

Maîtrise de la Renouée par la fauche répétée et valorisation par méthanisation

Les problèmes engendrés par la présence de Renouée sur le territoire et les problématiques énergétiques actuelles s'associent dans ce projet initié en 2015.



- **Plante invasive : la Renouée du Japon**

La Renouée est originaire du Japon et de l'Est de l'Asie et a été introduite en France en 1825 principalement comme plante ornementale et fourragère.

Elle se reproduit en Lorraine par multiplication végétative grâce à ses rhizomes. En l'absence de tout prédateur naturel et étant dotée d'une vivacité exceptionnelle elle a rapidement envahi la majeure partie du territoire français et cause de nombreux dommages tant au plan des infrastructures que de la biodiversité.



N'hésitez pas à signaler à votre mairie la présence de Renouée sur votre commune !



- **Fauche répétée**

Notre projet met en place une fauche répétée de la Renouée suivant deux modalités principales toutes les 5 et 10 semaines, afin d'épuiser les rhizomes de la plante, et cela grâce au VSV développé par Noremat, permettant d'éviter toute dissémination de la plante grâce à son caisson d'aspiration.



10 g de rhizome peuvent redonner un pied feuillé entier !



- **Valorisation de la Renouée par méthanisation**

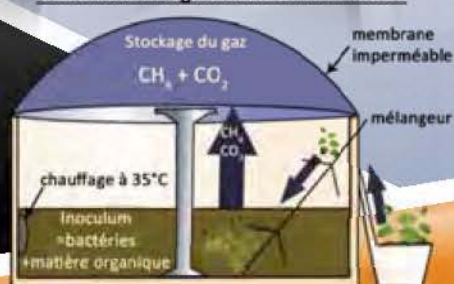
Lors des nombreuses fauches, une quantité importante de Renouée est récupérée. Toute cette biomasse est ensuite transformée en méthane grâce à la méthanisation. Ce méthane est ensuite utilisé pour générer de l'électricité.



Une tonne de Renouée méthanisée permettrait d'alimenter un frigo pendant une année !



Schéma d'un digesteur de méthaniseur



NOREMAT



Claire Toinon, Marie Lecarme, Valentin Weens, Adrien Vásquez, Philippe Dubois de la Sablonière, Cédric Perez, Mélina Ramos, Yann Guepet, Alexandre Magrit, Cyril Chabas, Eva Merlier

Plantes invasives

Maîtrise de la renouée par la fauche répétée et valorisation par méthanisation

Rapport Final



Projet Pro
Année 2014-2015



Table de matières

A) Bibliographie

1) Les plantes invasives sont sources de désagréments	5
1.1) Qu'est ce qu'une plante invasive ?	5
1.2) La renouée du Japon est une plante invasive présente sur tout le territoire Français	5
1.3) La renouée occasionne de nombreux désagréments	8
1.4) Les méthodes de lutte employées dans trois grandes régions du territoire français	9
1.4.a) Travaux menés en Côtes-d'Armor	9
1.4.a.α) Gestion expérimentale	9
1.4.a.β) Évaluation expérimentale de modes de gestion	11
1.4.a.δ) Les problèmes liés à la gestion des résidus de la renouée	12
1.4.a.γ) Les problèmes de gestion des populations en place	13
1.4.b) Travaux menés en région Rhône-Alpes	14
1.4.b.α) Recensement des luttes menées	14
1.4.b.β) Évaluation expérimentale et économique des méthodes utilisées	16
1.4.b.β.1) Évaluation expérimentale.	16
1.4.b.β.2) Évaluation économique	16
1.4.c) Travaux menés en vallée de l'Orge	17
1.4.c.α) Analyses préliminaires réalisées	18
1.4.c.β) Test des techniques de lutte	18
1.4.c.δ) Résultats obtenus	19
 2) La fauche est le moyen de lutte qui correspond le plus à notre objectif de valorisation de la biomasse des renouées mais elle implique des précautions	 22
2.1) La fauche	22
2.1.a) Qu'est ce que la fauche ?	22
2.1.b) Pourquoi choisir la fauche comme moyen de lutte ?	22
2.1.b.α) C'est une méthode déjà appliquées sur les bords de route car elle est nécessaire à leur entretien	22
2.1.b.β) C'est une méthode efficace pour lutter contre la renouée	23
2.1.b.δ) C'est un moyen de lutte qui s'inscrit dans une logique environnementale et économique	23
2.2) La fauche nécessite des outils et une organisation spécifiques	23
2.2.a) Comment doit-on faucher ?	23
2.2.b) Quel protocole de sécurité doit-on mettre en place ?	25
2.2.c) Mais il existe des freins à la mise en place de ce projet	25
2.3) Dans le cadre de notre projet, l'estimation de la biomasse récupérable d'un massif après fauche est nécessaire	26
2.3.a) Protocole de détermination de la biomasse récupérable en fonction de la densité du massif et de la hauteur des tiges	26
2.3.b) Détermination de la masse sèche	27
 3) La biomasse récoltée par la fauche est acheminée jusqu'au méthaniseur où il complète la ration et est transformé en biogaz	 27
3.1) Pourquoi la renouée est-elle un avantage dans la ration d'un méthaniseur dans le contexte géopolitique français actuel ?	27
3.1.a) Contexte politique Français actuel	27

3.1.b) Comment alimente-t-on un méthaniseur de nos jours ?	27
3.1.c) La renouée peut-elle être intégrée dans l'alimentation d'un méthaniseur et quels en sont les avantages ?	28
3.2) Tout d'abord, il faut se demander comment fonctionne un méthaniseur	28
3.2.a) Processus biologiques à l'origine de la production de biogaz	28
3.2.a.α) Les 4 étapes de cette production	28
3.2.a.α.1) Hydrolyse	28
3.2.a.α.2) Acidogenèse	28
3.2.a.α.3) Acétogenèse	28
3.2.a.α.4) Méthanogenèse	29
3.2.a.β) Paramètres à suivre et à surveiller pour assurer une biométhanisation stable	29
3.2.a.β.1) Acidose	29
3.2.a.β.2) Alcalose	30
3.2.a.β.3) Intoxication à O ₂	30
3.3) Comment est utilisé le biogaz formé par le processus de méthanisation	30
3.3.a) Les différents types de valorisation	30
3.3.a.α) L'injection dans un réseau de gaz naturel est rentable à partir de 200-250 m ³ de biogaz/h	30
3.3.a.β) L'utilisation dans les transports (biogaz carburant) est très coûteuse en infrastructure, de plus elle nécessite une adaptation du réseau de station-service	30
3.3.a.δ) La production de chaleur	31
3.3.a.γ) La production de la chaleur et d'électricité en cogénération	31
3.3.a.ε) La production de la chaleur, d'électricité et de froid en tri-génération	32
3.3.b) La tarification	32
3.4) La valorisation de la renouée est avantageuse mais certains freins à son utilisation dans la ration d'un méthaniseur sont à mettre en évidence	32
3.4.a) Détermination du BMP de la renouée	32
3.4.a.α) Les conditions expérimentales	32
3.4.a.β) Préparation de l'inoculum	33
3.4.a.δ) Test de digestibilité	33
3.4.a.γ) Mesure de la production de CH ₄	34
3.4.a.γ.1) Mesure par manométrie.	34
3.4.a.γ.2) Calcul de volume dans les conditions NTP	34
3.4.b) Intérêt de la pré-hydrolyse avant méthanisation de la renouée	35
3.4.c) La renouée pose néanmoins quelques désagréments à l'utilisation de celle-ci dans la ration d'un méthaniseur	35
B) Matériels et méthodes	36
1) Fauche	36
2) Méthanisation	37
2.1) Détermination du BMP	37
2.2) Traitements statistiques	37
2.3) Ensilage et test de repousse	38
3) Communication	38
3.1) Les différents supports	38
3.2) Réflexion sur la création	39
C) Résultats	
1) La fauche	40
1.1) Règles à respecter pour la fauche	40

1.2) Les différentes étapes de la fauche	41
1.3) La répartition des modalités sur les différents sites de fauche	43
1.4) Réalisation de la première fauche	44
2) Méthanisation	45
2.1) Courbes BMP	45
2.2) Étude statistique	46
2.2.a) <i>Comparaison des temps d'attente du plateau selon les différents substrats</i>	46
2.2.b) <i>Comparaison du volume final cumulé selon les différents substrats</i>	47
2.2.c) <i>Comparaison de la perte maximale selon les différents substrats</i>	48
2.2.d) <i>Interprétation agronomique</i>	48
3) Communication	48
3.1) Le rendu des différents supports de communication	49
3.2) Les répercussions	52
3.3) Les projets à développer	53
Conclusion	56
Bibliographie	57
Partenaires	61
Annexes	62



Résumé :

L'objectif global de ce projet est de mettre en place un protocole de lutte et de valorisation de la biomasse de la renouée asiatique, plante invasive présente sur tout le territoire français.

Ce rapport présente en détails le déroulement de ce projet et les travaux réalisés au cours de cette année 2014-2015. La bibliographie exposée en première partie nous donne les bases nécessaires à l'élaboration des différents protocoles mis en œuvre pour réaliser à terme ce projet.

La méthode de lutte retenue pour concrétiser ce projet est la fauche répétée ; tandis que la méthanisation a été choisie comme méthode de valorisation de ce « déchet ».

A) Bibliographie

1) Les plantes invasives sont sources de désagréments

1.1) Qu'est ce qu'une plante invasive ?

La présence de nombreuses plantes invasives est avérée en France. Une plante invasive est :

- allochtone : ce qui signifie qu'elle n'est pas originaire du territoire où elle est observée.
- importée : elle se trouve sur un nouveau territoire grâce à l'intermédiaire de l'homme qui l'importe involontairement (par exemple dans le cas de graines échangées ou dans la cale d'un bateau) ou volontairement (pour certaines propriétés de la plante par exemple comme plantes ornementales ou fourragères).
- adaptée : c'est à dire qu'elle ajuste son fonctionnement à son nouveau milieu.
- prolifère : elle a des capacités de colonisation exceptionnelles par un mode de reproduction (souvent par multiplication végétative) efficace.
- modifie l'écosystème qui l'abrite (et qui nuit à la santé animale ou humaine).

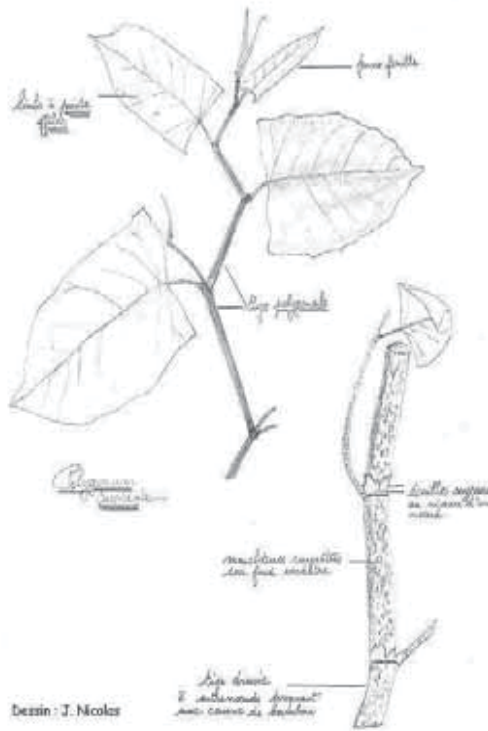
On observe un changement de composition, de structure et/ou de fonctionnement des écosystèmes. Elles possèdent par ailleurs, un fort potentiel d'occupation spatiale et une large amplitude vis à vis du sol. Les plantes invasives n'ont pas de prédateurs et pas d'espèces concurrentes. On a plus de chance de prolifération d'une espèce envahissante sur des terres dégradées (autrement dit, anthropisées). C'est en effet une plante pionnière.

