grâce aux informations de la base de données, on calcule un déficit de saturation en carbone organique, à partir duquel on peut affecter une classe à chaque type de sol. Exemple :

Tableau 2 : Extrait de la base de données BDSols

UCS	UTS ²¹	% UTS/UCS	DéficitC g/kg	Classe
4	178	27	0,835581395	classe 1
4	179	11	0,835581395	classe 1
4	180	43	10,97534884	classe 3
4	181	19	10,97534884	classe 3

On agrège ensuite les données par classe afin d'obtenir le pourcentage de surfaces pour chaque classe. On associe à chaque UCS la classe de Déficit la plus représentée, comme dans l'exemple ci-dessous :

Tableau 3 : Extrait du tableau des classes de déficit

UCS	Pas de déficit	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	Valeur max	Classe de Déficit
4		38		62		62	classe 3

Dans l'exemple, la classe 3 a été affectée à l'UCS n°4 car la part la plus importante (62%) a un déficit compris entre 10,24 et 13,25 (sol n°180 : 43% et sols n°181 : 19%). Cette représentation permet de localiser les niveaux de déficit plus ou moins importants.

- b) Pourcentage de surface des unités cartographiques de sols pour lesquelles le déficit dépasse une valeur seuil

La valeur seuil choisie est le quartile 3, c'est-à-dire 13,24 g/kg. Nous allons donc exprimer pour chaque UCS, le pourcentage de surfaces dont le DeficitC est supérieur à 13,24, c'est-à-dire le pourcentage de surfaces de la classe 4. On classe ces pourcentages par tranches de 20% afin de faciliter la représentation cartographique.

²¹ Unité Topographique de Sol

On obtient les résultats suivants :

Tableau 4 : Extrait du tableur de calcul

UCS	Pas de déficit	classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	% de sols en classe 4
35					100	80 à 100%
36		26		11	63	60 à 80%
37				23	77	60 à 80%
38				79	21	20 à 40%
39			78	22		0 à 20%

Pour l'UCS n°37, on a 77% de la surface occupée par des sols dont le Déficit est supérieur à 13,25. On attribue donc la classe « 60 à 80% » à l'UCS n°37.

L'ensemble des méthodes de calcul et de traitement de données ont permis de représenter les résultats sous forme cartographique. Les cartes concernant la production et l'épandage de matières organiques ont été réalisées à l'aide du logiciel QGIS. Les cartes représentant les déficits de saturation du carbone organique ont été réalisées par l'ARAA²². Une carte des teneurs en matières organiques dominantes par UCS a également été produite par l'ARAA, disponible en annexe, à laquelle nous pourrions nous référer pour compléter l'analyse des résultats.

En résumé

L'objectif de l'étude est d'étudier les possibilités d'épandage des boues de stations d'épuration, mais les autres PRO mobilisant des surfaces pour leur épandage, nous prenons aussi en compte les effluents d'élevage et les composts de déchets verts et d'ordures ménagères. Afin de comparer les PRO entre eux, les calculs ont été faits en fonction de l'azote, du phosphore et de la matière organique.

Nous avons dans un premier temps calculé les quantités de PRO produites et la pression d'épandage par canton, c'est-à-dire la surface mobilisée pour l'épandage par rapport à la surface épandable. Certaines données ont été accessibles facilement et d'autres ont dû être estimées.

Dans un deuxième temps, nous avons cherché à caractériser les taux de matières organiques dans les sols. Souhaitant prendre en compte la capacité des sols à valoriser les PRO apportés, nous avons opté pour le modèle du déficit de saturation en carbone organique. Ce modèle calcule à partir des caractéristiques du sol la différence entre la quantité maximale de carbone que ce sol peut fixer et la quantité mesurée dans le sol. Cette différence représente le potentiel de séquestration du carbone. Cette méthode permet donc d'identifier des zones où le carbone apporté sera valorisé pour une meilleure fertilité agricole des terres. La formule a été calculée grâce aux données du Référentiel Régional Pédologique. Chaque Unité Cartographique de Sol du RRP s'est vue affecter une valeur de déficit de saturation en carbone organique.

²² Association pour la Relance de l'Agronomie en Alsace

Résultats et analyse

L'ensemble des résultats bruts concernant la production d'azote, de phosphore, de matières organiques et les pressions d'épandage par canton sont disponibles en Annexe 7, Annexe 8, Annexe 9 et Annexe 10.

4.1. Production de PRO dans le département

4.1.1. Production totale de PRO dans le Bas-Rhin et évolution depuis 2000

En 2012, la production de PRO dans le Bas-Rhin s'est élevée à 8800 tonnes d'azote, 2 500 tonnes de phosphore et 226 100 tonnes de matières organiques. La part de la production de chaque PRO par rapport à la production totale dans le Bas-Rhin en fonction de l'azote, du phosphore et de la matière organique est détaillée sur la figure ci-dessous.

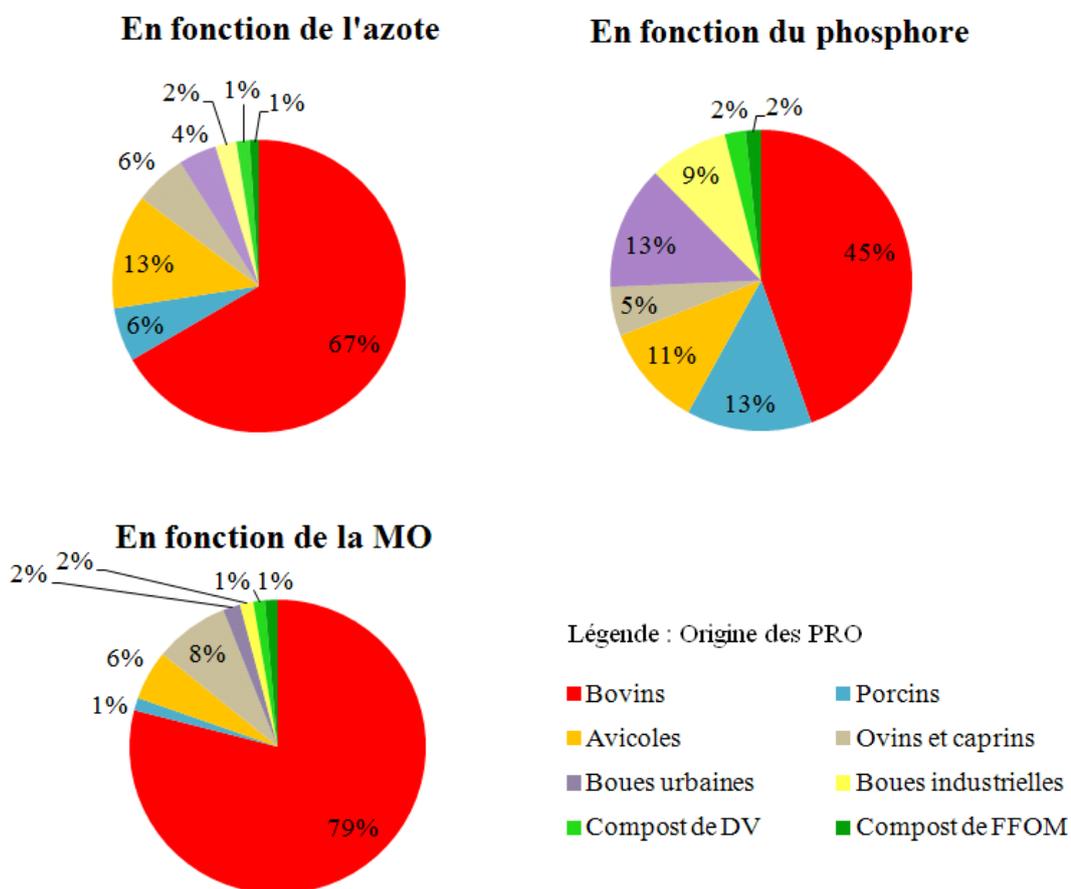


Figure 3: Part de chaque PRO dans la production d'azote, phosphore et matières organiques dans le Bas-Rhin (2012)

Pour chaque paramètre, les effluents d'élevage constituent plus de la moitié de la production, avec une part très importante des effluents bovins. Cela confirme l'hypothèse de départ : **les effluents d'élevage mobilisent une part importante des surfaces épandables et sont épandus prioritairement puisqu'ils sont produits sur l'exploitation.** La disponibilité des terres pour l'épandage des boues d'épuration est donc fortement dépendante de l'importance de l'élevage.

Pour un PRO donné, l'importance de la production peut varier pour chaque paramètre. Par exemple, les effluents d'élevages avicoles représentent 13% de la production totale d'azote mais seulement 6% de la production totale de matières organiques. Le fait de comparer les PRO entre eux avec différents paramètres permet de mettre en évidence la valeur agronomique de chacun, ainsi que son importance dans la filière d'épandage des PRO.

Afin d'évaluer la dynamique de la production de PRO dans le département, nous avons étudié son évolution pour les années 2000, 2003, 2006 et 2012, années pour lesquelles l'étude « offre et débouchés de matières organiques » a été menée.

a) La production d'effluents d'élevage

La production d'azote organique issu des effluents d'élevage est directement dépendante des effectifs de chaque cheptel. Comme nous pouvons l'observer sur le Tableau 5, les effectifs de bovins et porcins sont relativement constants, avec des variations autour de 5% d'une année sur l'autre. Les effectifs de caprins, ovins et volailles sont quant à eux très variables. Pour les caprins et ovins, cela s'explique en partie par le fait qu'il est plus difficile de suivre l'évolution de filières peu développées. En ce qui concerne les volailles, c'est une production difficile à évaluer car le temps passé en bâtiment est court et il existe une variabilité des effectifs au cours de l'année. La forte baisse d'effectifs en 2003 se justifie par l'apparition de la grippe aviaire, faisant diminuer la consommation et allonger les vides sanitaires. Les cycles de production étant courts, les aviculteurs peuvent s'adapter très rapidement au marché.

Tableau 5: Evolution des effectifs animaux depuis 2000 (têtes). Source : Agreste, Statistiques agricoles annuelles (extraction base de données DISAR)

	Bovins	Porcins	Caprins	Ovins	Volailles
2000	349 806	134 400	4 780	65 480	2 669 000
2003	328 923	147 516	6 462	61 755	2 669 000
Evolution	-6%	9%	26%	-6%	0%
2006	324 798	148 334	3 802	64 019	1 609 000
Evolution	-1%	1%	-70%	4%	-66%
2012	324 015	146 946	4 798	52 236	2 669 000
Evolution	0%	-1%	21%	-23%	40%

b) La production de boues d'épuration urbaines

Nous différencions la station de Strasbourg des autres STEP urbaines du département car les boues de la Communauté Urbaine de Strasbourg sont prioritairement incinérées. Lors des arrêts techniques de l'incinérateur, les boues sont orientées vers d'autres filières, c'est pourquoi cette production est très variable. La figure ci-dessous montre l'évolution du surplus de production de la station de Strasbourg. Sont représentées en rouge les boues compostées au sein même du département. En bleu, sont

comptabilisées les boues stockées en décharge²³, les boues épandues localement ainsi que les quantités de boues sorties du département, destinées à être compostées.

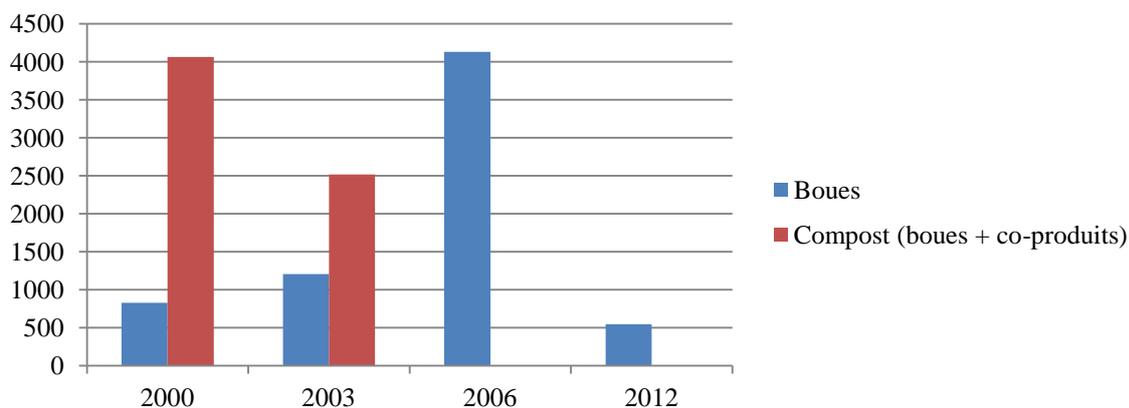


Figure 4 : Evolution de la production de boues d'épuration urbaines de Strasbourg, hors filière d'incinération (en tonnes de matières sèches)

En 2000 et 2003, une grande partie des boues a été compostée localement, pour être épandue en agriculture ou pour une végétalisation. Cependant, les boues étant mal stabilisées, la plateforme de compostage a rencontré des difficultés dues à des nuisances olfactives. Depuis, la plateforme en question n'accepte plus les boues issues de la CUS²⁴. Le reste de la production a été stockée en décharge car les boues n'étaient pas conformes à l'épandage.

La Figure 5 représente l'évolution de la production de boues d'épuration urbaines hors station de Strasbourg. Les quantités de boues produites ont diminué entre l'année 2000 (19 890 tMS) et 2012 (17 600 tMS). Les quantités de boues compostées ont fortement diminué car une partie de la production est exportée vers la Lorraine et est donc comptabilisée dans les boues.

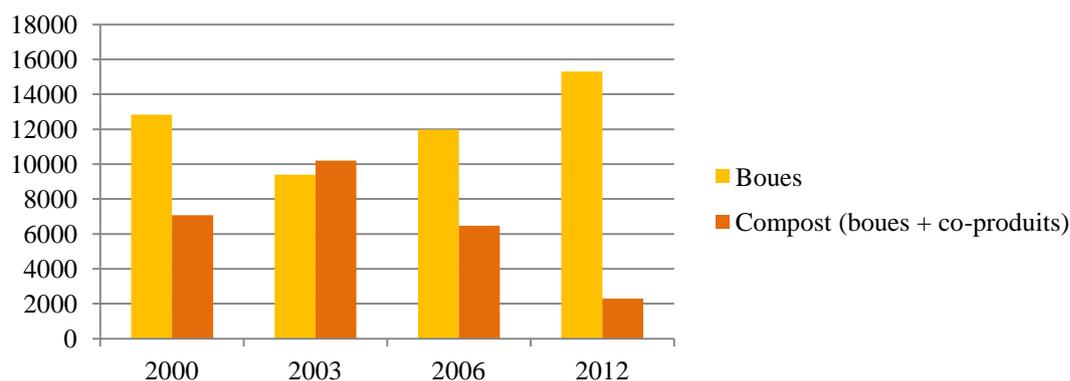


Figure 5 : Evolution de la production de boues d'épuration urbaines du Bas-Rhin, hors STEP de Strasbourg (en tMS)

²³ Alternative possible uniquement si les boues sont trop polluées pour être valorisées en agriculture.

²⁴ Communauté Urbaine de Strasbourg

c) L'évolution de la production de boues industrielles

Certains industriels sont connectés au réseau public et leurs eaux usées sont traitées dans les stations urbaines. Dans cette partie, nous ne considérons que les industriels possédant leur propre système d'assainissement, les autres étant comptabilisés dans la partie précédente. La figure ci-dessous présente l'évolution de la production de boues de stations industrielles de 2000 à 2012.

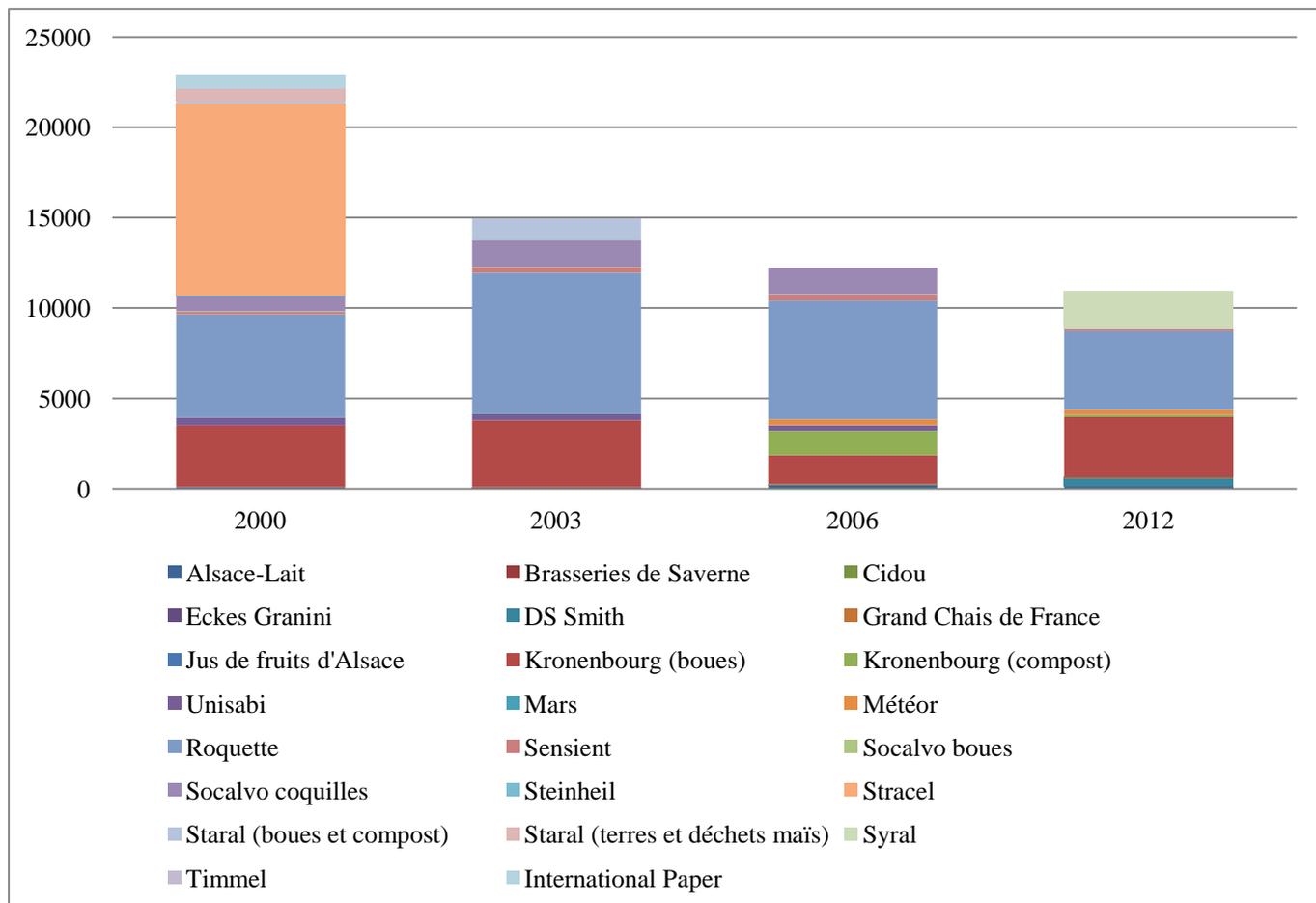


Figure 6 : Evolution des productions de boues et effluents industriels entre 2000 et 2012 (en tMS)

Les informations que nous possédons concernant la production de boues industrielles ne sont pas complètes. Les entreprises exploitant d'autres débouchés que l'épandage agricole ne sont pas dans l'obligation de transmettre leurs données à la MDMO.

Les industriels pratiquant l'épandage agricole sont essentiellement des entreprises agro-alimentaires, dont les boues sont les mieux acceptées par les agriculteurs et le grand public. La forte baisse de la production de boues industrielles entre 2000 et 2001 s'explique par l'arrêt d'activité ou le changement de débouchés de certains industriels, dont l'entreprise Stracel (papeterie) qui produisait environ 10 500 tonnes de matières sèches par an. Depuis 2001, des variations subsistent mais sont moins importantes. La production de boues industrielles est plus aléatoire car elle dépend de la production de l'usine, et donc du contexte économique. Depuis 2004, la production de boues industrielles varie entre 11 000 et 13 000 tonnes de matières sèches.

d) Production totale et débouchés des boues urbaines et industrielles en 2012

La Figure 7 représente la part de chaque débouché des boues de stations d'épuration en 2012, urbaines et industrielles confondues.

