GESTION ET TRAITEMENT DES DIGESTATS ISSUS DE METHANISATION

11 fiches « procédés » : épandage, transport, séchage, séparation de phases, compostage, filtration, traitement biologique, évaporation, stripping, ...

ifip institut du porc
AGRICULTURES & TERRITOIRES CHAMBRE D'AGRICULTURE BRETAGNE
INSTITUT DE L'ELEVAGE idele
Trame La force d'un groupe
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT
Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural »

CONTEXTE

La codigestion des effluents d'élevage avec des déchets organiques issus des industries agro-alimentaires et des collectivités est le modèle de méthanisation le plus développé en France. Ces matières, extérieures aux sites des exploitations agricoles, contribuent significativement à la production de méthane par les digesteurs fonctionnant à base de lisier. Le plus souvent, les apports d'éléments fertilisants par ces déchets, tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K), sont élevés. Toutefois, les teneurs en ces éléments sont peu connues et leur analyse difficile compte tenu de l'hétérogénéité des substrats (variations saisonnières, procédés de fabrication,…). Des bilans matières ont montré que, pour atteindre une puissance électrique installée de 200 kW, la quantité de déchets nécessaire pour compléter le lisier d'un élevage de porc standard de 200 truies naisseur-engraisseur, contribue respectivement à 60, 45 et 50 % des apports totaux de N, P et K. Ces chiffres sont obtenus avec des déchets courants (issus de céréales, graisses de flottation, tontes d'herbe…). Cette proportion peut toutefois être réduite, voire nulle, lorsque davantage d'apports proviennent du site d'exploitation (fumiers, résidus de cultures, cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE)…).

Dans les zones à forte pression environnementale, le traitement du digestat peut alors s'avérer nécessaire pour résorber les excédents en éléments fertilisants, l'azote et le phosphore étant principalement visés par les réglementations environnementales. Tous deux peuvent être partiellement concentrés dans une fraction solide destinée à être transportée hors zone excédentaire. Comme pour tous les autres macro et microéléments présents dans les digestats (K, S, Mg, Cu, Zn,…), l'efficacité technique et économique dépendra du procédé mis en œuvre et de l'élément considéré. L'azote possède en outre la particularité de pouvoir être résorbé sous forme gazeuse soit par dissipation dans l'atmosphère sous forme de diazote (nitrification/dénitrification), soit par capture puis concentration par lavage acide (stripping).

Dans le cadre du projet Casdar « METERRI » (2014/2016), un bilan des procédés de traitement des digestats liquides **(moins de 12 % de matière sèche environ)** a été réalisé après une enquête sur des **unités en fonctionnement,** une consultation d'entreprises et complété par des travaux antérieurs.

L'homologation ou la normalisation d'un co-produit est nécessaire pour que celui-ci puisse être rétrocédé hors champs de la réglementation sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. **Le statut des co-produits de traitement du digestat peut cependant avoir évolué depuis la publication de ces fiches (avril 2017)**. A ce jour, il existe une norme NF U 44-051 pour les « amendements organiques » (digestat composté) et des homologations spécifiques pour certains co-produits de traitement. Pour les produits concentrés en azote, phosphore et potassium, la norme « engrais organique » NF U 42-001 n'est, pour le moment, accessible qu'aux issues de déjections animales et biomasse végétale méthanisées puis compostées (mais non séchées). Des travaux normatifs sont en cours pour le sulfate d'ammonium issu d'un procédé de stripping de l'azote. A défaut de disposer de tels statuts, un plan d'épandage est obligatoire. Cette situation est particulièrement contraignante pour la filière méthanisation car les éléments stables comme le phosphore ne peuvent être que concentrés et exportés vers un autre plan d'épandage hors zone à forte pression environnementale, ce qui entraine des surcoûts, voire conduit à des impasses (pas de débouché). Cela risque également de favoriser des procédés de « destruction » de l'azote moins vertueux sur le plan environnemental que des procédés conservatifs (transport de digestat brut - stripping/lavage d'air).

Les compositions des digestats bruts et de leurs co-produits de traitement sont essentiellement issues du projet Casdar VALDIPRO. Compte tenu de la diversité des déchets organiques introduits dans le digesteur et des procédés mis en œuvre, **il peut y avoir une variabilité importante autour des valeurs moyennes.** C'est pourquoi, les auteurs recommandent de faire réaliser des analyses chimiques. Pour ces mêmes raisons, une plage de variation a parfois été précisée autour des valeurs moyennes des taux de capture/ de traitement des éléments fertilisants.

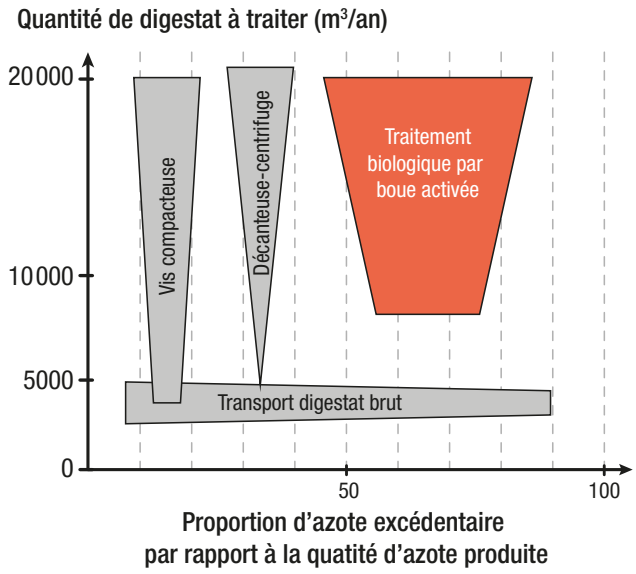
CRITERES DE CHOIX D'UN PROCEDE DE TRAITEMENT

Compte tenu de son coût, le traitement des digestats n'est à envisager qu'en dernier recours. Toutefois, lorsque l'agriculteur-méthaniseur aura envisagé sans succès toutes les autres options, notamment l'optimisation du plan d'épandage, il devra choisir le procédé le plus approprié à sa situation.

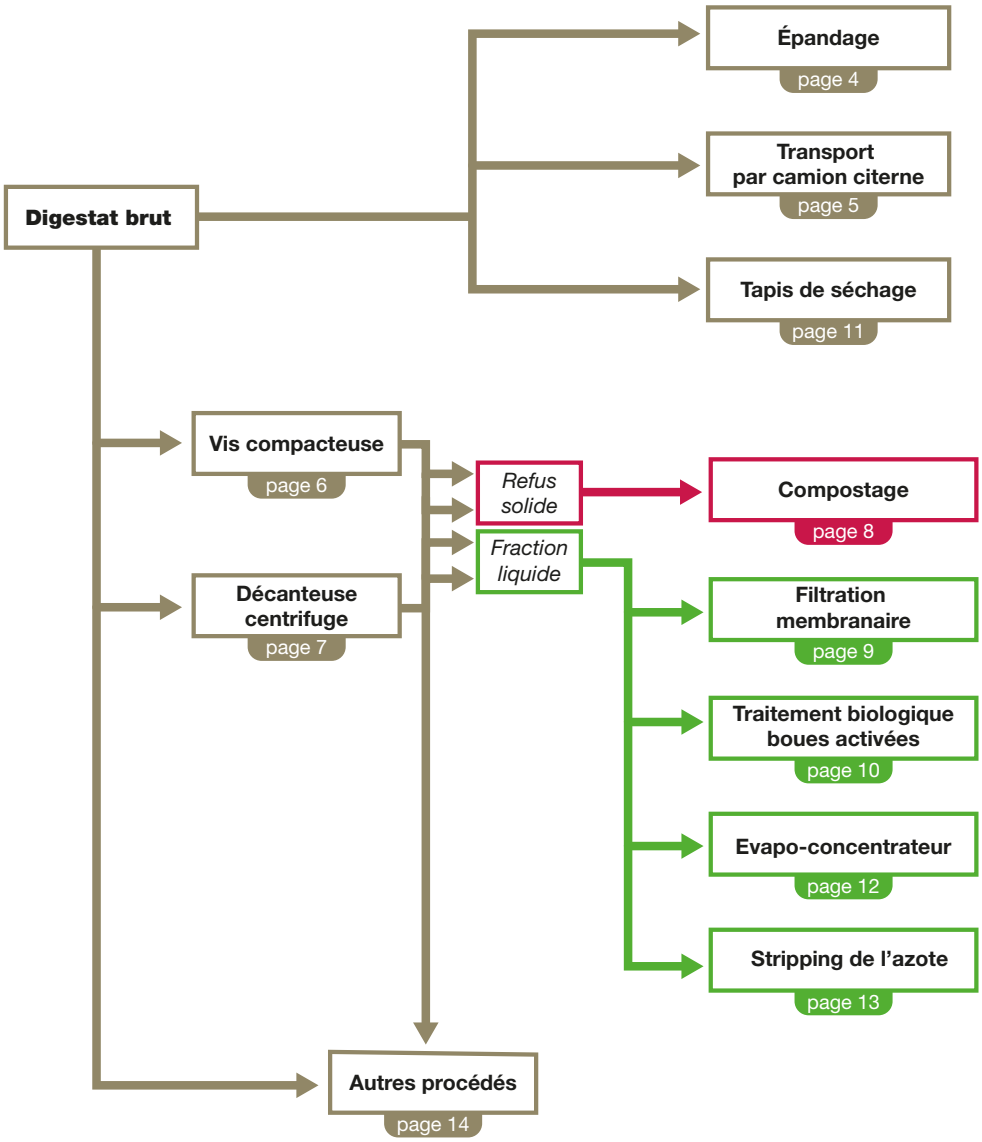
Le schéma ci-contre montre la plage préférentielle d'application des différents procédés compte tenu essentiellement de leurs performances épuratoires sur l'azote, de leurs coûts et économies d'échelle envisageables. A ce titre, deux critères sont pris en compte, la quantité de digestat à traiter annuellement et la proportion d'azote excédentaire relativement à la quantité d'azote sortant du digesteur. En pratique, les règles sont plus complexes puisque d'autres éléments comme le phosphore sont à prendre en compte, l'adaptabilité des procédés à différents niveaux d'excédents, la nature des co-produits obtenus, etc. Ces points seront abordés dans les fiches.

