

ELDA – ETUDE ECONOMIQUE DU SYSTEME SYREN

Evaluation de la faisabilité économique du système Syren dans le contexte breton

Action 3 – projet ELDA - Epandage de Lisier de porc et de Digestat Acidifiés (2023-2025)

→ Didier Debroye, Mariana Moreira, Daniel Hanocq, Anne-Sophie Langlois, Lucie Poupard - Chambre d'agriculture de Bretagne. Janvier 2026

L'acidification des effluents liquides à l'épandage, via de l'acide sulfurique concentré à 96%, permet de réduire les pertes d'azote par volatilisation. Cette technique repose sur le système Syren, qui consiste à la mise en place d'une cuve d'acide à l'avant du tracteur. L'objectif de cette étude est d'évaluer la faisabilité économique de ce dispositif dans le contexte breton, en s'appuyant sur la méthode des budgets partiels. Afin de représenter au mieux le contexte breton, trois situations contrastées sont étudiées : une exploitation porcine, une installation de méthanisation et une Entreprise de Travaux Agricole (ETA). Les résultats mettent en évidence une rentabilité économique limitée de la technique, principalement en raison du coût lié à l'utilisation de l'acide sulfurique. Par ailleurs, certaines incertitudes subsistent, notamment concernant les modalités de transport et de livraison de l'acide.

1. Introduction

Dans une démarche d'optimisation de la valorisation des effluents, l'acidification du lisier et du digestat apparaît comme une technique prometteuse. Largement utilisé au Danemark et grandement encouragée en Allemagne et aux Pays-Bas, elle reste très peu présente en France bien qu'identifiée comme une Meilleure Technique Disponible (MTD) dans les documents européens (BREF Elevage). Pourtant, cette technique présente un réel intérêt face aux enjeux climatiques notamment en termes de qualité de l'air, de gestion azotée et de fertilisation des sols. Elle permettrait de diminuer les émissions ammoniacales et d'améliorer l'efficacité agronomique des apports organiques en diminuant la volatilisation de l'ammoniac, contribuant ainsi à une optimisation de la fertilisation azotée.

Le processus d'acidification repose sur l'ajout d'un agent acidifiant, généralement l'acide sulfurique concentré à 96%. Celui-ci agit sur le couple $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ en abaissant le pH. Cela permet de maintenir l'azote sous forme ammoniacale (NH_4^+), diminuant ainsi jusqu'à 70% les pertes d'ammoniac (NH_3) par volatilisation jusqu'à 70% lors de l'épandage si un pH de 6,4 est atteint.

L'acidification du lisier est réalisée à l'aide du système Syren qui injecte directement de l'acide sulfurique à 96% dans les tuyaux qui transportent l'effluent vers les rampes à pendillards. L'acide est transporté dans une cuve située à l'avant du tracteur (figure 1).



Figure 1 : Cuve transportant l'acide à l'avant du tracteur dans le système Syren.

Introduire en France le dispositif Syren utilisé au Danemark

Le projet ELDA a comme objectif de pallier le manque de connaissance sur l'utilisation de cette technique dans le contexte breton par l'acquisition de références techniques, économiques et sociologiques.

Les résultats agronomiques (Action 1.1) ont mis en évidence l'efficacité de l'acidification pour réduire les pertes azotées, sans toutefois démontrer une amélioration de l'équivalent engrais. Aucun effet significatif n'a été relevé sur le pH, le soufre et la biomasse microbienne du sol sur un apport et une année de suivi. De plus, il a été démontré que les quantités d'acide à incorporer sont variables et dépendent des caractéristiques des effluents utilisés (Action 1.2).

Ce document présente l'évaluation des aspects économiques liés à l'usage du système Syren pour l'épandage des lisiers et digestats liquides dans le contexte breton (Action 3).

