

Déshydratation des digestats de méthanisation

Analyse économique de 4 procédés

La spécialisation des bassins de production animale dans le grand ouest, a entraîné la nécessité de traiter une partie des effluents (plus de 400 installations en Bretagne en 2008) afin de réduire localement des excédents en éléments fertilisants. Plus des $\frac{3}{4}$ des procédés sont des unités de traitement biologique avec séparation de phases. Cette technique, rustique et fiable, présente cependant un double inconvénient : elle détruit l'azote (élément fertilisant coûteux à produire) et ne permet pas la capture des éléments solubles (K, Na).

Dans le même temps, sur fond de changement climatique et d'épuisement des ressources en énergie fossile, la méthanisation agricole est créditée d'un intérêt croissant.

La révision des tarifs d'achat de l'électricité (JORF, 2006) favorise le développement de la filière co-génération, produisant électricité et chaleur. Cette dernière peut être mise à contribution pour déshydrater une partie du digestat. La forte réduction des volumes ainsi obtenue permet alors d'envisager l'exportation de cette fraction séchée.

Ce traitement qui permet de conserver l'azote et l'équilibre entre éléments fertilisants, pourrait de plus s'autofinancer, partiellement ou totalement, par la vente d'électricité et une meilleure valorisation du co-produit obtenu. Il pourrait se développer, non seulement dans le grand ouest mais aussi dans les zones où les plans d'épandage sont fragilisés pour des raisons d'acceptabilité sociale.

Les techniques de séchage ne sont pas nouvelles : certaines d'entre elles sont largement employées pour la déshydratation d'effluents industriels, voire déjà dans le domaine agricole (tapis de séchage des fientes de volailles). Cependant, le contexte de la méthanisation agricole, les quantités et la nature des digestats concernés nécessitent de créer un référentiel technique et économique spécifique.

L'aspect technique des systèmes de déshydratation a déjà fait l'objet de travaux et publications par l'IFIP (Marcon et Levasseur, 2009 ; Rugani et al, 2010).

L'objectif du travail présenté ici est d'étudier l'impact de ces techniques, lorsqu'elles sont associées à la méthanisation des effluents

d'élevage, sur la rentabilité globale du projet (méthanisation+déshydratation). Pour cela, des simulations économiques seront mises en œuvre dans des scénarios construits autour de quatre procédés de déshydratation. Pour chacun d'entre eux, nous allons analyser l'effet du volume (3 000 et 10 000 m³/an) et de la proportion (20, 50 et 80 %) de digestat à traiter.

Méthodologie

Caractéristiques techniques et financières des unités de méthanisation

Les co-substrats

La disponibilité en intrants suffisamment méthanogènes est une condition indispensable à la rentabilité d'un projet de méthanisation. Dans les simulations proposées, nous avons retenu le cas d'une exploitation porcine utilisant la totalité des lisiers produits, ceux-ci représentant les 2/3 (en masse) des intrants du méthaniseur ; les autres intrants étant constitués de vieux pain et de déchets de fruits en proportion équivalente (à raison de 12,5 % du tonnage total, pour chacun d'entre eux) et de graisses industrielles (8,3 %).

Ce mélange respecte les teneurs en matière sèche, azote ammoniacal et graisses généralement préconisées.

L'unité de production et de valorisation du biogaz

Le digesteur fonctionne en phase liquide continue et en condition mésophile (38°C).



Résumé

La méthanisation n'est pas, à proprement parler, une solution de traitement. Mais la filière co-génération peut toutefois y contribuer par la déshydratation d'une partie du digestat en vu de son exportation.

Nous avons ainsi mené une analyse économique de 4 procédés de déshydratation couplés à une unité de méthanisation.

Les scénarios ont été construits autour de 2 quantités de digestat à déshydrater (3000 et 10000 m³/an) et 3 niveaux d'excédent (20, 50 et 80 %).

Les résultats montrent que les scénarios avec tapis de séchage apparaissent les plus rentables dans la plupart des situations étudiées sauf, (1) pour de grandes unités de méthanisation ayant 80 % d'excédent où le déficit thermique nécessite alors l'emploi d'une chaudière d'appoint coûteuse en investissement et en combustible ; à ce stade, les évapo-concentrateurs à multiples effets sont économiquement plus intéressants ; (2) pour de petites unités de méthanisation ayant 80 % d'excédent où aucun scénario n'est rentable.

Cet article souligne que les considérations techniques (type de co-produit(s) obtenu(s), technicité des équipements,...) sont également à prendre en compte dans le choix d'un procédé.

Pascal Levasseur
Alexandre Rugani
Michel Marcon

Cette étude a été financée par l'Adème et le CASDAR.

Lorsque le prix de marché des éléments fertilisants est élevé, la vente du digestat sec pourrait compenser les coûts de transport.

La durée de vie du co-générateur est présumée de 7 ans et nous retenons 12 ans pour le reste des équipements.

Son volume utile (Tableau 1) est fixé par une charge en matière organique maximale de 3 kg MO/m³/j, ce qui correspond à un temps de séjour effectif de 55 jours pour le mélange retenu.

Pour l'ensemble des scénarios, le biogaz est valorisé dans un co-générateur (moteur à gaz) de manière à bénéficier, avant tout, de recettes par la vente de l'électricité.