Une plage préférentielle de mise en œuvre est indiquée dans chaque fiche. Le schéma ci-contre montre par exemple que le traitement biologique par boues activées permet de résorber plus de 50 % de l'azote ce que ne permettent pas les deux dispositifs de séparation de phase : décanteuse-centrifuge ou a fortiori, la vis compacteuse. Le transport de digestat brut peut être adapté à de grandes plages d'excédent mais pour des volumes faibles à modérés, compte tenu de son coût unitaire au m³. Ces propos doivent toutefois être nuancés par les autres critères mentionnés précédemment (taux de capture du phosphore, adaptabilité du procédé à différents niveaux d'excédents, nature des co-produits obtenus…).

Plage préférentielle de mise en œuvre des procédés de traitement (donnée ici pour quatre exemples) :



SOMMAIRE



Bibliographie 15

Coordonnées des constructeurs et équipementiers cites dans le document 15

Tableau de synthèse..... 16

Coauteurs de la brochure :

Pascal Levasseur (coordinateur), IFIP Institut du porc
Aurore Toudic, Chambre d'agriculture de Bretagne
Stéphanie Bonhomme, Trame
Elise Lorinquer, Idèle

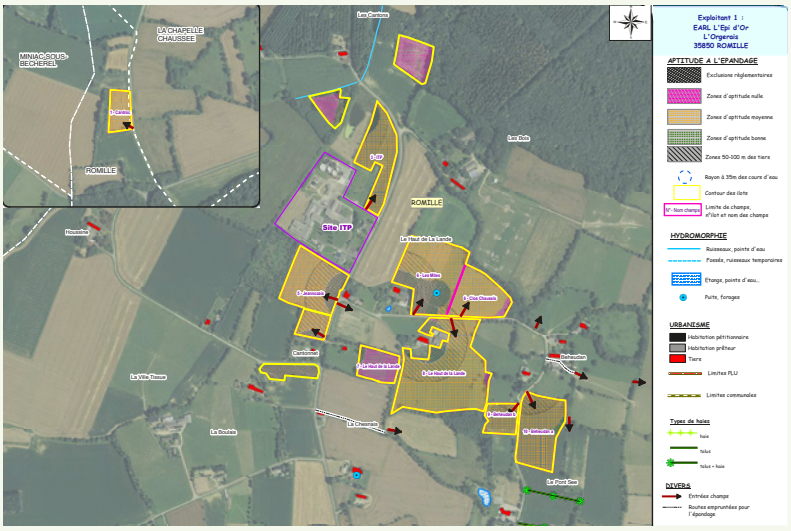
EPANDAGE DE DIGESTAT BRUT

Objectif

L'épandage d'un digestat brut permet sa **valorisation agronomique à moindre coût** (par rapport à tous les autres procédés de traitement). En cas d'excédent en éléments fertilisants sur le plan d'épandage et avant de recourir à un procédé de traitement, l'agriculteur méthaniseur devra privilégier autant que possible la **substitution à des engrais minéraux** (sur céréales en sortie d'hiver par exemple), l'optimisation du plan d'épandage (échange de parcelles, réduction des distances d'exclusion) voire rechercher des **surfaces supplémentaires**.

Principe

Il s'agit d'épandre le digestat à l'état brut, le plus souvent au moyen d'une **tonne à lisier**. Si la **portance des sols** est insuffisante et sous réserve d'avoir un parcellaire groupé, un épandage sans tonne à lisier peut être envisagé. Le taux de minéralisation élevé de l'azote et le pH basique du digestat favorisent la volatilisation de l'ammoniac ; il est donc recommandé de **couvrir la fosse de stockage et d'épandre avec un pendillard.** Si la présence de tiers occasionne de trop nombreuses zones d'exclusions, il peut être nécessaire d'utiliser un **enfouisseur** ; outre une faible volatilisation de l'azote, ce dispositif permet d'accroître les surfaces d'épandage en limitant les **distances aux tiers.**



Le plan d'épandage peut être plus ou moins morcelé.

Composition indicative des digestats bruts

Composition moyenne (minimale-maximale), en g/kg de produit brut

	MS	N_{total}	N_{min} (*)	P_2O_5	K_2O
Digestat brut	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_{total}

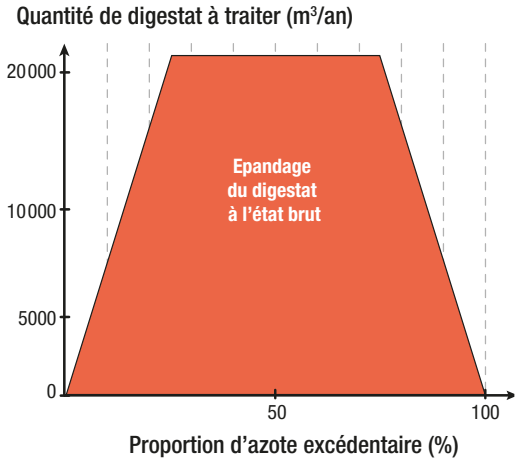
Ces teneurs varient notablement **selon la nature des intrants**. Une analyse permettra d'adapter la dose à épandre. Le digestat brut liquide est un effluent de nature plutôt basique avec un pH moyen de l'ordre de 8 (de 7,4 à 8,6).

IFIP

Epandage avec pendillard

Plage d'utilisation

Difficile pour de grands projets de méthanisation, compte tenu des surfaces nécessaires.



INTÉRÊTS

- **Coût** de valorisation agronomique le moins élevé
- Bien que variable selon le type d'intrant, le rapport azote sur phosphore des digestats est assez proche des **besoins de nombreuses cultures** alors que beaucoup de procédés de traitement ont pour effet de déséquilibrer ce rapport

LIMITES

- Le digestat brut est très propice à la **volatilisation de l'ammoniac** ; si l'enfouissement tarde par un temps chaud, le coefficient d'équivalence engrais azoté peut se réduire notablement
- Plus difficile à envisager pour une unité de méthanisation centralisée produisant plusieurs dizaines de milliers de m³ de digestat, les surfaces nécessaires étant alors considérables

COÛTS

De 2 à 4 €/m³ selon l'équipement et pour une distance maximale de **3 à 4 km (aller et retour).** Ce coût peut être bien plus élevé pour des distances supérieures, compte tenu du coût du matériel, de la main-d'œuvre et de la vitesse limitée sur route (25 km/h en moyenne). **Au-delà de 10 à 15 km** « aller », le transport par **camion-citerne** est à privilégier.

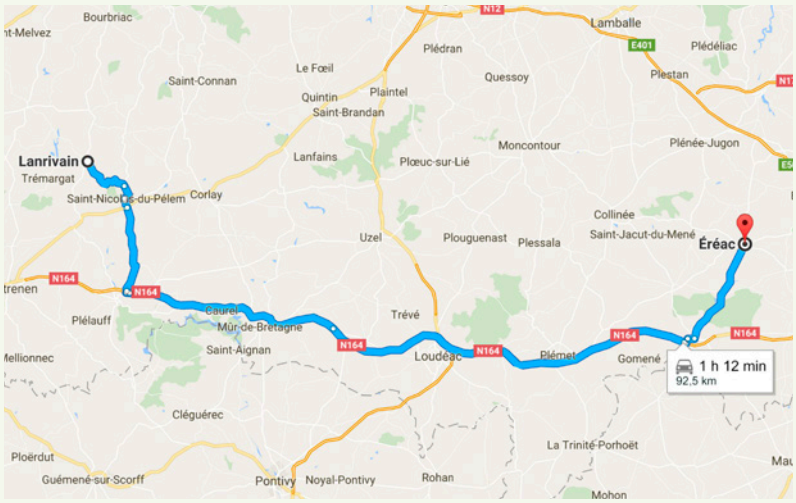
TRANSPORT DE DIGESTAT BRUT

Objectif

Pour des excédents d'éléments fertilisants modérés, et des distances de transfert de 15 à 100 km, le transport de digestat brut par **camion-citerne** est envisageable.

