



# FILIÈRES COLLECTIVES DE GESTION DES DÉJECTIONS ANIMALES ET DES DIGESTATS

*Pascal Levasseur (IFIP, coord.), Vincent Blazy (Itavi),  
Anne-Sophie Langlois (Chambre Régionale d'agriculture de Bretagne),  
Séverine Bourrin (FR Cuma Ouest), Jérôme Lenouvel (FR Cuma Ouest),  
Léonard Jarrige de la Sizeranne (Idele) et Sandrine Espagnol (IFIP)*

# Sommaire

<b>Enjeux et facteurs décisionnels .....</b>	<b>3</b>
<b>Contribution de retours d'expériences à l'élaboration d'un outil d'aide pour la mise en place d'une gestion collective des effluents.....</b>	<b>5</b>
Forces et faiblesses .....	6
Opportunités et menaces .....	7
<b>Le traitement collectif des effluents dans les autres pays européens .....</b>	<b>9</b>
<b>Fiches gestion et traitement collectif des effluents d'élevage .....</b>	<b>10</b>
L'épandage collectif des effluents d'élevage et des digestats .....	11
Séparation de phases par décanteuse-centrifuge.....	13
Traitement biologique par boue activée avec séparation de phases en tête.....	15
Compostage du fumier de volailles et de bovins .....	17
La méthanisation agricole collective .....	19
Filtration membranaire du digestat.....	21
Evapoconcentration du digestat.....	23
Stripping de l'azote du digestat .....	25
<b>Devenir de l'azote et du carbone au sein des filières de gestion collective des effluents d'élevage .....</b>	<b>27</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>29</b>

# ENJEUX ET FACTEURS DÉCISIONNELS

La gestion des effluents d'élevage est au cœur de la connexion entre productions animales et végétales et du lien entre les élevages et leur territoire. Elle assure le recyclage agronomique des éléments (azote, phosphore...) qui ont été produits/extraits pour l'alimentation des animaux. Dans les zones à forte densité animale, la gestion des déjections nécessite souvent de dépasser le cadre de l'exploitation agricole [1] avec des épandages chez les tiers, le traitement des effluents et l'exportation de co-produits de traitement. L'expertise collective INRA sur les flux azotés des élevages rappelle que l'organisation collective constitue, dans certains cas, une dimension essentielle dans la gestion des effluents [2]. En France, diverses initiatives de gestion collective des effluents à l'échelle territoriale ont émergé et ont été recensées par le RMT élevages et environnement (Geotexia-Méné, GIE Terr'Eau, Ferti'échange) [3], projet CEREL, projet Cantogether, projet de méthanisation territoriale à Saint Brice en Coglès, projet GIROVAR, GIEE méthaniseurs de Bretagne... Ces expériences, qu'elles soient couronnées de succès, freinées dans leur dynamique en raison de difficultés, ou soldées par un échec et abandonnées, restent toutefois peu nombreuses, le traitement individuel, éventuellement semi-collectif (quelques éleveurs) ayant été largement privilégié.

Le choix d'une filière de traitement à titre individuel ou collectif va dépendre de nombreux critères, tels que le profil économique de la région, la densité d'élevage, la mobilisation (ou non) d'éleveurs, etc. Ces critères sont synthétisés dans le tableau ci-dessous [4] :

Critères en faveur d'une filière de traitement

Individuelle	Collective
<ul style="list-style-type: none"><li>. Profil économique de la région : touristique, service et résidentiel</li><li>. Impact élevé du transport des déjections</li><li>. Implication de l'éleveur</li><li>. Potentiel de valorisation de la chaleur dans l'élevage (de l'éleveur décisionnaire)</li><li>. Environnement technologique et d'appuis/d'expertise peu développé</li><li>. Traitement totalement intégré dans l'élevage</li><li>. Technique et maintenance simple</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>. Le profil économique de la région : industriel et économique</li><li>. Forte densité et intensification de l'élevage</li><li>. Transport des déjections ayant peu d'impact (nuisance sur le voisinage limité, bonne infrastructure routière)</li><li>. Existence d'éleveurs au fort leadership et/ou entrepreneur qualifié et motivation d'éleveurs pour un projet collectif</li><li>. Existence de co-substrats d'intérêt (si méthanisation)</li><li>. Sites potentiels d'utilisation de la chaleur (si méthanisation)</li><li>. Environnement technologique et d'appuis/d'expertise très développé</li></ul>

L'agrégation d'élevages dans un consortium ou une coopérative pour le traitement des déjections animales bénéficie généralement d'**économie d'échelle**, permettant ainsi de réduire les coûts unitaires de traitement [5, 6]. Cette économie d'échelle n'est toutefois pas toujours observée comme sur des unités de méthanisation territoriales [7] compte tenu de surcoûts associés à de tels dimensionnements (sécurité, logistique pour la gestion des intrants et des extrants...).

**Le transport des effluents bruts et transformés** est souvent mentionné dans les travaux antérieurs comme une contrainte à optimiser dans les unités collectives de traitement, tant d'un point de vue économique, qu'environnemental [6]. Plusieurs dispositifs peuvent être utilisés : camion-citerne, tracteur et sa tonne à lisier, canalisation, le transport sur route étant celui qui est le plus employé. Le transport par canalisation dispose de nombreux atouts car il permet de réduire les accidents, l'opposition locale, les émissions d'odeur et de dioxyde de carbone. Mais pour des raisons de distance, d'obstacles et de coûts, il n'est pas toujours envisageable. Le fonctionnement de ces unités collectives est ainsi plus dépendant que les unités individuelles

des voies de communication [5]. Celles-ci constituent d'ailleurs une contrainte majeure quant au nombre d'éleveurs pouvant être impliqués dans des unités collectives. Au Danemark, le transport de la biomasse pour approvisionner les unités de méthanisation centralisées représenteraient de 35 à 50 % de leurs coûts de fonctionnement [4]. Il a été rapporté que l'intérêt économique du transport varie également selon la valeur du produit transporté (éléments fertilisants, matière organique). Ainsi, il a déjà été déterminé [4] que la concentration d'un effluent par évapo-concentration dans une zone à forte densité d'élevage d'Espagne était économiquement plus intéressante que le transport de lisier brut à plus de 100 km de distance, compte tenu de la teneur en eau de ce dernier. Les impacts environnementaux du transport sont également à considérer, de même que leurs nuisances sonores qui sont des sources d'oppositions.

L'impact économique et environnemental de la gestion collective des effluents sera moindre dans un territoire à forte densité d'élevage. Cette concentration facilite l'optimisation logistique [4]. Le traitement collectif devient ainsi pertinent si l'azote est en excédent notable tant à l'échelle de l'élevage qu'à l'échelle régionale [8].

Des auteurs rapportent d'autres éléments de réflexion quant aux atouts d'une gestion collective des effluents d'élevage : elle permet en outre de restaurer un équilibre culture/élevage à des niveaux qui dépassent celui de l'élevage [5], et de stabiliser la composition des effluents en entrée d'unité de traitement et/ou de faire jouer les complémentarités.

## Quel procédé de traitement retenir ?

Il existe une multitude de procédés de traitement des effluents d'élevage. Les procédés les plus opérationnels peuvent être classés sur la conservation ou non de l'azote et sur l'intégration ou non d'une étape de méthanisation [9] :

- A. Récupération des éléments fertilisants sans méthanisation
  - a. Séparation de phases avec exportation de la fraction solide.
  - b. Compostage d'un effluent solide (fumier, fiente, refus solide de séparation de phases) puis exportation.
  - c. Filtration membranaire pour concentrer puis exporter les éléments fertilisants.
  - d. Techniques d'évaporation, de déshydratation et de pelletisation puis exportation des éléments fertilisants.

- B. Récupération des éléments fertilisants avec une étape de méthanisation
- Méthanisation pour la production d'une énergie renouvelable.
  - Méthanisation suivie d'une séparation de phases, compostage et exportation d'une fraction solide.
  - Méthanisation suivie d'une étape de stripping de l'ammoniac, exportation d'un sulfate ou d'un nitrate d'ammonium.
  - Méthanisation suivie d'une filtration membranaire, exportation des concentrats et composts.
  - Méthanisation suivie d'une évaporation, d'une déshydratation et d'une exportation de la fraction solide.
- C. Abattement de l'azote
- Procédé de nitrification/dénitrification.
  - Séparation de phases suivie d'une nitrification/dénitrification de la fraction liquide et de l'exportation de la fraction solide (avec compostage préalable ou non, combustion, pyrolyse).
  - Procédés précédents combinés avec de la filtration membranaire ou avec une étape d'évaporation, de déshydratation puis d'exportation d'un solide.

Le choix d'un procédé dépend de la quantité d'effluent à traiter, de l'excès d'éléments fertilisants, de la possibilité de produire de l'énergie et des coûts d'investissement et de fonctionnement [4, 8, 10]. Il n'y a pas de procédés universels qui puissent être adaptés aux spécificités locales [4, 8]. L'intégration de multiples procédés permet d'atteindre une plus grande efficacité qu'un système unique. Il est en outre nécessaire de s'assurer que les sorties d'un maillon du traitement soient des intrants appropriés pour les maillons suivants [8]. L'inventaire des procédés collectifs mené à l'échelle européenne [11] montre qu'un certain nombre de filières de traitement s'avèrent plus appropriées à des unités de grandes tailles (et donc, devraient potentiellement se retrouver dans des unités collectives). Il s'agit notamment des processus de filtration membranaire, de déshydratation par évapoconcentration, de séchage thermique, de combustion, de pelletisation, de traitements thermiques et de montée en pression à des fins d'hygiénisation. Ces processus constituent généralement une étape parmi une chaîne de traitements, engendrant des coûts globaux plutôt élevés, qu'il est préférable de mutualiser sur de grandes quantités d'effluents à traiter.

D'autres procédés de traitement sont utilisés tant à l'échelle individuelle, qu'à l'échelle d'une unité centralisée, il s'agit notamment de la séparation de phases par décanteuse-centrifuge, du traitement biologique par nitrification/dénitrification, du compostage (dans une certaine mesure) et de la méthanisation [11]. Si des économies d'échelles sont envisageables pour bon nombre de procédés vus précédemment, d'autres (compostage, séparation de phases seules, microméthanisation...) peuvent être économiquement tout aussi appropriés à l'échelle de la ferme via une massification de l'offre et/ou sous certaines conditions (simplification/standardisation des équipements, réutilisation d'ouvrages existants...). D'un point de vue environnemental, il a été démontré dans le cadre d'un projet collectif de gestion des excédents en Ille et Vilaine [12], qu'il est préférable d'optimiser le plan d'épandage d'un territoire en excédent plutôt que d'investir dans un procédé de résorption proprement dit. La relocalisation des effluents par une optimisation du plan d'épandage, s'est avérée plus durable que la mise en place d'un traitement biologique par boue activée.

Parmi l'ensemble des procédés mentionnés précédemment, la méthanisation occupe une place à part. Elle ne permet pas de résorber directement les éléments fertilisants excédentaires tels que l'azote, le phosphore et le potassium puisque le processus est conservatif de ces éléments. Par contre, elle peut y contribuer par la production d'énergie thermique nécessaire à la déshydratation de liquides (évapoconcentration) et de solides (tapis et tambour rotatif de séchage par exemple) et ainsi leur exportation à moindre coût. La méthanisation produit de l'énergie renouvelable sous forme de chaleur, d'électricité, ou de biométhane, sources potentielles de revenus permettant de réduire le coût de traitement. Ces atouts font que la méthanisation est assez souvent intégrée dans des unités centralisées [4, 5]. La production d'énergie par la méthanisation a ainsi constitué un atout pour le développement des unités centralisées au Danemark [4].

Pour rentabiliser l'unité de méthanisation, il est toutefois nécessaire d'apporter des quantités significatives de matière organique. L'apport de déjections animales seules peut être suffisant si le nombre d'élevages impliqués est conséquent. Elles peuvent toutefois être complétées par d'autres intrants, par exemple issus des industries agro-alimentaires et des collectivités et préférentiellement très méthanogènes. Les unités collectives tendent à accroître la quantité d'effluents traités à l'échelle territoriale, car cela encourage notamment la valorisation énergétique des effluents des petits élevages [5]. D'un point de vue environnemental, la production d'un biogaz réduit les émissions de gaz à effet de serre mais elle peut augmenter celle d'ammoniac pendant le stockage et l'épandage si ces opérations ne sont pas correctement menées.

# CONTRIBUTION DE RETOURS\* D'EXPÉRIENCES À L'ÉLABORATION D'UN OUTIL D'AIDE POUR LA MISE EN PLACE D'UNE GESTION COLLECTIVE DES EFFLUENTS

Une vingtaine d'expériences de gestion collective des effluents d'élevage en France ont été enquêtées pour identifier les freins et leviers à leur mise en place et à leur gestion. La moitié d'entre elles portait sur la mise en place d'un traitement collectif de type méthanisation avec comme objectif principal de produire de l'énergie renouvelable, l'autre moitié était basée sur des échanges d'effluents ou de parcelles entre exploitations avec comme objectif une résorption des excédents et la mise en place d'une économie circulaire. Parmi les expériences enquêtées, 8 d'entre elles étaient en fonctionnement, 6 étaient arrêtées après une période de fonctionnement, et 6 avaient été avortées avant une mise en œuvre effective. La dimension collective concernait dans la majorité des cas entre 10 et 50 éleveurs et s'appliquait à un territoire de communautés de communes principalement.

L'analyse des freins et leviers a permis de déterminer une liste de questions à se poser au préalable pour évaluer si la configuration est favorable ou défavorable à une gestion collective des effluents, mais aussi pour lever, si possible, d'éventuels freins.

Aspects à considérer	Éléments à prendre en compte	Leviers	Freins	Gérable (G) / non gérable (NG)
Objectifs environnementaux territoriaux	Présence d'activité(s) concurrente(s) à la solution collective sur le territoire, notamment en termes de mobilisation de biomasses	x	√	G/NG
	Interconnexion positive de la solution avec l'écosystème territorial	√	x	G/NG
	Interconnexion négative de la solution avec l'écosystème territorial	x	√	G/NG
	Milieu sensible en termes de qualité de l'air	√	x	G/NG
	Territoire avec de nombreux élevages proches	√	x	G/NG
Contexte humain local	Agriculteurs intéressés par la mutualisation et le partage et ouverts au changement	√	x	NG
Etude de marché	Réalisation d'une étude de marché préalable	√	x	G
	Identification d'aide financière pour le lancement de la gestion collective	√	x	NG
Financement	Organisation d'un autofinancement de la solution pour le fonctionnement en routine	√	x	G
	Existence d'une réglementation favorable à la solution collective ou stimulant les résultats de la solution collective	√	x	NG
Réglementation	Existence d'une réglementation contraignant la solution collective	x	√	NG
	Structure pérenne et animateur(s) pour gérer la solution collective	√	x	G
Gouvernance de la solution	Co-construction avec les futurs participants de la solution	√	x	G
	Association / implication des pouvoirs publics dans le montage de solution	√	x	G
	Formalisation de règles collectives pour les gérants et participants de la solution collective	√	x	G
	Contractualisation entre les gérants de la solution et les participants	√	x	G
	Communication interne	√	x	G
Caractéristiques du collectif de la solution	Objectifs individuels des participants compatibles entre eux et avec la solution	√	x	G
Evaluation des performances	Définition d'indicateurs de performances et calcul de ces derniers. Le critère G/NG dépend de l'existence ou pas d'outils pour calculer les indicateurs car les calculs sont complexes.	√	x	G/NG
Accompagnement des adhérents	Apport de services aux adhérents	√	x	G
	Proposition de formations aux adhérents	√	x	G
Travail des adhérents	Augmentation du temps de travail des adhérents ou complexification de ce dernier du fait de leur implication dans la solution collective	x	√	G
Traçabilité des pratiques collectives	Enregistrement des pratiques liées à la gestion collective et du devenir des effluents	√	x	G
Communication externe	Réalisation d'une communication externe sur la nature de la solution collective et ses performances	√	x	G
Acceptabilité sociale	Présence de polémiques sur les élevages au niveau du territoire de mise en place de la solution collective	x	√	NG
	Intégration dans l'évaluation et la communication externe de critères d'importance pour l'acceptabilité sociale	√	x	G
BILAN		Total √	Total x	Total G parmi les X

\*Précision : cette partie n'aborde pas les aspects sanitaires

Pour chaque aspect et élément à prendre en compte, le collectif travaillant sur le projet de gestion collective indique sa situation locale avec un « OUI » ou un « NON » (respectivement « √ » et « X », tableau ci-dessus). En bilan, le nombre total de OUI et de NON donnera une idée des chances de succès. Pour tous les « NON » gérables (G), des actions peuvent être mises en place pour augmenter le taux de réussite du projet. Par exemple si le collectif répond qu'il n'y a pas eu de co-construction avec les futurs contributeurs au projet, il peut envisager de les associer davantage aux futures étapes de construction.

