

Aperçu de la méthanisation agricole en Italie

La mise en place et le développement de la méthanisation sont intrinsèquement liés à des questions géographiques et aux prises de position des institutions.

Il est intéressant d'observer comment cela s'opère en Italie, de voir où les priorités sont placées et quels choix sont fait, notamment ici dans la région de Vénétie.



La méthanisation de déchets organiques et autres produits dérivés est largement utilisée en Europe parce qu'elle permet de traiter les déchets tout en produisant du biogaz, une source d'énergie renouvelable, ainsi que de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES). De plus, les nutriments peuvent être récupérés et réutilisés dans les cultures, réduisant ainsi la consommation de carburants fossiles pour la production d'engrais. Du fait de ces particularités, les gouvernements de nombreux pays d'Europe ont soutenu ce processus en mettant en place des subventions intéressantes pour la production d'énergie électrique.

D'après les données du GSE (*Gestore dei servizi energetici* : www.gse.it), l'autorité italienne pour l'énergie électrique, en 2009 il y avait en Italie 494 unités de méthanisation pour une puissance totale de 356 MWe. La plupart de ces stations d'épuration traitaient des déchets et boues organiques, le reste appartenant au secteur agricole. Ce scénario a radicalement changé les années suivantes lorsque, suivant l'exemple de l'Allemagne et de l'Autriche (Weiland, 2006 ; Lindorfer *et al.*, 2007), le gouvernement a introduit un système de subventions basé sur un tarif de 28 centimes d'euros par kWh d'énergie électrique produite pour toutes les stations d'épuration de déchets agricoles dont la puissance de cogénération n'excédait pas 1 MW. Cette subvention est valable pour quinze ans. Ceci a naturellement conduit à l'augmentation importante du nombre d'unités de production dans ce secteur. Ainsi, la figure 1 représente l'évolution du nombre d'unité de méthanisation dans le secteur agricole et la production d'énergie associées : en 2011, environ 400 unités de production pour une puissance totale de 250 MW étaient en fonctionnement en Italie.

Le taux de croissance des deux paramètres est similaire, ce qui indique clairement que les nouvelles unités ont une puissance moyenne de 1 MW environ. Ce scénario particulier contraste avec de nombreuses expériences similaires en Europe : de fait, la plupart des unités de méthanisation traitent des effluents d'élevage et ont une puissance relativement faible, typiquement inférieure à 600 kW (Weiland, 2006). Cette particularité est clairement la conséquence du tarif élevé des subventions attribuées en Italie.

Matières premières et procédés de production du biogaz

L'élevage est l'une des activités principales dans de nombreuses zones de l'Union européenne. L'Italie, et notamment le nord (vallée du Pô), est l'une de ces zones. Les effluents d'élevage constituent donc le substrat typique traité par méthanisation. Par exemple, les quantités de lisier et de fumier produites dans la région de la Vénétie en 2010 représentaient respectivement six et cinq millions de mètres cubes provenant principalement de l'élevage (67%). Les chiffres sont similaires dans les régions de la Lombardie, du Piémont et de l'Émilie-Romagne. Par ailleurs, les subventions élevées pour la production d'énergie renouvelable conduisent à l'utilisation d'autres substrats caractérisés par une importante quantité de matière organique et un fort rendement en biogaz tels que les cultures énergétiques (en particulier l'ensilage de maïs) et les déchets agricoles. Ces co-substrats ont des caractéristiques similaires en termes de matière sèche totale et matière sèche volatile en suspension, et donc en termes de demande chimique en oxygène (DCO), mais ils contiennent moins de nutriments et présentent des rendements en biogaz supérieurs. Les caractéristiques

généralement observées des substrats issus des effluents d'élevage, des cultures énergétiques et des déchets agricoles dans les exploitations agricoles du Nord de l'Italie sont présentées dans le tableau ①.

Par conséquent, les cultures énergétiques telles que l'ensilage de maïs et de triticale constituent le substrat principal, et parfois le seul, pour les réacteurs de méthanisation. Le maïs est la culture dominante pour la production de biogaz : dans le sud de l'Europe, il est possible de produire plus de 40 tonnes de maïs à l'hectare et le rendement en biogaz atteint 0,35 m³ de méthane (CH₄) par kg de matière organique. En Italie, la production, le transport et l'ensilage d'une tonne de maïs reviennent à environ 30 €. Étant donné que les cultures énergétiques nécessitent des terres, de l'eau et des engrais, ces substrats ne sont pas viables sur le long terme et devraient être remplacés par les déchets agricoles.

