Cerema

AGENCE DE L'EAU ARTOIS-PICARDIE

Etablissement public du Ministère chargé du développement durable

Lutte contre la Renouée

Recherche d'une filière de valorisation



Novembre 2018

Bordereau documentaire

Identification du document

Type de document : Rapport exploratoire	**Référence SIGMA :** C17NB0103 **Référence Agence de l'Eau :** 3061000 – action n°2
Date : 22/11/2018	**Numéro de version :** 2 **Nature :** ☐ Intermédiaire / ☒ Final
Titre : Lutte contre la Renouée	
Sous-titre : Recherche d'une filière de valorisation	
Rapport réalisé avec la participation financière de : Agence de l'Eau Artois-Picardie Stéphane Jourdan, chef du service milieux aquatiques et maîtrise d'ouvrage Centre Tertiaire de l'Arsenal 200, rue Marceline B.P. 80818 - 59508 DOUAI CEDEX 03 27 99 90 00 s.jourdan@eau-artois-picardie.fr	
Auteur :	Anne-Claire De Rouck / AMNB / Chargée d'études Biodiversité et Aménagement / anne-claire.de-rouck@cerema.fr / 0320496319
Contributeurs :	Florian Fournier / AMNB / Chargé d'études Biodiversité et Aménagement Christophe Pineau / Cerema Ouest / Département Transition Territoriale Bénedicte Noyon / DIR Nord / Service des Politiques et Techniques Mitra Tehranchi, Yves Le Roux / Association Synergie Plantes Invasives Grand Est (SPIGEst)

Diffusion :

☐ Confidentiel (diffusion réservée au Cerema)
☐ Diffusion restreinte (diffusion réservée en interne Cerema et AEAP)
☒ Diffusion libre

Historique des versions

Version	Date	Commentaire
0	15/10/18	Version provisoire, en cours de rédaction
1	18/11/18	Version provisoire, pour relecture interne
2	22/11/18	Version finale

Propriété intellectuelle

Conformément au code de la propriété intellectuelle, les livrables produits par le Cerema sont la propriété de leur auteur : droits moraux aux personnes physiques nommément désignées sur le rapport, droits patrimoniaux au Cerema.

En conséquence, un exemplaire du rapport sera conservé à la documentation du Cerema pour une exploitation à des fins méthodologiques.

Ces dispositions légales vous engagent à respecter l'obligation minimale de citation de l'auteur dans toutes vos communications impliquant notre production. De son côté, le Cerema s'engage à toujours citer le demandeur en tant qu'organisme ayant financé l'étude.

Indépendamment de ces obligations minimales, des spécifications particulières visant à l'application du droit d'auteur (procédé et conditions de divulgation) peuvent être indiquées lors de la transmission du document final.

Sauf mention contraire, les photographies présentes dans ce rapport ont été réalisées par les membres du groupe AMNB.

Certification Qualité

Les prestations du Cerema Nord Picardie sont menées dans le respect de sa politique Qualité.

Le Cerema Nord Picardie est certifié ISO 9001 (version 2015) pour ses trois implantations (Siège, Sequedin et Saint-Quentin) depuis le 16 mars 2017.

Validations techniques et visas

	Rédaction	Contrôle interne	Approbation
Nom / Qualité	Anne-Claire De Rouck Chargée d'études	Florian Fournier Chargé d'études	Étienne Chermette Chef de Groupe
Date / Visa	Le 22/11/2018	Le 30/11/2018	Le 5/12/2018

Visa du Chef de département Territoires Écologie Énergie Risques

Date : 10/12/2018

Corinne LAMPIN

Résumé

Ce document explore la possibilité de valorisation par méthanisation des déchets de fauche des renouées, en se concentrant sur l'exemple de la DIR Nord.

L'étude montre qu'en fonction du statut déchet, considéré pour les déchets de fauche de renouées asiatiques, ces derniers peuvent et doivent être exportés depuis les sites de fauche, et que leur traitement doit consister prioritairement en une valorisation. Par ailleurs, elle souligne que le gisement de biomasse résultant de la fauche des renouées peut être pris en charge par des unités de méthanisation utilisant le procédé de méthanisation par voie humide.

Ce rapport propose une base de réflexion pour la mise en œuvre de solutions techniques par la DIR Nord pour la méthanisation. Ces solutions techniques respectent les impératifs des missions de gestion des dépendances routières tout en étant favorables au développement ou au maintien de la biodiversité.

Mots clés

EEE, gestionnaires de dépendances vertes, renouée asiatique, méthanisation, déchet, DIR Nord

Sommaire

Identification du document....1
Historique des versions....2
Propriété intellectuelle....3
Certification Qualité....4
Validations techniques et visas....4
Résumé....5
Mots clés....5

1. Introduction....11

1.1. Contexte....11

1.2. Objectif de l'étude....11

2. Caractérisation du gisement de déchets d'EEE végétales....12

2.1. Statut réglementaire....12

2.1.1. Déchet dangereux....12
2.1.2. Biodéchet....13

2.2. Particularités du gisement de déchets de renouées asiatiques....14

2.2.1. Stabilité et pérennité du gisement....14
2.2.2. Risques biologiques liés à l'exploitation du gisement et précautions d'exploitation....15

3. Méthanisation des renouées asiatiques....17

3.1. Principe de la méthanisation....17

3.1.1. Principe biologique....17
3.1.2. Intérêt de la méthanisation et mise en œuvre....17

3.2. Caractérisation chimique et pouvoir méthanogène des renouées asiatiques....18

3.2.1. Caractérisation chimique....18
3.2.2. Pouvoir méthanogène....19
3.2.3. Ensilage....21

3.3. Dangerosité du digestat....21

3.3.1. Innocuité du digestat....21
3.3.2. Utilisation du digestat....22

4. Faisabilité logistique de la méthanisation des stocks de

renouées de la DIR Nord.....23

4.1. Caractérisation du gisement.....23

4.2. Unités de méthanisation sur le territoire d'action de la DIR Nord.....24

4.2.1. Implantation des CEI.....24

4.2.2. Implantation des unités de méthanisation.....25

4.2.3. Stockage intermédiaire.....25

4.3. Coûts à prendre en compte.....27

4.3.1. Chantier de fauche-broyage avec aspiration.....27

4.3.2. Transport.....28

4.3.3. Autres coûts.....28

4.3.4. Gains et services apportés par la valorisation des déchets de fauche des renouées asiatiques.....28

5. Conclusions, recommandations et perspectives.....30

Bibliographie.....32

Annexes.....35

Annexe 1 : Extrait de la base de données issues de l'inventaire des foyers de renouées asiatiques pour la DIR Nord.....35

Annexe 2 : Complément cartographique sur les unités de méthanisation.....36

Index des illustrations

Illustration 1 : Déchets de fauche de renouée laissés sur place après la fauche.....13
Illustration 2 : Cycle végétatif des renouées asiatiques [Issu de (Chanudet-Buttet, 2017)].....14
Illustration 3 : Répartition des effluents et déchets dans les différents types d'unités de méthanisation présents sur le territoire de la DIR Nord [Adapté de (Moletta, 2012 ; Bastide, 2015 ; Sinoe, 2018)].....18
Illustration 4 : Production de méthane par tonne de Renouée du Japon "fraîche" [Issu de (Le Roux et al., 2016)].....20
Illustration 5 : Production de méthane par tonne de maïs d'ensilage [Issu de (Le Roux et al., 2016)]....20
Illustration 6 : Conception d'ensilage pour la Renouée du Japon : fauche-collecte, broyage et ensilage [Issu de (Le Roux et al., 2016)].....21
Illustration 7 : Germination des akènes témoins de renouée de Bohème [Issu de (Le Roux et al., 2016)]21
Illustration 8 : Carte des foyers de renouées asiatiques recensés en 2018 sur le territoire de la DIR Nord [Données fournies par la DIR Nord].....23
Illustration 9: Carte d'implantation des CEI sur le territoire de la DIR Nord.....24
Illustration 10 : Carte des implantations d'unités de méthanisation sur le territoire de la DIR Nord [Issu de (Sinoe, 2018)].....25
Illustration 11 : Carte des unités de méthanisation à la ferme incluses dans un rayon de 20 ou 30km autour des foyers de renouées.....26
Illustration 12 : Carte des unités de méthanisation à la ferme incluses dans un rayon de 20 ou 30km autour des CEI.....26
Illustration 13 : Schéma de la démarche type en vue de réaliser des fauches de renouée asiatique avec exportation pour valorisation par méthanisation.....30

Index des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques de la Renouée du Japon (Fallopia Japonica) [Issu de (Le Roux et al., 2016)].....19
Tableau 2 : Impact de la méthanisation sur la germination d'akènes et sur la reprise végétative de rhizomes [Issu de (Le Roux et al., 2016)].....22

Liste des sigles et abréviations

Sigle / abréviation	Signification
ADF	Acid Detergent Fiber
ADL	Acid Detergent Lignin
BMP	Biochemical Methane Potential
CBNBL	Conservatoire Botanique National de Bailleul
CEI	Centre d'Exploitation et d'Intervention
CEN	Conservatoire d'Espaces Naturels
CH_4	Méthane
DIR	Direction Interdépartementale des Routes
EEE	Espèces exotiques envahissantes
FOS/TAC	Quantité d'acides gras volatils formés par rapport au pouvoir tampon du milieu
GES	Gaz à Effet de Serre
NDF	Neutral Detergent Fiber
SPIGEst	Synergie Plantes Invasives Grand-Est

1. Introduction

1.1. Contexte

Les réseaux d'infrastructures de transport ainsi que leurs dépendances sont des espaces propices à la prolifération des espèces exotiques envahissantes (EEE) (Pineau, Moulin, 2016), et notamment des renouées asiatiques : Renouée du Japon (*Fallopia japonica*), Renouée de Sakhaline (*Fallopia sachalinensis*) et Renouée de Bohème (*Fallopia x bohemica*). Aussi, la gestion des différents risques liés à ces espèces (appauvrissement de la biodiversité, sécurité routière…), constitue aujourd'hui une responsabilité pour tous les gestionnaires privés et publics (gestionnaires d'autoroutes, de réseaux ferrés, Directions Interdépartementales des Routes (DIR), communes…).

Dans le cadre d'un travail sur la recherche de filières de valorisation des renouées, le Cerema a choisi comme gestionnaire « test » la DIR Nord. En effet, des travaux sont en cours pour homogénéiser les pratiques de gestion sur son réseau, en se concentrant sur les méthodes les plus adaptées aux contraintes de sécurité, tout en facilitant le travail des équipes par la définition de protocoles standardisés.

Ainsi, jusqu'à aujourd'hui, des expérimentations de bâchage et d'écopaturage ont été mises en œuvre sur certains sites. Pour le reste des sites, la technique privilégiée est le fauchage, et les coupes sont laissées sur place. Dans le cadre d'une gestion raisonnée des bords de routes et de la promotion de l'économie circulaire, il serait logique de valoriser ces coupes. Par ailleurs, leur exportation permettrait de limiter les risques de développement périphérique des massifs (pas de risque de reprise de cannes déposées en lisière).

1.2. Objectif de l'étude

Dans ce contexte, ce document a donc pour objectif d'explorer la possibilité de valorisation par méthanisation des déchets de fauche des renouées, en se concentrant sur l'exemple de la DIR Nord.

Pour ce faire, l'étude portera sur la possibilité légale de valoriser les fauches et envisagera donc le statut réglementaire des déchets de plantes invasives en général. Les caractéristiques particulières d'un gisement potentiel de renouées asiatiques seront également détaillées, ainsi que les précautions nécessaires à son exploitation.

L'étude s'intéressera également à la faisabilité technique de la méthanisation des renouées : pouvoir méthanogène, impact sur le processus de méthanisation, utilisations potentielles et dangerosité des produits…

Enfin, les modalités de mise en œuvre d'une telle valorisation par les services de la DIR Nord seront déterminées en fonction des différentes contraintes logistiques recensées dans les deux premières parties, ainsi que des caractéristiques du territoire à l'étude.

2. Caractérisation du gisement de déchets d'EEE végétales

2.1. Statut réglementaire

L'article L541-1-1 du code de l'environnement définit un déchet comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ».

La loi n° 2015-992 relative à la transition énergétique pour la croissance verte fixe les grands objectifs à atteindre et les orientations à prendre pour une meilleure gestion des déchets, mais ne définit pas les catégories de déchets.

Néanmoins, l'article R541-8 du Code de l'environnement définit deux catégories dans lesquelles il est possible de classer les déchets d'EEE végétales :

- les déchets dangereux, définis comme « tout déchet qui présente une ou plusieurs des propriétés de dangers énumérées à l'annexe III de la directive 2008/09/CE relative aux déchets ». Ces déchets sont signalés par un astérisque dans l'article R541-7,
- les biodéchets, définis comme « tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc, tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation des denrées alimentaires ».