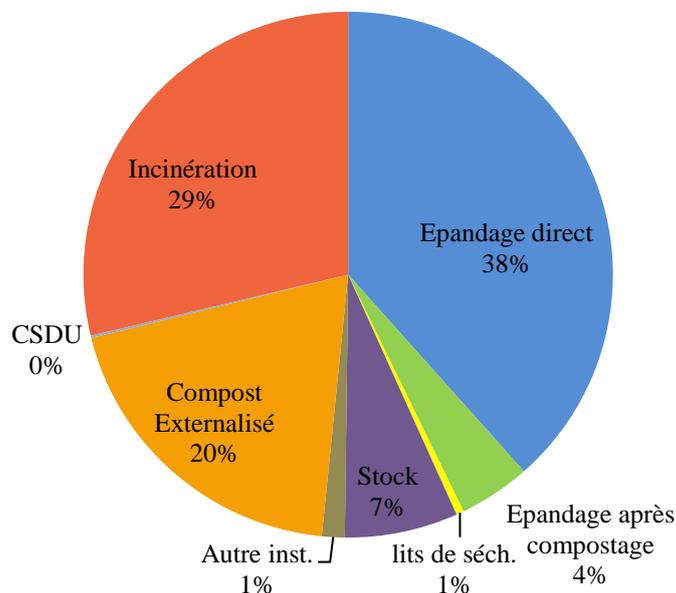


Figure 7 : Part de chaque débouché de boues de stations d'épuration urbaines et industrielles, 2012 (part rapport à la matière sèche)

La filière la plus importante est l'épandage direct, qui représente 38% des débouchés en termes de matière sèche. Seules les boues de Strasbourg sont incinérées, ce qui signifie que près d'un quart de la production est issue de la CUS. Environ 20% de la production est exportée en Lorraine pour être compostée. Bien que ce ne soit pas le débouché le plus important, **il reste encore une grande marge de manœuvre pour augmenter la valorisation locale des boues de stations d'épuration.** De plus, l'épandage local après compostage ne représente que 4% de la production, ce qui confirme l'intérêt d'étudier la possibilité d'augmenter ce débouché pour la réduction de l'export des boues.

L'étude de la production totale de PRO dans le Bas-Rhin et son évolution depuis 2000 a permis de dresser l'état de la filière sur l'ensemble du département. L'étude de la production et de l'épandage de PRO par canton permettra de mettre en évidence la variabilité intra-départementale.

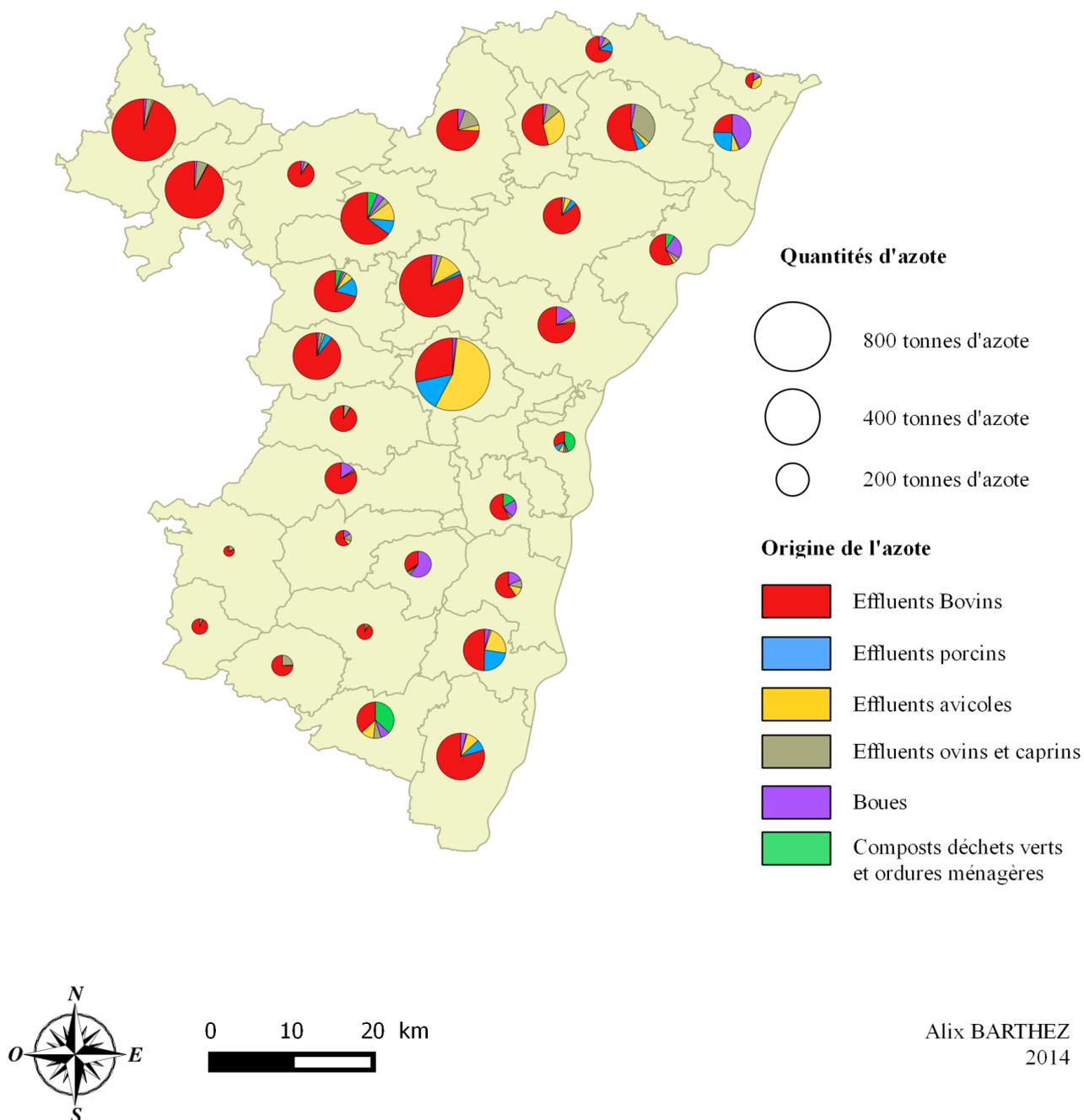
4.1.2. Répartition de la production de PRO destiné à être épandu dans le département

a) Par rapport à l'azote

La carte de la Figure 8 présente les quantités d'azote organique produites par canton, en fonction de son origine. Des cartes avec la production de phosphore et de matières organiques par canton et l'analyse de ces cartes sont disponibles en Annexe 11 Annexe 12. La carte des cantons du Bas-Rhin se trouve en Annexe 13.

Répartition de la production d'azote organique destiné à être épandu selon son origine (Bas-Rhin)

Calculs obtenus d'après les données de la
Chambre d'Agriculture de Région Alsace



Alix BARTHEZ
2014

En moyenne, chaque canton produit 240 tonnes d'azote issu des PRO, mais on observe une grande variabilité inter-cantonale avec une concentration de la production au Nord du département.

Au Nord du Bas-Rhin, les cantons peuvent être regroupés en zones homogènes :

Les cantons de **Truchtersheim et Hochfelden** sont les premiers producteurs avec des élevages bovins importants. Le canton de Truchtersheim possède les plus grands cheptels porcins et avicoles du département. Les élevages sont principalement hors sol, intensifs avec une gestion des déjections animales orientée vers des systèmes lisiers. La production d'azote organique issu de boues est faible comparée à celle de l'élevage.

Les cantons de **l'Alsace Bossue** produisent également plus de 600 tonnes d'azote par an chacun, ce qui s'explique par l'agriculture principalement tournée vers l'élevage bovin extensif au pâturage (Chambre Agriculture Région Alsace, 2014).

La zone du **Piémont des Vosges du Nord** qui s'étend de Marmoutier à Niederbronn est également une zone importante d'élevage, dont les effluents représentent 95% de la production d'azote.

Le secteur de **l'Outre-Forêt** montre des productions plus réduites, autour de 250 tonnes par canton. La production d'azote issu de l'élevage est moyenne, avec quelques cantons comme Woerth spécialisés en porcins et volailles. Sultz-sous-forêt se détache avec les plus grosses productions ovines et caprines du département, ainsi qu'un élevage bovin conséquent.

Le **Ried du Nord** comprend les cantons de Brumath, Bischwiller, Seltz et Lauterbourg. Cette zone a une production en azote organique plus faible que le reste de la moitié nord du département car l'agriculture se tourne de plus en plus vers la monoculture de maïs intensifiée (ADEUS, 2009). Les effectifs de bovins sont moyens et on observe la présence de quelques élevages spécialisés porcins et volailles. Proportionnellement, la part des boues urbaines et industrielles est donc plus importante, avec une population relativement dense et la présence d'un gros industriel dans le canton de Seltz. Le canton de Lauterbourg a une faible production compte tenu de sa petite taille.

Au Sud du Bas-Rhin, la production est plus basse :

Les **montagnes vosgiennes** sont principalement composées de forêts et l'agriculture y est peu présente en raison d'un relief difficile et de sols pauvres et acides (ADEUS, 2013). La production d'azote organique est très faible et provient du cheptel bovin essentiellement conduit au pâturage.

Les cantons de **Molsheim et Wasselonne** ont des cheptels bovins de taille moyenne. La production de boues urbaines et industrielles est plus importante à Molsheim avec une population dense et la présence de l'usine Mars PF France.

Le **vignoble** présente en plus des vignes quelques cultures annuelles et prairies. L'usine Kronenbourg implantée à Obernai et la ville de Sélestat font augmenter les productions d'azote organiques de ces deux cantons. On notera également que certaines eaux usées du canton de Barr sont traitées dans le canton d'Obernai, ce qui sous-estime sa production. Les cantons de la région viticole restent relativement similaires avec une production inférieure à 153 tonnes d'azote.

Le **Grand Ried** est une zone à population dense et les exploitations agricoles sont plutôt tournées vers les grandes cultures, le maïs en particulier (ADEUS, 2007). La production d'azote organique y est donc faible, avec une part importante d'azote issu des boues urbaines.

On note une exception pour les cantons de **l'extrême Sud** :

Le canton de Benfeld a une production urbaine plutôt importante et des cheptels de porcins et volailles non négligeables. Le canton de Marckolsheim est une zone d'élevage concentré, avec des tailles de cheptels supérieures à la moyenne bas-rhinoise. Une grande quantité d'azote de boues industrielles est produite par Tereos Syral. Enfin, la production de boues urbaines n'est pas très élevée malgré une densité de population importante, le compostage faisant baisser les teneurs en azote.

La production de PRO est très variable au sein du département. La pression d'épandage dépend d'une part de la production de PRO mais aussi des surfaces disponibles pour l'épandage. Les cantons les plus saturés en PRO ne sont donc pas forcément les cantons les plus producteurs.

4.2. La pression d'épandage des PRO

La carte de la Figure 9 présente les résultats concernant la pression d'épandage par rapport aux terres labourables, c'est-à-dire le rapport entre les surfaces actuellement mobilisées pour l'épandage des PRO et les terres labourables de chaque canton. Comme il a été précisé dans la méthode, la pression d'épandage a également été calculée par rapport à la SAU et la carte correspondante est disponible en Annexe 14.

On retrouve sur la carte la même différence entre le Nord et le Sud, ainsi qu'un gradient d'Est en Ouest.

Les cantons de **Truchetersheim et Hochfelden** sont les plus productifs d'azote organique et ont parmi les superficies en terres labourables les plus importantes. La pression d'épandage est très forte, qu'elle soit calculée par rapport aux terres labourables ou par rapport à la SAU car les élevages sont principalement hors sol et qu'il y a très peu de prairies.

L'Alsace Bossue est la zone qui subit la plus grande pression d'épandage en termes de surface épandue par rapport aux terres labourables. Les pratiques étant plutôt tournées vers le pâturage, il convient de retenir la valeur par rapport à la SAU qui prend en compte les surfaces en herbe. La pression reste assez importante (environ 35% de la SAU) et il serait difficile d'y épandre plus de PRO d'origine non agricole.

Dans les **Piémont des Vosges du Nord**, la production d'azote organique est élevée avec des cantons aux superficies en dessous de la moyenne du département. La pression d'épandage est autour de 65% de TL utilisées. La pâture est assez fréquente et on remarque que la pression d'épandage est également très forte lorsqu'elle est calculée par rapport à la SAU.

Dans le secteur de **l'Outre-forêt**, la pression est très forte pour le canton de Woerth dont la surface labourable est faible, et assez élevée pour Wissembourg et Soultz-sous-forêt qui ont des surfaces labourables considérables.

Le long du Rhin, que ce soit pour le **Ried du Nord** ou le **Grand Ried**, les pressions sont faibles car les surfaces sont très étendues et la culture de maïs prédominante. Cependant, une partie de ce territoire se situe en zone inondable et ont des sols sujets à l'hydromorphie (ADEUS, 2013).

Les cantons de **Molsheim et Wasselonne** ont des surfaces labourées en dessous de la moyenne et la pression d'épandage est un peu élevée par rapport à la surface labourée (34 et 35%). En comparant par rapport à la SAU, le canton de Wasselonne a une pression d'épandage nettement plus faible (17%).

Le **vignoble** présente des surfaces labourées plutôt faibles et la pression d'épandage y est donc moyenne. Cette zone étant principalement composée de vignes et cultures spécialisées, on ne peut espérer augmenter la pression d'épandage.

A **l'extrême Sud**, le canton de Marckolsheim possède la plus grande surface labourable qui s'élève à 13 594 ha. Malgré la forte production d'azote, il reste en termes de surfaces une possibilité d'épandage. De plus, la pression d'épandage calculée par rapport aux terres labourables est similaire à la pression calculée par rapport à la SAU, ce qui signifie que les surfaces potentiellement disponibles sont des cultures où il est plus facile d'épandre.

4.3. Identification des sols déficitaires en matières organiques

La pression d'épandage a permis de caractériser les zones plus ou moins réceptrices de PRO. L'analyse des taux de MO dans les sols permet de compléter l'étude en identifiant les zones devant bénéficier prioritairement de mesures visant à remonter les stocks de carbone, dont l'épandage des PRO peut faire partie. Cependant, les matières organiques contribuant à la formation d'humus stable sont issues de PRO compostés ou riches en lignine. Cette approche concerne donc uniquement les possibilités d'épandage de produits du type fumiers pailleux ou composts (cf «2.3. Les matières organiques dans les sols »).

La carte de la Figure 10 présente la classe de déficit de saturation en carbone organique dominante pour chaque UCS. La carte de pureté des unités cartographique indique le pourcentage de surfaces de l'UCS concerné par cette classe de valeur. Plus le pourcentage est fort, plus la classe est représentative de l'UCS. La carte « pourcentage de surface des UCS pour lesquels le déficit de saturation des sols en carbone organique (DeficitC) est supérieur à 13,24 g/kg » est disponible en Annexe 15. Elle permet de mieux mettre en évidence les zones avec des déficits de saturation importants mais est plus sensible aux effets de seuils.

On remarque une grande zone qui s'étend des cantons de **Hochfelden** et **Niederbronn** jusqu'au plateau du **Kochersberg**, qui présente des déficits de saturation importants. Les types de sols dominants sont des limons loessiques et 80 à 100% de ces sols ont un déficit supérieur à 10,24g/kg. La carte des teneurs en matières organiques disponible en Annexe 16 nous informe que 70 à 80% des sols de cette zone ont entre 1,8 et 2,2% de matières organiques dans l'horizon de surface. De telles teneurs sont considérées comme « limites » pour des sols limoneux particulièrement sensibles aux perturbations extérieures et il conviendrait de les remonter au moins au dessus de 2,2%, voire 2,5% (Barbot, Communication personnelle, 2014). Les cultures sur cette zone sont relativement diversifiées, avec des céréales, cultures industrielles spécialisées²⁵, maïs fourrager et maïs grain (ADEUS, 2009). C'est une zone où l'on observe des problèmes de battance et d'érosion et il peut être intéressant de mener des actions visant à remonter les taux de matières organiques dans les sols.

Cette zone se prolonge sur les **terrasses d'Obernai et Erstein** où les déficits de saturation en carbone organique sont relativement élevés, compris entre 10,24 et 13,25g/kg pour 80 à 90% des sols. Cependant, certains secteurs sont consacrés à la vigne, culture pour laquelle il n'est pas nécessairement intéressant de relever les taux de matières organiques. Cela peut en effet être un non-sens en termes de fourniture d'azote et de qualité du vin, ou engendrer des pertes d'azote par lessivage. En effet, un surplus d'azote minéralisé peut entraîner un excès de vigueur de la vigne et une absence de typicité des vins de terroir (Barbot et Sauter, 1998).

²⁵ Tabac, betterave, oignons, échalote, chou à choucroute.

Déficit de saturation des sols du Bas-Rhin en carbone organique (DeficitC)

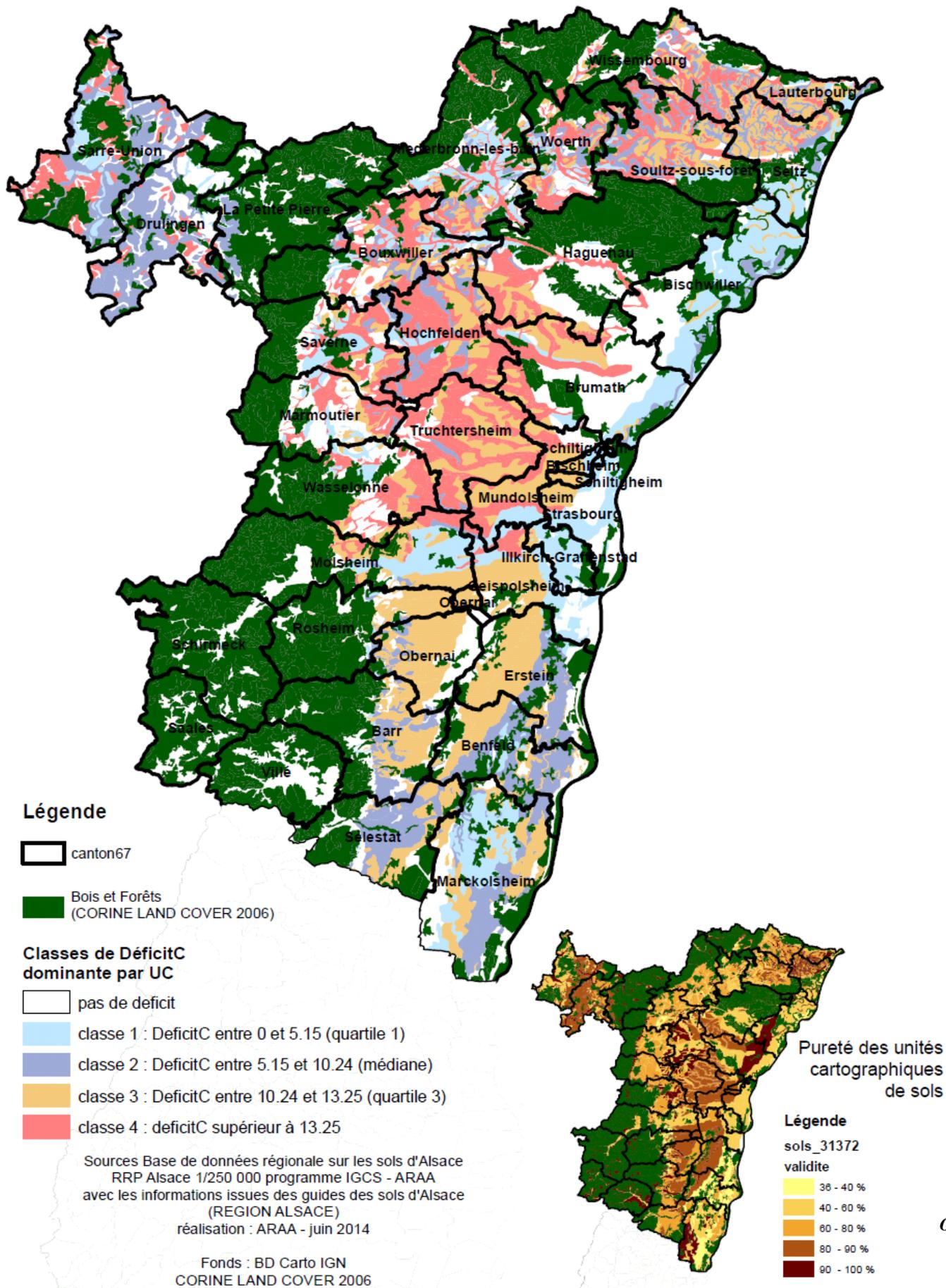


Figure 10 : Carte du Déficit de saturation des sols du Bas-Rhin en carbone organique

Une deuxième région un peu moins marquée se trouve au Nord du département, dans la zone des **collines de l'Outre-Forêt**. Les limons y sont plus anciens et parfois issus de colluvions. Ils sont souvent décarbonatés et les matières organiques n'étant pas protégées par le calcaire, elles sont plus rapidement dégradées et moins cohésives. On y trouve sur une partie des cultures diversifiées mais aussi une zone appelée « Openfield de l'Outre forêt » dans laquelle l'intensification des cultures céréalières et l'absence d'éléments paysager concourent à la baisse de la stabilité structurale et au risque de coulées de boues (ADEUS, 2012).