Mais surtout, elles continuent à s'étendre à cause de l'homme sur tout le territoire et posent de nombreux désagréments aux collectivités en détériorant les infrastructures ou la visibilité sur la voirie, entre autres, ainsi que d'importants dégâts au niveau environnemental tel qu'une baisse de la biodiversité sur les zones où elles sont implantées.

1.2) La renouée du Japon est une plante invasive présente sur tout le territoire français

Comme son nom l'indique, cette espèce de renouée vient du Japon (et plus généralement de tout l'est de l'Asie continental). Dans son milieu d'origine, cette plante ne présente aucun caractère invasif et est même plantée pour ses vertus médicinales. Elle fut introduite en Europe en 1825 comme plante ornementale et fourragère. Aujourd'hui, elle y est devenue invasive bénéficiant d'une vivacité exceptionnelle et ne connaissant pas de prédateurs locaux. On trouve aujourd'hui sur le territoire français trois espèces de renouée : la japonica, la sachaline et la bohémica (hybride des deux précédentes). Ces végétaux se présentent sous forme de massifs de taille et de densité variables. Les espèces sachaline et japonica se différencient essentiellement par la taille de leurs feuilles (entre 8 à 12 cm non cordées pour japonica et 20 à 45 cm cordées pour sachaline) et leur vitesse de croissance (voir les documents 1 et 13 ci-dessous). En fin de période végétative les tiges peuvent atteindre jusqu'à deux mètres de haut. Un autre point qu'il semble important de relever sur la typologie du massif est la présence dans un massif non fauché de tiges lignifiées vestiges des tiges de l'année précédente (mis en évidence dans le document 3 joint).

Document 1 : Visualisation de la morphologie des deux espèces et d'un massif représentatif de sachaline



Elles possèdent également un rhizome extrêmement résistant et prolifique : 10 g de rhizome peuvent redonner un pied feuillé entier.

Document 2: Renouée perçant la première après une fauche et photographie de jeune pousse – Esquerdes – élèves



Mais outre ces capacités de régénération et reproduction impressionnante, ces plantes prolifèrent autant parce qu'elles trouvent les conditions du milieu plus que favorable à leur expansion : « la renouée du Japon supporte des conditions de vie très variées mais elle affectionne particulièrement les milieux frais aérés et la proximité de l'eau, son optimum se situant à un ou deux mètres au-dessus du niveau du lit de la rivière »². Malheureusement, ces conditions propices sont souvent des conséquences des activités humaines. La renouée a une « dynamique de colonisation qui surpasse de loin les capacités adaptatives des autres espèces stressées par des milieux qui ne leur conviennent plus ».¹ On a pu lire que « dans des milieux naturels où la biodiversité est conservée, les renouées invasives ont beaucoup plus de difficultés à se développer ».¹ Ces caractéristiques sont soulignées dans l'étude menée par l'association Escaut Vivant (Nord-Pas-de-Calais) « C'est ainsi qu'il a été démontré à plusieurs reprises que l'invasion par les renouées apparait préférentiellement dans les milieux perturbés et dégradés par les activités anthropiques et sont par conséquent, consécutives d'une agression contre l'écosystème plutôt que la cause initiale ».² En plus d'être un acteur actif de la mise à mal de l'écosystème par la renouée, l'homme est également responsable de sa dissémination. En effet, lors d'un fauchage non-raisonné par des épaveuses il n'est pas rare de voir disséminer dans les alentours des fragments de renouée pouvant redonner naissance à un nouveau massif par multiplication végétative. Cette affirmation est confortée par la cartographie des massifs de renouée réalisée par différentes associations³ : elle se développe essentiellement le long des routes et des cours d'eau (l'eau étant un vecteur propre de dissémination de fragments plus ou moins important).

Document 3 : Photo de massifs de renouée - Poudrerie d'Esquerdes





1.3) La renouée occasionne de nombreux désagréments

Le premier impact notable est sans nul doute celui qu'elle occasionne vis à vis de la biodiversité. C'est une plante pionnière (capacité de croissance exceptionnelle : 4 à 8 cm/j) qui, par son occupation au sol (forte densité des pieds notamment pour japonica) et ses larges feuilles (notamment pour sachaline) qui occultent de la lumière la végétation située au niveau du sol, empêchent ou défavorisent le développement de la plupart des espèces autochtones. « Quant à la faune, souvent dépendante des espèces autochtones, elle recule drastiquement (les populations d'invertébrés chutent par exemple de 40 %)⁴ ». Cela conduit à des peuplements monospécifiques (document 4).

Document 4 : Invasion d'un cours d'eau par les renouées - Rhône-Alpes



Le deuxième implique les infrastructures, les équipements routiers et les talus de bord de routes. Les rhizomes peuvent s'enfoncer jusqu'à une profondeur de 10m et s'étaler sur la largeur d'une autoroute 2*3 voies. En fait, les tiges souterraines de cette plante sont

constituées de telle manière que les parties les plus jeunes engendrent de nouvelles pousses aériennes alors que les rhizomes les plus anciens servent de réserve de substances nutritives.¹ Ils peuvent sans plus de difficulté percer une chaussée (document 5).

Document 5 : *Rhizome de renouée perçant la chaussée – Laxou – association floraine*



1.4) Les méthodes de lutte employées dans trois grandes régions du territoire français

1.4.a) *Travaux menés en Côtes-d'armor*⁵

Cette étude a été menée en Côtes-d'Armor, sous la direction de Le Guen M., Haury J., coll. Coudreuse J., Bozec M., et avec l'aide d'AGROCAMPUS OUEST, de l'INRA, et du Conseil Général des Côtes d'Armor de Saint Briec. Elle regroupe plusieurs sites comprenant différents massifs de renouée. Elle s'étale donc sur différentes périodes, dont les conclusions sont présentées ici, en 2010.

Pourquoi avoir choisi les Côtes-d'Armor ?

La renouée du Japon y est très bien implantée et dispersée, tout particulièrement dans l'Ouest du département. C'est la plante invasive la plus observée. En effet, 487 observations de renouée du Japon ont été recensées, dont 28 % en bord de route, 24 % en bord de rivière, 11 % en fossé, 6 % en friche, 5 % en talus, bord d'étang: 1 %; cultures: 1 % ; falaise, forêt; marais maritime, prairie naturelle: < 1 % et 22 % n'ayant pas été précisé.

1.4.a.α) *Gestion expérimentale*

Lamballe Communauté a entamé en 2005 un programme de lutte contre plusieurs massifs de renouée du Japon situés à Moncontour. Depuis mai 2005, il est procédé 5 ou 6 fois par an à l'arrachage des tiges et d'autant de rhizomes de renouée que possible sur les trois sites gérés.



Deux de ces sites ont fait l'objet de plantation de boutures de saules (trou pratiqué à la barre à mine sur 50 cm avant de mettre en place la bouture).

L'un des sites a, préalablement à la plantation, été recouvert d'un géotextile biodégradable (tissus agrafés au sol, se chevauchant sur 50 cm). L'efficacité de ces techniques a été évaluée à travers une observation de la dynamique générale des massifs: le développement de la renouée s'est trouvé stabilisé et la densité des tiges a chuté, sans que des données chiffrées aient été recueillies. Un troisième site a fait l'objet d'un bâchage (bâche agricole du type employé pour couvrir les tas d'ensilage) en mai 2005 après arrachage des tiges et des rhizomes superficiels; deux couches de bâche ont été posées, débordant d'un mètre de chaque côté du massif. Aucune tige de renouée n'a, depuis le bâchage, été observée autour de ce massif. La bâche est toujours en place en janvier 2009. Les tiges et rhizomes de renouée arrachés depuis 2005 au cours des actions menées sur les différents sites de Moncontour ont été déposés en tas sur et sous bâche plastique. En avril 2007, le tas correspondant aux résidus de renouée des campagnes d'arrachage 2005 et 2006 a été débâché: cela a conduit à l'observation en mars 2008 de deux tiges de renouées s'étant développées à partir de ces débris.

L'association COEUR (Comité Opérationnel des Élus et Usagers de la Rance) mène depuis 2004 des opérations de lutte contre un massif de renouée de Bohême situé en bordure de cours d'eau. La première année (2004), les tiges ont été coupées une fois en juillet. La deuxième année (2005), les tiges et rhizomes superficiels ont été arrachés en juin, juillet, août et octobre, un géotextile de paillage biodégradable (Plantcobio : 70% jute, 30 % chanvre, 1000 g /m², plus polypropylène non tissé 14 g /m²) ayant été installé en juin. La troisième année (2006), des boutures de saule ont été plantées en vue de concurrencer la renouée; plusieurs arrachages des tiges et rhizomes superficiels ont été menés au cours de la saison de végétation. Ces arrachages se sont poursuivis les années suivantes (2007 et 2008), représentant une charge de travail de moins en moins importante en raison de l'épuisement progressif de la plante. En effet, la densité de tiges

par unité de surface a sensiblement diminué depuis le début du traitement, de même que la hauteur et la vigueur des tiges. L'impact des méthodes de lutte employées n'a pas été évalué au moyen d'indicateurs précis; néanmoins, en comparant l'aspect général de la station (sur photographie) avant le début du programme de lutte à son aspect actuel, force est de constater que la renouée de Bohême a nettement régressée : là où s'étendait auparavant un massif dense de renouée, ne subsistent plus aujourd'hui que quelques tiges éparses et grêles sous un couvert de saules redonnant au site la physionomie d'une ripisylve banale. Toutefois, si la renouée est fortement affaiblie, elle n'est pas éradiquée et les opérations d'arrachage devront se poursuivre dans ce but.

Il semble assez clair que des opérations appropriées de gestion permettent de contrôler, sinon d'éradiquer des populations de renouées. La renaturation par plantation favorise la régression des populations, mais ne peut arriver à une réelle disparition au moins dans des délais courts, ce que corrobore M. BOYER (2005 et sur son site).

Il est donc important, après les gros travaux d'attaque du massif (pose de géotextile, plantation, éventuellement décaissement), qu'un entretien très régulier soit réalisé. Par ailleurs, on peut noter l'absence de données chiffrées, et surtout l'absence de témoin, les acteurs locaux ayant tendance à traiter l'intégralité d'une zone, ce qui est compréhensible du point de vue de la gestion mais un effort de formalisation des expérimentations et de quantification serait donc à préconiser, ce qui justifie la mise en place de « sites d'expérimentations ».

C'est un des objectifs de notre projet, lancer une expérimentation de gestion d'un massif de renouée, grâce à une épareuse, et de tester des fréquences de coupes, afin de déterminer celle qui serait idéale.

