



# DIVA

## Tâche 4.2.2.1 à 3 – Traitement biologique des digestats liquides

SEPTEMBRE 2013  
**FABRICE BELINE, CAMILLE RENAUD,  
SYLVIE PICARD, PATRICIA SAINT-  
CAST, MYLENE DAUMOIN, ARNAUD  
DIARA ET PATRICK DABERT**  
IRSTEA RENNES  
17 avenue de cucillé  
CS 64427  
35044 RENNES Cedex

AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE  
**ANR**



## Remerciements

Ce travail a été réalisé en grande partie par Mme Camille Renaud lors de son stage ingénieur de l'INSA de Toulouse - Département Génie Biochimique, du 02 juillet au 28 septembre 2012, sous l'encadrement de M. Fabrice Béline et Mme Carole Molina-Jouve. Son rapport de stage intitulé « Etude de la faisabilité et de l'intérêt d'une oxydation biologique de l'ammonium des digestats liquides en amont d'une valorisation agronomique ou d'un procédé de concentration » est fourni en annexe. Ce stage a été financé par le Projet ANR DIVA, programme Bioénergies 2010.



## Table des matières

Remerciements .....	3
Table des matières .....	3
Liste des tableaux .....	5
Liste des Figures .....	5
1 Introduction.....	7
2 Rappels bibliographiques .....	8
2.1 Les post-traitements du digestat .....	8
2.2 Post-traitements physico-chimiques pour valoriser l'azote des digestats liquides .....	9
2.3 Post-traitements biologiques des digestats liquides.....	10
2.4 Conclusions et perspectives .....	11
3 Matériels et Méthodes.....	13
3.1 Digestats utilisés.....	13
3.2 Test de nitrification des digestats .....	15
3.2.1 Le dispositif expérimental .....	15
3.2.2 Le protocole expérimental .....	16
3.3 Test de stabilité des digestats nitrifiés .....	17
3.3.1 Le dispositif expérimental .....	17
3.3.2 Le protocole.....	17
3.4 Méthodes d'analyses.....	18
4 Résultats et discussion .....	19
4.1 Etude théorique de la faisabilité du traitement biologique des digestats.....	19
4.1.1 Caractéristiques des digestats.....	19
4.1.2 Les besoins en oxygène et alcalinité pour la nitrification .....	20
4.1.3 Conclusions.....	21
4.2 Résultats des essais de nitrification .....	21
4.2.1 La montée en charge des réacteurs .....	21
4.2.2 Les transformations de l'azote .....	23
4.2.3 La dégradation de la matière organique .....	24
4.2.4 Conclusion .....	25
4.3 Résultats sur la stabilité des digestats nitrifiés .....	25
5 Conclusions et perspectives .....	27

6 Références..... 29  
Résumé..... 30  
Abstract ..... 30

## Liste des tableaux

Tableau 1. Description des sites de méthanisation étudiés.....	13
Tableau 2. Caractéristiques de la fraction liquide des digestats.....	15
Tableau 3. Besoins en oxygène .....	20
Tableau 4. Besoins en alcalinité .....	21
Tableau 5. Les transformations en azote des digestats Agri2 et TERR .....	24
Tableau 6. Dégradation de la matière organique des digestats .....	24

## Liste des Figures

Figure 1. Epanchage du digestat liquide par rampe à pendillards [1] .....	7
Figure 2. vue des techniques de traitement du digestat [1] .....	8
Figure 3. Répartition des composants fertilisants dans le digestat liquide et solide [1] .....	9
Figure 4. Figure 4. Le cycle de l'azote [2] .....	11
Figure 5. Pilote de laboratoire utilisé pour les essais de nitrification .....	15
Figure 6. Dispositif du test de stabilité des digestats nitrifiés.....	17
Figure 7. Suivi des formes azotées du digestat nitrifié Agri 2 .....	22
Figure 8. Suivi des formes azotées du digestat nitrifié TERR .....	22
Figure 9. Suivi de la stabilité du digestat nitrifié Agri2.....	25
Figure 10. Suivi de la stabilité du digestat nitrifié TERR .....	26





## 1 Introduction

Lors de la méthanisation, et suivant les intrants utilisés, entre 50 à 80% de la matière organique est digérée. Une partie de cette matière se transforme en biogaz et biomasse. Cependant, les quantités d'azote, de phosphore et de potassium initialement introduites dans le digesteur se retrouvent en sortie dans le digestat.

Concernant l'azote, un changement de sa distribution s'opère du fait d'une minéralisation partielle de l'azote organique en azote ammoniacal, ainsi les quantités d'azote initialement introduites sont conservées et orientées vers la forme ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ). Certains digestats, effluents récupérés en sortie de procédé, se trouvent alors très chargés en  $\text{NH}_4^+$ , ce qui peut entraîner des risques accrus de lessivage des nitrates et d'émissions d'ammoniac lors de leur épandage.

Bien que ce risque soit en partie maîtrisable par l'utilisation de rampe à pendillards (Figure 1) pour l'épandage, il peut être intéressant d'appliquer des post-traitements au digestat pour optimiser sa valorisation. En effet, la teneur en eau élevée du digestat brut ne permet pas d'envisager son transport sur de longues distances et sa valorisation doit donc s'envisager localement. Cette limitation rend parfois difficile l'utilisation optimale des nutriments qu'il contient, notamment l'azote, surtout dans des régions d'agriculture et d'élevage intensifs, telle que la Bretagne, où les sols se trouvent en excès azoté.



Figure 1. Epandage du digestat liquide par rampe à pendillards [1]

Afin d'optimiser la filière, il serait intéressant de récupérer l'azote contenu dans les digestats pour l'utiliser comme fertilisant naturel dans les zones en carence, et ainsi diminuer la consommation d'engrais chimique. Une séparation de phase solide/liquide ne permet pas de solutionner ce problème car la forme ammoniacale très majoritaire se retrouve alors dans la phase liquide. Des post-traitements plus poussés doivent donc être envisagés pour concentrer l'azote et envisager son exportation.

L'objectif de cette tâche était d'étudier la faisabilité technique d'une étape de nitrification des digestats liquides pour transformer leur azote ammoniacal en nitrates ( $\text{NO}_3$ ) afin de limiter la volatilisation de l'ammoniac au stockage et éventuellement faciliter une étape de filtration membranaire par la suite.

## 2 Rappels bibliographiques

### 2.1 Les post-traitements du digestat

Pour avoir une vision globale du devenir des digestats, la société suisse EREP spécialisée dans le traitement et la valorisation de déchets et d'effluents organiques, a rendu en 2009 un rapport sur « l'état de l'art des méthodes (rentables) du traitement de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne » [1]. Ce rapport répertorie brièvement les post-traitements.

Les attentes quant au devenir de l'azote étant différentes d'une région à l'autre, les types de traitement sont basés sur 3 axes principaux :

- La séparation/concentration qui consiste à fractionner le digestat en une phase liquide et solide avant de subir un procédé de concentration. Les éléments fertilisants sont conservés et concentrés pour diminuer les quantités de digestat à stocker et pour faciliter leur export.
- La transformation qui change les formes chimiques des composants en des formes plus stables ou plus aisées à traiter.
- L'élimination qui permet de diminuer les quantités d'un composant, comme l'azote par exemple, pour rendre possible l'épandage dans des régions en excès azoté.

Les post-traitements applicables au digestat sont présentés sur la Figure 2. Généralement, une étape de séparation de phase est employée et les fractions sont ensuite traitées par des méthodes chimiques, biologiques ou physiques.