Le long des **Vosges du Nord**, les déficits de saturation du carbone sont variables et l'on observe dans le canton de Bouxwiller des UCS limoneux battants dont 60 à 80% des sols ont un déficit de saturation du carbone supérieur à 13,24 g/kg. De plus, certains sols ont des taux de matières organiques inférieurs à 1,3%, teneur qui quelle que soit le type de sol paraît extrêmement faible.

En **Alsace Bossue**, on observe quelques zones avec des aplats de couleur rouge (déficit élevé), mais qui ne représentent que 40 à 60% des sols de l'UCS. Pour cet UCS, d'après la carte en Annexe 16, ces sols ont des taux de MO satisfaisants compris entre 3,3 et 3,7%. Ces sols étant très argileux, ils ont une grande capacité de fixation du carbone, c'est pourquoi malgré des bons taux de matières organiques, le déficit reste élevé. Nous rappellerons que le modèle montre la quantité de carbone que le sol peut encore fixer, mais un déficit nul ne correspond pas forcément à un optimal agronomique. Nous considérerons donc que les sols de l'Alsace Bossue présentent des sols aux taux de matières organiques convenables.

Les cantons de **Molsheim et Wasselonne** ont une grande partie occupée par la forêt. En ce qui concerne le reste de la surface, les déficits de saturation en carbone sont très variables, allant de la classe « pas de déficit » à la classe 4.

On peut noter que toute la zone du **Ried du Nord** et du **Grand Ried** le long du Rhin présente des déficits de saturation bas avec une partie des sols souvent tourbeux, anciennement marécageux. Cela ne signifie pas que les taux de matières organiques sont satisfaisants d'un point de vue agronomique car les tourbes sont de matières organiques inertes qui ne participent pas à la fertilité du sol. Cependant, il n'est pas possible d'évaluer l'importance des fractions organiques fraîches, transitoires et stables à cette échelle. D'autres types de sols présents dans ce secteur sont les sols alluviaux, superficiels et caillouteux, peu adaptés à l'épandage.

4.4. Synthèse

Afin de conclure sur l'état actuel de la filière d'épandage agricole des PRO et sur les possibilités futures d'épandage, il convient de faire la conjoncture de tous les éléments que nous avons analysés séparément.

Les zones avec très peu ou pas de déficit de saturation en carbone organique sont principalement situées le long du Rhin. **Les Rieds** sont naturellement riches en matières organiques car les sols sont tourbeux, anciennement marécageux. Bien que la production de PRO et la pression d'épandage soient faibles, **ces zones ne représentent probablement pas un potentiel d'épandage des boues** car une grande partie des sols est hydromorphe, et n'ont donc pas une bonne aptitude à recycler ces PRO.

L'Alsace Bossue et le vignoble du Sud du Bas-Rhin montrent des déficits de saturation moyens (classes 2 et 3), voire élevés pour une partie des sols de l'Alsace Bossue. Cependant, **les taux de matières organiques semblent satisfaisants d'un point de vue agronomique au vu de l'occupation des terres agricoles**. La pression d'épandage y est élevée pour l'Alsace Bossue, qui n'est donc pas une zone d'intérêt pour améliorer la valorisation locale des boues de STEP. En ce qui concerne le vignoble, les terres sont en grande partie occupées par des vignes ou des cultures spécialisées, limitant fortement l'épandage de boues.

La diversité des sols des cantons de Molsheim, Marmoutier et Wasselonne ne permet pas de conclure sur une possibilité d'accueil de produits compostés. De plus, la pression d'épandage étant très variable suivant le mode de calcul, il conviendrait d'enquêter sur les pratiques de pâturage sur cette zone afin d'affiner l'analyse.

A **l'extrême Sud**, les productions sont élevées et les sols ont des déficits de saturation en carbone organique moyens. La pression d'épandage est forte dans le canton de Benfeld et faible dans le canton de Marckolsheim, quel que soit le mode de calcul. **Le canton de Marckolsheim pourrait donc avoir un potentiel d'accueil pour les boues de stations d'épuration**. En revanche, les sols sont limono-sableux filtrants et les périodes d'épandage sont courtes, pouvant limiter la possibilité d'épandage.

Enfin, un grand nombre de cantons du Centre et du Nord du Bas-Rhin présentent des déficits de saturation en carbone organique élevés avec une pression d'épandage forte. Un important déficit de saturation en carbone ne signifie pas que les taux de MO sont faibles. Cependant, les teneurs en MO sont situées entre 1,8 et 2,2%, ce qui peut être considéré de « limite » dans la mesure où des problèmes d'érosion sont observés. Plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ce déséquilibre. Il est possible que les PRO épandus soient trop riches en azote et pauvres en MO puisque la gestion des effluents est orientée vers des systèmes lisiers. L'autre hypothèse est qu'au sein de chaque canton, certains sols ont des taux de MO plus élevés et que ces secteurs correspondent à une concentration d'éleveurs. Cette situation concerne principalement les cantons de Truchtersheim et Hochfelden. On retrouve également ce type de problématique dans les Vosges du Nord, Pays de Hanau et l'Outre Forêt. Le fait que des taux de MO bas soient observés sur une partie de ces zones soulève la question de la qualité des PRO épandus, de la performance des systèmes de culture vis-à-vis de la préservation de la qualité des sols et de la répartition des exploitations. Il semblerait intéressant d'étudier les pratiques des agriculteurs afin d'identifier celles qui induisent une baisse des taux de matières organiques.

En résumé

Les effluents d'élevages mobilisent une part importante des surfaces épandables et sont épandus prioritairement puisqu'ils sont produits sur l'exploitation. La disponibilité des terres pour l'épandage des boues d'épuration est donc fortement dépendante des déjections animales présentes.

D'une manière générale, le Bas-Rhin est en capacité de recycler l'ensemble des effluents d'élevage produits localement puisqu'aucun canton n'est en excédent structurel¹. Cependant, on observe une pression d'épandage plutôt élevée du Centre au Nord de l'Alsace, ce qui signifie que les possibilités supplémentaires d'épandage de boues sont faibles. Les déficits de saturation y sont élevés et plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce déséquilibre. Il serait nécessaire d'étudier la répartition des exploitations en élevage et céréales ainsi que les pratiques agricoles afin d'expliquer la situation et agir pour une meilleure valorisation des PRO sur ces secteurs.

Les cantons où les pressions d'épandage sont faibles sont principalement situés le long du Rhin. On y trouve des déficits de saturation en carbone organique faibles ou moyens, ce qui ne signifie pas que l'épandage des PRO sur ces zones n'est pas intéressant. Cependant, beaucoup de sols sont hydromorphes, ce qui limite les surfaces et les périodes d'épandage ainsi que les types de PRO autorisés. Une étude sur des territoires plus restreints ou par bassin versant est à mener afin de conclure plus précisément sur les possibilités d'épandage.

¹ « Un canton est considéré en excédent structurel d'azote lié aux élevages dès lors que la quantité totale d'effluents d'élevage produite annuellement conduirait, si elle était épandue en totalité sur le territoire du canton, à un rapport de 170 kg par hectare de surface épandable » (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 2001)

5. Discussion

L'étude réalisée a permis de mettre en évidence les grandes tendances concernant la dynamique de production de PRO et d'utilisation des terres agricoles pour leur épandage. En parallèle, nous avons pu identifier les zones dont les sols présentent de grands déficits de saturation en carbone organique, c'est-à-dire que les PRO riches en carbone seront bien valorisés pour une meilleure fertilité des sols. Le croisement de ces données a permis de montrer la diversité des situations concernant les possibilités d'épandage supplémentaire de boues de stations d'épuration ou de composts de boues. Certains cantons semblent avoir un équilibre offre et demande puisque les apports en PRO permettent de maintenir des taux de MO corrects dans les sols. L'étude a également mis en évidence des déséquilibres sur des zones où la pression d'épandage est forte et les teneurs en MO des sols sont faibles. Enfin, il existe un canton céréalier dans l'extrême Sud où, d'après les résultats de l'étude, il existerait un potentiel d'accueil de boues de stations d'épuration. Cependant, les données accessibles et la méthode utilisée présentent des limites dont il faut avoir connaissance pour utiliser ces résultats de façon adéquate.

5.1. Intérêts et limites de la méthode

5.1.1. La production de déchets

a) Les boues de station d'épuration et les composts

Les données concernant les boues de stations d'épuration sont fiables puisqu'elles proviennent des dossiers réglementaires transmis à la Mission Déchets Matières Organiques pour l'expertise. Les enquêtes pour obtenir les quantités produites par plateforme de compostage ont également permis d'obtenir des données précises.

b) Les effluents d'élevage

- Les effectifs des animaux

Concernant les effectifs des élevages bovins, ovins, caprins et porcins, ils sont fiables puisqu'ils ont été extraits des bases de données IPG ou des bases de données des conseillers spécialisés. En revanche, il est difficile d'évaluer la validité que l'on peut accorder aux effectifs des volailles. En effet, les cycles de production étant très courts, les producteurs peuvent s'adapter rapidement au marché et les effectifs sont très variables. Pour cette raison, il n'existe pas de données précises de la production de volailles, quelle que soit l'échelle. Les données concernant cette filière sont donc à utiliser avec précaution.

- La production d'azote par animal

En 2000, 2003 et 2006, pour les autres études sur l'offre et la demande en matières organiques, les données utilisées étaient plus simplifiées. Les effectifs bovins étaient par exemple traduits en UGB par canton, puis avaient été multipliés par la quantité d'azote produite par UGB. Nous avons souhaité affiner

les calculs en utilisant les nouvelles données CORPEN qui prenaient en compte l'âge de l'animal, le type de production (lait/viande) et le niveau de production. Cependant, la typologie établie grâce aux données du contrôle laitier reste imprécise et la marge d'erreur obtenue avec cette méthode pourrait être aussi grande que celle de la première méthode. La question du gain de précision par rapport au temps passé à récolter et traiter des données se pose.

- Production de matières organiques issues de l'élevage

La gestion des effluents d'élevage ovins, caprins et porcins a été simple à caractériser car ces petites filières sont bien connues des conseillers de la CARA. En revanche, les cheptels bovins étant très importants, la gestion des effluents en systèmes fumiers et lisiers est moins évidente à déterminer. La typologie établie grâce aux enquêtes auprès des conseillers reste très approximative et il est délicat d'évaluer la validité de ces résultats. En effet, les conseillers en élevage accompagnent un certain panel d'agriculteurs dans toute la région et il leur est difficile d'évaluer la représentativité de ces exploitations.

5.1.2. L'épandage des déchets

- Surfaces mobilisées par l'épandage

Les hypothèses utilisées pour calculer les surfaces mobilisées pour l'épandage des PRO ne prennent pas en compte la pratique de la pâture : la limite des 170 kg d'azote par ha n'est pas maîtrisable dans ce cas. Excepté cette approximation, calculer les apports pour atteindre une valeur proche de la limite est courant dans le Bas-Rhin.

- Surfaces épandables et pression d'épandage

Le calcul des surfaces épandables par canton a été fait de manière extrêmement simplifiée. En effet, nous n'avons pas pris en compte les contraintes réglementaires, sociologiques et pédoclimatique limitant l'épandage des PRO sur certaines surfaces. De plus, ne connaissant pas la part entre les épandages maîtrisés et la pâture, nous ne savons pas pour chaque canton s'il est préférable de se référer à la pression d'épandage par rapport à la SAU ou aux terres labourables. Nous savons que la pâture est peu pratiquée en plaine d'Alsace mais existe en Pays de Hanau et Alsace Bossue. Cet élément nous a permis de nuancer nos propos, mais pas d'être précis.

Le fait de ne pas prendre en compte ces paramètres rend l'étude incomplète. Il est alors possible d'identifier des zones pouvant a priori recevoir des boues supplémentaires, mais une étude approfondie serait nécessaire sur des territoires plus restreints, afin de prendre en compte les zones inondables, l'hydromorphie des sols, les distances minimales aux habitations, etc.

5.1.3. Caractérisation des taux de MO dans les sols

a) Le choix de la base de données

Pour obtenir des caractéristiques sur les sols du département, nous disposons de deux bases de données recensant les analyses de sol du département : le RRP, dont la structure est expliquée dans la partie « 3. Méthode » et la BDAT, Base de Données Analyse Terre regroupant par période toutes les analyses de terres en France, permettant d'obtenir pour chaque paramètre (calcaire, argile, limons, MO) la médiane, la moyenne et les quartiles par canton. **Chacune des deux bases de données présente ses avantages et ses inconvénients.**

La BDAT présente l'avantage de regrouper les analyses de terres par période de 4 ans, dont la dernière date de 2005-2009. Les teneurs en matières organiques variant lentement, il aurait été possible de considérer les valeurs de cette période pour l'année 2012. Les limites de la BDAT résident en l'agrégation des données. **Il peut exister une grande diversité de sols au sein d'un même canton et les statistiques peuvent cacher des situations extrêmes.** Certaines zones avec des faibles taux de MO auraient pu ne pas être visibles car la valeur de la médiane du canton aurait été remontée par d'autres sols à fortes teneurs en MO. Les seules données sur lesquelles nous aurions obtenu des résultats proches de la réalité auraient été pour des cantons avec peu de diversité de sols. De plus, nous souhaitons prendre en compte la capacité d'un sol à fixer le carbone en fonction de sa texture. Il aurait été un non-sens agronomique d'étudier ce paramètre avec des données statistiques par canton, mélangeant des sols aux caractéristiques différentes.

Le RRP donne les caractéristiques par types de sols, ce qui permet de prendre en compte la texture et la capacité de fixation du carbone. C'est pour cette raison que nous avons choisi cette base de données pour caractériser les taux de MO dans les sols. En revanche, ayant été établie à l'échelle 1/250 000, il existe de fortes imprécisions. Le minimum requis pour établir une telle carte est d'effectuer un sondage tarière pour 200 à 600 ha et un profil pédologique pour 2000 à 6000 ha. En Alsace, le RRP a obtenu le label de qualité de niveau « Supérieur » avec l'étude d'un profil pédologique pour 600 ha. Malgré un meilleur maillage qu'un référentiel classique, l'étude du profil du sol ou le test tarière peuvent avoir été faits sur des sols non représentatifs de la zone. Ils ont été menés par des pédologues spécialistes de la région mais il existe tout de même des incertitudes. De plus, Les taux de MO dans les sols dépendent en partie du type de sol puisque ce sont les argiles et limons fins qui fixent le mieux le carbone organique. Cependant, ce paramètre est fortement dépendant du mode de gestion à la parcelle. **Extrapoler les taux de MO de quelques points donnés à tout un type de sol est très approximatif.**

La deuxième limite est temporelle. Le RRP a été établie il y a quinze à vingt ans selon les secteurs. Bien qu'il soit actualisé le plus régulièrement possible, les données datent d'une dizaine d'années pour les analyses les plus récentes. Afin de s'assurer de la validité des données du RRP, nous avons à notre disposition trois cartes des teneurs en matières organiques des sols issues de différentes bases de données :

- Le RRP (Cf. Annexe 16)
- La BDAT (Cf. Annexe 17)
- Les analyses de sol effectuées par le laboratoire SADEF entre 2008 et 2014 pour le compte de la Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin²⁶ (cf Annexe 18a et 18b)

On observe sur les trois cartes les mêmes tendances : les sols de Hochfelden jusqu'au Kochersberg, ainsi que les plaines d'Erstein et Obernai ont des teneurs en matières organiques comprises entre 13,1 et 22 ‰. En Alsace Bossue, les teneurs sont plus importantes, autour de 40‰. Le long du Ried, les teneurs sont variables mais assez élevées, de 23 à 42‰.

b) La méthode du déficit de saturation en carbone organique

La méthode de calcul du déficit de saturation en carbone organique est intéressante lorsqu'on souhaite étudier les possibilités d'épandage de compost puisque les sols avec une grande capacité de fixation valorisent bien ce type de produit stabilisé.

Néanmoins elle ne permet pas d'apporter des éléments quant à l'épandage de boues liquides puisque celles-ci participent peu à la formation d'humus et sont utilisées comme fertilisants pour les plantes.

Cette méthode ne permet pas d'évaluer les taux de MO d'un point de vue agronomique. En effet, nous avons vu que la matière organique du sol n'est pas homogène et chaque fraction ayant un rôle bien défini, leur proportion doit être équilibrée pour un bon fonctionnement du sol. La teneur en matières organiques totale n'est donc pas suffisante pour évaluer sa fertilité : elle comptabilise les matières organiques inertes qui ne jouent pas de rôle dans le sol et ne permet pas de conclure quant à l'équilibre des différentes fractions. **Il est seulement possible de dire que les sols dont le déficit est en classe 4 manquent probablement de matières organiques.** Cette extrapolation n'est cependant pas juste pour les sols très argileux : ils ont une telle capacité de fixation que même avec des taux de MO relativement élevés (autour de 3%), on trouve des déficits de saturation très élevés.

5.2. Perspectives

Cette étude de gisement organique dans le Bas-Rhin a été menée régulièrement depuis l'année 2000 et d'autres stagiaires ou membres de la MDMO seront amenés à la refaire les années suivantes. **Faire l'état des lieux des dynamiques de production et d'épandage des PRO sert de fondement et de référence pour une gestion concertée de la filière.** Afin de gagner en temps et en efficacité, il est important de mieux évaluer les données à dispositions avant de tenter de faire des calculs plus précis avec des données difficiles à obtenir. Cette réflexion fait surtout référence aux calculs effectués sur les effluents d'élevage. Les références CORPEN sont très précises et donnent des productions d'azote en fonction du niveau de production de l'animal, de l'orientation de l'exploitation (viande, lait, etc) alors que ces données ne sont pas disponibles dans l'IPG. Cela a été une erreur de vouloir estimer le plus précisément possible les

²⁶ Aujourd'hui Chambre d'Agriculture Région Alsace après fusion avec la Chambre d'Agriculture du Haut-Rhin

quantités produites, ce qui a mené à reporter les imprécisions sur les hypothèses. Pour de prochaines études, je pense qu'il est préférable d'accepter dès le début qu'une étude à une telle échelle ne peut qu'être très globale et peu précise. Ensuite, les difficultés rencontrées pour estimer la gestion des effluents bovins en fumier ou lisier montrent que certaines données telles que le type de logement des animaux, le stockage des effluents et l'alimentation du cheptel n'existent pas à une telle échelle. Les résultats obtenus sur les quantités de matières organiques produites par canton n'ont pas permis d'apporter des éléments supplémentaires et d'éclairer l'analyse. Prendre le temps de compiler sur une base de données les pratiques d'élevage en fonction du secteur serait intéressant pour mieux approfondir l'analyse. Ce type de données aurait sûrement son intérêt pour d'autres travaux.