Parmi les leviers, il est ressorti qu'une mise en évidence des plus-values de la solution collective était de nature à motiver les participants, intéresser les pouvoirs publics et améliorer l'acceptabilité sociale. A cette fin, plusieurs indicateurs pouvant être renseignés ont été identifiés et sont ici présentés.

Liste d'indicateurs pouvant être suivis au niveau des élevages impliqués dans la solution collective	Aspects :		
	économiques		
	sociaux		↓
	environnementaux	↓	
Nombre d'éleveurs impliqués dans la solution collective	X	X	X
Part des effluents du territoire impliquée dans la solution	X	X	X
Temps de travail lié à la gestion collective des effluents		X	
Emplois créés par la solution collective		X	
Image des élevages avant et après la solution collective (enquête)		X	
Emissions d'odeurs	X	X	
Capacité de transmission des fermes impliquées dans la solution collective		X	X
Coût de fonctionnement de gestion des effluents			X
Revenu lié à la gestion collective des effluents			X
Surcoûts / économies liés à la gestion collective			X
Santé économique des fermes impliquées dans la solution			X
Quantité (en masse ou en volume) des effluents et coproduits de traitement à gérer dans la solution collective	X		
Emissions gazeuses liées à la gestion collective des effluents (ammoniac et gaz à effet de serre)	X		
Consommation d'énergies fossiles	X		
Production d'énergie renouvelable	X		
Nitrates lessivés	X		
Phosphore lessivé	X		
Métaux lourds apportés aux sols (Cu et Zn)	X		
Rapport C/N dans les sols du territoire	X		
Taux de MO des sols	X		
Bilan carbone du territoire	X		
Distances parcourues pour gérer les effluents et éventuels coproduits de traitement de la solution	X		
Autonomie de fertilisation du territoire	X		
Economie d'engrais minéraux	X		
Proportion de l'azote excrété par les animaux valorisé agronomiquement	X		
Qualité de l'eau	X		
Bilan azoté du territoire (efficience)	X		

Le collectif peut en sélectionner quelques-uns et décider de les renseigner avant et après la solution collective. Les modalités de calcul peuvent être définies au cas par cas avec l'aide des structures de conseils présentes sur le territoire (chambre d'agriculture notamment).

Selon leur nature, les freins et leviers peuvent constituer des forces et des faiblesses d'une part, des menaces et des opportunités d'autre part. Ces points sont discutés ci-dessous, en lien notamment avec des exemples dans les expériences enquêtées.

## Forces et faiblesses

### La configuration territoriale

Elle peut à la fois être une force ou une faiblesse suivant ses caractéristiques : nombre d'exploitations, dispersion, conditions pédoclimatiques... Un territoire peut freiner l'optimisation géographique entre les lieux de production des effluents et les lieux de possibles valorisations.

### Les performances de la solution collective

Elles sont rarement évaluées de façon quantitative et formalisée alors qu'elles devraient l'être. Les forces viennent des plus-values apportées aux éleveurs impliqués et à l'environnement. Elles concernent le plus souvent la valorisation agronomique des effluents avec une optimisation de la fertilisation, des économies d'engrais minéraux.

A noter que la dimension collective de la gestion des effluents ne garantit pas pour autant l'équilibre de la fertilisation globale qui intègre, en plus des effluents d'élevage, des engrais minéraux : si la gestion permet des économies, elles doivent être effectivement mises en œuvre par les agriculteurs.

Lorsque que la gestion collective porte sur de la méthanisation, la production d'énergie renouvelable et l'économie de ressources en énergie fossile constitue une force, notamment lorsque cette énergie renouvelable peut servir à alimenter d'autres activités de proximité (exemple d'une ville alimentée en partie par de l'électricité produite par de la méthanisation d'effluents d'élevage). Les solutions sont perçues comme un moyen d'anticiper les enjeux de demain. Toutefois, si des atouts environnementaux sont pointés en termes de forces, des questions demeurent et sont plutôt positionnées en termes de faiblesses : elles concernent le transport supplémentaire généré par la dimension collective, les nouvelles sources d'émissions gazeuses et éventuellement d'odeurs... Par ailleurs, les aspects sanitaires deviennent aussi plus prégnants et toute solution devra assurer une bonne traçabilité des pratiques et du devenir des effluents et co-produits de traitement : savoir exactement à quel moment chacun épand, à quelle dose, et quelle qualité d'azote, de phosphore et de potassium.

### Le facteur humain est essentiel

Le succès des expériences tient pour beaucoup aux initiateurs et aux porteurs de la démarche avec leur volonté, leur dynamisme, leur courage, leur envie d'entreprendre. Cet aspect de fait peut fragiliser la démarche lors du départ ou de l'arrêt des porteurs initiaux. Les initiateurs sont peu interchangeables. La présence de collectifs déjà organisés est un plus et facilite l'émergence de l'idée d'une gestion collective et sa mise en œuvre. Ce peut être un noyau d'adhérents historiquement impliqués dans une CUMA qui est déjà un lieu de partage de matériel avec des habitudes de travailler en commun. Ce peut être des agriculteurs réunis dans un comité professionnel agricole (CPA), dans une association.

Une fois la dynamique lancée, le facteur humain va dépendre :

- **De la nature du collectif.** Sa taille est impactante : un petit collectif est plus facile à gérer qu'un gros collectif au sein duquel la cohésion est plus difficile à maintenir et surtout dans lequel il est plus difficile d'obtenir un consensus sur les orientations, les objectifs. Pour autant, un collectif de taille conséquente peut aussi être un facteur de réussite en donnant une force politique. Le succès ou l'échec tiendra également à la volonté des participants de s'impliquer suivant leur habitude de travail : dans le cas d'une expérience enquêtée, un manque d'implication des adhérents s'est avéré une faiblesse dans la démarche. Les générations des participants peuvent intervenir : des jeunes installés arrivent plus facilement à se projeter sur une nouvelle façon de travailler que des exploitants en fin de carrière davantage axés sur la transmission de leur exploitation. La mentalité est également un facteur à prendre en compte : la dimension collective peut être perçue comme une contrainte et des éleveurs peuvent préférer une solution individuelle ; dans le cas d'une expérience, les éleveurs ont préféré gérer de petits excédents azotés par une réduction de cheptel plutôt que de se lancer dans une organisation collective.
- **De la gouvernance de la gestion.** Dans cette dernière, il y a tout d'abord un animateur. Ce dernier s'avère un point fort ou faible selon qu'il ait du temps, ou non, à consacrer à la gestion de la dynamique. Il faut avoir ce point de vigilance notamment lorsque la taille du collectif augmente. La gouvernance s'avère par ailleurs être une force lorsque cette dernière associe, les agriculteurs impliqués, des acteurs des collectivités (liens établis entre les Agriculteurs méthaneiseurs de France et les élus), de la DREAL ou bien des chambres d'agriculture et des syndicats : les acteurs pertinents dépendent du contexte local de chaque expérience. Au vu des expériences enquêtées, cette gouvernance s'avère par ailleurs une force lorsqu'un partage est organisé avec des échanges réguliers (réunions, groupe sur outil de réseaux sociaux) : il en ressort une meilleure cohésion d'équipe.

## Travail et compétences

Les expériences de gestion collective modifient le travail des éleveurs avec des points forts qui peuvent permettre par exemple, une réappropriation des plans d'épandage par les agriculteurs, une simplification de ces derniers notamment lors de leurs mises à jour. La dynamique opérée s'avère un point fort lorsque les éleveurs bénéficient de plus de réactivité dans leur quotidien et c'est encore mieux si une approche ludique a pu être trouvée, pour davantage donner envie. C'est également un point fort lorsque l'organisation collective repose sur des compétences déjà présentes chez les éleveurs. Inversement, lorsque de nouvelles compétences sont nécessaires (comme la mise en place d'une filière de gestion des effluents jusqu'alors non maîtrisée par le collectif), ce peut être un facteur de fragilisation et générateur de craintes ou de réticence des éleveurs. Il faut dans ce cas anticiper ce besoin de compétences et proposer des formations. Le besoin associé est de disposer de données et de retours d'expériences. Plusieurs expériences font le choix de mutualiser un ou des salariés pour en assurer le fonctionnement. Dans ce cas, la juste rémunération est présentée comme un point fort afin de pérenniser le poste. Une autre fragilité liée à la dimension collective est la variation dans le temps du collectif comme par exemple le gisement d'effluents : il faut donc être à même d'ajuster régulièrement la gestion du process.

## La dimension collective

Elle est souvent source d'innovation sur le plan technique avec la réalisation de nouveaux équipements et de nouvelles actions : cas des premières banques à lisier, des unités de méthanisation collectives...

Lorsque la création de nouvelles infrastructures est nécessaire, il semble prudent de confier le projet à un prestataire sans trop segmenter et ceci pour en faciliter la maintenance. La création d'outils pour assurer la gestion collective ressort également comme un point positif : c'est le cas d'un outil de requêtes créé dans une expérience qui avait pour objectif de formaliser les excédents individuels des éleveurs et les capacités de valorisation de ces excédents par d'autres exploitations. La création de services ou l'apport de solutions techniques pour les adhérents est également un point fort car cela apporte une plus-value par rapport à l'échelle individuelle. Cela est permis le plus souvent par une mutualisation des moyens avec les équipements (cas d'un semoir spécifique CIVE dans une expérience enquêtée). Une des difficultés des expériences tient à des facteurs de variabilité supérieurs à l'échelle collective en comparaison de l'échelle individuelle. Cela peut se traduire par une forte variabilité des volumes d'effluents : c'est le cas des effluents avicoles d'une expérience qui en raison des épidémies de grippe aviaire deviennent régulièrement inutilisables dans le méthaniseur, cela peut aller jusqu'à la non-atteinte du volume d'activité visé. La contractualisation peut être une réponse avec un engagement réciproque entre les adhérents et le collectif.

## La communication

La communication autour de l'expérience de gestion collective ressort comme déterminante dans le succès de l'opération. Plusieurs expériences ont communiqué auprès des collectivités, riverains, agriculteurs, avec notamment l'organisation de portes ouvertes à destination des professionnels, du grand public, et des interventions dans les écoles. L'objectif est d'acquiescer de la notoriété, soit par d'autres voies (organisation d'un festival de musique local par les membres associés d'une expérience), soit par de la communication active. Lors des communications, il s'agit de démontrer l'intérêt environnemental, économique et social : une expérience a ainsi tracé des éléments de performance comme l'amplitude horaire des chauffeurs, le volume épandu quotidiennement. L'enjeu de la communication est de mieux faire comprendre l'intérêt de la gestion collective car la méconnaissance du métier par les citoyens peut conduire à des oppositions. L'inauguration de la plateforme d'une expérience a ainsi permis de lever des craintes de la part des riverains. La communication n'est pas uniquement très importante vers l'extérieur mais également au sein du collectif d'éleveurs. Les adhérents souhaitent davantage échanger en petits groupes afin que l'information soit moins descendante.

## Opportunités et menaces

### Les sources de financement

Elles sont déterminantes dans le succès d'une expérience ou son arrêt. Elles démarrent souvent avec une opportunité de financement comme des appels à projet, des aides ponctuelles (ADEME, Conseil régional...), ou une volonté politique (région). La non-pérennisation du financement devient ensuite un facteur de fragilisation : une expérience a connu une défection du Conseil régional, une autre n'a pas eu de continuité dans le dispositif lancé par appel à projets. Ces financements sont liés aux priorités du moment qui évoluent au fil du temps : nombreux financements pour la résorption taris au cours des années 2000, évolution d'une priorité pour la méthanisation vers une priorité pour la méthanisation individuelle pour le Conseil régional de Bretagne. L'équilibre financier de l'expérience va ensuite dépendre du marché avec, parfois des mar-

chés porteurs et/ou novateurs (valorisation d'autres déchets organiques comme les urines, les insectes...), ou une fragilisation possible lorsque les coûts des intrants augmentent et qu'il y a une concurrence accrue d'accès aux gisements des intrants de méthanisation. En ce qui concerne les effluents d'élevages, ce peut être aussi un arbitrage avec les engrais minéraux.

## Le contexte local

Au-delà du financement, le contexte local joue également fortement sur les expériences de gestion collective des effluents d'élevage et nombre d'entre elles ont été impulsées par ce contexte. Ce peut être lié au territoire de la Bretagne, zone d'élevage importante, avec une dynamique d'initiatives (opérations bassins versants, plan algues vertes). Dans ce territoire, une convergence d'objectif entre le niveau régional (DREAL, organisations professionnelles agricoles) et local (opération bassins versants) a permis de lancer des initiatives. Ce peut-être un territoire tourné sur la production d'énergie renouvelable et donc ouvert aux projets de méthanisation. Les relations avec les pouvoirs publics, lorsqu'elles sont bonnes, peuvent également jouer et favoriser l'émergence d'expériences. D'autres expériences ont pu se mettre en place du fait d'un changement d'équipe au niveau de l'administration. Le contexte local peut également être un frein si d'autres expériences collectives voient le jour : elles peuvent en effet entrer en concurrence. Il y a des risques de controverses et de tensions entre agriculteurs. Il est donc primordial de faire une étude de marché préalable. Un dernier élément de contexte mentionné est lié aux aspects sanitaires qui deviennent essentiels et notamment dans le raisonnement de la valorisation des effluents : pour les effluents avicoles, les contextes de grippe aviaire sont déterminants ; pour les effluents porcins, la grippe porcine positionne ces aspects au centre de la réflexion sur les nouveaux élevages et modes de gestion des effluents d'élevage.

## La réglementation

Elle s'avère un aspect déterminant des opportunités et menaces par rapport aux expériences collectives. Elle est le plus souvent présentée comme un frein notamment concernant la réglementation ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) avec les difficultés administratives liées aux mises à jour des plans d'épandage. D'autres contraintes s'ajoutent dans des territoires spécifiques notamment en Bretagne avec la Directive Nitrates, les plans algues vertes. Toutefois, l'importance de la réglementation est aussi le moteur d'une dynamique forte sur le terrain et peut être le moteur aux projets de gestion collective, certaines étant nées dans une dynamique de résorption. Dans ce contexte qualifié de rigide, l'ouverture de l'administration à des changements est, de fait, présentée comme une opportunité : des assouplissements des plans d'épandage et une adaptation aux échanges entre exploitants ont été permis dans un cadre expérimental ; il reste à pérenniser cette simplification dans une évolution de la réglementation (projet de texte ICPE qui ambitionne de réformer les épandages). La réglementation imposée aux éleveurs peut également être le déclencheur de la dynamique collective pour permettre aux éleveurs de respecter leurs obligations.

## Connaissances disponibles

La capitalisation des connaissances disponibles concernant les exploitations et leur organisation en bases de données permet d'envisager des outils collectifs qui mobilisent ces informations. Ce n'était pas le cas, il y a encore quelques années (ou avec beaucoup plus de difficultés) et c'est toujours difficile pour certains territoires pour lesquels les bases de données qui existent peuvent être partielles, hétérogènes et/ou obsolètes. Toutefois, cette possibilité technique butte sur la protection des données individuelles : il ne faut pas négliger cet aspect dans l'analyse de faisabilité de la gestion collective. Dans le cas d'une expérience, l'accès aux données individuelles des éleveurs porcins (Bdporc) par administration a conduit à un blocage du fait de craintes des organisations régionales porcines concernant la transmission de données d'éleveurs à l'administration. En lien avec la méthanisation et les connaissances que sa mise en œuvre requiert, les acteurs trouvent difficile de trouver une formation adaptée. Celle-ci est pour autant nécessaire, car des réticences d'éleveurs peuvent venir d'une méconnaissance des digestats et d'a priori négatifs.