Principe de fonctionnement

Des entreprises proposent, en prestation de service, de transporter du digestat brut liquide dans des camions citernes d'environ **25 à 29 m³.** Certains peuvent être équipés de **pompes de reprise** ; à défaut, il faut en prévoir une sur site et disposer d'une **bonne accessibilité autour de la fosse** pour ce type de camion. Le déchargement se fait dans une **fosse tampon** pour un stockage transitoire avant la valorisation agronomique par épandage. Le digestat pourrait être également convoyé après une phase de **déshydratation partielle,** à condition de rester parfaitement pompable. Le transport, peu développé en France, l'est bien davantage en Allemagne pour du lisier de porc. Il permet d'optimiser la gestion des effluents bruts sur un territoire mais pourrait rencontrer des difficultés d'**acceptabilité liées à la circulation des véhicules**.



Au-delà d'une distance de 100 km, il semble préférable d'envisager d'autres méthodes de résorption que le transport de digestat brut.

Efficacité et gestion du digestat brut

Le transport n'altère pas la conservation des éléments fertilisants du produit. Le digestat brut présente une composition **en phase avec les besoins de la plupart des cultures.** Le transport peut concerner tout ou partie des quantités produites selon les contraintes d'épandage rencontrées localement.

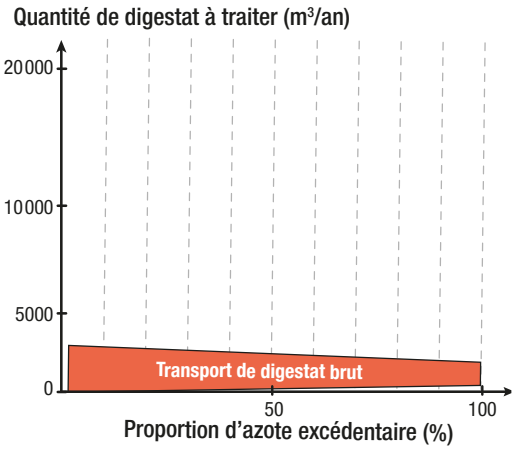
Camion-citerne avec bras de pompage

Fournisseurs

Agri-Compost, Robillard, Rouxel citerne

Plage d'utilisation

Principalement pour des volumes modérés.



INTÉRÊTS

- **Pas d'investissement** notable car réalisable en prestation de service
- **Possibilité de variation** très importante du volume transporté d'une année à l'autre et d'être arrêté à tout moment (variation importante du plan d'épandage, de la nature et/ou des quantités d'intrants)
- Ensemencement de digesteurs (nouvelle construction ou après une vidange complète)

LIMITES

- Compte tenu des **coûts unitaires élevés,** le transport est à réserver à des quantités limitées du digestat produit
- La circulation des camions peut occasionner des **nuisances pour les riverains**
- **Gestion d'un plan d'épandage à distance**

COÛTS

Pour un camion-citerne de 28-29 m³, le coût de transport s'échelonne de **3 à plus de 6 €/m³** de digestat, selon le transporteur contacté, pour une distance « aller » de **15-20 km** entre la fosse de stockage et la fosse tampon (ou le chantier d'épandage). Le prix au km parcouru décroit ensuite rapidement : **6 à 10 €/m³** pour une distance de 50 km. Les prix semblent avoir fortement décru ces dernières années compte tenu de la concurrence avec les transporteurs traditionnels.

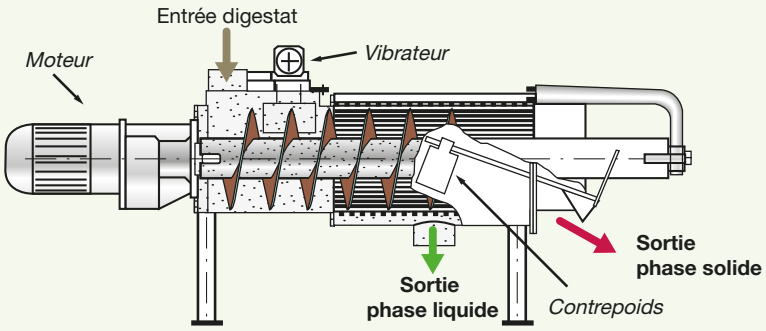
VIS COMPACTEUSE

Objectif

En retenant les éléments grossiers des digestats, **ce séparateur de phases** permet un meilleur écoulement dans les canalisations, l'épandage de la fraction liquide avec un pendillard ou un enfouisseur, et évite le comblement des lagunes et des fosses de stockage. La vis compacteuse trouve d'autant plus son utilité que le digestat est **concentré**. Elle fournit par ailleurs un **fertilisant organique solide pour des parcelles éloignées.** Ce type de séparateur de phases est généralement **bon marché et d'un entretien aisé.**

Principe de fonctionnement

Après homogénéisation, le digestat arrive par gravité ou par pompage dans un séparateur cylindrique (dimension des mailles comprises entre 0,2 et 1 mm). Une vis sans fin à rotation lente pousse le digestat vers un dispositif de fermeture à pression contrôlée. Sous la pression, le liquide passe à l'extérieur du cylindre puis s'écoule ensuite par gravité. Les éléments particulaires sont retenus et s'accumulent pour former un bouchon. Le dispositif de contrôle du bouchon permet de faire varier le débit de digestat traité et le taux de siccité de la fraction solide. Si la fraction solide doit être transportée, un **compostage** préalable s'avère nécessaire.



Coupe schématique d'une vis compacteuse

Efficacité de traitement (*) et co-produits

Taux de capture dans la fraction solide (minimum – maximum) et composition moyenne des co-produits

		MS	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O
Taux de capture (%)		41 (30-45)	14 (8-20)	10	22 (15-25)	10 (8-20)
Quantités (kg/m³ digestat)		*Compositions (g/kg produit brut)*				
Solide	**110**	250	5,3	1,9	6,4	3,9
Liquide	**890**	33	4,8	*3,5*	*2,1*	*2,7*

(*) Résultat obtenu sur un digestat à 9 % de matière sèche (45 % de lisier de porc, 21 % de déchets de pommes, 14 % de lisier et fumier de bovin, 12 % d'issues de céréales et 7 % de cannes de maïs). Le solide frais représente 98 à 132 kg/m³ de digestat. Les taux de capture dépendent de la solubilité des éléments. Ils devraient être bien plus variables que les valeurs obtenues sur lisier de porc. Ces bilans indicatifs doivent être confirmés par d'autres essais et pour d'autres intrants.

Les teneurs des co-produits obtenus s'entendent pour un produit frais, elles devraient varier selon la nature des intrants et, pour la fraction solide, croître sous l'effet d'un compostage/séchage. **Une analyse permettra alors d'adapter la dose à épandre.**

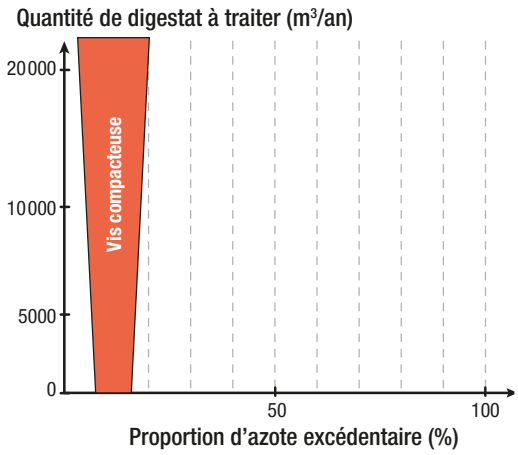
IFIP

Fournisseurs

Börger, CRD, Xylem

Plage d'utilisation

Envisageable pour des volumes très variables mais représentant de faibles niveaux d'excédents tant en azote qu'en phosphore.



INTÉRÊTS

- **Coût d'investissement peu élevé**
- **Matériel rustique, maintenance réduite**
- Permet de **baisser le coût de fertilisation** organique des parcelles les plus éloignées (pas d'eau à transporter) et d'accéder aux parcelles les moins portantes
- La fraction solide issue de cette séparation de phases demeure **compostable** sans ajout de substrat ligno-cellulosique

LIMITES

- Ne s'adresse que rarement à la résorption d'excédents compte tenu du **taux de capture en éléments fertilisants peu élevé**

COÛTS

Le coût d'investissement limité, (**entre 20 000 et 40 000 €** selon le modèle, installation comprise mais sans la plate-forme de stockage/compostage), constitue son principal atout. Rustique et de puissance modérée (3 à 4 kW), son coût de fonctionnement est également peu élevé, inférieur à **0,5 €/m³**. Les coûts peuvent être encore réduits avec des vis compacteuses **mobiles partagées ou en prestation de service.**

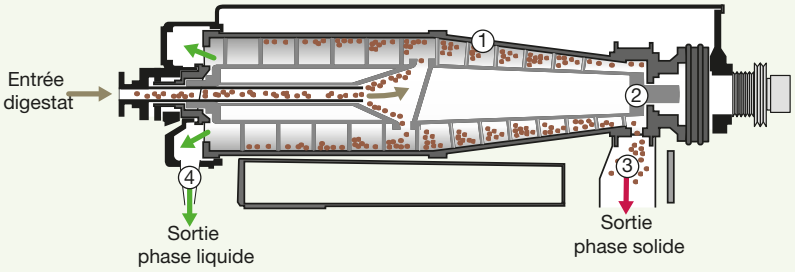
DECANTEUSE CENTRIFUGE

Objectif

Compte tenu de la technologie mise en œuvre, le phosphore et la matière sèche du digestat sont extraits avec **efficacité**. Selon les besoins, elle peut être utilisée seule, en version fixe ou mobile, ou plus généralement combinée avec d'autres dispositifs (filtration membranaire, traitement biologique par boue activée…).