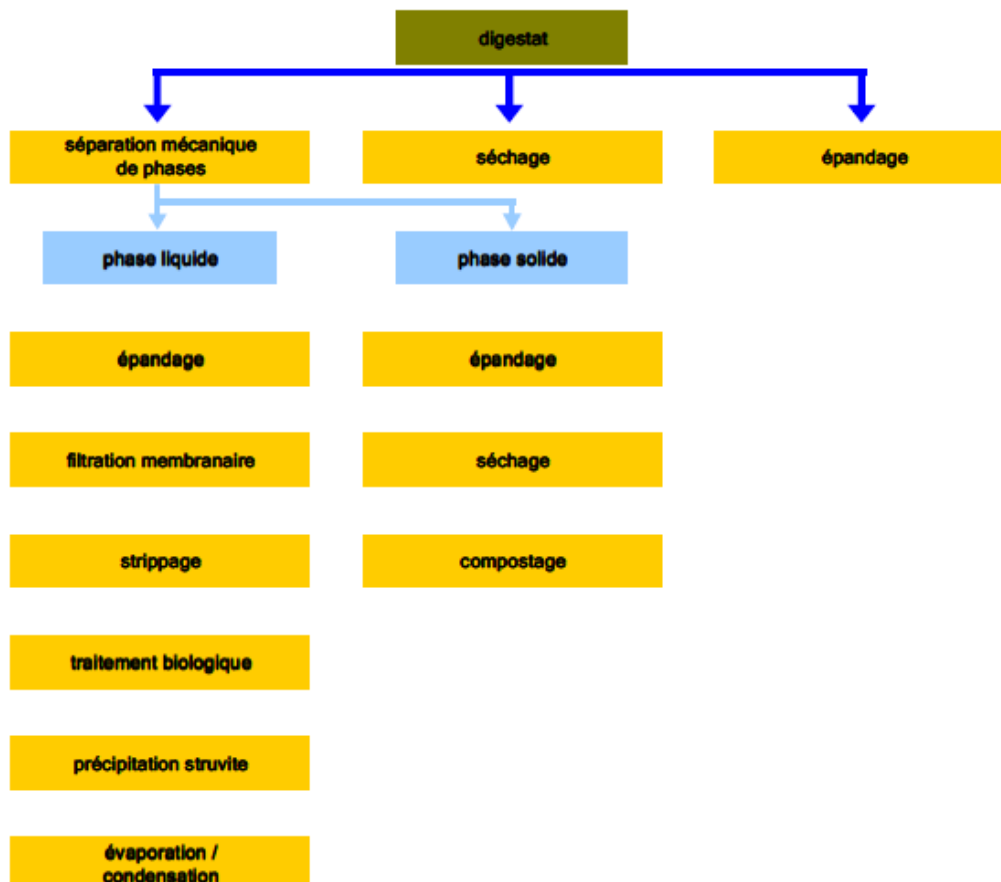


Figure 2. vue des techniques de traitement du digestat [1]

## 2.2 Post-traitements physico-chimiques pour valoriser l'azote des digestats liquides

Parmi les procédés de séparation de phase mécanique se trouvent :

- La presse à vis : le digestat brut est placé sur un tamis retenant la phase solide. Puis, la fraction solide est essorée et poussée à l'extrémité du tamis par la vis.
- La centrifugation : l'action d'une force centrifuge permet de séparer les matières en suspension du liquide.

Lorsqu'une étape de séparation de phase est appliquée au digestat, il est possible d'observer la distribution des éléments fertilisants entre les deux fractions liquide et solide (Figure 3). Comme 95% de l'azote ammoniacal est présent dans la fraction liquide du digestat, les études sur le traitement de l'azote ont porté essentiellement sur cette phase.

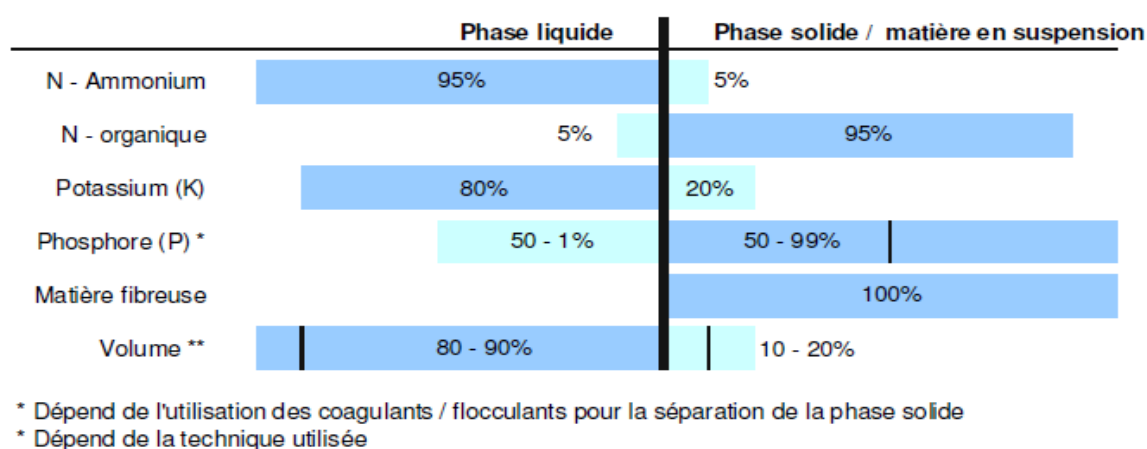


Figure 3. Répartition des composants fertilisants dans le digestat liquide et solide [1]

Le contexte de la tâche s'inscrit dans une optique de séparation/concentration et de transformation des formes azotées des digestats pour une meilleure valorisation, c'est pourquoi nous nous intéressons particulièrement aux traitements allant dans ce sens. D'après le résumé du rapport de l'EREP, trois méthodes permettent de bien conserver l'azote. Il s'agit de la filtration membranaire, du strippage avec lavage acide et de l'évapoconcentration.

### Le strippage avec lavage acide :

Le strippage avec lavage acide s'inscrit dans les traitements de transformation de l'azote. Il s'agit d'un procédé permettant l'évacuation des composants volatils d'une solution à l'aide de gaz. Pour cela, une base est ajoutée au digestat liquide afin de déplacer l'équilibre  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  à 100% vers l'ammoniac. Cette solution descend ensuite à travers une colonne à garnissage tandis que l'air chargé en ammoniac sort de la tour de strippage et va subir un lavage à l'acide sulfurique. En fin de procédé, les produits sortants sont un digestat basifié à faible teneur en ammoniac et une solution de sulfate d'ammonium.

### La filtration membranaire :

Seule la filtration membranaire par osmose inverse permet une séparation entre l'eau et les ions dissous comme l'ammonium. Des membranes denses, séparant les composés suivant leur solubilité,

vont laisser passer l'eau sous l'effet d'un gradient de pression et retiennent les autres éléments, concentrant ainsi le digestat liquide. Cependant, les membranes utilisées en osmose inverse ont des pores de diamètre inférieur à 0,001  $\mu\text{m}$  qui les rendent sensibles au colmatage. Pour restreindre ce risque, d'autres filtrations ont lieu au préalable diminuant le diamètre des pores membranaires à chaque étape.

### L'évapoconcentration :

L'évaporation est réalisée par chauffage du digestat liquide à une température comprise entre 55 et 65°C sous un vide relatif de 200mbar. Il s'agit d'un traitement de séparation/concentration puisque le digestat se concentre suite à une perte en eau. Pour éviter une volatilisation de l'ammoniac pendant le processus, une solution d'acide est ajoutée au digestat pour orienter l'équilibre  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  vers la forme ammoniacale.

Bien qu'utilisées, ces technologies restent complexes et coûteuses car, soit elles utilisent des produits difficiles à manipuler (acide, base), soit elles sont techniquement complexes du fait de colmatage. Dans plusieurs cas, la transformation de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$  peut permettre de limiter ces contraintes en réduisant l'utilisation de produits dangereux comme c'est le cas pour l'évapoconcentration où il n'y a plus besoin d'acide. Cette transformation peut également améliorer les performances techniques de la séparation en diminuant les risques de colmatage du fait de l'abaissement du taux de matière organique résiduelle.

## 2.3 Post-traitements biologiques des digestats liquides

L'azote est un élément essentiel du Vivant, au même titre que l'oxygène, l'hydrogène et le carbone, puisqu'il entre dans la composition des protéines, macromolécules indispensables au développement des organismes. Il est présent sous différentes formes organiques ou minérales, solides, liquides ou gazeuses. Le cycle de l'azote (figure 4) représente ces transferts qui ont lieu aussi bien dans les milieux aquatiques que terrestres.