## Les attentes sociétales

Elles jouent également un rôle important dans le développement ou le freinage des gestions collectives. Concernant la gestion des effluents, ces dernières demandent plus de naturalité, avec une meilleure adéquation entre les productions d'effluents et le besoin des cultures. La société s'intéresse à l'environnement et attend de fait des réductions d'impacts, notamment sur les aspects « carbone » très médiatisés. Les attentes portent également sur les moyens et de façon pas toujours cohérente avec les résultats attendus, car la construction d'équipements collectifs, quand bien même ils répondent à des besoins de performances, fait peur et les riverains ne souhaitent pas cela à proximité de chez eux. La méthanisation souffre encore d'une image négative et nécessite des explications et apports pédagogiques. Les riverains manifestent également des inquiétudes sur les transports des effluents (augmentés dans le cas d'une gestion collective) et sur les émissions d'odeurs liées à l'épandage ou au stockage des intrants dans le cas de la méthanisation.

# LE TRAITEMENT COLLECTIF DES EFFLUENTS DANS LES AUTRES PAYS EUROPÉEN

Les expériences de traitement collectif des effluents à l'échelle française sont peu nombreuses. Dans le cadre du projet GESTE, un inventaire des unités ou méthodes de traitements collectifs a été réalisé à l'échelle européenne. La littérature rapporte un certain nombre de descriptions d'unités collectives en fonctionnement [4, 5, 8, 9, 10, 11] et l'existence d'un inventaire des procédés de traitement à l'échelle européenne [6] avec leur classification par pays et par orientation (séparation de phases, traitement des liquides et des solides...) selon la quantité d'effluents traités : à la ferme versus les unités de taille moyenne (< 50 000 t/an) versus des unités de grandes tailles (> 50 000 t/an). Le choix des termes a toute leur importance puisqu'en France, le traitement annuel de quelques dizaines de milliers de tonnes d'effluents peut être considéré comme de grande taille et, à plus de 50 000 t/an, il s'agit plutôt d'unités « centralisées » voire « industrielles », ces différents termes n'étant pas standardisés. Compte tenu des volumes mentionnés au regard de la taille moyenne des élevages français (et a fortiori du fait que seuls les excédents d'effluents font l'objet de traitement), ces deux dernières catégories peuvent être qualifiées de « collective » par opposition à la première catégorie de cet inventaire spécifiquement dédiée aux unités « à la ferme », donc de nature individuelle.

La littérature montre ainsi que (1) la plupart des procédés peuvent s'adapter à du traitement collectif (l'inverse n'étant pas vrai pour des raisons d'économie d'échelle/de complexité), (2) les unités collectives sont numériquement peu nombreuses mais peuvent en retour s'avérer dominantes en termes de volume traité (exemple de la séparation de phases, de la méthanisation et du traitement des liquides aux Pays-Bas), (3) la mise en œuvre des unités de grande taille est très contrastée entre pays européens.

Certains pays se distinguent par une part élevée d'unités centralisées (relativement au volume d'effluent traité dans le pays considéré), c'est le cas des Pays-Bas pour la séparation de phases et le traitement des liquides (par filtration membranaire et nitrification/dénitrification). C'est le cas également de la Belgique pour le traitement des liquides par nitrification/dénitrification et la déshydratation des solides et de l'Espagne pour la séparation de phases, cette dernière technique étant essentiellement individuelle à l'échelle européenne. Pour ces trois pays : Pays-Bas, Espagne et dans une moindre mesure en Belgique, la proportion de méthaniseurs de grandes dimensions semble également plus élevée que dans les autres pays européens. Le développement à grande échelle de la déshydratation des solides en Belgique et de la séparation de phases aux Pays-Bas est certainement à mettre en lien avec leurs besoins d'exportation de solides (et notamment de phosphore) vers des pays tiers.

L'Espagne se caractérise également des autres pays tiers par une plus grande diversité des procédés de traitement centralisé : utilisation d'additifs et de pré-traitements (forte pression, T° élevée), utilisation de coagulant-floculant (pour améliorer les performances de la séparation de phases, essentiellement effectuée par décanteuse-centrifuge pour de telles tailles d'installations). Et enfin, séchage thermique, pelletisation et combustion pour le traitement des solides ; filtration membranaire et évapo-concentration pour le traitement des liquides.

À l'inverse, la gestion des effluents en Italie qui se caractérise par un fort développement de la séparation de phases par rapport aux pays tiers, est quasi exclusivement basée sur un modèle individuel. Il en est de même de la méthanisation pour l'Allemagne. Dans l'inventaire des procédés de traitement [6], aucune technique de résorption n'a d'ailleurs été répertoriée dans ce pays.

Enfin, d'autres situations se caractérisent par une plus grande mixité. C'est le cas du compostage en Espagne où co-existent tant des unités individuelles que des unités centralisées. Et de même pour la méthanisation au Danemark où il y a eu successivement des phases d'incitations publiques pour les modèles individuels et centralisés. En Italie, où la méthanisation est également bien développée, une certaine mixité est observée pour ce procédé.

Les différences de développement des unités centralisées et des processus retenus s'expliquent par de multiples facteurs : transpositions nationales des directives européennes, nature des réglementations locales, densité des productions animales, état des voies de communication, acceptabilité sociale, etc.

---

# **FICHES GESTION ET TRAITEMENT COLLECTIF DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE**

<b>L'épandage collectif des effluents d'élevage et des digestats .....</b>	<b>11</b>
<b>Séparation de phases par décanteuse-centrifuge .....</b>	<b>13</b>
<b>Traitement biologique par boue activée avec séparation de phases en tête .....</b>	<b>15</b>
<b>Compostage du fumier de volailles et de bovins .....</b>	<b>17</b>
<b>La méthanisation agricole collective .....</b>	<b>19</b>
<b>Filtration membranaire du digestat .....</b>	<b>21</b>
<b>Evapoconcentration du digestat .....</b>	<b>23</b>
<b>Stripping de l'azote du digestat .....</b>	<b>25</b>

# L'épandage collectif des effluents d'élevage et des digestats

## Objectif et principe

La valorisation agronomique des effluents à l'état brut est la méthode de gestion la plus économique. Presque tous procédés de traitement en augmentent le coût. En cas d'éléments fertilisants excédentaires sur le plan d'épandage, la substitution à des engrais minéraux est à privilégier (par exemple sur les céréales en sortie d'hiver). Compte tenu de la restriction des périodes d'épandage, de l'augmentation de la taille des troupeaux, de l'essor de la méthanisation, de la nécessaire optimisation de la main d'œuvre et des coûts, ... l'épandage des déjections animales et digestats - surtout liquides - recourt de plus en plus à du matériel spécialisé, à de la délégation de service, à des organisations et logistiques collectives. Les Cuma peuvent répondre à ces besoins. Ce sont des coopératives d'utilisation de matériels agricoles dans lesquelles les exploitations agricoles d'un secteur géographique se regroupent pour réduire les coûts notamment d'épandage. Les Cuma sont également des employeurs de chauffeurs.

## Les équipements

La mutualisation des équipements permet d'investir dans des tonnes à lisier de grande capacité, jusqu'à plus de 20 m<sup>3</sup>, permettant d'accroître les débits de chantier. De telles capacités nécessitent être vigilant quant au tassement des sols et à ce que l'ensemble tracteur/tonne à lisier ne dépasse pas le PTAC (Poids Total Autorisé en Charge). Au sein des Cuma, le matériel est plus utilisé qu'en propriété individuelle, leur rotation est plus rapide, ils sont plus récents et mieux équipés, permettant de meilleures qualités d'épandage. Concernant les tonnes à lisier, les équipements additionnels sont généralement les suivants :

- Le DPA (débit proportionnel à l'avancement) est régulièrement présent en Cuma, il adapte la dose prescrite à l'hectare selon la vitesse d'épandage
- Les pendillards et enfouisseurs pour limiter la volatilisation de l'ammoniac
- Les capteurs infrarouges pour une analyse rapide de la composition des lisiers
- Le télégonflage pour adapter la pression des pneumatiques à la nature des sols (route, parcelle)

La Cuma de Bais dispose ainsi d'une tonne à lisier de 20 m<sup>3</sup> avec un pendillard, équipée de la technologie analyseur infrarouge (photo du haut).

## Les organisations collectives de dissociation du transport et de l'épandage

L'épandage sans tonne est envisageable dans les exploitations disposant d'un parcellaire très groupé autour du site d'élevage. À défaut, il est possible de recourir soit à un caisson tampon mobile qui suit le chantier d'épandage, soit à un stockage fixe de petite capacité (poche à lisier...) au sein de l'îlot parcellaire éloigné du site. Pour les deux situations, l'épandage aux champs est réalisé avec un système d'épandage sans tonne, relié au caisson de stockage intermédiaire ou à la fosse par un tuyau. Les Cuma de Plurien (22) et d'Agribocage (35) se sont ainsi associées pour mutualiser leurs équipements : rampe d'épandage de 24 m, caisson tampon de stockage au champ et tonne de ravitaillement (sans équipement d'épandage, voir photo ci-contre).

Le coût de l'épandage sans tonne à lisier varie de 2 €/m<sup>3</sup> environ si les parcelles sont proches de la fosse, à plus de 5 €/m<sup>3</sup> si les parcelles sont éloignées de plus de 10 km. Le coût peut être similaire avec un chantier non dissocié (où la tonne à lisier assure



Tonne à lisier équipée d'un pendillard et console d'affichage de la composition du lisier épandu analysé par infrarouge



Pompe reliée à la rampe d'épandage, caisson de stockage ravitaillé par des tonnes à lisier

## Intérêts et points de vigilance de l'épandage sans tonne

- Débit de chantier d'épandage élevé (40 à 60 m<sup>3</sup>/h, voire jusqu'à 130 m<sup>3</sup>/h).
- Permet d'épandre plus tôt en saison sur les parcelles peu portantes, moindre risque de tassement.
- Difficilement envisageable sur les parcelles de forme irrégulière, en pente, bosselées, avec cailloux saillants, lorsqu'il y a des arbres ou poteaux électriques. Technique plus adaptée à des parcelles de grande longueur pour limiter le temps d'installation.
- Deux chauffeurs au minimum sont nécessaires pour la réalisation d'un chantier dissocié, l'un pour l'épandage, l'autre pour le ravitaillement du caisson tampon. Si la distance est supérieure à 7 km, il faudra deux ensembles de ravitaillement pour assurer l'épandage en continu.

le transport et l'épandage) lorsque la distance est élevée.

**L'épandage peut également s'effectuer avec un automoteur.** Ce matériel, uniquement dédié à l'épandage, est ravitaillé par des tonnes (ou un camion) ou via un caisson tampon de stockage au champ. L'Intercuma des 3 rivières (Pacé, 35), a investi dans un automoteur pour faire de la dissociation (voir photo ci-contre).

Le coût d'épandage par automoteur s'élève à 3,5 - 4 €/m<sup>3</sup>. Il dépend de la distance et donc du nombre de ravitailleurs nécessaires.

**Le camion-citerne de ravitaillement** est une solution pour le transport d'effluent sur une longue distance (plus de 10 km).

## Exemples d'application

### Mutualisation d'un plan d'épandage dans le cadre d'une unité de méthanisation à Janzé (35)

Au-delà des équipements vus précédemment, le plan d'épandage peut également faire l'objet d'une mutualisation. Dans le sud d'Ille-et-Vilaine, des éleveurs de volailles d'une part, et de bovins d'autre part, étaient respectivement excédentaires en azote et phosphore. Sur Janzé (35), des éleveurs étaient également en situation d'augmentation de cheptel alors que le sud du département comportait des exploitations plutôt laitières et déficitaires en azote et phosphore. De ce déséquilibre est né l'idée de mutualiser le plan d'épandage à la suite de la mise en œuvre d'une unité de méthanisation collective avec séparation de phases par presse à vis, Enerfées. Cette dernière, impliquant 55 agriculteurs actionnaires, a commencé à injecter du biométhane début 2023.

L'unité de méthanisation dispose sur site de 4 000 m<sup>3</sup> de capacité de stockage du digestat. Elle est complétée par du stockage déporté (1) des fosses déjà existantes ne servant plus (agriculteurs à la retraite) et pour les solides (2), 40 caissons de 43 m<sup>3</sup> disposés sur fumières ou au champ selon la saison. Le plan d'épandage couvre 4 500 ha sur 70 exploitations. Chacune demeure responsable de son propre plan d'épandage et peut travailler librement avec son matériel, en Cuma ou avec une ETA. Toutefois le transport du digestat est géré par une ETA qui dédie pour Enerfées, 2 camions citernes de 30 m<sup>3</sup> et 2 camions porte-caissons. Le prix moyen négocié avec l'ETA est revu en fin d'année en fonction du réalisé.

Le retour au sol du digestat s'effectue sur une distance moyenne de 11 km, sur la base de la quantité et de la nature des effluents apportés dans le méthaniseur, et selon les besoins en azote et phosphore de chaque exploitation. Le digestat solide va prioritairement sur les exploitations déficitaires en phosphore et le digestat liquide sur les exploitations déficitaires en azote.

Si l'unité de méthanisation est, fin 2023, toujours en phase de croissance avec l'arrivée d'apporteurs supplémentaires d'intrants (effluents, CIVEs, déchets des IAA), les gestionnaires du site restent vigilants quant aux éventuelles réactions occasionnées par l'agrandissement du plan d'épandage collectif.



*Automoteur de l'Intercuma des 3 rivières (Pacé, 35) : Vredo de 19,5 m<sup>3</sup>, 450 chevaux, roulant en crabe, équipé de télégonflage et disposant d'un enfouisseur de 9 m de large (possibilité d'enfouisseur à dents de 6,70 m).*



*Camion Man Tgx 4x4 avec citerne de 30 m<sup>3</sup> (Cuma Agribocage)*

## Intérêts et points de vigilance de l'automoteur

- Débit de chantier très rapide (possiblement 100 m<sup>3</sup>/h et voire jusqu'à 150 m<sup>3</sup>/h)
- Plus maniable que le système sans tonne (pas de tuyau à gérer)
- Préservation de la structure du sol avec l'équipement adapté : télégonflage, avancement en crabe, pneumatiques spécifiques
- Nécessite au moins 2 à 3 chauffeurs disponibles en même temps (si chantier dissocié)
- Organisation logistique complexe pour éviter les temps d'attente (si chantier dissocié)

# Séparation de phases par décanteuse-centrifuge

## Objectif et principe de fonctionnement

Les équipements permettant d'effectuer de la séparation de phases sont assez nombreux : presse à vis, tamis fixe, vibrant et rotatif, filtre à bande... Toutefois, dans le cadre d'une résorption d'éléments fertilisants, tel que le phosphore, la décanteuse-centrifuge est l'un des dispositifs les plus appropriés, notamment pour du traitement collectif. Elle est utilisable tant sur lisier brut que sur digestat, en version fixe ou mobile, et sur des gammes très larges de quantité d'effluents à traiter annuellement.

Après cette séparation de phases, le refus solide est généralement composté afin de déshydrater et stabiliser la matière organique, l'hygiéniser par une montée en température, réduire le coût de transport et respecter si nécessaire, les critères de composition des normes de mise en marché. Le compostage peut être insuffisant pour certains produits organiques ou dans certaines conditions (en hiver par exemple). L'aération forcée voire l'ajout d'un substrat ligno-cellulosique peut s'avérer nécessaire.