D'après la littérature sur l'acidification au Danemark, l'emploi d'acide sulfurique pour acidifier le lisier entraînerait un surcoût d'environ 1,10 €/m³, en plus des frais habituels liés à l'épandage (Langlois et al., 2021). L'objectif est de chiffrer le surcoût associé à cette technique pour une utilisation à différentes échelles : agriculteur, agriculteur-méthaniseur, Entreprise de Travaux Agricoles (ETA).

2. Matériel et méthode

2.1. Méthode des budgets partiels

Afin d'évaluer au mieux les coûts et les bénéfices liés à l'acidification des lisiers et digestats, la méthode du budget partiel est utilisée. Cette méthode permet d'évaluer la marge générée par chaque produit ainsi que sa contribution au financement des charges fixes, sans recourir à une répartition arbitraire de ces charges. Cette méthode repose sur quatre postes, répartis en deux colonnes. La première colonne regroupe les postes positifs : la baisse des coûts (réduction des charges) et la hausse des produits (recettes additionnelles). La seconde colonne rassemble les postes négatifs : l'augmentation des coûts (charges additionnelles) et la baisse des revenus (réduction des recettes). La différence entre les deux colonnes permet de calculer le résultat économique global du projet.

Dans cette étude, il est retenu que le lisier contient en moyenne **3,5 unités d'azote total par m³** et que le digestat en contient **5**. Par ailleurs, le coût d'investissement d'un système Syren est estimé à **70 000 €**.

2.2. Trois situations caractéristiques :

Afin de représenter au mieux le contexte breton, cette étude a été réalisée en s'appuyant sur trois situations contrastées.

① La première est celle d'un élevage porcin dont les épandages de **lisier** sont réalisés principalement en amont du semis du maïs avec le personnel et le matériel de l'exploitation. Dans ce cas, l'exploitation porcine fait l'acquisition du système Syren pour son seul usage. Les volumes à épandre sont de 2 000 m³/an avec un coût habituel d'épandage de 3 €/m³.

② La seconde situation correspond à une installation de méthanisation faisant l'acquisition du système Syren pour son seul usage. Elle épand son **digestat** sur plusieurs types de cultures tels que des cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE), des céréales et du maïs. Les volumes à épandre sont de 10 000 m³/an avec un coût d'épandage de 4 €/m³. Cette différence avec la première situation sur le coût

d'épandage s'explique par les distances aux parcelles, plus importantes et donc plus coûteuses en temps et en argent.

③ La troisième situation est celle d'une Entreprise de Travaux Agricoles (ETA) épandant des effluents (**lisier et digestat**) en sous-traitance sur différents types de cultures tels que des CIVE, des céréales, du maïs, etc., à l'aide d'une machine équipée du système Syren. Les volumes à épandre sont de l'ordre de 20 000 m³/an. Le coût d'épandage est de 3 €/m³. Ici, l'impact de la distance aux parcelles n'est pas pris en compte, en raison du volume important à épandre, qui dilue ce coût.

2.3. Éléments constituant les colonnes du budget partiel

Ainsi, en combinant la méthode des budgets partiels et les situations étudiées, les colonnes du budget partiel peuvent être caractérisées selon les postes suivants.

Les postes de la **colonne positive** sont caractérisés par la baisse des coûts de la fertilisation azotée.

Au regard du nombre élevé d'épandages réalisés à l'échelle d'une exploitation au cours d'une année, de la diversité des cultures concernées, ainsi que de la variabilité annuelle des conditions climatiques, il a été décidé de retenir un pourcentage moyen de gain d'azote non volatilisé grâce à l'acidification, issu des essais menés dans l'action 1 du projet. Ainsi, une réduction moyenne de la volatilisation de l'azote de 12 pourcents est retenue avec l'utilisation du système Syren. Cette estimation repose sur une perte d'azote moyenne de 18 % avec la technique habituelle (pendillard classique), contre seulement 6 % avec le pendillard équipé de Syren. La différence entre ces deux valeurs correspond donc à une économie nette de 12 pourcents d'azote, qui reste disponible pour la culture avec l'utilisation de Syren. Pour estimer l'impact économique de ce gain, celui-ci est rapporté au prix de l'azote sous forme d'ammonitrate 33.5 à la date du calcul (1er décembre 2025), soit 500 €/t, correspondant à 1,5 €/unité d'azote (uN).