1.4.a.β) Évaluation expérimentale de modes de gestion

LE GUEN (2008) a mené, pour le Conseil Général des Côtes d'Armor, en collaboration avec AGROCAMPUS OUEST et avec le concours technique de la ville de Saint-Brieuc (Service des Jardins), une expérimentation quant aux capacités de régénération des tiges de renouées asiatiques. Les objectifs étaient d'une part d'établir s'il existe un risque de bouturage de fragments de tige de renouées asiatiques après broyage à l'épareuse et d'autre part de déterminer si les tissus nœdaux et internodaux possèdent les mêmes capacités de régénération, ce pour les quatre taxons du groupe des renouées asiatiques. Cette expérimentation est, pour nous, l'une des plus importante à tenir en compte. En effet, elle est réalisée grâce au même type de matériel (épareuse) que nous allons utiliser dans notre projet.

Le matériel végétal employé dans l'expérimentation de LE GUEN, consistait en tronçons de tiges (comportant zéro ou deux nœuds) de *F. japonica*, *F. x bohémica*, *F. sachalinensis* et *Polygonum polystachyum*, ainsi qu'en fragments de tiges de *F. japonica* résultant d'un broyage à l'épareuse. Ces tronçons et fragments ont été placés dans diverses conditions de cultures supposées favorables à la régénération. L'essai a mis en évidence, chez les quatre taxons, les capacités de régénération des tronçons comportant deux nœuds. Aucun des tronçons ne comportant pas de nœuds n'a montré de signes de régénération; il semble donc que les tissus internodaux ne possèdent pas de capacités de bouturage, et ce quelque soit le taxon. Enfin, les fragments de *F. japonica* résultant du broyage à l'épareuse n'ont montré aucun signe de régénération. Les résultats de cet essai soutiennent donc la position, défendue par BROCK et al. (1995) et DE WAAL (2001), selon laquelle les tissus internodaux des Reynoutria sont incapables de se régénérer.

L'essai portant sur les fragments réfute 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 de ses stations, sauf s'il y a de mauvaises pratiques comme un broyage trop près du sol fragmentant les rhizomes ou des dispersions de morceaux de tiges à distance, laissées sur place dans des conditions favorables d'humidité autorisant un bouturage.

L'épareuse semble être un mode de gestion des massifs de renouées tout à fait recommandable pour peu que de bonnes conditions d'utilisation soient définies et respectées (fragmentation importante des tiges sans laisser des nœuds intacts et surtout, s'il y a des morceaux de tiges projetés alentours, les ramasser et éviter de les laisser sur des milieux humides).

Polygonum polystachyum n'avait, semble-t-il, quant à lui, fait l'objet d'aucune évaluation de ses capacités de régénération végétative; LE GUEN (2008) apporte donc des éléments nouveaux en mettant en évidence de fortes capacités de bouturage des tiges de *P. polystachyum* dans un substrat terreux. Il est également démontré que *P. polystachyum* ne peut se bouturer en l'absence de nœuds.

De ces résultats, il ressort qu'un entretien mécanique par éparage est envisageable, à la condition d'être fait avec un réglage suffisamment au-dessus du sol pour éviter de fragmenter les rhizomes, qu'il soit suffisamment fin pour avoir une bonne fragmentation des tiges et qu'aucun nœud ne soit laissé intact, et que les fragments projetés autour du chantier soient bien récupérés.

1.4.a.δ) Les problèmes liés à la gestion des résidus de la renouée

Le développement de la renouée dans l'environnement naturel des Côtes-d'Armor est mal connu. En effet, l'étude menée n'avait pas pour but de déterminer si le climat relativement doux de la côte est plus favorable ou pas à la croissance de la renouée.

Le manque de données concernant la renouée (dimensions maximales des massifs, surface d'expansion des rhizomes, zéro de croissance, température létale, ...) limite les actions possibles quant à la lutte.

En restant dans le domaine biologique, le problème qui fait le plus débat est la gestion des résidus de cette plante invasive. L'étude propose deux méthodes de gestions :

la première étant de ramasser les résidus

la deuxième suggère de laisser les fragments sur place (s'ils sont assez petits) afin de former un mulch limitant la repousse des tiges à partir des rhizomes.

La deuxième solution soulève cependant un problème important : les résidus seront-ils assez petits pour empêcher toute reprise par bouturage ? De plus, en laissant les résidus sur place on prend le risque de les disséminer (par le vent, pendant le passage de l'épareuse), c'est pourquoi, dans notre projet professionnel, cette solution de gestion ne sera pas exploitée.

L'étude propose aussi trois solutions globales de gestion des terres contaminées :

un traitement par concassage ou par traitement de l'horizon superficiel, ce qui permet de ne pas avoir de déchet, ne pas avoir un dépôt en décharge, ni un enfouissement profond.

La dernière méthode de gestion est intéressante, car une étude a été menée sur la profondeur critique, en deçà de laquelle la renouée ne peut pas repousser.

FRANCIS et al. (2008) ont évalué les capacités de régénération de fragments de tiges et de rhizomes de *Fallopia japonica* à des profondeurs variables (5, 15 et 25 cm). En conclusion de ce travail, les auteurs commentent les préconisations faites par The Environment Agency (2006), qui selon eux conseille d'enfouir les rhizomes de renouées asiatiques de 5 à 10 mètres de profondeur. Selon FRANCIS et al. (2008), donc, il existe une profondeur critique au delà de laquelle la régénération des rhizomes de *Fallopia japonica* n'est pas possible, et cette profondeur est moins importante que celle préconisée par The Environment Agency (2006). D'autre part, si un enfouissement à faible profondeur ne suffit pas à neutraliser les rhizomes, leurs capacités de régénération en sont tout de même affectées et le seraient davantage encore en cas d'emploi de méthodes de lutte complémentaires.

1.4.a.y) Les problèmes de gestion des populations en place

C'est dans ce domaine qu'il y a une très grande attente, et de multiples essais de gestion. On remarque que dans l'étude menée dans les Côtes-d'Armor, ils sont confrontés aux mêmes problèmes que notre équipe. Pour cette gestion, il y a souvent un manque de moyens financiers ou techniques appropriées surtout lorsque les acteurs sont des particuliers ou des petites collectivités locales.

Les lignes suivantes proposent des solutions vis à vis des collectivités et des acteurs locaux, du point de vue des auteurs de l'étude.

D'après les auteurs de l'étude, pour certaines des grosses collectivités, il peut y avoir une lourdeur de prise de décision dommageable. Par rapport à la gestion des populations en place, il serait nécessaire à la fois de bien connaître les caractéristiques techniques, et de façon quantitative (temps passé, nombre de personnes, ...) des opérations effectuées, mais aussi les caractéristiques des populations auxquelles on applique cette gestion (biomasse en place, densité et hauteur des tiges). Il serait important de mettre en place des suivis, pour arriver à « capitaliser » les informations, ... et donner des conclusions extrapolables d'un site à l'autre. L'étude trouve judicieux d'élaborer une grille d'analyse reliant les caractéristiques des sites, celles de la colonisation et les techniques envisageables, faisant une synthèse des opérations déjà réalisées dans le département ou l'ouest de la France (ou de l'est de France, dans notre cas). Cette proposition a aussi été mise en avant par notre projet, car elle permettrait un meilleur suivi des massifs. Cependant, l'élaboration d'une carte récapitulative ne fait pas partie de nos objectifs.

L'analyse des paramètres sitologiques pertinents n'a jamais été faite. Pour cela, l'étude propose l'élaboration de grilles de suivi. Dans le but de jauger les résultats des gestions pratiquées, il faut réaliser un suivi, avec ces paramètres qui restent à élaborer et à formaliser de façon générale, mais aussi à adapter à chaque site. Ces grilles s'appliquent à la fois au site (d'où l'importance de la définition de paramètres permettant une synthèse, qui permettront une extrapolation ultérieure), aux dimensions des massifs, mais aussi des caractéristiques populationnelles (hauteur, densité de tiges, éventuellement état phénologique – végétatif, en fleur, en fruit). Il est important de bien préciser les conditions et périodes d'intervention pour comprendre les effets observés qu'il faut bien sûr quantifier après intervention, mais en ayant des données antérieures pertinentes.

1.4.b) Travaux menés en région Rhône-Alpes⁶

Cette étude a été menée en région Rhône-Alpes dans le cadre d'une journée de lutte contre la renouée organisée par l'ARRA (Association rivière Rhône-Alpes). Cette action est soutenue par la région Rhône-Alpes et par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse. L'action a été menée sur différents sites d'expérimentation de renouée de la région à des périodes différentes. Dans cette étude on nous présente les résultats de toutes les actions menées.

1.4.b.α) Recensement des luttes menées

Une première lutte menée par l'organisme Concept Cours d'Eau sous la direction de Mireille Boyer consiste en un arrachage précoce des plants et plantules de renouée.

Bien sûr, cette technique est certes écologique mais très laborieuse si on s'attaque à des plants avancés de renouée puisque pour cette technique on utilise que des pioches et des sacs poubelles. Lors de l'arrachage des plants, il faut faire attention à retirer l'intégralité du rhizome pour éviter toute reprise de la plante. De plus il faut éviter de faire tomber des bouts de rhizomes par terre ou dans un cours d'eau si le massif se trouve à proximité d'une rivière. Après l'arrachage, les plants ont été stockés sur une plateforme. Cependant cette technique reste simple à réaliser et permet d'éviter ou du moins de limiter la contamination d'un espace épargné par l'invasion.

Une deuxième technique consiste en une éradication et un bâchage du site des Collières réalisée par la Commune de Communautés Rhône-Valloire sous la direction de Richard Carret. Ces travaux incluent un décaissement de la berge puis le passage des déblais dans un godet concasseur puis une mise en œuvre d'une stabilisation de pied de talus en fascinage de saule et enfin un terrassement avec couverture des talus par une bâche plastique et opaque de type agricole. Bien sûr un contrôle de la taille des rhizomes est effectué après le concassage. Après un an, un contrôle du pourrissement des rhizomes a été effectué pour constater l'efficacité du moyen de lutte et une revégétalisation de la berge fut réalisé.

Document 7 : Photographie de rhizomes et de la mise en place d'un bâchage - Rhône-Alpes



Une troisième technique réalisée par le Conseil Général de la Savoie sous la direction de Jean-Pierre Argoud consiste en une immersion de matériaux inertes et infestés de rhizome de renouée issus de l'arasement des atterrissements de l'Isère sur le site de la gravière de Pré la Chambre. Précédemment aux travaux, un dossier réglementaire d'installation de stockage de déchets inertes a été déposé et a abouti à un arrêté

préfectoral d'autorisation en octobre 2008. Suite à ça la commune de Chamousset a acquis la gravière en 2009 et une convention d'occupation temporaire fut signée en mai 2009 entre la commune et la DDT pour le dépôt des matériaux d'une durée de 3 ans. Les travaux ont été réalisés sur une surface de 5 hectares avec un volume utile de matériaux d'environ 306 000 m³ pour une tranche libre d'eau de 2 m. Ainsi dans cette première tranche d'eau a été déposé 36 000 m³ de matériaux soit 11.8 % du volume utile. Donc pour ces travaux, ils ont mis en place un long barrage flottant autour de la zone de déversement pour récupérer le maximum de bouts de rhizomes flottants puis une zone d'accès unique pour l'ensemble des travaux d'immersion. A partir de cette zone, un remblai central a été fait pour permettre l'accès aux camions. Une pelle à long bras a été installée en fin de déchargement pour replacer les matériaux issus du remblai afin de contrôler le niveau des déchets après disposition dans le but de conserver la hauteur d'eau définie. Bien sûr, un nettoyage des engins à chenilles utilisés est réalisé et un contrôle répété et minutieux des rives du plan est effectué pour récupérer et détruire tous les rhizomes échoués et vivants pendant la période végétative. Cette technique permet de réaménager le site et ainsi faire de la réhabilitation écologique.