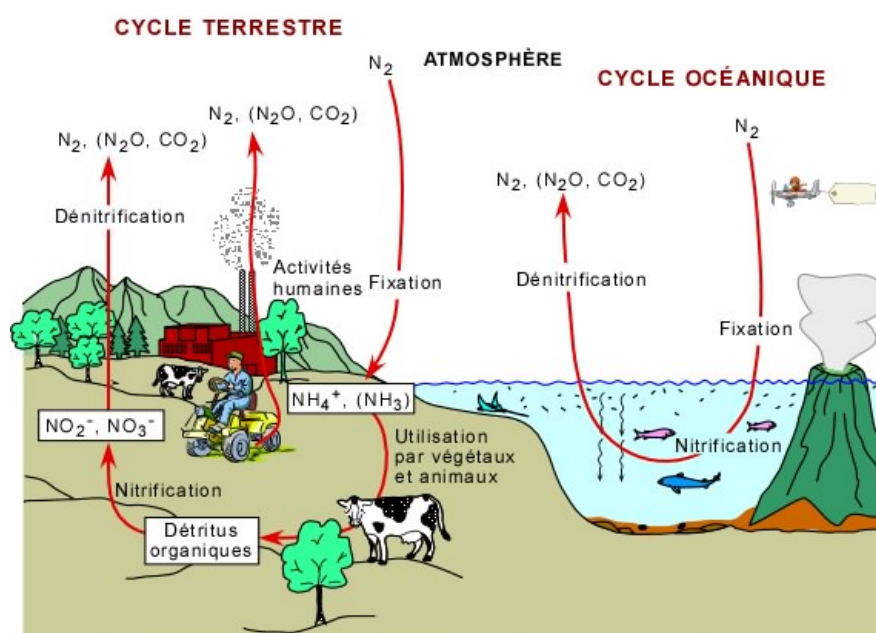
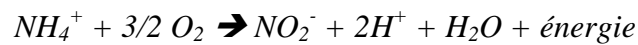


Figure 4. Figure 4. Le cycle de l'azote [2]

Comme décrit et discuté précédemment, l'azote est majoritairement présent sous forme ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ) dans le digestat ce qui peut conduire à des émissions d'ammoniac au stockage ou à l'épandage. Un moyen de limiter ces émissions serait de le transformer en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) par nitrification. Ce processus est couramment utilisé dans les procédés biologiques de traitement des eaux usées ou des effluents d'élevage [3, 4].

**La nitrification** est le processus biologique qui conduit à l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrates. Il est la résultante de deux réactions : la nitritation et la nitratisation réalisées par des micro-organismes strictement aérobies. Cette étape est réalisée dans des bassins aérés en présence d'un minimum de matière organique carbonée car celle-ci favorise le développement de micro-organismes différents des bactéries nitrifiantes.

La première étape est la nitritation :



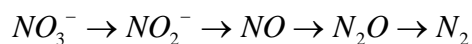
Cette réaction fait intervenir des bactéries du genre *Nitrosomonas* ou encore *Nitrosococcus* pour oxyder l'ammonium en nitrites [3, 4].

La seconde étape est la nitratisation :



Ce sont les micro-organismes du genre *Nitrobacter*, *Nitrococcus* et *Nitrospira* qui sont responsables de la transformation des nitrites en nitrates [3, 4].

**La dénitrification** est le processus biologique qui conduit à la réduction des nitrates en nitrites puis en azote moléculaire :



Ainsi les microorganismes dénitrifiants catalysent successivement la formation de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), de monoxyde d'azote (NO) et de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ). La dénitrification permet aux microorganismes de respirer en absence d'oxygène. En milieu anoxique, un oxyde d'azote remplace l'oxygène et joue le rôle d'accepteur d'électrons de la chaîne respiratoire.

Ce processus est réalisé par de nombreux micro-organismes anaérobies facultatifs hétérotrophes. Dans les procédés de traitement des eaux usées ou des effluents d'élevage, les effluents nitrifiés obtenus en sortie de bassin d'aération sont dénitrifiés en absence d'oxygène et en présence de matière organique dans des bassins d'anoxie, de manière à favoriser l'activité des bactéries dénitrifiantes [3, 4]. L'objectif est alors d'éliminer l'azote sous forme gazeuse diazote.

## 2.4 Conclusions et perspectives

Des procédés de traitement se développent pour la valorisation de l'azote des digestats, mais ils apparaissent techniquement complexes et économiquement coûteux. Les études portent essentiellement sur la fraction liquide du digestat qui contient la majorité de l'azote ammoniacal.

L'enjeu aujourd'hui est donc de trouver des solutions pour rendre ces procédés plus faciles à mettre en œuvre et/ou plus rentables.

Une des techniques envisageable est de transformer l'azote ammoniacal en une autre forme azotée pour limiter les contraintes des procédés de concentration actuels. En analysant le cycle de l'azote, on s'aperçoit que cela est possible par le biais de la nitrification qui convertit l'ammonium en nitrates. Une étape de stockage du produit en aval de la nitrification et en amont d'un procédé de concentration étant indispensable au fonctionnement d'une filière de traitement, il est alors nécessaire d'évaluer la stabilité du produit de nitrification afin de s'assurer que l'azote reste sous forme nitraté au cours du temps.

**Dans cette tâche, pour étudier la faisabilité et l'intérêt d'une nitrification, différents digestats ont tout d'abord été caractérisés. Les 2 digestats présentant les propriétés les plus intéressantes ont été retenus pour des essais de nitrification sur pilote. Pour finir, la stabilité des digestats nitrifiés a été étudiée.**

## 3 Matériels et Méthodes

### 3.1 Digestats utilisés

Cette tâche s'est focalisée sur les digestat liquides des 4 sites suivants (Tableau 1) :

- Méthanisation à la ferme : Agri1 et Agri2
- Méthanisation territoriale : TERR
- Méthanisation de déchets municipaux : BIOD

Tableau 1. Description des sites de méthanisation étudiés

Site	Type d'intrants et capacité nominale	Type de méthanisation	Mode de gestion du biogaz	Mode de gestion du digestat
<b>Agri1</b>	Fumiers bovins (rabortage engraissement taurillons) : 6000 T/an Issues céréales : 300 T/an	Digesteur Mésophile (40-42°C) Agrikomp 1500 m <sup>3</sup> (1100 m <sup>3</sup> utile) Tps séjour 60 à 70 jours Alimentation 12 à 19 T/j – en fonctionnement depuis mai 2010	Cogénération (production de chaleur ⇔ eau chaude taurillons, chauffage (résistance) de fosse réception graisses, chauffage 3 maisons + bureau)	Séparation par presse à vis + tamis Fosse stockage de la phase liquide 2950 m <sup>3</sup> (non agitée sauf période de soutirage pour épandage)
<b>Agri2</b>	Fumiers bovins (vaches laitières) : 1900 T/an Lisiers bovins: 4400 m <sup>3</sup> ; Lisiers porcins : 1800 m <sup>3</sup> Déchets tiers : 1000 T/an (issues céréales, IAA, ensilage, etc.) Déchets IAA liquides : 1450 m <sup>3</sup>	Digesteur Mésophile (44°C) Agrikomp 1000 m <sup>3</sup> Tps séjour environ 30 jours	Cogénération (production de chaleur ⇔ Porcherie + 2 maisons + piscine)	Post- digesteur : 2300 m <sup>3</sup> Temps de stockage des digestats pouvant aller jusqu'à 6 mois Epanchage du brut en Juin, Aout-Septembre, Novembre Séparation par presse à vis + tamis (une partie de l'année)
<b>TERR</b>	38 000 T/an de lisiers de porcs 37 000 T/an de déchets d'IAA (boues physico-chimiques d'abattoir, boues graisseuses, matières stercoraires, contenu digestif porcs) Issues de céréales, fientes de volailles (ponctuel)	Process voie humide mésophile (35 à 38°C) 2 digesteurs de 3000 m <sup>3</sup> temps de séjour environ 60 j	Cogénération (production de chaleur ⇔ une partie pour chauffer les digesteurs, l'unité d'hygiénisation, le post-traitement des digestats)	1 post digesteur de 3000 m <sup>3</sup> , temps de séjour environ 2 semaines Séparation de phase par centrifugation avec ajout de flocculant. Séchage du digestat solide (en démarrage) Filtration membranaire du digestat liquide (UF, OI)

<b>BIOD</b>	21 000 T/an biodéchets (FFOM, Papiers –cartons, textiles sanitaires + déchets verts) 2000 T/an déchets tiers (déchets IAA : yaourts, pâtés, etc.) 1300 T/an de graisses	1 digesteur de 3100 m <sup>3</sup> , process voie humide thermophile (55°C) Valorga, agitation par biogaz temps de séjour 21 jours	Cogénération (production de chaleur ⇔ une partie pour chauffer le digesteur)	Séparation de phase en 3 étapes : Pressage, tamisage, centrifugeuse (avec ajout de flocculant – hors période de recirculation vers digesteur). Compostage du digestat solide (aération 3 jours, casier 2 semaines avec un retournement, criblage, maturation) Digestat liquide : recirculation ou STEP
-------------	---	---	--	--

Bien qu'Agri 1 et Agri 2 soient tous deux d'origine agricole, ils diffèrent par la composition de leurs intrants. En effet, Agri 1 ne traite que les déchets en provenance de son exploitation agricole (fumier, lisier et issue de céréales). Tandis qu'Agri2 traite également des déchets émanant d'usine de traitement de l'eau, de papier et d'industries agro-alimentaires (IAA).