Principe de fonctionnement

Une pompe volumétrique achemine le digestat, préalablement homogénéisé et « dégrillé », 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 de digestat, est évacuée du côté opposé ④. Les différences de principe de fonctionnement et de technologie mises en œuvre expliquent les différences de performances et de coûts entre équipements. La fraction solide issue d'une décanteuse-centrifuge doit être compostée avant d'être transportée.



Coupe schématique d'une décanteuse centrifuge

Efficacité de traitement et co-produits

Taux de capture dans la fraction solide (minimum – maximum) et composition moyenne des co-produits

		MS	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O
Taux de capture (en %)		59	26 (15 – 30)	18	71 (60 – 75)	20 (10 – 25)
Quantité (kg/m³ digestat)		*Composition (g/kg produit brut)*				
Solide	**150-200**	300	10,2	2,6	13,9	5,0
Liquide	**800-850**	33	4,8	*3,5*	*1,5*	*2,7*

Les teneurs mentionnées s'entendent pour un produit frais, elles varient selon la nature des intrants et augmentent 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.

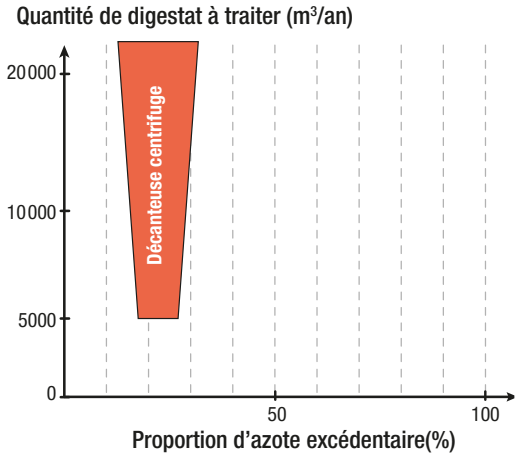
IFIP

Fournisseurs

Andritz, Pieralisi, Westfalia

Plage d'utilisation

Compte tenu de son coût, procédé à réserver à de **grands volumes** de digestat. Permet de répondre davantage à des **excédents de phosphore** que d'azote.



INTÉRÊTS

- **Très bon rapport efficacité/coût** sur les éléments liés à la matière sèche comme le **phosphore**
- Des **économies d'échelle** sont possibles
- La fraction solide issue de cette séparation de phases demeure compostable sans ajout de substrat ligno-cellulosique

LIMITES

- **Peu efficace pour les éléments solubles** comme l'azote ammoniacal ou le potassium. A ce titre, les contraintes environnementales sur l'azote impliquent le plus souvent l'usage d'un **traitement complémentaire** en aval
- **Coûts demeurant élevés** pour des quantités de digestat inférieures à 3 000 voire 5 000 m³/an

COÛTS

Investissement : de 80 k€ pour un petit modèle (1,5 m³/h) **à plus de 150 k€** pour une unité de grande capacité (5 m³/h) soit environ 10 000 m³ de digestat à traiter annuellement. Ces prix s'entendent installation comprise mais sans la plate-forme de réception/compostage du refus solide. Ils peuvent toutefois varier notablement selon la marque. En termes de fonctionnement, il faut compter **0,9 €/m³**, vraisemblablement moins pour les plus grands modèles compte tenu d'économies d'échelle sur la maintenance.

COMPOSTAGE D'UN REFUS DE SEPARATION DE PHASES

Objectif

L'objectif sera de **déshydrater et stabiliser la matière organique** mais aussi de **l'hygiéniser par une montée en température** significative. La perte de masse et de volume va permettre de r**éduire les coûts de transport et d'épandage.** Une teneur en matière sèche minimale de 28-30 % pour le produit frais doit être recherchée car ces refus de séparation de phases sont peu poreux et sujets au tassement. Le compostage sera ainsi plus facile sur des refus de vis compacteuse ou de décanteuse-centrifuge que sur ceux provenant de tamis vibrants.

Principe de fonctionnement

Les retournements sont indispensables pour décompacter et réoxygéner les refus de séparation de phases. Si une fréquence de **3 retournements à 3 semaines d'intervalle** peut donner des résultats intéressants, il est toutefois préférable de **contrôler la température et la teneur en matière sèche** afin d'adapter cette fréquence et la durée totale de compostage/maturation. Pour des refus issus de digestat de méthanisation, et à défaut de retour d'expérience suffisant, il peut être utile de s'inspirer des acquis sur les refus issus de lisier de porc. Le compostage des refus de séparations de phases issus de digestat sera vraisemblablement plus difficile du fait d'une composition initiale plus humide, voire de la perte de la fraction carbonée la plus fermentescible lors de la phase de digestion anaérobie.

Les travaux antérieurs ont ainsi montré que les retournements ne permettent pas toujours de déshydrater suffisamment rapidement ce type de compost ; il sera nécessaire de lui adjoindre une **aération forcée**. L'action conjointe de ces deux procédés fournit de bons résultats pour la montée en température et la déshydratation en période estivale. L'aération doit être plutôt modérée les premières semaines pour ne pas contrecarrer la montée en température et plus intense ensuite pour une meilleure déshydratation. **En hiver,** surtout sous un climat humide, les résultats semblent bien moins probants. L'ajout d'au moins **2 % de paille ou d'un substrat équivalent** sera alors nécessaire (mais pas forcément suffisant) **pour dépasser 40 % de matière sèche.** Il pourrait être en outre nécessaire de poursuivre une **phase de maturation** bien au-delà des 2 premiers mois de compostage.

Efficacité de traitement et co-produits

Le compostage d'un refus de décanteuse-centrifuge sur lisier de porc permet d'atteindre **une réduction massique de 30 %** (retournement seul) à **50 % environ** (retournement et aération forcée). Ces références ne sont pas disponibles pour des produits issus de digestats. Des travaux antérieurs montrent que les composts de refus de décanteuse-centrifuge issus de digestats peuvent avoir des compositions chimiques variables. Les composts déshydratés (**plus de 40-45 % de matière sèche**), devraient se rapprocher des critères de la norme NF U 42-001. Toutefois, après séparation par vis compacteuse, les teneurs en macroéléments seront vraisemblablement inférieures.

Exemple de deux composts issus de décanteuse-centrifuge, de composition contrastée (en g/kg de produit brut)

Composts	MS	MO	C/N	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O	N+P+K
A	350	220	15	7	1	19	5	31
B	430	210	6	19	3	40	7	66

La différence de composition est due partiellement à un moindre séchage du compost A par rapport au B. Les flux d'éléments entrants dans le digesteur sont une autre raison comme le montre le différentiel élevé de teneur en azote et phosphore.

Si ces composts (issus d'une séparation de phases de digestat liquide) confirment leur forte teneur en éléments fertilisants, ils seront alors à épandre **sur la base de leur teneur en phosphore.** Un apport annuel de compost reviendrait à épandre de trop petites quantités relativement à la précision permise par les équipements d'épandage d'engrais organiques. Sur la base d'une rotation triennale et d'une moyenne de 90 kg de P_2O_5/an, les apports seraient respectivement de **14 et 7 t/ha de compost A et B.**

IFIP

Refus de décanteuse-centrifuge en cours de compostage, la zone blanche montre un développement de micro-organismes thermophiles.

Plage d'utilisation

Le compostage doit être mis en œuvre quelle que soit la quantité produite si le compost doit être exporté.

Dispositif d'aération forcée intégré dans la plate-forme de compostage.

INTÉRÊTS

- Effet hygiénisant du compostage. Permet de sécuriser, d'un point de vue sanitaire, les transferts de matière entre territoires
- **Baisse des coûts de transport et d'épandage** par la réduction volumique et massique du compost
- Permet de respecter les principaux critères de la **norme NF U 42-001** si les conditions initiales d'éligibilité sont réunies

LIMITES

- Coûts d'infrastructure (plate-forme bétonnée, charpente,…) non négligeables
- Perte d'azote inhérente au procédé et pouvant dépasser 30 % de la quantité initiale
- Pilotage du compostage délicat, surtout en période hivernale

COÛTS

Pour le compostage, il sera nécessaire d'investir dans une **plate-forme bétonnée, couverte,** munie d'un dispositif d'aération forcée et de cloisons pour séparer les lots de compost. Concernant les coûts de fonctionnement, il faut comptabiliser **le matériel et la main d'œuvre** pour le retournement des andains.

FILTRATION MEMBRANAIRE

Objectif

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 sera également moins énergivore qu'avec du digestat brut. Avec la technique 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.**

Principe de fonctionnement

La filtration membranaire est effectuée **sous l'effet d'un gradient de pression**. Quatre catégories de membranes peuvent être définies selon notamment la taille des pores : la microfiltration (taille des pores 0,1 - 2 µm), l'ultrafiltration (0,01 – 0,1 µm), la nanofiltration (0,001 – 0,01 µm) et l'osmose inverse (<0,001 µm). L'ultrafiltration (UF) provoque l'élimination complète des **bactéries** et partiellement des virus mais non 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. Avec du digestat, les **risques de colmatage** nécessiteront une séparation de **phases amont plus grossière par vis compacteuse ou de préférence par décanteuse-centrifuge.** La présence d'azote ammoniacal dans les digestats constitue une difficulté supplémentaire : la forme 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 du digestat, il serait préférable de l'incorporer après les étapes de séparation de phases liquide-solide primaires.