Une quatrième technique consiste en une végétalisation des berges du ruisseau de la Combaz menée par le Conseil Général de la Savoie sous la direction de Nadine Deschamps. Ce massif dense et uniforme est situé en aval du pont de la route départementale 925, en direction de Notre-Dame-des Millièrès. Cet aménagement fut réalisé après une période de fauche de 4 ans où une fauche par mois en période estivale fut faite. « Le principe d'aménagement retenu a consisté sur 90 mètres de berges en la pose d'une bâche opaque (toile de paillage type polypropylène 130 g/m²). Cette toile a pour but d'empêcher les pousses de renouée en les privant de lumière, elle sera enlevée à l'issue de 4 années végétatives, selon l'état de croissance des végétaux implantés et la virulence observée des rhizomes de renouée, elle pourra être maintenue plus longtemps en cas de nécessité, la mise en place de 1 440 boutures de saules, diamètre 2-4 cm, longueur 80 cm, à raison de 4 pièces/m², en partie inférieure du talus riverain, la plantation de 720 arbustes à racines nues d'essences indigènes et adaptées en partie supérieure du talus, hauteur 60-90 cm, 2 pièces/m². » 1. Après 4 ans, ils ont constaté une repousse de la renouée ainsi qu'une reprise des végétaux implantés.

Document 8 : Photographie avant/après intervention (2004 à gauche et 2008 à droite) - Rhône-Alpes



Une cinquième technique consiste en une éradication mécanique par concassage réalisé sur le site du Pont de Grésy sur Isère par le Conseil général de la Savoie sous la direction de Jean-Pierre Argoud. Ce site est infesté par deux invasives, les solidages en

aval (*Solidago gigantea*) et les renouées du Japon en amont. Pour cette méthode, ils ont délimité 10 parcelles de 50 m² avec 5 dans la zone en aval infestée par les solidages et 5 dans la zone en amont où la renouée du Japon est présente. Puis les parcelles ont été saturées en eau et recouvertes au ¾ d'une bâche opaque. Ainsi la partie non recouverte sert de témoin. Pour le concassage, deux outils ont été utilisés : le godet à marteaux et le godet à disques, tous deux avec une fréquence de passage différente. Les résultats ont permis de constater l'efficacité du concassage associé à la couverture du sol comme pour la parcelle 6 où il y a 100% de mortalité ou à une saturation en eau comme pour les parcelles 1 à 5 où il y a 100% de mortalité. Ainsi après 3 saisons végétatives, ils n'ont constaté aucune repousse sur les parcelles saturées en eau.

Une sixième technique a été employée par le CISALB (Comité InterSyndical pour l'Assainissement du Lac du Bourget) sous la direction de Sébastien Cachera. Ils ont pratiqué une éradication mécanique par concassage-bâchage sur l'ancienne décharge du Viviers-du-Lac en cours de réhabilitation. Donc le CISALB doit faire une réhabilitation paysagère de la décharge avec comme objectif de limiter l'infiltration des eaux météoriques par la création de modelés engazonnés nécessitant un apport de près de 600 000 m³ de matériaux terreux. La zone infestée couvre 2 200 m² (55m x 40m) et est longée par un réseau de fossés, qui rejoint le lac du Bourget situé à proximité. Des sondages dans le sol ont permis d'évaluer la profondeur limite d'intervention fixée par la présence des premiers déchets (fibre de verre) qui se situaient vers 1,1/1,2 m de profondeur. De ce fait, l'épaisseur de sol pouvant être concassée a été fixée à 0,9 m. ils ont effectué un concassage et un décapage progressif de la terre infestée avant de la remettre en place, soit un volume total de 1980 m³. Deux modèles de broyeurs ont été testés, l'un peu puissant adapté aux travaux paysagers et l'autre beaucoup plus puissant adapté aux travaux agricoles ou forestiers. Après la remise en place des matériaux, la surface a été recouverte d'une double épaisseur de bâche plastique peu épaisse, maintenue par un tapis discontinu permettant de couvrir la renouée. Le suivi expérimental a consisté à analyser l'efficacité du concassage pendant les travaux, à vérifier l'état de la bâche en période végétative, puis à évaluer la mortalité des rhizomes à partir d'un prélèvement fin 2010 et de l'observation de la repousse végétale au printemps 2011.

1.4.b.β) Évaluation expérimentale et économique des méthodes utilisées

1.4.b.β.1) Évaluation expérimentale

Toutes les méthodes employées ont donné des résultats mais à des degrés d'efficacité différents. Cependant les techniques les plus efficaces semblent être, au vu des résultats, les techniques de concassage avec un bâchage derrière, puisqu'après plusieurs saisons végétatives, il n'y a pas eu de repousse de renouée sur le site d'expérimentation.

1.4.b.β.2) Évaluation économique

Les techniques employées ont un coût non négligeable qu'il faut prendre en compte lorsqu'on veut entreprendre une éradication de renouée sur une zone jugée à risques. Les prix varient selon le matériel utilisé et surtout des intermédiaires à contacter pour réaliser les travaux adéquats. Ainsi la technique la plus chère et aussi celle qui a le mieux marché représente un coût global de 23 300 € HT. Une technique alternative moins onéreuse que la précédente mais présentant de très bon résultats quand même est la végétalisation de la berge par du saule pour un coût global de 14 000 € HT.

1.4.c) Travaux menés en vallée de l'Orge⁷

«La région parisienne n'est pas épargnée par la renouée du Japon, et le SIVOA est depuis quelques années concerné par ce phénomène. En matière d'environnement, le SIVOA, ou Syndicat mixte de la Vallée de l'Orge Aval, collectivité territoriale composée de 33 communes et agglomérations de communes, est en charge de différentes activités concernant l'amélioration de la qualité des eaux de l'Orge (rivière essonnienne), l'aménagement du fond de sa vallée et la réhabilitation de ses espaces naturels ».

Dans le cadre de ses activités de préservation de la qualité des milieux, il a donc décidé de mener une étude poussée sur l'emprise de la renouée du Japon dans la vallée et de mettre en place des techniques de lutttes à expérimenter in situ dans l'espoir de son éradication définitive.

La présente étude, menée pour le compte du SIVOA, s'est appuyée dans un premier temps sur un inventaire détaillé de la renouée du Japon dans la vallée de l'Orge et sur les résultats qui en découlent pour préciser l'état de l'invasion et la dynamique invasive de la plante. Cet inventaire est en outre fondamental pour étudier l'évolution et la progression de la plante au fil des années. Une étude bibliographique des techniques de lutte déjà expérimentées en Europe a permis de sélectionner celles à mettre en oeuvre dans le cadre du plan d'éradication expérimental. La finalité de cette étude a consisté à l'élaboration d'un plan de gestion des parcelles expérimentales sur 4 ans et d'un plan de gestion destiné à limiter l'invasion de la plante dans la vallée et à préserver les sites non infectés. Les objectifs à long terme de cette étude seront de mettre en application à l'échelle de la vallée les techniques de lutte efficaces et validées par l'expérimentation sur les populations de renouées désignées comme dangereuses par les inventaires de terrain.

Il est important de noter que toutes les mesures, prélèvements et analyses de résultats réalisés ici ont été effectués dans le but d'établir des moyens de gestion de la plante, et non de faire une analyse poussée de sa biologie et de son écologie.»

Il est précisé dans ce rapport que le linéaire de l'Orge Aval (environ 44km) est majoritairement géré par le SIVOA qui ne nie pas être au moins en partie responsable de l'expansion de la plante dans cette zone. Les auteurs soulèvent aussi le problème de la présence sur ce linéaire de parcelles privées dont la gestion incombe dans ce cas aux différents propriétaires terriens ; une lutte durable ne sera possible que par une parfaite entente vis à vis de la marche à suivre entre les différents gestionnaires.

En terme de lutte, les différents gestionnaires s'accordent à dire qu'il s'agit d'une entreprise hasardeuse, onéreuse et parfois impossible. De plus, toutes les tentatives entreprises en Europe n'ont eu que des effets localisés et à court terme. Il apparaît alors que mettre en place une stratégie efficace et surtout généralisée est l'un des enjeux majeur dans la gestion des milieux naturels d'Europe.

1.4.c.α) Analyses préliminaires réalisées

Une cartographie fine de la localisation des massifs de renouées sur le linéaire de l'Orge Aval a été réalisée et associée à un relevé de données écologiques pour chaque « tache » présente sur la carte.

Ont ainsi été analysés : l'ensoleillement, la distance du massif à la berge, la pédologie dans le but de réfuter toute relation entre la structure du sol et la présence de renouées. Un relevé floristique de ces zones a également été fait pour évaluer l'impact de l'invasive sur la biodiversité du site (il est également précisé que cette diversité est déjà réduite le long de l'Orge par l'homogénéité du type de niche écologique).

Pour chacune de ces « tâches », un certain nombre de « données biologiques » a également été relevé afin de suivre l'évolution de l'invasion au fil des saisons. Ces données regroupent en outre : l'espèce de renouée présente, les dimensions du massif, les hauteurs et circonférences des tiges ainsi que la densité (moyennes par massif).

Toutes ces données sont ensuite regroupées sur une carte à l'aide de l'outil SIG et l'évolution de chaque massif peut être suivie d'année en année. Cela permet également de classer les différents points contaminés en petite, moyenne ou grande population (ces 3 classes étant préalablement définies).

Cette étude a également été complétée d'une recherche bibliographique (dont les différentes sources sont citées dans le rapport du SIVOA) au sujet des différentes techniques de lutte employées dans le monde. Cette recherche est synthétisée sous forme de tableau dans le document 11.

1.4.c.β) Test des techniques de lutte

Ne sont testées ici que les techniques dont « la littérature donne des résultats probants » et dont la pratique est « en accord avec l'éthique du syndicat et ses obligations environnementales », elles ne doivent pas non plus représenter une charge de travail trop lourde (agenda chargé des collaborateurs). La lutte chimique a donc été rejetée d'office car jugée peu écologique et peu fiable. Parmi les luttes mécaniques restantes, seules celles en accord avec la politique de gestion du SIVOA ont été retenues, à savoir :

- couverture du sol par géotextile

Après arrachage de la plante, un épais tapis de fibre de coco est posé sur le sol afin d'en éviter la repousse.

- fauche + plantation de ligneux

On associe ici à un arrachage mensuel des repousses de renouée la plantation de plantes ligneuses (bouturage de saules notamment à raison de 4 plants/m²) qui concurrenceront la renouée vis à vis des nutriments du sol.

- fauche + plantation d'herbacées

Ici sont semés des herbacées qui pourront être tondues en même temps que la renouée est fauchée, « avec destruction des produits de tonte », afin de concurrencer la renouée pour les nutriments mais de tout de même pouvoir faucher à l'aide d'engins, ce qui n'est pas permis par la plantation de ligneux.