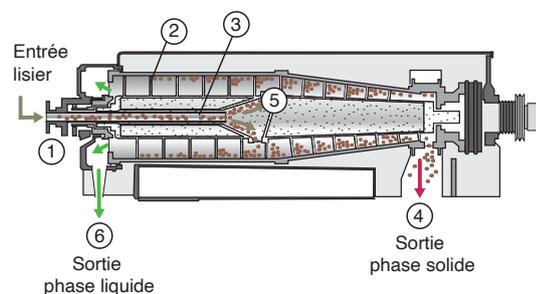
Compte tenu de la technologie mise en œuvre, le phosphore et tous autres composants liés à des éléments particuliers sont extraits avec efficacité par les décanteuse-centrifuges (voir ci-après). Selon les besoins de résorption, elle peut être utilisée seule ou combinée avec d'autres procédés de traitement (filtration membranaire, traitement biologique par boue activée... voir fiches correspondantes). Sur lisier, elle sera alors plutôt en tête de traitement. La réduction de la charge organique en réduit le coût (cas de la nitrification/dénitrification) ou la prise en masse (cas de l'évapoconcentration). Sur digestat, la séparation de phases est placée après méthanisation afin de bénéficier du potentiel méthanogène des éléments particuliers mais avant traitement pour les mêmes raisons que le lisier. La décanteuse-centrifuge est privilégiée s'il s'agit de résorber des excédents (en phosphore notamment), dans les autres cas, il sera plutôt utilisé une presse à vis compte tenu d'un moindre coût.

Le mode de fonctionnement d'une décanteuse-centrifuge est le suivant : une pompe volumétrique achemine le digestat, préalablement homogénéisé et ayant subi une filtration grossière, dans la décanteuse centrifuge. La rotation du cylindre (le bol, 1), à une vitesse de l'ordre de 3 à 4 000 tours/min, exerce une force centrifuge sur les sédiments qui se déposent sur le pourtour. Une vis convoyeuse interne (2) tournant à une vitesse légèrement plus élevée, permet de racler et d'évacuer la fraction solide (3). La fraction liquide, constituant la partie interne de l'anneau d'effluent, est évacuée du côté opposé (4). Ce mode opératoire – la décantation gravitaire – explique le bon niveau de performance relativement à une « simple » filtration des tamis et presse à vis. Son niveau de performance peut être amélioré avec l'utilisation de polymères (voir tableau plus bas). Dans le cas particulier d'un traitement biologique par boue activée, le taux de capture des éléments particuliers est amélioré par la recirculation de boue en amont de la décanteuse-centrifuge.

## Particularités dans le domaine du traitement collectif et exemple d'application

Il existe une large gamme de modèles de décanteuse centrifuge. D'après trois équipementiers contactés (Asserva, Alfalaval et GEA/Wesphalia), les débits de traitement peuvent aller jusqu'à 28 m<sup>3</sup>/h pour l'un, voire 90-140 m<sup>3</sup>/h pour un autre. Pour ce dernier, le débit en matière sèche est de 2 000 – 3 500 kg/h. Ce mode d'expression, plus difficile à appréhender pour un dimensionnement, est toutefois plus représentatif du débit réel d'une machine. Le débit volumétrique est notamment fonction de la teneur en matière sèche de l'effluent traité.

Si les équipementiers recommandent plutôt de disposer de plusieurs machines ou une seule mais sur-dimensionnée, la plupart des sites disposent, pour des raisons de coût, que d'une seule décanteuse-centrifuge ayant peu de marge en termes de débit de traitement. Les machines sont conçues pour tourner 12 h/jour, ce qui permet de réaliser la maintenance et le lavage. Au-delà des dimensions standards, ce qui est



Coupe schématique d'une décanteuse centrifuge

## Intérêts - Points de vigilance

- Grande souplesse d'usage pour des projets collectifs, car la décanteuse-centrifuge est envisageable tant en version fixe que mobile et sur une large gamme de débits
- Grandes économies d'échelle
- Technologie éprouvée
- Très bon rapport efficacité/coût sur les éléments liés à la matière sèche comme le phosphore.
- Nécessité d'un hangar de compostage/stockage de la fraction solide en sus de la machine.
- La fraction solide issue de cette séparation de phases peut nécessiter un ajout de substrat ligno-cellulosique et/ou une ventilation forcée, notamment en hiver pour atteindre les critères de la norme « engrais organique » NFU 42 001.
- Peu efficace pour les éléments solubles comme l'azote ammoniacal ou le potassium. À ce titre, les contraintes environnementales sur l'azote impliquent le plus souvent l'usage d'un traitement complémentaire en aval.

généralement le cas des projets collectifs de traitement, les pièces de rechange sont moins disponibles. En cas de panne, les délais de réparation risquent d'être plus longs et pénalisants pour les objectifs de traitement.

Les décanteuse-centrifuges (mais aussi la plupart des autres séparateurs de phases) peuvent être embarqués dans un camion pour traiter les effluents directement sur les lieux de production (photo ci-contre). L'intérêt est alors de pouvoir mutualiser le coût entre des élevages assez éloignés les uns des autres. Les unités mobiles peuvent également s'envisager dans le cadre d'une prestation de services.

D'après les équipementiers consultés, le coût d'une machine de 900-1 200 kg MS/h est de 180 000 €HT (150-160 000 € pour une 28 m<sup>3</sup>/h). Ce coût inclut la machine, l'armoire électrique de pilotage, les sorties solides/liquides, les outils de levage/maintenance, l'emballage, le transport sur site, la mise en service et les essais de performance. Il faut y ajouter les frais relatifs à l'installation, au montage et au raccordement sur site. Concernant les coûts de fonctionnement, il y a la consommation électrique, l'entretien et la maintenance. Un nettoyage est à prévoir toutes les 150 h, soit 2 à 3 h par semaine ou toutes les 2 semaines selon l'intensité d'utilisation. Pour des décanteuses-centrifuges de grandes tailles, le graissage peut être automatisé. Une maintenance forfaitaire s'élève au moins à 5000 € tous les 5 ans sur lisier et 10 000 € tous les 3-4 ans sur digestat.

Le coût total (amortissement, maintenance, main d'œuvre et consommation d'énergie) d'une décanteuse-centrifuge décroît notablement lorsque le débit de traitement augmente. Il est environ de 2,5 €/m<sup>3</sup> pour 7 300 m<sup>3</sup> traité annuellement, 1,5 €/m<sup>3</sup> pour 14 600 m<sup>3</sup>/an, 1,1 €/m<sup>3</sup> pour 22 000 m<sup>3</sup>/an, 0,9 €/m<sup>3</sup> pour 30 000 m<sup>3</sup>/an et 0,8 €/m<sup>3</sup> pour 36 000 m<sup>3</sup>/an. Ces coûts, rapportés de la bibliographie [6], sont surtout intéressants pour illustrer les économies d'échelle envisageables.



Décanteuse-centrifuge mobile sur chassis mobile, le refus solide sera composté avant d'être exporté tandis que la fraction liquide est envoyée dans une autre fosse de stockage.

## Efficacité de traitement - Co-produits obtenus

Taux de capture dans la fraction solide (minimum – maximum) et composition moyenne des co-produits <sup>(1)</sup>

	MS	N <sub>total</sub>	N <sub>ammo</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Taux de capture en % (sur lisier)	60 +/- 16	25 +/- 9	16 +/- 9	72 +/- 13	12
Idem mais avec polymères	63 +/- 18	32 +/- 14	15 +/- 7	79 +/- 11	nc
Taux de capture en % (sur digestat)	59	26 (15-30)	18	71 (60-75)	20 (10-25)
	<b>Composition en g/kg de produit brut frais</b>				
Lisier centrifugé <sup>(2)</sup>	15	2,4	NC	0,4	nc
Solide	323 +/- 26	11,1 +/- 1,8	4,8 +/- 1,4	25,4 +/- 7,6	2,7 +/- 0,9
	<b>Composition en g/kg de produit brut frais</b>				
Quantité (kg/m <sup>3</sup> de digestat)					
Liquide (150-200)	33	4,8	3,5	1,5	2,7
Solide (800-850)	300	10,2	2,6	13,9	5,0

Selon [13, 14, 15] ; (2) Communication personnelle Evalor – NC : non connu.

L'utilisation de coagulants et flocculants, le plus souvent des polymères cationiques, améliore le taux de capture de ces éléments particuliers (i.e. azote organique et phosphore, voir tableau ci-dessus). Ce pré-traitement représente un surcoût et il est peu utilisé en traitement individuel. En traitement collectif, leurs utilisations peuvent avoir plus de sens compte tenu des économies d'échelle et coûts de logistique plus élevées (le coût de ces pré-traitements diminue en part relative). Toutefois, d'après l'un des équipementiers contactés, l'inflation les rend économiquement moins attractifs. Les éléments sous forme ioniques solubles comme l'azote ammoniacal mais aussi le potassium, ne sont pas ou peu impactés par les décanteuse-centrifuges. Si l'azote constitue

une contrainte forte sur le plan d'épandage, des procédés de traitement additionnels, tels que mentionnés précédemment, sont à prévoir en sus.

Les teneurs mentionnées s'entendent pour un produit frais, elles varient selon la nature des lisiers et surtout des intrants pour les digestats. Elles augmentent dans la fraction solide après un compostage/séchage. Une analyse permettra d'adapter la dose à épandre. Avec des teneurs supérieures à 10 voire 15 kg d'azote/t produit brut, les apports de solide frais seront compris entre 8 et 20 t/ha. Une rotation tous les 2 ou 3 ans est toutefois nécessaire compte tenu conjointement des apports élevés de phosphore, par ailleurs très disponible pour les plantes.

# Traitement biologique par boue activée avec séparation de phases en tête en tête

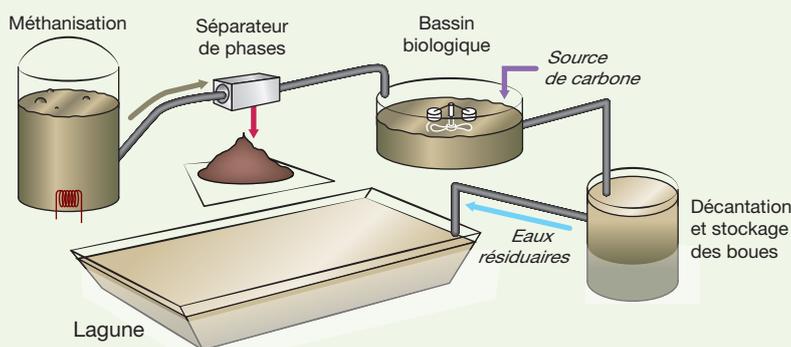
## Objectif et principe de fonctionnement

Le traitement biologique par boue activée (ou par nitrification/dénitrification) est massivement mis en œuvre sur le lisier de porc depuis plus de 20 ans en France. Il a largement fait ses preuves en termes d'efficacité/coût pour abattre l'azote. Il est généralement associé avec une décanteuse-centrifuge en tête pour séparer le phosphore (voir fiche précédente). Les économies d'échelle peuvent être élevées, de grandes installations existent en France et chez nos voisins européens. Avec quelques adaptations, ce procédé est également opérationnel sur digestat.

Le principe consiste à envoyer l'effluent liquide dans un bassin biologique dans lequel se succèdent des séquences d'oxygénation suivies de périodes d'anoxie. Dans ces conditions, des bactéries transforment l'azote ammoniacal du lisier/digestat en azote gazeux ( $N_2$ ) se dégageant dans l'atmosphère. Ces 2 phases peuvent se dérouler dans 2 bassins distincts ou dans un bassin commun. La contrainte majeure du traitement biologique par boues activées appliqué à du digestat de méthanisation réside dans le besoin de carbone lors de la phase de dénitrification (pendant l'arrêt de l'oxygénateur). En effet, 40 à plus de 70 % du carbone (selon la fermentescibilité des intrants) se sont déjà volatilisés sous forme de gaz ( $CH_4$  et  $CO_2$ ) lors de la phase de méthanisation. Une partie des matières carbonées (par exemple du lisier produit sur l'élevage) doit donc être directement introduite dans le bassin biologique, sans passer par l'étape de méthanisation. À défaut, il sera nécessaire d'apporter une source carbonée externe.

Ce procédé de traitement permet d'abattre, par volatilisation, la presque intégralité de l'azote ammoniacal d'un lisier ou d'un digestat. La performance épuratoire dépend donc de la proportion d'azote ammoniacal dans l'azote total, soit un peu plus de 60 % en moyenne, mais de 36 à 79 % en valeurs extrêmes selon la nature de l'effluent traité, lisier ou digestat, et la nature des intrants pour ce dernier.

La mise en œuvre d'une séparation de phases en tête réduit la charge organique et induit une réduction de la consommation énergétique.



Le traitement biologique par boue activée a complètement dominé l'ensemble des process mis en œuvre dans le traitement des lisiers de porc en Bretagne du fait d'un excellent ratio efficacité/coût [16]. Compte tenu des enjeux environnementaux et économiques croissants en faveur d'un recyclage de l'azote plutôt que sa destruction, mais aussi des grandes quantités d'effluents à traiter en collectif, les procédés alternatifs, tels que l'évapoconcentration, la filtration membranaire, le stripping de l'azote et la déshydratation pourraient à l'avenir être davantage privilégiés que dans le passé. D'autant plus si la chaîne de traitement associe une étape de méthanisation et si le biogaz est valorisé par un co-générateur. La chaleur produite peut à son tour être valorisée dans un process de déshydratation. Selon certains auteurs [8], le traitement biologique par boue activée est coûteux, il ne devient économiquement acceptable que s'il est accompagné d'un traitement produisant un revenu (i.e. la méthanisation) ou partagé par différents élevages.



Traitement biologique par boue activée

## Intérêts - Points de vigilance

- Procédé ayant largement fait ses preuves dans le traitement des lisiers de porc (plus des 3/4 des installations en fonctionnement en France) mais peu de retours d'expériences sur digestat
- Bon rapport efficacité/coût pour le traitement de l'azote
- Fortes économies d'échelle et rusticité en font un procédé adapté au traitement collectif.
- Nécessité d'une source de carbone pour la dénitrification si traitement du digestat
- Ne traite que l'azote (procédé destructif) ; doit être couplé avec une séparation de phases pour le traitement du phosphore.

## Particularités dans le domaine du traitement collectif

Bien que les procédés destructeurs d'azote apparaissent de moins en moins vertueux, le traitement biologique par boue activée conserve de bons atouts en termes d'économie d'échelle et de ratio efficacité/coût. De plus, ce procédé bénéficie de nombreux retours d'expérience pour de grandes installations, tant à l'échelle française qu'europpéenne. L'UGPVB a réalisé en 2012 un bilan du traitement des lisiers de porc en Bretagne qui montrait l'existence d'une cinquantaine de stations de traitement biologique par boue activée de plus de 10 000 m<sup>3</sup> lisier/an (dont une à 42 000 m<sup>3</sup>/an) et dont la moitié environ était en collectif. Le nombre d'éleveurs par unité de traitement collectif étant de 3,4, le terme de « semi-collectif » est alors plutôt employé. Des unités de plus de 50 000 m<sup>3</sup>/an existent par ailleurs au Pays-Bas et Belgique, voire même plus de 100 000 m<sup>3</sup>/an en Espagne [10].

Ce type d'installation est nécessairement fixe ce qui signifie que les élevages en excédent ne soient pas très éloignés les uns des autres. Cette contrainte logistique a ainsi été précédemment mentionnée comme étant un frein à la mise en œuvre de projets collectifs, tant pour le traitement biologique par boue activée que pour les autres process mentionnés ci-après dans cette brochure.

## Exemple d'application

Le GIE du Vivarais est ainsi l'une de ces unités de traitement semi-collective avec 3 éleveurs impliqués. Mise en service en 1998, elle est constituée d'une fosse de 700 m<sup>3</sup> pour la réception des lisiers bruts, d'une séparation de phases puis du traitement biologique proprement dit dans une fosse de 1300 m<sup>3</sup>. La quantité de lisier traité est de 23 m<sup>3</sup>/j pour un coût en 2022/23 de 5,63 €/m<sup>3</sup> (contre 3,34 €/m<sup>3</sup> l'année précédente où les coûts de l'énergie étaient moindres). À la suite d'évolutions technologiques, la consommation énergétique par m<sup>3</sup> de lisier traité est passée de 20,7 à 7,9 kWh. A titre de comparaison, la consommation énergétique moyenne des unités de traitement biologique par boue activée est de 18 kWh/m<sup>3</sup> [17]. Bien qu'il n'y ait pas de recirculation des boues, l'abattement en azote et phosphore s'élève à plus de 97 et 95 % respectivement. L'apport de lisier s'effectue par lisioduc pour 2 élevages qui sont à environ 300 m de l'unité de traitement et par tonne à lisier pour le troisième qui est à quelques km. Les boues solides, issues de la séparation de phases, sont reprises par Fervital, site de production d'engrais organique de la Cooperl. Le volume de surnageant liquide est réparti entre les 3 associés au prorata des volumes de lisiers traités apportés par chacun. L'acheminement vers les 2 lagunes situées à 4 et 7 km de l'unité de traitement, est géré par un prestataire de service.