L'unité de traitement de biodéchets (BIOD) digère majoritairement les fractions fermentescibles des ordures ménagères (FFOM), mais également des déchets verts, des déchets IAA ainsi que des graisses alimentaires.

Pour finir, les intrants territoriaux (TERR) se composent essentiellement de lisier, de boues physicochimiques et de matières stercoraires.

**Les prélèvements de digestats** liquides ont été réalisés directement en sortie de séparation de phase, sans période de stockage de ces digestats. Selon les dates de prélèvements, les volumes échantillonnés ont été compris entre 50 et 300 L de digestats.

Lors de chaque prélèvement, un questionnaire succinct sur le fonctionnement de l'unité de méthanisation a été remis au responsable du site afin de connaître les intrants ayant alimenté le méthaniseur dans le temps de séjour précédent le prélèvement, les éventuels problèmes de fonctionnement, la production de biogaz.

**Les caractéristiques des digestats étudiés** sont résumées dans le tableau 2 et présentées en détail dans les livrables 3.2 et 3.3. Les résultats présentés sont les moyennes des analyses faites sur les différents prélèvements au cours de l'année. Afin de mesurer la dispersion autour de la moyenne, les écart- types ont été calculés et présentés entre parenthèses dans le tableau.



**Tableau 2. Caractéristiques de la fraction liquide des digestats**

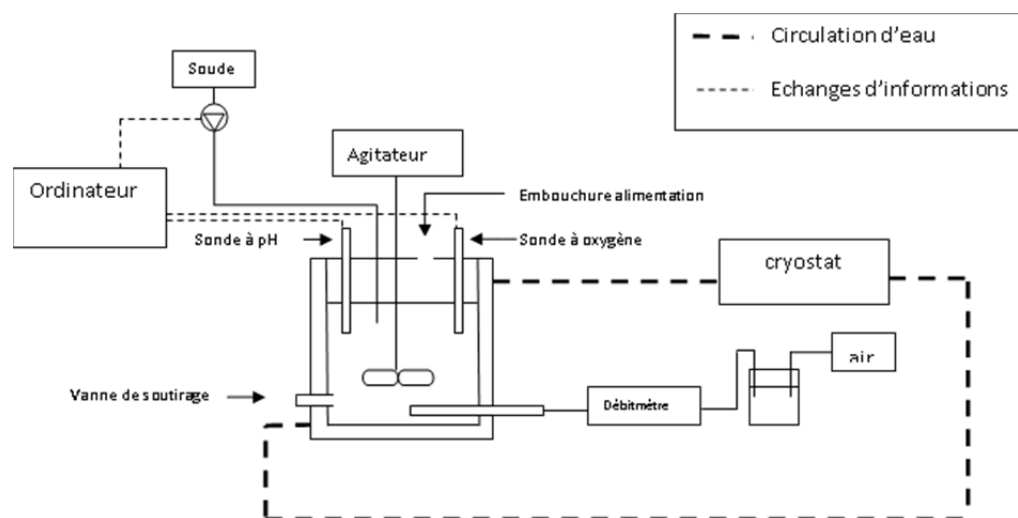
	Agri1	Agri2	BIOD	TERR
Procédés de séparation de phase	Vis sans fin + tamisage	Vis sans fin + tamisage	Pressage + tamisage + centrifugation	centrifugation
Paramètres globaux				
pH	8,2 (2,2)	7,9 (1,7)	8,4 (1,9)	8,3 (1,0)
MS (% MB)	13,1 (1,4)	4,2 (0,3)	5,8 (1)	1,5 (0,2)
MO (% MS)	60,8 (3,6)	62,6 (1,8)	58,8 (2,2)	57,1 (5,2)
Fraction DCO				
DCO (gO <sub>2</sub> /L)	129,6 (8,1)	47,5 (4,1)	62,2 (14,1)	15,3 (4,4)
DCO biodégradable (gO <sub>2</sub> /L)	14,2 (8,7)	3,6 (1,1)	8,8 (2,6)	5,5 (0,9)
OUR max (mgO <sub>2</sub> /l/h)	18,2 (6,1)	14,4 (3,5)	24,8 (4,5)	31,1 (11,5)
Fractions azotées (gN/L)				
NTK Total	7,9 (1,0)	4,1 (0,2)	4,3 (0,7)	5,1 (0,5)
NH <sub>4</sub>	4,7 (0,8)	2,9 (0,3)	2,2 (0,5)	4,4 (0,4)
Ratios				
DCO/NH <sub>4</sub>	27,4	16,4	27,8	3,5
DCO biodégradable/ NH <sub>4</sub>	3,0	1,2	3,9	1,3
NH <sub>4</sub> /NTK total	0,59	0,71	0,52	0,86
Alcalinité (gCaCO <sub>3</sub> /Kg de matière brute)	54,7	17,1	15,5	20,6

## 3.2 Test de nitrification des digestats

Afin de tester la faisabilité de la nitrification des digestats, des expérimentations ont été conduites durant 7 semaines sur des pilotes à l'échelle laboratoire.

### 3.2.1 Le dispositif expérimental

Le **dispositif** est composé d'un réacteur aéré, agité et calorifugé de 10L, dont 6L de volume utile (Figure 5).



**Figure 5. Pilote de laboratoire utilisé pour les essais de nitrification**

### **Le réacteur :**

- Le réacteur est alimenté en oxygène par de l'air humidifié passant à travers un fritté. Le débit est réglé via un débitmètre afin de maintenir la concentration en oxygène entre 4 et 6 mgO<sub>2</sub>/L.
- L'agitation est effectuée avec un agitateur mécanique à pâles de 10 cm de diamètre. Placée au-dessus de l'arrivée d'air, l'agitation permet à la fois d'optimiser la dispersion de l'oxygène et d'homogénéiser le milieu.
- Le pH est mesuré avec une électrode Sentix 41. Il est régulé à l'aide d'une pompe commandée par ordinateur qui libère de la soude (1N) lorsque le pH passe en dessus de 7,5.
- Un cryostat maintient la température à 25°C par diffusion d'eau dans la double enveloppe du réacteur.
- Une sonde cellox 325 permet le suivi de l'oxygène.
- La mousse est maîtrisée par un coupe-mousse mécanique fixé sur l'axe de l'agitateur. Cependant, il est parfois nécessaire de compléter le cassage mécanique par un ajout de 2 à 3 gouttes d'anti-mousse (silicone 426 R).

Un programme informatique enregistre les concentrations en oxygène et les valeurs du pH au cours du temps. Il commande également la régulation du pH.

Pour ces essais de nitrification, 2 réacteurs identiques reliés à un même ordinateur ont été utilisés. Les réacteurs ont été alimentés chacun par un digestat différent.

### **3.2.2 Le protocole expérimental**

#### **Apport en bactéries nitrifiantes :**

Pour apporter les bactéries nécessaires à la nitrification, le réacteur est initialement chargé par des boues activées en provenance du bassin d'aération d'une exploitation agricole de Plestan (22). Avant d'être introduites, ces boues sont tamisées (pores de 63mm). Elles sont également diluées par ajout de 2L d'eau aux 4L de boue dans le réacteur. Afin que les bactéries s'adaptent aux conditions, aucune alimentation en digestat n'est effectuée dans les premières 24h.

#### **Soutirage /alimentation :**

La montée en charge des réacteurs est faite par augmentation progressive des quantités de digestat introduites : 0,33L/j pendant 2 semaines, 0,66L/j pendant une semaine puis 1L/j jusqu'à la fin de l'expérimentation. L'alimentation est réalisée 5 jours sur 7 à partir de digestats stockés à 4°C. Le temps de séjour moyen dans le réacteur est donc d'environ 8-9 jours.

Pour maintenir un volume constant de 6L dans les réacteurs, il est nécessaire de soutirer autant que l'on alimente. Le produit récupéré en sortie de réacteur est le digestat nitrifié qui est conservé à 4°C en attente des analyses. A partir de la 4<sup>ème</sup> semaine, sur les 5L hebdomadaires récupérés, 2L sont conservés pour analyses et 3L subissent une centrifugation dont le surnageant est congelé pour des études ultérieures.

### 3.3 Test de stabilité des digestats nitrifiés

Ce test est réalisé afin de vérifier que les formes oxydées de l'azote (nitrates et nitrites) restent stables lors d'une étape de stockage des digestats nitrifiés.