D'autres substrats typiques des pays germanophones comme les huiles usagées, le glycérol ou le fourrage sont seulement utilisés dans quelques unités de production ou sont interdits : par exemple, l'utilisation du glycérol est autorisée en Lombardie, mais pas en Vénétie.

Les deux types de substrat, à savoir les effluents d'élevage d'une part et les cultures énergétiques et déchets agricoles d'autre part sont insérés dans les réacteurs grâce à différentes technologies : alors que les substrats liquides tels que les effluents d'élevage sont pompés directement dans le réacteur, les substrats solides tels que le fumier ou les cultures énergétiques sont insérés grâce à un système à hélice ou à piston.

Du fait des caractéristiques des substrats traités, les réacteurs de méthanisation impliquent généralement un processus de fermentation humide dans lequel la teneur totale en solides est inférieure à 15 %. Le mélange est effectué par un appareil submergé, souvent incliné, et la densité énergétique est d'environ 20 W/m³.

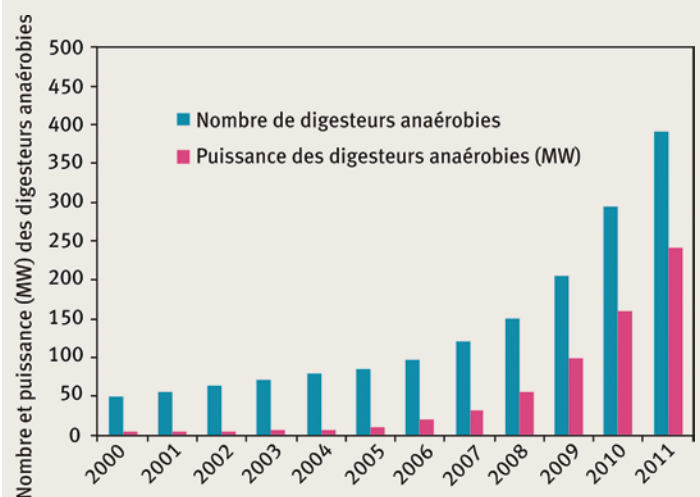
Ces réacteurs sont généralement de dimensions importantes, entre 3 000 et 5 000 m³. En conditions opérationnelles, la charge organique appliquée (COA) est d'environ 3 kg MV/m³ par jour, d'où un temps de rétention hydraulique (TRH) d'au moins 45 jours, mais généralement supérieur à 60 jours. Les températures de fonctionnement correspondent à des conditions mésophiles (37-42 °C). Des procédés en une ou deux étapes existent, mais ceux ne comportant qu'une seule étape

sont généralement favorisés. Le coût d'un digesteur anaérobie typique de 1 MW (incluant l'unité de production combinée de chaleur et d'électricité) est d'environ 3,5 millions d'euros.

Utilisation du biogaz

Le biogaz est généralement collecté dans un réservoir externe ou directement dans la partie supérieure du réacteur de méthanisation qui comporte un toit en membrane et un film étanche au gaz. La teneur en méthane, soit 50 % en moyenne, dépend de la quantité d'hydrates de carbonnes (*i.e.*, cultures énergétiques) présente dans la matière première. Après suppression de l'eau et du soufre (grâce à des processus physico-chimiques ou biologiques), le biogaz est utilisé dans des systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité (PCCE) par injection dans des moteurs bi-carburant ou à gaz. L'électricité produite est vendue au réseau électrique public tandis que l'énergie thermique est perdue, mise à part une petite partie qui est utilisée pour le chauffage des installations, inutile en été. Du point de vue de l'électricité, le rendement typique pour ces systèmes est d'environ 33 %, ce qui représente 2,2 kWh d'énergie électrique produite par mètre cube de biogaz (55 % de méthane).

① Évolution du nombre de digesteurs anaérobies et de leur puissance en Italie (source : www.gse.it).



① Caractéristiques des substrats utilisés comme matière première dans les digesteurs de cette étude (amplitudes).