## Efficacité de traitement - Co-produits obtenus

Taux d'abattement et composition moyenne des co-produits (1)

	MS	N <sub>total</sub>	N <sub>ammo</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Taux d'abattement en %	-	63 (40-75)	> 98	0	0
Idem mais avec décanteuse -centrifuge	88	82	> 98	71 (60-75)	20 (10-25)
Quantité (en kg/m <sup>3</sup> de lisier)	<b>Composition en g/kg de produit brut</b>				
Refus solide composté (65)	50,2	16,8	5,1	46,4	5,6
Boue (140)	46	2,3	0,2	2,3	2,8
Eau résiduaire (716)	6,7	0,18	0,05	0,27	2,1

(1) Selon Levasseur et al, 2019 (RMT EE) – Pour 35 % de matière sèche

# Compostage du fumier de volailles et de bovins

## Objectif et principe de fonctionnement

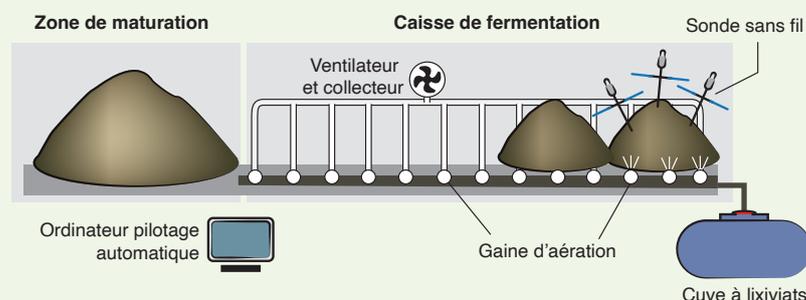
Le compostage est un mode de gestion simple et rustique qui s'adresse aux effluents solides des élevages. Il peut aussi bien se décliner à l'échelle de l'exploitation qu'aux plateformes collectives. Sur le territoire national, certaines d'entre elles traitent jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de tonnes de fumier et exportent les excédents de nutriments par la commercialisation des composts.

Le principe du compostage vise à favoriser le processus de biodégradation de la matière organique par des micro-organismes. Il suit principalement 5 étapes opérationnelles : i) la préparation du mélange à composter ; ii) la mise en tas, soit dans un casier en béton, soit en andain de 3-4 m de large et 3 m de haut ; iii) l'aération qui peut être passive ou forcée, de manière à respecter les couples temps/température du règlement (CE) n° 1069/2009, la phase de compostage s'accompagnant d'une forte élévation de température ; iv) la phase de maturation occasionnant la stabilisation du compost et son enrichissement en composés humiques ; v) le criblage (facultatif) pour retirer les plus grosses particules et obtenir un produit fin et plus homogène.

L'aération forcée accélère le processus de fermentation, 2 semaines contre 3 en aération passive, permettant de réduire d'autant la dimension des plateformes de compostage. Bien que les projets soient toujours portés par des agriculteurs, des plateformes de compostage collectives voient le jour en incluant d'autres substrats que les effluents d'élevages comme des déchets verts ou d'autres biodéchets souvent issus des collectivités, il s'agit alors de co-compostage.

Le compostage des fumiers abouti à un fertilisant naturel de haute qualité, riche en nutriments, hygiénisé, inodore et stabilisé. Le compost améliore la structure et la rétention en eau du sol. A ce titre, la certification NFU garantit leur qualité agronomique et leur innocuité (voir plus loin). Le compostage a également pour effet de réduire de 20 à 50 % la masse de fumier à stocker, à épandre, voire à exporter, grâce à la perte principalement d'eau. Le taux de perte dépend du procédé appliqué, il est plus élevé en aération forcée. Il dépend également de la nature de l'effluent, notamment de sa teneur initiale en eau. Enfin, le compostage peut réduire les émissions de gaz à effet de serre des effluents et la pollution des eaux (limitation du lessivage des nutriments). Il convient toutefois de rester vigilant face à d'inévitables pertes d'azote (majoritairement sous forme ammoniacal) et aux mauvaises odeurs qui accompagnent la mise en œuvre de ce procédé.

### Vue schématique et photos d'une plateforme de compostage par aération forcée



Vue intérieure (en haut) et extérieure (en bas) d'une plateforme de compostage (Fertil'Eveil) par retournement



## Intérêts - Points de vigilance

- Procédé robuste et facile à mettre en œuvre. Il engendre une réduction du volume et de la masse de matière qui en simplifie la gestion et réduit les coûts de transport. Réduction également des nuisances olfactives et des risques sanitaires.
- Les économies d'échelles sont envisageables mais les grandes plateformes peuvent avoir des surcoûts pour la maîtrise des nuisances (bruit, odeurs...). Le choix du process (aération forcée ou passive, plateforme couverte ou non) peut aussi avoir une incidence sur les montants investis.
- L'exportation du compost permet de réduire les excédents d'azote et de phosphore. Les pertes gazeuses d'azote sont potentiellement sources de préjudices environnementaux (émissions de  $\text{NH}_3$  et de  $\text{N}_2\text{O}$ ).
- L'approvisionnement en matières entrantes et les débouchés de compost doivent être sécurisés au mieux afin de pérenniser l'activité.

## Particularités dans le domaine du traitement collectif

Les plateformes de compostage collectives, par retournement comme en aération forcée, peuvent être de taille très contrastée, avec des capacités de traitement annuelles allant d'un millier à plusieurs dizaines de milliers de tonnes (60 à 80 000 t/an). Au-delà d'économie d'échelle sur les coûts d'investissements et de fonctionnement, les plateformes de compostages collectives permettent une meilleure organisation du temps de travail inhérent à la gestion des flux de matières (réception des effluents, constitution des andains, retournements, surveillance, exportation...). Elles peuvent aussi être une solution pour mieux gérer les nuisances notamment olfactives qui sont émises lors du procédé. Les plateformes de compostage collectives disposent de capacités d'investissement leur permettant d'investir dans des infrastructures entièrement couvertes avec centralisation de l'air vicié vers une unité de traitement des gaz.

## Exemple d'application

Fertil'Eveil est une structure produisant annuellement 80 000 t de compost (voir photos et site internet, <https://www.fertileveil.com/fertil-veil/qui-sommes-nous/>). Elle comporte deux plateformes de compostage par retournement d'environ 14 000 m<sup>2</sup> chacune, elles-mêmes scindées en 3 bâtiments. L'un est dédié au pré-stockage (environ 40 % de la surface totale) et les deux autres sont dédiés à la fermentation, la maturation et le stockage des composts (60 % de la surface totale). Le compostage s'effectue en tas, dans des bâtiments sans aération forcée et avec un seul retournement ce qui permet de limiter les émissions d'ammoniac. Des complexes de micro-organismes (CMO) sont également ajoutés pour orienter les flores bactériennes responsables du compostage et limiter les pertes gazeuses. Les plateformes traitent l'air par biofiltre. Le coût d'investissement de la plateforme a été d'environ 285-300 €/m<sup>2</sup>. En 2018/2019, le prix d'achat des effluents bruts était compris, selon leur teneur en matière sèche, entre 2 et 12 €/t de matière brute (entre 4 et 29 €/t en 2023). Le prix de vente des composts (normés NFU 44-051 – Type 1) était situé entre 60-70 € la tonne, pour un coût de production (consommation de fuel, électricité, CMO et main-d'œuvre) d'environ 17,5 €/t de matière entrante. Les effluents bruts sont collectés dans un rayon de 80 km autour des plateformes et les composts sont exportés jusqu'à 150 km environ.

### Bilan matière d'une plateforme de compostage de Fertil'Eveil en 2018 (\*)

	Entrée	Sortie	Taux de perte
	kt		
Matière brute (fumiers avicoles et bovins)	68,1	56,9	16,4 %
Azote	1,4	1,2	13,9 %

\*Ces flux matières n'intègrent pas un taux de charge complet pour l'une des deux plateformes qui vient d'être créée. Le taux de perte modéré, s'explique par des intrants (notamment les fumiers de volaille) relativement sec et un procédé par aération passive.

Repères économiques pour d'autres déclinaisons de compostage : le coût d'investissement d'une plateforme de compostage (majoritairement de déchets verts) par retournement sans bâtiment est compris entre 125 et 150 €/m<sup>2</sup>. Un compostage avec aération forcée est plus élevé, car compris entre 250 et 600 €/m<sup>2</sup>, l'écart s'expliquant principalement par la présence ou non d'un bâtiment.

## Efficacité de traitement - Co-produits obtenus

Le produit obtenu à partir de déjections animales doit répondre à la norme NFU 44-051 pour pouvoir être mise sur le marché. Cette norme prescrit une teneur en matières sèches > 30 % matière brute, ainsi qu'une teneur minimale en matière organique de 20 % pour les composts de fumiers. La qualité agronomique du compost doit également être appréciée sur une teneur minimale en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium. Cette norme garantie d'autres critères qualitatifs du produit comme son innocuité (teneurs maximales en éléments traces métalliques et composés traces organiques), sa qualité sanitaire (recherche d'agents pathogènes), sa teneur en matières inertes et impurités (plastiques, verre, métaux...).

Les composts ont des critères agronomiques distincts de leurs produits d'origine :

- Ils concentrent les éléments fertilisants (dans une moindre mesure pour l'azote dont une partie est perdue lors du compostage) compte tenu de la perte de matière, notamment d'eau, lors du compostage ;
- L'azote est principalement sous forme organique. Il émet peu d'ammoniac à l'épandage et il est peu disponible pour les plantes sur la première année ;
- Un produit qui agit sur la fumure de fond compte tenu de ses apports en matières organiques, phosphore et potassium.

### Composition chimique moyenne de composts d'effluents d'élevages [18]

Composts issus de :	MS	MO	NTK	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	% MB		g/kg MB		
Fumier de bovins	18	13	5,9	2,1	2,5
Lisier de porc avec paille	21	13,5	5,9	11,1	6,6
Fumier de porcs à base de copeaux	37	30	7,2	11,8	13,9
Fumier de poulets à base de paille	37	24	12,2	14,3	19,3
Fumier de volailles à base de copeaux	49	38	13,6	20,1	22,1

MB : matière brute ; MS : matière sèche ; MO : matière organique ; NTK : azote Kjeldahl ; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : phosphore ; K<sub>2</sub>O : potassium.

Des lixiviats (ou des jus) sont parfois produits lors de la phase de compostage et collectés dans des ouvrages dédiés. Ils peuvent être soit réutilisés pour réhumidifier les fumiers en cours de compostage, soit être valorisés agronomiquement, soit être traités sur site. Le compostage est également une source d'émissions gazeuses. Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le composé majoritairement émis, suivi de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), de Composés Organiques Volatiles (COV) et d'autres gaz inorganiques (comme le H<sub>2</sub>S).

# La méthanisation agricole collective

## Objectif et principe de fonctionnement

La méthanisation est un procédé biologique de transformation de la matière organique fermentescible en biogaz (essentiellement constitué de méthane et de dioxyde de carbone), sous l'action de bactéries anaérobies. La méthanisation des lisiers et fumiers permet ainsi de produire une énergie renouvelable, mais aussi de réduire les émissions directes de Gaz à Effet de Serre (GES) et les odeurs des déjections animales. La méthanisation a généralement lieu, à plus de 90 %, en voie continue et liquide, c'est-à-dire que les intrants apportés quotidiennement sont mélangés de manière continue avec le digestat dans le même digesteur. Moins de 10 % des unités de méthanisation sont en voie sèche. La température est un critère impactant notablement la vitesse de production de méthane. Les méthaniseurs sont le plus souvent conduits en mésophilie (t° comprise entre 37 et 42 °C environ).

La valorisation énergétique du biogaz peut être réalisée sous différentes formes : production d'eau chaude, d'électricité, de carburant, injection de biométhane dans le réseau de gaz naturel après une phase d'épuration.

La valorisation agronomique du digestat comporte des atouts et contraintes par rapport à celle des effluents d'élevage. La méthanisation a pour effet de minéraliser la matière organique (donc de produire de l'azote ammoniacal à partir d'azote organique) et d'augmenter le pH d'un point environ. Il en résulte un risque plus élevé d'émissions d'ammoniac au stockage et à l'épandage par rapport au lisier brut, d'où l'importance de couvrir la fosse de stockage et d'enfouir rapidement le digestat après son épandage. Par ailleurs, la méthanisation ne modifie pas la quantité d'éléments fertilisants, elle ne résorbe pas directement d'éventuels excédents en azote ou phosphore par contre, elle présente l'avantage de créer un revenu principalement par la vente d'énergie renouvelable [5, 8, 9] pouvant contribuer à réduire le coût du traitement global.

## Particularités dans le domaine du traitement collectif et exemple d'application

Selon l'association AILE, la méthanisation « collective agricole » est un regroupement de plusieurs exploitations qui sont actionnaires majoritaires de la société implantée sur un site dédié. Dans cette catégorie, il est distingué les « petits collectifs » (de trois à une dizaine d'exploitations agricoles) et les « grands collectifs » (plusieurs dizaines d'exploitations agricoles). La méthanisation centralisée constitue une autre catégorie car regroupant de multiples exploitations agricoles, mais aussi d'autres acteurs du territoire comme des collectivités et des industriels.

Une unité de méthanisation fonctionnant uniquement avec le lisier (qui est un effluent peu méthanogène) d'un seul élevage ne produira que peu d'énergie. Le cas échéant, l'installation devra être simple pour être économiquement rentable. Le regroupement d'élevages autour d'un projet de méthanisation collectif, permet de bénéficier d'économies d'échelle sur le processus de production de méthane et la valorisation de ce dernier. Cela sécurise économiquement l'installation, et/ou permet une plus grande autonomie en intrants (en ayant moins besoin de recourir à des substrats autres qu'agricoles), ou encore, cela permet d'envisager, si besoin, des maillons de traitement additionnels à des fins de résorption. L'existence d'un projet collectif de méthanisation, quelle qu'en soit la taille, encourage la valorisation énergétique des effluents des petits élevages [4]. Lorsque le biogaz est valorisé par cogénération, la chaleur produite peut être vendue mais aussi valorisée sur une autre étape de traitement : chauffage du digestat pour faciliter le stripping de l'azote, déshydratation d'un concentrat ou d'un refus solide de séparation de phases à des fins d'exportation. En France, il existe ainsi des unités collectives de méthanisation avec une chaîne de traitement élaborée, mais aussi avec une simple séparation de phases voire sans traitement de résorption.

Les économies d'échelle peuvent toutefois être inexistantes pour de très grandes unités collectives territoriales [7]. Des équipements annexes peuvent en effet entraîner des



Unité de méthanisation Sas Agrimaine (Charchigné, 53)

## Intérêts - Points de vigilance

- Process permettant de générer un revenu par la vente d'énergie et par là même de réduire le coût global de traitement à des fins de résorption s'il s'avère nécessaire (via des équipements additionnels, la méthanisation ne résorbant pas les éléments fertilisants excédentaires).
- Si le biogaz est valorisé par cogénération, la chaleur produite peut être ainsi utilement valorisée sur d'autres étapes de traitement (déshydratation, stripping de l'azote).
- Les grandes unités collectives ne bénéficient pas nécessairement d'économie d'échelle.

surcoûts : traitement du digestat, tel que mentionné précédemment, mais aussi des odeurs, investissements supplémentaires en voiries, sécurisation du site, etc. Selon cette étude [7], leur coût d'investissement (3 unités étudiées pour une puissance moyenne de 1 088 kW) a été de 9 560 €/kW de puissance électrique installée contre 7 920 €/kWe pour un petit collectif d'une puissance installée de 350 kW en moyenne. Il existe de grandes différences individuelles et les moyens mis en œuvre pour le traitement du digestat étant l'une des raisons. Le surcoût occasionné par ce traitement peut représenter jusqu'à 25 % du coût de production du kWh électrique [15].