#### 3.3.1 Le dispositif expérimental

Les expérimentations sont conduites sur le surnageant des digestats nitrifiés conservés au congélateur lors des essais de nitrification. Pour chaque digestat, nous disposons de 6 flacons de 250mL fermés par des septums, dans lesquels ont été introduits 100 mL du surnageant des digestats nitrifiés.

Sur les unités de méthanisation, le digestat est stocké sur plusieurs mètres de hauteur dans les cuves et seule la couche supérieure du liquide est en contact avec l'air ambiant. Ainsi, pour représenter au mieux les conditions de stockage des digestats, de l'azote est ajouté dans les flacons jusqu'à obtention d'une pression partielle en oxygène nulle.

Le dispositif est représenté sur la figure 6.



Figure 6. Dispositif du test de stabilité des digestats nitrifiés

#### 3.3.2 Le protocole

Pour étudier la stabilité des digestats, nous suivons pendant 10 jours l'évolution des concentrations en nitrites, nitrates et ammonium. De même, nous nous intéressons à la production de protoxyde d'azote dont la présence témoignerait d'une dénitrification du digestat.

Pour l'obtention de résultats fiables, l'expérience est réalisée sous forme de triplicats. Ainsi, sur les 6 flacons, 3 sont dédiés à l'analyse des liquides (L1-L2-L3) et 3 à l'analyse des gaz (G1-G2-G3).

Prélèvement liquide : 12mL de liquide sont prélevés tous les 2 jours dans les flacons L1-L2-L3. Le liquide est extrait à l'aide d'une seringue traversant le septum, puis est conservé à 4°C en attente des analyses.

Prélèvement gaz : La pression est suivie tous les 2 jours à l'aide d'un manomètre dans les flacons G1-G2-G3. Une élévation de pression est significative d'une production de gaz. Dans ce cas, 15ml de gaz

sont prélevés à l'aide d'une seringue traversant le septum et introduits dans des vials.

### 3.4 Méthodes d'analyses

Dans le but de pouvoir discuter sur la faisabilité d'une oxydation biologique des digestats, différentes analyses biochimiques ont été réalisés sur les tests de nitrification et de stabilité. Les paramètres suivants ont été déterminés selon des méthodes normalisées :

- Matière Sèche (MS), Matière Organique (MO) (Normes NF EN 12880 et 12879)
- Matière en suspension (MES) et Matière volatile (MVS) (Norme NFT 90-105)
- Demande Chimique en Oxygène (DCO) (Norme NF T 90-101)
- Azote total Kjeldahl (NTK) (Norme NF EN 13342)
- Azote ammoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Norme NF-U-42-100)
- Nitrites/Nitrates (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) par chromatographie ionique
- Protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) par chromatographie en phase gazeuse (Norme NF X20-303)

## 4 Résultats et discussion

Les procédés de post-traitement des digestats liquides ont pour objectifs la réduction des impacts environnementaux et/ou la concentration des nutriments. Dans cette tâche, l'objectif était d'évaluer la faisabilité technique d'une étape de nitrification des digestats liquides pour transformer leur azote ammoniacal en nitrates ( $\text{NO}_3$ ) afin de limiter la volatilisation de l'ammoniac au stockage et éventuellement de faciliter une étape de filtration membranaire ultérieure.

Dans un premier temps, la faisabilité théorique du traitement des digestats liquides (Agri1, Agri2, TERR et BIOD) a été déterminée sur la base des caractéristiques des digestats (DCO biodégradable, ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), NTK, Alcalinité) (Tableau 2). Puis des essais en réacteurs ont été réalisés sur les digestats liquides Agri2 et TERR pour valider les données théoriques.

### 4.1 Etude théorique de la faisabilité du traitement biologique des digestats

#### Caractéristiques des digestats

Les données obtenues dans les livrables 3.2 et 3.3 sont résumées dans le tableau 2. Pour les 4 digestats liquides, la matière sèche est comprise entre 1,5 et 13,1% de la matière brute. D'après le rapport de l'EREP, la teneur en matières sèches de la fraction liquide des digestats est d'environ 5% suite à une séparation de phase de type presse à vis et de 1 à 3% pour une centrifugation [1]. Les digestats TERR et Agri2 ont des taux correspondant aux attentes. Cependant, pour le digestat BIOD, une teneur en matières sèches de 5,8% semble être un résultat élevé pour un procédé de séparation en 3 étapes faisant intervenir une centrifugation. De même, le procédé de séparation d'Agri1 ne paraît pas être adapté, ou défectueux, puisque la teneur en matières sèches atteint 13,1% au lieu des 5% espérés.

La vitesse maximale de consommation de l'oxygène ( $\text{OUR}_{\text{max}}$ ) est comprise entre 14,4 et 31,1  $\text{mgO}_2/\text{l/h}$ . Cette consommation d'oxygène correspond à la respiration endogène des microorganismes du digestat mais également à la dégradation des matières rapidement et lentement biodégradables.

La demande chimique en oxygène (DCO) est très variable et s'étend de 15,3  $\text{gO}_2/\text{L}$  pour TERR à 129,6  $\text{gO}_2/\text{L}$  pour Agri1. La DCO permet de quantifier les substances oxydables de l'échantillon, qu'elles soient rapidement ou lentement biodégradables, voire biologiquement inertes. La fraction biodégradable de la DCO totale s'élève à 36% pour TERR tandis qu'elle n'est que de 7,6% pour Agri2.

La charge en azote Kjeldahl (NTK), comprenant l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) et l'azote organique (Norg), est très importante dans le digestat Agri1. En effet, elle est de 7,9  $\text{gN/L}$  tandis que les 3 autres digestats ont des charges comprises entre 4,1 et 5,1  $\text{gN/L}$ . Le taux d'azote ammoniacal contenu dans l'azote Kjeldahl varie de 52 à 86%.

Le ratio  $\text{DCO}_{\text{biodégradable}}/\text{NH}_4^+$  renseigne sur le potentiel de dénitrification des digestats. Les ratios, compris entre 1,2 et 3,9  $\text{gDCO/gN}$ , signifient que les digestats présentent des potentiels faibles. Ces résultats sont intéressants car nous souhaitons minimiser la dénitrification lors des expérimentations.

L'alcalinité est relativement élevée dans le digestat Agri1 comparé aux 3 autres. En effet, elle est de 54,7  $\text{gCaCO}_3/\text{L}$  de matière brute contre 15,5 à 20,6  $\text{gCaCO}_3/\text{L}$  de matière brute.

Comme constaté dans les livrables 3.2 et 3.3, le digestat Agri1 se démarque des autres digestats par

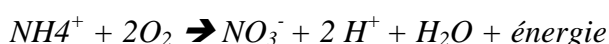
ses valeurs élevées en matières sèches, NTK et alcalinité.

#### 4.1.2 Les besoins en oxygène et alcalinité pour la nitrification

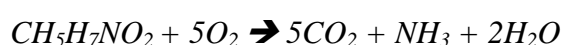
Pour monter expérimentalement des essais de nitrification, il est important de vérifier que les besoins en oxygène et en alcalinité sont couverts pour éviter tout phénomène d'inhibition.

Tout d'abord, pour estimer les **besoins en oxygène**, il faut prendre en compte l'oxygène consommé par la respiration endogène (respiration des bactéries) et par la réaction de nitrification qui exige une demande théorique en oxygène de 4,2 mgO<sub>2</sub>/mg N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) [4]. Les réactions de consommation d'oxygène se décomposent de la manière suivante :

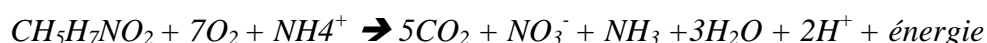
Bilan de la nitrification :



Bilan de respiration endogène : CH<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub> représente la matière cellulaire [4]



Bilan général: nitrification + respiration endogène :



Les valeurs calculées pour les digestats sont présentées dans le tableau 3.

**Tableau 3. Besoins en oxygène**

	Agri1	Agri2	BIOD	TERR
Dégradation de la matière organique (gO <sub>2</sub> /L)	14,2	3,6	8,8	5,5
Besoin nitrification (gO <sub>2</sub> /L)	19,8	12,2	9,4	18,4
Besoin en O <sub>2</sub> Total (gO <sub>2</sub> /L)	<b>34,1</b>	<b>15,8</b>	<b>18,2</b>	<b>24,0</b>

Les digestats Agri1 et BIOD, les plus chargés en matière organique, ont des besoins en oxygène équilibrés entre la nitrification et la dégradation de la matière organique. Tandis que pour les digestats moins chargés, la demande en oxygène provient majoritairement de la nitrification.