Cette étude a permis de montrer des zones où il pourrait exister une marge de manœuvre pour mieux valoriser les PRO, que ce soit en qualité ou en quantité. En ce qui concerne les cantons dont la pression d'épandage est faible, plusieurs actions sont à mener pour améliorer la situation. Dans un premier temps, **une analyse plus approfondie sur chaque territoire restreint permettrait de connaître les surfaces qui, d'un point de vue agronomique et règlementaires, sont aptes à recevoir des boues.** Pour cela, il faudrait prendre en compte les paramètres suivants :

- L'assolement : connaître les surfaces en cultures spécialisées donnerait une meilleure indication sur les surfaces disponibles.
- L'aptitude des sols à l'épandage : taux de lessivage, sols filtrants, profondeur du sol, hydromorphie.
- Les installations humaines : les habitations, captages d'eau potable, puits, forages et aqueducs autour desquels une distance minimale d'épandage est à respecter.
- Le climat : le gel, les inondations, fortes pluies et neiges limitent les périodes d'épandage et rendent plus difficile leur gestion.

De plus, à territoire plus restreint, il peut être plus aisé d'obtenir des données sur les caractéristiques des sols et les pratiques des agriculteurs.

Cependant, il est **indispensable d'aborder la problématique d'un point de vue sociologique.** Une enquête sur la perception des boues par les agriculteurs peut s'avérer utile pour identifier les freins et leviers d'action. Ainsi, les producteurs de boues et d'effluents auraient les éléments nécessaires pour adapter leur offre. De son côté, la MDMO pourrait mieux cibler les campagnes de communication sur l'intérêt des boues pour les agriculteurs. Une enquête sur la perception des boues par les utilisateurs de ces PRO a déjà été faite dans le Sud du Bas-Rhin, mais les agriculteurs ne recevant pas de boues n'ont pas été interrogés.

Selon mon point de vue, il revient aux producteurs de boue de faire ces études par leurs prestataires sur leurs périmètres d'épandage, tout en bénéficiant d'un appui de la part de la MDMO. En effet, il me paraît

important de les impliquer afin qu'ils maîtrisent les données de leurs périmètres et qu'ils puissent agir efficacement.

Quant aux secteurs où la pression d'épandage est forte et les taux de MO faibles, la problématique n'est plus de chercher à augmenter en quantité la valorisation des boues, mais d'abord d'identifier les pratiques qui induisent une baisse des teneurs en MO des sols. Il s'agira d'étudier si les pratiques sont issues des éleveurs qui utiliseraient des PRO trop labiles, ou des céréaliers qui ne compenseraient pas leurs exportations. Cette mission de veiller au maintien de la qualité des sols ne relève plus des producteurs de boues mais rentre dans le thème « Concilier la valorisation de la matière organique et la protection des sols et des ressources en eau » de la MDMO, thématique plus large qui prend en compte l'ensemble des PRO. Dans le cadre de ce stage, j'ai eu l'occasion d'étudier la zone du Kochersberg, qui comprend le canton de Truchtersheim et une partie des cantons voisins. La problématique qui a orienté l'étude est la suivante : « Les pratiques des éleveurs du Kochersberg sont-elles susceptibles d'avoir un impact négatif sur les teneurs en matières organiques des sols ? ». Plusieurs systèmes de culture dominants sur ce secteur ont été comparés entre eux. Aujourd'hui il existe des modèles permettant de simuler l'évolution des stocks de carbone dans les sols pour une combinaison « type de sol x système de culture x teneur initiale en carbone ». Le modèle AMG détermine à partir d'une teneur en carbone initiale l'évolution des stocks dans le temps pour un système de culture inchangé et un type de sol donné. Actuellement dans le cadre du projet ABC'Terre²⁷, l'ARAA étudie les combinaisons « type de sol x système de culture x teneur initiale en carbone » susceptibles de favoriser les risques de battance et d'érosion. Pour cela, des simulations d'évolution des stocks de carbone organique ont été faites à l'aide du logiciel SIMEOS-AMG (INRA /Agro-Transfert Ressources et Territoires). Nous avons eu accès aux résultats des combinaisons intéressantes pour notre étude. **Cette étude peut servir de base de réflexion pour améliorer la valorisation des PRO pour une meilleure fertilité des sols.** La méthode et la collecte de données pourront cependant être améliorées dans le futur.

Un exemple de simulations des stocks de carbone organique par SIMEOS est disponible en Annexe 19.

²⁷ Atténuation du Bilan gaz à effet de serre agricole intégrant le Carbone du sol sur un TERRitoirE

En résumé

L'étude réalisée a permis de mettre en évidence les grandes tendances concernant la dynamique de production des PRO et d'utilisation des terres agricoles pour leur épandage. En parallèle, nous avons pu identifier les zones dont les sols présentent de grands déficits de saturation en carbone organique, c'est-à-dire que les PRO riches en carbone seront bien valorisés pour une meilleure fertilité des sols. Le croisement de ces données a permis de montrer la diversité des situations concernant les possibilités d'épandage supplémentaire de boues de stations d'épuration. Cependant, les données accessibles et la méthode utilisée présentent des limites dont il faut avoir connaissance pour utiliser ces résultats de façon adéquate.

Certaines données n'étant pas disponibles, elles ont dû être estimées avec des méthodes plus ou moins fiables suivant les moyens accordés à l'étude et le temps imparti. Cette étude étant réalisée régulièrement depuis l'année 2000, nous cherchons à améliorer les méthodes de calcul afin de préciser les résultats. Dans certains cas, les changements de méthodes ont été judicieux. Dans d'autres cas, ils n'ont pas permis d'améliorer la précision. Certains paramètres n'ont pas pu être pris en compte dans cette étude, mais la synthèse bibliographique permet de nuancer l'analyse des résultats et d'apporter des éléments de réflexion.

Cet état des lieux des dynamiques de production et d'épandage des PRO constitue une base de réflexion pour une gestion concertée de la filière. Afin de mener des actions concrètes, des études plus approfondies doivent être menées par les producteurs de boues afin de déterminer précisément la capacité d'accueil de boues d'épuration par les sols. Les aspects sociaux doivent également être étudiés afin d'identifier les freins et leviers d'actions à l'acceptabilité des boues. Concernant les secteurs où la pression d'épandage est forte et les taux de matières organiques faibles, la problématique n'est plus de chercher à augmenter l'épandage des boues, mais de tenter de mieux valoriser l'ensemble des PRO et d'améliorer les pratiques agricoles pour remonter les stocks d'humus dans les sols.

Conclusion

Les possibilités supplémentaires d'épandage

Cette étude a permis d'avoir une vision d'ensemble de la dynamique de production et d'épandage des PRO dans le département du Bas-Rhin. La caractérisation des taux de matières organiques dans les sols a complété l'étude, permettant de donner des pistes quant à l'augmentation de la valorisation locale des PRO.

Actuellement, 8800 tonnes d'azote organique est produit chaque année, soit 2 500 tonnes de phosphore et 226 100 tonnes de matières organiques. En moyenne, chaque canton produit 240 tonnes d'azote, mais on observe une grande variabilité inter-cantonale avec une concentration de la production au Nord du département. Les effluents d'élevage correspondant à 92% de la production d'azote et étant très majoritairement épandus dans l'exploitation productrice, les cantons soumis à une forte pression d'épandage correspondent généralement à des zones d'élevage. Les cantons moins producteurs et étant soumis à une pression d'épandage moindre sont situés le long du Rhin, zone céréalière, et dans le piémont vosgien, secteur occupé par la vigne et les cultures spécialisées, souvent sans élevage.

La caractérisation des teneurs en MO dans les sols a montré que certains territoires tels que le Kochersberg, malgré des pressions d'épandage élevées, présentaient de grands déficits de saturation en carbone organique. Bien que cet indicateur permette seulement d'évaluer le potentiel du sol à fixer du carbone, un fort déficit sur des sols limoneux est signe de teneurs en matières organiques insuffisantes ou limites pour un bon fonctionnement du sol. Ces zones ont déjà été identifiées comme sensibles à l'érosion par les acteurs locaux, ce qui renforce l'hypothèse que les taux de matières organiques sont probablement trop faibles. Dans ce type de situation, les possibilités d'augmentation des épandages de PRO à action non amendante semblent faibles. Ce constat soulève une nouvelle interrogation concernant la qualité des PRO épandus et les autres pratiques agricoles qui pourraient être responsables de ces faibles teneurs. La MDMO, en plus de donner un avis d'expert sur le respect de la réglementation lors des épandages, a aussi pour mission de préserver les taux de matières organiques dans les sols. La question d'une meilleure valorisation des PRO pour préserver la qualité des sols sur cette zone entre dans ses domaines d'action.

Les territoires le long du Rhin ont des sols dont le potentiel de fixation du carbone est faible car certains de ses sols sont anciennement marécageux. Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de possibilité d'épandage mais que des PRO stables ne seraient probablement pas bien humifiés et fixés au sol. Quant à l'épandage de PRO plus labiles pour fertiliser les plantes ou améliorer la fertilité biologique des sols, d'autres éléments seraient à prendre en compte pour conclure sur des possibilités d'épandage. En effet, cette région est inondable avec des sols hydromorphes, facteur limitant la capacité de dégradation de la matière organique, et la saison de fonctionnement du sol est courte.

Le territoire du vignoble du Sud montre des pressions d'épandage faibles à moyennes et des sols aux déficits de saturation en carbone assez élevés. Ce secteur étant plutôt orienté vers la vigne et les cultures spécialisées, les possibilités d'épandage ne sont peut être pas si importantes.

Enfin, d'autres cantons ont une pression d'épandage forte et ces apports de matières organiques semblent suffisants pour maintenir des taux intéressants dans les sols. Ce sont généralement les zones d'élevages extensifs avec beaucoup de prairies et des systèmes en fumier, comme à l'extrême Ouest du Bas-Rhin.

Perspectives

Il n'est pas possible de conclure définitivement sur les possibilités d'épandage supplémentaires dans le Bas-Rhin car un trop grand nombre de paramètres n'ont pas pu être pris en compte. Des études approfondies sur des zones plus restreintes doivent être menées sur les zones d'intérêt, prenant en compte tous les paramètres négligés dans cette étude. Il faudrait notamment considérer l'assolement, l'adaptabilité des sols à l'épandage et les contraintes réglementaires telles que les périmètres de protection de captages d'eau potable. D'autres paramètres plus difficiles à évaluer sont les aspects sociologiques, dont l'acceptabilité des boues par les agriculteurs, les acteurs de toute la filière agricole et le grand public. Ce type d'étude permettrait d'identifier les freins à la valorisation locale des boues et de réfléchir à des leviers d'action.

Cette étude a identifié des zones pour lesquelles il serait intéressant d'approfondir l'analyse en considérant plus de paramètres. Le rôle de la MDMO étant de coordonner la filière d'épandage des boues dans le département, une des actions à mener pourrait consister en une campagne de communication sur l'importance de la valorisation locale des boues. L'objectif serait d'inciter les producteurs de boues à mener ces études de valorisation du gisement organique sur leurs périmètres et de les accompagner dans cette démarche.

Concernant la communication auprès des agriculteurs, il pourrait être intéressant pour les producteurs de boues souhaitant mieux valoriser leurs déchets localement de mener des enquêtes sur leurs périmètres afin d'identifier les freins à l'acceptabilité des boues. Ainsi, ils pourraient mieux adapter leur offre en fonction des besoins et mieux communiquer sur l'intérêt de l'épandage des boues auprès des agriculteurs.

Bibliographie

ADEME. L'assainissement: l'origine des boues d'épuration. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/pages/chap1.htm> [Consulté le 25 mars 2014].

ADEME. Méthanisation - L'essentiel. [en ligne]. Disponible sur : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15555> [Consulté le 17 juin 2014].

ADEUS. Référentiel paysager du Bas-Rhin - Secteur grand Ried. S.l. : 2007, 93 p.

ADEUS. Référentiel paysager du Bas-Rhin - Secteur Kochersberg. S.l. : 2009a, 86 p.

ADEUS. Référentiel paysager du Bas-Rhin - Secteur Ried Nord. S.l. : 2009b, 109 p.

ADEUS. Référentiel paysager du Bas-Rhin - Secteur Vosges. S.l. : 2013, 12 p.

ADEUS. Référentiel paysager du Bas-Rhin - Secteur Piémont du Nord et Outre-Forêt. S.l. : 2012, 16 p.

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE. Synthèse du 10ème Programme de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse 2013 - 2018. S.l. : 2013, 8 p.

ANGERS DA, ARROUAYS D, SABY N, WALTER C. Estimating and mapping the carbon saturation deficit of French agricultural topsoil. *Soil and Use Management*, 2011, n° 27, pp. 448-452.

BARBOT C, 2014, Communication personnelle.

BARBOT Christophe. Le compostage. Journée de Formation. Strasbourg, 2013.

BARBOT Christophe, SAUTER Joëlle. Bien utiliser les matières organiques en viticulture. 1998, 16p.

BODET Jean-Marie, HACALA Sylvie, AUBERT Claude, TEXIER Claude. Fertiliser avec les engrais de ferme. S.l. : s.n., 2001, 104 p. . ISBN 2.86492.441.2.

BODET Cécile. Analyse des besoins des acteurs du terrain sur l'acquisition de nouvelles références sur les effets agronomiques et environnementaux sur l'épandage des produits résiduels organiques. MFE. Angers : ESA, 2013, 72 p.

CHAMBRE AGRICULTURE RÉGION ALSACE. L'Agriculture alsacienne - ses régions naturelles. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.alsace.chambagri.fr/menu-horizontal/agrialsace/ses-contours.html> [Consulté le 5 juin 2014].

CHAMBRE AGRICULTURE RÉGION ALSACE. Les grands enjeux de l'Agriculture Régionale. S.l., 2012.

CHAMBRES D'AGRICULTURE. Chambres d'agriculture : Notre réseau. [en ligne].

Disponible sur : <http://www.chambres-agriculture.fr/grands-contextes/chambres-dagriculture/notre-reseau/#c319> [Consulté le 21 juillet 2014].

COMMISSION EUROPÉENNE. Décision de la Commission du 3 mai 2000 remplaçant la décision 94/3/CE établissant une liste de déchets en application de l'article 1er, point a), de la directive 75/442/CEE du Conseil relative aux déchets et la décision 94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux en application de l'article 1er, paragraphe 4, de la directive 91/689/CEE du Conseil relative aux déchets dangereux. Journal Officiel des Communautés Européennes , 2000/532/CE, 3 mai 2000.

CONSEIL GÉNÉRAL DU BAS-RHIN. Schéma départemental d'élimination des boues d'épuration. S.l. : 2008, 22 p.

CORPEN. Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites. S.l. : s.n., 2003,

CORPEN. Estimation des rejets d' azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre, zinc par les élevages avicoles. S.l. : 2006, 55 p.

DICTIONNAIRE DE L'ENVIRONNEMENT. Boue de station d'épuration. [en ligne]. Disponible sur : http://www.dictionnaire-environnement.com/boue_de_station_epuration_ID228.html [Consulté le 7 mai 2014].

DIRECTION DÉPARTEMENTALE DES AFFAIRES SANITAIRES ET SOCIALES DU BAS-RHIN. Règlement sanitaire départemental. D2248/848, janvier 2011.

DREAL ALSACE. Profil environnemental de l'Alsace - Géographie et climat. [en ligne]. Disponible sur : http://www.per.alsace.developpement-durable.gouv.fr/accueil/contexte_et_dynamiques_regionales/geographie_et_climat [Consulté le 21 juillet 2014].

DUPARQUE Annie, TOMIS Vincent, DESHEULLES Florine, AGRO-TRANSFERT Ressources et Territoires. Gérer l'état organique des sols dans les exploitations agricoles - les bases de connaissances. Estrées-Mons : Agro-Transfert Ressources et Territoires, 2011, 130 p.

GINTZ Christophe. Méthanisation et digestats. Biomasse énergie: des sources de matières fertilisantes. Rencontres professionnelles. Bas-Rhin, 9 décembre 2013.

HUBER Gerald, SCHAUB Christiane. La fertilité des sols: l'importance de la matière organique. S.l. : Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin, 2011, 42 p.

INSEE. Définitions et méthodes - Terres labourables. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/terres-labourables.htm> [Consulté le 22 avril 2014].

LABOUBÉE Céline. Retour au sol des matières organiques nécessaire à leur maintien en état en sols agricoles. [en ligne]. S.l. : Arvalis, 2007, 47 p. Disponible sur : www.biomasse-info-energie.fr [Consulté le 5 mars 2014].

LÉGIFRANCE. Article L425-1. Code des assurances, 2006-1772, 31 décembre 2006.

LEVASSEUR Pascal. Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement. S.l. : Institut Technique du Porc, 2005, 67 p. . ISBN 2-85969-173-1.

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT. Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. JORF, 31 janvier 1998. 1563p.

MINISTRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT. Arrêté du 17 août 1998 modifiant l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation. [en ligne]. 17 août 1998. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000005626946> [Consulté le 20 juin 2014].

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT. Décret no 2001-34 du 10 janvier 2001 relatif aux programmes d'action à mettre en oeuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. [en ligne] Journal Officiel, 73, 10 janvier 2001, 655p. [Consulté le 25 juillet 2014]

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT. Les élevages ICPE - les épandages des effluents d'élevage. [en ligne]. Les mardis de la DGPR. Paris, 10 avril 2012. Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/4-BBA_MARDI_DGPR_EPANDAGE.pdf [Consulté le 18 juin 2014].

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PÊCHE, DE LA RURALITÉ ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE. Arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en œuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. Journal officiel, 0295 , 21 décembre 2011. 21556p.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE. Arrêté du 23 octobre 2013 modifiant l'arrêté du 19 décembre 2011 relatif au programme d'actions national à mettre en oeuvre dans les zones vulnérables afin de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. Journal Officiel , 31 octobre 2013.

MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION. Arrêté du 18 mars 2004 portant sur la mise en application obligatoire d'une norme. NOR: AGRG0302048A, 18 mars 2004.

PARTY Jean-Paul, MULLER Nicolas. Guide des sols Outre-forêt. 1ed. Rosheim : Imprimerie Kocher, 2005, 254 p. (Guide des sols d'Alsace, 1).

PRÉFECTURE DU BAS-RHIN. Règlement Sanitaire Départemental. janvier 2001. 12p.

SALDUCCI Xavier. Les matières organiques: Energie solaire des sols. S.l., 2009.

SPANO Patricia. Mission Déchets et Matières Organiques. Rapport d'activité. S.l. : 2012, 11

p.

VEIT Céline. Epandages agricoles des boues d'épuration. Cours. Strasbourg, décembre 2013.

VEIT Céline. Les sous-produits et déchets organiques dans le Bas-Rhin. Strasbourg :
Chambre
d'Agriculture du Bas-Rhin, 2008, 41 p.

VIAN Jean-François. Les matières organiques des sols : rôles et fonctionnement en agriculture
- influence des apports de MO sur les propriétés des sols cultivés. Rappel fonctionnement du
sol. Cours. Lyon, 2013.

WOLFF Virginie, MULLER Jonathan. Etat des lieux des gisements et de la gestion de la
matière organique en Alsace, perspectives de développement des installations de production
de biogaz. S.l. : 2013, 167 p.