S'il existe assez peu d'exemples, en France, d'unités de traitement collectif des déjections animales à des fins de résorption, les sites de méthanisation collective sont plus nombreux comme en témoignent les quelques exemples dans le tableau ci-dessous.

#### Quelques exemples d'unités de méthanisation collective en France

Nom des unités	Départ.	Date MES (*)	Nombre exploitations	Ou Nombre d'agriculteurs
SAS Agrimaine	53	2019	110	-
Biopomméria	85	2020	50	-
Agrigaz	14	2020	-	40
Agri Méthabièvre	38	2023	12	-
SAS Méthamaine	53	2020	-	11
Gâtinais Biogaz	45	2012	11	-
SAS Agribiométhane	85	2014	-	10
Agri Métha Groupe des marais	50	2021	7	-
Méthamoly	42	2019	6	12
SARL Morel Energie	35	2018	3	-

(\*) Mise en service

L'unité de méthanisation collective de Charchigné, dans le nord Mayenne (la Sas Agrimaine), avec ses 110 éleveurs impliqués, en est l'une des plus grandes. Sur un total de plus de 130/140 000 t/an d'intrants méthanisés, les effluents d'élevage en représentent plus des ¾. Il s'agit principalement de fumier de bovins, et dans une bien moindre mesure de fumier de volailles et de lisier de bovins. Le transport de fumier s'effectue par 2 prestataires ayant 70 caissons. Ils sont disposés chez les agriculteurs qui ont 24 à 48 h pour les remplir. Sur le site de méthanisation, les fumiers sont pesés et stockés en fosse profonde. La totalité du digestat est hygiénisée. Il n'est pas géré collectivement, chaque agriculteur a été libre de mettre en place, ou non, un stockage temporaire chez eux (incitation financière de 2,5 à 3 €/m<sup>3</sup> de digestat). Environ 70 poches ont également été créées pour le stockage intermédiaire de la fraction liquide des digestats. Elles sont remplies par des camions-citernes. Les principaux flux de matière et d'énergie sont représentés sur le schéma en bas de page.

### Efficacité de traitement - Co-produits obtenus

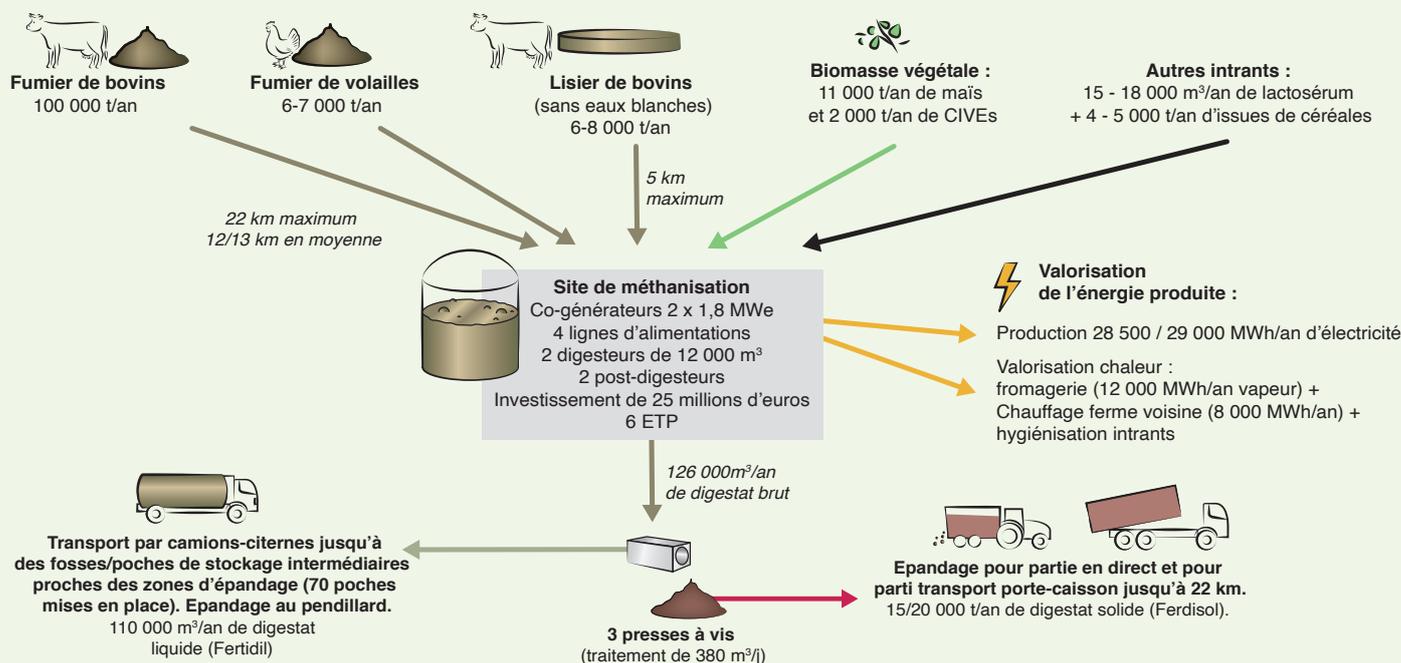
La méthanisation ne modifie pas le flux d'éléments fertilisants comme l'azote, le phosphore et le potassium. Ces flux seront déterminés par la nature et la quantité d'intrants. La composition des digestats est très variable selon la nature des intrants organiques.

#### Composition indicative des digestats bruts [14]

	MS	N <sub>total</sub>	N <sub>min</sub> (*)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Digestat brut</b>	58 (34-97)	5,6 (3,3-8,2)	63 (36-79)	2,3 (1,2-3,7)	2,7 (2,1-4,2)

(\*) % du N<sub>total</sub> - Composition moyenne (minimale-maximale), en g/kg de produit brut

#### Principaux flux de matières et d'énergie de l'unité de méthanisation collective SAS Agrimaine à Charchigné (53)



# Filtration membranaire du digestat

## Objectif et principe de fonctionnement

La filtration membranaire constitue une séparation de phases très poussée. Elle permet de retenir tout ou partie des éléments fertilisants (selon le procédé retenu) dans un ou plusieurs concentrats liquides ne représentant plus que 40 voire 30 % du volume initial. La concentration des éléments fertilisants permet de réduire leurs coûts de transport et d'épandage. La déshydratation du concentrat avec l'énergie thermique issue d'un cogénérateur permet d'accroître davantage la réduction volumique. Avec la technique de filtration membranaire la plus poussée (osmose inverse), il peut être obtenu de l'eau déminéralisée et hygiénisée, pouvant servir comme eau technique ou être épandue sur des surfaces agricoles sans limitation de quantité.

La filtration membranaire s'effectue sous pression autant plus élevée que le taux de capture en éléments est lui-même élevé. À ce titre, quatre catégories de membranes peuvent être définies selon notamment la taille des pores : la microfiltration (taille des pores 0,1 - 2  $\mu\text{m}$ ), l'ultrafiltration (0,01 - 0,1  $\mu\text{m}$ ), la nanofiltration (0,001 - 0,01  $\mu\text{m}$ ) et l'osmose inverse (<0,001  $\mu\text{m}$ ). L'ultrafiltration (UF) provoque l'élimination complète des bactéries et partielle des virus, mais pas celle des composants dissous. Seule l'osmose inverse permet d'effectuer une séparation entre l'eau et les ions dissous, comme l'ammonium et le potassium. L'osmose inverse, et dans une moindre mesure la nanofiltration, requiert des niveaux de pression élevés, grandes consommatrices d'énergie. Pour réduire les risques de colmatage des membranes, une séparation de phases plus grossière en amont, par vis compacteuse ou de préférence par décanteuse-centrifuge, s'avère nécessaire. La présence d'azote ammoniacal dans les digestats constitue une difficulté supplémentaire : la forme  $\text{NH}_3$  traverse partiellement les membranes d'osmose inverse et la fraction retenue dans le concentrat est très volatile. La perte gazeuse peut être bloquée par l'utilisation d'acide sulfurique ce qui représente un coût supplémentaire et des précautions de manipulation. En raison du fort pouvoir tampon des digestats, il est préférable de l'incorporer après les étapes de séparation de phases liquide-solide primaires.

## Particularités dans le domaine du traitement collectif

Compte tenu de son coût et des économies d'échelle envisageables, la filtration membranaire ne peut s'envisager que sur des volumes assez conséquents (> 10-15 000  $\text{m}^3/\text{an}$ , voire plus de 30 000  $\text{m}^3/\text{an}$ ) donc plutôt sur des unités collectives qu'individuelles. Il pourrait s'agir d'une unité collective de méthanisation ayant très peu de surfaces d'épandage et où le biogaz serait valorisé par cogénération. La chaleur produite pourrait être utilisée pour déshydrater les concentrats dans des tambours rotatifs ou sur tapis de séchage avant d'être exporté. Les concentrats peuvent également être compostés avec un substrat ligno-cellulosique. Le fort taux de capture des éléments fertilisants et la réduction volumique des concentrats permettent d'envisager une exportation de l'azote (nécessité d'acidification) et du phosphore à plus de 90 %.

Le procédé a déjà fonctionné sur de grandes unités de méthanisation en France (exemple Géotexia) mais il semble peu voire plus employé actuellement.



Vue de détail d'une membrane



Modules d'osmose inverse fonctionnant sur digestat

## Intérêts - Points de vigilance

- Efficacité épuratoire et réduction volumique modulables selon les besoins
- Intérêt notamment en association avec d'autres procédés par exemple la méthanisation, le digestat se prêtant bien à la filtration membranaire, la chaleur issue d'un cogénérateur pouvant être affectée à la déshydratation des concentrats.
- Si le biogaz est valorisé sous forme d'injection de biométhane, la réduction volumique obtenue uniquement par filtration membranaire s'avérera généralement bien plus coûteuse que le gain de coût de transport.
- La sensibilité au colmatage et les nécessaires procédures de lavage occasionnent des coûts de fonctionnement élevés. Ce coût sera d'autant plus élevé pour la nanofiltration et a fortiori l'osmose inverse compte tenu des pressions à envisager, génératrices de fortes consommations électriques (une chaîne de filtration membranaire nécessitera une consommation électrique comprise entre 13 et 30  $\text{kWh}/\text{m}^3$  d'effluent [6])
- Uniquement pour de grandes quantités de digestat (> 10-15 000  $\text{m}^3/\text{an}$ , voire plus de 30 000  $\text{m}^3/\text{an}$ ) compte tenu de coûts élevés et des économies d'échelle envisageables.

## Efficacité de traitement - Co-produits obtenus

La microfiltration peut retenir 75 % des matières solides, mais moins de 20 % de l'azote. Presque 90 % du phosphore peut être capturé par l'ultrafiltration, car cet élément est essentiellement associé à des particules comprises entre 0,45 et 10 micromètres, elles-mêmes bien piégées à ce niveau de filtration. Pour sa part, la nanofiltration dispose d'une certaine efficacité sur les éléments minéralisés. Elle retient ainsi 52 % de l'azote ammoniacal et 78 % du potassium. Pour l'osmose inverse, la rétention de l'azote ammoniacal est comprise entre 93 et 99,8 % et produit un concentrat à 6-10 g/l.

Taux de capture dans la fraction solide et les rétentats (en % du digestat brut), composition moyenne de ces co-produits (\*)

	Quantité	N <sub>total</sub>	N <sub>min</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Solide décan-teuse-centrifuge</b>	17	26	18	71	20
<b>Ultrafiltration</b>	12	NC	13	21	11
<b>Osmose inverse</b>	18	NC	70	6	69
<i>Composition estimée des concentrats liquides (en g/kg brut)</i>					
<b>Ultrafiltration</b>		NC	3,8	4	2,5
<b>Osmose inverse</b>		NC	14	0,8	10

(\*) Adapté de A3 Watersolutions selon Bakx et al (2009) - NC : non communiqué

Les taux de capture, et a fortiori les compositions, sont fournis à titre indicatif compte tenu de la diversité des effluents, mais aussi des multiples possibilités de conduire les modules de filtration membranaire.

# Evapoconcentration du digestat

## Objectif et principe de fonctionnement

Les évapoconcentrateurs permettent de déshydrater la fraction liquide d'un digestat issue d'une séparation de phases en tête. Ils nécessitent de disposer d'une source de chaleur et met utilement à profit l'énergie thermique produite par un cogénérateur. Les buées d'évaporation sont systématiquement condensées afin de recycler le maximum d'énergie thermique. Le concentrat peut être exporté en l'état ou après mélange et compostage avec la fraction solide issue de la séparation de phases et/ou un substrat ligno-cellulosique (déchet vert, paille). Sans précaution particulière, l'azote minéralisé se volatilise sous forme d'ammoniac avec la vapeur d'eau. Une acidification en amont de l'évapoconcentrateur ou un lavage d'air en aval sont à prévoir. Si le pH est maintenu en dessous de 5,5, c'est 98 % de l'azote qui peut être retenu dans le concentrat.

Les évaporateurs sont scindés en plusieurs sous-unités, appelées « effets » où transitent des batchs de digestat de plus en plus concentrés. L'eau chaude du co-générateur élève la température du digestat via un échangeur de chaleur. L'évaporation est provoquée à une température de 55 – 65 °C sous un vide relatif de 200 mbar. Les buées d'évaporation se condensent après avoir chauffé l'effet suivant. Le nombre d'effets à installer va dépendre de la siccité envisagée (% de matière sèche), de la quantité d'énergie thermique disponible et des caractéristiques du produit à déshydrater. Le taux de matière sèche pouvant être obtenu en sortie se situe au maximum aux alentours de 50 % (plus généralement 25-30 % et dans ce cas, ce produit représente 15-20 % du volume entrant). Le digestat prend alors l'aspect d'un sirop épais. Un Compresseur Mécanique de Vapeur (CMV) constitue partiellement une alternative aux évapoconcentrateurs à effets multiples. Ce CMV permet d'accroître la disponibilité en énergie thermique, de n'avoir qu'un seul module d'évaporation, mais occasionne un surcroît de consommation électrique. Une séparation de phases en tête est nécessaire afin d'éviter que le digestat ne prenne une consistance pâteuse pouvant obstruer les canalisations. Elle peut être très poussée (par décanteuse-centrifuge) de manière à ce que le concentrat atteigne 40 % de matière sèche tout en restant liquide. Il est également possible d'utiliser une vis compacteuse, d'atteindre un niveau de déshydratation moins élevé dans l'évapoconcentrateur et de composter le concentrat avec le refus de séparation de phases et des déchets verts si nécessaire. Cela permet d'augmenter la concentration des éléments fertilisants et de réduire le nombre de co-produits à gérer.

## Particularités dans le domaine du traitement collectif et exemple d'application

Il s'agit d'un procédé couteux compte tenu notamment des technologies mises en œuvre, de la nécessité d'avoir des matériaux résistants (à l'acidité, aux températures élevées et/ou aux (dé)pressions). A ce titre, comme pour la filtration membranaire ou le stripping de l'azote, ce procédé sera plutôt à privilégier sur de grands volumes de traitement donc plutôt au sein d'unités collectives qu'individuelles.

L'unité de méthanisation Emeraude bio-énergie de la Cooperl AA (Lamballe, 22) injecte 800 m<sup>3</sup>/h de biométhane. Il n'y a principalement que 2 intrants : les fécès porcins issus de raclage en V sous caillebotis (38 000 t/an) et les eaux grasses issues de l'abattoir (70 000 t/an). Ils sont dilués par un apport d'eau issue d'un recyclage sur site (voir schéma). Les 150 000 t/an de digestat produites sont traitées en totalité, c'est la plus grande unité de méthanisation française sans plan d'épandage. La chaîne de traitement est notamment constituée d'une séparation de phases par décanteuse-centrifuge, d'un évapoconcentrateur, d'un dispositif de stripping de l'azote, d'une tour de lavage des buées ammoniacuées et de séchoirs à solide (voir schéma).