Enfin, il est nécessaire de bien contrôler l'apport en oxygène car une anoxie du milieu provoquerait la perte des éléments azotés par dénitrification. La dénitrification étant le processus de réduction des nitrates (ou nitrites) en azote moléculaire (N<sub>2</sub>) et/ou oxydes d'azote gazeux (N<sub>2</sub>O, NO) [3].

De même, **le pH** est un élément à contrôler car s'il devient trop acide, cela entraînera une augmentation de la concentration en acide nitreux (HNO<sub>2</sub>) qui peut alors devenir inhibiteur pour la nitrification [3]. Pour optimiser la réaction, le pH doit être compris entre 7,5 et 8,5 (plage de pH de la nitrification) afin que l'équilibre NH<sub>4</sub><sup>+</sup> / NH<sub>3</sub> soit en faveur de la forme ammoniacale.

**L'alcalinité** s'avère alors être également un facteur important à considérer puisqu'il permet la neutralisation des ions H<sup>+</sup> libérés lors de la réaction de nitrification. D'après le mémento technique de l'eau, le ratio de neutralisation des ions H<sup>+</sup> est de 7,2mg d'alcalinité (exprimée en CaCO<sub>3</sub>/mg de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) [4]. Les valeurs calculées pour les digestats sont reportées dans le tableau 4.

**Tableau 4. Besoins en alcalinité**

	Agri1	Agri2	BIOD	TERR
Besoin en alcalinité (gCaCO <sub>3</sub> /L)	34,0	20,9	16,1	31,6
Disponibilité en alcalinité (gCaCO <sub>3</sub> /L)	54,7	17,1	15,5	20,6

Seul le digestat Agri1 a une alcalinité suffisante pour répondre aux besoins de la nitrification. Cependant, pour Agri2 et BIOD, la disponibilité en alcalinité n'est que légèrement inférieure aux besoins estimés, la nitrification pourra donc probablement être réalisée en majorité sans régulation externe. Le digestat TERR présente un manque important d'alcalinité qui va devoir être compensé par un apport de soude afin d'éviter l'acidification du milieu.

### 4.1.3 Conclusions

L'étude des propriétés des digestats, suite à leur caractérisation, permet de déterminer les échantillons les plus adaptés à subir une nitrification en phase expérimentale.

Le digestat Agri1 présente des concentrations élevées en MS et DCO, au-dessus des résultats habituellement rencontrés dans la littérature, et ne semble donc pas représentatif des digestats « classiques ». BIOD, de par la nature de ses intrants, présente moins d'intérêt car nous voulons cibler des substrats d'origine agricole.

Les digestats Agri2 et TERR, plus représentatifs en termes de concentration et d'origine majoritaire d'intrants agricoles, ont donc été retenus pour la suite de l'étude. De plus, ils présentent les potentiels de dénitrification les plus faibles. Cependant, leur disponibilité en alcalinité n'est pas suffisante, mais facilement compensable par ajout de soude.

## 4.2 Résultats des essais de nitrification

Les procédés de concentration actuels présentant de nombreuses contraintes, des essais de nitrification des digestats Agri 2 et TERR ont été réalisés dans l'optique de transformer l'ammonium en nitrates et d'abaisser le taux de matières organiques résiduelles.

Les expérimentations ont été conduites en réacteurs aérés de 10L (6L de volume utile, 4 à 6 mgO<sub>2</sub>/L) à 25°C durant 7 semaines. Les concentrations en oxygène et les valeurs du pH au cours du temps ont été enregistrées. Une régulation du pH a été installée pour rester en dessous de 7,5. Le réacteur a étéensemencé avec des boues activées nitrifiantes en provenance du bassin d'aération d'une exploitation agricole.

L'étude du devenir de l'azote nécessitant la quantification de ses différentes formes, les concentrations en ammonium, nitrites et nitrates ont été mesurées de façon hebdomadaire sur les digestats nitrifiés dès le début des expérimentations.

### 4.2.1 La montée en charge des réacteurs

Comme le réacteur est initialementensemencé avec des boues provenant d'un autre réacteur et diluées avec de l'eau, une période d'adaptation et d'alimentation avec le substrat étudié est nécessaire afin d'atteindre un équilibre permettant de considérer que l'effluent de sortie du réacteur correspond bien au substrat étudié nitrifié. Cette phase s'appelle la montée en charge. Théoriquement, une phase d'alimentation au débit nominal correspondant à 3 fois le temps de séjour est nécessaire pour atteindre cet équilibre. Dans notre cas, le débit nominal était atteint au

bout de la 4<sup>ème</sup> semaine et le temps de séjour étant de 8-9 jours, l'équilibre théorique devrait être atteint au bout des 6-7<sup>ème</sup> semaines.

L'évolution des caractéristiques de l'effluent a été utilisée pour déterminer la période de pseudo-équilibre pendant laquelle nous avons ensuite discuté les résultats (Figures 7 et 8).

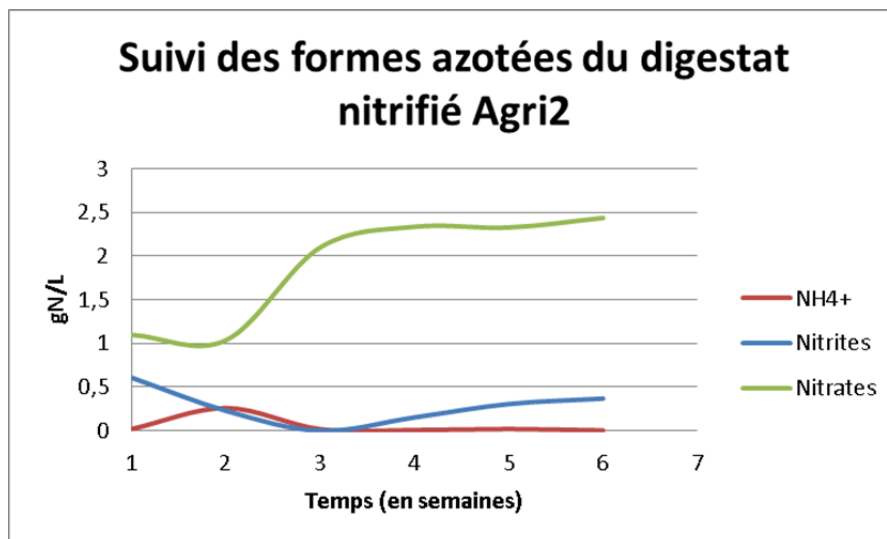


Figure 7. Suivi des formes azotées du digestat nitrifié Agri 2

Au cours de la montée en charge du réacteur traitant le digestat Agri2, on observe une augmentation progressive de la concentration en nitrates jusqu'à 2,3-2,4 gN/L à partir de la semaine 4. En parallèle, on observe une concentration nulle en  $\text{NH}_4^+$  à partir de cette 4<sup>ème</sup> semaine et la concentration en nitrites varie de 0,2 à 0,4 gN/L. La concentration quasi-nulle en sortie de réacteur pour une concentration en ammonium de 2,9 gN/L dans le digestat d'alimentation démontre bien que l'ammonium a été transformé, et pour une grande majorité jusqu'à la forme nitrate.

Nous considérons que la stabilité du réacteur est atteinte en semaine 5.