Les rendements électriques obtenus vont de 36 à 38 % de l'énergie primaire. Les pertes thermiques sont fixées à 15 % et la fraction thermique utile est constituée du solde énergétique. En cas de déficit par rapport au besoin, il est prévu d'utiliser également les gaz d'échappement pour la déshydratation du digestat, les pertes thermiques étant alors ramenées à 5 %.

Les montants des investissements sont issus du calculateur Méthasim (2010) qui propose des équations de prédiction des coûts basés à la fois sur les retours d'expérience allemande et sur les toutes premières réalisations françaises (Tableau 1).

Stockage du digestat et des co-produits de la déshydratation

Pour le stockage des digestats bruts résiduels, la fosse à lisier initialement présente sur l'élevage, est

considérée comme suffisante pour stocker le digestat non traité. Après déshydratation, différents co-produits seront à gérer. Comme pour les intrants, les dispositifs de stockage correspondants ont été comptabilisés dans nos investissements.

- **Les refus de séparation de phases** (après décanteuse-centrifuge) et les digestats secs nécessitent un stockage, que nous envisageons pour 6 mois, sous hangar couvert.

- **Le concentrat**, à 30 % de matière sèche, issu de l'évaporation par Compression Mécanique de Vapeur (CMV) ou multiple effets (voir fiches techniques) doit être stocké dans une petite fosse en béton. Pour un stockage de 6 mois, celle-ci doit avoir une capacité de 120 et 400 m³ pour les scénarios a respectivement, 3 000 et 10 000 m³/an de digestat.

Dans cette analyse économique, il n'a pas été tenu compte de la gestion des digestats et de leurs co-produits. L'exportation de ces derniers, difficilement chiffrable, peut se révéler coûteux.

Lorsque le prix de marché des éléments fertilisants est élevé, la vente du digestat sec pourrait cependant compenser les coûts de transport.

A notre connaissance, il n'existe pas de norme « engrais organi-

ques » pour les digestats secs ou concentrés (Marcon et Levasseur, 2009). En attendant toute évolution réglementaire et indépendamment du mode de transaction, un **plan d'épandage** demeure obligatoire.

Financements, subventions et durée de vie des équipements

Les financements sont effectués au taux d'intérêt de 4,5 %, valeur également retenue pour le taux d'actualisation.

La durée de vie du co-générateur est présumée de 7 ans et nous retenons 12 ans pour le reste des équipements.

Les subventions sont établies sur la base des règles appliquées en **Bretagne** où il est fait une distinction entre les équipements de méthanisation et ceux destinés à résorber des excédents d'effluents. Pour la production et la valorisation du **biogaz**, les subventions peuvent aller jusqu'à 40 % du coût de l'investissement. Elles sont toutefois plafonnées, appliquées à une assiette d'éligibilité et ajustées aux perspectives de rentabilité. Dans nos scénarios, nous avons retenu un plafond de 500 000 € et une proportion de subvention correspondant à 30 % du montant

Tableau 1 : Principales caractéristiques techniques et économiques des unités de méthanisation

Quantité de digestat à déshydrater	3 000 (m ³ /an)			10 000 (m ³ /an)		
	Niveau d'excédent (en % digestat total)					
	20	50	80	20	50	80
Critères techniques						
Taille d'élevage correspondante en nombre de truies NE ⁽¹⁾	620	250	150	2070	830	520
Quantité d'intrants (t/an)	17690	7076	4423	58969	23588	14742
Quantité de digestat (t/an)	15000	6000	3750	50000	20000	12500
Volume du digesteur (m ³)	2871	1149	718	9571	3828	2393
Production de méthane (m ³ /j)	4205	1682	1051	14018	5607	3504
Rendement électrique (%)	38	38	36	38	38	38
Production d'électricité (MWh/an)	5624	2251	1333	18759	7504	4688
Puissance du co-générateur (KWe installé)	721	289	171	2405	962	601
Critères économiques						
Investissements totaux en k€ ⁽²⁾	2 561 à 2 731	1 422 à 1 591	1 206 à 1 293	7 294 à 7 370	3 494 à 3 570	2 550 à 2 704
Dont subventions en k€ ⁽²⁾	565	361	271 à 293	716	716	716
Investissements ramenés à la puissance électrique installée (€/kW _{el})	3552 à 3788	4920 à 5505	7053 à 7561	3033 à 3064	3632 à 3711	4243 à 4500

(1) A titre indicatif, arrondi à la dizaine la plus proche (2) Variable selon le procédé de déshydratation retenu - L'égalité des montants de subventions entre certains scénarios s'explique par l'existence de plafonds.

total des investissements. Pour l'unité de déshydratation et ses annexes (décanteuse centrifuge, hangar,...), le montant des subventions est calculé en fonction de la quantité de **phosphore** résorbée ; soit 20 € par kg de P₂O₅ (15 € pour l'extraction + 5 € pour la valorisation du co-produit).

Le montant de cette subvention ne pourra toutefois pas dépasser 40 % du montant total facturé pour ces équipements. Il en résulte, pour nos simulations, des taux de subventions globaux de 9 à 28 % selon le scénario.

Ces modalités de subventions diffèrent d'une zone géographique à l'autre et dans le temps.

Dans les **Pays de la Loire** par exemple, les équipements de traitement des digestats sont subventionnés sur les mêmes bases que l'unité de production et de valorisation du biogaz. Il existe également des conditions d'éligibilité et des modalités de calcul spécifiques.

Les dépenses annuelles d'exploitation

Les coûts d'exploitation ont été fixés à 18 €/h pour la main d'œuvre, 60 €/MWh électrique consommé pour le process (soit 7 % de l'énergie primaire) et, pour le co-générateur, 20 € de maintenance par MWh électrique produit.