Les postes de la **colonne négative** sont quant-à-eux caractérisés par le coût d'usage du dispositif Syren, ainsi que par les coûts engendrés par la consommation d'acide sulfurique.

Le coût d'usage est rapporté à un amortissement technique ainsi qu'à une valeur résiduelle finale. Ainsi pour l'élevage porcin (situation ①), un amortissement de 10 ans est retenu avec une valeur résiduelle de 25%. En ce qui concerne la méthanisation et l'ETA (situations ② et ③), l'amortissement est estimé à 8 ans avec toujours la même valeur résiduelle de 25%.

Il faut ajouter à cela des frais fixes, notamment des intérêts annuels à 1,5% du montant de l'achat ainsi que 500 € pour les frais d'entretien annuels dans le cas de l'exploitation porcine et 700 € pour la méthanisation et l'ETA (plus d'utilisation).

Les quantités d'acide sulfurique concentré à 96% utilisées pour l'acidification sont estimées à 6 kg/m³ de lisier et 11 kg/m³ de digestat (Action 1.2). Les coûts ont été obtenus auprès d'entreprises d'approvisionnement en produits de la chimie. Ainsi, pour une livraison par 1 000 L, les coûts sont de l'ordre de 0,37 €/kg d'acide. Pour ce qui est de l'apport de soufre réalisé par l'addition d'acide sulfurique pour l'acidification, sa

valeur en équivalent engrais n'a pas été intégrée au calcul, n'étant pas un poste jugé déficitaire pour les cultures dans le contexte breton.

3. Résultats et discussion

3.1. Les postes de la colonne positive

Les gains engendrés par la baisse du coût de la fertilisation azotée sont présentés dans le tableau 1. Ainsi, l'utilisation du système Syren permettrait d'économiser 1 260 €/an pour l'élevage porcin, 9 000 € pour la méthanisation et 15 300 € pour l'ETA.

Tableau 1 : Estimations des gains annuels provoqués par la baisse du coût de la volatilisation azotée pour les trois types de situations.

Postes	Situations		
	① Exploitation	② Méthanisation	③ ETA
Volume Lisier (m ³)	2 000	0	10 000
Azote Epandu (kg)	7 000	0	35 000
Gain (€)	1 260*	0	6 300
Volume Digestat (m ³)	0	10 000	10 000
Azote Epandu (N)	0	50 000**	50 000
Gain (€)	0	9 000	9 000
Gain total (€)	1 260	9 000	15 300

(*) $2\,000\text{ m}^3/\text{an} \times 3,5\text{ kg/m}^3 = 7\,000\text{ uN/an}$; 12% de $7\,000\text{ kg/an} = 840\text{ kg}$; $840\text{ uN} \times 1,5\text{ €/uN} = 1\,260\text{ €}$

(**) $10\,000\text{ m}^3 \times 5\text{ kgN/m}^3 = 50\,000\text{ kg}$

3.2. Les postes de la colonne négative :

Les coûts d'usage du dispositif Syren sont représentés dans le tableau 2. Ainsi, le coût de l'usage s'élèverait à 3,4 €/m³ (lisier) pour l'élevage porcin, 0,83 €/m³

(digestat) pour la méthanisation et 0,42 €/m³ (lisier et digestat) pour l'ETA. La forte différence entre l'élevage porcine et les autres situations s'explique par la moindre utilisation du système ce qui le rend moins rentable.

Tableau 2 : Estimations des coûts provoqués par la hausse des coûts d'usage pour les trois types de situations.