Les objectifs évoqués plus haut et les procédures de traitement pour ces deux types de déchets sont différents, et il n'est nulle part mentionné spécifiquement à quel type appartiennent les déchets d'EEE végétales (Pineau et al., 2017). **Aussi, il est nécessaire de déterminer la catégorie de déchets dans laquelle seront placés les déchets de fauche des renouées dans la suite de cette étude.**

2.1.1. Déchet dangereux

L'annexe III de la directive 2008/09/CE relative aux déchets définit les différentes propriétés de danger (caractéristiques possibles) faisant d'un déchet un déchet dit « dangereux ».

Les propriétés H4 (« Irritant »), H5 (« Nocif »), H6 (« Toxique »), et H13 (« Sensibilisant ») peuvent caractériser les déchets de certaines espèces invasives, comme la Berce du Caucase (*Heracleum mantegazzianum*), qui provoque une irritation de contact, le Datura officinal (*Datura stramonium*), qui contient des alcaloïdes neurotoxiques, ou l'Ambroisie à feuilles d'armoise (*Ambriosa artemisiifolia*), dont le pollen est allergisant.

Il est cependant important de noter que des déchets d'espèces non invasives peuvent être caractérisés de la sorte, sans pour autant faire l'objet de traitement de déchets dangereux (Vial, 2014).

Concernant les renouées asiatiques, la seule propriété de danger pouvant permettre de classer les déchets de fauche dans la catégorie des déchets dangereux est la propriété H14, « Écotoxique[1] ». En effet, les déchets de fauche contiennent des rhizomes et/ou des akènes qui permettent une reprise de l'espèce, créant ainsi un risque pour les écosystèmes locaux lors du transport, du sockage ou de la valorisation.

L'absence de catégorisation explicite du type de déchet représenté par les déchets d'EEE végétales rend donc possible leur interprétation en tant que déchet dangereux. **Néanmoins, et au regard des considérations du paragraphe 2.2.2.2, nous considérerons que les plantes invasives et les déchets associés ne sont pas des déchets dangereux au titre de l'article L541-8 du Code de l'environnement.**

[1] Toxique pour les écosystèmes.

2.1.2. Biodéchet

Les déchets d'EEE végétales peuvent également être catégorisés comme biodéchets selon la définition en 2.1. Dans ce cas, quel traitement appliquer au déchet en question ?

L'article L541-21-1 du Code de l'environnement prévoit qu'« à compter du 1er janvier 2012, les personnes qui produisent ou détiennent des quantités importantes de déchets composés majoritairement de biodéchets sont tenues de mettre en place un tri à la source et une valorisation biologique ou, lorsqu'elle n'est pas effectuée par un tiers, une collecte sélective de ces déchets pour en permettre la valorisation de manière à limiter les émissions de gaz à effet de serre et à favoriser le retour au sol. ». En effet, depuis le 1er juillet 2002, seuls les déchets ultimes peuvent être admis en installations de stockage.

De plus, l'article L541-2 précise que « tout producteur ou détenteur de déchets est tenu d'en assurer ou d'en faire assurer la gestion, conformément aux dispositions du présent chapitre[,] […] est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, même lorsque le déchet est transféré à des fins de traitement à un tiers [et] […] s'assure que la personne à qui il les remet est autorisée à les prendre en charge. ». L'abandon de déchets (même biodégradables) constitue une infraction au sens du Code pénal (articles R632-1 et R635-8).



Illustration 1 : Déchets de fauche de renouée laissés sur place après la fauche.

Les débris d'un chantier de fauchage d'EEE végétales ne doivent donc pas être laissés sur place, même s'ils ne présentent pas de danger pour l'écosystème.

Enfin, le brûlage à l'air libre des déchets verts a été interdit par la circulaire du 18 novembre 2011, et l'enfouissement sur site n'est pas recommandé du fait de l'émission non controlée par fermentation de GES (Gaz à Effet de Serre) (Vial, 2014).

Par conséquent, les déchets de fauchage ont vocation à être recyclés ou valorisés, comme prévu par le Code de l'environnement dans la hiérarchisation des modes de traitement des déchets.

Il ressort donc de cette analyse la faisabilité réglementaire de la valorisation par méthanisation des déchets de fauche des renouées asiatiques.

2.2. Particularités du gisement de déchets de renouées asiatiques

À partir de ce chapitre, on considérera le gestionnaire « test » DIR Nord. Ainsi, les foyers de renouées asiatiques cités sont ceux recensés sur les emprises du réseau DIR, et les techniques de gestion auxquelles cette étude se réfère sont celles mises en œuvre par les différents Centre d'Exploitation et d'Intervention (CEI).

2.2.1. Stabilité et pérennité du gisement

2.2.1.1 Saisonnalité du gisement

Tout gisement de biomasse n'est disponible que lors de la période végétative propre à l'espèce considérée. De plus, des variations peuvent exister au cours de cette saison en fonction des conditions climatiques, ainsi que des techniques de gestion adoptées.

Les renouées asiatiques sont des plantes vivaces (illustration 2). Leurs parties aériennes flétrissent lors des premières gelées (au cours de l'automne en Hauts-de-France). Au cours de l'hiver, si elles n'ont pas été fauchées, les tiges desséchées subsistent. De nouvelles pousses issues des rhizomes émergent lors des premiers redoux. Ces pousses se développent au printemps et fleurissent à partir du mois de juillet et ce jusqu'aux premières gelées (Le Guen et al., 2010).

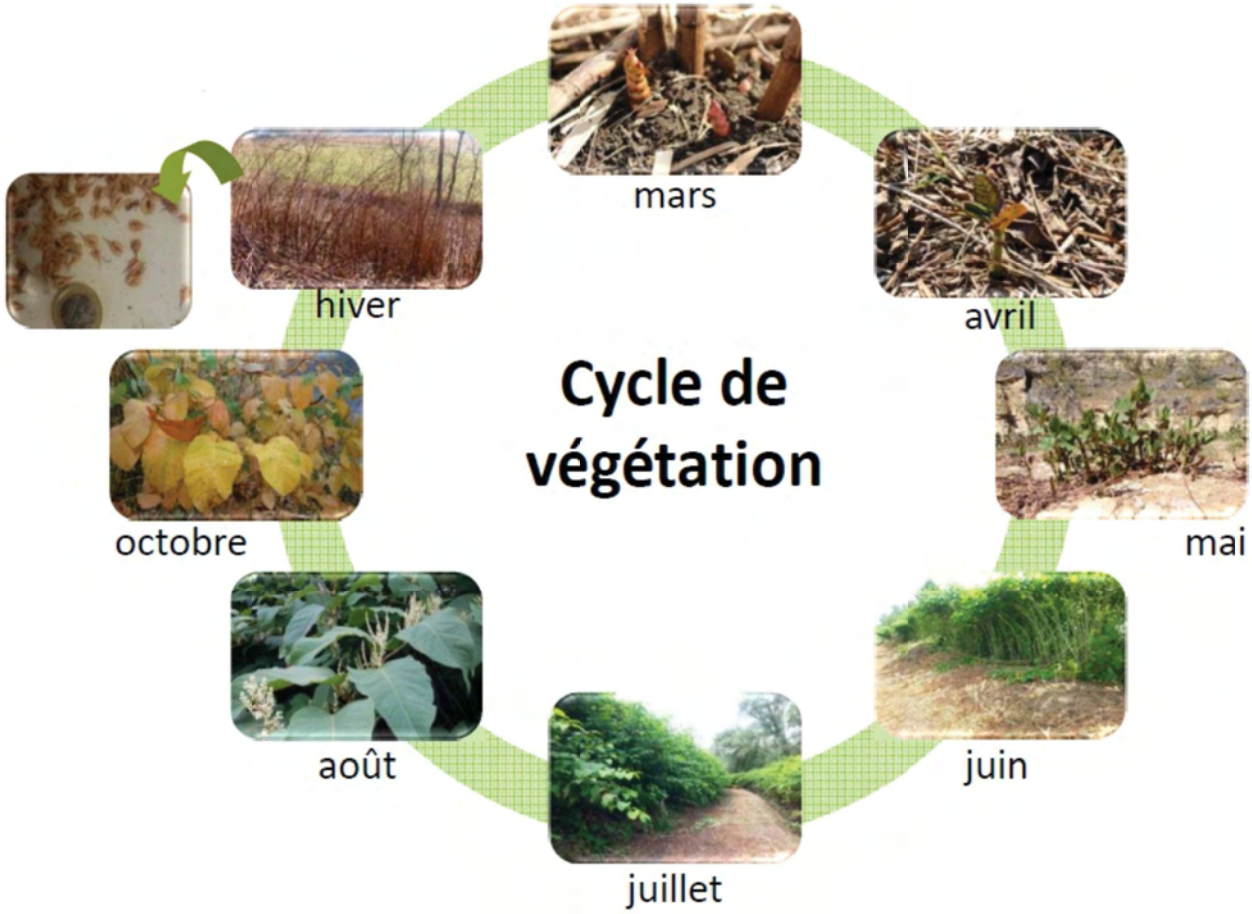


Illustration 2 : Cycle végétatif des renouées asiatiques [Issu de (Chanudet-Buttet, 2017)]

Ainsi, le gisement de renouées asiatiques n'est utilisable en tant que biomasse que d'environ mars à octobre, selon les conditions climatiques de l'année en cours.

De plus, les modalités adoptées pour la gestion (techniques et fréquence de fauche, par exemple), peuvent avoir une influence sur la reprise végétative, en termes de délais de reprise, ainsi que de masse fraîche disponible. **Le gisement, en plus d'être saisonnier, est donc variable au cours de cette saison.**

2.2.1.2 Pérennité du gisement

La DIR Nord est confrontée à la présence de plantes invasives sur son réseau et notamment à celle des renouées asiatiques. Ces espèces représentent une menace pour la biodiversité mais également pour la sécurité des usagers de la route.

Le fauchage est la technique de lutte la plus utilisée sur les renouées par les gestionnaires français. Dans une étude de Plante & Cité, 65% des personnes interrogées déclarent utiliser cette technique seule ou combinée à d'autres (Guerin et al., 2016). De plus, des expérimentations (Chanudet-Buttet, 2017 ; Tehranchi, 2018) ont montré l'effet de fauches répétées (toutes les 5 à 10 semaines) sur la visibilité routière, l'accès aux parcelles, ainsi que sur l'écosystème du site. La fauche répétée avec exportation pour valorisation par méthanisation paraît donc une solution idéale pour la gestion entreprise par la DIR, avec pour but la stabilisation, la régression, voire l'éradication des foyers de colonisation (DIR Nord, 2015).

Néanmoins, pour cette même raison de lutte, le gisement des déchets de fauche de renouées asiatiques est donc théoriquement voué à diminuer en volume, et dans l'idéal à se tarir. **Il est donc nécessaire de considérer cet apport uniquement à court et moyen terme, ou tout au moins dans des proportions inférieures ou égales à ses proportions actuelles.**

2.2.1.3 Caractérisation et connaissance du gisement local

Dans le cas de la DIR Nord, un inventaire des stations de renouées a été réalisé avec l'aide du Conservatoire Botanique National de Bailleul (CBNBL). Les données recueillies sont présentées en annexe 1.

Il est nécessaire, pour pouvoir mettre en place une filière de valorisation, de pouvoir évaluer la taille du gisement local mobilisable, en volume ou en poids. Il est important de noter par exemple que l'inventaire n'a pas été réalisé sur le réseau correspondant aux CEI de Champagne-Ardenne. De même, tous les foyers n'étant pas gérés selon la même technique (par exemple, la DIR Nord a mis en place de la gestion par écopâturage (DIR Nord, 2015)), et tous n'étant pas non plus accessibles au matériel de fauche, **la taille du gisement mobilisable est inférieure à la taille du gisement potentiel.**

2.2.2. Risques biologiques liés à l'exploitation du gisement et précautions d'exploitation

Comme décrit dans le paragraphe 2.1.1, le gisement considéré dans cette étude présente un caractère dangereux pour les écosystèmes. Sa valorisation doit donc se faire avec une grande prudence. Il est important que les opérations de fauchage n'engendrent pas l'apparition de nouveaux foyers d'EEE ou un développement des foyers existants.

2.2.2.1 Mode de dissémination des renouées asiatiques

Dans leurs aires d'introduction, les renouées asiatiques semblent pouvoir se reproduire par voie sexuée ou assexuée, avec toutefois des variations en fonction des populations (Le Guen et al., 2010).

- La reproduction sexuée par les akènes (graines) :

Il s'agit d'un phénomène complexe pouvant de plus impliquer l'hybridation. Néanmoins, il semblerait que les graines de certaines espèces soient viables mais que la germination soit très peu observée in situ (Le Guen et al., 2010 ; Tiébré et al., 2007).

Récemment, un entretien (Le Roux, Tehranchi, 2018) avec le président de l'association Synergie Plantes Invasives Grand-Est (SPIGEst) a confirmé que les akènes de la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*) étaient très peu fertiles, au contraire de la Renouée de Bohème (*Fallopia x bohemica*).

- La multiplication végétative :

Les renouées asiatiques sont capables de se régénérer par bouturage à partir des rhizomes et des tiges.