- géotextile + plantation de ligneux

Est associé ici à la pose du géotextile en fibre de coco, la plantation d'arbres et arbustes à raison de deux plants par m² afin de pomper les nutriments et de concurrencer la renouée. « A terme, ces ligneux reconstitueront un ombrage qui concurrencera la renouée du Japon pour la lumière. »

Un autre point important de cette étude est le choix des parcelles expérimentales qui se fait selon deux critères : des parcelles de petite population ainsi que des parcelles de grandes populations sont étudiées afin de déterminer une éventuelle différence dans l'impact du traitement en fonction du niveau de contamination. Enfin, parmi ces parcelles, ne sont retenues que celles dont l'accessibilité ne pose aucun soucis technique aussi bien

à pied que pour des véhicules. Afin de juger de la pertinence des résultats, deux à trois parcelles sont retenues pour chaque technique étudiée. Cependant une discussion entre les collaborateurs révèle que cela représente une charge trop conséquente de travail et donc chaque technique n'est expérimentée que sur une parcelle ou deux dans certains cas. Un autre problème se pose ici, la rigueur de l'expérimentation peut être remise en cause par le fait de ne pas pouvoir essayer chacune des techniques sur des parcelles identiques mais de telles parcelles n'existent que très rarement dans la nature et les contraintes techniques réduisent encore le nombre de parcelles disponibles.

L'objectif de l'expérimentation étant de rendre compte de l'efficacité des différentes méthodes de lutte étudiées, il est primordial d'établir des protocoles de suivi de chantier dont les calendriers sont très stricts.

Toutes les premières actions ont été menées en octobre 2004 (pose des géotextiles et plantations). Suite à quoi les placettes sont visitées de façon mensuelle à bimensuelle afin d'en suivre l'évolution et de procéder à l'entretien (fauche, réparation de la nappe géotextile). Dans un premier temps, les produits de fauches ont fait le cadre d'une « dérogation spéciale d'autorisation de brûlage à l'air libre » mais dans les faits il s'avère que « le rhizome brûle mal et a dû être éliminé en déchet ménager banal en incinération, après s'être assuré d'un déversement en fond de fosse » pour éviter toute contamination d'autres milieux.

1.4.c.5) Résultats obtenus

Ces travaux ont été poursuivis jusqu'en 2008-2009 où les résultats ont alors été présentés sur le site internet du SIVOA sous la forme du tableau suivant :

EFFICACITÉ DES TECHNIQUES							
TECHNIQUE TESTÉE	DÉTECTION DE LA PROBLÈME	INDICATION DES SYMPTÔMES	INDICATION DES SYMPTÔMES	COÛT MOYEN EN PLACE À L'ARR (€) (MOYENNE ANNUELLE)	COMMENTAIRE GLOBAL	AVANTAGE / INCONVÉNIENT	APPLICATION
GÉOTEXTILE + LIGNEUX + ARRACHAGE	++	+	+	1.200 €	Permet de contrôler la croissance et d'éliminer les plantes envahissantes de manière durable. Les résultats sont visibles rapidement en cas de problèmes de croissance.	Non accepté sans fortes garanties. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler.	Travaux menés mensuellement en période de forte croissance des plants.
LIGNEUX + ARRACHAGE	++	+	+	2.100 €	Permet de contrôler la croissance et d'éliminer les plantes envahissantes de manière durable. Les résultats sont visibles rapidement en cas de problèmes de croissance.	Non accepté sans fortes garanties. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler.	Travaux menés mensuellement en période de forte croissance des plants.
GÉOTEXTILE + LIGNEUX + ARRACHAGE	++	+	+	2.000 €	Permet de contrôler la croissance et d'éliminer les plantes envahissantes de manière durable. Les résultats sont visibles rapidement en cas de problèmes de croissance.	Non accepté sans fortes garanties. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler.	Travaux menés mensuellement en période de forte croissance des plants.
MÉTHODES MÉCANIQUES + LIGNEUX	-	++	++	2.000 €	Permet de contrôler la croissance et d'éliminer les plantes envahissantes de manière durable. Les résultats sont visibles rapidement en cas de problèmes de croissance.	Non accepté sans fortes garanties. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler.	Travaux menés mensuellement en période de forte croissance des plants.
GÉOTEXTILE + ARRACHAGE	-	-	-	2.300 €	Permet de contrôler la croissance et d'éliminer les plantes envahissantes de manière durable. Les résultats sont visibles rapidement en cas de problèmes de croissance.	Non accepté sans fortes garanties. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler. Nécessite une formation et un suivi régulier des plants à contrôler. Coûts de la main d'œuvre et des plants à contrôler.	Travaux menés mensuellement en période de forte croissance des plants.

Document 10 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus par le SIVOA

Il apparaît alors à la suite de cette étude que la méthode la plus efficace est l'arrachage mensuel de la plante de Avril à Septembre avec plantation de ligneux à croissance rapide comme le saule permettant de concurrencer la repousse de la plante et de stabiliser les berges. On peut ajouter que cette couverture végétale nouvellement formée empêchera

par la suite la réimplantation de la renouée qui apprécie particulièrement les sols nus. La pose d'un géotextile est quant à elle peu probante car coûteuse et laborieuse dans la mesure où ce géotextile se dégrade rapidement et nécessite un gros travail d'entretien puisque la lutte doit se prolonger pendant une période d'au moins 4 ans.

Technique de lutte	Principe	Mise en œuvre	Résultats observés	Profil des sites candidats	Organisme ayant réalisé l'étude
Amendement calcaire de chaux vive	Perturbation directe du milieu par alcalinisation de substrat alors que la renouée préfère les sols acides.	Utilisation de chaux vive en granulés (95% en CaO) épanchés à la main associée à une fauche mensuelle.	L'amendement calcaire ne semble pas ralentir le développement de la plante mais au contraire aurait favorisé la repousse après la première fauche.	Technique peu recommandée sans essais supplémentaires car trop peu documentée.	Association ECHÉL
Arrachage des rhizomes	Extraction de la plante dans son intégralité. Le sol doit être entièrement exploré.	Arrachage une fois par an en prenant garde à intervenir en surveillant le ramassage de tous les éléments et leur destruction après séchage.	Cette méthode préviendrait la disparition effective de la renouée en 3 ans.	Petite population de renouée implantée depuis peu dont le système racinaire n'est pas trop profond. A prescrire en bordure de cours d'eau.	CSP des Vosges
Brûlage par dessiccateur	Utilisation d'une rampe à gaz en phase liquide, ne sont traités ici que les parties aériennes de la plante.	Il faut d'abord réaliser une fauche des poussees lignifiées de l'année précédente et traiter lorsque les nouvelles poussees atteignent environ 50 cm.	On observe les mêmes résultats que par une fauche répétée ce qui semble montrer que la plante réagit de façon assez négative à un tel traitement.	Méthode applicable sur des petites populations et lorsque la végétation herbacée avoisinante présente un faible recouvrement.	CPIE Val d'Aulnoie
Fauche répétée	Épuisement des réserves présentes dans le rhizome par taurines successives.	Il est préconisé de faucher de façon mensuelle manuellement ou à l'aide d'engins en fonction de la zone à traiter. Il est aussi indispensable d'accorder une importance capitale à la minutie du chantier vis à vis du traitement des résidus de fauche à ne pas disperser.	Il semble que la plante s'adapte rapidement dès la première fauche en augmentant la densité de tiges au détriment de leur diamètre. Cependant on peut constater une disparition effective au bout de 4 à 7 ans selon la nature du sol (plus ou moins favorable à la renouée).	Tout type de terrain. Il est cependant recommandé d'être particulièrement vigilant aux abords des cours d'eau pour éviter toute dispersion des résidus de fauchées.	DDAF du Haut Rhin Association ECHÉL
Couverture du sol par géotextile	Empêcher l'accès à la lumière pour la plante.	Le géotextile épais et robuste doit être posé sur une zone préalablement fauchée.	Si le géotextile est bien posé, aucune repousse n'est observée. Il faut cependant veiller à son entretien car la période durant laquelle la plante est capable de rejeter est très longue. Pour être réellement efficace, cette technique doit être couplée à une renouation du milieu.	Grandes zones infertiles, berges en légers pentes zones où la topologie ne permet pas un entretien régulier.	Association ECHÉL

Pâturage par des animaux	Même principe que pour la fauche	Après une première fauche, un troupeau de mouton est lâissé sur place afin de piétiner et brouter les jeunes repousses.	Limite la croissance des tiges à 50 cm et disparition effective des renouées en 5 ans.	Méthode à limiter le long des voies de communication et en bordure de cours d'eau car le piétinement aurait tendance à déstabiliser les berges.	Agence de l'eau Rhin-Meuse
Renaturation des sites	Plantation d'espèces indigènes pour concurrencer la renouée via à via des nutriments et de la lumière	L'utilisation de plants de ligneux à croissance rapide comme la saule à la fin de l'hiver après avoir fauché les tiges lignifiées de l'année précédente.	Peu de résultats observés lors de plantation de ligneux seule. Il est préconisé d'associer cette méthode avec une perturbation du développement de la renouée par fauche ou pose de géotextile.	Méthode applicable à toutes les situations. Particulièrement recommandée en milieu alluvial et dans des conditions peu favorables à la renouée (terrain neutre, n'importe où).	Association ECHÉL
Renaturation + géotextile	On empêche la repousse de la renouée par un géotextile et formation d'un nouveau tapis végétal empêchant une réimplantation ultérieure.	Première fauche durant l'hiver puis pose d'une toile géotextile non tissée. Un découpage ponctuel de la toile est réalisé pour planter des arbres et arbustes.	Au bout de 2ans, aucune repousse n'a été observée. Cependant on remarque des rejets à l'extérieur de la zone couverte montrant que la plante a tendance à contourner les obstacles. Il faut tout de même porter une attention particulière à la fixation du géotextile et son entretien pour éviter toute repousse possible à travers le moindre trou dans celui-ci.	Berges des cours d'eau en pente douce envahies par de grandes populations. Zones dont l'entretien régulier (fauchage) est limité par la topographie.	Association ECHÉL
Renaturation + fauche ou arrachage	On cherche ici à affaiblir les populations de renouée et en parallèle à les mettre en compétition avec des espèces autochtones.	Première fauche en hiver pour éliminer les tiges lignifiées de l'année précédente puis plantation de ligneux à croissance rapide. Une fauche ou un arrachage manuel est réalisé ensuite de façon mensuel durant toute la période végétative.	Il est à noter que l'entretien devient moins contraignant au fil des mois de par le recul de la renouée. Une disparition effective est observée au bout de 3 ans, cependant la plante persiste en dehors des parcelles plantées.	Sites de hautes terres. En particulier les berges fortement envahies.	Non communiqué

Document 11 : Tableau récapitulatif des recherches bibliographiques menées par le SIVOA sur les différentes techniques de lutte contre la renouée.

2) La fauche est le moyen de lutte qui correspond le plus à notre objectif de valorisation de la biomasse des Rénouées mais elle implique des précautions

2.1) La fauche⁸

2.1.a) Qu'est ce que la fauche ?

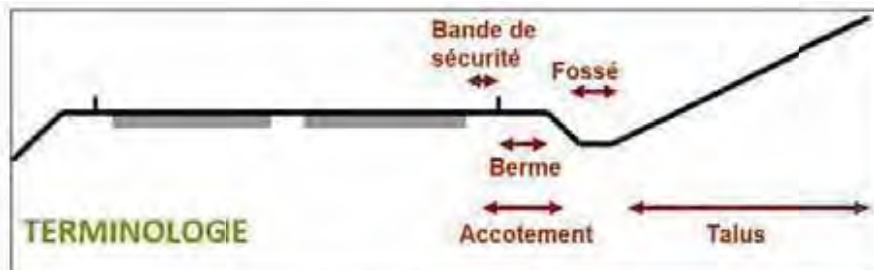
C'est une opération consistant à réduire la hauteur de l'herbe, par une coupe ou un broyage. (SETRA) Elle permet de maintenir un milieu ouvert en empêchant l'installation de plantes ligneuses. (Association hommes et territoires, 2011)

2.1.b) Pourquoi choisir la fauche comme moyen de lutte ?