Postes	Exploitation	Méthanisation	ETA
Prix d'achat (€)	70 000	70 000	70 000
Durée Amort (An)	10	8	8
Valeur Résid. (%)	25	25	25
Coût d'entretien (€/an)	500	700	700
Volume épandu (m ³ /an)	2 000	10 000	20 000
Coût d'usage (€/m ³)	3,4*	0,83	0,42

(*) $70\,000 \times 0,75 = 52\,500\text{ € sur 10 ans}$; $5\,250\text{ €/an}$; $70\,000 \times 0,015 = 1\,050\text{ €/an (intérêts)}$; $+ 500\text{ €}$;

$(5\,250 + 1\,050 + 500)/2\,000 = 3,4\text{ €/m}^3$.

Les coûts engendrés par la consommation d'acide sulfurique sont représentés dans le tableau 3. Ainsi, les coûts supplémentaires engendrés par l'acide sulfurique sont de 2,22 €/m³ pour l'élevage porcin, 4,07 pour la méthanisation et 3,14 pour l'ETA. La nécessité d'utiliser une grande quantité d'acide sulfurique, notamment pour le digestat, tend à doubler le coût d'épandage, ce

qui n'est pas négligeable. Il est également important de noter la grande différence constatée avec la bibliographie qui indiquait 1,1€/m³ comme surcoût d'acidification (Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage, 2020). Ce poste a un impact fortement négatif sur la balance économique.

Tableau 3 : Estimations des coûts provoqués par la consommation d'acide sulfuriques pour les trois types de situations.

Postes	Exploitation	Méthanisation	ETA
Volume Lisier (m³)	2 000	0	10 000
Coût de l'acide pour Lisier (€)	4 440	0	22 200
Volume Digestat (m³)	0	10 000	10 000
Coût de l'acide pour Digestat (€)	0	40 700**	40 700
Coût total (€)	4 440	40 700	62 900
Coût total/m³ (€/m³)	2,22*	4,07	3,14

(*) $2\,000\text{ m}^3 * 6\text{ kg d'acide/m}^3 = 12\,000\text{ kg d'acide}$; $12\,000\text{ kg} * 0,37\text{ €/kg d'acide} = 4\,440\text{ €}$; $4\,440\text{ €} / 2\,000\text{ m}^3 = 2,22\text{ €/m}^3$

(**) $10\,000\text{ m}^3 * 11\text{ kg d'acide/m}^3 = 110\,000\text{ kg d'acide}$;
 $110\,000\text{ kg} * 0,37\text{ €/kg} = 40\,700\text{ €}$

3.3. Bilans des budgets partiels

Pour chaque situation, les budgets partiels finaux ont été réalisés. **Le cas de l'élevage porcin** est représenté dans le tableau 4. Le bilan est **fortement déficitaire** (- 9 980 €/an).

Le gain d'azote est faible par rapport aux coûts supplémentaires. Le coût élevé d'usage de la machine peut s'expliquer par l'usage limité du système Syren.

Tableau 4 : Bilan du budget partiel de l'élevage porcin (situation ①).

Colonne du Positif		Colonne du Négatif	
Poste	Montant	Poste	Montant
		Usage du Syren	6 800*
		Coût d'acidification	4 440
Fertilisation minérale	1 260		
Total	1 260	Total	11 240

(*) $2\,000\text{ m}^3\text{ épandu} * 3,4\text{ €/m}^3 = 6\,800\text{ €}$

Le cas de la méthanisation est représenté dans le tableau 5. Le bilan est toujours **largement déficitaire** (- 40 012,5 €). L'augmentation des volumes épandus limite le coût d'épandage, mais le coût de l'acide est

toujours important, ce qui limite l'effet de dilution. La balance des gains et des coûts est toujours largement négative.

Tableau 5 : Bilan du budget partiel de la méthanisation (situation ②).

Colonne du Positif		Colonne du Négatif	
Poste	Montant	Poste	Montant
		Usage du Syren	8 312,5
		Coût d'acidification	40 700
Fertilisation minérale	9 000		
Total	9 000	Total	49 012,5

Le cas de l'ETA est représenté dans le tableau 6. Le bilan est **toujours déficitaire** (- 55 912,5 €). L'augmentation des volumes épandus ne parvient pas à rendre positive la balance des gains et des coûts

principalement du fait du coût de l'acidification qui reste trop élevé.