Brock et Wade ont montré que des individus viables peuvent être produits à partir de fragments de rhizomes aussi petit que 1cm (Brock, 2007). De même, des portions de tiges comprenant 1 à deux nœuds sont

capables de produire de nouveaux individus viables si elles sont immergées ou enterrées, mais le taux de régénération est très faible si elles ne sont que partiellement enterrées, et nul si elles sont déposées en surface (Brock, 2007).

Des travaux sur site, soutenus par des expérimentations en laboratoire, montrent également que la multiplication végétative se fait majoritairement à partir des rhizomes (70 % contre 30 % à partir des tiges) (Colleran, Goodall, 2014).

2.2.2.2 Effet du broyage sur la reprise végétative

En revanche, il ressort de l'entretien avec SPIGEst (Le Roux, Tehranchi, 2018), ainsi que des travaux de Le Guen (Le Guen et al., 2010 ; Le Roux, Tehranchi, 2018) que **le broyat de renouées asiatiques issu d'une épareuse, ainsi que le tissu internodal des tiges, n'ont pas de capacité de régénération.**

Ces éléments vont à l'encontre de la thèse, très répandue au sein des acteurs de terrain, qui présente le broyage des massifs de renouées comme un facteur de multiplication et d'extension des stations. En revanche, il convient de limiter les pratiques de broyage trop près du sol, fragmentant les rhizomes ou enterrant les résidus de broyage, ou de dispersion de morceaux de tiges à distance, laissées sur place dans des conditions favorables d'humidité autorisant un bouturage.

2.2.2.3 Précautions pour les opérations de fauchage

Considérant les éléments exposés dans les paragraphes 2.2.2.1 et 2.2.2.2, **il convient donc**, dans l'optique de réaliser des opérations de fauche avec exportation pour, d'une part, épuiser les foyers de renouées, et d'autre part, valoriser le broyat par méthanisation, **de maîtriser les conditions de réalisation des chantiers de gestion.**

Le Conservatoire d'Espaces Naturels (CEN) Centre (Vial, 2014) préconise les précautions suivantes :

- Les chantiers doivent être réalisés avant la période de fructification, afin de ne pas laisser l'opportunité à la plante de disséminer ses graines et d'élargir ses aires de répartition. Néanmoins, il convient de considérer malgré tout que les déchets, quels qu'ils soient, ne sont pas exempts de graines et par conséquent, de ne laisser sur le chantier aucun rémanent.
- Une fois le fauchage effectué, tout le matériel ayant servi au chantier (broyeur compris) doit être nettoyé (manuellement) afin d'en éliminer les éventuels fragments qui auraient pu s'y loger, étant donné les capacités de régénération des renouées. Il est également nécessaire de nettoyer les roues de tout véhicule présent sur le chantier avant sa sortie du site.

2.2.2.4 Précautions pour le transport et le stockage

De même, **concernant le transport, et malgré l'inertie du broyat** évoquée au paragraphe 2.2.2.2, **il est important de prendre des précautions**, également listées par le CEN Centre (Vial, 2014) :

- Les bennes de transport doivent être bâchées lors de l'acheminement vers les unités de méthanisation ou le site de stockage intermédiaire (et ce, quelle que soit la forme des déchets de fauche : tiges complètes ou broyat) afin qu'aucun fragment ne s'envole.
- Si un stockage intermédiaire est nécessaire avant la méthanisation, appliquer une bâche sur les tas de déchets afin d'éviter une dissémination par le vent, le ruissellement, le prélèvement animal ou les actes de malveillance. Si cela est nécessaire, faire de même lors du stockage en unité de méthanisation.
- S'assurer qu'aucun cours d'eau ne se trouve à proximité du lieu de stockage, car il s'agit d'une des voies principales de dissémination des fragments de tiges et de rhizomes pour les renouées.
- Ne pas confier les déchets à une plateforme de broyage, afin de ne pas perdre la traçabilité du déchet et de ne pas multiplier les intermédiaires avant la méthanisation.

3. Méthanisation des renouées asiatiques

3.1. Principe de la méthanisation

3.1.1. Principe biologique

La digestion anaérobie, ou méthanisation, est un mécanisme biologique de dégradation de la matière organique en anaérobie (absence d'oxygène et de molécules oxydées), réalisé par une communauté microbienne complexe. Elle produit un biogaz riche en méthane (CH_4), du gaz carbonique (CO_2), et un effluent appelé digestat, assimilable à de l'engrais organique. Ce digestat est composé des molécules organiques non dégradées et des composés minéraux.

Il s'agit d'un processus naturel qui se produit dans tous les écosystèmes où la matière organique se trouve en condition anaérobie : marais, lacs, mais aussi intestins des animaux, de l'Homme (Moletta, 2008).

3.1.2. Intérêt de la méthanisation et mise en œuvre

À l'origine utilisée pour la production d'énergie à partir des fumiers (années 1940), la méthanisation est aujourd'hui également une filière de traitement des effluents (industries agro-alimentaires, chimiques, pétrolières, agricoles) et des déchets solides (municipaux, agricoles et industriels) en développement depuis les années 1970 (Moletta, 2008).

On peut classer les intrants organiques dans quatre catégories, traités par cinq types d'unités de méthanisation sur le territoire de la DIR Nord.

3.1.2.1 Catégories de déchets traitables par méthanisation

Toutes les matières organiques sont susceptibles d'être ainsi décomposées, et quatre secteurs sont favorables à la méthanisation (Bastide, 2015) :

- Les déchets et effluents agricoles : déjections animales, résidus de récolte (pailles, spathes de maïs...), eaux de salle de traite, etc.
- Les déchets et effluents agro-industriels : déchets d'abattoirs, de caves vinicoles, de laiteries, fromageries, ou autres industries agro-alimentaires, chimiques et pharmaceutiques, etc.
- Les déchets municipaux : tontes de gazon, fraction fermentescible des ordures ménagères, triée à la source ou non, matières de vidange, etc.
- Les boues et graisses de station d'épuration.

Sur le territoire correspondant au réseau de la DIR Nord (Hauts-de-France et Champagne-Ardenne), on recense cinq types d'unités de méthanisation (Sinoe, 2018) qui permettent de traiter les intrants suivant la répartition décrite dans l'illustration 3.

Cette étude s'intéresse principalement à la méthanisation à la ferme (méthanisation par voie humide), en raison des travaux sur lesquels elle se fonde pour l'analyse de la faisabilité technique de la méthanisation des renouées. Néanmoins, on peut déduire de l'illustration 3, ainsi que des entretiens avec les auteurs des travaux cités ci-dessus (Le Roux, Tehranchi, 2018) que **les unités de méthanisation territoriales ou d'ordures ménagères pourraient également se prêter à la méthanisation des déchets de renouées.**

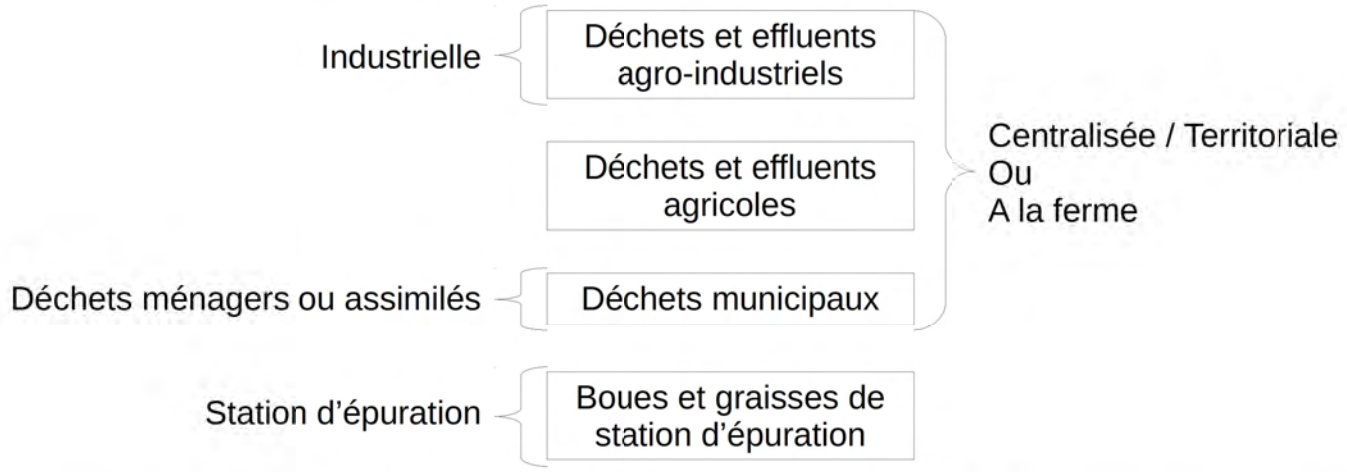


Illustration 3 : Répartition des effluents et déchets dans les différents types d'unités de méthanisation présents sur le territoire de la DIR Nord [Adapté de (Moletta, 2012 ; Bastide, 2015 ; Sinoe, 2018)]

3.1.2.2 Mise en œuvre de la méthanisation

Les éléments exposés aux paragraphes 2.1 et 2.2 permettent donc de conclure que **certains des foyers de renouées asiatiques gérés par la DIR Nord (renouées présentes en bord de route ou facilement accessibles, et sans proximité de cours d'eau) pourraient faire l'objet d'une valorisation par la méthanisation.** Par ailleurs, il a été montré la possibilité de valoriser les herbes de bord de route (hors espèces envahissantes) par la méthanisation sans qu'une accumulation de polluants (hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényles et éléments traces métalliques) n'ait été mesurée (Homeky, 2015 ; Zdanevitch et al., 2018).

Malgré des recherches approfondies, le Cerema n'a pas trouvé de travaux publiés concernant la valorisation par la méthanisation pour la renouée. Afin de renseigner la faisabilité technique de la méthanisation des renouées, cette étude se fonde donc sur les travaux de l'association SPIGEst (Le Roux, Tehranchi, 2018 ; Le Roux et al., 2016 ; Leroux, Chanudet-Buttet, 2016).

Afin de prouver cette faisabilité, il est nécessaire de s'intéresser aux caractéristiques chimiques, au pouvoir méthanogène ainsi qu'à l'absence de risque sur le potentiel de reprise végétative ou germinative après méthanisation des renouées asiatiques. La caractérisation chimique et la mesure du pouvoir méthanogène ainsi que l'évaluation de la reprise végétative (broyat, rhizomes et tiges) ont été réalisés sur la Renouée du Japon (F*allopia japonica*) et la reprise germinative a été testée sur la Renouée de Bohème (F*allopia x bohemica*), car elle est la seule à présenter des akènes fertiles (Le Roux, Tehranchi, 2018).

3.2. Caractérisation chimique et pouvoir méthanogène des renouées asiatiques

3.2.1. Caractérisation chimique

Le tableau 1 montre une composition de la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*) très différente (Le Roux et al., 2016) des biomasses utilisées ordinairement en complément des effluents d'élevage pour la codigestion (maïs, paille) : les parois végétales des tiges sont peu dégradables (l'ADF (Acid Detergent Fiber) est très élevée et très supérieure à la valeur de la paille). La teneur en ADL (Acid Detergent Lignin), fraction en théorie non-dégradable, est elle aussi très élevée dans la tige et les feuilles (14-16 %).

L'analyse de la composition chimique nous informe que la renouée au stade de végétation choisi pour la fauche a une matière sèche encore faible (20 %) mais des parois cellulaires peu dégradables avec une digestibilité cellulasique (dCs) très faible pour les tiges (28 %) et proche des valeurs de la paille pour les feuilles (40 %).

Néanmoins, la part de carbone non fermentescible importante serait un avantage dans le cas d'un retour au sol du digestat, évitant ainsi un appauvrissement des sols en carbone (Le Roux, Tehranchi, 2018).

	Matière sèche (%)	Matière organique (%)	Matières azotées totales (%)	NDF (%)	ADF ($g.100g_{MS}^{-1}$)	ADL ($g.100g_{MS}^{-1}$)	DCs (%)
Tiges	18,8	93,9	4,9	80,7	65,1	16,6	28,3
Feuilles	32	93,7	17,6	45,6	29,3	14,7	46,2
Maïs ensilage[1]	25	95,2	7,2	47,7	25	<2	70
Paille (orge)	88	92	3,8	79,8	50,4	10	30-40

NDF : Neutral Detergent Fiber (parois végétales totales), ADF : parois végétales difficilement dégradables = cellulose + lignine, ADL : lignine, dCs : digestibilité cellulasique

[1] Données INRA

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques de la Renouée du Japon (Fallopia Japonica) [Issu de (Le Roux et al., 2016)]

3.2.2. Pouvoir méthanogène

L'illustration 4 montre la production de méthane dans le temps pour une tonne de renouée du Japon « fraîche » broyée. Le pouvoir méthanogène (BMP : Biochemical Methane Potential) correspond à l'asymptote sur l'illustration 4 et est légèrement supérieur à $40Nm^3_{CH4}.T_{matière\ brute}^{-1}$, avec une vitesse maximale (coefficient directeur en début d'expérimentation) de digestion de $4m^3.j^{-1}.T_{matière\ brute}^{-1}$. La renouée ensilée présente un pouvoir méthanogène très similaire à la renouée fraîche (courbe non montrée).