Figures et tableaux

Figure 1 : Les régions naturelles d'Alsace (Veit, 2008)	7
Figure 2 : "Schéma des différentes catégories de matières organiques des sols" (Duparque et al, 2011)..	18
Figure 3: Part de chaque PRO dans la production d'azote, phosphore et matières organiques dans le Bas-Rhin (2012)	31
Figure 4 : Evolution de la production de boues d'épuration urbaines de Strasbourg, hors filière d'incinération (en tonnes de matières sèches).....	33
Figure 5 : Evolution de la production de boues d'épuration urbaines du Bas-Rhin, hors STEP de Strasbourg (en tMS)	33
Figure 6 : Evolution des productions de boues et effluents industriels entre 2000 et 2012 (en tMS)	34
Figure 7 : Part de chaque débouché de boues de stations d'épuration urbaines et industrielles, 2012 (part rapport à la matière sèche).....	35
Figure 8 : Carte de la répartition de la production d'azote organique destiné à être épandu selon son origine (Bas-Rhin).....	36
Figure 9 : Pourcentage des terres labourables utilisées annuellement pour l'épandage des PRO (Bas-Rhin)	39
Figure 10 : Carte du Déficit de saturation des sols du Bas-Rhin en carbone organique	42
Tableau 1: Classes de déficit	29
Tableau 2 : Extrait de la base de données BDSols	29
Tableau 3 : Extrait du tableau des classes de déficit	29
Tableau 4 : Extrait du tableur de calcul.....	30
Tableau 5: Evolution des effectifs animaux depuis 2000 (têtes). Source : Agreste, Statistiques agricoles annuelles (extraction base de données DISAR)	32

Annexes

Annexe 1: Liste non exhaustive des textes règlementaires sur les PRO	61
Annexe 2 : Données CORPEN utilisées pour le calcul de la production d'azote et de phosphore par les animaux d'élevage	64
Annexe 3 : Azote produit par VL pour chaque canton.....	66
Annexe 4 : hypothèses retenues sur la répartition des exploitations en système fumier et lisier des bovins	67
Annexe 5 : Données utilisées et calculs pour la production de matière organique par animal par an.....	68
Annexe 6 : Les méthodes de caractérisation des matières organiques dans les sols	71
Annexe 7 : Tableau récapitulatif de la production d'azote organique destiné à être épandu par canton (en tonnes)	74
Annexe 8 : Tableau récapitulatif de la production de phosphore destiné à être épandu par canton (en tonnes)	75
Annexe 9 : tableau récapitulatif de la production de matière organique destinée à être épandue par canton (en tonnes)	76
Annexe 10 : tableau récapitulatif de la pression d'épandage par canton	77
Annexe 11 : Répartition de la production de phosphore par les PRO.....	78
Annexe 12 : Répartition de la production de matières organiques.....	80
Annexe 13: Carte des cantons du Bas-Rhin	82
Annexe 14 : Carte de la pression d'épandage calculée par rapport à la SAU	83
Annexe 15 : Carte représentant le % de surface dont le DéficitC est supérieur à 13,24 g/kg	84
Annexe 16 : Carte des teneurs en matières organiques (RRP)	85
Annexe 17 : Carte des teneurs en MO dans le Bas-Rhin (BDAT).....	86
Annexe 18 a : Cartes des classes des teneurs en MO du Bas-Rhin par période, moyennes par commune (analyses SADEF)	87
Annexe 18 b : Données statistiques des teneurs en matières organiques par canton à partir des analyses SADEF	
Annexe 19 : Exemple d'une simulation des stocks de carbone organique avec SIMEOS-AMG.....	91

Annexe 1: Liste non exhaustive des textes réglementaires sur les PRO

Echelle	Thèmes	types	Date	Texte applicable et contenu
National	Boues et déchets - fonds de garantie	Code des assurances	8 juin 2012	Article L425-1 du code des assurances : fonds de garantie des risques liés à l'épandage agricole des boues de STEP
National	Boues et déchets - fonds de garantie	Décret	18 mai 2009	Décret n° 2009-550 du 18 mai 2009 relatif à l'indemnisation des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines ou industrielles
UE	Boues et déchets - épandage	Directive	4 juillet 1986	Directive 86/278/CEE du 12 juin 1986 : directive boue
UE	Boues et déchets - épandage	Directive	22 décembre 2000	Directive cadre sur l'eau = 2000/60/CE Les épandages de boues ne doivent pas avoir de répercussions négatives sur la qualité des eaux
National	Boues et déchets - épandage	Circulaire	18 avril 2005	Epannage agricole des boues : recommandation sur respect réglementation. S'adresse aux préfets.
National	Boues et déchets - épandage	Code de l'environnement		article R211 25 à R211-47 : épandage boues STEP
National	Boues et déchets - épandage	Décret	8 décembre 1997	décret épandage boues
National	Boues et déchets - épandage	Arrêté	18 janvier 1998	arrêté épandage des boues urbaines
	Boues et déchets - épandage	Arrêté	2 février 1998	arrêté épandage des boues industrielles
	Boues et déchets - épandage	Arrêté	3 avril 2000	arrêté épandage des boues papetières
National	Boues et déchets - épandage	Arrêté	17 août 1998	Arrêté modifiant l'arrêté du 2 fév 1998 : définition épandage ; écoconditionnalités aides PAC
Bas-Rhin	Boues et déchets - épandage	Plan Départemental d'Elimination des Déchets Ménagers et Assimilés	"2002"	Particularités dans le Bas-Rhin sur l'épandage des boues de STEP

Echelle	Thèmes	types	Date	Texte applicable et contenu
UE	Déchets	Directives	22 novembre 2008	Directive n°2008/98/CE = Directive Cadre Déchets. boues considérées comme des déchets
UE	Déchets	Décision de la commission	3 mai 2000	Liste de déchets : Rubrique n° 19 08 05 « boues provenant du traitement des eaux usées urbaines »
?	Déchets	Loi de programmation grenelle de l'environnement	5 août 2009	valorisation des déchets, augmentation du recyclage
UE	Epandage engrais minéraux et organiques	Directive	31 décembre 1991	Directive Nitrate
National	Epandage engrais minéraux et organiques	Code de l'environnement		Articles R 211-80 à R211 - 83: transcription de la partie de la directive nitrate concernant l'épandage d'engrais et amendements
National	Epandage engrais minéraux et organiques	Arrêté	21 décembre 2011	relatif au programme d'action pollution eaux nitrates. Vient préciser l'article R211-81-1
Préfecture	Epandage engrais minéraux et organiques	Arrêté	"2009"	arrêté préfectoral relatif au 4e programme d'action de la Directive Nitrate
National	Compost - Matières fertilisantes et amendantes	Arrêté	21 décembre 1998	Arrêté du relatif à l'homologation des matières fertilisantes et des supports de culture
National	Compost - Matières fertilisantes et amendantes	Code rural		article L 255 - 1 : définition matière fertilisante
National	Compost - Matières fertilisantes et amendantes	Arrêté	21 août 2007	Arrêté du portant mise en application obligatoire d'une norme : norme NFU 55 051 est d'application obligatoire
National	Compost - Matières fertilisantes et amendantes	Norme		Norme NFU 44 051

Echelle	Thèmes	types	Date	Texte applicable et contenu
National	Compost - Matières fertilisantes et amendantes	Arrêté	18 mars 2004	Arrêté portant sur la mise en application obligatoire d'une norme : NFU 44-095 + sur vérifications auxquelles doit procéder le responsable de la mise sur le marché des MF répondant à NFU 44 095
National	Compost - Matières fertilisantes et amendantes	Norme		norme NFU 44 095
National	Mission service public	Code Général des Collectivités Territoriales		Article 2224 8 : responsabilité des communes
National	Santé	Code Santé Publique		Article L1331-10 du CSP (Code de la Santé Publique) : Tout déversement d'eaux usées autres que domestiques dans le réseau public de collecte doit être préalablement autorisé par le maire
UE	Traitement des boues	Directive	30 mai 1991	dir n°91/271/CEE du E32 du 21/05/1991 : traitement des eaux résiduaires urbains. rejet boues soumis à enregistrement et autorisation

Annexe 2 : Données CORPEN utilisées pour le calcul de la production d'azote et de phosphore par les animaux d'élevage

1. Bovins, ovins, caprins :

Type d'animal	Quantité d'azote produit (kg/animal/an)	Quantité de phosphore produit (kg/animal/an)
Bovin Mâle 0-1 an	24	6
Bovin Mâle 1-2 ans	41,5	11
Bovin Mâle > 2 ans	73	15
Génisse 0-1 an	25	3
Génisse 1-2 ans	42,5	8
Génisse > 2 ans	54	11
Vache allaitante	68	17
Vache laitière	Voir tableau suivant	17
Brebis	10	3
Agnelle	5	1
Chèvre	10	3
Chevrette	5	1

(Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2013)

- Vaches laitières :

*Production d'azote épandable par les vaches laitières
(kg d'azote/an/animal présent)*

TEMPS PASSÉ à l'extérieur des bâtiments	PRODUCTION LAITIÈRE (kg lait/vache/an)		
	< 6 000 kg	6 000 à 8 000 kg	> 8 000 kg
< 4 mois	75	83	91
4 à 7 mois	92	101 (*)	111 (*)
> 7 mois	104 (*)	115 (*)	126 (*)

(*) Pour la période du 1^{er} septembre 2012 au 31 août 2013, une valeur de 95 kg d'azote/an/vache s'applique aux élevages ayant plus de 75 % de surface en herbe dans la surface fourragère principale.

(Ministère de l'écologie, 2011)

2. Porcins (Corpen, 2003)

a. Lisier/caillebotis :

	Azote (kg)	Phosphore (kg)
Truies présentes	16	12,5

Porcelets post sevrage produits	0,42	0,28
Porcs charcutiers produits	2,975	1,775

b. Litière accumulée :

	Azote (kg)	Phosphore (kg)
Truies présentes	13,05	13,15
Porcelets post sevrage produits	0,3	0,29
Porcs charcutiers produits	2,13	1,92

3. Volailles (CORPEN, 2006)

	N produit en g/an/animal	P produit en g/an/animal
Poules pondeuses (œuf conso)	713	307
Poules pondeuses (œuf à couvrir)	1068	591
Poulettes	136	68
Poulet de chair et coq	51	25
Dindes et dindons	381	238
Oies à rôtir, gaver	336	174
Canard à rôtir	179	107
Canard à gaver	47	55
Pintades	87	52
Pigeons, cailles	25	13

Annexe 3 : Azote produit par VL pour chaque canton

Pour chaque exploitation au contrôle laitier, nous avons les données concernant le temps passé à l'extérieur du bâtiment et la production laitière annuelle. Pour chaque exploitation, nous avons donc associé la donnée CORPEN correspondante (voir tableau Annexe 2). Nous avons calculé la moyenne des données CORPEN par canton et obtenu les résultats suivants :

Canton	N produit par VL (kg/animal/an)
Barr	91
Benfeld	91
Bischwiller	91
Bouxwiller	91
Brumath	91
Drulingen	97
Erstein	91
Geispolsheim	91
Haguenau	88
Hochfelden	88
Illkirch	88
La Petite Pierre	91
Lauterbourg	91
Marckolsheim	91
Marmoutier	88
Molsheim	84,5
Mundolsheim	91
Niederbronn-les-Bains	89
Obernai	91
Rosheim	91
Saales	104
Sarre-Union	99
Saverne	93
Schirmeck	91
Sélestat	91
Seltz	88
Soultz-sous-forêt	89
Truchtersheim	91
Villé	104
Wasselonne	87
Wissembourg	88
Woerth	83

Annexe 4 : hypothèses retenues sur la répartition des exploitations en système fumier et lisier des bovins

Région agricole	Canton	% fumier	% lisier
Nord - Plaine rhénane	Lauterbourg	50	50
Nord - Plaine rhénane	Seltz	50	50
Nord - Plaine rhénane	Bischwiller	50	50
Nord - Plaine rhénane	Brumath	50	50
Nord - Piémont vosgien	Soultz-sous-forêt	50	50
Nord - Piémont vosgien	Woerth	50	50
Nord - Piémont vosgien	Haguenau	50	50
Nord - Piémont vosgien	Wissembourg	50	50
Kocherberg	Truchtersheim	33	66
Kocherberg	Marmoutier	33	66
Kocherberg	Wasselonne	33	66
Kochersberg	Molsheim	33	66
Deux Pays - Alsace bossue	Sarre-Union	85	15
Deux Pays - Alsace bossue	Drulingen	85	15
Deux Pays - Alsace bossue	La Petite Pierre	85	15
Deux Pays - Alsace bossue	Bouxwiller	85	15
Deux Pays - Alsace bossue	Niederbronn	85	15
Deux Pays - Pays de Hanau	Hochfelden	70	30
Deux Pays - Pays de Hanau	Saverne	70	30
Plaine de l'Ill	Illkirch	20	80
Plaine de l'Ill	Geispolsheim	20	80
Plaine de l'Ill	Erstein	20	80
Plaine de l'Ill	Obernai	20	80
Plaine de l'Ill	Benfeld	20	80
Plaine de l'Ill	Marckolsheim	20	80
Plaine de l'Ill	Sélestat	20	80
Haute Vosges	Saales	90	10
Haute Vosges	Villé	90	10
Haute Vosges	Schirmeck	90	10
Vignoble	Barr	90	10
Vignoble	Rosheim	90	10

Annexe 5 : Données utilisées et calculs pour la production de matière organique par animal par an

1. Bovins

a) Fumier bovin

Pour calculer la production de MO par les bovins en systèmes fumiers, nous avons fait le calcul suivant :
 $\text{nb UGB} \times \text{Quantité de fumier produite} \times \text{teneur en MO}$

Avec :

	Donnée	Source
Quantité de fumier produite	15 tMB/fumier/an	Veit, 2008
Teneur en MO du fumier	190,5 kgMO/tMB	Analyses effluents du 67 par la CARA

Les UGB ont été calculés à partir des effectifs obtenus par l'IPG.

b) Lisier bovin

Quantité de lisier par UGB/an = $(\text{nb UGB} \times \text{Quantité N produite par UGB par an}) / \text{teneur en N du lisier (kg/tMB)}$

Quantité de MO produite par les bovins en système lisier = $\text{Quantité de lisier par UGB/an} \times \text{teneur en MO du lisier}$

Avec :

	Donnée	Source
Quantité N produite par UGB	85 kg/UGB	Veit, 2008
Teneur en N du lisier	2,73 kg/tMB	Analyses effluents du 67 par la CARA
Teneur en MO du lisier	56,53 kg/tMB	Analyses effluents du 67 par la CARA

2. Ovins et Caprins (Bodet et al, 2001)

	Fumier produit par animal en t/an	Teneur en MO en kg/tonne
Agnelle	0,7	230
Brebis	1,4	230
Chevrette	0,7	360
Chèvre	1,4	360

3. Porcins

a) Quantités de lisier et fumiers produits

- Truies gestantes

	Lisier	Fumier	Source
Caillebotis	18,9kg/truie/jour		Levasseur, 2005
Litière raclée		Pas de truies en litière raclées	
Litière accumulées		150 kg/mois/truie	Bodet et al, 2001

- Truies allaitantes

	Lisier	Fumier	Source
Caillebotis	25,5 kg/truie/jour		Levasseur, 2005
Litière raclée		Pas de truies en litière raclées	
Litière accumulées		Pas de données -> données gestantes	

- Porcelets

	Fumier	Lisier	Source
Caillebotis	1,7 kg/jour/porcelet		Levasseur, 2005
Litière raclée		0,18 m ² de stockage/6mois, pour une fumière de 1,5m	Tableau DEXEL PMPOA mises aux normes de stockage
Litière accumulées		Pas de litière accumulée pour porcelets	

- Porcs

	Fumier	Lisier	Source
Caillebotis	4,1kg/porc/jour.		Levasseur, 2005
Litière raclée		Pour une durée de stockag de 6 mois, 0,25 m ² de fumière (hauteur 1,5m)	Tableau DEXEL PMPOA mises aux normes de stockage
Litière accumulées	240kg/porc produit		Levasseur, 2005

b) Teneur des fumiers et lisier en MO (Levasseur, 2005)

- Truies gestantes :

	MO en kg/t de MB
Lisier	11,7
Litière raclée	Pas de truies en litière raclées
Litière accumulées	291

- Fumiers de Truies allaitantes

	MO en kg/tMB
Caillebotis	16,9

Litière raclée	Pas de truies en litière raclées
Litière accumulées	291

- Porcelets

	MO en kg/tMB
Caillebotis	49,2
Litière raclée	287
Litière accumulées	Pas de porcelets en litière raclée

- Porcs

	MO en kg/tMB
Caillebotis	45,9
Litière raclée	236
Litière accumulées	236

4. Volailles

Quantité de MO produite par les fientes = (effectif catégorie volaille x N produit par an par volaille) / N contenu dans les fientes

Teneur en N des fientes	24,6 kg/tMB
Teneur en MO des fientes	466,36 kg/tMB

Source : Analyses effluents du 67 par la CARA

Annexe 6 : Les méthodes de caractérisation des matières organiques dans les sols

1. Indicateurs par rapport à une propriété du sol
 - a) Indice de stabilité structurale (Rémy Marin Laflèche)

Principe : L'indice de stabilité structurale prend en compte la présence d'argile, de limons fins, de limons grossiers, de matières organiques ainsi que le pH pour évaluer la cohésion des agrégats du sol et sa capacité à résister après une perturbation. On attribue ensuite une classe d'appréciation de la teneur en matière organique telle que « faible », « satisfaisante », « élevée » suivant la valeur de l'indice (Party, 2004).

Calcul :

$$R = ((1,5 Lf + 0,75 Lg)/(A + 10 MO)) - C$$

Avec :

Lf : limons fins

Lg : limons grossiers

A : argile

MO : matières organiques

C est un coefficient utilisé dans le cas des sols calcaires avec $C = 0,2 \times (\text{pH}-7)$

Classes :

Classe 1 : $R < 1,4$ stabilité structurale très faible

Classe 2 : $1,4 < R < 1,6$ faible

Classe 3 : $1,6 < R < 2$ satisfaisante

Classe 4 : $1,8 < R < 2$ élevée

Classe 5 : $2 < R$ très élevée

(Party et Muller, 2005)

Avantages :

- Vision d'ensemble de la fertilité physique du sol car la stabilité structurale influe sur la sensibilité à la battance, la prise en masse et au tassement et donc indirectement sur le ruissellement, l'érosion, la germination, la levée et la praticabilité (Duparque et al, 2007).
- Adapté aux sols de l'Aisne, il peut être utilisé pour les sols limoneux d'Alsace.

Inconvénients : Il ne prend pas en compte la fertilité chimique et biologique du sol

- b) Diamètre moyen pondéré MWD

Principe : Cette méthode consiste à exercer des perturbations sur des agrégats puis à mesurer leur taille après perturbations. Plus les agrégats sont de grande taille à la sortie du test, plus le diamètre est grand et plus la structure du sol est qualifiée de stable (Véri, 2007). De ces tests, en sont ressorti des corrélations et formules, ce qui rend possible l'estimation du MWD à partir des teneurs en argile et carbone.

Calcul :

$$\text{MWD} = 0,34 \text{ carbone} + 0,008 \text{ Argile} + \text{Coeff culture}$$

$$R^2 = 0,87$$

Coeff culture :

- Prairie/forêt : + 3,34
 - Culture = - 0,17
- (Duparque, 2011)

Avantages :

- Vision d'ensemble de la fertilité physique du sol car la stabilité structurale influe sur la sensibilité à la battance, la prise en masse et au tassement et donc indirectement sur le ruissellement, l'érosion, la germination, la levée et la praticabilité (Duparque et al, 2007).
- Adapté aux sols de l'Aisne, il peut être utilisé pour les sols limoneux d'Alsace.
- Cette méthode est fiable car elle bénéficie depuis 2005 d'une norme afnor.

Inconvénients :

- Il ne prend pas en compte la fertilité chimique et biologique du sol
2. Les indicateurs et méthodes de détermination de seuils prenant en compte toutes les fonctionnalités du sol
 - a) Calcul du déficit de saturation en carbone organique

Principe :

Le concept de déficit de saturation des sols part du principe que la quantité de carbone organique stable est limitée et déterminée par la quantité de particules fines du sol, à savoir les limons fins et l'argile. Le modèle calcule à partir des caractéristiques du sol la différence entre la quantité maximale de carbone que ce sol peut fixer et la quantité réelle présente dans le sol. Cette différence correspond au déficit de saturation des sols en carbone et peut représenter le potentiel de séquestration du carbone.

Calcul :

Déficit de saturation du carbone organique = $C_{sat} - SSOC$
Avec $C_{sar} = 4,09 + 0,37$ (Argile + limons fins) et $SSOC =$ carbone mesuré
(Angers et al, 2011)

Avantages :

- Permet d'évaluer l'importance du déficit de carbone et donc de hiérarchiser les sols entre eux, du plus déficitaire au moins déficitaire en carbone organique.
- Indicateur global qui ne raisonne pas en fonction d'un seul critère.

Inconvénients : Ne permet pas de qualifier de « faibles » ou « élevés » les taux de MO dans les sols.

- b) Détermination de seuils à dire d'experts

Principe : Pour un critère et un type de sol donnés, chaque expert trace une courbe faisant le lien entre les taux de MO et la qualité du sol vis-à-vis du critère en question. La démarche est à renouveler pour tous les critères et types de sols. Les données sont ensuite agrégées et on peut choisir, de façon arbitraire, la courbe moyenne ou la courbe la plus faible (Laboubée, 2007).