Tableau 6 : Bilan du budget partiel de l'ETA (situation ③).

Colonne du Positif		Colonne du Négatif	
Poste	Montant	Poste	Montant
		Usage du Syren	8 312,5
		Coût d'acidification	62 900
Fertilisation minérale	15 300		

Total	15 300	Total	71 212,5
-------	--------	-------	----------

Ainsi, l'acidification par le système Syren est déficitaire dans toutes les situations comme l'illustre le tableau 7. L'utilisation de Syren entraîne une augmentation significative des coûts d'épandage, portant ceux-ci à environ **8 €/m³ pour l'exploitation d'élevage porcin, 8**

€/m³ pour l'unité de méthanisation et 5,8 €/m³ pour l'ETA. Le coût de l'acide sulfurique reste la difficulté majeure de ce système, empêchant tout équilibre financier de l'opération d'acidification.

Tableau 7 : Bilan final des trois situations.

Postes	Exploitation	Méthanisation	ETA
Volume Lisier (m ³)	2 000	10 000	20 000
Coût d'épandage (€/m ³)	3	4	3
Résultat Syren (€)	- 9 980	- 40 012	- 55 912
Surcoût engendré par Syren (€/m ³)	5,0*	4,0	2,8

(*) L'utilisation de Syren génère un surcoût de 5 €/m³. En effet, sans Syren, le coût annuel d'épandage s'élève à 6 000 € (2 000 m³ × 3 €/m³). Le déficit économique lié à l'utilisation de Syren est de 9 980 €, soit un surcoût de 5 €/m³ rapporté au volume épandu (9 980 / 2 000). Le coût total d'épandage avec Syren atteint ainsi environ 8 €/m³ (3 + 5).

3.4. Changement d'hypothèses

L'étude est basée sur des moyennes déterminées à partir des essais issus de l'action 1 du projet. Ainsi, il est possible de prendre les valeurs extrêmes afin d'améliorer les hypothèses d'estimation du potentiel en faveur de la technique d'acidification : une perte maximale d'azote par volatilisation de 35 % avec la technique d'épandage habituelle et une perte minimale de 0 % avec la technique Syren.

Avec ces nouvelles hypothèses, la diminution du coût de la fertilisation est plus importante passant à 3 675 € pour l'élevage porcin, 26 250 € pour la méthanisation et 10 000 € pour l'ETA. Cela est illustré avec le tableau 8.

Tableau 8 : Estimations des gains de la diminution du coût de la fertilisation azotée avec les nouvelles hypothèses.

Postes	Exploitation	Méthanisation	ETA
Volume Lisier (m ³)	2 000	0	10 000
Azote Epandu (uN)	7 000	0	35 000
Gain (€)	3 675	0	18 375
Volume Digestat (m ³)	0	10 000	10 000
Azote Epandu (uN)	0	50 000	50 000
Gain (€)	0	26 250	26 250
Gain total (€)	3 675	26 250	44 625

Le tableau 9 illustre les bilans des trois situations. Il peut être constaté que même avec les nouvelles hypothèses beaucoup plus favorables à la technique Syren, le bilan du système reste déficitaire dans des proportions conséquentes. Ainsi, l'acidification apporte

toujours un surcoût de production important. Le coût de l'épandage pour l'élevage porcin s'élève alors à 6,8 €/m³, 6,3 €/m³ pour la méthanisation et 4,3 €/m³ pour l'ETA.

Tableau 9 : Bilan final réunissant les trois situations avec les nouvelles hypothèses.

Postes	Exploitation	Méthanisation	ETA
Volume Lisier (m ³)	2 000	10 000	20 000
Coût d'épandage (€/m ³)	3	4	3
Résultat Syren (€/an)	-7 565	-22 762	-26 588
Surcoût engendré par Syren (€/m ³)	3.8	2.3	1.3

4. Discussion

L'acidification du lisier est une technique qui ne semble pas présenter d'intérêt économique, surtout dans le cas d'un élevage porcin seul.