Le pouvoir méthanogène du maïs d'ensilage (illustration 5) est égal à environ $110Nm^3_{CH4}.T_{matière\ brute}^{-1}$, avec une vitesse maximale de digestion de $10m^3.j^{-1}.T_{matière\ brute}^{-1}$. Cette valeur est environ 3 fois supérieure aux valeurs habituellement rencontrées pour la renouée du Japon. Les valeurs pour les ensilages d'herbe sont environs deux fois supérieures à celles de la renouée du Japon (Le Roux et al., 2016). Les faibles valeurs en matière sèche (20 %) et les parois végétales difficilement dégradables, voire totalement non-dégradables (dCs<40 %) de la renouée expliquent en grande partie son faible pouvoir méthanogène par rapport aux biomasses couramment utilisées. Néanmoins, comme évoqué au paragraphe 3.2.1, une importante fraction du carbone de la renouée n'est pas dégradée lors du processus de méthanisation, et ce carbone non-labile, après épandage, pourrait participer favorablement au maintien du taux dans les sols.

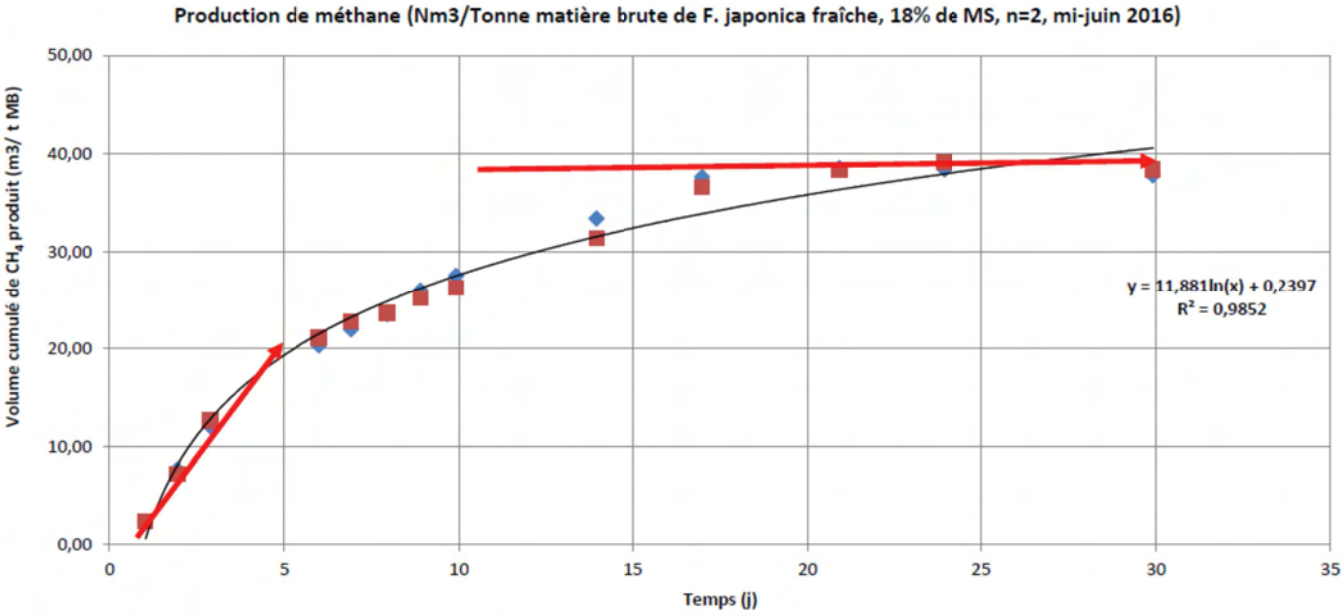


Illustration 4 : Production de méthane par tonne de Renouée du Japon "fraîche" [Issu de (Le Roux et al., 2016)]

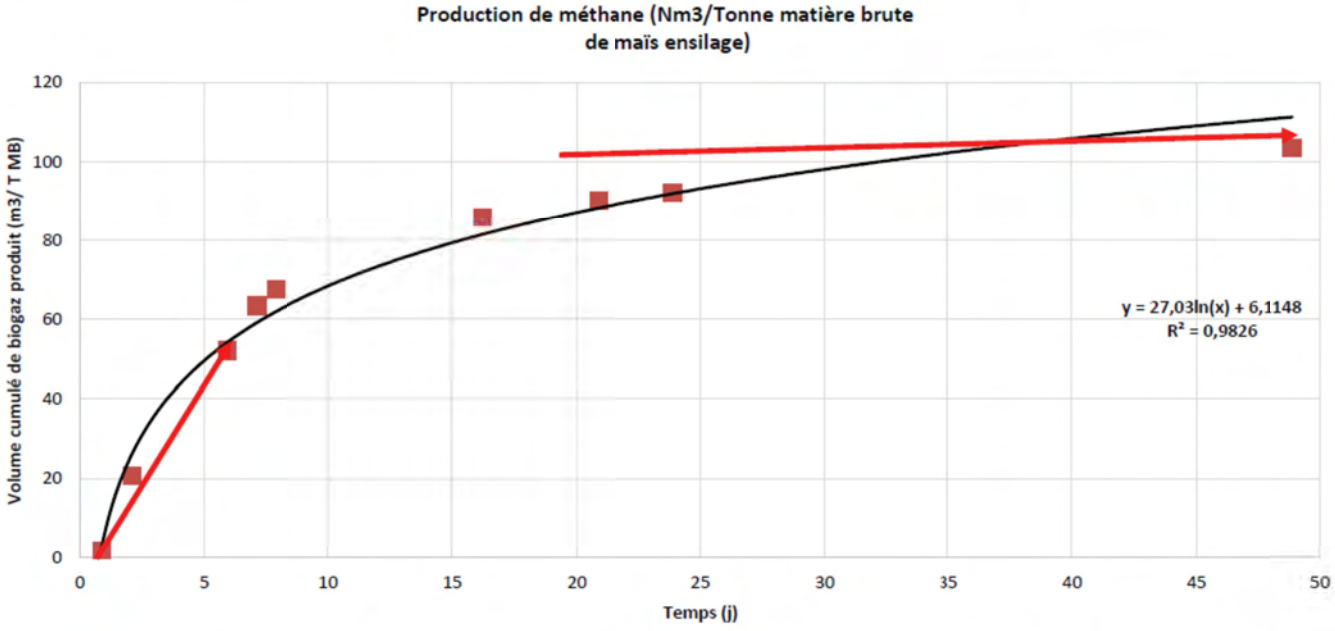


Illustration 5 : Production de méthane par tonne de maïs d'ensilage [Issu de (Le Roux et al., 2016)]

Si le pouvoir méthanogène de la renouée du Japon n'est pas aussi intéressant en termes de rendement que celui des biomasses couramment utilisées, il est néanmoins important de noter que l'ajout sur une période longue de renouée du Japon dans le méthaniseur de la ferme expérimentale n'a pas entraîné de modification du rapport CH_4/biogaz produit par le digesteur, ni les paramètres biologiques (pH et FOS/TAC : quantité d'acides gras volatils formés par rapport au pouvoir tampon du milieu) du méthaniseur.

Par conséquent, l'introduction de renouée dans des proportions raisonnables de 10 à 20 % de la masse totale de biomasse, soit 300 à 600kg dans un système professionnel (Le Roux, Tehranchi, 2018), **peut venir remplacer les biomasses telles que le maïs ou l'herbe, et ce sans adaptation nécessaire des conditions de méthanisation par voie humide.**

Les conditions de la méthanisation des renouées asiatiques par voie sèche n'ont pas encore été étudiées. Néanmoins, les conditions de température beaucoup moins élevées risquent de poser problème pour la digestion des déchets de fauche.

3.2.3. Ensilage

En règle générale, la biomasse utilisée pour la méthanisation à la ferme est stockée en tas et non ensilée. Cependant, en fonction de la fréquence et de la saison de la fauche, et des besoins de stockage liés à la taille du stock disponible ou aux contraintes logistiques du gestionnaire, un ensilage des renouées est envisageable.



Illustration 6 : Conception d'ensilage pour la Renouée du Japon : fauche-collecte, broyage et ensilage [Issu de (Le Roux et al., 2016)]

Pour déterminer les conditions nécessaires à la confection d'ensilages, plusieurs essais ont été réalisés en bidons de 200 litres, puis à taille réelle (illustration 6) (Le Roux et al., 2016). Pour des taux de matières sèches supérieurs à 20 % (renouées fauchées au mois de juin), il a été possible de stocker la renouée avec un pH final inférieur à 5 compatible avec un stockage sur une longue période. La période de fauche est donc moins compatible avec l'épuisement de la renouée, et surtout, les précautions à prendre pour éviter la dissémination.

3.3. Dangerosité du digestat

3.3.1. Innocuité du digestat

La capacité de germination des akènes a été testée sur les akènes de Renouée de Bohème (*Fallopia x bohemica*). Pour des akènes qui n'ont pas subi de méthanisation, elle est de plus de 75 % sur 7 jours.

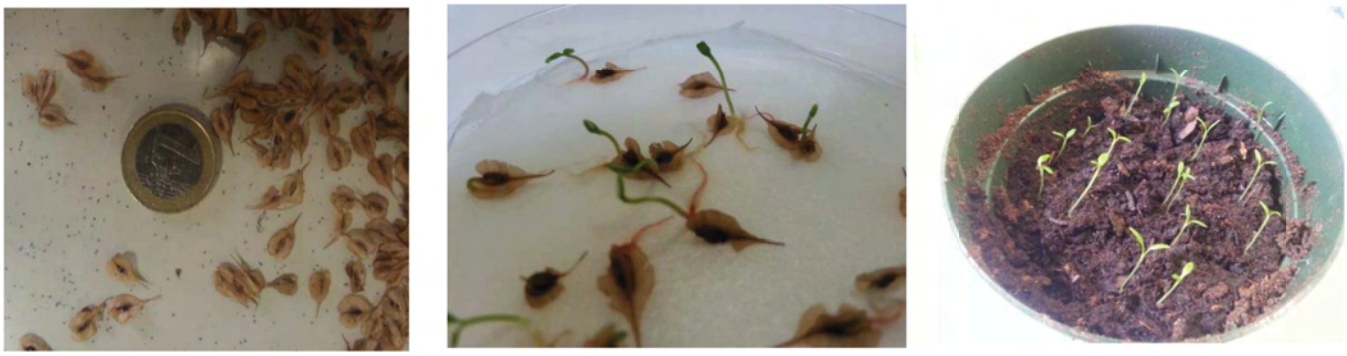


Illustration 7 : Germination des akènes témoins de renouée de Bohème [Issu de (Le Roux et al., 2016)]

La reprise végétative des rhizomes a été testée sur la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*). Elle atteint 90 % de reprise sur 2 semaines. Trois types de rhizomes ont été testés en fonction de leur diamètre (<0,5 cm ; entre 0,5 et 2 cm et >2 cm). Aucune différence n'a été montrée.

Après passage dans des méthaniseurs modèles et cela dès 15 jours, aucune germination d'akènes (suivi sur 3 semaines) **ni reprise végétative de rhizomes** (suivi sur plus de 4 semaines) **n'ont été mesurées.** Ces résultats ont été confirmés après 30 jours (Le Roux et al., 2016).

	Avant méthanisation	Après 15 jours de méthanisation	Après 30 jours de méthanisation
Germination des akènes (F. x bohemica)	76 %±1 % (n=4*50)	0 % (n=2*50)	0,00 % (n=2*50)
Reprise végétative des rhizomes (F. japonica)	90 % (n=21)	0 % (n=21)	0 % (n=21)

Tableau 2 : Impact de la méthanisation sur la germination d'akènes et sur la reprise végétative de rhizomes [Issu de (Le Roux et al., 2016)]

Les akènes et les rhizomes ont été observés durant tout le processus (lors de la germination, de la reprise végétative, avant et après passage en méthanisation). Après passage en méthanisation aucune dégradation morphologique visible à l'œil nu qui pourrait expliquer l'absence de germination ou reprise végétative n'a été observée. La raison de cette non reprise n'est donc pas à ce jour identifiée.

3.3.2. Utilisation du digestat

La qualité du digestat, conditionnant sa valorisation agronomique, dépend notamment de la « pureté » du broyat introduit dans le méthaniseur : il est nécessaire d'écarter les « indésirables » pour la méthanisation, c'est-à-dire tous les déchets pouvant être présents dans les massifs lors de la fauche (emballages à destiner au recyclage, et déchets spéciaux à un traitement dédié). Cela aura également un impact sur l'affinage du digestat en vue de son utilisation : l'affinage du digestat humide étant particulièrement délicat, il est préférable d'introduire un déchet sans indésirables dans le digesteur (risque de colmatage) (Bastide, 2015).