Pour les unités de traitement, ces coûts sont évalués à 8 % du montant de l'investissement, en y ajoutant les consommations électriques des évaporateurs par CMV (60 €/MWh utilisé) ou les consommations en acide sulfurique (250 €/t). L'assistance au suivi du projet est fixée à 6 000 €/an et les frais d'assurance à 1 % du montant total du projet.

Les recettes annuelles

Le prix de vente de l'électricité est basé sur les règles de l'arrêt de

juillet 2006 avec la prise en compte des indices en vigueur pour l'année 2010. S'y ajoutent les indemnités de traitement des déchets, fixées ici à un niveau modéré pour les graisses (30 €/t) et nul pour les déchets de fruits, les coûts de transport demeurant cependant à la charge des producteurs de déchets.

Caractéristiques des unités de traitement du digestat

Les quatre systèmes de déshydratation retenus (Tableau 2), représentent des chaînes d'équipements ayant fait leurs preuves, sur du digestat ou des effluents industriels (Backx et al, 2009, Rugani et al, 2010). Ont été également inclus des dispositifs permettant d'éviter la volatilisation de l'ammoniac.

Chaînes de traitement retenues (voir fiches techniques) :

1. Pré-concentrateur de type « ROTO-DRYER » de Spiessens + tapis de séchage + lavage d'air
2. Décanteuse-centrifuge + évapo-concentrateur par compression mécanique de vapeur + stripping
3. Décanteuse-centrifuge + évapo-concentrateur à double effet + stripping
4. Acidification + pré concentrateur de type « ROTO-DRYER » + sécheur à palettes à huile thermique

L'intérêt des pré-concentrateurs est de pouvoir déshydrater des masses conséquentes de liquides pour des coûts d'investissement (Tableau 2) et de fonctionnement modérés.

Parmi les différents modèles existants (Bakx et al., 2009, IFIP, 2009, Rugani et al., 2010), le « Roto-Dryer » de Spiessens a été retenu pour sa rusticité et sa compatibilité avec les gammes de température d'air produites par les co-générateurs.

Il ne peut cependant fonctionner qu'en phase liquide (soit un taux maximum de 15-20 % de matière sèche avec du digestat brut).

Ce pré-concentrat est ensuite envoyé sur des tapis de séchage (scénario 1) ou sur un sécheur à palettes (scénario 4), procédés adaptés à des siccités plus élevées (l'utilisation de ces 2 équipements sans concentration préalable nécessiterait d'accroître notablement leurs dimensions, donc les coûts d'investissement et d'exploitation).

Le tapis de séchage et les 2 évapo-concentrateurs sont adaptés à la valorisation de la chaleur issue des co-générateurs, ce qui n'est pas le cas du sécheur à palettes nécessitant des gammes de température plus élevées donc l'emploi d'une chaudière d'appoint.

Parmi ces 4 propositions, seuls les tapis de séchage et les sécheurs à palettes fournissent un digestat sec, à plus de 70 % de matière sèche. Les évapo-concentrateurs permettent d'obtenir, outre un refus de séparation de phases et un sulfate d'ammonium, un concentrat à 30 % de matière sèche (ayant l'aspect d'un sirop épais) et ne représentant plus que 10 % environ du volume initial. La séparation de phases initiale permet au produit de rester de consistance liquide après une telle concentration.

Il est toujours possible de déshydrater davantage ce concentrat mais les investissements deviennent rapidement dissuasifs. Compte tenu de ces caractéristiques très différentes, le choix de tel ou tel procédé ne devra pas uniquement se faire sur la base du coût mais aussi selon le type de co-produit obtenu, la technicité des équipements, leur rusticité,...

A ce titre, un descriptif complet de ces procédés est disponible dans le document de Rugani et al. (2010). Les coûts d'investissement et de

Les modalités de subventions diffèrent d'une zone géographique à l'autre et dans le temps.

Seuls les tapis de séchage et les sécheurs à palettes fournissent un digestat sec, à plus de 70 % de matière sèche.

Le choix de tel ou tel procédé ne devra pas uniquement se faire sur la base du coût mais aussi selon le type de co-produit obtenu, la technicité des équipements, leur rusticité,...

Tableau 2 : Valorisation énergétique et coûts retenus pour les dispositifs de déshydratation

Quantité de digestat à déshydrater	3 000 (m ³ /an)				10 000 (m ³ /an)			
	Procédé de déshydratation	Tapis de séchage	Evapo-concentrateur		Sécheur à palettes	Tapis de séchage	Evapo-concentrateur	
par CMV			double effets	par CMV			double effets	
Dénomination abrégée pour les graphiques	P+TS	Ev CMV	Ev 2E	P+SP	P+TS	Ev CMV	Ev 2E	P+SP
Taux de valorisation énergétique (valeur du V) selon le niveau d'excédent (en %)								
20 %	65	46	53	59	65	46	53	59
50 %	98	51	67	83	98	51	67	83
80 %	98	54	80	98	98	54	80	98
Coûts d'investissement des dispositifs de déshydratation (en k€)								
Décanteuse-centrifuge	-	68	68	-	-	112	112	-
Acidification	-	-	-	15	-	-	-	20
Pré-concentrateur	50	-	-	50	100	-	-	100
Tapis de séchage	250	-	-	-	400	-	-	-
Evaporateur + stripping	-	450	470	-	-	540	560	-
Sécheur à palettes	-	-	-	300	-	-	-	422
Chaudière à propane	-	-	-	70	-	-	-	100
Laveur d'air	90	-	-	-	150	-	-	-
TOTAL déshydratation	390⁽¹⁾	518	538	435	650⁽¹⁾	652	672	637
Coût d'exploitation de ces équipements (en k€/an)								
	40 ⁽¹⁾	52	54	106	79 ⁽¹⁾	82	84	262

(1) Hors investissement chaudière et coût combustible pour 80 % d'excédent

fonctionnement spécifiques aux installations de déshydratation, rapportés dans le tableau 2, sont également issus de cette étude.