Vue de détail d'une membrane

Efficacité de traitement et co-produits

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

	Quantité	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O
Solide décanteuse-centrifuge	17	26	18	71	20
Ultrafiltration	12	NC	13	21	11
Osmose inverse	18	NC	70	6	69
Composition estimée des concentrats liquides (en g/kg brut)					
Ultrafiltration		NC	3,8	4	2,5
Osmose inverse		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 digestats mais aussi des multiples possibilités de conduire les modules de filtration membranaire. Faire une filtration membranaire à la seule fin de réduire le coût de transport s'avère trop onéreux. Il serait préférable soit de composter ces concentrats avec un substrat ligno-cellulosique, soit de les déshydrater (via par exemple des tapis de séchage) en utilisant l'énergie thermique issue d'un co-générateur.

IFIP

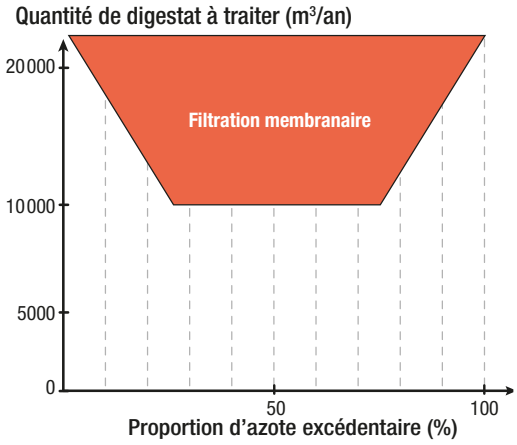
Modules d'osmose inverse

Fournisseurs

Water solutions, Pall France, Tami Industries, Vanlaer

Plage d'utilisation

Pour des niveaux d'excédent très **variables** (modularité des équipements et de leur conduite) et des **volumes élevés** (économies d'échelle).



INTÉRÊTS

- **Efficacité** épuratoire et réduction volumique modulables selon les besoins
- Intérêt notamment **en association** avec d'autres procédés (par exemple compostage ou déshydratation des concentrats)

LIMITES

- **La sensibilité au colmatage** et les nécessaires procédures de lavage occasionnent des coûts de fonctionnement élevés
- Le facteur de **réduction volumique** demeure somme toute modéré si la filtration membranaire est utilisée seule
- Uniquement pour de **grandes quantités** de digestat (> 10-15 000 m³/an, voire plus de 30 000 m³/an)

COÛTS

L'investissement sera compris entre **600 000 et 1,5 millions d'€** pour des unités de méthanisation ayant 20 000 à 40 000 m³ de digestat à traiter annuellement, soit 4 à 5 €/ m³. Les coûts de fonctionnement estimés seraient de l'ordre de **4 et 7 € m³.** Ce chiffrage est à considérer avec précaution. Compte tenu de nombreuses incertitudes et du manque de retours d'expérience, le coût total d'une solution opérationnelle sur digestat brut se situera plus vraisemblablement autour de **15 €/ m³.** Quoiqu'il en soit, pour contenir ces coûts, le traitement de **grands volumes** doit être privilégié pour bénéficier des économies d'échelle.

TRAITEMENT BIOLOGIQUE PAR BOUES ACTIVEES

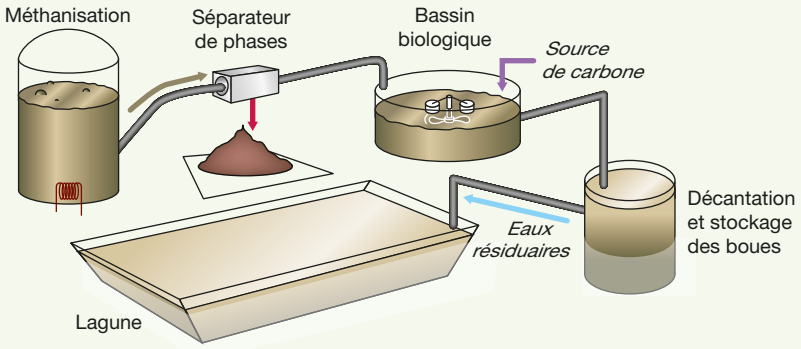
DIT AUSSI PAR NITRIFICATION/DENITRIFICATION

Objectif

Ce procédé de traitement permet d'abattre, **par volatilisation,** la presque intégralité de l'azote ammoniacal 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. Ce procédé le plus souvent utilisé pour le traitement du lisier de porc peut aussi être mis en œuvre pour le digestat en aval de la méthanisation. Compte tenu des économies d'échelle envisageables, il peut s'adresser à de très grands excédents, tant en proportion d'azote à abattre, qu'en quantité totale de digestat à traiter.

Principe de fonctionnement

Le principe consiste à envoyer le digestat dans un bassin biologique dans lequel se succèdent des séquences d'oxygénation suivies de périodes d'anoxie (sans brassage). Dans ces conditions, des **bactéries** transforment l'azote ammoniacal du digestat en **azote gazeux (N_2)** se dégageant dans l'atmosphère. 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 50 % du carbone 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.



Avec la contrainte environnementale sur le phosphore, une séparation de phases de type « décanteuse-centrifuge » peut être installée en amont du bassin biologique

Efficacité et gestion des co-produits

Taux d'abattement total par volatilisation (minimum - maximum)

	MS	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O
Taux d'abattement (%)	-	63 (40-75)	>98	0	0

Le couplage méthanisation /traitement biologique par boues activées dispose de peu de retour d'expérience car il n'existe à ce jour (avril 2017) qu'une seule unité en fonctionnement depuis 2013 dans les Côtes d'Armor. Ce procédé volatilise presque l'intégralité de l'azote ammoniacal. Sur la base de 42 échantillons de digestat brut liquide, le projet Valdipro indique une proportion N_{min}/N_{total} de 63 % en moyenne.

Toutefois, les observations vont de 36 à 79 %, ce qui suggère de grands écarts de performance envisageables sur le terrain. La composition du refus de séparation de phases sera identique à celles mentionnées précédemment. Les compositions des boues biologiques et de l'eau résiduaire ne sont pas mentionnées compte tenu de l'absence de données disponibles.

IFIP

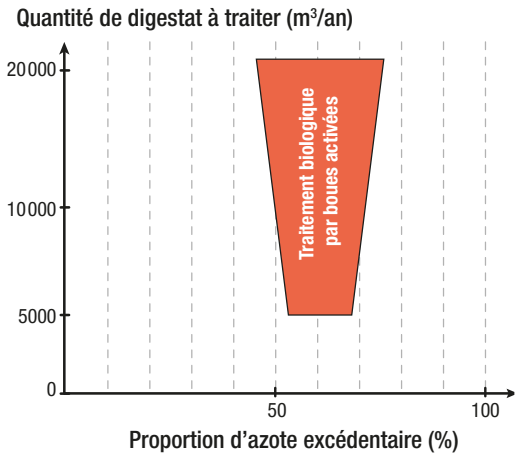
Turbine d'oxygénation de surface

Fournisseurs

EVALOR

Plage d'utilisation

À privilégier pour des excédents élevés en azote et des volumes importants de digestat.



INTÉRÊTS

- Procédé ayant largement **fait ses preuves** dans le **traitement des lisiers** de porc (plus des 3/4 des installations en fonctionnement)
- Bon rapport efficacité/coût pour le traitement de l'azote
- Fortes économies d'échelle et rusticité

LIMITES

- Nécessité d'une **source de carbone** pour la dénitrification
- Compte tenu des contraintes environnementales sur le **phosphore**, l'utilisation d'une **séparation** de phases poussée en tête est nécessaire.
- **Pas de traitement du potassium**
- Procédé **destructif de l'azote**

COÛTS

La mobilisation d'une unité de traitement biologique déjà existante sur site permet de limiter considérablement les coûts d'investissement. A défaut, la rentabilité de l'unité de méthanisation s'en trouvera amputée, le coût d'investissement à neuf du traitement biologique étant de l'ordre de **250 k€ pour 10 000 m³/an** (hors fosse de stockage des boues et lagune pour l'eau résiduaire). Le coût de fonctionnement, qui inclut la séparation de phases et le compostage du solide ainsi que le temps de travail, est de **3,5 €/m³ sur lisier de porc**, ne devrait pas être notablement différent sur digestat (éventuellement légèrement supérieur compte tenu du taux de matière organique plus élevé et de l'augmentation du temps d'oxygénation qui s'ensuivrait).