Avantage : Méthode qui peut contourner l'aspect simplificateur des modèles lorsqu'elle est menée avec des spécialistes des sols et de la zone

Inconvénient :

- Très difficile à mettre en place lorsqu'on veut traiter un très grand nombre de critères et de types de sols
- Grande part de subjectivité : nécessite un grand nombre d'experts pour se rapprocher d'une appréciation objective

Annexe 7 : Tableau récapitulatif de la production d'azote organique destiné à être épandu par canton (en tonnes)

Canton	Bovins	Porcins	Avicoles	Ovins	Caprins	Total effluents élevage	boues urbaines	Boues industrielles	Total boues	Compost de DV	Compost FFOM*	Total compost DV et FFOM*	TOTAL
Barr	45	0	1	2	0	49	0	0	0	0		0	49
Benfeld	177	82	79	5	0	343	13	0	13	0		0	356
Bischheim			0	0	0	0	0	0	0			0	0
Bischwiller	102	0	6	4	4	116	43	0	43	16		16	175
Bouxwiller	305	42	56	18	1	422	21	0	21	29		29	472
Brumath	193	0	4	12	0	210	27	12	39	0		0	249
Drillingen	539	0	2	35	1	577	8	0	8	0		0	585
Erstein	88	0	18	15	0	121	27	0	27	0		0	149
Geispolsheim	80	0	3	3	0	85	29	0	29	22		22	137
Haguenau	248	16	16	7	0	287	0	1	1	0		0	287
Hochfelden	559	13	81	16	0	668	9	11	20	0		0	688
Illkirch	5	0	6	0	1	12	0	0	0			0	12
La Petite Pierre	112	0	1	5	1	119	5	0	5	0		0	125
Lauterbourg	26		21	1	0	48	8	0	8	0		0	57
Marckolsheim	357	34	39	2	0	432	4	13	17	0		0	450
Marmoutier	353	21	6	10	0	390	5	0	5	0		0	395
Molsheim	167	0	2	3	0	172	22	8	31	0		0	202
Mundolsheim	26	10	1	2	0	38	0	0	0	36		36	74
Niederbronn-les-Bain	266	0	17	56	1	339	19	0	19	0		0	358
Obernal	41	2	2	2	1	48	12	59	71	0		0	119
Rosheim	32	0	5	6	3	45	8	0	8	0		0	53
Saales	49	0	0	2	1	52	0	0	0	0		0	52
Sarre-Union	629	0	5	20	1	655	6	2	7	0		0	662
Saverne	254	53	21	7	0	335	7	0	7	16		16	358
Schiltigheim			0	0	0	0	0	0	0			0	0
Schirmeck	28	0	0	3	3	34	0	0	0	0		0	34
Sélestat	90	0	28	16	0	134	20	0	20	0	90	90	243
Seltz	70	68	20	3	0	161	27	94	120	0		0	281
Soultz-sous-forêt	241	26	16	56	91	430	13	0	13	0		0	443
Strasbourg		0	0	0	0	0	0	4	4	8		8	12
Truchtersheim	290	142	568	6	0	1006	13	0	13	0		0	1020
Villé	66	0	1	19	3	88	0	0	0	0		0	88
Wasselonne	145	0	1	7	5	158	1	0	1	0		0	159
Wissembourg	112	19	2	9	3	145	12	0	12	0		0	156
Woerth	158	0	95	31	1	285	8	0	8	0		0	293

Annexe 8 : Tableau récapitulatif de la production de phosphore destiné à être épandu par canton (en tonnes)

Canton	Bovins	Porchins	Avicoles	Ovins	Caprins	Total effluents élevage	boues urbaines	Boues industrielles	Total boues	Compost de DV	Compost FFOM*	Total compost DV et FFOM*	TOTAL
Barr	7	0	1	1	0	8			0	0		0	8
Benfeld	35	52	34	1	0	123	12		12	0		0	135
Bischheim			0	0	0	0			0	0		0	0
Bischwiller	29	0	3	1	1	34	44		44	8		8	86
Bouxwiller	60	26	24	5	0	116	20		20	12		12	148
Brunath	38	0	2	3	0	44	31	5	36	0		0	79
Drulingen	107	0	1	9	0	117	5		5	0		0	123
Erstein	16	0	8	4	0	28	26		26	0		0	54
Geispolsheim	16	0	1	1	0	19	23		23	27		27	69
Haguenau	48	11	7	2	0	69		0	0	0		0	69
Hochfelden	100	9	35	4	0	148	8	8	16	0		0	164
Illkirch	1	0	2	0	0	4			0			0	4
La Petite Pierre	23	0	0	1	0	25	8		8	0		0	33
Lauterbourg	6		9	0	0	15	8		8	0		0	23
Marckolsheim	75	21	17	0	0	114	5	11	16	0		0	130
Marmoutier	71	14	3	3	0	90	3		3	0		0	93
Molsheim	35	0	1	1	0	37	19	11	30	0		0	67
Mundolsheim	5	6	1	0	0	12			0	0		0	12
Niederbronn-les-Bains	55	0	7	15	0	77	14		14	0		0	91
Obernai	9	1	1	1	0	12	8	131	140	0		0	152
Rosheim	7	0	2	2	1	11	9		9	0		0	21
Saales	9	0	0	1	0	10			0	0		0	10
Sarre-Union	121	0	2	5	0	129	4	1	5	0		0	133
Saverne	48	37	11	2	0	98	7		7	8		8	112
Schiltigheim			0	0	0	0			0			0	0
Schirmeck	6	0	0	1	1	8			0	0		0	8
Sélestat	17	0	12	4	0	34	30		30	0	43	43	107
Seltz	13	45	9	1	0	67	24	50	73	0		0	141
Soultz-sous-forêt	46	16	7	15	27	112	10		10	0		0	122
Strasbourg		0	0	0	0	0		2	2	3		3	5
Truchersheim	57	90	41	2	0	190	9		9	0		0	199
Ville	13	0	0	5	1	19			0	0		0	19
Wasselonne	28	0	0	2	1	31	0	0	1	0		0	32
Wissembourg	24	17	1	2	1	45	9		9	0		0	54
Woerth	33	0	41	8	0	82	9		9	0		0	91

Annexe 9 : tableau récapitulatif de la production de matière organique destinée à être épandue par canton (en tonnes)

Canton	Bovins	Porcins	Avicoles	Ovins	Caprins	Total effluents élevage	boues urbaines	Boues industrielles	Total boues	Compos t de DV	Compost FFOM*	Total compost DV et FFOM*	TOTAL
Barr	1206	0	16	74	5	1300			0	0		0	1300
Berfeld	4570	621	868	169	16	6243	140		140	0		0	6383
Bischheim			0	2	0	2			0			0	2
Bischwiller	4299	2	68	116	194	4679	514		514	488		488	5682
Bouxwiller	10623	204	620	568	30	12045	229		229	614		614	12888
Brumath	5657	1	44	402	23	6127	335	59	394	0		0	6521
Drulingen	18698	3	26	1120	44	19892	82		82	0		0	19974
Erstein	2144	1	197	484	7	2833	357		357	0		0	3190
Geispolsheim	2112	1	30	96	3	2241	288		288	548		548	3077
Haguenau	7249	283	171	223	16	7942		6	6	0		0	7948
Hochfelden	16642	176	886	521	17	18242	105	119	224	0		0	18466
Illkirch	121	0	63	14	29	228			0			0	228
La Petite Pierre	3953	1	7	167	58	4185	47		47	0		0	4233
Lauterbourg	823		235	32	4	1095	89		89	0		0	1184
Marckolsheim	9496	69	426	49	6	10046	78	183	261	0		0	10307
Marmoutier	9697	114	64	321	14	10211	47		47	0		0	10257
Moisheim	4699	1	23	85	17	4825	234	70	304	0		0	5129
Mundolsheim		110	14	52	5	181			0	546		546	727
Niederbronn-les-Bâ	9732	1	182	1794	43	11751	193		193	0		0	11944
Obernai	1128	27	24	71	38	1289	126	749	875	0		0	2164
Rosheim	1177	1	52	191	126	1548	117		117	0		0	1665
Saales	1565	1	1	70	36	1674			0	0		0	1674
Sarre-Union	21264	4	55	653	33	22009	70	15	85	0		0	22094
Saverne	8019	259	234	224	6	8743	89		89	488		488	9319
Schiltigheim			0	0	6	6			0			0	6
Schirmeck	1025	1	2	105	148	1281			0	0		0	1281
Sélestat	2335	0	308	500	20	3164	359		359	0	3137	3137	6659
Seltz	1982	278	215	97	7	2579	247	2011	2258	0		0	4838
Soultz-sous-forêt	6895	167	177	1813	4585	13636	154		154	0		0	13791
Strasbourg		1	1	4	8	14		65	65	164		164	242
Truchtersheim	7188	487	6253	185	10	14124	138		138	0		0	14262
Ville	2216	1	7	599	130	2953		20	20	0		0	2974
Wasselonne	3661	1	9	216	269	4155	10		10	0		0	4165
Wissembourg	3531	341	22	286	149	4329	121		121	0		0	4451
Woerth	4906	0	1046	983	52	6987	96		96	0		0	7083

*FFOM : Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères

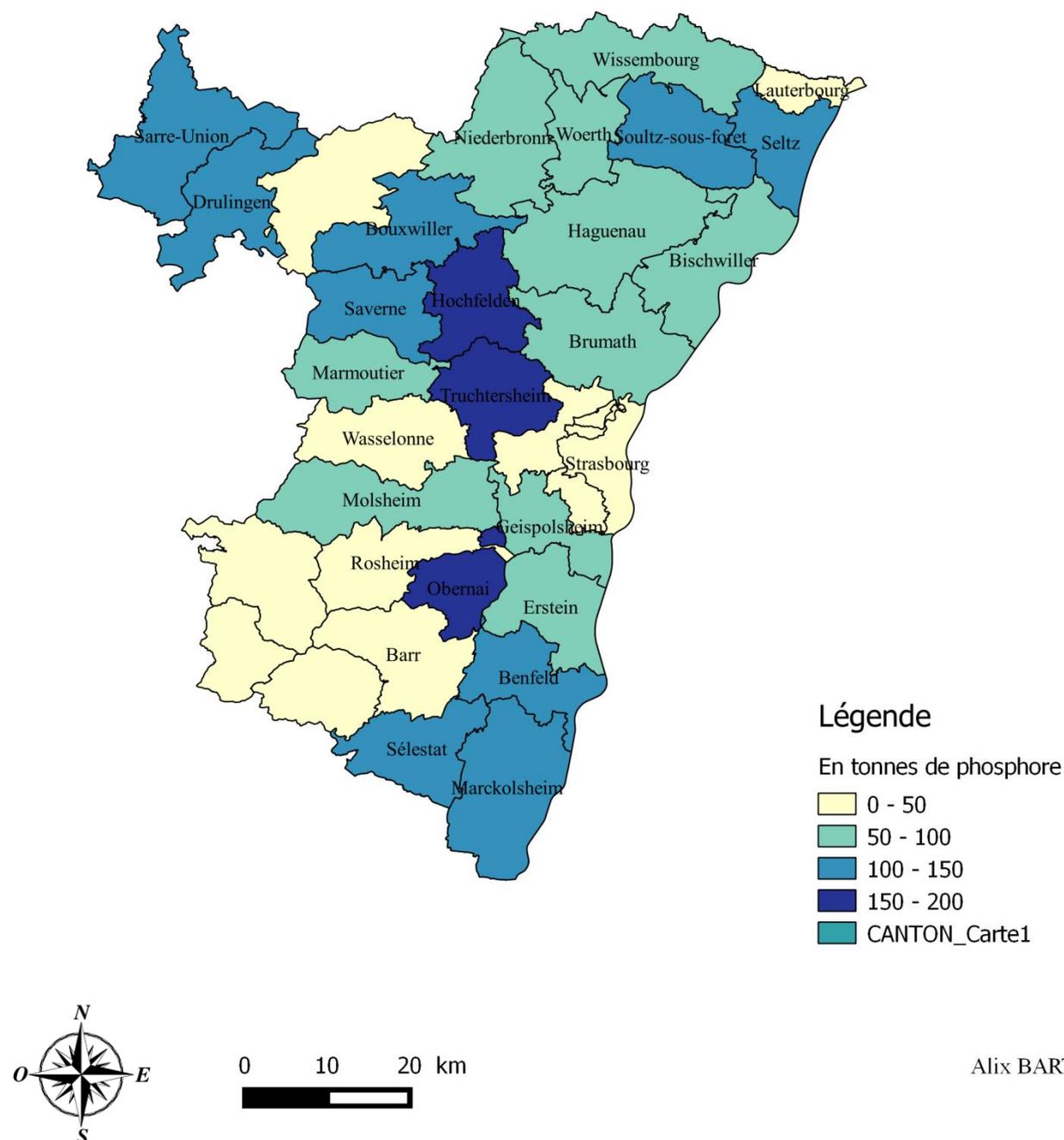
Annexe 10 : tableau récapitulatif de la pression d'épandage par canton

Canton	Effluents d'élevage	Boues urbaines	Boues industrielles	Composts DV	Composts OM	TOTAL	SAU		TL	Surface utilisée pour l'épandage d'effluents	Surface utilisée pour les boues urbaines	Surface utilisée pour les boues industrielles	Surface utilisée par les composts DV	Surface utilisée par les composts FFO	Surface totale utilisée par les PRO	% SAU utilisée annuellement	% TL utilisée annuellement
							tonnes d'azote	tonnes d'azote									
Barr	49	0	0	0		49	4 910	1 641	289	7	188	-		484	10%	26%	
Benfeld	343	13	0	0		356	7 373	6 075	2 016	138	121	7		2 282	31%	38%	
Bischheim	0	0	0			0			0					0			
Bischwiller	116	43		16		175	7 292	6 431	680	114		129		923	13%	14%	
Bouxwiller	422	21	0	29		472	6 186	3 594	2 480	66	11	171		2 728	44%	76%	
Burnath	210	27	12	0		249	11 655	10 169	1 236	209	58	-		1 503	13%	15%	
Drulingen	577	8	0	0		585	9 262	4 452	3 397			-		3 397	37%	76%	
Erstein	121	27	0	0	3	152	7 460	6 240	714	147	21	8		880	12%	14%	
Geispolsheim	85	29	0	22		137	5 266	4 661	502	90	16			620	12%	13%	
Haguenau	287	0	1	0		287	6 773	5 261	1 686	19	43	-		1 721	25%	33%	
Hochfelden	668	9	11	0		688	12 758	9 643	3 931	31		-		4 005	31%	41%	
Illkirch	12	0	0			12	590	537	68			-		68	11%	13%	
La Petite Pierre	119	5	0	0		125	1 881	555	703	67	94	-		770	41%	139%	
Lauterbourg	48	8	0	0		57	2 305	2 117	285	63		-		442	19%	21%	
Marcksheim	432	4	13	0	49	498	15 258	13 594	2 541	31	99			3 054	20%	22%	
Marmoutier	390	5	0	0		395	6 222	3 975	2 296	27	39	-		2 323	37%	58%	
Molsheim	172	22	8	0		202	5 383	3 412	1 011	201	15			1 267	23%	37%	
Mundolsheim	38	0	0	36		74	4 123	3 699	226	1	16			244	6%	7%	
Niederbronnles-Bain	339	19	0	0		358	6 371	3 400	1 995	134		-		2 129	33%	63%	
Obenai	48	12	59	0		119	5 203	4 236	283	76	91	-		450	9%	11%	
Rosheim	45	8	0	0		53	2 283	1 149	266	42		-		309	14%	27%	
Saales	52	0	0	0		52	879	S	308			-		308	35%		
Sarre-Union	655	6	2	0		662	11 785	5 086	3 853	66	11			3 929	33%	77%	
Saverne	335	7	0	16		358	4 870	3 177	1 972	31		97		2 100	43%	66%	
Schiltigheim	0	0	0			0			1			-		1			
Schirmeck	34	0	0	0		34	861	4	201		38	-		201	23%	5022%	
Sélestat	134	20	0	0	34	187	5 259	3 627	785	167	184	-	196	4 020	19%	28%	
Seltz	161	27	94	0		281	5 192	4 841	946	113	110	-		1 297	25%	27%	
Soultz-sous-forêt	430	13	0	0		443	8 838	6 661	2 532	113	2	-		2 755	31%	42%	
Strasbourg	0	0	4	8		12	151	102	2		111			114	76%	112%	
Truchersheim	1006	13	0	0		1020	12 864	11 407	5 919	119	8	32		6 078	47%	53%	
Ville	88	0	0	0		88	1 557	57	515		3	-		519	33%	910%	
Wasselonne	158	1	0	0		159	6 055	2 917	930	71	70	10		1 010	17%	35%	
Wissembourg	145	12	0	0		156	5 901	4 352	851	71	327	-		1 250	21%	29%	
Woerth	285	8	0	0		293	4 405	2 668	1 674	62	6	-		1 742	40%	65%	

Annexe 11 : Répartition de la production de phosphore par les PRO

Répartition de la production de phosphore par les PRO dans le Bas Rhin

Calculs obtenus d'après les données de la
Chambre d'Agriculture de Région Alsace



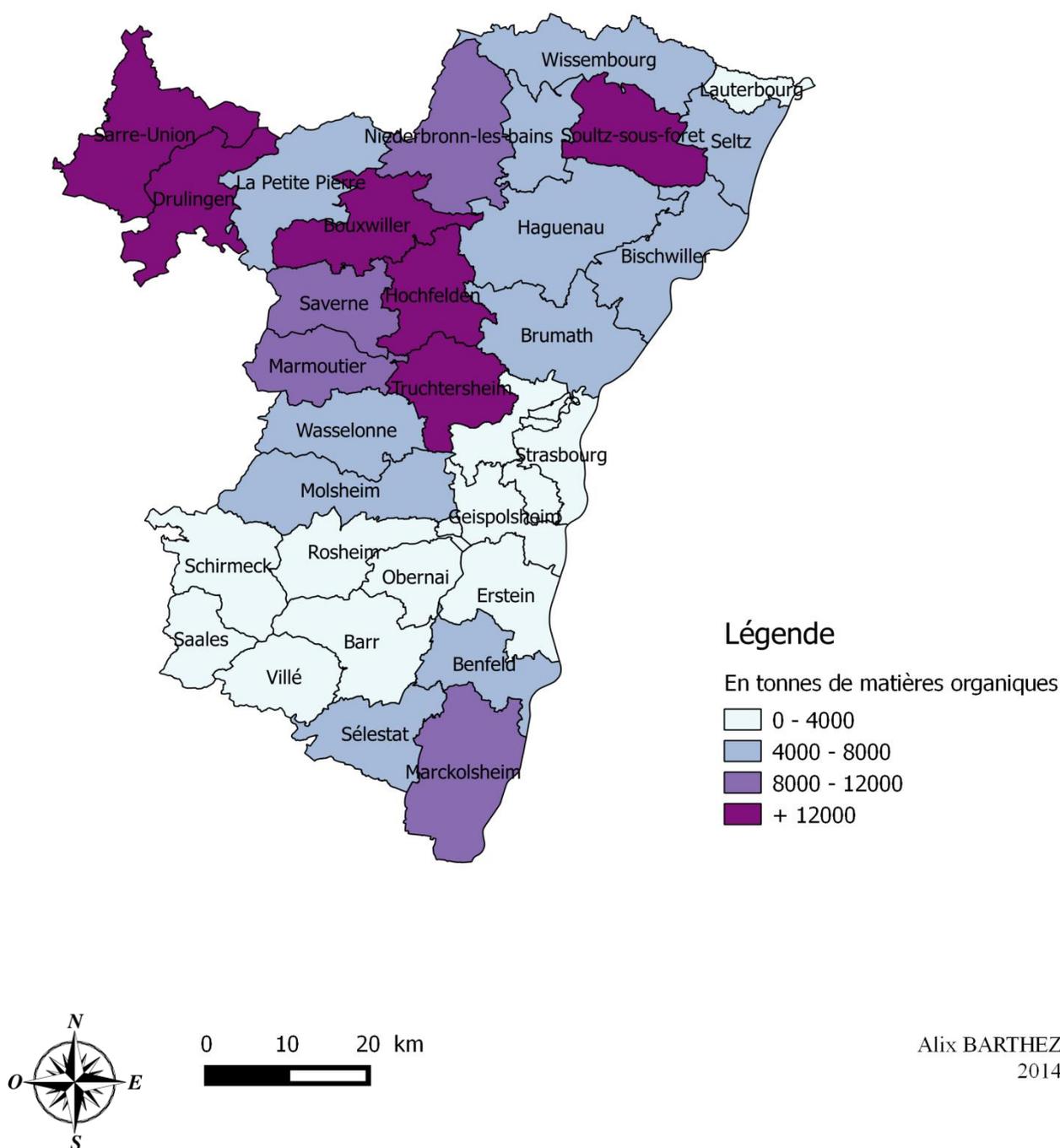
D'une manière générale, on observe le même gradient Nord-Sud que la production d'azote organique. On remarque tout de même quelques différences :

- Au sein des zones les plus productrices d'azote organique (Alsace Bossue, Bouxwiller, Truchtersheim et Hochelden), ce sont les cantons aux pratiques les plus intensives dont la production de phosphore est la plus importante. Les systèmes de bovins extensifs produisent peu de phosphore, contrairement aux systèmes intensifs de volailles et porcins, largement présents dans les cantons de Truchtersheim et Hochelden.
- Parmi les cantons du Sud du Bas-Rhin dont la production d'azote organique est inférieure à 150 tonnes d'azote par an, on remarque que le canton d'Obernai produit 152 tonnes de phosphore par an. Cela s'explique par la présence de l'usine Kronembourg, dont les teneurs en phosphore des boues sont deux fois supérieures aux teneurs en azote.
- Dans le canton de Seltz, nous pouvons observer le même phénomène. Les quantités d'azote organique sont assez faibles alors que la production de phosphore s'élève à 140 tonnes par an, ce qui s'explique par la production de boues de roquettes, riches en phosphore.