Indicateurs économiques et financiers

Les simulations économiques ont été réalisées par le calculateur Méthasim (2010). Cet outil, disponible sur internet, permet d'appréhender la rentabilité de projets de méthanisation au moyen de différents indicateurs économiques et financiers : Temps de Retour Brut (TRB) sur investissement, Taux de Rentabilité Interne (TRI) et Valeur Actualisée Nette (VAN) de chacun des scénarios.

Résultats et discussions

Compte tenu des intrants employés et des quantités et proportions de digestat à déshydrater, les co-générateurs des unités de méthanisation atteignent des puissances qui vont, en valeurs extrêmes, de 171 à 2 405 kW électriques installés (tableau 1). Il en résulte des investissements totaux qui s'échelonnent de 1 206 à 7 370 k€ (soit 3 030 à 7 560 € par kW électrique installé).

Il s'agit de montants inférieurs à ceux mentionnés par Solagro et al (2010). Ces auteurs ont en effet montré que les premières installations françaises (en fonctionnement ou en projet) avaient des coûts compris entre 5 200 et 8 600 €/kW_{el} selon le niveau de puissance du co-générateur. Ces différences devraient largement s'atténuer dans un marché français plus mature.

Les simulations montrent, avec les tapis de séchage, que les disponibilités en énergie thermique issue du co-générateur sont suffisantes jusqu'à 50 % de digestat à déshydrater. Pour le pré-concentrateur situé en amont du sécheur à palettes, ce seuil est compris entre 50 % et 80 % ; avec les évapo-concentrateurs, le déficit thermique n'intervient qu'au-delà de 80 % d'excédent.

Lorsque cette énergie est insuffisante, les gaz d'échappement du moteur sont mis à contribution pour la déshydratation du digestat, permettant un gain supplémentaire d'énergie (10 % de la production primaire). Au-delà, soit il est nécessaire de réduire notablement la siccité des produits à déshydrater, soit il est nécessaire

de réduire les excédents en amont (effectifs et alimentation des animaux, choix d'intrants moins pourvus en éléments fertilisants,...), ou encore d'installer une chaudière d'appoint. Nous avons retenu cette dernière solution.

En pratique, il s'agit donc de bien cerner les niveaux d'excédent résiduels afin d'optimiser les différentes options envisageables. Le taux de valorisation énergétique (valeurs du V) de chaque scénario est mentionné dans le tableau 2.

Analyse du TRB

Pour de petits excédents (20%), les Temps de Retour Brut sur investissement (TRB) seraient, avec subvention, peu différents car compris entre 4,6 et 5,6 ans (Figure 2). En pratique, ils s'aligneraient tous sur 6 ans compte tenu du plafonnement des subventions, en deçà de cette durée.

Le TRB se dégrade lorsque la proportion de digestat à déshydrater s'élève, notamment pour les plus petites installations de méthanisation. Ainsi, avec 80 % d'excédent, les TRB restent inférieurs à 10 ans pour un 600 kW_{el}, alors qu'ils s'établissent entre 13 ans (cas « Ev2E 3 000 », le



En pratique, il s'agit de bien cerner les niveaux d'excédent résiduels afin d'optimiser les différentes options envisageables.

plus favorable) et 37 ans (cas « P+SP 3 000 », le moins favorable) pour des projets de 170 kW_{él}.

Cette perte de rentabilité apparente, qui doit être confirmée avec des critères économiques et financiers plus avancés, est notamment due aux économies d'échelle sur les coûts de traitement.