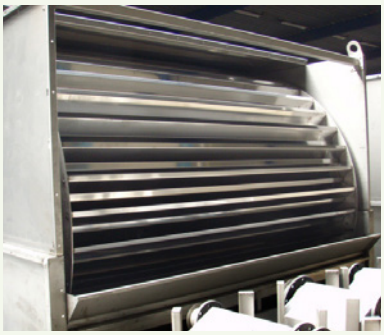
TAPIS DE SECHAGE

Objectif

Les tapis de séchage permettent de déshydrater un **digestat liquide**. Il est obtenu un digestat sec de **plus de 70 % de matière sèche, très concentré** en éléments fertilisants, permettant de réduire les coûts de transport et d'épandage. Ce procédé particulièrement **énergivore** suggère d'utiliser une énergie déjà disponible, par exemple l'énergie thermique dissipée par un co-générateur. La quantité de digestat pouvant être traité dépend notamment de la concentration énergétique des intrants et de la chaîne de traitement retenue.

Principe de fonctionnement

La déshydratation sur tapis de séchage consiste à répartir, sur des bandes transporteuses disposées en étages, une couche homogène et fine de digestat pré-concentré. Au cours du mouvement de ces bandes, le digestat est déshydraté par un **flux d'air chaud.** Avec un digestat brut, ayant une teneur en matière sèche initiale de 5-10 %, du liquide passerait à travers les fentes de perforation des tapis. Ainsi il est nécessaire d'élever cette teneur à **15 voire 20 %** (au-delà l'effluent deviendrait plus difficilement pompable et serait plus difficile à répartir sur les tapis). Le digestat pré-concentré est ensuite mélangé avec une partie du digestat sec. Après une circulation sur l'ensemble des étages, le taux de matière sèche peut atteindre 70-80 %. La déshydratation peut être ajustée aux besoins et à la quantité d'énergie thermique disponible. L'émission d'ammoniac qui en résulte nécessite un **lavage d'air avec de l'eau acidifiée,** il en résulte la production d'un sulfate d'ammonium. La déshydratation d'un refus de séparation de phases à la place d'un digestat brut constitue une alternative ; le besoin énergétique sera bien moins élevé. L'intégralité du refus produit par une vis compacteuse ou une décanteuse-centrifuge pourra être déshydraté mais la performance épuratoire de la chaine de traitement dépendra alors du choix de ce séparateur (voir les fiches correspondantes).



Il existe plusieurs types de pré-concentrateurs (ici un roto-dryer de chez Spiessens) permettant de monter le taux de matière à environ 15 % avant transfert sur tapis de séchage

Efficacité de traitement et co-produits

Bien que les teneurs puissent varier selon la nature des intrants, elles demeurent très élevées. Le digestat sec doit ainsi être épandu à dose modérée. Très stable, il dispose d'un C/N élevé, compris entre 15 et 30. Le lavage d'air fournit également du sulfate (le plus souvent) ou nitrate d'ammonium après piégeage de l'ammoniac.

Taux de capture dans le digestat sec et le sulfate d'ammonium – Composition moyenne des co-produits (*)

	MS	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O
Taux de capture (%) (**)	100	100	100	100	100
Composition (g/kg produit brut)					
Digestat sec	800	23	2,3	35	34
Sulfate ammonium	259	-	54	0	0

(*) Estimation pour l'azote ; (**) Pour l'azote, il peut toutefois y avoir 10 à 20 % de pertes atmosphériques selon l'efficacité du laveur d'air

Les tapis de séchage peuvent déshydrater jusqu'à 30, voire 40 % du digestat produit, si les échangeurs thermiques sont performants, le digestat pas trop aqueux et les intrants très méthanogènes (production d'énergie élevée). A défaut, les performances peuvent être bien moindres. Il faut compter sur une efficacité d'évaporation de l'ordre de **1,2 à 1,3 kWh d'énergie thermique par litre d'eau évaporée.**

IFIP

Recirculation du produit organique sur un tapis de séchage

Fournisseurs

Dorset, Scolari, Spiessens

Plage d'utilisation

La quantité de digestat à traiter et le niveau d'excédent en azote ne constituent pas les critères de choix les plus pertinents d'un tapis de séchage. Avec un excédent modéré en quantité et plutôt équilibré entre l'azote et le phosphore, il est préférable d'envisager la déshydratation d'un digestat brut. La **disponibilité en énergie thermique** sera alors le principal facteur limitant le volume de traitement envisageable. Si le phosphore est le principal facteur limitant sur le plan d'épandage, le choix peut se porter sur la **déshydratation d'un refus de décanteuse-centrifuge.** Des calculs au cas par cas demeurent en tout état de cause indispensables afin d'optimiser la chaîne de traitement.

INTÉRÊTS

- **Taux de séchage** le plus performant des procédés existants
- Permet de **résorber les éléments fertilisants** de manière équilibrée
- **Perte d'azote peu élevée** si le laveur d'air est bien entretenu
- **Valorisation de l'énergie thermique produite par les co-générateurs**

LIMITES

- **La disponibilité en énergie thermique** est le principal facteur limitant de la déshydratation d'un digestat brut
- **Résorption de l'azote modéré** avec le séchage des refus de séparation de phases compte tenu de leurs taux de capture (voir fiches correspondantes)
- **Dimensionnement complexe** de ce procédé (taille des tapis, vitesses d'air…)
- **Utilisation d'acide pour le lavage d'air**

COÛTS

A défaut de données de terrain représentatives, nous estimons les coûts à environ **250 k€ pour 1 500 m³** de digestat brut à déshydrater annuellement, **350 k€ pour 3 500 m³/an et 600 k€ pour 10 000 m³/an.** Ces prix peuvent notablement varier selon la qualité des matériaux (le milieu étant très corrosif), les options (recirculation du digestat ou non,…), le choix du ou des pré-concentrateurs. Ils seront moins élevés pour des versions simplifiées (notamment sans recirculation du digestat sec) adaptées à des refus de séparation de phases. D'après les constructeurs interrogés, les coûts de fonctionnement annuels s'élèveraient à environ 10 % du montant des investissements.

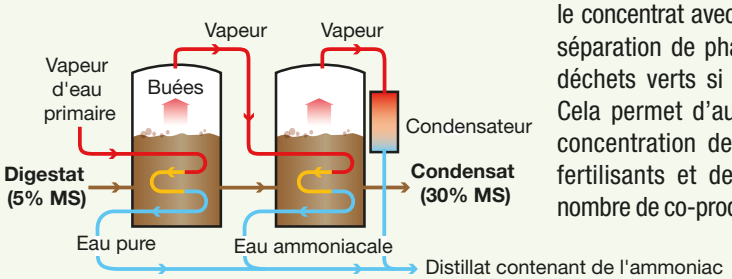
EVAPO-CONCENTRATEUR

Objectif

Les évapo-concentrateurs permettent de **déshydrater la fraction** liquide d'un digestat issu d'une séparation de phases en tête. Cette déshydratation met utilement à profit l'énergie thermique produite par le co-générateur. Les buées d'évaporation sont systématiquement condensées afin de collecter 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'évapo-concentrateur ou un lavage d'air sont à prévoir.

Principe de fonctionnement

Les évaporateurs sont scindés en plusieurs sous-unités, appelées « effets » où circule successivement le digestat. 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 30 %). Le digestat prend alors l'aspect d'un sirop épais. Un **Compresseur Mécanique de Vapeur** (CMV) constitue une alternative aux évapo-concentrateurs 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 surcoût 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'évapo-concentrateur et 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.



Synoptique de fonctionnement d'un évaporateur à double effet

Efficacité de traitement et co-produits

Bien que les évapo-concentrateurs puissent être conduits de différentes manières et intégrés dans de multiples combinaisons de traitement, le taux de capture en éléments restera globalement très élevé. L'ammoniac devra être piégé en amont ou en aval de l'évapo-concentrateur pour éviter son émission dans l'atmosphère. Les éléments liés aux particules se retrouvent dans le **refus**, les éléments particulaires de faible dimension et les minéraux non volatilisables dans le **concentrat**.

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

	MS	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O
Taux de capture (*)	>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 ne contient **presque plus d'azote (< 100 mg/l) si il y a bien eu piégeage en amont, ni de phosphore.**

IFIP

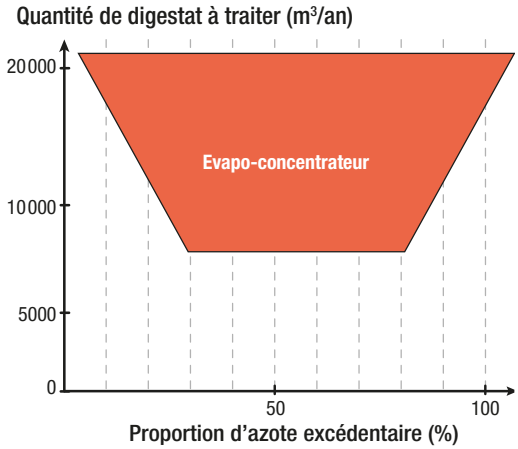
Evapo-concentrateur K-Révert en fonctionnement sur du digestat

Fournisseurs

France Evaporation, Kmu Loft, K-Révert, Techni-process

Plage d'utilisation

Pour des niveaux d'excédent très variables (modularité des équipements et de leur conduite) et des volumes de digestat plutôt élevés (économie d'échelle).