Paramètres Substrats	Matière sèche totale (MST) g/kg	Matière sèche volatile (MSV) g/kg	MSV/MST %	DCO g/kg DM	N mg/kg DM
Fumier de vaches laitières	260-350	250-315	78-84	880-930	34-49
Lisier de vaches laitières	89-97	69-76	76-89	910-1020	31-41
Lisier porcin	60-90	47-76	66-83	860-965	18-42
Fientes de volailles	467-688	397-530	72-87	751-1000	27-47
Ensilage de maïs	272-453	262-440	89-96	545-1170	11-17
Ensilage de triticale	190-315	167-282	87-95	990-1160	13-19
Marc de fruits	220-255	210-230	96-98	1120-1250	25-35
Pommes de terre	157-192	167-180	92-94	980-1050	20-26
Oignons	103-130	96-104	91-94	880-996	20-34
Autres légumes (ex : laitue)	40-80	31-70	80-91	765-1050	21-36

Contrairement à ce qui se fait dans la plupart des pays européens, en Italie, le biométhane n'est actuellement pas produit pour être utilisé comme carburant dans les véhicules ni pour être injecté au réseau de gaz domestique. Par conséquent, le nombre d'unités de valorisation est négligeable à l'heure actuelle mais des stations pilotes ou de démonstration ont fonctionné ces deux dernières années et l'intérêt pour cette alternative s'accroît.

Gestion du digestat et de l'azote

Le digestat est collecté et conservé pendant au moins six mois dans des réservoirs de stockage avant d'être épandu dans les champs. Clairement, la digestion anaérobie implique « l'ammonification » de l'azote due à la destruction des protéines. Par conséquent, lorsque les digestats sont excessivement utilisés dans les champs, de fortes concentrations en nitrates peuvent être observées dans les plans d'eau et les nappes phréatiques (Bernet et Béline, 2011). La haute teneur en azote de ces digestats implique d'importantes restrictions dans leur utilisation : de fait, une partie importante du territoire italien, notamment dans le Nord, est considéré comme zone sensible aux nitrates (ZSN) et l'épandage de digestat y est limité à 170 ou 250 Kg N par hectare et par an plutôt que les 340 kg N/ha/an habituels.

En réponse à cette situation, de nombreuses technologies pour éliminer ou récupérer l'azote des digestats sont mises en application dans les fermes italiennes, en particulier dans les régions de la Lombardie et de la Vénétie. Les rendements énergétiques élevés et les revenus économiques associés à la co-digestion anaérobie du lisier

et des cultures énergétiques ou des déchets agricoles ouvrent la voie à la mise en œuvre de procédés de haute technologie pour la maîtrise de l'azote. Actuellement, des processus physico-chimiques et biologiques sont utilisés pour cela mais les coûts ainsi que les avantages/inconvénients des technologies étudiées sont encore peu clairs et sont hétérogènes.

Pour l'élimination de l'azote, le procédé des boues activées est appliqué dans sa forme conventionnelle (nitrification-dénitrification ND) ou dans sa version discontinue, le réacteur séquentiel discontinu (RSD). Pour la récupération de l'azote, des systèmes à membrane ou par stripping de l'ammonium sont utilisés et le nombre de stations d'épuration mettant en œuvre cette technologie augmente rapidement.

Étude de cas : digestion anaérobie dans le secteur agricole de la région de Vénétie

Dans le cadre du projet RiduCaReflui (www.riducare-flui.org), sept digesteurs anaérobies en fonctionnement dans le Nord-Est de l'Italie ont été étudiés. Le tableau 2 présente le mélange utilisé comme matière première dans les digesteurs de cette étude. La matière de base et le digestat ont été échantillonnés une fois par mois pendant deux ans. La production et la composition du biogaz étaient également suivies.

Dans cette étude, les caractéristiques des effluents et des affluents ont été déterminées en termes de matière sèche totale (MST), de matière volatile (MV), de matière organique (caractérisée par la DCO) et de teneur en azote.

Au vu des matières premières typiquement utilisées dans les digesteurs étudiés (tableau 2), il semble clair que la digestion anaérobie des effluents d'élevage seuls est (partiellement) mise en œuvre uniquement dans la station I tandis que les six autres stations favorisent la co-digestion. En particulier, les cultures énergétiques (ensilage de maïs et de triticale) et les déchets agricoles constituaient de loin la principale matière première utilisée dans les digesteurs. De fait, les effluents d'élevage ne représentaient le substrat principal (80% de l'influent) que dans les stations I et VII, tandis que les cultures énergétiques et les déchets agricoles dominaient dans les autres stations. Ces chiffres devraient bientôt changer lorsque le nouveau décret réglementant le système de subventions prendra effet l'année prochaine : ce décret favorisera les petites unités de méthanisation (< 500 kW) traitant principalement les effluents d'élevage.