Il est ensuite possible d'utiliser le digestat brut, de le soumettre à une maturation par compostage, ou de le faire sécher (Megret, 2016). Compte tenu de son coût, le traitement des digestats n'est à envisager qu'en dernier recours (Levasseur et al., 2017).

3.3.2.1 Épandage du digestat brut

Le digestat brut est le résidu de la digestion anaérobie de la méthanisation par voie liquide (effluents agricoles en mélange avec des végétaux et/ou des déchets organiques) lors de la méthanisation à la ferme. Le produit est une matière fertilisante liquide. En raison de sa composition (moins de 3 % en azote, potassium et phosphore, moins de 20 % de matière organique), on peut le qualifier d'engrais organique NPK à faible concentration en éléments fertilisants (Megret, 2016).

Comme évoqué au paragraphe 3.2.1, le digestat intégrant le broyat de renouée présente également un fort taux de carbone intéressant pour le retour au sol.

L'épandage du digestat brut représente le coût de valorisation le moins élevé (pas de traitement post-digestion).

3.3.2.2 Épandage du digestat sec

Le digestat sec est obtenu par séchage de la fraction solide ou du digestat brut. Il peut également avoir été granulé par la suite. Le produit est un engrais organique solide phosphaté à faible concentration. L'amendement des sols se fait par apport de matière organique stable (Megret, 2016).

Le séchage à 70 °C permettrait une sécurisation supplémentaire vis-à-vis de la germination des akènes et de la reprise végétative.

Il ressort donc de cette analyse la faisabilité technique d'une valorisation par méthanisation des déchets de fauche de renouées asiatiques de façon sécurisée (innocuité des produits).

4. Faisabilité logistique de la méthanisation des stocks de renouées de la DIR Nord

4.1. Caractérisation du gisement

Les foyers de renouées asiatiques ont été prospectés par la DIR et le CBNBL en 2018. L'illustration 8 montre la répartition des foyers recensés.

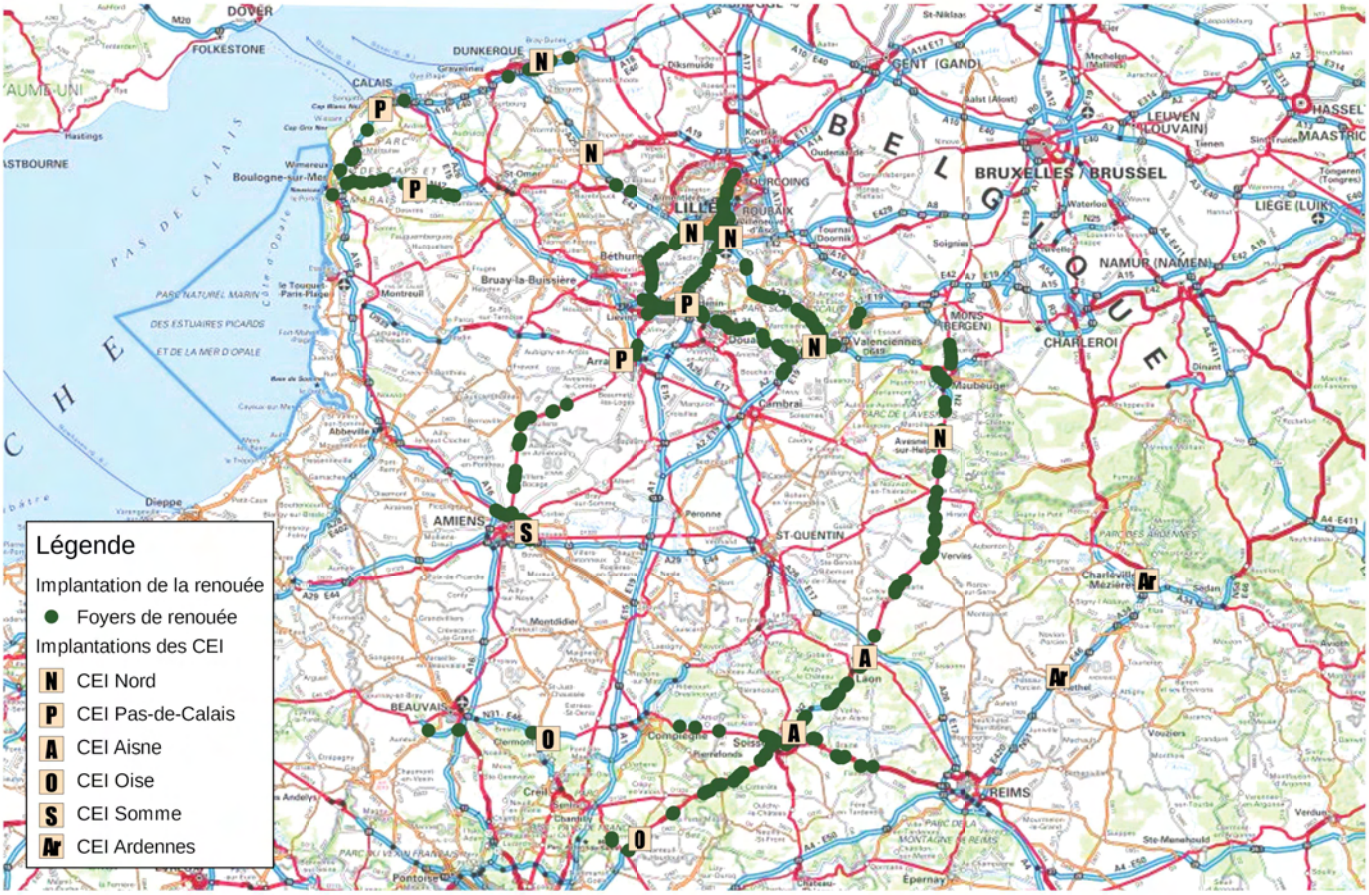


Illustration 8 : Carte des foyers de renouées asiatiques recensés en 2018 sur le territoire de la DIR Nord [Données fournies par la DIR Nord]

On remarque sur ce document que les routes gérées par les CEI des Ardennes n'ont pas été prospectées. Les données collectées concernent la localisation (route et point kilométrique), la taille du site (longueur et largeur, surface classée de la plus faible à la plus importante sur une échelle de 1 à 9), sa densité, ainsi que des informations sur la situation du foyer (sur l'accotement, sur le talus…) et sa proximité des ouvrages (ouvrages d'art, fossé…).

Ces données peuvent permettre de différencier la fraction « fauchable » au sein de l'ensemble des foyers de renouées. En effet, certains foyers ne sont pas accessibles aux engins de fauche (talus, berges, accotements trop étroits…), de plus, toutes les précautions doivent être prise pour éviter d'endommager les rhizomes lors de la fauche.

Le calcul de ce gisement potentiel doit également prendre en compte les modalités de gestion des foyers de renouées : pour la DIR Nord, certains foyers sont par exemple gérés par écopâturage, et donc non disponibles pour la méthanisation.

Afin de connaître le potentiel de valorisation par méthanisation du gisement de renouées de la DIR Nord, il serait intéressant de connaître la masse ou le volume total représenté par les organes aériens des plantes. Il existe des formules permettant de calculer la masse totale d'un individu, rhizome inclus, à partir de la taille de la plante. Cependant, il n'existe pas à ce jour de données sur un lien entre la surface ou la densité des foyers de renouées et la masse ou le volume. De plus, il a été montré que les caractéristiques des massifs évoluaient avec la fauche (tiges plus nombreuses à la repousse, mais plus fines à la base) (Chanudet-Buttet, 2017).

L'évaluation du volume total (ou masse totale) méthanisable dépend donc d'une analyse au cas par cas des massifs, et de la connaissance de leur évolution. Un suivi complet des chantiers de fauche permet à terme d'anticiper les quantités de matière disponibles (Matrat et al., 2011 ; Tehranchi, 2018).

On peut rappeler ici les chiffres cités au paragraphe 3.2.2 : l'introduction de renouées n'entraînant pas de modification des paramètres biologiques des digesteurs, il est possible d'introduire 10 à 20 % de renouées sur la masse totale de biomasse, soit 300 à 600 kg par jour dans un système professionnel (Le Roux, Tehranchi, 2018).

4.2. Unités de méthanisation sur le territoire d'action de la DIR Nord

4.2.1. Implantation des CEI

La DIR Nord entretient, exploite et aménage le réseau routier national sur 3 « anciennes » régions : Nord – Pas-de-Calais, Picardie et Champagne-Ardenne. Pour ce faire, 17 CEI (illustration 9) sont répartis sur les 7 départements : Nord, Pas-de-Calais, Aisne, Ardennes, Somme, Oise et Marne.



Illustration 9: Carte d'implantation des CEI sur le territoire de la DIR Nord

4.2.2. Implantation des unités de méthanisation

Comme évoqué au paragraphe 3.1.2.1, il existe 5 catégories d'unités de méthanisation recensées sur le territoire de la DIR Nord. L'illustration 10 montre leur répartition sur le territoire. Les analyses conduites dans cette étude se fondent sur les unités de méthanisation à la ferme. Néanmoins, comme expliqué au paragraphe 3.1.2.1, les unités de méthanisation territoriales ou d'ordures ménagères pourraient également se prêter à la méthanisation des déchets de renouées. Par conséquent, les cartes présentées dans ce rapport n'affichent que les unités de méthanisation à la ferme, mais leur équivalent comportant les unités de méthanisation territoriale et d'ordures ménagères sont présentés en annexe.



Illustration 10 : Carte des implantations d'unités de méthanisation sur le territoire de la DIR Nord [Issu de (Sinoe, 2018)]

4.2.3. Stockage intermédiaire

Un stockage intermédiaire peut permettre d'augmenter les quantités de renouées exportées vers les unités de méthanisation en un voyage.

En fonction des distances à parcourir entre les sites de fauche et les unités de méthanisation, et des véhicules à disposition de la DIR Nord (petits utilitaires, tracteurs ou camions-bennes) ce dispositif peut également permettre d'optimiser le coût du poste « transport » (Pineau et al., 2017). L'entretien avec Mitra Tehranchi (Le Roux, Tehranchi, 2018) a mis en évidence des coûts de transport acceptables jusqu'à 20 ou 30 km par rapport à l'unité de méthanisation. Par conséquent, les illustrations 11 et 12 montrent des zones de 20 et 30 km autour des foyers de renouées pour un transport direct, et des zones de 20 et 30 km autour des CEI dans le cas d'un stockage intermédiaire sur le site du CEI. La possibilité de stocker les déchets de fauche sur un site tiers existe également, néanmoins, elle ne garantit pas des conditions de stockage totalement contrôlées (accès au site non surveillé…).

Ces illustrations permettent deux analyses :

- Les foyers de renouées sont en règle générale plus proches d'une unité de méthanisation que le CEI dont ils dépendent, ce qui tendrait à privilégier un transport direct, mais obligerait la DIR à planifier ses chantiers de fauche en fonction du foyer le plus proche d'une unité de méthanisation.

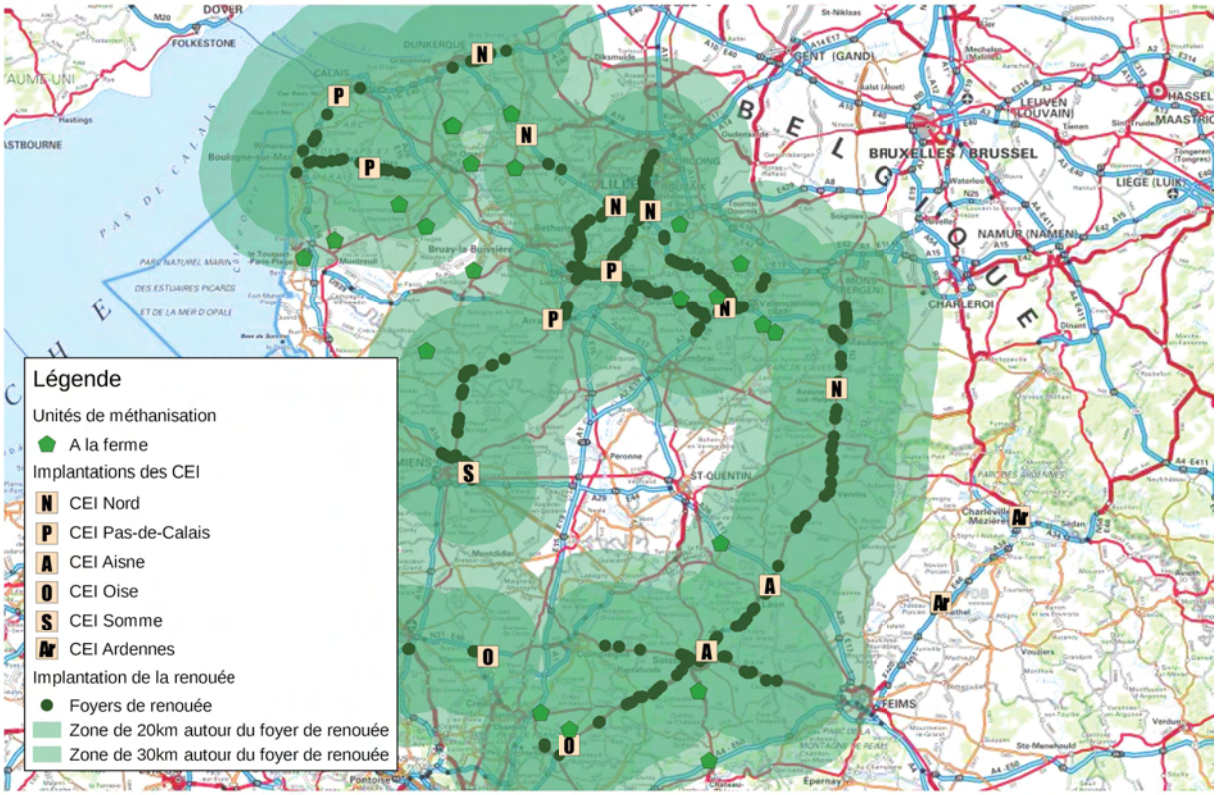


Illustration 11 : Carte des unités de méthanisation à la ferme incluses dans un rayon de 20 ou 30km autour des foyers de renouées