Le dispositif d'évapoconcentration a été conçu par la société « France Evaporation ». Le premier évaporateur est à flot tombant, multi-passes (grosse cuve verticale sur la photo). Le multi-passes minimise les temps de séjour et stabilise le fonctionnement de l'évaporateur. Seule la dernière passe est à forte concentration ce qui permet d'optimiser la surface d'échange. Le liquide en cours de déshydratation passe ensuite dans un



Chaîne de traitement du digestat de l'unité de méthanisation Emeraude bio-énergie de la Cooperl AA (Lamballe, 22)

Sur la photo figure notamment les équipements suivants :  
1 Evapoconcentrateur ; 2 Cuve de stripping ;  
3 Tour de lavage à l'acide

## Intérêts-Points de vigilance

- Valorisation de l'énergie thermique produite par les co-générateurs (si c'est le mode de valorisation du biogaz retenu).
- L'évapoconcentrateur permet une réduction volumique importante puisqu'une augmentation du taux de matière sèche de la fraction liquide après séparation de phases, de 3 à 30 % s'accompagne d'une réduction volumique d'un facteur 10. Il en résulte des coûts de transport et d'épandage notablement réduits.
- Les coûts de fonctionnement varient selon le coût de l'électricité, notamment s'il y a un CMV.
- Les économies d'échelles les réservent préférentiellement à de grandes unités de méthanisation ayant des excédents élevés.

évacuateur à circulation forcée. Sa cuve horizontale dispose d'un dispositif d'entraînement adapté à la viscosité du produit. Cet évacuateur est chauffé par de l'eau chaude. Dans le but de réguler la concentration finale du produit, il est prévu la mise en place d'un densimètre massique. L'évapoconcentrateur est en outre équipé d'une compression mécanique de vapeur (CMV) de 500 kW. Ce CMV comprime les buées d'évaporation afin d'augmenter leur température et par là-même accroître la capacité évaporative du dispositif.

La consommation totale d'énergie de l'ensemble de la chaîne de traitement est de 30 kWh thermiques (eau chaude) et 23 kWh électriques par m<sup>3</sup> de digestat liquide entrant dans l'évapoconcentrateur. Le coût d'investissement pour le traitement du digestat a été de 5 900 k€ HT (inclus : bâtiment, voirie, électricité, évapoconcentration, stripping, canalisations, cuves périphériques...) dont environ 40 % pour l'évapoconcentration, soit encore 14 € HT/m<sup>3</sup> de digestat liquide entrant dans l'évaporateur.

### Efficacité de traitement - Co-produits obtenus

Les évapoconcentrateurs peuvent être conduits de différentes manières et intégrés dans de multiples combinaisons de traitement. Mais quel que soit son mode de conduite, l'ensemble des éléments non volatils sera piégé. Les éléments liés aux particules les plus grossières se retrouvent généralement dans le refus de séparation de phases, opération effectuée en amont de l'évapoconcentrateur, tandis que les éléments particuliers de faible dimension et des minéraux non volatilisables se retrouvent dans le concentrat. L'ammoniac devra être piégé en amont ou en aval de ce dispositif pour éviter son émission dans l'atmosphère.

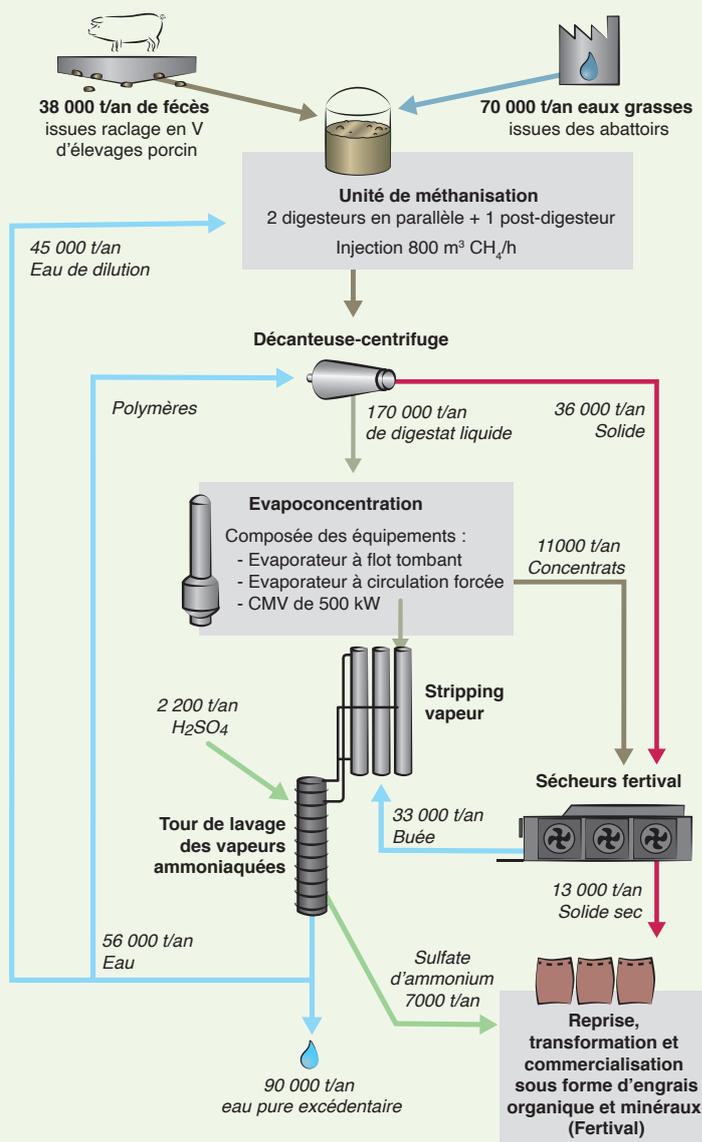
Taux de capture cumulé dans le refus de séparation de phases et le concentrat (\*)

	MS	N <sub>total</sub>	N <sub>min</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>Taux de capture (*)</b>	>90	30-100	10-100	100	100

(\*) Estimation - Pour l'azote, variable selon modalités de piégeage

La diversité des chaînes de traitement et des modes de conduite peuvent mener à une grande diversité de composition des coproduits de traitement. Il peut être obtenu de deux (compost, eau résiduaire) à quatre co-produits (refus de séparation de phases, concentrat, sulfate d'ammonium et eau résiduaire épurée). L'eau sortant de l'évaporation est presque pure. La teneur résiduelle en azote va dépendre de la qualité du piégeage en amont.

Vue d'ensemble des principaux flux de matières et d'énergie de l'unité de méthanisation Emeraude Bio-énergie à Lamballe (22), situation de l'étape d'évapoconcentration



# Stripping de l'azote du digestat

## Objectif et principe de fonctionnement

L'objectif consiste à volatiliser l'azote ammoniacal du digestat pour ensuite soit le concentrer dans une solution acide par lavage d'air - cas le plus fréquent - soit le brûler par combustion catalytique. Ce procédé ne s'adresse qu'à des excédents en azote, mais il sera généralement couplé à une séparation de phases en tête afin de capturer/exporter le phosphore. Ce pré-traitement va en outre faciliter l'étape de stripping décrite ci-après.

La volatilisation de l'azote sous forme d'ammoniac se fait naturellement pour du digestat stocké et lors de l'épandage. La température et/ou un pH élevé accélère ce processus en augmentant la proportion d'azote sous forme gazeuse ( $\text{NH}_3$ ) au détriment de la forme ionique ( $\text{NH}_4^+$ ). Sur un site de méthanisation, l'énergie thermique issue du cogénérateur ou d'une chaudière à biogaz permet de chauffer le digestat. Un bullage ou une pulvérisation favorise ensuite cette volatilisation par augmentation de la surface de contact air/liquide. De nombreux procédés industriels utilisent ce principe, généralement après une séparation de phases (les éléments particuliers colmatent les échangeurs de chaleur et s'opposent à la diffusion de l'azote gazeux dans le digestat). Les vapeurs d'ammoniac sont ensuite piégées dans une tour de lavage à l'acide sulfurique dilué. Il en résulte l'obtention d'un sulfate d'ammonium à 60-80 g/l environ. D'autres acides peuvent être employés. L'ammoniac peut également subir une combustion catalytique à haute température. Il se forme alors du diazote ( $\text{N}_2$ ) se dégageant dans l'atmosphère.

## Particularités dans le domaine du traitement collectif et exemple d'application

Le stripping est difficilement applicable à l'échelle d'une exploitation agricole du fait de l'utilisation de produits chimiques qui supposent des étapes de manutention, stockage, approvisionnement, et qui demandent une opération professionnelle pas forcément compatible avec le travail de l'agriculteur [19]. A ce titre, les unités de méthanisation traitant leur digestat à l'aide d'une étape de stripping devraient être essentiellement des unités de grande dimension. Dans cette brochure, deux exemples rapportent un couplage de la phase de stripping avec un évapoconcentrateur, la phase de déshydratation étant un facteur de volatilisation de l'ammoniac. C'était le cas de la fiche précédente rapportant l'exemple de l'unité de méthanisation Emeraude bio-énergie (Cooperl AA, 22). Un autre exemple d'unité de méthanisation collective associant évapoconcentrateur et stripping de l'azote est rapporté ci-dessous.

L'unité collective de méthanisation SAS TIPER, à Louzy (79) traite les digestats, le stripping de l'azote étant l'une des étapes d'une chaîne de traitement décrite ci-dessous. Cette unité de méthanisation, mise en service en 2013, implique un peu plus de 40 éleveurs. Sur un total de 63 000 t d'intrants méthanisés annuellement, les effluents en représentent 63 % : 32 000 t/an de fumier de bovin et caprin, 8 000 m<sup>3</sup>/an de lisier, principalement de porc et dans une bien moindre mesure de lapin. Le transport des fumiers s'effectue par container en camion, les lisiers avec une tonne et les autres intrants liquides par camions-citernes. La logistique est assurée par une personne dédiée de l'unité en lien avec la SAS ABBT (Association Biomasse du Bassin Thouarsais) regroupant les apporteurs de biomasse. Le digestat qui en résulte subit la chaîne de traitement suivante : séparation de phases par vis compacteuse puis par décanteuse-centrifuge, elle est suivie d'une étape d'évapoconcentration puis de stripping.

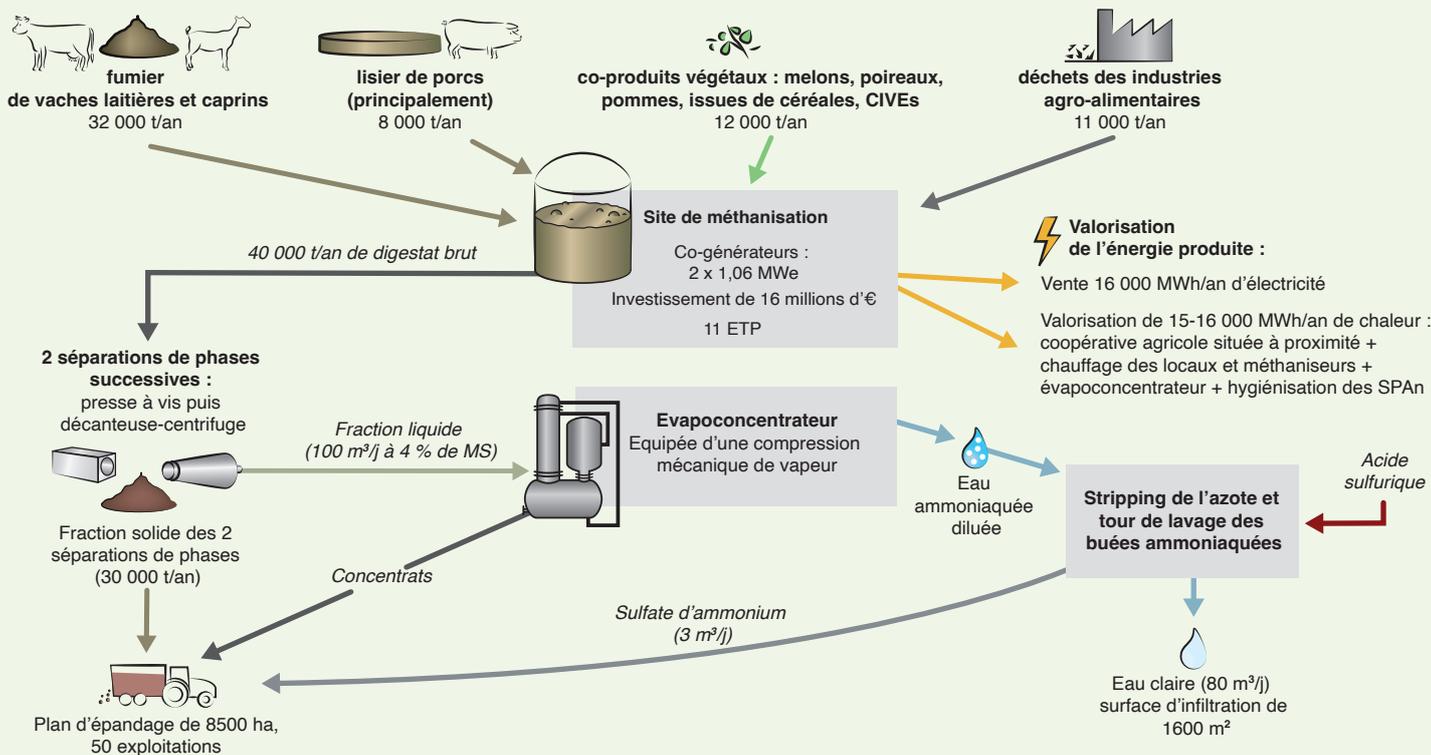


Vue d'ensemble de l'unité de méthanisation SAS Tiper (Louzy, 79). La chaîne de traitement du digestat comporte une étape d'évapoconcentration et de stripping de l'azote qui sont situés dans le bâtiment

## Intérêts-Points de vigilance

- Procédé conservatif de l'azote (hors combustion catalytique de l'ammoniac)
- Taux de volatilisation/capture de l'azote modulable selon le niveau d'excédent
- Énergie thermique du cogénérateur pouvant être mise à profit pour favoriser le stripping
- Procédés coûteux relativement à d'autres techniques ; la vente de l'azote préservé ne couvre pas le surcoût. En effet, le coût serait de 250 à 500 k€ pour une installation de 10-15 m<sup>3</sup>/h, 2,5 à 4,5 €/kg d'azote strippé (uniquement pour la colonne de stripping) [6]. Ce coût est à comparer à celui du kg d'azote d'un engrais de synthèse.

## Vue d'ensemble des principaux flux de matières et d'énergie de l'unité de méthanisation collective SAS Tiper à Louzy (79)



L'évapoconcentrateur ne fonctionne que 4 mois par an lorsque la capacité de stockage du digestat liquide est insuffisante. La séparation de phases et l'étape de stripping fonctionnent toute l'année. Cette dernière produit 3 m³/j de sulfate d'ammonium soit environ 2000 t/an compte tenu de sa densité élevée. La consommation d'énergie thermique s'élève à 30 kWh électrique par tonne de digestat déshydraté sur l'ensemble de la chaîne de traitement.

Le plan d'épandage totalise 8 500 ha, répartis sur 60 communes et 50 exploitations. Le digestat liquide est épandu par tonne à lisier sur les exploitations les plus proches, directement à partir de l'unité de méthanisation. Pour les exploitations les plus éloignées, le digestat est d'abord transféré par camion-citerne dans des fosses en location appartenant à des agriculteurs ayant arrêté leur élevage. Le digestat est également stocké chez les éleveurs où le lisier est pompé quotidiennement pour alimenter le site de méthanisation, leurs fosses devenant disponibles à cet effet. La Sas Tiper dispose par ailleurs d'une lagune de stockage du digestat liquide de 4 000 m³ à 6 km du site de méthanisation. Les digestats solides sont stockés chez les agriculteurs, l'épandage s'effectuant à leur charge. L'épandage du digestat (liquide et solide) s'effectue dans un rayon moyen de 12 km et jusqu'à 20 km au maximum.