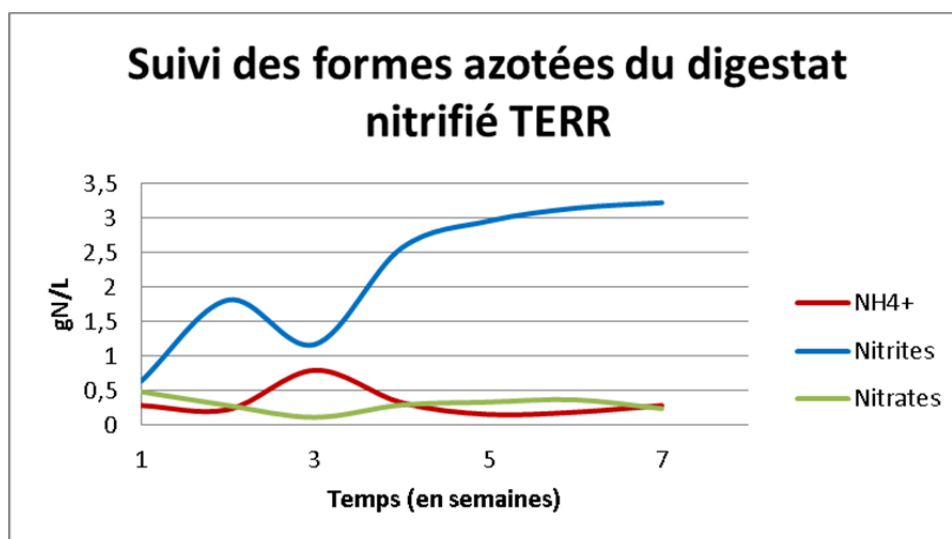


Figure 8. Suivi des formes azotées du digestat nitrifié TERR

Pour la montée en charge du réacteur traitant le digestat TERR, on observe une augmentation progressive de la concentration en nitrites. Cette augmentation ralentie à partir de la semaine 5 mais



semble toutefois se poursuivre sur toute la durée de l'étude. En parallèle, les concentrations en  $\text{NH}_4^+$  et nitrates sont relativement stables à partir de la 5<sup>ème</sup> semaine autour de 0,2-0,4 gN/L. Nous constatons ainsi que l'ammonium, dont la quantité était de 4,4 gN/L dans le digestat d'alimentation, a été transformé presque en totalité. Cependant, la nitrification n'a que très peu abouti à la formation de nitrates, donnant lieu à une accumulation de nitrites. Cela démontre que la première étape de la nitrification, l'oxydation de l'ammonium en nitrites, a bien été effectuée, mais que la seconde étape (la nitratisation) semble avoir été inhibée. Cette inhibition peut s'expliquer par différentes hypothèses [3] :

- L'accumulation des nitrites pourrait être provoquée par une limitation en  $\text{CO}_2$ , élément indispensable au développement des bactéries nitrifiantes, qui intervient plus rapidement sur la nitratisation que sur la nitrification.
- L'accumulation des nitrites pourrait être due à un manque d' $\text{O}_2$ . Cependant, les enregistrements montrent que les concentrations en  $\text{O}_2$  sont suffisamment élevées pour assurer la nitrification. L'oxygène n'est donc pas le paramètre limitant.

D'autres hypothèses existent mais sont réfutées dans notre cas. En effet, le pH et la température sont des paramètres pouvant entraîner des inhibitions mais ils ont été régulés sur le réacteur pilote pour rester dans les plages optimales de la nitrification. De même, une accumulation de nitrites peut être causée par une réaction de dénitrification (transformation des nitrates en nitrites puis en gaz azoté). Cependant, la dénitrification n'est réalisable qu'en anaérobie et l'expérimentation s'est déroulée en aérobie.

De plus, nous observons en semaine 3 une concentration résiduelle en  $\text{NH}_4^+$  importante. Le pH qui n'a pas été régulé durant cette semaine, suite à un problème au niveau de la commande informatique, pourrait expliquer ce résultat. La soude n'étant plus ajoutée au réacteur, le milieu s'est acidifié jusqu'à atteindre un pH de 6,5. La plage de pH optimale de la nitrification étant comprise entre 7,5 et 8,5, les bactéries ont dû s'adapter à un pH plus acide ralentissant de ce fait la cinétique de la réaction.

Comme pour Agri2, nous considérons cependant que le régime permanent est établi à partir de la semaine 5.

#### **4.2.2 Les transformations de l'azote**

Les bilans en azote sont effectués afin de vérifier si les charges azotées initiales sont bien retrouvées en sorties des réacteurs. Ces bilans sont basés sur les moyennes des résultats obtenus sur la période de stabilité des réacteurs, soit les semaines 5-6 pour Agri2 et 5-6-7 pour TERR (Tableau 5).

**Tableau 5. Les transformations en azote des digestats Agri2 et TERR**

	Agri 2	TERR
Charges initiales en NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (gN/L)	2,9	4,39
Fractions azotées en sortie (gN/L)		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,0	0,2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,3	3,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,4	0,3
Sommes des fractions en sortie	2,7	3,6

Pour le digestat Agri2, 93% de l'ammonium est retrouvé sous formes oxydées en sortie de réacteur alors qu'on ne retrouve que 82% de l'azote sous forme minérale en sortie du réacteur traitant le digestat TERR. Dans les 2 cas, les bilans ne bouclent pas. Ces pertes peuvent s'expliquer de différentes façons dont la première est l'utilisation de l'azote par les bactéries pour leur croissance. La seconde explication est qu'une partie de l'azote serait émise sous forme gazeuse. Ainsi, des émissions d'ammoniac et/ou de protoxyde d'azote pourraient expliquer ces pertes azotées. Cependant, le dispositif expérimental étant une enceinte ouverte, il n'a pas été possible de recueillir du gaz pour l'analyser. Ces pertes sont plus conséquentes chez TERR que chez Agri 2.

Il est important de noter que lors de l'expérimentation, plus on se rapproche de la stabilité et plus les valeurs en sorties tendent à rejoindre celles de la charge initiale.

#### 4.2.3 La dégradation de la matière organique

La matière organique contribuant au colmatage des procédés de séparation/concentration, nous avons voulu voir si la nitrification pouvait aussi conduire à une réduction du taux de matière organique des digestats.

Un suivi de la demande chimique en oxygène (DCO) a été réalisé de façon hebdomadaire sur les digestats nitrifiés. Les mesures de DCO ont été effectuées à la fois sur la fraction totale du digestat nitrifié et sur la fraction soluble (analyse sur le surnageant après une étape de centrifugation). Les données présentées tableau 6 sont basées sur les moyennes obtenues sur la période de stabilité des réacteurs.

**Tableau 6. Dégradation de la matière organique des digestats**

	Agri 2	TERR
Digestats alimentation		
DCO totale (gO <sub>2</sub> /L)	46,3	15,3
DCO soluble (gO <sub>2</sub> /L)	11,0	8,9
Digestats en sortie		
DCO totale (gO <sub>2</sub> /L)	38,4	12,9
DCO soluble (gO <sub>2</sub> /L)	4,4	8,6

Dans les 2 cas, nous remarquons que la DCO est plus faible dans les digestats nitrifiés. Cela signifie que le procédé appliqué pour la nitrification contribue bien à la dégradation de la matière organique.

On observe également que la dégradation de la matière organique a principalement lieu dans la fraction soluble pour le digestat nitrifié Agri2 et dans la fraction solide pour le digestat nitrifié TERR.

La nitrification participe à la dégradation de 20 à 30% de la matière organique, mais nous ne pouvons dire ici si un tel résultat aurait un impact significatif ou non sur la diminution des risques de colmatage.

#### 4.2.4 Conclusion

Suite aux expérimentations, nous pouvons conclure à la faisabilité technique d'une réaction de nitrification sur le digestat Agri2. Cependant, les expériences sur le digestat TERR ayant conduit à une accumulation de nitrites, il faudrait trouver au préalable les causes de l'inhibition de la nitrification pour pouvoir conclure sur sa faisabilité.

En plus de l'oxydation de l'ammonium, le procédé appliqué présente l'avantage de dégrader une partie de la matière organique pouvant contribuer à limiter les risques de colmatage lors des procédés de séparation/concentration.

### 4.3 Résultats sur la stabilité des digestats nitrifiés

Une étape de stockage du produit en aval de la nitrification et en amont d'un procédé de concentration étant indispensable au fonctionnement d'une filière de traitement, il est nécessaire de s'assurer que l'azote nitrifié reste sous forme nitraté au cours du temps.

Afin d'étudier la stabilité des digestats nitrifiés, l'évolution des concentrations en nitrites, nitrates et ammonium, ainsi que la dégradation de la matière organique, ont été suivies pendant 10 jours. De même, la production de protoxyde d'azote a été mesurée en fin d'expérience afin de rechercher une éventuelle dénitrification partielle. Ces évolutions sont présentées sur les figures 9 et 10.