2.1.b.α) C'est une méthode déjà appliquée sur les bords de route car elle est nécessaire à leur entretien

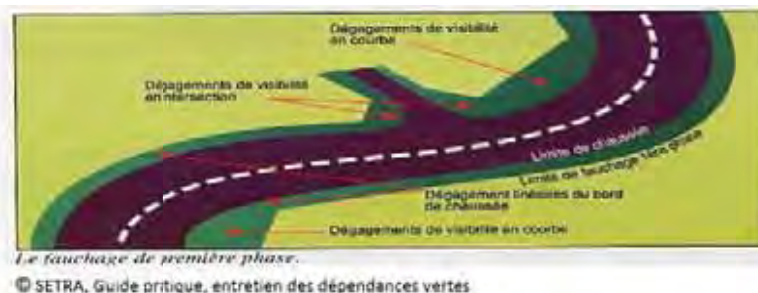
Un bord de route se schématise généralement ainsi, même s'il varie selon le type de route (nationale, 2*2voies, autoroute,...) :

Document 11: Schéma d'un bord de route - Association hommes et territoires, 2011

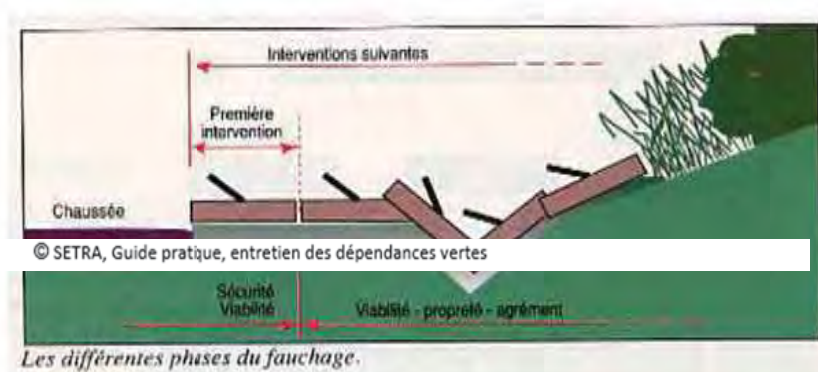


Faucher le bord des routes est un moyen de les entretenir et d'augmenter la sécurité. Cela freine leur envahissement par la végétation et permet de délimiter la chaussée de façon nette. De plus, cela permet un usage occasionnel des accotements par les véhicules et leur assure une meilleure visibilité.

Document 12 : Schéma montrant le fauchage à réaliser pour conserver une visibilité correcte sur les routes - Sétra, 2004



Ainsi, il est obligatoire d'effectuer deux fauches minimum par an, la première, appelée « passe de sécurité » se fait en bordure d'accotement, les suivantes sont des « passes de propreté » viennent compléter la première sur l'ensemble du bord de chaussée.



Ainsi, le fauchage est nécessaire à l'entretien des bords de route et est une méthode déjà mise en œuvre par les organismes en charge de celui-ci. Le matériel nécessaire à la fauche est donc déjà développé et disponible sur le marché. Choisir de lutter contre la renouée de cette façon consiste donc à augmenter la fréquence de fauche. C'est donc une méthode économique et relativement simple à mettre en place.

Cependant, les massifs de renouée ne sont pas toujours en bord de route. Ce genre de massif nécessiterait un protocole différent (que nous ne détaillerons pas ici).

2.1.b.β) C'est une méthode efficace pour lutter contre la renouée

D'après les expériences présentées ci-dessus c'est une méthode efficace, à savoir qu'elle permet une élimination de la renouée au bout de plusieurs années. En effet, les fauches régulières forcent la renouée à puiser dans ses réserves contenues dans le rhizome pour repousser. Au bout de plusieurs années, les réserves sont épuisées et la renouée ne peut plus repousser.⁹

2.1.b.δ) C'est un moyen de lutte qui s'inscrit dans une logique environnementale et économique

Le 1^{er} janvier 2017, les collectivités n'auront plus le droit d'utiliser de produits phytosanitaires dans les espaces verts¹⁰, donc la fauche, méthode mécanique, est donc un moyen approprié de lutte contre la renouée.

2.2) La fauche nécessite des outils et une organisation spécifique

2.2.a) Comment doit-on faucher ?

Afin de procéder à la fauche il faut commencer par tenir compte d'une contrainte technique : la hauteur de la barre de coupe. Si une barre de coupe d'une faucheuse est trop basse, celle-ci touchera la terre. Cela abîmera les outils et endommagera les rhizomes. Ainsi au lieu de détruire la renouée, nous favoriserions sa dissémination par reproduction végétative. En tenant compte de l'irrégularité de certains sols, nous avons décidé de fixer une hauteur de coupe de 9 cm, hauteur maximale permise par l'outil de fauche, au-dessus du niveau du sol.

Les fauches de la renouée doivent être faites à intervalle de temps réguliers et courts. Comme on peut le voir sur le graphique suivant (Document 13):

Au total six fauches sont donc à réaliser entre le mois d'avril et le mois de septembre. En revanche ce calendrier est théorique. En fonction de l'évolution de la plante il est envisageable de réduire le nombre de fauches.¹²

La première fauche, celle de mise à zéro, ne sera pas utilisée dans les méthaniseurs. Elle contiendra de la lignine produite par la renouée entre le mois d'octobre et le mois d'avril, ce qui peut gêner la méthanisation.

2.2.b) Quel protocole de sécurité doit-on mettre en place ?

La fauche permettra donc d'éradiquer la renouée. Mais l'éradication ne sera possible que si le transport et la fauche s'effectuent sans dissémination des résidus de renouée. Nous utiliserons une machine appelée VSV (Véhicule Service Viabilité) (document 15), appartenant à l'entreprise Noremat.

Document 15 : Véhicule Service Viabilité (VSV) de Noremat



Cet appareil est un auto-moteur équipé d'un ou plusieurs organes de coupe, dont certains pouvant récupérer le produit de fauche. Cette installation permettra de limiter le nombre de résidus laissé au sol et la dissémination lors du transport.¹³

Pour vérifier l'efficacité de l'aspirateur, nous avons mis au point un protocole permettant de vérifier le nombre de résidus au sol.

Nous allons définir 5 zones de 1 m² sur la parcelle fauchée, puis nous ramasserons à la main tous les résidus. Nous contrôlerons leur taille afin de s'assurer que les éventuels résidus ne permettent pas un bouturage de la plante.

2.2.c) Mais il existe des freins à la mise en place de ce projet

Le problème de la fauche n'est donc pas d'origine technique. Il est d'origine logistique. La renouée se trouve le plus souvent en bordure de route. Or ces routes appartiennent à 4 grands acteurs :

- Les voies communales appartiennent aux communes. C'est le conseil municipal de la commune concernée qui prend les décisions les concernant.
- Les routes départementales qui appartiennent aux départements. C'est le conseil général qui prend les décisions concernant les routes départementales de son territoire.
- Les routes nationales qui appartiennent à l'État. Depuis 2007, ce sont les DIR

(directions interdépartementales des routes) qui sont chargées de leur gestion.

- Les autoroutes non concédées qui appartiennent à l'État. Il s'agit des autoroutes sans péages. Elles sont gérées comme les routes nationales par les DIR.
- Les autoroutes concédées qui appartiennent à l'État qui en confient, pour une durée déterminée la responsabilité à des sociétés concessionnaires d'autoroutes en contrepartie de la perception d'un péage. Il s'agit des autoroutes à péage.

2.3) Dans le cadre de notre projet, l'estimation de la biomasse récupérable d'un massif après fauche est nécessaire

On veut déterminer la biomasse récupérable d'un massif.

Pour un massif de $S \text{ m}^2$: biomasse récupérable totale = biomasse récupérable/ $\text{m}^2 \times S$

On doit donc déterminer la biomasse récupérable/ m^2 en fonction de la densité du massif et de la hauteur des tiges, ces paramètres étant susceptibles de varier au fur et à mesure des fauches.

Pour cela, nous avons adapté un protocole déjà existant¹⁴ à nos moyens et à nos exigences.

On ne s'attardera ici que sur quelques massifs de jeunes pousses de renouée de moins d'1m de hauteur que les matériels Noremats pourront traiter.

2.3.a) Protocole de détermination de la biomasse récupérable en fonction de la densité du massif et de la hauteur des tiges

On attendra un jour de relatif beau temps pour récolter la biomasse des différents massifs.

On s'intéresse à 8 massifs de Japonica et 8 massifs de *Sachalinensis*, la hauteur des tiges de chaque massif ne dépassant pas 1m.

Pour chaque massif :

- Délimiter une parcelle de 1m*1m,
- Faire un comptage des tiges lignifiées et non lignifiées dans cette parcelle,
- Mesurer la hauteur des tiges moyenne de chaque parcelle pour les plants lignifiées/et non lignifiées,
- Couper au sécateur les pieds de chaque parcelle à une hauteur H du sol, H étant déterminé par la capacité de précision des matériels Noremats potentiellement utilisés par la suite,
- Récupérer la biomasse de chaque parcelle dans 2 sacs poubelles en séparant tiges lignifiées et non lignifiées,
- Peser les échantillons récoltés,
- Séparer ensuite la partie chlorophyllienne de la partie non chlorophyllienne de chaque sac poubelle et les isoler dans 2 sacs poubelle différents,
- Peser la biomasse de chaque sac,
- Traiter les informations récoltées sous logiciel.

2.3.b) Détermination de la masse sèche

- Sécher à l'étuve les contenus de chaque sac : 75°C pour les échantillons chlorophylliens et 105°C pour les échantillons non chlorophylliens,
- Peser les échantillons dès la sortie de l'étuve pour éviter qu'ils n'absorbent l'humidité ambiante,
- Remettre les échantillons pesés dans l'étuve sans tarder,
- Arrêter l'expérimentation lorsque la masse ne diminue plus, la matière est alors sèche,
- Peser tous les échantillons,
- Traiter les informations sous logiciel.

On souhaite trouver, grâce au traitement informatique, une relation entre la biomasse récupérable par m², la densité du massif et la hauteur des tiges. Ainsi, quelques mesures simples permettraient de connaître approximativement la biomasse récupérable sur un massif avant sa fauche.

3) La biomasse récoltée lors de la fauche est acheminée jusqu'au méthaniseur où elle complète la ration et est transformée en biogaz.

3.1) Pourquoi la renouée est-elle un avantage dans la ration d'un méthaniseur dans le contexte géopolitique français actuel ?¹⁵

3.1.a) Contexte politique Français actuel

« Le 4 septembre 2014, Ségolène Royal a annoncé le lancement d'un appel à projets pour le développement de 1 500 installations de méthanisation en 3 ans réparties dans les territoires ruraux. ». Sachant qu'aujourd'hui il y a environ 350 méthaniseurs en France la question de l'alimentation de ces futurs 1150 méthaniseurs supplémentaires se pose. D'autant plus qu'afin de lutter contre la création de « fermes usines » comme en Allemagne « les installations de méthanisation ne pourront être alimentées par des matières autres que des déchets, des effluents d'élevages, des résidus de culture et des cultures intermédiaires, y compris les cultures intermédiaires à vocation énergétique ».