Il serait intéressant de comparer cette technique avec d'autres MTD qui agiraient, comme pour l'acidification, sur l'épandage. Mais cette comparaison est rendue difficile par la différence d'unité entre les résultats de cette étude (€/m³) et la bibliographie (€/place de porc). Par ailleurs, il est tout de même intéressant d'en évoquer certaines telle que l'injection directe à rainures ouvertes ou fermées. Cette technique est principalement utilisée dans des prairies et consiste en l'introduction du lisier directement dans le sol à l'aide de disques. Elle permet de diminuer de 60 à 90 % les émissions d'ammoniac. Celles-ci varient en fonction de la teneur en Matières Sèches (MS) du lisier, des conditions climatiques prédominantes, du type de sol et des conditions de cultures. Les coûts additionnels seraient de 1,7 €/place de porc (MATHIAS & MARTIN, 2013). A titre indicatif, le coût additionnel pour du lisier de canard est de 2,1 à 2,97 €/m³. Il serait également intéressant d'évoquer l'épandage en bandes du lisier et incorporation dans un délai très court. Elle consiste à faire entre le lisier épandu en bandes dans le sol à l'aide d'un matériel d'incorporation. Cette technique permettrait de diminuer de 80% les émissions d'ammoniac en moyenne. Celles-ci sont soumises aux mêmes variables que l'injection directe. Le coût

de revient de cette technique est de 3 centimes d'€/kg de porc charcutier produit (Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage, 2020). A titre indicatif, le coût additionnel pour du lisier de canard est en moyenne de 3 €/m³.

5. Conclusion

Au regard de cette étude économique, il reste certains questionnements notamment autour de la livraison et de la logistique de l'acide sulfurique. En effet, il apparaît que les volumes à utiliser lors d'une journée d'épandage pourraient largement dépasser les 1 000 L de volume de la cuve du système Syren. Il faudrait donc recharger plusieurs fois dans la journée la cuve ce qui poserait beaucoup de questions autour de la logistique et alourdirait encore plus le coût de l'acidification. Compte tenu de la dangerosité du produit, des procédures de manipulation devraient donc être mises en place.

Concernant les coûts calculés ci-dessus, il apparaît clairement une limite économique à la technique. Les hypothèses utilisées sont plutôt maximalistes pour diminuer le coût d'usage de la machine, mais aboutissent à des coûts globaux importants du fait du coût de l'acide. Un usage plus modéré, seulement dans les cas de plus forte volatilisation permettrait de diminuer le coût global, même s'il augmenterait le coût d'usage. L'analyse de ce coût pose des questions autour de la faisabilité de cette technique ; le coût trop élevé de cette technique remet en cause son utilisation dans l'avenir.

Références bibliographiques

- *Guide des Bonnes Pratiques Environnementales d'Élevage.* (2020). https://www.rmtelevagesenvironnement.org/guide_de_bonnes_pratiques_environnementales_en_elevages
- Langlois, A., Guingand, N., Lagadec, S., Hanocq, D., Quideau, P., & Moreira, M. (2021, février). L'acidification du lisier : Une voie à explorer pour réduire les pertes d'azote de l'élevage porcin. *53es Journées de la recherche porcine, 1er-4 février 2021, Paris*, p. 329-334. <https://hal.science/hal-04397107>
- MATHIAS, E., & MARTIN, E. (2013). *Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030.* <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/3434-analyse-du-potentiel-de-10-actions-de-reduction-des-emissions-d-ammoniac-des-elevages-francais-aux-horizons-2020-et-2030.html>

CONTACTS

Chambre d'Agriculture de Bretagne

Mariana Moreira, Daniel Hanocq, Anne-Sophie Langlois, Lucie Poupard

Le projet ELDA a bénéficié du financement du Conseil Régional Breton et a été labellisé par le RMT BOUCLAGE