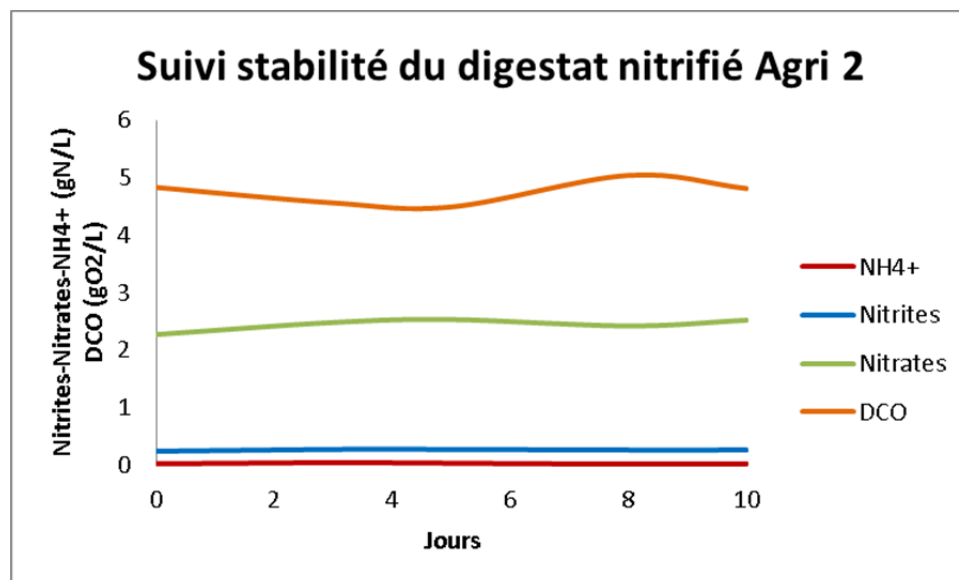


Figure 9. Suivi de la stabilité du digestat nitrifié Agri2

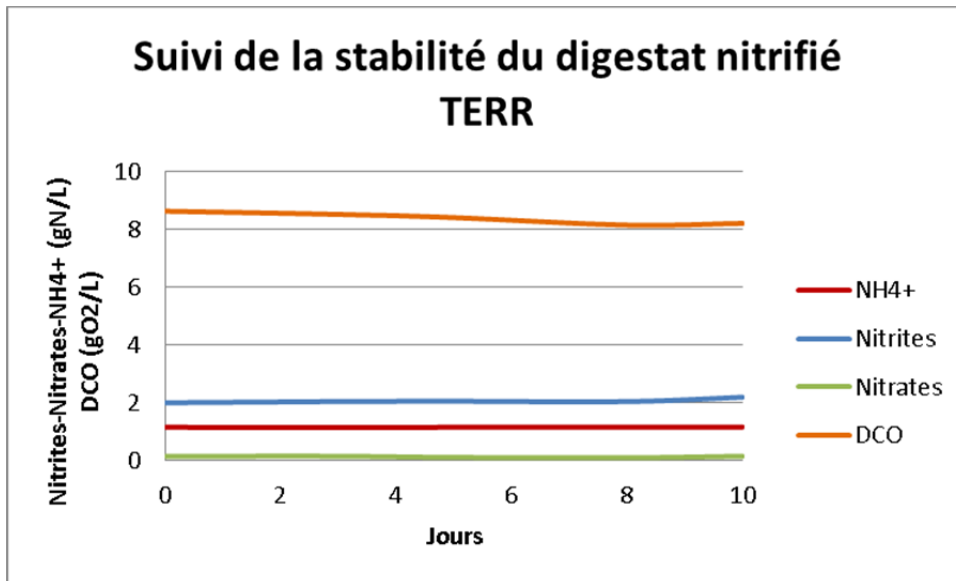


Figure 10. Suivi de la stabilité du digestat nitrifié TERR

Nous observons que la composition des digestats nitrifiés reste relativement stables au cours du temps, tant au niveau des formes azotées que de la charge en matière organique (DCO).

Cependant, l'analyse de la composition des gaz nous permet de dire qu'il y a eu une minime évolution des formes azotées puisque nous observons une faible production de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) pendant la durée de l'expérience. En effet, le dernier jour, nous mesurons une quantité de 507 ppm de  $N_2O$ , soit une production correspondant à 0,06% de l'azote contenu initialement dans le digestat nitrifié Agri2. De même, pour TERR, nous obtenons une quantité de 1688 ppm, soit une production de  $N_2O$  correspondant à 0,13% de l'azote contenu initialement dans le digestat nitrifié.

## 5 Conclusions et perspectives

Suite aux expérimentations, nous pouvons conclure à la faisabilité de l'oxydation biologique de l'ammonium des digestats liquides. Cependant, suivant les digestats, la nitrification n'aboutit pas toujours à la formation de nitrates et donne lieu à une accumulation de nitrites. La cause en serait l'inhibition de la nitrification, seconde étape de la nitrification, soit par un paramètre limitant, soit par un composant du digestat. Des expériences complémentaires restent à mettre en œuvre pour définir cette inhibition.

De même, les résultats sur la stabilité des digestats sont concluants puisque les formes azotées restent relativement stables durant la période de stockage expérimentale.

Cependant, bien que nous ayons conclu à la faisabilité de l'oxydation biologique de l'ammonium des digestats à l'échelle laboratoire, il reste encore à étudier sa faisabilité à plus grande échelle et à justifier son intérêt d'un point de vue de la valorisation agronomique et du post-traitement.

Ainsi, pour poursuivre le projet, les digestats nitrifiés ont été envoyés à l'université de Montpellier, partenaire en charge des essais de traitements membranaires (Tâche 4.2.1.). Les résultats obtenus n'ont cependant pas montré d'impact significatif de la nitrification sur les rendements de filtration membranaire des digestats.

Du point de vue de la valorisation agronomique, il n'y a pas de forme idéale pour l'épandage des digestats puisque les nitrates entraînent des risques de pollution des sols par lessivage, tandis que l'ammonium contribue aux pluies acides par volatilisation en ammoniac. Il serait donc intéressant d'évaluer les risques de pollution liés à l'épandage des différentes formes azotées afin de situer la forme nitrifiée au sein de la filière, mais également pour orienter la valorisation agronomique. Aujourd'hui les engrais chimiques sont de type ammonitraté, soit un mélange d'ammonium et de nitrates.

A travers ce rapport nous avons pu constater la complexité de la filière de méthanisation au niveau de la valorisation de la charge azotée des digestats. De par sa production en énergie durable, la filière présente un potentiel de développement important, cependant les recherches doivent être poursuivies pour améliorer la mise en œuvre des procédés de post-traitement accessibles aux petites exploitations agricoles pour qui actuellement les installations de valorisation ne sont pas toujours rentables.



## 6 Références

- [1] BAKX, Toine., MEMBREZ, Yves., MOTTET, Adèle. *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 de l'OFEN 153470. Berne : Office fédéral de l'énergie, 2009, 93p.
- [2] UNIVERSITE DE LAVAL. Le cycle de l'azote. [Schéma] **In** : *site de l'université de Laval*. Disponible sur : <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/cycle.azote.html> (consulté le 14/08/2012)
- [3] BELINE, Fabrice. *Le traitement biologique aérobie du lisier de porc*. Rennes : Ateliers Cemagref, 2001, 134p.
- [4] *Mémento technique de l'eau*. 9<sup>ème</sup> éd. Rueil-Malmaison : Degrémont, 1989, Tome 1, 592p.

## Résumé

De par ses nombreux avantages, traitement des déchets organiques, production d'énergie et formation d'un résidu fertilisant (le digestat), la méthanisation présente un intérêt majeur pour faire face à l'épuisement des ressources fossiles. L'attention se porte actuellement sur la valorisation du digestat liquide qui, très chargé en azote ammoniacal, ne peut être épandu de la sorte dans les zones d'agriculture et d'élevage intensif où les sols sont en excès azoté. Le digestat liquide devra alors subir un post-traitement pour concentrer l'azote afin de l'utiliser comme engrais naturel dans les zones en carence. Les procédés de concentration existants étant coûteux et complexes, des recherches sont en cours pour limiter leurs contraintes. Ainsi, ce rapport présente l'étude de la faisabilité et de l'intérêt de l'oxydation biologique de l'ammonium (nitrification) des digestats liquides dans le but de faciliter la mise en œuvre des procédés de concentration.

## Abstract

Due to its many advantages, organic waste treatment, energy production and formation of fertilizer residue (digestate), anaerobic digestion presents a major interest to deal with the depletion of fossil resources. The focus is currently on the valuation of liquid digestate, due to its high content of nitrogen, because it cannot be applied in this way in areas where soils are overloaded with nitrogen. The liquid digestate should then undergo post-treatments to concentrate nitrogen for use as a natural fertilizer in areas deficiency. Existing concentration processes being expensive and difficult to implement, research is underway to limit constraints. Thus, this report presents the study of the feasibility and relevance of the biological oxidation of ammonium for liquid digestate treatment in order to facilitate the implementation of concentration processes.

[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)