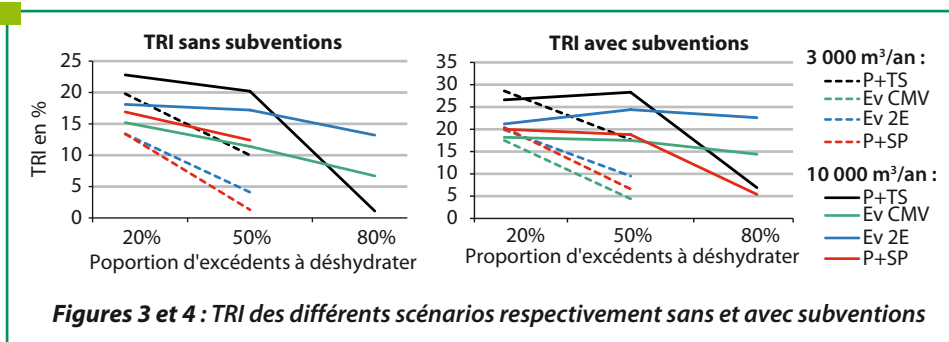
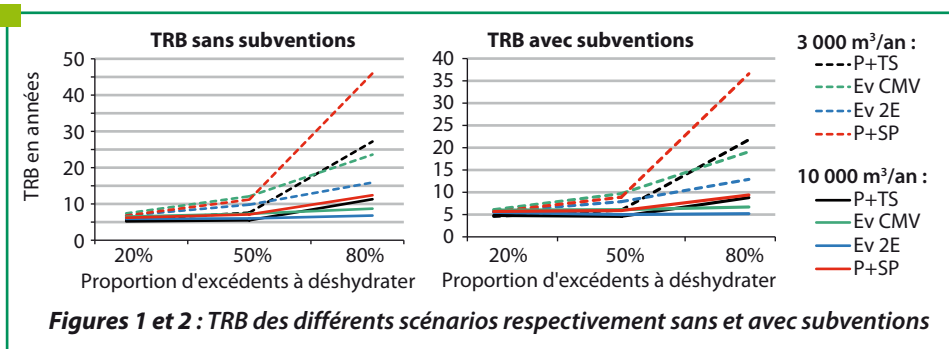
En effet, ils augmentent moins vite que les recettes issues de la vente d'électricité. Ainsi pour un excédent de 20 %, l'investissement dans le procédé de résorption représente 52 % et 28 % de la recette annuelle d'électricité, pour respectivement 3 000 et 10 000 m³ de digestat à déshydrater. Avec un excédent de 80 %, ces proportions sont respectivement de 240 % et de 116 %.

Par ailleurs, le TRB n'augmente pas linéairement avec la proportion d'excédent (Figures 1 et 2). L'accroissement de pente, à partir de 50 % d'excédent, s'explique par le fait qu'au-delà, il n'y a plus ou presque plus d'augmentation de la prime à l'efficacité énergétique alors que des équipements (chaudière...) et/ou du consommable énergétique supplémentaire sont nécessaires (tapis de séchage, sècheur à palettes).

Analyse du TRI

L'analyse du Taux de Rentabilité Interne (TRI) confirme la rentabilité de la totalité des projets n'ayant que 20 % d'excédent (Figures 3 et 4) : le taux est alors, dans l'ensemble des cas, supérieur à 15 % avec attribution de subventions.

Cette rentabilité est particulièrement liée au choix des hypothèses techniques et économiques de départ : ainsi, le mélange des substrats retenus présentent un bon potentiel méthanogène (526 m³ CH₄/t de matière organique, 87 m³ CH₄/t de produit brut) ; le choix des niveaux d'investissement a aussi toute son importance.



Sur la base des chiffres disponibles sur les premières installations françaises (Solagro et al, 2010), il pourrait y avoir une dizaine de points de rentabilité en moins pour une unité de 500 à 1000 kW_{él} par rapport au chiffre retenu dans cette étude. Ces différences sont cependant bien moindres pour des unités de 100 à 200 kW_{él}. L'importance des subventions peut être notable, notamment pour les « petits » projets de méthanisation. Cet impact s'atténue lorsque les plafonds sont largement dépassés.

D'une manière générale, plus la proportion d'excédent est élevé, plus le TRI est dégradé pour les raisons précédemment indiquées (économies d'échelle) ; toutefois, pour les gros projets de méthanisation, le TRI n'est que peu réduit à 50 % (vs. 20 %) d'excédent car il y a une augmentation de la prime à l'efficacité énergétique, sans investissement supplémentaire.

Avec 80 % d'excédent, les petits projets de méthanisation (170 kW_{él}) ne sont plus rentables alors que de plus gros projets (600 kW_{él}) le demeurent. Pour cette gamme de puissance électrique installée et au-delà, la rentabilité financière des scénarios devient cependant très contrastée selon le procédé de résorption retenu (Figures 3 et 4).

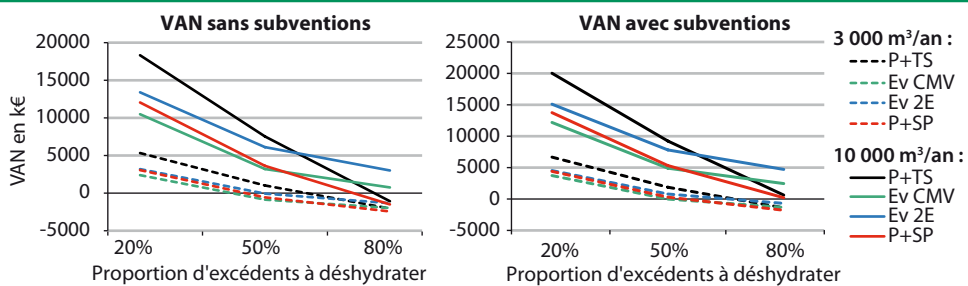
Bien qu'un projet ne soit pas considéré comme rentable en deçà d'un TRI de 4,5 % (correspondant au coût de l'argent), il pourrait tout de même être perçu comme une solution de traitement si initialement l'exploitation porcine est déjà excédentaire en lisier.

Le coût du projet de couplage méthanisation/déshydratation est alors à comparer à celui des procédés de traitement qu'il aurait fallu mettre en œuvre par ailleurs (décanteuse-centrifuge, traitement biologique par boue activée, compostage,...).