Dans trois cas (II, V et VII), le glycérol, produit dérivé de la production de biodiesel, était également utilisé comme matière première dans les réacteurs. En ce qui concerne les déchets agricoles, une large palette de substrats est disponible dans les exploitations agricoles : les tourteaux de fruits pressés (marc) et les restes de cultures (principalement pommes de terre et oignons) sont très souvent présents dans le mélange utilisé comme matière première. Le tableau 2 présente les caractéristiques des substrats généralement utilisés comme matière première dans les réacteurs de méthanisation.

Les conditions typiques de fonctionnement et les rendements en biogaz des stations au cours de la période d'étude sont présentés dans le tableau 3. Tous ces sys-

2 Liste des substrats utilisés dans les sept digesteurs anaérobies..

Station	Substrat			
I	1	2 ^a	3	4
II	Effluents porcins	---	Sérum de lait	---
III	Effluents porcins	Cultures énergétiques ^a	Glycérol	Déchets agricoles ^b
IV	Effluents bovins	Cultures énergétiques ^a		Déchets agricoles ^c
V	Effluents avicoles	Cultures énergétiques ^a		Déchets agricoles ^d
VI	Effluents bovins	Cultures énergétiques ^a	Glycérol	Déchets agricoles ^e
VII	Effluents bovins et avicoles	Cultures énergétiques ^a		Déchets agricoles ^f
	Effluents bovins	Cultures énergétiques ^a	Glycérol	Déchets agricoles ^g

a. Ensilage de maïs et de triticale ; b. Farine de maïs et hybrides ; c. Petit-lait, tourteaux de fruits pressés, pâtes, pain, biscuits, huile de friture, sang provenant des abattoirs ; d. Oeufs ; e. Farine de maïs ; f. Tourteaux de fruits pressés, pommes de terre, oignons, salades ; g. Tourteaux de fruits pressés, pommes de terre.

3 Paramètres de fonctionnement et rendements des sept digesteurs anaérobies étudiés (moyennes annuelles).

Station	TCO	TRH	T	Rendement, PSG	Rendement, TPG	CH ₄	PCCE
	kg MV/m ³ jour	Jours	°C	m ³ /kg MV introduite	m ³ /m ³ jour	%	kW _{ee}
I	0,5	175	32-33	0,28	0,5	50-60	80
II	3,0	45	38-40	0,44	1,33	59-61	1042
III	2,1	42	N@	0,57	2,7	N@	845
IV	1,1	140	38-40	0,55	1,0	50	1042
V	3,0	77	39-41	0,60	1,76	49-51	1064
VI	3,5	67	38-40	0,52	1,88	49-51	845
VII	1,7	77	40-42	0,49	1,20	50-51	1035

tèmes fonctionnaient en conditions mésophiles (température proche de 40 °C) avec une charge organique appliquée (COA) de l'ordre 1-3 kg MV/m³j (sauf dans la station I). Les temps de séjour hydraulique correspondants étaient généralement élevés, toujours supérieurs à 42 jours et excédant parfois 100 jours, tandis que les rendements typiques étaient d'environ 0,5-0,6 m³/kg MV ou 1,0-1,5 m³/m³ par jour (sauf dans la station I). La teneur en méthane était d'environ 50-55 %. Ces chiffres indiquent que des améliorations supplémentaires pourraient être obtenues en augmentant à la fois la charge organique appliquée et la température du réacteur.

Un inconvénient bien connu de la méthanisation est « l'ammonification », c'est-à-dire le dégagement d'ammoniac issu de l'hydrolyse des protéines dans la phase liquide du digestat. Ceci est clairement en contradiction avec la nécessité de réduire la teneur en azote des effluents d'élevage à 170 kg N/ha par an dans la plus grande partie de la vallée du Pô.

Les bilans massiques réalisés dans ces études de cas ont démontré que, sauf pour le cas I où les déchets issus d'élevages porcins constituaient le principal substrat du réacteur de méthanisation, l'azote entrant dans les réacteurs sous forme organique et y subissait le processus d'ammonification (50 % ou plus). Les niveaux d'ammoniac dans la phase liquide du digestat anaérobie étaient donc généralement élevés : les valeurs typiques se situaient aux environs de 2-4 g N/L, mais elles pouvaient atteindre 8 g N/L.

Par conséquent, il est nécessaire de mettre en place une étape supplémentaire pour supprimer ou récupérer de l'azote de la phase liquide du digestat.

Bien qu'il soit toujours préférable de récupérer les nutriments, il est parfois nécessaire d'éliminer l'azote, notamment lorsque la teneur en azote est trop élevée pour une zone donnée et que des procédés biologiques de suppression de l'azote sont mis en œuvre.