3.1.b) Comment alimente-t-on un méthaniseur de nos jours ?

Les déchets permettant l'alimentation d'un méthaniseur sont :

- Les déchets et effluents d'industries agro-alimentaires,
- Les ordures ménagères,
- Les boues de stations d'épuration des eaux urbaines
- Les déchets et effluents agricoles.

Par exemple pour une installation de 250 kW il faut 2000 t/an de lisier et fumier, 10 ha/an d'ensilage de sorgho et 3000 t/an de sous-produits issus de déchets de l'industrie agroalimentaire.

3.1.c) La renouée peut-elle être intégrée dans l'alimentation d'un méthaniseur et quels en sont les avantages ?

Premièrement la renouée est un déchet au même titre que les herbes de tontes de pelouses déjà intégrées dans les méthaniseurs, il est parfaitement possible de l'ajouter dans un méthaniseur. De plus la renouée étant une plante invasive fauchée la gestion des déchets obtenus par la fauche se pose. Le seul problème reste le transport et le stockage de la renouée qui risque de disséminer la plante, le broyage de la plante semble être une solution permettant un stockage sain ce que nous comptons vérifier.

Donc avec la méthanisation de la renouée on pourrait valoriser un déchet dangereux par la production d'énergie ce qui rentre parfaitement dans les directions que va prendre le secteur de la méthanisation.

3.2) Tout d'abord, il faut se demander comment fonctionne un méthaniseur¹⁶

3.2.a) Processus biologiques à l'origine de la production de biogaz

3.2.a.α) Les 4 étapes de cette production

3.2.a.α.1) Hydrolyse

Lors de cette première étape, des exoenzymes produites par des bactéries aérobies, anaérobies facultatives ou obligatoire dégradent les substrats insolubles en fragments solubles. Les bactéries anaérobies strictes consomment l'O₂ nécessaire au développement des bactéries anaérobies strictes. Parmi les bactéries responsables de cette étape on retrouve *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propioni-bacterium*, *Megasphaera*... Ces bactéries se divisent rapidement : la durée de leur cycle de division est de quelques heures, elles évoluent à un pH aux alentours de 4.5-6.5.

3.2.a.α.2) Acidogénèse

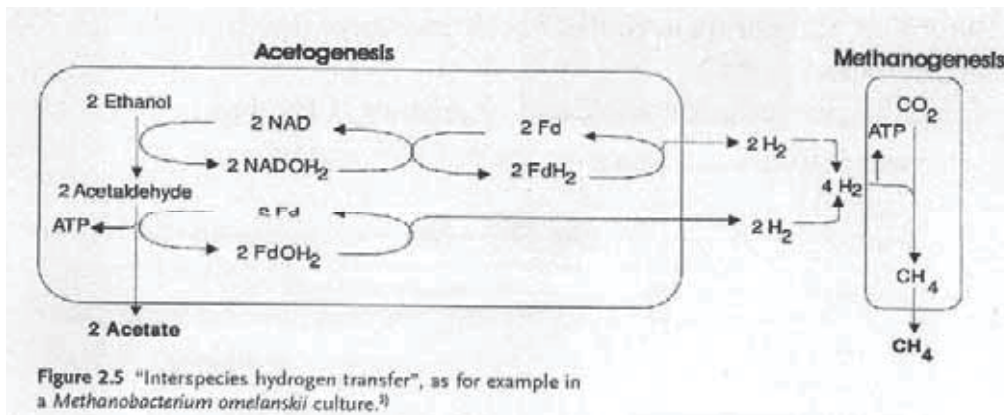
« Les bactéries acidogènes vont utiliser les fragments obtenues lors de la phase précédente pour produire alcools, acide organiques, CO₂ et hydrogène. »

Par exemple la bactérie acidogène *Paenibacillus* produira, à partir des glucides issus de l'hydrolyse de l'acétate, du formate, du lactate et du propionate. Ces bactéries se divisent rapidement : la durée de leur cycle de division est de quelques heures, elles évoluent à un pH aux alentours de 4.5-6.5.

Il convient de remarquer qu'à partir de cette étape les bactéries concernées sont toutes anaérobies strictes.

3.2.a.α.3) Acétogénèse

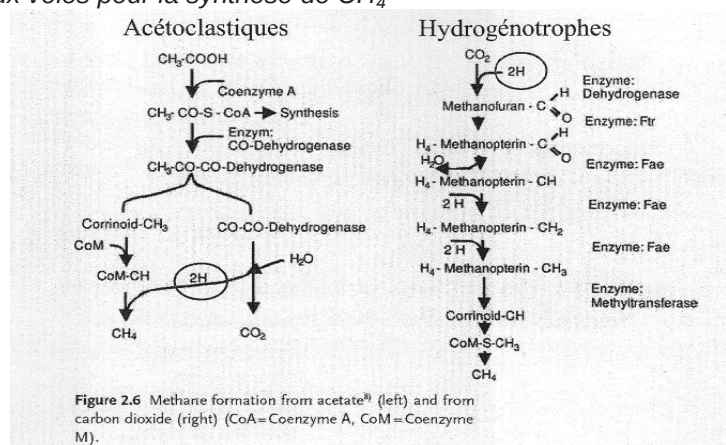
L'étape d'acétogénèse permet la transformation des divers composés issus de la phase précédente en précurseurs directs du méthane : l'acétate, le dioxyde de carbone et l'hydrogène. Si l'hydrogène produit n'est pas rapidement consommé sa synthèse en sera inhibée, les bactéries acétogènes produisant du H₂ doivent être en symbiose avec des bactéries consommatrices de H₂. Ces bactéries se divisent rapidement : la durée de leur cycle de division est de quelques jours, elles évoluent à un pH aux alentours de 6.8-7.5.



3.2.a.α.4) Méthanogénèse

Cette dernière étape aboutit à la production de méthane. Il y a deux voies possibles : l'une à partir de l'hydrogène et du dioxyde de carbone par les espèces dites hydrogénotrophes, et l'autre à partir de l'acétate par les espèces acétotrophes. Ces bactéries se divisent rapidement : la durée de leur cycle de division est de quelques semaines, elles évoluent à un pH aux alentours de 6.8-7.5.

Document 17 : Les deux voies pour la synthèse de CH_4



3.2.a.β) Paramètres à suivre et à surveiller pour assurer une biométhanisation stable

3.2.a.β.1) Acidose

L'acidose se produit lorsque les bactéries acétogènes et Méthanogènes sont trop inhibées par l'activité des bactéries acidogènes, ces dernières peuvent produire des acides gras volatils et du H_2 qui inhiberont la troisième étape et diminueront le pH. Afin de prévenir ce phénomène il convient d'éviter une alimentation trop excessive et les substrats trop fermentescibles trop rapidement dégradés par les bactéries des deux premières étapes ou d'éviter l'ajout de substances inhibant les bactéries des deux dernières étapes notamment le sulfure d'hydrogène, les antibiotiques et les métaux lourds.

3.2.a.β.2) Alcalose

L'alcalose correspond à l'accumulation d'ammoniac dans le milieu, il en résulte une augmentation du pH et une toxicité liée à l'ammoniac entraînant une inhibition de la méthanogénèse. L'ammoniac provient de substrats trop riches en protéines.

3.2.a.β.3) Intoxication à O₂

La présence de O₂ inhibe les bactéries anaérobies strictes (acidogènes, acétogènes et méthanogènes). Le O₂ peut être introduit avec les substrats (notamment avec la paille) ou issu de la désulfuration biologique.

Dans tous les cas il apparaît qu'une bonne connaissance du substrat suivie d'une attention particulière aux quantités introduites est nécessaire.

3.3) Comment est utilisé le biogaz formé par le processus de méthanisation ?¹⁷

3.3.a) Les différents types de valorisation

3.3.a.α) *L'injection dans un réseau de gaz naturel est rentable à partir de 200-250 m³ de biogaz/h*

Avant d'être injecté dans un réseau le biogaz doit être :

- Traité : désulfuration, séchage par exemple,
- Compressé : inférieur à 120 mbar pour un micro-réseau,
- Odorisé par du THT pour répondre aux normes de sécurité.

3.3.a.β) *L'utilisation dans les transports (biogaz carburant) est très coûteuse en infrastructure, de plus elle nécessite une adaptation du réseau de station-service*

« La production de carburant possède des spécifications de pureté du gaz plus sévères. Le biogaz utilisable comme carburant doit contenir un minimum de 96 % de méthane. Il faut en outre que le point de rosée soit inférieur à -20°C (ce qui correspond à une teneur en eau inférieure à 15 mg/m³), que la teneur en H₂S soit inférieure à 100 mg/m³, et que la teneur en hydrocarbures liquides soit inférieure à 1 %, avec une taille de poussières limitée à 40 microns. Sachant qu'un m³ de biogaz rend les mêmes services énergétiques qu'un litre de gazole ; avec une chaîne de traitement d'une capacité de 50 m³/h, capable d'alimenter 8 bus ou 32 voitures, l'investissement s'élève à un peu plus de 500.000 € et les frais d'exploitation à 56.000 €/an, ce qui aboutit à un prix de revient (coût) du biogaz carburant de 0,32 €/m³. Celui-ci est compétitif avec le prix de revient du gazole et permet d'amortir l'investissement en 10 ans. »¹

3.3.a.δ) La production de chaleur

Brûler du biogaz sous chaudière ou en four est la voie de valorisation la plus ancienne, la mieux maîtrisée et la plus courante. La teneur en CH₄ du biogaz peut descendre jusqu'à 20 % et les contraintes d'épuration sont légères. « On considère que la valorisation thermique du biogaz peut être rentable à partir d'un débit de 100 m³/h. »¹

3.3.a.γ) La production de la chaleur et d'électricité en cogénération

Ce type de valorisation permet une économie d'énergie primaire (de biogaz), en effet la cogénération permet de minimiser les pertes pour une même production d'électricité et de chaleur. La cogénération permet donc une optimisation des rendements. « On considère que la production d'électricité n'est rentabilisable qu'au-delà d'un débit consommé de 400m³/h. Les économies d'échelle font que la rentabilité s'améliore avec la puissance installée. Il faut aussi prendre en compte que les moteurs exigent en général un biogaz contenant au moins 40% de méthane. »²

On peut faire de la cogénération avec différents types de moteurs⁴ :

- Le moteur à combustion interne (allumage commandé) : peu cher, robuste et fiable, durée de vie élevée, bon rendement électrique. Mais il demande une maintenance régulière, il présente une mauvaise performance à charge partielle (fonctionne mal lorsqu'il n'est pas plein) et il est sensible à la qualité du biogaz. Rendement électrique = 20-30 % jusqu'à 35-42 %
- Le moteur à combustion externe (Stirling) : combustion continue bien contrôlée, émissions moindres, coût de maintenance inférieur, bonne performance à charge partielle, faible niveau de bruit et de vibration. Mais il présente un faible rendement électrique et un coût d'investissement élevé. Rendement électrique = 20 %
- La turbine à gaz : simplicité mécanique, absence d'huile ou de liquide de refroidissement, fiabilité et durée de vie importante, faibles coûts de maintenance, flexibilité de la qualité du biogaz, faible niveau de bruit, faibles émissions, chaleur à haut niveau de température. Cependant, cette technologie n'est pas mûre pour des puissances <100 kW, elle demande un investissement plus important. Rendement électrique = 30 %
- Pile à combustible : rendement électrique élevé, faibles émissions. Mais on a très peu d'expérience en micro-cogénération et le coût d'investissement est élevé. Rendement électrique = 25-40 % jusqu'à 60 %

3.3.a.ε) La production de la chaleur, d'électricité et de froid en tri-génération

On ajoute au système précédant une machine de production de froid.