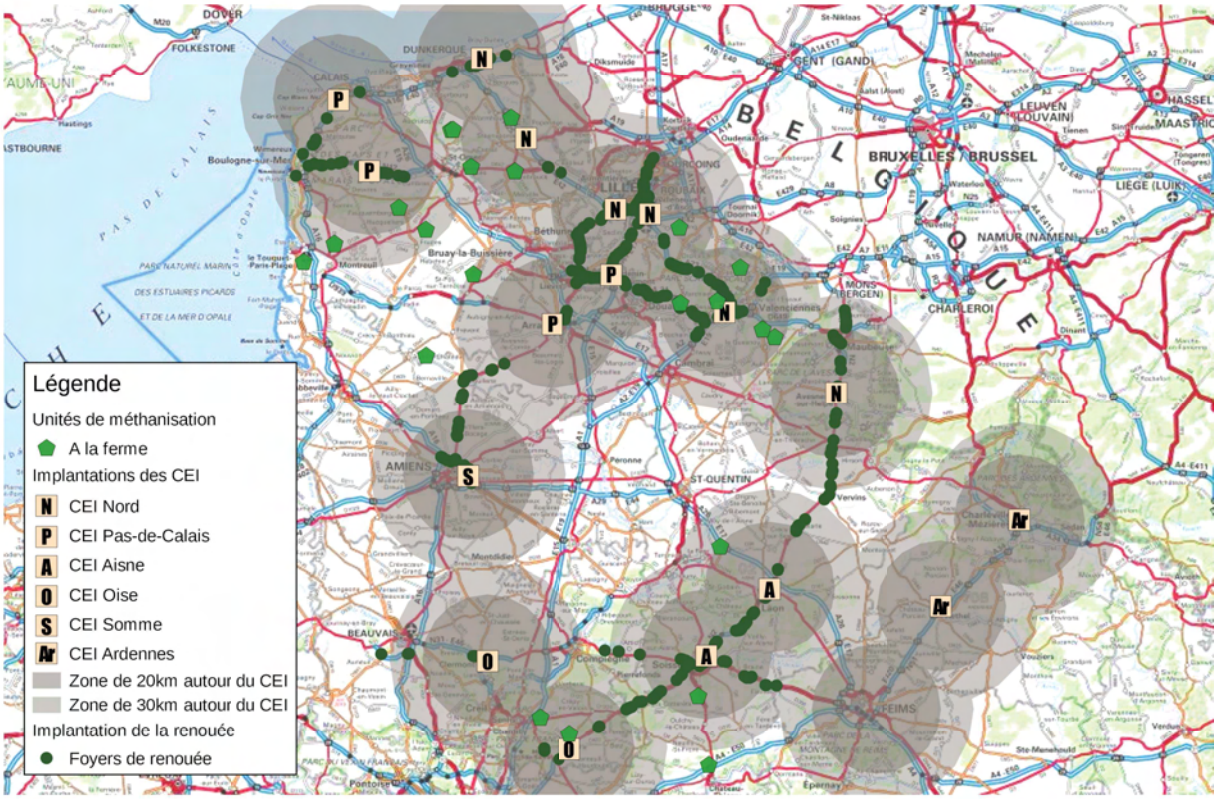


Illustration 12 : Carte des unités de méthanisation à la ferme incluses dans un rayon de 20 ou 30km autour des CEI

- Néanmoins, toutes les zones gérées par la DIR Nord ne disposent pas d'une unité de méthanisation à proximité (aux alentours de Peuplingues, Coudekerque, Amiens, Clermont et Avesnes notamment), ce qui, dans l'hypothèse où la DIR Nord souhaiterait valoriser l'ensemble des foyers qu'elle gère, inciterait au stockage temporaire sur des CEI « référents » (proches d'une unité de méthanisation).

Dans le cas du choix d'un stockage intermédiaire, il conviendra de limiter le temps de repos de la biomasse (pour éviter la pourriture et conserver un pH approprié à la méthanisation), de mélanger les différents apports (pour homogénéiser les caractéristiques du stock) (Le Roux, Tehranchi, 2018) et évidemment, de respecter les précautions de sécurisation énoncées au paragraphe 2.2.2.4.

4.3. Coûts à prendre en compte

Cette partie de l'étude liste les différents postes de dépenses et de recettes qui doivent entrer en compte lors du choix de la méthode de gestion des foyers de renouées asiatiques par la DIR Nord, et, le cas échéant, dans le choix de la filière de valorisation des déchets à privilégier. On considérera dans la partie financière les étapes de la gestion des renouées depuis la fauche jusqu'à la méthanisation du broyat. On considérera que les coûts éventuels liés à la méthanisation (surcroît de produit à écouler…) sont à la charge du méthaniseur.

Les coûts cités ci-après ne sont fondés que sur un nombre faible de retours sur expérience, mais surtout sur du matériel biologique différent (herbages de bord de route), ce qui fait de ces données une base de réflexion, et non une référence. Ces coûts correspondent à l'intervention d'un prestataire pour la fauche et l'exportation.

4.3.1. Chantier de fauche-broyage avec aspiration

4.3.1.1 Nettoyage du site

Comme expliqué dans le paragraphe 3.3.2, il est indispensable de nettoyer le site avant le fauchage. En effet, il n'est pas question de conserver des déchets non végétaux dans le broyat destiné à la méthanisation, et plusieurs agents, ainsi qu'un véhicule, doivent par conséquent être mobilisés avant chaque fauchage. Pour les herbages de bords de route, le nettoyage du site peut représenter 30 % du coût d'un chantier de fauche (nettoyage, fauche et broyage par épareuse) et jusqu'à 70 % lorsque les déchets de fauche ne sont pas broyés (Zdanevitch et al., 2018). Soit, selon une estimation sur la base de ces mêmes données, 20 à 50 € par tonne de matière brute.

4.3.1.2 Matériel

La renouée doit être fauchée et broyée afin de pouvoir répondre aux conditions de méthanisation. Cette opération peut être réalisée à l'aide de matériel de fauchage-broyage, et le broyat laissé au sol récupéré par la suite par aspiration, mais il existe également des matériels permettant l'aspiration directe vers un caisson fermé du broyat, afin d'éviter un deuxième passage, et évitant également les problèmes de dissémination évoqués au paragraphe 2.2.2.3.

Les données recensées par Zdanevitvh et al. donnent un coût à la tonne de matière brute de 10 à 40 € pour la fauche.

La seule donnée disponible pour la dépense liée à l'épareuse est de 110 €/ha fauché, soit environ 25 € par tonne de matière brute (d'herbages de bord de route).

4.3.1.3 Sécurisation du chantier

Dans le cas où le massif de renouée se trouve en bordure de route, il sera nécessaire de mobiliser un véhicule et un agent pour la signalisation du chantier aux usagers de la route. Les données recensées par Zdanevitvh et al. donnent un coût à la tonne de matière brute de 5 à 20 € pour la sécurité.

4.3.2. Transport

4.3.2.1 Stockage temporaire

Comme expliqué au paragraphe 4.2.3, le stockage temporaire peut permettre l'exportation des déchets de fauches depuis le site vers un CEI à l'aide de matériel de la DIR (petits utilitaires, tracteurs…). La biomasse ainsi rassemblée pourra ensuite être acheminée vers l'unité de méthanisation. Ainsi, l'utilisation des poids-lourds pour le transport et du matériel de charge (pelle mécanique par exemple) peut être rationalisé et les coûts optimisés (Pineau et al., 2017).

4.3.2.2 Prix du transport

Les travaux menés dans le cadre de Carmen (Zdanevitch et al., 2018) concluent à un coût de transport par tonne de matière brute d'environ 10 à 50 €, ce qui est confirmé par les trois opérations étudiées par Pineau et al. **La distance entre le site de fauche ou le CEI et l'unité de méthanisation semble avoir le plus fort impact sur le coût de la valorisation. Néanmoins, le développement rapide d'un maillage resserré d'unités de méthanisation observé actuellement participera à une baisse des coûts de transport.**

4.3.3. Autres coûts

Aux coûts chantier listés dans les paragraphes 4.3.1 et 4.3.2 peuvent s'ajouter d'autres postes de dépenses à prendre en compte :

- Dans le cas de l'utilisation d'un matériel existant, ou d'un achat de matériel adapté par la DIR Nord, il convient de prendre en compte l'amortissement de l'achat du matériel, ainsi que les charges fixes (entretien, carburant…). L'exemple de la fauche des herbages avec exportation cité dans Zdanevitch et al. fait état d'un coût de 7 688 € pour 100 km d'accotement,
- dans le cas d'une technique de gestion nouvelle pour les CEI (fauche-broyage avec exportation) et de la sensibilisation des agents aux dangers biologiques liés aux renouées, il sera nécessaire de réaliser des formations ou des campagnes d'information des agents et des responsables des opérations de fauche.

4.3.4. Gains et services apportés par la valorisation des déchets de fauche des renouées asiatiques

4.3.4.1 Non concurrence alimentaire de la biomasse

L'utilisation par un agriculteur méthaniseur de déchets de fauches de renouées asiatiques peut lui permettre de dédier moins de son parcellaire à la méthanisation, pour le rediriger vers l'alimentation des troupeaux.

Par exemple, en termes de potentiel méthanogène, l'utilisation de $100T_{\text{matière brute}}$ d'herbes (équivalent 100 km d'accotement fauchés) peut correspondre à la culture de 1,3 ha de maïs ensilage. En considérant une exploitation laitière de 150 VL et une ration quotidienne avec 17.5 kg de maïs ensilage par vache en lactation, 1,3 ha de maïs ensilage peuvent permettre de nourrir le troupeau pendant 6 jours (Zdanevitch et al., 2018). Le pouvoir méthanogène des renouées est plus faible que celui des herbages de bord de route (3.2.2) et, si le ratio masse fraîche des parties aériennes/surface au sol est plus important pour les renouées, la surface représentée par les foyers par rapport à la surface des herbages d'accotements est beaucoup plus faible.

Néanmoins, un apport de biomasse extérieure à moindre coût est toujours intéressant pour un agriculteur méthaniseur. Il serait même intéressant d'étudier la possibilité de la vente, même à prix minime, de la biomasse représentée par le broyat de renouées asiatiques, afin de compenser éventuellement un des postes de dépense (Le Roux, Tehranchi, 2018). À cette fin, une mutualisation des déchets entre différents producteurs (DIR, mais aussi collectivités, etc.) pourrait être envisagée sur des territoires où les foyers de renouées sont présents de façon suffisamment dense pour permettre d'obtenir un volume intéressant de déchets.

4.3.4.2 Sécurité sur le réseau DIR Nord

Les gains de l'adoption d'une méthode de valorisation liée à la fauche avec exportation peuvent également être de nature non financière.

En effet, la DIR Nord a pour mission de garantir sur son réseau la sécurité des usagers et des agents (Deshayes, 2017), c'est-à-dire :

- La possibilité de s'arrêter en dehors de la chaussée (accotement, BAU…),
- le guidage des usagers dans les courbes et en approche des carrefours,
- la bonne visibilité,
- la possibilité pour les agents intervenant sur la route d'être vus par les usagers,
- la possibilité de stocker de la neige lors du déneigement,
- la possibilité d'installer des panneaux de signalisation et d'information.

La présence de foyers de renouées sur les accotements et les délaissés de chaussée peut empêcher chacun de ces impératifs de gestion. **Par conséquent, une fauche avec exportation gérée au niveau DIR serait un gain certain pour la sécurité sur le réseau.**

4.3.4.3 Image pour le gestionnaire

En règle générale, on peut noter que les agents apprécient la fauche avec exportation, car elle laisse les bords de route plus propres (aspiration des déchets de fauche) (Zdanevitch et al., 2018). Mais plus important encore, les agents concernés par la mise en œuvre de démarches alternatives et/ou innovantes montrent souvent un intérêt à participer à ces démarches. De plus, la réutilisation d'un matériau actuellement non utilisé et la production d'énergie renouvelable sont des enjeux très valorisants pour le personnel.