### Efficacité de traitement - Co-produits obtenus

La phase de stripping peut être plus ou moins poussée, son efficacité est donc modulable selon les besoins de l'utilisateur. L'efficacité maximale dépendra toutefois de la proportion d'azote ammoniacal dans le digestat et du risque de cristallisation dans la solution finale. Sur la base de 42 échantillons de digestat brut liquide, des travaux antérieurs [14] ont montré que la proportion  $N_{min}/N_{total}$  est de 63 % en moyenne mais varie de 36 à 79 % en valeurs extrêmes, ce qui suggère de grands écarts de performance envisageables sur le terrain. Par ailleurs, la performance épuratoire du stripping est améliorée par une séparation de phases en tête de traitement. Si elle est complétée par le compostage et l'exportation de la fraction solide, le taux d'abattement en azote peut dépasser les 75 % avec une décanteuse-centrifuge comme le montre le tableau ci-dessous.

**Taux de capture cumulé dans la fraction solide de la décanteuse-centrifuge et le sulfate d'ammonium - Composition moyenne des co-produits (\*)**

	MS	N <sub>total</sub>	N <sub>min</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<b>Taux de capture maximal (%)</b>	60-70	>75	>90	71	20	
<b>Quantité (kg/m³ digestat)</b>	<i>Composition (g/kg produit brut)</i>					
<b>Solide décanteuse-cent.</b>	150-200	300	10,2	2,6	13,9	5,0
<b>Sulfate ammonium</b>	NC	259	-	54	0	0

(\*) [14] - NC : Non Connue - Le stripping de l'azote proprement dit n'est d'aucune efficacité sur le phosphore et le potassium

Le sulfate d'ammonium est un engrais minéral azoté et soufré. De pH acide, de l'ordre de 4 à 4,5, il est stable et ne devrait pas présenter de risques sanitaires. Les préconisations d'utilisation sont similaires à celles de solutions azotées disponibles sur le marché. La dose sera toutefois limitée par sa concentration en soufre, la proportion étant de 1 en azote pour 3 en SO<sub>3</sub>.

# DEVENIR DE L'AZOTE ET DU CARBONE AU SEIN DES FILIÈRES DE GESTION COLLECTIVE DES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE

Les filières de gestion des effluents ont des incidences spécifiques sur les transformations d'azote et de carbone entre les intrants et les sortants. Sur la base des filières de gestion retenues, une modélisation du devenir de l'azote et du carbone a été réalisée en mobilisant des facteurs d'émissions de la bibliographie et à dire d'experts. Les résultats sont présentés dans les illustrations ci-après.

Voici les coproduits des différentes filières de gestion représentées (histogrammes de gauche à droite) :

- **Séparation phases**
  - Coproduit 1 : fraction solide compostée
  - Coproduit 2 : fraction liquide
- **Séparation phases + traitement biologique par boue activée**
  - Coproduit 1 : refus de séparation de phases composté
  - Coproduit 2 : boue
  - Coproduit 3 : surnageant
- **Compostage de fumier**
  - Coproduit 1 : compost
- **Méthanisation**
  - Coproduit 1 : digestat
- **Méthanisation + séparation phases**
  - Coproduit 1 : fraction solide digestat compostée
  - Coproduit 2 : fraction liquide digestat
- **Méthanisation + filtration membranaire**
  - Coproduit 1 : concentrats compostés avec des déchets verts
  - Coproduit 2 : eau pure

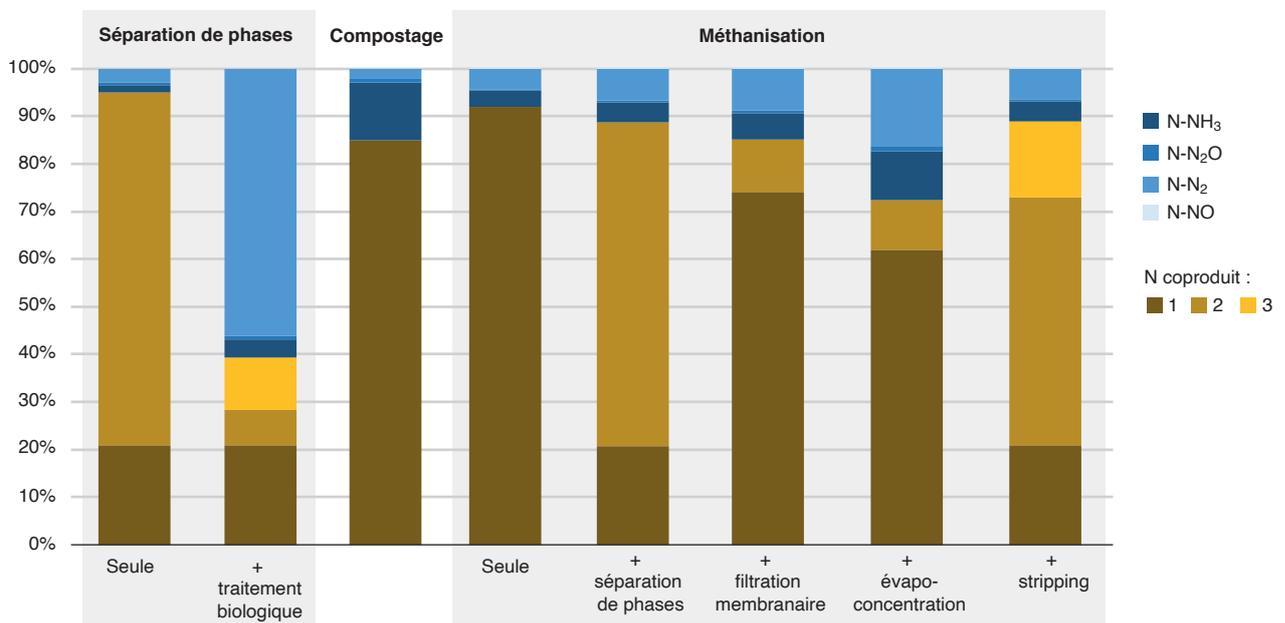
- **Méthanisation + évapoconcentration+ co-compostage** (refus, déchets verts, concentrat)
  - Coproduit 1 : compost fraction solide
  - Coproduit 2 : sulfate d'ammonium après traitement de l'air extrait
- **Méthanisation + stripping de l'azote** (avec separation de phases en tête)
  - Coproduit 1 : fraction solide compostée
  - Coproduit 2 : sulfate d'ammonium
  - Coproduit 3 : fraction liquide traitée

Les filières avec méthanisation sont plutôt conservatives de l'azote. On retrouve dans les coproduits sortants (un seul coproduit le digestat quand ce dernier n'est pas traité et jusqu'à trois coproduits dans le cas d'un traitement des digestats par stripping de l'azote après séparation de phases) entre 72 et 92 % de l'azote entrant dans la filière de gestion.

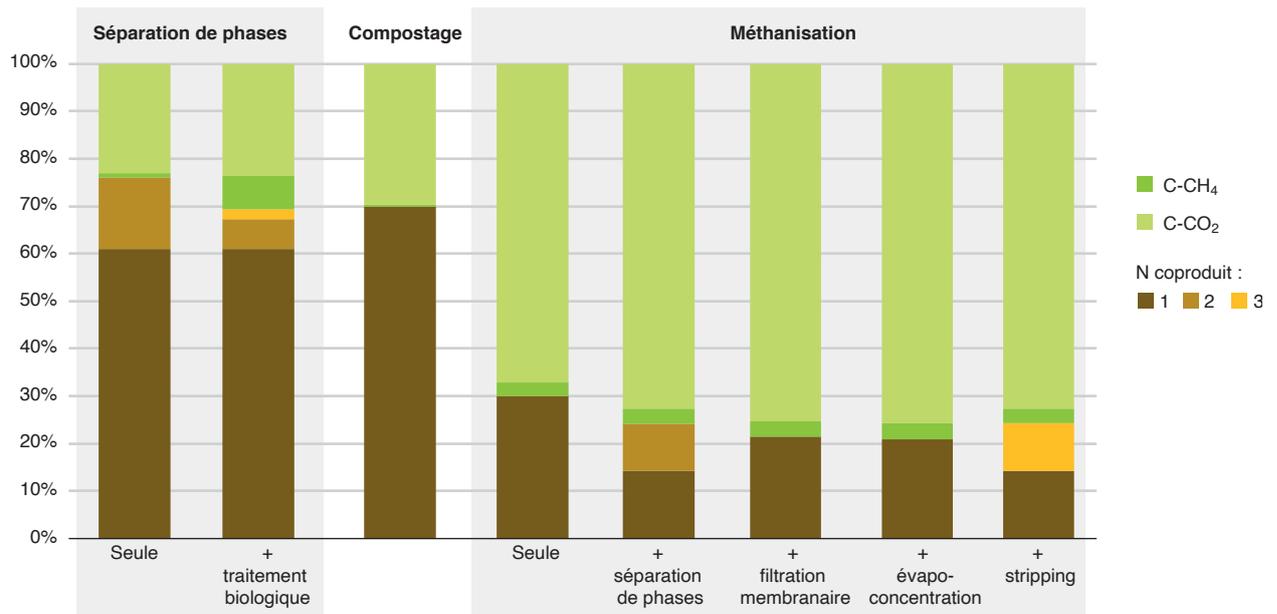
Le traitement le moins conservatif des digestats est celui comprenant une étape d'évapoconcentration car dans ce scénario il y a une étape de compostage du concentrat. C'est aussi la filière avec méthanisation qui émet le plus d'ammoniac (environ 10 % de l'azote entrant) lors des étapes de pré-stockage des intrants et de post-stockage des digestats. Pour les filières sans méthanisation, celle qui conserve le plus l'azote entrant est la séparation de phases et celle qui en perd le plus est le traitement biologique (près de 60 % de pertes en N).

Pour cette dernière, l'objectif de la filière est d'abattre l'azote : ce dernier est émis sous forme de  $N_2$ , gaz non polluant.

Flux d'azote au sein des différentes filières de gestion des effluents



## Flux de carbone au sein des différentes filières de gestion des effluents



Concernant le carbone, les filières qui en perdent le plus sont les filières comprenant une étape de méthanisation. Dans nos simulations comprenant cette étape, elles sont comprises entre 70 et 80 % du carbone entrant. Cette proportion varie notamment selon le potentiel méthanogène des intrants. La filière avec la séparation de phases seule (hors compostage de la fraction

solide) n'engendre pas d'émissions carbonées. Les autres filières perdent beaucoup moins de carbone (environ 30 %) que celles en méthanisation et toujours principalement sous forme de dioxyde de carbone. La filière qui perd le plus de carbone sous forme de méthane est le traitement biologique compte tenu des pertes en amont (pré-stockage).

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Quideau, 2010. Les effluents d'élevage, les co-produits de traitement et leurs incidences environnementales. Synthèse 3, ouvrage « Elevages et environnement », Educagri éditions.
2. J.-L. Peyraud, P. Cellier, C. Donnars, O. Réchauchère (coord.), F. Aarts, F. Béline, C. Bockstaller, M. Bourblanc, P. Cellier, L. Delaby, J.Y. Dourmad, P. Dupraz, P. Durand, P. Faverdin, J.L. Fiorelli, C. Gagné, P. Kuikman, A. Langlais, P. Le Goffe, P. Lescoat, T. Morvan, C. Nicourt, V. Parnaudeau, J.L. Peyraud, P. Rochette, F. Vertes, P. Veysset, 2012. Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres., synthèse du rapport d'expertise scientifique collective, INRA (France), 68 p.
3. Le Bris, 2007. Valoriser les fumiers et lisiers par les cultures, Ferti-échange facilite les épandages. Chambre d'agriculture Ille-et-Vilaine. Terragricole de Bretagne, p 23.
4. Flotats X., August Bonmatí, Belén Fernández, Albert Magrí, 2009. Manure treatment technologies : on farm versus centralized strategies. NE Spain as case study. *Bioresource Technology* 100, 5519–5526.
5. Giorgio Provolò, Gabriele Mattachini, Alberto Finzi, Martina Cattaneo, Viviana Guido and Elisabetta Riva, 2018. Global Warming and Acidification Potential, Assessment of a Collective Manure Management System for Bioenergy Production and Nitrogen Removal in Northern Italy. *Sustainability*, 10, 3653.
6. Fernandez M.T., E.H. Mallén and B.B. Roy (Coodinators), 2015. Evaluation of manure management systems in Europe. LIFE09 ENV/ES/000453.
7. Ademe, Boucher L. et Levasseur P., 2019. Performances et potentiels de diffusion d'unités de méthanisation agricole, Rapport Ademe, 44 pp + annexes
8. Finzi Alberto, Gabriele Mattachini, Daniela Lovarelli, Elisabetta Riva and Giorgio Provolò, 2020. Technical, Economic, and Environmental Assessment of a Collective Integrated Treatment System for Energy Recovery and Nutrient Removal from Livestock Manure. *Sustainability* 12, 2756.
9. Flotats, X., Bonmatí, A., Palatsi, J., Foged, H.L., 2013. Trends on manure processing in Europe. In Book of Proceedings, 2nd International Conference of WASTES : solutions, treatments and opportunities. Braga (Portugal), 11-13 September. Edition : CVR, Centro para a Valorizaçao de Residuos. ISSN: 2183-0568. Pp 587-592.
10. Foged, Henning Lyngsø, Xavier Flotats, August Bonmatí Blasi, Jordi Palatsi, Albert Magri and Karl Martin Schelde. 2011. Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No. I concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment. 138 pp.
11. Garcia-Gonzalez M.C., Berta Riaño, Marta Teresa, Eva Herrero, Alastair James Ward, Giorgio Provolò, Giuseppe Moscatelli, Sergio Piccinini, August Bonmatí, María Pilar Bernal, Hanna Wisniewska, Marcin Proniewicz, 2016. Treatment of swine manure : case studies en European's N-surplus areas. *Sci. Agric.* v.73, n.5, p.444-454.
12. Lopez-Ridaura S., Hayo van der Werf, Paillat J.M., Le Bris B., 2009. Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. *J. Environ. Manage.*, 90 (2) : 1296-304.
13. Hjorth M., K.V. Christensen, M.L. Christensen, S.G. Sommer, 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 153–180.
14. Aile, 2016. Fiches « digestat » réalisées dans le cadre du programme Casdar Valdipro et du programme européen Biorefine. Consulté le 25/10/2023 à l'adresse suivante : <https://aile.asso.fr/projet-rd/valdipro/>
15. Levasseur P., Toudic A., Bonhomme S. et Lorinquer E., 2017. Gestion et traitement des digestats issus de méthanisation. 17 p. Guide pratique téléchargeable sur le site de l'IFIP : [http://www.ifip.asso.fr/fr/digestats\\_methanisation](http://www.ifip.asso.fr/fr/digestats_methanisation)
16. Levasseur P., Lemaire N., 2006. Etat des lieux du traitement des lisiers de porcs en France. *Techniporc* n° 1, 29-31.
17. Loussouarn A. et Le Bris B., 2012. Coûts de fonctionnement des stations de traitement du lisier en rythme de croisière – Références 2009. Rapport d'étude Chambres d'agriculture de Bretagne, 8 pages.
18. Decoopman B., 2006. Caractérisation de fertilisants organiques. Etude réalisée par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne pour le compte de l'ADEME, du Conseil Régional de Bretagne, de la direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt. 104 pages.
19. Bakx T., Membrez Y., Mottet A., 2009. Etat de l'art des méthodes (rentables) pour l'élimination, la concentration ou la transformation de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne. Rapport final. 93 p.



**Brochure réalisée dans le cadre  
du projet GESTE et mise en forme par L'IFIP  
(4<sup>ième</sup> trimestre 2023)**

**Contact :**  
**[pascal.levasseur@ifip.asso.fr](mailto:pascal.levasseur@ifip.asso.fr)**

*Ce projet a bénéficié du soutien financier de l'ADEME.*