INTÉRÊTS

- **Valorisation de l'énergie thermique** produite par les co-générateurs
- L'évapo-concentrateur permet une **réduction volumique importante** puisqu'une augmentation du taux de matière sèche de 3 (fraction liquide après séparation de phases) à 30 % s'accompagne d'une réduction volumique d'un facteur 10. Il en résulte des **coûts de transport** et d'épandage notablement réduits

LIMITES

- Les **coûts** constituent la principale limite de ce procédé
- Les économies d'échelles les réservent préférentiellement à de **grandes unités** de méthanisation ayant des **excédents élevés**

COÛTS

Pour une installation comprenant les options vis compacteuse + compostage + module d'osmose inverse, les coûts d'investissement seraient de **450 k€ pour 5 000 m³/an** (22 k€/an de coût de fonctionnement) à **960 k€ pour 20 000 m³/an** (55 k€/an de coût de fonctionnement). Ces ordres de grandeur peuvent notablement varier selon les options retenues et le type de digestat.

STRIPPING DE L'AZOTE

Objectif

L'objectif consiste à **volatiliser l'azote ammoniacal du digestat** pour ensuite soit le concentrer dans une solution acide par lavage d'air, soit le **brûler par combustion catalytique**. Ce procédé ne s'adresse qu'à des excédents en azote mais il peut être couplé à d'autres équipements captant le phosphore.

Principe de fonctionnement

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 accélèrent ce processus, la forme gazeuse (NH_3) se développant alors au détriment de la forme ionique (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 particulaires 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 50-60 g/l environ. L'ammoniac peut également subir une combustion catalytique à haute température. Il se forme alors du **diazote (N_2) se dégageant dans l'atmosphère.**

Procédé de stripping suivi d'une combustion catalytique de l'azote (Smelox) sur chassis mobile pour un traitement en prestation de service

Efficacité de traitement et co-produits

Le **sulfate d'ammonium est un engrais minéral azoté et soufré**. De pH acide, il est stable et devrait présenter peu de risques sanitaires. Les préconisations d'utilisation sont similaires à celles de solutions azotées disponibles sur le marché. Une démarche est actuellement en cours afin d'intégrer le sulfate d'ammonium dans la norme des engrais minéraux NF U 42-001.

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

		MS	N_{total}	N_{min}	P_2O_5	K_2O
Taux de capture maximal (%)		60-70	>75	>90	71	20
Quantité (kg/m³ digestat)		*Composition (g/kg produit brut)*				
Solide décanteuse-cent.	**150-200**	300	10,2	2,6	13,9	5,0
Sulfate ammonium	**NC**	259	-	*54*	*0*	*0*

(*) Aile, 2016 – NC : Non Connue – Le stripping de l'azote proprement dit n'est d'aucune efficacité sur le phosphore et le potassium

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. Sur la base de 42 échantillons de digestat brut liquide, des travaux antérieurs 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 des écarts de performance envisageables sur le terrain. Avec une décanteuse-centrifuge, les performances épuratoires seraient bien meilleures comme le montre le tableau ci-dessus (avec un compostage et exportation de refus solide).

IFIP

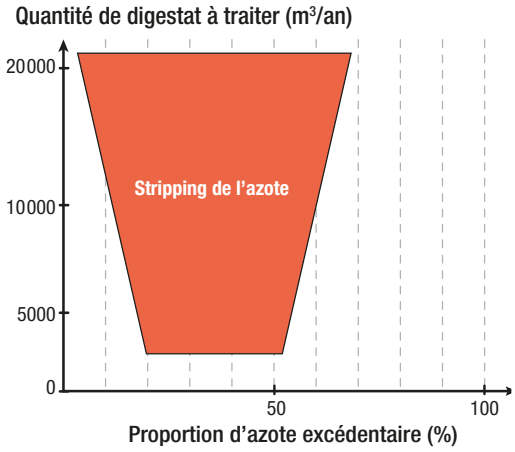
Echangeurs de chaleur sur digestat

Fournisseurs

Evalor (procédés Smelox, New)

Plage d'utilisation

Pour des niveaux d'excédent azoté assez variables car le stripping peut être plus ou moins poussé. Possibilité de traiter des excédents supérieurs à 75 % avec une décanteuse-centrifuge. Le stripping peut potentiellement s'adresser tant à **des petites qu'à des grandes quantités de digestat.**



INTÉRÊTS

- **Procédé conservatif** de l'azote
- **Taux de volatilisation** de l'azote modulable selon le niveau d'excédent
- **Energie thermique du cogénérateur** pouvant être mise à profit pour favoriser le stripping

LIMITES

- **Procédés coûteux** relativement à d'autres techniques ; la vente de l'azote préservé ne couvre pas le surcoût
- **Installation « à la ferme »** doit encore être optimisée techniquement et économiquement

COÛTS

Une unité Smelox permettant de réaliser une combustion catalytique de l'azote après la phase de stripping, coûte de **600 à plus de 700 k€ d'investissement pour 20 000 m³/an** (prix comprenant une décanteuse-centrifuge en tête et le hangar de stockage/compostage). Pour une installation de stripping « à la ferme », le retour d'expérience n'est pas suffisant pour proposer une évaluation financière.

AUTRES PROCEDES DE TRAITEMENT

Il existe d'autres procédés de traitement insuffisamment documentés pour qu'ils puissent faire l'objet d'une fiche spécifique, ou devant encore faire la preuve de leur intérêt pour le traitement des digestats liquides.

Séchage de digestat sous serre

Les lits de séchage solaire ont été mis en œuvre pour la déshydratation de boues issues de stations d'épuration urbaines ou industrielles. Cette technique pourrait être appliquée sur digestats dans les **zones à fort ensoleillement.** La profondeur recommandée varie de 10 à 50 cm selon la nature des digestats. Le dimensionnement des lits doit prendre en compte le climat, le bilan hydrique et la siccité des digestats en entrée. Si cette technique semble intéressante du fait de l'utilisation d'une **source d'énergie renouvelable et gratuite**, elle a également des limites : les surfaces d'implantation sont considérables notamment en France métropolitaine où l'ensoleillement hivernal peut être insuffisant. Par ailleurs, **l'ammoniac** émis par le système de ventilation doit nécessairement subir un **lavage d'air.**

Précipitation de struvite

Ce procédé est basé sur un processus de **précipitation chimique**. Il est réalisé dans un réacteur dans lequel sont créées les conditions permettant la co-précipitation de l'ammonium, du phosphate et la formation de struvite (ou magnésium-ammonium-phosphate ; MAP), selon l'équation suivante :

$$Mg^{2+} + NH_4^{+} + HPO_4^{2-} + 6\ H_2O \longrightarrow MgNH_4PO_4.6H_2O + H^{+}$$

Afin d'améliorer le rendement de la co-précipitation, il est réalisé préalablement une **séparation de phases** poussée (décanteuse-centrifuge avec des floculants/coagulants). Le précipité final est séparé de la phase liquide par **décantation ou filtration.**

A la fin des années 90, une unité mobile baptisée AVDA (Association de Valorisation des Déjections Animales) avait été mise au point pour produire de la struvite mais s'est avérée bien **trop coûteuse** par rapport à l'efficacité/coût du traitement biologique par boues activées avec décanteuse-centrifuge en tête. **Les floculants/coagulants et l'acide phosphorique** sont notamment des intrants coûteux qui alourdissent les coûts de fonctionnement.

Compostage d'un digestat brut sur substrat ligno-cellulosique

Le principe consiste à apporter du digestat brut liquide sur un substrat ligno-cellulosique **(paille, déchets verts, sciure…)**. Réalisé en plusieurs passages, il s'agit de saturer le support et, par retournements successifs, de créer un **compost artificiel.** Nous ne disposons pas de références sur digestat mais plusieurs dizaines d'unités ont fonctionné au cours des années 2000, sur lisier de porc. Quelques installations existent encore aujourd'hui. Elles mélangent **12 à 15 tonnes de lisier par tonne de paille,** généralement sur **une plateforme bétonnée, couverte** et pouvant collecter les jus d'écoulement. **Le coût croissant de la paille (mais aussi de la main d'œuvre)** a été l'une des principales raisons de la perte d'intérêt de ce procédé. Avec des **déchets verts**, le ratio de mélange est de 1 pour 1, compte tenu d'un pouvoir d'absorption moindre. La quantité importante de déchets verts requise nécessite alors de disposer d'un gisement à proximité immédiate du site de méthanisation.

Le compostage d'un digestat brut devrait rencontrer les mêmes difficultés. Toutefois il présente l'avantage d'être en moyenne bien plus concentré en matière sèche qu'un lisier de porc. La proportion de substrats ligno-cellulosiques devrait être inférieure, réduisant de fait les coûts de fonctionnement.

BIBLIOGRAPHIE

- Aile, 2016. Fiches « digestat » réalisées dans le cadre du programme Casdar Valdipro et du programme européen Biorefine. Consulté le 15/02/2017 à l'adresse suivante : http://www.aile.asso.fr/index.php/fiches-produits-digestat/?lang=fr
- Cagnat E. et Levasseur P., 2015. Capture de l'azote, du phosphore et du potassium d'un digestat avec une presse à vis. JRI Symposium, Rennes, France (3/5 Février 2015).
- 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.
- Levasseur P., 2004. Traitement des effluents porcins – Guide pratique des procédés. 36 p.
- Levasseur P., Cagnat E., Rugani A., Loussouarn A., Bonhomme S. et Deplaude L., 2016. Apport d'azote, phosphore et potassium par les déchets organiques méthanisés - Comparaison de deux méthodes d'estimation des flux annuels. JRI biogaz et méthanisation - Limoges - 11 et 12 février 2016.
- Loussouarn A., B. Le Bris, P. Landrain, M. Toudic, 2015. Transformation du refus solide de centrifugation de lisier de porc par aération forcée. Rapport d'étude. Chambres d'agriculture de Bretagne, 12 p.
- Toudic A. Evaluation des performances d'abattement d'une centrifugeuse sur du digestat de méthanisation – Rapport d'étude. Chambres d'agriculture de Bretagne, 3 p.