Par ailleurs, dans le cas de la DIR Nord, la gestion des renouées par la fauche avec exportation pour la méthanisation participerait au Schéma Directeur Paysager, qui a déjà choisi de tester plusieurs techniques alternatives d'intervention sur les renouées (bâchage, pâturage et pulvérisation d'huile de cèdre).

4.3.4.4 Biodiversité

Les dépendances du réseau de la DIR Nord ont également une fonction écologique (Deshayes, 2017) :

- Offrir des zones d'habitat et de refuge pour la faune et la flore,
- servir de réservoir biologique (talus), ou de corridor écologique,
- servir de milieux complémentaires aux espaces agricoles (pollinisateurs).

Tout comme pour les enjeux de sécurité liés à la gestion de la DIR Nord (4.3.4.2), la présence de foyers de renouées, par l'invasion physique qu'elle représente, impacte la fonction d'habitat et de corridor (Zdanevitch et al., 2018).

Le fauchage avec exportation s'inscrit donc triplement dans un objectif de promotion de la biodiversité par :

- l'application d'une démarche « zéro phyto » dans le cadre de la lutte contre une espèce envahissante,
- la réduction des nuisances, en luttant, grâce au fauchage répété, contre l'accaparement des ressources du sol (Tehranchi, 2018) : il a ainsi été montré sur des parcelles gérées par la DIR Nord que l'épuisement de la renouée (par pâturage) permettait à la flore des dépendances vertes de recoloniser le milieu (Deshayes, 2017),
- la restauration de la fonction d'habitat pour certaines espèces de faune, en supprimant l'envahissement physique des renouées.

Ces analyses font émerger des axes de réflexion pour la mise en place de la démarche par la DIR Nord. Cette réflexion doit être entreprise en se fondant sur des retours d'expérience documentés afin d'alimenter des calculs précis. Néanmoins, cette étude éclaire des aspects non financiers parfaitement en phase avec les enjeux de gestion du réseau de la DIR.

5. Conclusions, recommandations et perspectives

Cette étude a montré que, considérés en tant que biodéchets, les déchets de fauche de renouées asiatiques peuvent être exportés et doivent être évacués des sites de fauche, et que leur traitement doit consister prioritairement en une valorisation, si celle-ci est possible. Pas ailleurs, un travail de bibliographie a permis de montrer que si la valorisation de la Renouée du Japon sous forme de broyat par méthanisation n'offre pas un rendement intéressant en tant que tel, le gisement de biomasse résultant de la fauche est un complément intéressant à la biomasse couramment utilisée, notamment pour les agriculteurs pratiquant la méthanisation à la ferme. De plus, la méthanisation offre ainsi une filière d'élimination des déchets de renouée.

Cette étude permet de faire ressortir une démarche type à mettre en œuvre pour les processus de fauche avec exportation des déchets de renouées pour la méthanisation. Cette démarche permet d'évaluer ce que la structure peut attendre du déroulement d'un tel processus et comment l'optimiser. La démarche type à observer peut se résumer selon le schéma présenté dans l'illustration 13, et peut être mise en œuvre par toute structure confrontée aux renouées asiatiques.

Les expérimentations, tant de fauche-broyage avec exportation que de méthanisation, restent peu nombreuses, et il convient donc de conserver toutes les précautions nécessaires à la non dissémination de l'espèce via ces processus. Néanmoins, la mise en œuvre des solutions techniques décrites dans ce rapport pourrait faire l'objet d'une étude plus approfondie pour la DIR Nord. La confrontation des pratiques actuelles de gestion de la renouée, avec les moyens logistiques (techniques et financiers) dont dispose la DIR Nord, ainsi que l'offre d'incorporation des déchets de gestion par les méthaniseurs, peut à terme aboutir à de nouvelles pratiques, respectant les impératifs des missions de gestion, tout en étant favorables au développement ou au maintien de la biodiversité.

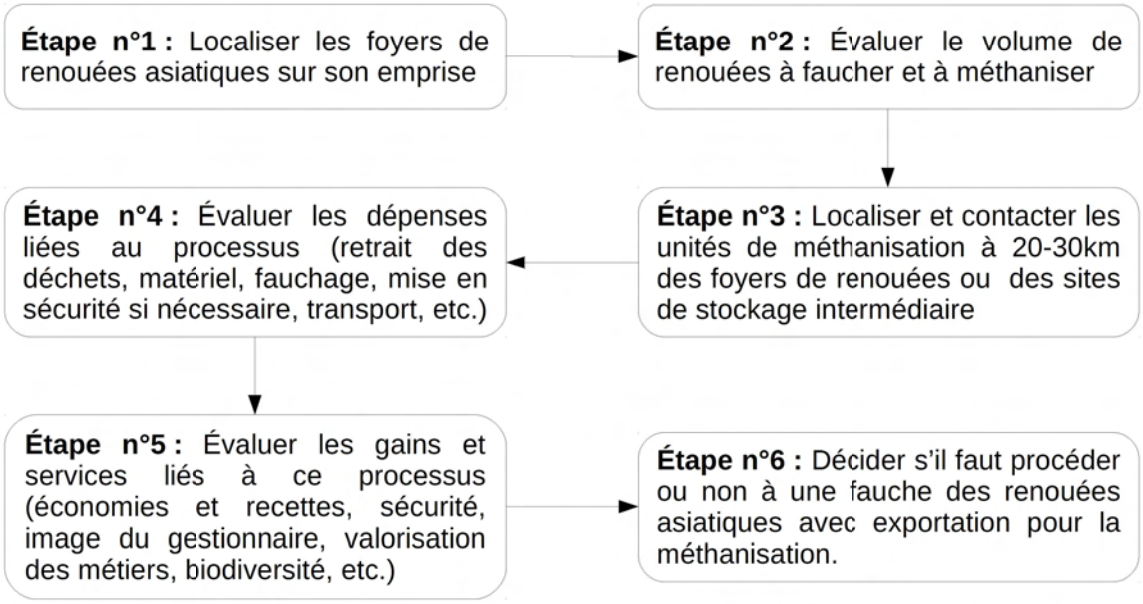


Illustration 13 : Schéma de la démarche type en vue de réaliser des fauches de renouée asiatique avec exportation pour valorisation par méthanisation

Dans ce cadre, le Cerema propose de réaliser une enquête auprès des gestionnaires et des méthaniseurs. Ce travail permettra d'obtenir une base de données précise concernant les coûts de gestion des EEE, quelles qu'elles soient, dans la région Hauts-de-France. En parallèle, l'enquête auprès des méthaniseurs permettra d'évaluer les capacités et les volontés d'accueil de biomasses « alternatives » telles que les déchets de gestion des EEE.

Ces données techniques et financières pourront alors servir à l'évaluation de la faisabilité de la valorisation par méthanisation des EEE pour différents types de gestionnaires (services de l'État, collectivités, établissements publics…).

Bibliographie

BASTIDE, Guillaume, 2015. *Fiche technique Méthanisation* [en ligne]. S.l. ADEME. [Consulté le 16 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/fiche-technique-methanisation-201502.pdf.

BROCK, John H., 2007. Vegetative Regenaration by Japanese Knotweed. In : *Western Society of Weed Science, Knotweed Symposium* [en ligne]. Portland, OR. 2007. Disponible à l'adresse : https://www.wsweedscience.org/wp-content/uploads/slide-presentations/3%20Brock.pdf.

CHANUDET-BUTTET, Bruno, 2017. Méthodologie d'épuisement des renouées asiatiques invasives par fauchage répété. In : *Colloque SPIGEst* [en ligne]. Présentation de colloque. Laxou. 2017. [Consulté le 15 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/323780641_Methodologie_d'epuisement_des_renouees_asiatiques_invasives_par_fauchage_repete.

COLLERAN, Brian P. et GOODALL, Katherine E., 2014. In Situ Growth and Rapid Response Management of Flood-Dispersed Japanese Knotweed (Fallopia Japonica). In : *Invasive Plant Science and Management*. 2014. Vol. 7, n° 1, p. 84-92. DOI 10.1614/IPSM-D-13-00027.1.

DESHAYES, Lionel, 2017. Expérimentation de lutte contre la renouée du Japon à la DIR Nord. In : *Colloque SPIGEst*. Présentation de colloque. Laxou. 2017.

DIR NORD, 2015. L'écopâturage en test sur l'A2 près de Valenciennes. In : [en ligne]. 16 septembre 2015. [Consulté le 15 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.dir-nord.developpement-durable.gouv.fr/l-ecopaturage-en-test-sur-l-a2-pres-de-a785.html.

GUERIN, Maxime, HEDONT, Marianne et PROVENDIER, Damien, 2016. *Gestion écologique des plantes envahissantes terrestres* [en ligne]. Rapport d'enquête. S.l. Plante & Cité. [Consulté le 15 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.plante-et-cite.fr/data/fichiers_ressources/p_c_cr_enquete_pee_2015_vf_1.pdf.

HOMEKY, Billy Osborne, 2015. *Digestion anaérobie sur une ferme: évaluation du pouvoir méthanogène de substrats et étude de micropolluants*. Génie des procédés : Université de Lorraine.

LE GUEN, Maël, HAURY, Jacques, COUDREUSE, Julie et BOZEC, Michel, 2010. *Les renouées asiatiques invasives en Côtes d'Armor - Synthèse bibliographique, expérimentatins et orientations d'actions*. Rapport d'étude. Saint-Brieuc. AGROCAMPUS OUEST, INRA Rennes & Conseil Général des Côtes d'Armor.

LE ROUX, Yves, RAVARD, Benjamin, MONTAGNE, Paul, PACAUD, Stéphane et CHANUDET-BUTTET, Bruno, 2016. Gestion intégrée des renouées asiatiques : de leur maîtrise à leur valorisation. In : *Colloque SPIGEst*. Présentation de colloque. Laxou. 7 décembre 2016.

LE ROUX, Yves et TEHRANCHI, Mitra, 2018. *Entretien préliminaire avec l'association SPIGEst*. octobre 2018. S.l. : s.n.

LEROUX, Yves et CHANUDET-BUTTET, Bruno, 2016. Gestion des renouées asiatiques invasives en bord d'infrastructure - Méthodes de lutte et valorisation en méthanisation. In : *5èmes journées de la méthanisation*. Présentation de colloque. Chambéry. 2016.

LEVASSEUR, Pascal, TOUDIC, Aurore, BONHOMME, Stéphanie et LORINQUER, Elise, 2017. *Gestion et traitement des digestats issus de méthanisation* [en ligne]. Fiches « procédés ». Bretagne. Projet Dasdar « METERRI ». [Consulté le 18 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.pardessuslahaie.net/uploads/sites/1627575250f0a44ea6f95a7c4d721785f6ab79dc.pdf.

MATRAT, Roland, HAURY, Jacques, LANGEVIN, Anaëlle et ASTIER, Delphine, 2011. Analyse des coûts de chantiers en Pays de la Loire. In : *Colloque régional Terra botanica « Les plantes invasives en Pays de la Loire »*. Présentation de colloque. Angers. 2011.

MEGRET, Béatrice, 2016. Fiches « digestat » réalisées dans le cadre du programme Casdar Valdipro et du programme européen Biorefine. In : *AILE initiatives énergie environnement* [en ligne]. 2016. [Consulté le 18 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.aile.asso.fr/index.php/fiches-produits-digestat/?lang=fr.

MOLETTA, René, 2008. Méthanisation de la biomasse. In : *Ref : TIP142WEB - « Chimie verte »* [en ligne]. 10 mai 2008. [Consulté le 16 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-chimie-verte-tiacv/archive-1/methanisation-de-la-biomasse-bio5100/.

MOLETTA, René, 2012. La méthanisation. In : *Université d'été « Sauvons le climat »* [en ligne]. Présentation de colloque. L'aber Wrac'h. 2012. [Consulté le 16 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/ue_2012/Methanisation_Moletta.pdf.

PINEAU, Christophe, LE BOURHIS, Pierre et DELHOM, Elodie, 2017. *Etude exploratoire des conditions de mise en place d'une filière de valorisation des biomasses issues des chantiers d'arrachage de plantes invasives dans la centrale EDF de Cordemais*. Rapport d'étude. S.l. Cerema.

PINEAU, Christophe et MOULIN, Jean-Pierre, 2016. La gestion des invasives végétales sur les dépendances routières : quelles stratégies mettre en place ? In : *4ème conférence sur l'entretien des jardins, espaces végétalisés et infrastructures*. Présentation de colloque. Toulouse. 2016.

SINOE, 2018. Carte des unités de méthanisation et de biogaz. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 16 novembre 2018]. Disponible à l'adresse : http://carto.sinoe.org/carto/methanisation/flash/.