Analyse de la VAN

Lorsque la proportion de digestat à déshydrater est peu élevée (20 % vs. 50 et a fortiori 80 %), ce choix des tapis de séchage permet d'obtenir de meilleurs gains financiers par rapport aux autres procédés, notamment pour de gros projets de méthanisation (Figures 5 et 6). Cet avantage est dû à un meilleur prix de vente de l'électricité (respectivement 122 vs. 105 à 117 €/MWh) lui-même étant à mettre en relation avec une meilleure valorisation de l'énergie thermique (Tableau 2). Les coûts d'investissement et de fonctionnement ont également un impact favorable mais de façon

Lorsque la proportion de digestat à déshydrater est peu élevée, ce choix des tapis de séchage permet d'obtenir de meilleurs gains financiers par rapport aux autres procédés, notamment pour de gros projets de méthanisation.



Figures 5 et 6 : VAN des différents scénarios respectivement sans et avec subventions

Cette étude a permis de démontrer l'intérêt économique des tapis de séchage dans une large gamme de niveaux d'excédent.

plus marginale. Cet avantage relatif se réduit avec l'augmentation de la proportion de digestat à résorber, pour devenir nul à 80 % d'excédent ; en effet, les tapis de séchage sont très consommateurs en énergie thermique et impliquent dans ce cas l'achat d'une chaudière et des frais supplémentaires en combustibles. Pour cette proportion d'excédent, et uniquement pour de grands volumes de traitement, les évaporateurs (notamment ceux à double effet) présentent une supériorité économique. Le type de produit obtenu doit toutefois correspondre aux besoins de l'exploitation.

L'absence de subventions diminue la rémunération de chaque projet, mais comme pour le TRI, elle ne modifie en rien la hiérarchie entre scénarios.

Conclusion

La rentabilité d'un projet de méthanisation comprenant une unité de déshydratation du digestat diminue avec l'augmentation de la proportion d'excédent à déshydrater. En effet, la quantité de chaleur issue du co-générateur devient plus ou moins rapidement insuffisante (selon le scénario proposé), ce qui nécessite le plus souvent l'ajout d'une chaudière et/ou des consommations énergétiques supplémentaires. Dans tous les cas, malgré un plafonnement des subventions et une électricité vendue à un niveau légèrement moins

rentable, **les grandes installations de méthanisation sont toujours plus rentables du fait des fortes économies d'échelle s'appliquant aux dispositifs de déshydratation.**

Par ailleurs, cette étude a permis de démontrer l'intérêt économique des tapis de séchage dans une large gamme de niveaux d'excédent : ainsi, **pour 20 et 50 % d'excédents et pour 3 000 ou 10 000 m³ de digestat à résorber, les installations disposant d'un tapis de séchage précédé d'un pré-concentrateur, présentent les meilleures rentabilités.** Ce positionnement s'explique par un investissement moins coûteux et un meilleur prix de vente de l'électricité (lié à la prime à l'efficacité énergétique).

Les tapis de séchage cumulent effectivement le double avantage d'être bien adaptés aux gammes de température proposées par les co-générateurs et de pouvoir produire un digestat très sec. En contrepartie **les disponibilités thermiques peuvent manquer à partir de 40-50 % de digestat déshydraté** (voire bien avant pour des intrants qui seraient peu méthanogènes). Au-delà, la nécessité d'investir dans une chaudière et les consommations associées de combustible d'origine fossile (fuel ou gaz naturel) réduisent considérablement l'intérêt de ce procédé.

A 80 % d'excédent et pour de grands volumes de digestat à sécher, l'évaporation double

effet apparaît alors comme la solution la plus avantageuse.

Peu consommatrice d'électricité, elle valorise davantage l'énergie thermique disponible que l'évaporation par CMV et permet donc de bénéficier d'un meilleur prix de vente de l'électricité. Enfin, pour des volumes modérés de digestat à résorber (soit 3 000 m³/an dans nos simulations) et représentant un taux d'excédents important, tous les procédés de séchage étudiés réduisent à néant la rentabilité des projets de méthanisation

L'analyse économique montre finalement que **l'emploi des évaporateurs par CMV ou des sècheurs à palettes s'avère systématiquement plus pénalisant économiquement**, par rapport aux deux autres procédés. Le sècheur à palettes, retenu dans nos scénarios, n'est pas adapté à une valorisation de l'énergie thermique issue du co-générateur, ce qui implique de fortes consommations d'énergie fossile. Quant à l'évaporateur par CMV, il est en fin de compte pénalisé par son système de compression lui permettant d'économiser de l'énergie thermique. Il en résulte un prix payé du kWh électrique inférieur.

Outre l'aspect purement économique, la nature des co-produits obtenus doit être un élément de réflexion. **L'obtention d'un co-produit unique à plus de 70 % de matière, par les tapis de séchage et les sècheurs à palette, constitue un véritable atout.**

La gestion d'un refus de séparation de phases, d'un concentrat, d'un sulfate d'ammonium et d'une eau technique avec les évapo-concentrateurs s'avère un peu plus délicate. ■

Les auteurs remercient Pierre Quideau (Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne), Hervé Videlot (Groupe GLON) et Yvon Salaün (IFIP – Institut du Porc) pour la relecture de ce document

Contact :

pascal.levasseur@ifip.asso.fr

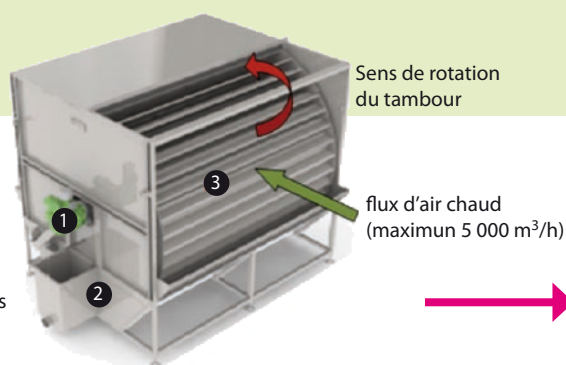
Descriptif technique simplifié des systèmes de déshydratation employés*

Ne seront décrits ici que les équipements de déshydratation proprement dits et non les systèmes permettant de limiter les émissions d'ammoniac (lavage d'air, stripping, acidification du lisier), ni la décanteuse-centrifuge déjà largement employée dans le traitement des lisiers de porc (Levasseur, 2004 ; Levasseur et Lemaire, 2006).