D'une manière générale, les cantons les plus producteurs de phosphore sont ceux où les élevages intensifs de porcins et volailles sont concentrés ; et les cantons où l'on trouve de très grandes usines industrielles dont les teneurs en phosphore des boues sont très élevées.

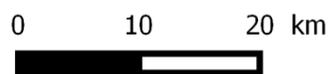
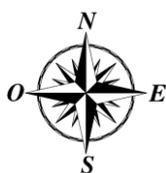
Répartition de la production de matières organiques dans le Bas Rhin

Calculs obtenus d'après les données de la
Chambre d'Agriculture de Région Alsace



On remarque exactement les mêmes tendances que pour la production d'azote organique, avec un gradient Nord-Sud. Les cantons de Sarre-Union, Drulingen, Bouxwiller, Hochfelden, Truchtersheim et Soultz-sous-Forêt sont les plus producteurs de MO avec des productions supérieures à 12000 tonnes de MO par an. Dans le Sud du Bas-Rhin, la production de MO est très faible et descend jusqu'à 1300 tonnes de MO par an dans le canton de Barr. Ces données apportent peu d'éléments à l'analyse, d'autant plus que les mesures de la quantité de MO produite ne donnent pas d'indication sur la qualité des PRO et de leur devenir dans le sol.

Cantons du Bas-Rhin

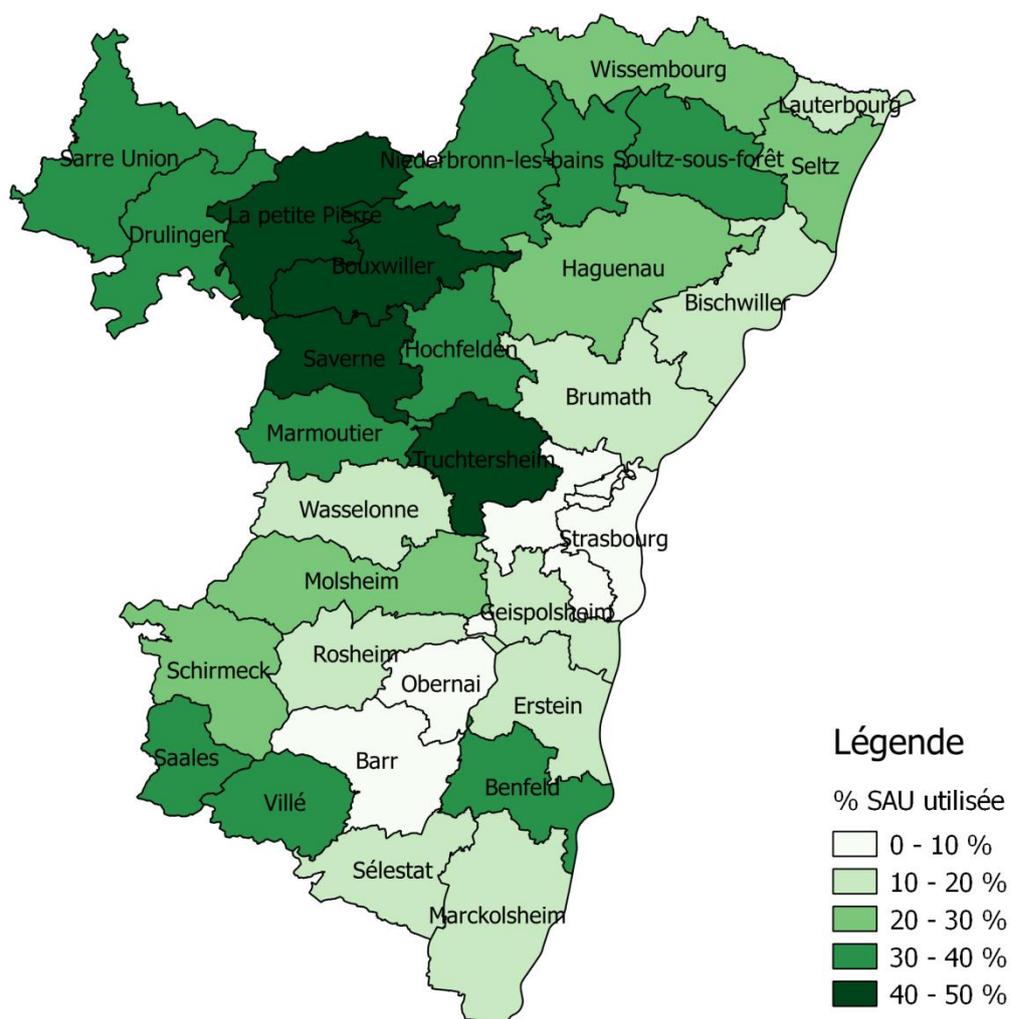


Alix BARTHEZ
2014

Annexe 14 : Carte de la pression d'épandage calculée par rapport à la SAU

Pourcentage de la SAU utilisé annuellement pour l'épandage agricole des PRO (Bas-Rhin)

Calculs obtenus d'après les données de la
Chambre d'Agriculture de Région Alsace



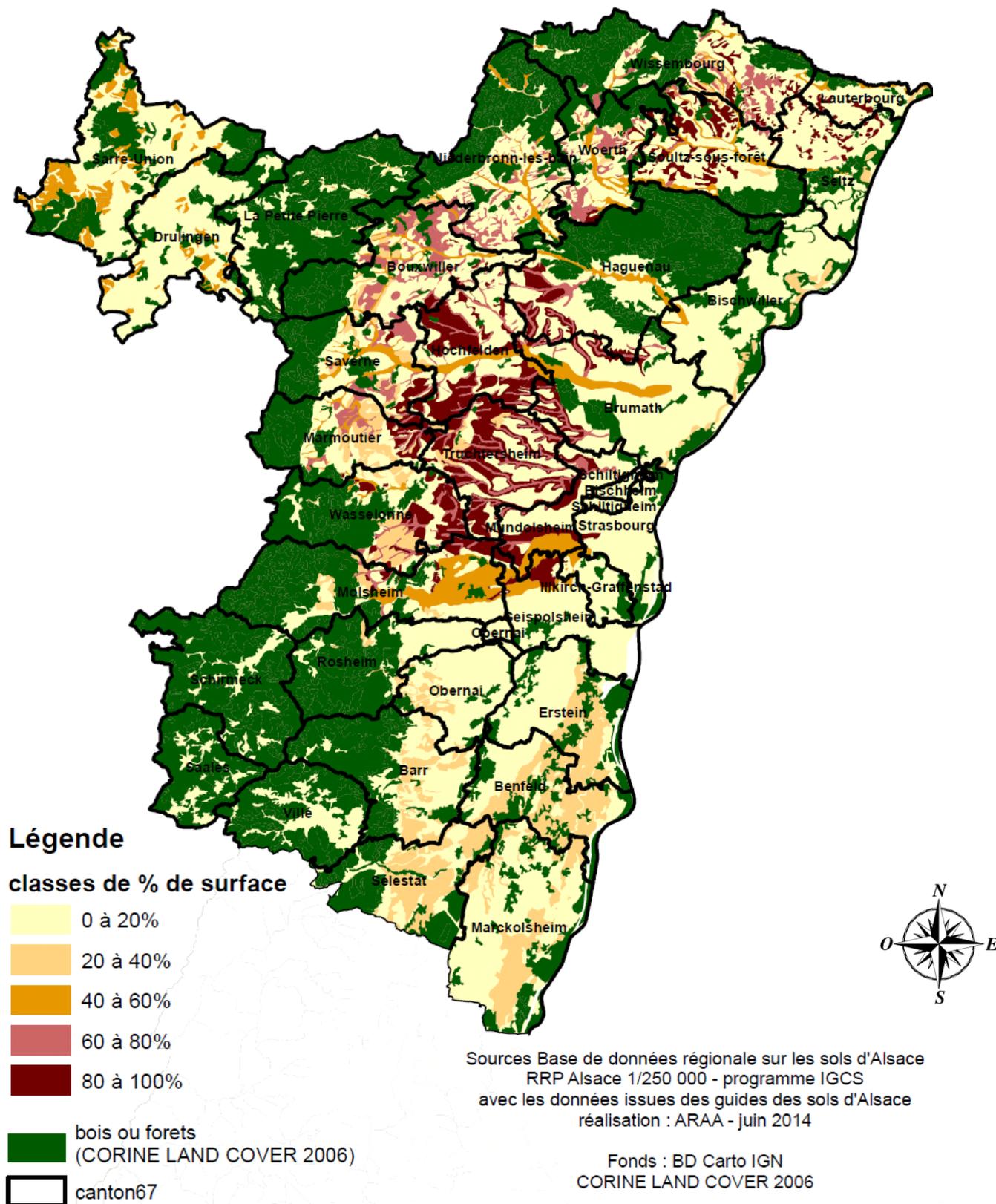
0 10 20 km



Alix BARTHEZ
2014

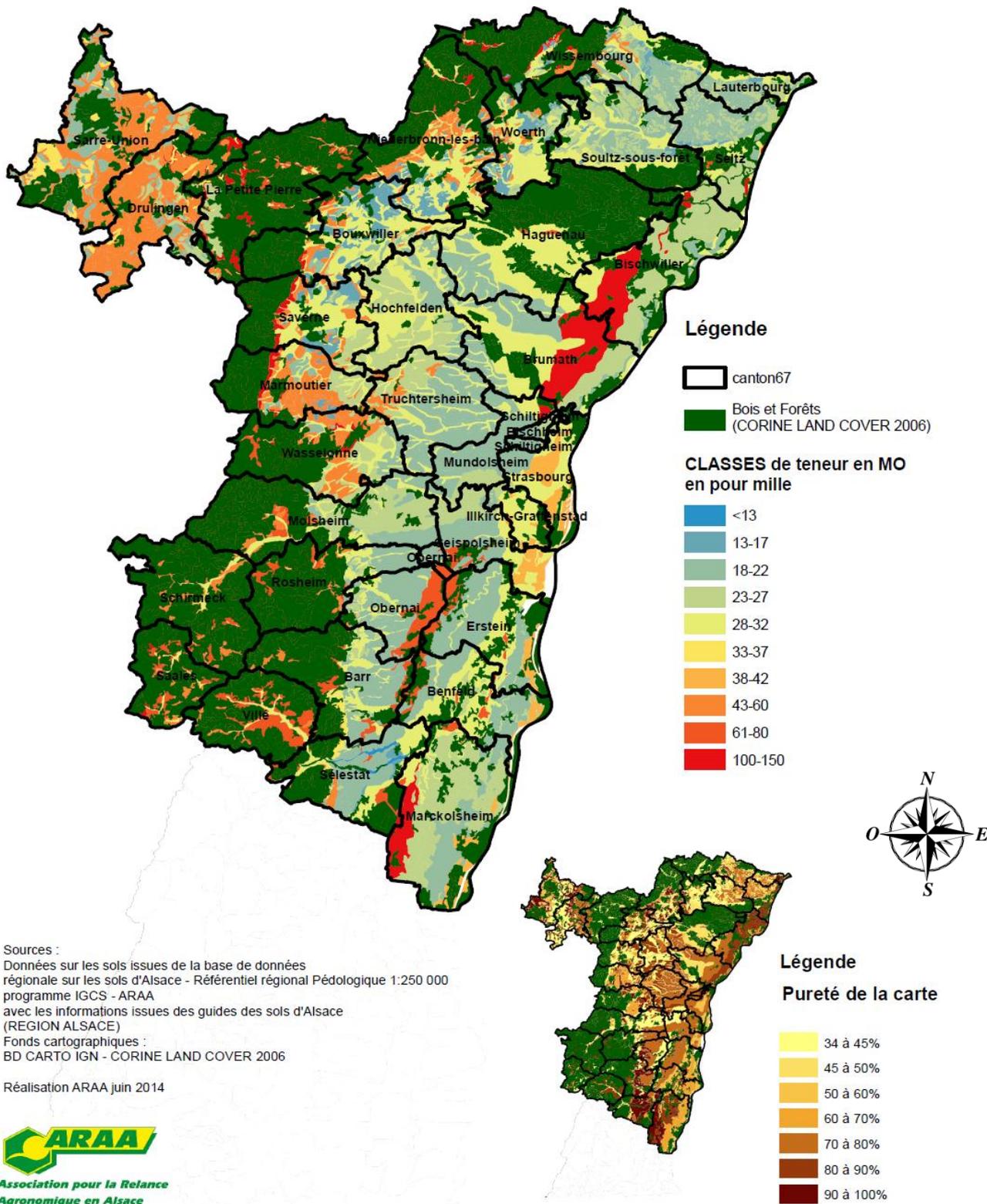
Annexe 15 : Carte représentant le % de surface dont le DéficitC est supérieur à 13,24 g/kg

Pourcentage de surface des unités cartographiques de sols pour lesquels le déficit de saturation des sols en carbone organique (DeficitC) est supérieur à 13.24 g/kg



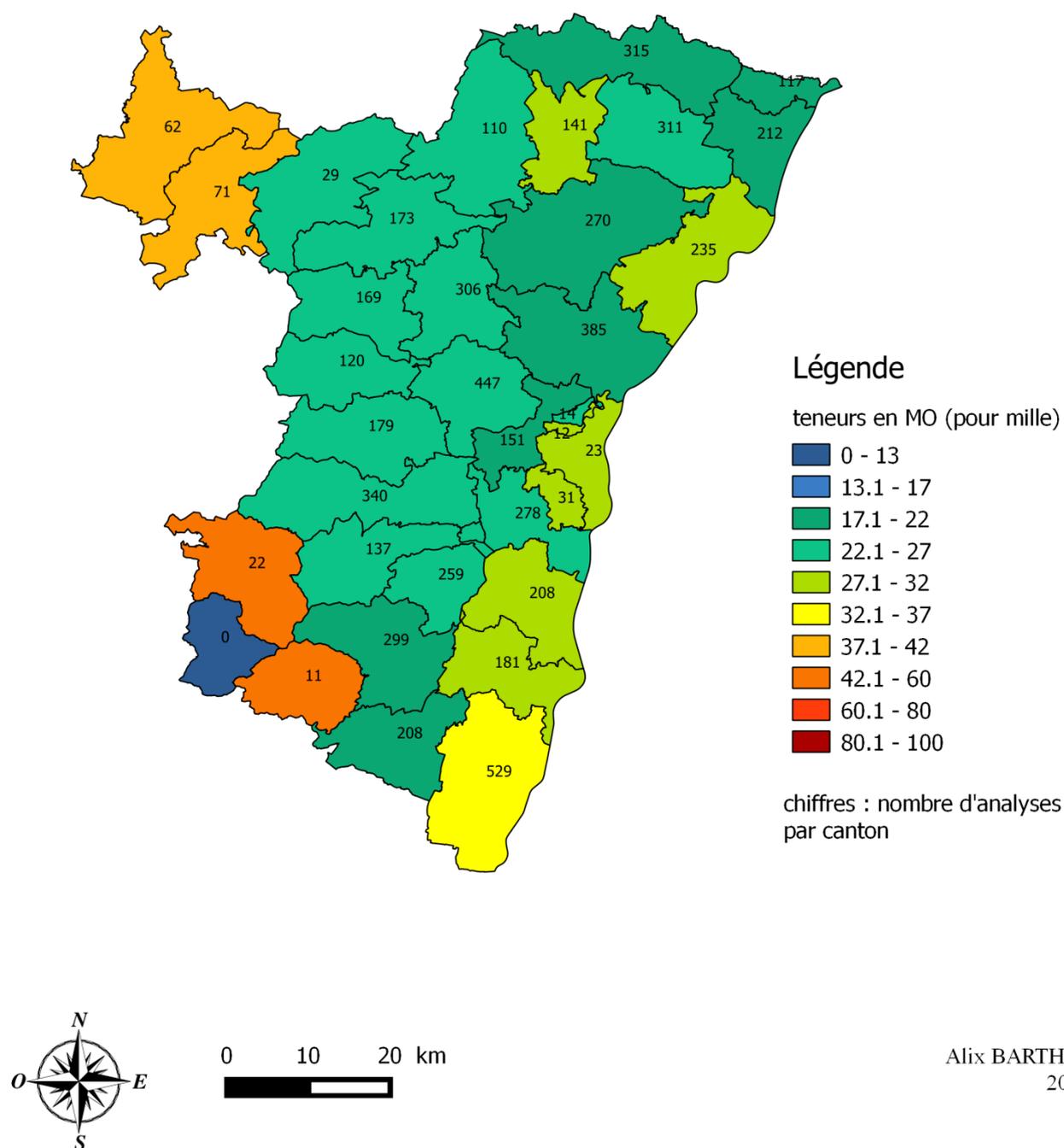
Annexe 16 : Carte des teneurs en matières organiques (RRP)