Nous avons en particulier testé un réacteur séquentiel discontinu qui élimine l'azote en passant par le nitrite grâce à un processus biologique. Ce procédé innovant permet d'économiser jusqu'à 25 % des besoins en oxygène et jusqu'à 40 % de la source externe en carbone, tout en réduisant la production de boues d'épuration de 30 % et l'émission de CO₂ de près de 20 %. La suppression de l'azote via le nitrite a été conduite dans un réacteur séquentiel discontinu (*sequencing batch reactor* SBR, volume utile de 2,8) pour le traitement d'effluents liquides issus de la co-digestion anaérobie de lisier et de déchets biologiques et agricoles. La durée de réaction du SBR est contrôlée automatiquement grâce au suivi du pH, de la demande en oxygène (DO), du potentiel d'oxydo-réduction (POR) et de la conductivité.

Le démarrage du processus comportait deux étapes. Suite à l'introduction de boues activées urbaines classiques, la première étape conduisait au lessivage des bactéries oxydant le nitrite (NOB) par l'ammoniac libre, ce qui favorise le développement des bactéries oxydant l'ammonium (AOB). Au cours de la deuxième étape, la capacité maximale de traitement de 0,8 kg N/m³j était atteinte et près de 90 % de l'azote était supprimé en utilisant l'acide acétique comme source externe de carbone. La fiabilité du procédé a été démontrée en dépit du fait

que la conductivité dans les effluents bruts était proche de 14 mS/cm ou plus, essentiellement en lien avec la teneur en NH₄-N et en K. Le procédé a été mené à plus long terme en testant la possibilité d'utiliser des sources externes de carbone à faible coût issues de la fermentation de divers déchets biologiques.

Conclusions

La mise en place des subventions les plus élevées d'Europe pour la production d'énergie renouvelable dans le secteur agricole (0,28 €/kWh produit) a conduit à une forte augmentation du nombre de digesteurs anaérobies au cours des trois dernières années en Italie. Cette subvention étant attribuée pour une puissance jusqu'à 1 MW, les générateurs construits étaient généralement de grande taille. En outre, les cultures énergétiques représentaient la matière première principale de ces générateurs, d'où une distorsion du marché.

Face au scénario décrit ci-dessus, un nouveau décret nommé « *Quinto Conto Energia* » (« cinquième facture d'énergie ») a récemment été promulgué (juin 2012), dans lequel de nouveaux tarifs pour les subventions et les primes ont été introduits. Selon ce nouveau décret, les matières premières, la puissance des installations, l'utilisation de la chaleur émise et la technologie mise en œuvre sont toutes prises en compte pour déterminer le montant des subventions. Les générateurs de petite taille (> 500 kW) seront favorisés puisqu'ils recevront des subventions plus élevées. De plus, les effluents d'élevage et déchets agricoles seront préférés aux cultures énergétiques. La situation décrite dans cet article changera donc radicalement dans les années à venir. L'élimination/récupération de l'azote sera également encouragée par la mise en place d'une prime à l'utilisation de technologies de gestion des nutriments. ■

Les auteurs

David BOLZONELLA, Francesco FATONE et Franco CECCHI

Département de Biotechnologie, Université de Vérone,

Strada Le Grazie, 15 – 37134 Vérone, Italie

INCA, Consortium interuniversitaire pour la chimie

et la technologie de l'environnement

Via delle Industrie 21/8 – 30175 Venise, Italie

✉ david.bolzonella@univr.it

Remerciements

Veneto Agricoltura Spa et la région de la Vénétie sont vivement remerciés pour le soutien financier apporté à cette étude dans le cadre du projet RiduCaReflui.

EN SAVOIR PLUS...

- **BERNET, N., BÉLINE, F.**, 2009, Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents, *Bioresour. Technol.*, n°100, p. 5431-5436.
- **LINDORFER, H., CORCOBA, A., VASILIEVA, V., BRAUN, R., KIRCHMAYR, R.**, 2008, Doubling the organic loading rate in the co-digestion of energy crops and manure - A full scale case study, *Bioresour. Technol.*, n°99, p.1148-1156.
- **VENETO AGRICOLTURA**, 2011, Nitrati da problema a risorsa. Stato dell'arte e opportunità dalle esperienze di progetto RiduCaReflui, ISBN 978-88-6337-086-7
- **WEILAND, P.**, 2006, Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany, *Eng. Life Science*, n°6, p. 302-309.