Scénario 1 : Pré-concentrateur + tapis de séchage

Le pré-concentrateur ROTO-DRYER est un tambour constitué de lamelles. Lors de la rotation, elles viennent prélever du digestat dans une cuve de 3000 litres située à sa base. La fine couche de digestat est alors séchée par un flux d'air chaud provenant des tapis de séchage. A la fin d'une rotation, la lamelle libère sa fine pellicule de digestat partiellement déshydratée en replongeant dans la cuve et reprend du digestat liquide. La pré-concentration s'arrête lorsque le niveau de la cuve, détecté par ultrason, atteint les 2/3 de son niveau initial ce qui correspond à environ 15 % de MS. Le digestat pré-concentré est ensuite inséré sur le tapis de séchage proprement dit et mélangé avec du digestat sec. 65 à 75 % du digestat sec sont ainsi remis en circulation, l'autre fraction étant évacuée. C'est un air chaud à 80°C qui circule entre et à travers ces tapis de séchage. Au fur et à mesure de la déshydratation, contrôlée par sonde, les tapis entraînent progressivement le digestat sec vers les étages inférieurs. L'air, issu de ces tapis de séchage et contenant encore une capacité évaporative, est transféré au niveau des pré-concentrateurs avant son acheminement final vers les laveurs d'air.

Pré-concentrateur



- 1 : Détecteur de niveau à ultra-sons
- 2 : Cuve de digestat de 3000 litres
- 3 : Tambour rotatif constitué de lamelles



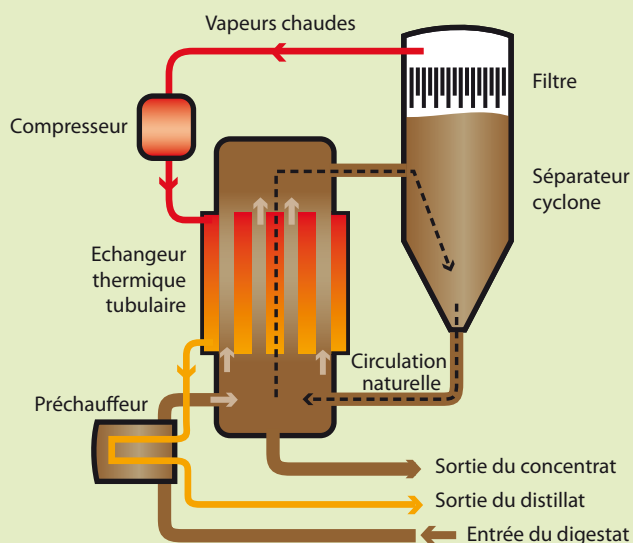
Tapis de séchage

Scénario 2 : Evapo-concentrateur par compression mécanique de vapeur

Cet évaporateur possède deux particularités importantes : (1) il assure une bonne partie de son autonomie énergétique pour la concentration en réutilisant et compressant mécaniquement les buées d'évaporation formées. (2) Cet évaporateur permet, sous l'effet de la chaleur, la circulation naturelle de l'effluent, sans utilisation supplémentaire de pompes.

Une séparation mécanique de phases est initialement indispensable afin d'éviter, ultérieurement, tout problème de colmatage. La fraction liquide du digestat est ensuite préchauffée dans un échangeur thermique tubulaire. Des buées d'évaporation se forment et se séparent naturellement du reste du digestat liquide par action de la force centrifuge dans un séparateur cyclonique. Ces buées sont filtrées puis compressées pour atteindre des hautes températures. Elles assurent alors la continuité du cycle d'évaporation en déshydratant le digestat entrant par contact au niveau des échangeurs thermiques.

Sur certains produits, ce procédé permettrait d'atteindre un maximum de 50 % de MS, mais afin de ne pas pousser l'appareil aux limites de fonctionnement, une teneur en MS de 30 % est plus raisonnablement envisageable. Compte tenu de la séparation de phase initiale, ce concentrat reste liquide.



*(Rugani et al, 2010)

Scénario 3 : Evapo-concentrateur à multiples effets

Ce procédé nécessite une séparation de phases en tête afin d'éliminer le maximum de matières sèches. Cela permet d'améliorer le rendement thermique et d'éviter tout colmatage dans les évaporateurs.

Ce procédé est, constitué de deux évaporateurs disposés en série, appelés « effets ». Le premier utilise une source de vapeur primaire, générée à partir de l'eau chaude disponible au niveau du co-générateur, pour évaporer une partie du digestat par conduction. Plusieurs fournisseurs proposent de travailler sur des températures compatibles avec celles des liquides de refroidissement issus des co-générateurs soit 70-80°C. Le digestat, partiellement évaporé, est ensuite dirigé vers le deuxième effet. Celui-ci réutilise les buées d'évaporation formées au niveau du premier évaporateur. Ce procédé diminue considérablement les consommations d'énergie thermique car seul le premier effet nécessite l'utilisation de vapeur d'eau primaire.