TEHRANCHI, Mitra, 2018. Le fauchage répété comme technique d'épuisement des renouées asiatiques invasives. In : *Cotita « Espèces Exotiques Envahissantes »*. Présentation de colloque. Lille. 2018.

TIÉBRÉ, Marie-Solange, VANDERHOEVEN, Sonia, SAAD, Layla et MAHY, Grégory, 2007. Hybridization and Sexual Reproduction in the Invasive Alien Fallopia (Polygonaceae) Complex in Belgium. In : *Annals of Botany*. janvier 2007. Vol. 99, n° 1, p. 193-203. DOI 10.1093/aob/mcl242.

VIAL, Dorine, 2014. *Plan régional de valorisation des déchets issus des chantiers de gestion de plantes invasives*. Rapport de stage. S.l. Conservatoire d'espaces naturels région Centre.

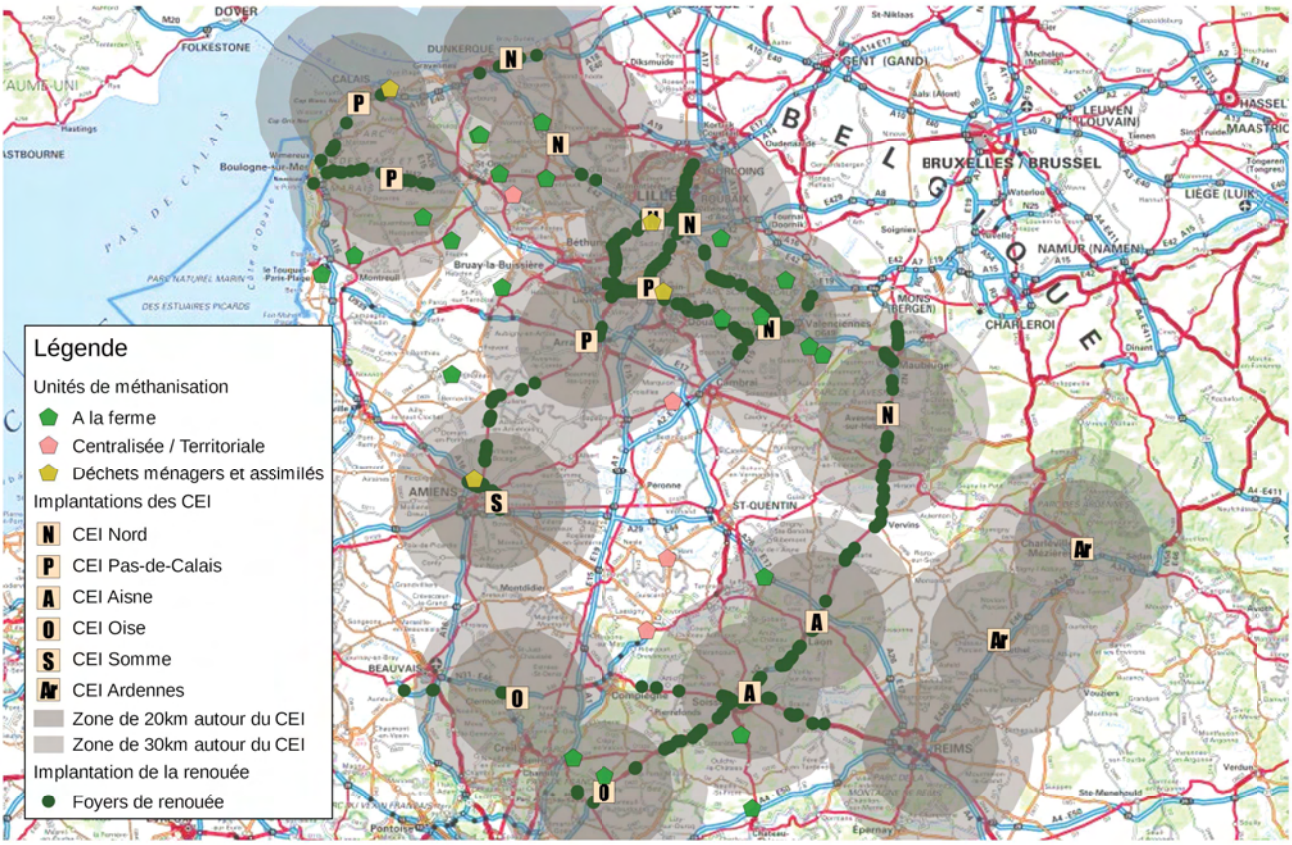
ZDANEVITCH, Isabelle, LENCAUCHEZ, Jeanne, DUFFO, Lea, PINEAU, Christophe, ANDRE, Laura et RIBEIRO, Thierry, 2018. *CARactérisation des HAP et des métaux dans les herbages fauchés en bord de routes pour la MEthanisatioN (CARMEN)*. Rapport de projet de recherche. S.l.

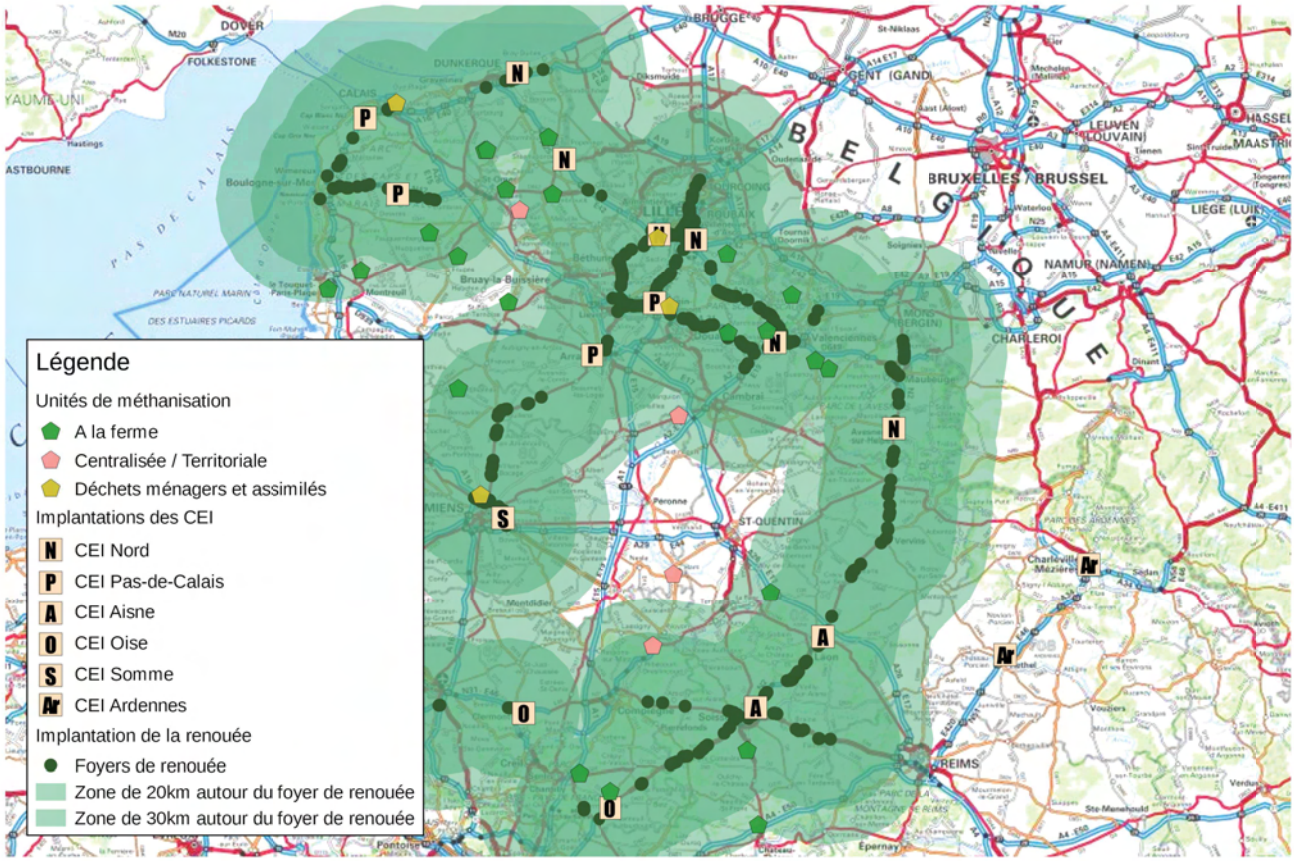
Annexes

Annexe 1 : Extrait de la base de données issues de l'inventaire des foyers de renouées asiatiques pour la DIR Nord

id	objetID	dateRefere	route	pr	depPr	concession	abs	cote	PrF	absF	espce	longueurpo	largeurpop	densit	loca_depen	proximite	CEI	surface
8	eee_av_008	2018-01-01	N0002	17	59	N	647	D			renouee	5 a 20m	1 a 3m	continue	accotement		avesnes	4
149	eee_ am_017	2018-01-01	N0001	28	80	N	930	D			renouee	> 20m	> 3m	continue	accotement		amiens	9
18	eee_av_018	2018-01-01	N0002	27	59	N	985	D	28	50	renouee	> 20m	> 3m	discontinue	talus		avesnes	9
1	eee_av_001	2018-01-01	N0002	102	2	N	200	I			renouee	5 a 20m	1 a 3m	continue	accotement	oa	avesnes	4
2	eee_av_002	2018-01-01	N0002	102	2	N	238	I			renouee	< 5m	< 1m	isolee	accotement		avesnes	1
3	eee_av_003	2018-01-01	N0002	102	2	N	738	I			renouee	< 5m	1 a 3m	continue	accotement		avesnes	2
4	eee_av_004	2018-01-01	N0002	102	2	N	868	I	102	900	renouee	> 20m	> 3m	continue	accotement		avesnes	9
5	eee_av_005	2018-01-01	N0002	106	2	N	176	I			renouee	< 5m	1 a 3m	continue	accotement		avesnes	2
6	eee_av_006	2018-01-01	N0002	11	59	N	1040	D	11	1070	renouee	> 20m	> 3m	discontinue	talus	oa	avesnes	9
7	eee_av_007	2018-01-01	N0002	12	59	N	234	D	12	244	renouee	5 a 20m	1 a 3m	continue	accotement		avesnes	4
9	eee_av_009	2018-01-01	N0002	20	59	N	244	D	20	285	renouee	5 a 20m	> 3m	continue	accotement+fond_fosse		avesnes	6
10	eee_av_010	2018-01-01	N0002	26	59	N	810	G	26	867	renouee	> 20m	> 3m	continue	accotement		avesnes	9
11	eee_av_011	2018-01-01	N0002	26	59	N	923	D	27	9	renouee	> 20m	1 a 3m	isolee	accotement		avesnes	6
12	eee_av_012	2018-01-01	N0002	27	59	N	132	D			renouee	< 5m	< 1m	isolee	accotement		avesnes	1
13	eee_av_013	2018-01-01	N0002	27	59	N	491	D			renouee	< 5m	< 1m	isolee	accotement		avesnes	1
14	eee_av_014	2018-01-01	N0002	27	59	N	563	D	27	582	renouee	> 20m	< 1m	isolee	accotement		avesnes	3
15	eee_av_015	2018-01-01	N0002	27	59	N	712	D			renouee	< 5m	< 1m	isolee	accotement		avesnes	1
16	eee_av_016	2018-01-01	N0002	27	59	N	774	G	27	905	renouee	> 20m	1 a 3m	discontinue	talus		avesnes	6
17	eee_av_017	2018-01-01	N0002	27	59	N	915	D			renouee	< 5m	> 3m	discontinue	accotement		avesnes	3
19	eee_av_019	2018-01-01	N0002	28	59	N	70	G	28	94	renouee	> 20m	> 3m	isolee	talus		avesnes	9
20	eee_av_020	2018-01-01	N0002	28	59	N	231	D			renouee	< 5m	1 a 3m	discontinue	accotement		avesnes	2
21	eee_av_021	2018-01-01	N0002	28	59	N	385	D			renouee	< 5m	< 1m	isolee	talus		avesnes	1
22	eee_av_022	2018-01-01	N0002	28	59	N	442	D			renouee	< 5m	> 3m	isolee	talus		avesnes	3
23	eee_av_023	2018-01-01	N0002	29	59	N	51	D	29	71	renouee	> 20m	> 3m	discontinue	talus		avesnes	9
24	eee_av_024	2018-01-01	N0002	29	59	N	597	D			renouee	< 5m	< 1m	isolee	accotement		avesnes	1

Annexe 2 : Complément cartographique sur les unités de méthanisation





Connaissance et prévention des risques – Développement des infrastructures – Énergie et climat – Gestion du patrimoine d'infrastructures – Impacts sur la santé – Mobilités et transports – Territoires durables et ressources naturelles – Ville et bâtiments

Cerema Nord-Picardie
44 ter, rue Jean Bart - CS 20 275 - 59019 Lille Cedex
Tél : +33 (0)3 20 49 60 00 – fax : +33 (0)3 20 53 15 25
Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30
Établissement public - Siret 130018310 00016 - TVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 www.cerema.fr