Classes de teneurs en matière organique dominantes de l'horizon de surface

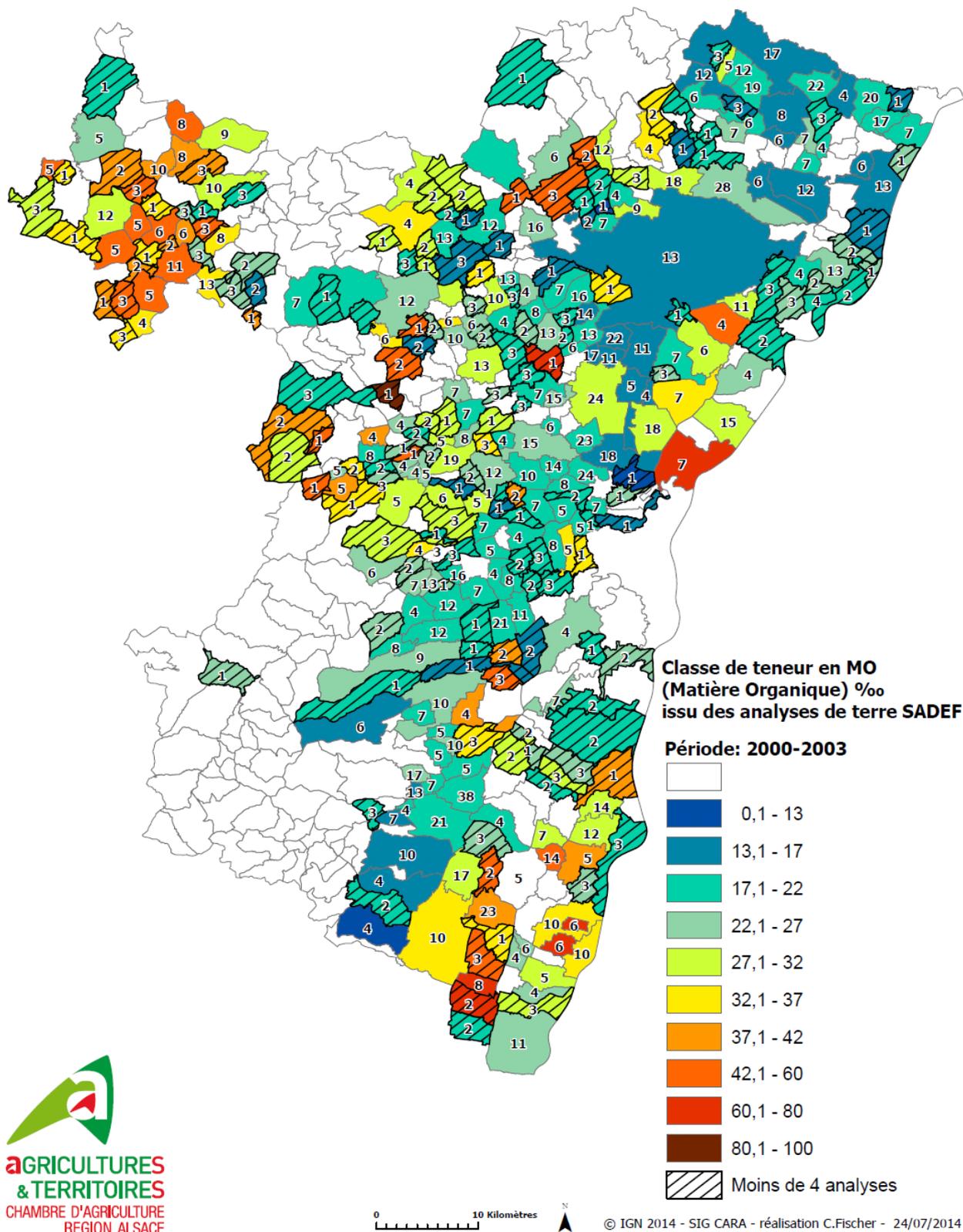


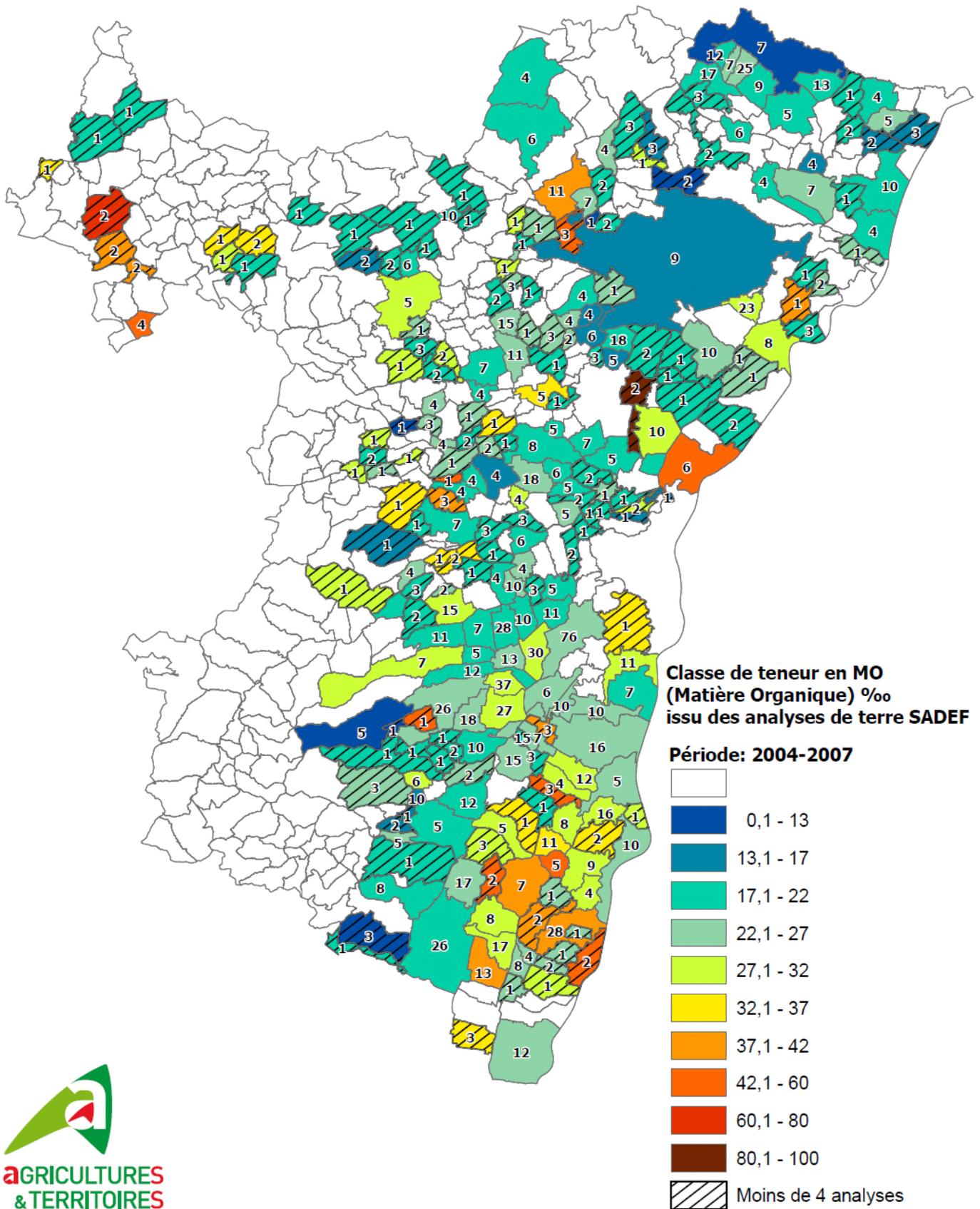
Classes de teneurs en matières organiques dans le Bas-Rhin

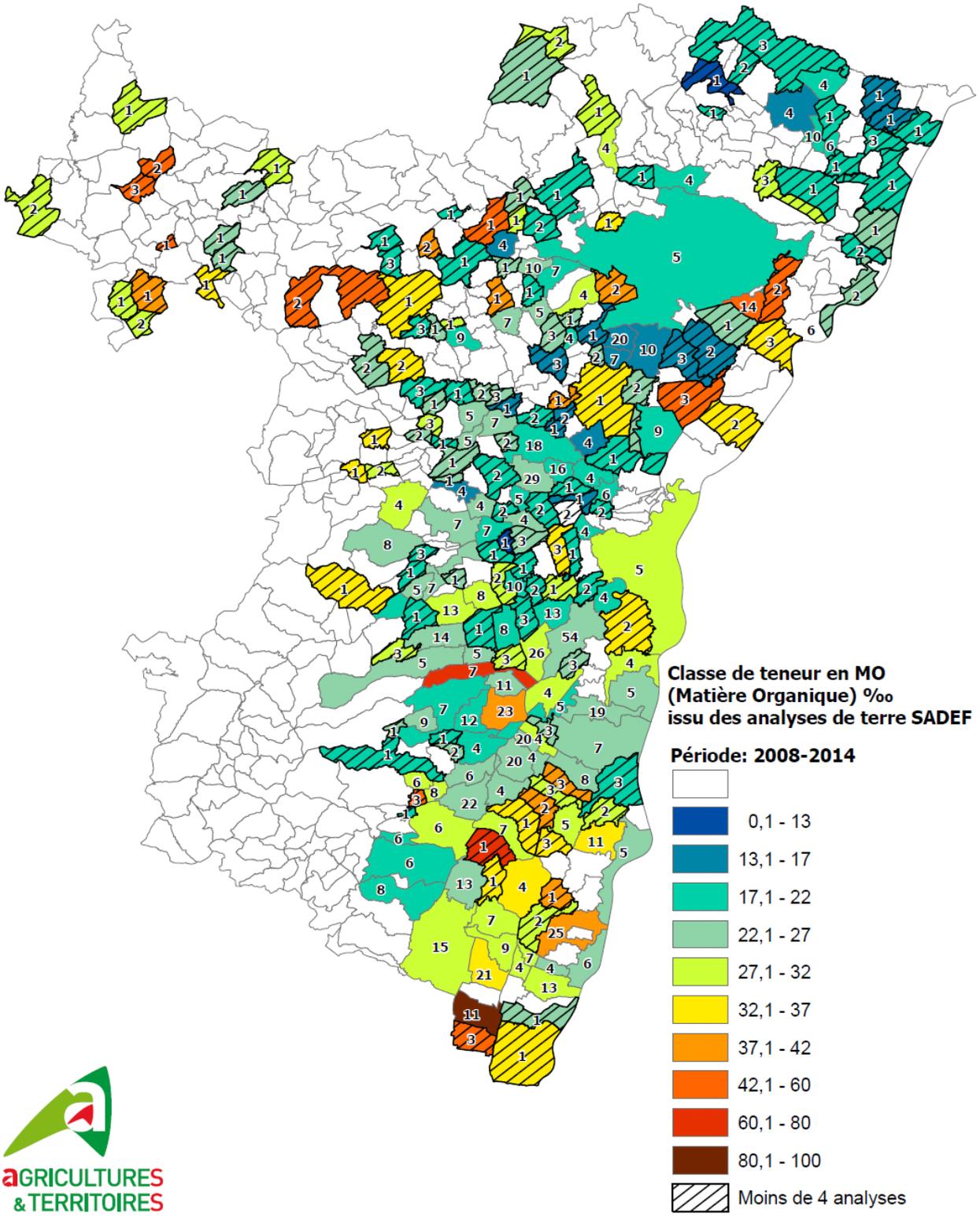
Données BDAT



Annexe 18 a : Cartes des classes des teneurs en MO du Bas-Rhin par période, moyennes par commune (analyses SADEF)







Annexe 18 b : Données statistiques des teneurs en matières organiques par canton à partir des analyses SADEF

1 Valeurs par Canton - période 2000-2003				
	Nombre d'analyses	Moyenne % Matière organique (Corg x 1,73)	Minimum MO	Maximum MO
BARR	148	20,5	6,0	51,0
BENFELD	53	34,3	11,0	173,0
BISCHWILLER	61	26,8	12,0	90,0
BOUXWILLER	44	23,9	10,0	53,0
BRUMATH	151	21,7	7,3	254,0
DRULINGEN	92	37,7	17,0	144,0
ERSTEIN	38	23,9	10,0	38,0
GEISPOLLSHEIM	31	20,5	7,0	31,0
HAGUENAU	156	18,1	3,0	45,0
HOCHFELDEN	110	24,7	11,0	85,0
LA PETITE-PIERRE	9	27,6	16,0	50,0
LAUTERBOURG	25	18,9	13,0	61,0
MARCKOLSHEIM	114	37,4	11,0	256,0
MARMOUTIER	54	29,2	17,0	63,0
MOLSHEIM	93	21,7	9,0	45,0
MUNDOLSHEIM	105	25,2	10,0	82,0
NIEDERBRONN-LES-BAINS	62	25,7	12,0	62,0
OBERNAI	49	27,0	13,0	109,3
ROSHEIM	25	21,6	12,0	48,0
SARRE-UNION	68	38,1	19,0	82,0
SAVERNE	21	32,2	13,0	84,0
SCHILTIGHEIM	1	17,0	17,0	17,0
SCHIRMECK	25	19,6	14,0	32,0
SELESTAT	35	30,6	10,0	104,0
SELTZ	36	18,6	12,0	38,0
SOULTZ-SOUS-FORETS	74	25,3	12,0	272,0
TRUCHTERSHEIM	127	22,9	14,0	58,0
VILLE	2	23,5	23,0	24,0
WASSELONNE	43	27,8	13,0	74,0
WISSEMBOURG	85	18,2	9,0	53,0
WOERTH	40	26,7	11,0	70,8
(vide)				
Total général	1977	25,4	3,0	272,0

3 Valeurs par Canton - période 2008-2014				
	Nombre d'analyses de sol	Moyenne % Matière organique (Corg x 1,73)	Minimum	Maximum
BARR	72	24,8	11,9	77,3
BENFELD	41	33,7	15,1	71,4
BISCHWILLER	37	35,9	14,9	181,7
BOUXWILLER	18	24,3	15,4	54,5
BRUMATH	54	24,6	9,3	79,9
DRULINGEN	8	29,4	23,2	39,8
ERSTEIN	79	25,3	11,9	47,7
GEISPOLLSHEIM	120	23,6	11,8	63,3
HAGUENAU	63	19,9	11,9	44,8
HOCHFELDEN	36	23,2	15,2	37,2
ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN	8	24,3	14,0	39,1
LAUTERBOURG	1	15,1	15,1	15,1
MARCKOLSHEIM	123	36,5	15,6	134,9
MARMOUTIER	3	29,9	20,1	36,0
MOLSHEIM	56	25,9	14,5	52,4
MUNDOLSHEIM	34	22,4	12,8	49,5
NIEDERBRONN-LES-BAINS	9	30,7	17,5	58,5
OBERNAI	79	27,7	9,7	106,2
ROSHEIM	16	44,3	17,6	211,1
SARRE-UNION	9	40,0	25,4	54,3
SAVERNE	13	23,3	12,5	52,9
SCHIRMECK	3	33,5	13,1	49,0
SELESTAT	37	27,8	14,2	96,0
SELTZ	24	19,7	12,1	33,9
SOULTZ-SOUS-FORETS	8	23,4	15,2	50,3
STRASBOURG	5	30,8	14,9	50,3
TRUCHTERSHEIM	113	21,5	10,0	45,5
WASSELONNE	28	24,8	16,4	36,2
WISSEMBOURG	12	21,5	12,5	33,4
WOERTH	7	28,9	17,1	33,4
Total général	1116	26,7	9,3	211,1

2 Valeurs par Canton - période 2004-2007				
	Nombre d'analyses de sol	Moyenne % Matière organique (Corg x 1,73)	Minimum	Maximum
BARR	56	19,8	6,2	40,7
BENFELD	62	32,0	11,9	77,9
BISCHHEIM	3	25,2	15,7	40,0
BISCHWILLER	51	27,9	10,7	77,3
BOUXWILLER	27	22,0	15,1	36,7
BRUMATH	50	23,5	2,9	124,2
DRULINGEN	8	44,6	24,2	94,3
ERSTEIN	104	26,3	11,2	51,9
GEISPOLLSHEIM	160	23,7	13,7	63,8
HAGUENAU	54	18,0	5,9	31,1
HOCHFELDEN	56	23,9	9,0	83,6
ILLKIRCH-GRAFFENSTADEN	1	33,7	33,7	33,7
LA PETITE-PIERRE	7	22,5	12,3	40,8
LAUTERBOURG	5	18,9	17,1	21,1
MARCKOLSHEIM	119	33,0	11,4	99,3
MARMOUTIER	8	24,4	12,8	32,7
MOLSHEIM	71	22,7	11,8	38,1
MUNDOLSHEIM	35	20,5	10,7	41,2
NIEDERBRONN-LES-BAINS	29	31,2	13,8	63,0
OBERNAI	137	26,8	10,7	139,6
ROSHEIM	25	20,2	11,2	38,1
SARRE-UNION	6	43,1	18,2	73,5
SAVERNE	10	21,0	10,6	28,2
SCHIRMECK	5	22,2	12,3	42,4
SELESTAT	54	22,7	11,8	78,2
SELTZ	21	18,1	8,5	25,4
SOULTZ-SOUS-FORETS	30	25,8	12,3	94,6
TRUCHTERSHEIM	71	21,8	13,1	58,8
VILLE	5	21,5	11,1	29,1
WASSELONNE	22	25,1	13,8	73,9
WISSEMBOURG	83	20,0	8,8	59,7
WOERTH	22	20,8	5,5	38,9
(vide)				
Total général	1397	24,8	2,9	139,6

Interprétation : Les valeurs utilisées pour faire les cartes de teneurs en MO issues des analyses SADEF sont regroupées par période et par canton sur ces trois tableaux.

Faire des analyses de terre est une pratique de moins en moins courante : le nombre total d'analyse par période est décroissant, alors que les périodes s'allongent.

Certains cantons ont eu peu d'analyses, et les valeurs ne sont donc pas significatives.

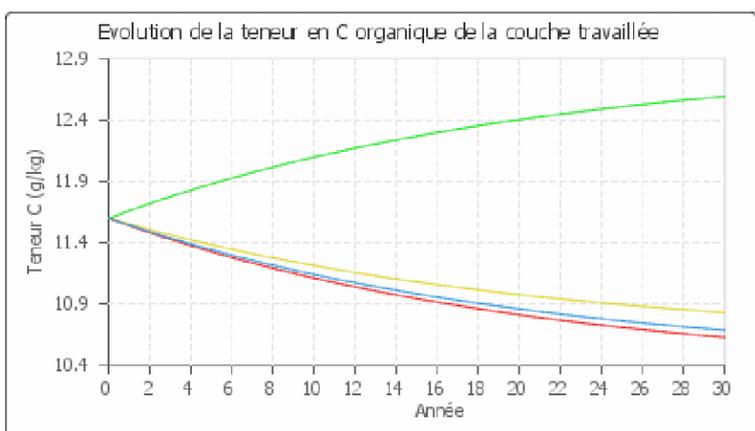
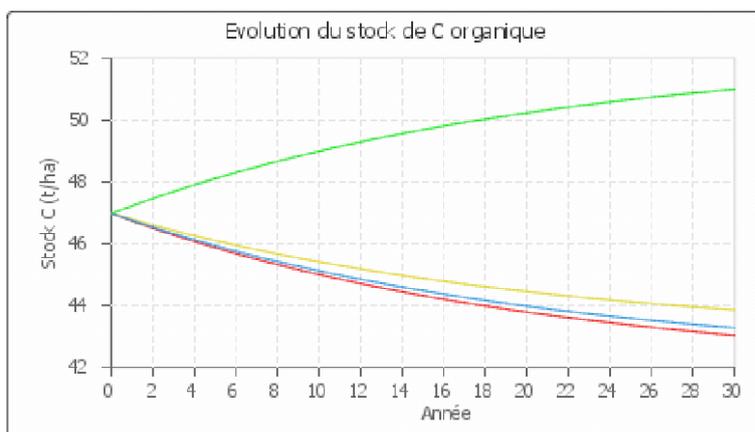
On remarque que pour le canton de Truchtersheim qui a été identifié comme problématique, 113 analyses ont été faites entre 2008 et 2014. Les taux de matières organiques moyens sont de 21,5%, dans la même classe que les résultats obtenus avec la BDAT et le RRP.

Le canton de Marckolsheim, où 123 analyses ont été faites au cours de la troisième période, montre des taux de MO moyens de 36,5%, proche des valeurs observées pour la BDAT (entre 32,1 et 37%). Concernant le RRP, il existe une grande diversité de sols : certains ont des taux proches de 18%, et d'autres autour de 100%.

Annexe 19 : Exemple d'une simulation des stocks de carbone organique avec SIMEOS-AMG



Comparaison de scénarios



- Sans apport
- Fumier Bovin
- Lisier Bovin
- Lisier Porc

Hypothèses de calcul :

Données sol :

Argile : 220 g/kg
 CaCO₃ : 0 g/kg
 Cailloux : 0%
 Densité apparente : 1,35
 C Organique : 11.6 g/kg (Teneur MO : entre 2 et 2.32%)

Climat :

ETP annuelle : 710 mm
 Pluie annuelle : 640 mm
 Température moyenne annuelle : 10.9°C

Profondeur de prélèvement : 30 cm

Cultures :

Culture	Rendement aux normes	Freq restitution	Type de travail du sol	prof travail sol	irrig moy
Blé hiver (q/ha)	82	Toujours exportés	Labour	30	
Maïs fourrage 30%MS (t/ha)	18	Toujours exportés	Labour	30	
Maïs fourrage 30%MS (t/ha)	18	Toujours exportés	Labour	30	

Cultures intermédiaires :

Type	Biomasse	Fréquence
Moutarde	Moy + (2 à 3 T MS)	1 an sur 3

Cultures dérobées :

Aucune culture dérobée