Ces évaporateurs à multiples effets peuvent être également à flots tombants et à circulation forcée. Après une séparation de phases en tête poussée, la fraction liquide d'un digestat ne pourra contenir que 2-3 % MS. Dans ce cas, les deux effets pourront être à flots tombants et une partie du deuxième sera en circulation forcée.

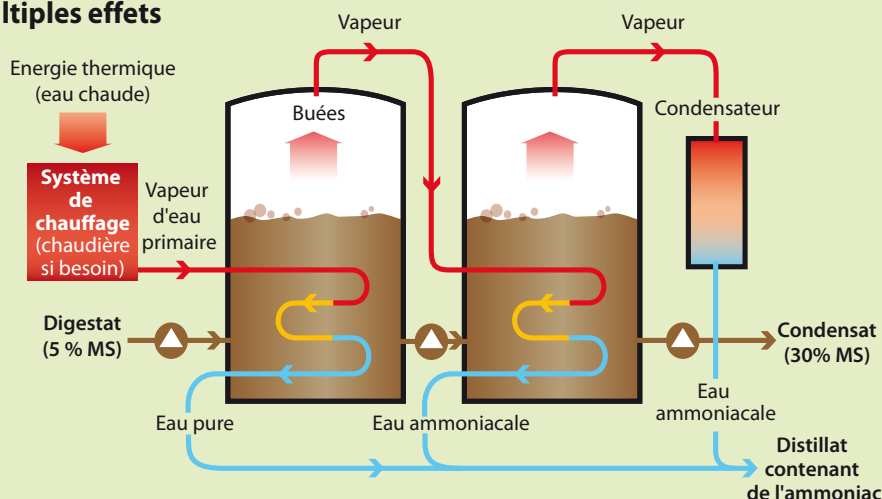
Un condenseur de vapeur est installé en sortie. On obtient ainsi deux produits en fin de process :

- un distillat liquide contenant de l'ammoniac.

- un concentrat de digestat possédant une siccité de l'ordre de 30 à 50-60 %, selon la viscosité du produit et l'énergie disponible.

Si aucune acidification préalable n'a été effectuée, il s'agira alors de traiter cet effluent par stripping et lavage des gaz

- un distillat liquide contenant de l'ammoniac.



Scénario 4 : Sécheur à palettes

Ce dispositif nécessite une pré-concentration du digestat, afin d'atteindre environ 15 % de MS.

Le digestat est ensuite introduit par le haut du sécheur à palettes qui est légèrement incliné afin de favoriser son écoulement.

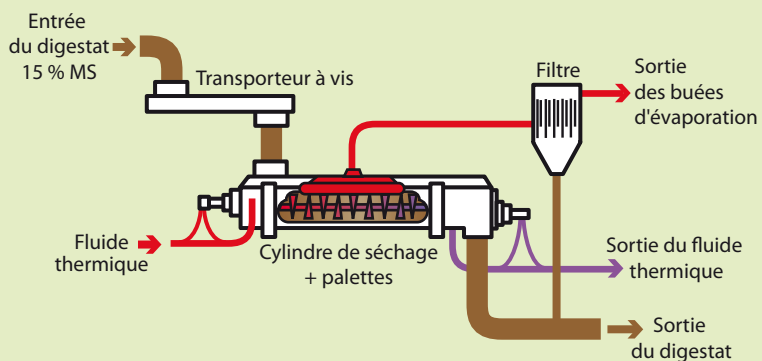
La rotation lente de pales favorise l'homogénéisation du produit à déshydrater.

Le séchage s'effectue indirectement par conduction via de la vapeur d'eau à 188°C ou par une huile thermique à 210°C.

Ces fluides circulent dans les parois et les pales du sécheur optimisant la surface d'échange avec le digestat.

Ce dernier atteint en sortie un taux de MS de plus de 70 %.

L'évacuation des buées se déroule naturellement, aucun flux d'air supplémentaire n'est ajouté. En sortie de sécheur, le fluide thermique libéré de ses calories est évacué. Il peut être alors réchauffé via une chaudière et recyclé en entrée de sécheur.



Références bibliographiques

- Backx 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. Office fédérale de l'énergie OFEN, 93 p.
- JORF, 2006. Arrêté du 10 juillet 2006 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz.
- Levasseur, 2004. Traitement des effluents porcins : guide pratique des procédés. Edition ITP. 36 p.
- Levasseur P. et Lemaire N., 2006. Etat des lieux du traitement des lisiers de porcs en France. Techniporc, n°29, pp 29-31.
- Marcon M. et Levasseur P., 2009. Séparation de phases, séchage et normalisation d'un digestat – Synthèse bibliographique. Etude Adème, 40 p.
- Méthasim, 2010. Calculateur technico-économique de la méthanisation à la ferme. Contribution collective IFIP, AILE, TRAME, SOLAGRO, IE, ITAVI, CRAB. Site WEB : <http://methasim.ifip.asso.fr>
- Rugani A., Levasseur P. et Marcon M., 2010. La déshydratation des digestats – Synthèse bibliographique. Etude Adème, 37 p.
- Solagro, Erep, PSPC, Sogreah, Peri G., 2010. Expertise de la rentabilité des projets de méthanisation. Etude pour le compte de l'Adème, 130 p.