COORDONNEES DES CONSTRUCTEURS ET EQUIPEMENTIERS CITES DANS LE DOCUMENT

Cette liste n'est pas exhaustive

A3 Water Solutions GmbH : Boschstraße 2 - 48369 Saerbeck (Allemagne)

Agri-Compost : 10, rue de la Pérouse - 70000 Montigny lès Vesoul

Andritz : Bâtiment B, 4 avenue Morane Saulnier, Inovel Parc Nord - 78140 Vélizy-Villacoublay

Börger France : 9 Rue des prés - 67670 Wittersheim

CRD : 52 avenue de Paris - BP 12 - 53500 Ernée

Dorset Group BV : Weverij 26 - 7122 MS Aalten (Pays-Bas)

Evalor : 1 Rue Georges Guynemer - 22190 Plérin

France Evaporation : ZI A de Seclin- Rue René Cauche - 59139 Noyelles Les Séclins

Kmu Loft France : Parc Tertiaire - 15, rue du Parc - CS 60022 Oberhausbergen - 67088 Strasbourg

K-Révert : 75 Impasse des Orvets - 38300 Saint Savin

Pall France : 3, rue des Gaudines - 78102 Saint-Germain-en-Laye

Pieralisi : 4, allée du Trait d'Union Immeuble «Le Carré Hauss - 77127 Lieusaint

Robillard : La Planche - 22400 Hénansal

Rouxel citerne : Choisel - 35320 Poligné

Scolari : via Romiglia, 2 - 25050 Paderno Franciacorta BS (Italie)

Spiessens Bvba : Ten Hovestraat 6A (IZZUID B) - B-8700 TIELT - RPR Brugge (Belgique)

Tami Industries : Zone d'Activité Les Laurons - 26110 Nyons

Techni-Process : ZI la Muscatelle - 13790 Châteauneuf le Rouge

Vanlaer : 1 A Rue de la Râche - 59320 Haubourdin

Vincent : 530 route du Parquet - 26800 Etoile sur Rhône

Westfalia : 18, avenue de l'Europe - BP 120 - 02400 Château Thierry

Xylem : 29 Rue du Port Parc de l'Ile - 92022 Nanterre

TABLEAU DE SYNTHESE

	Epandage digestat brut	Transport digestat brut	Vis compacteuse	Décanteuse-centrifuge	Compostage d'un refus de séparation de phase
Performance de traitement sur N (%)	-	-	14	26	100
Performance de traitement sur P (%)	-	-	22	71	100
Conservatif de l'azote	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Coproduits issus du traitement *	Digestat brut (pas de traitement)	Digestat brut (pas de traitement)	Deux fractions : liquide et solide	Deux fractions : liquide et solide	Compost
Plage indicative d'utilisation	Tous les cas. A partir de plusieurs dizaines de milliers de m³/an : difficulté pour trouver du plan d'épandage. Distance «aller» < 15 km	Applicable pour des volumes plutôt modérés, moins de 5000 voire 3000 m³/an. Distance «aller» > 15 km	Pas de restriction	Pour des quantités supérieures à 3 000, voire plutôt 5 000 m³/an	Pas de restriction particulière
Coûts investissement	Matériel d'épandage uniquement	Prévoir un bon accès aux fosses et une cuve tampon	Entre 20 000 et 40 000 € (hors plateforme compostage)	80 000 à 150 000 € (hors plateforme de compostage)	Variable selon la taille et le nombre de silos de la plate-forme bétonnée et couverte
Coûts fonctionnement	2 à 4 €/m³ digestat selon équipement	De 3 à 6 €/m³ pour 15 km et de 6 à 10 €/m³ pour 50 km	< 0,5 €/m³ digestat traité	0,9 €/m³ digestat traité	Peu d'entretien (aération forcée)
Facilité de maintenance	Facile	Pas de maintenance (prestation de service)	Matériel rustique	A déléguer	Nulle sauf si aération forcée
Valorisation chaleur du co-générateur	Non	Non	Non	Non	Possible
Principal point positif	Digestat équilibré pour valorisation agronomique	Digestat équilibré pour valorisation agronomique	Matériel rustique	Très bon taux de capture du phosphore	Stabilisation, déshydratation et hygiénisation du solide
Principal point négatif	Surface pouvant devenir importante pour de grands volumes	Plan d'épandage à distance	Peu adapté à la résorption des excédents	Ne retient pas les éléments solubles (N_{min}, K…)	Perte d'azote minéral (déséquilibre le rapport N/P)

** pour certains : peut varier selon la chaîne de traitement retenue*

Suite du tableau page suivante

Impact du critère sur la résorption d'excédent, le procédé ou la méthode de gestion du digestat

- favorable
- peu favorable
- plutôt pénalisant

	Tapis de séchage de digestat	Filtration membranaire du liquide	Traitement biologique par boues activées du liquide	Evapo-Concentrateur sur liquide	Stripping de l'azote du liquide	
Performance de traitement sur N (%)	100	> 80	63	> 80	> 75	
Performance de traitement sur P (%)	100	100	0	100	0	
Conservatif de l'azote	Oui	Oui	Non	oui	Oui	Non
Coproduits issus du traitement *	Digestat sec + sulfate d'ammonium	Concentrat d'ultra filtration et d'osmose inverse + eau résiduaire	Boue biologique + eau résiduaire	Concentrat + eau résiduaire + sulfate d'ammonium (optionnel)	Sulfate d'ammonium (selon proces) + digestat partiellement épuré	
Plage indicative d'utilisation	Selon disponibilité en énergie thermique, 30 à 40 % du digestat produit dans le meilleur des cas. A défaut, peut être bien inférieur	Au moins 10-15 000 m_3/an voire plus de 30 000 m^3/an	Au moins 3 à 5000 m^3/an	Pour des excédents plutôt élevés, au moins 5 à 10 000 m^3/an	Plutôt pour des excédents et volumes de digestat élevés compte tenu de l'état des connaissances	
Coûts investissement	250 000 à 600 000 € pour 1 500 à 10 000 m^3 /an	Entre 600 000 et 1,5 M € pour 20 000 à 40 000 m^3/an de digestat.	250 000 € pour 10 000 m^3/an (hors stockage des boues et eaux résiduaires)	Tout compris entre 450 et 960 000 € pour 5 000 à 20 000 m^3/an à traiter	Centrifugation + stripping + combustion catalytique + hangar compostage = 600 à 700 000 € pour 20 000 m^3/an	
Coûts fonctionnement	10 % de l'investissement, soit : 6 à 16 €/m^3 digestat traité	Entre 4 et 7 €/m^3 de digestat traité	3,5 €/m^3 digestat traité (séparation de phase incluse)	Entre 3 et 4,5 €/m^3 traité	Non évalués	
Facilité de maintenance	A déléguer	A déléguer	Procédé plutôt rustique	A déléguer	Dépend du process retenu	
Valorisation chaleur du co-générateur	Oui	Non	Non	Oui	Oui	
Principal point positif	Taux de séchage le plus performant	Couplage possible avec du compostage ou de la déshydratation pour de gros excédents	Très bon rapport efficacité/coût pour l'azote	Réduction des coûts de transport et épandage	Mise à profit de l'énergie thermique produite par le co-générateur	
Principal point négatif	Procédé particulièrement énergivore (énergie thermique pouvant être insuffisante)	A réserver à de grandes unités de méthanisation	Ne convient pas à des petits excédents	Ne convient pas à des petits excédents	La vente de l'azote préservé ne couvre pas les surcoûts du procédé	

** pour certains : peut varier selon la chaîne de traitement retenue*

Impact du critère sur la résorption d'excédent, le procédé ou la méthode de gestion du digestat

- favorable
- peu favorable
- plutôt pénalisant

GESTION ET TRAITEMENT DES DIGESTATS ISSUS DE METHANISATION

Pour en savoir pour en savoir plus sur le projet METERRI

L'autonomie énergétique de zones à forte densité d'élevage par des projets de méthanisation agricole durables, en harmonie dans leur territoire : Le cas de la Bretagne.

Le projet METERRI a pour objectifs de réaliser une analyse de l'acceptabilité sociale ainsi qu'un bilan économique et environnemental de chacun des modèles envisagés. Pour les plus pertinents d'entre eux, il s'agira de déterminer les leviers d'action mobilisables ainsi que les perspectives de développement de la filière méthanisation et sa contribution au pool énergétique breton.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT

Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale « Développement agricole et rural »

Fiches réalisées dans le cadre du projet Casdar « METERRI » (n°5344)

Maquette et mise en forme du document ; Ifip Institut du porc – 1er trimestre 2017.