3.3.b) La tarification

Document 18: Tarif de base de vente d'électricité (réévalués sur 2011) - methaneva³

P _{max} < = 150 kW	13,37 c€/kWh
P _{max} = 300 kW	12,67 c€/kWh
P _{max} = 500 kW	12,18 c€/kWh

Document 19: Prime à l'efficacité énergétique - methaneva³

V <= 35 %	0 c€/kWh
V >= 70 %	4 c€/kWh

V correspond à l'efficacité énergétique (=rendement électrique du moteur) de l'installation calculée sur une base annuelle.

Document 20: Prime pour le traitement d'effluents d'élevage - methaneva³

P _{max} < = 150 kW	2,6 c€/kWh
P _{max} > = 1000 kW	0 c€/kWh

3.4) La valorisation de la renouée est avantageuse mais certains freins à son utilisation dans la ration d'un méthaniseur sont à mettre en évidence

3.4.a) Détermination du BMP de la renouée¹⁸

3.4.a.α) Les conditions expérimentales

On travaille avec l'inoculum fourni par le méthaniseur de la Bouzule, la température d'expérience est donc de 35°C pendant le temps d'incubation. (La renouée étant un substrat complexe, on pourrait tester différents inocula mais l'idée étant de pouvoir généraliser l'introduction de ce substrat dans les méthaniseurs de France, et le rapport BioMethanePotential affirmant que l'influence de l'inoculum sur la production de méthane est faible, nous nous contenterons de l'utilisation d'un seul inoculum.)

Cet inoculum doit être utilisé pour les expériences au maximum 7 jours après prélèvement en effectuant un stockage anaérobie et en évitant autant que possible les interactions avec O₂.

Le temps d'expérience et de mesure devrait durer, si tout se déroule bien, trois semaines voire cinq semaines au maximum si la production de gaz est toujours aussi importante après les trois semaines. Le test est interrompu lorsqu'une variation de la production cumulée par jour est inférieure à 3%.

Il est nécessaire de tester la capacité de production de méthane de l'inoculum. Pour cela, il faut réaliser un contrôle positif, c'est-à-dire utiliser un substrat de référence comme la cellulose Avicel, qui devrait ensuite donner un volume de méthane qui est connu pour voir

si l'inoculum est bien opérationnel. (373ml CH₄ / g MSV).

Il faut aussi réaliser un duplicat de blanc où l'on introduit l'inoculum seul afin de mesurer sa production de méthane propre qui nous permettra d'ajuster la quantité de méthane produite par le substrat uniquement.

Il ne faut pas qu'il y ait des erreurs lors de la préparation des expériences ni lors de la prise de mesures. En effet, un petit écart au protocole peut être à l'origine d'une grande variation dans le résultat final.

3.4.a.β) Préparation de l'inoculum

Notre inoculum est récupéré dans le digesteur de la ferme de la Bouzule, il faut faire attention à «laisser couler » un peu pour éviter de récupérer des boues coincées dans les canalisations. Le récipient où l'on récupère l'inoculum doit avoir un volume le plus proche possible de celui de l'inoculum pour éviter une présence trop importante d'O₂.

On détermine ensuite en laboratoire la quantité de MS et de MSV. Puis on effectue, si nécessaire un réajustement à l'eau désoxygénée pour obtenir une part de MSV, dans l'inoculum, de 32g/L. On filtre ensuite avec un tamis homogène pour filtrer les matières grossières et obtenir un inoculum homogène.

La qualité d'un inoculum se détermine à l'aide de tests chimiques : il faut respecter certaines conditions :

- [NH₄⁺] < 2500 mg/L
- [AGV]_{tot} < 2500mg/L
- Alcalinité > 3000mg CaCO₃/L

On détermine ensuite la DCO (demande chimique en oxygène) à l'aide d'un kit.

Ce qui nous permet ensuite de calculer une production théorique de méthane :

$$V_{CH_4} = MSV \text{ (kg)} * DCO \text{ (kg DCO / kg MSV)} * 350 \text{ (L CH}_4 \text{ /kg DCO)}$$

L'inoculum ainsi préparé est prêt à l'utilisation.

3.4.a.δ) Test de digestibilité

On prépare ensuite un contrôle positif, valable pour tout l'inoculum, ainsi que 5 bouteilles de 1 L par expérience de mesure (3 tests + 2 blancs). On verse dans chaque bouteille 400 mL d'inoculum. L'idéal serait ensuite de rincer les bouteilles avec un mélange de N₂/CO₂ (60%/40%) qui permettrait de retirer l'O₂ contenu dans la bouteille de test, mais nous ne possédons pas de tels dispositifs. Chaque bouteille est ensuite introduite dans un incubateur à 35°C (l'inoculum étant mésophile) pour une semaine d'épuisement, ce qui permet de dégrader d'hypothétiques anciens substrats toujours présents.

Après cette semaine d'épuisement, on peut réaliser l'introduction des substrats dans les proportions ISR (Inoculum Substrat Ratio) 4/1 sachant que la teneur finale en MSV doit être de 40 g/L (ex : 32/8).

Le substrat introduit ne doit pas posséder d'éléments avec un diamètre supérieur à 3mm. Afin de respecter ces conditions nous utilisons un broyeur pour réduire la taille des particules de substrat à l'état de poussière, plus facilement accessible à la digestion. Les résultats obtenus seront alors idéaux sûrement surestimés.

3.4.a.y) Mesure de la production de CH_4

Dans la première semaine d'expérience, les mesures sont effectuées une fois par jour puis jusqu'à la fin du test, une fois tous les deux jours.

Les mesures sont effectuées le plus rapidement possible pour éviter une trop longue exposition à une température différente de la température optimale égale à 35°C.

3.4.a.y.1) Mesure par manométrie

Avant la mesure on procède à une agitation de la bouteille pour homogénéiser le gaz. Cette agitation doit être la même pour chaque bouteille pour éviter les variations de résultat. La bouteille initialement placée verticalement subit une agitation circulaire pendant 30 secondes, culot accolé au support.

La mesure se fait grâce à une aiguille placée à la pointe du manomètre que l'on plante dans le bouchon de la bouteille, qui est équipé d'un septum. L'insertion de l'aiguille permet à la fois de mesurer la quantité de biogaz produite (lu directement sur l'appareil de mesure) et de dépressuriser la bouteille afin d'éviter une explosion de la bouteille.

Dans des conditions idéales, on effectuerait à l'aide d'une seringue un prélèvement de 1 mL de biogaz pour effectuer une chromatographie en phase gazeuse qui permettrait de calculer les pourcentages de chaque gaz présent dans le biogaz produit, et surtout le pourcentage qui nous intéresse, celui du méthane. Les résultats peuvent ne pas être concluants lors des premières mesures à cause du rinçage au N_2/CO_2 .

3.4.a.y.2) Calcul de volume dans les conditions NTP

Les mesures journalières de biogaz permettent d'obtenir la totalité du biogaz produit grâce à la digestion du substrat. Il suffit en fait de faire la somme de chaque volume produit chaque jour pour obtenir la quantité de biogaz totale. Ceci permet de déterminer les vitesses de production du biogaz en fonction du temps. Lorsque que l'on a obtenu ce volume on peut y retrancher le volume de CH_4 obtenu avec l'expérience contenant seulement l'inoculum. Des traitements statistiques seront à effectuer plus tard pour garantir la fiabilité de nos résultats. Si le résultat de la BMP est élevé, cela pourrait être un avantage à l'utilisation de la renouée dans la ration d'un méthaniseur.

3.4.b) Intérêt de la pré-hydrolyse avant méthanisation de la renouée

La renouée est une plante herbacée.¹⁹ Sa biomasse lignocellulosique est donc composée de 32% à 42 % de cellulose, de 20% à 40% d'hémicellulose et de 10% à 30% de lignine.²⁰

On souhaite permettre aux microorganismes d'accéder aux sucres biodégradables présents dans la plante grâce à une solubilisation et/ou altération de la lignine.

On ne peut prendre en compte que les méthodes simples à mettre en place :

Le prétraitement mécanique, consistant en un broyage du substrat, permet une variation du rendement de -10% à +190%. Il sera effectué automatiquement lors de la fauche.

Si l'agriculteur possède une cuve, le prétraitement alcalin permet une variation du rendement de +13% à +788%. Il consiste en l'ajout de soude ou de chaux au substrat et est possible à température ambiante.

Ces résultats ne nous semblent pas très pertinents au vue des écarts importants observés.

Les procédés biologiques consistent à ajouter des enzymes au substrat et permet d'augmenter le rendement de 4% à 78%.

On peut également oxyder le substrat d'après la méthode OVH (oxydation voies humiques)²¹ +80% et +98%

Si une étuve ou un équivalent est présent sur le site de l'unité de méthanisation, la technique de prétraitement à l'acide dilué peut induire une augmentation de 22% à 76%.

Cependant, le coût de la pré hydrolyse doit être prise en compte par rapport à l'augmentation de la production de méthane qu'elle induit. De plus, il nécessiterait une cuve de prétraitement. Le prétraitement pourrait également avoir une influence sur le bon fonctionnement du méthaniseur, entre autre en faisant varier le pH.²²

De plus, ces méthodes de pré-hydrolyse sont inutiles dans le cas des fauches répétées où les plants ne seront plus lignifiés à partir de la seconde fauche.

Enfin, la pré-hydrolyse nécessiterait un stockage qui pourrait occasionner un nouveau moyen de dissémination. Nous décidons d'écarter cette hypothèse car les résidus de fauches ne seront composés que de petits morceaux de tiges et de feuilles qui n'ont pas un aussi grand pouvoir de reprise que les rhizomes.

3.4.c) La renouée pose néanmoins quelques désagréments à son utilisation dans la ration d'un méthaniseur

Dans un premier temps il faut être particulièrement vigilant lors de son transport et son stockage pour éviter toute contamination du milieu. Ce point peut également constituer un frein quant à l'acceptation de la plante par les gestionnaires de méthaniseurs. Un second point important est celui de la non digestibilité de la lignine par les méthaniseurs et donc pour être digérée la renouée doit être fauchée très régulièrement avant toute lignification de ses tiges. Outre la lignine, la renouée contient plusieurs substances toxiques dites allélopathiques, cependant aucune étude poussée au sujet de ces substances n'a été réalisée il faudra donc être particulièrement vigilant lors des essais à l'éventuel effet de ces substances sur le processus de méthanisation.

C'est à partir de cette bibliographie que nous avons élaboré divers protocoles et de nombreuses méthodes d'action afin de répondre à notre problématique que nous allons exposer ci-après.

B) Matériels et méthodes

1. La fauche

Nous avons cherché à construire et détailler un protocole de fauche qui pourrait être suivi par tout intervenant cherchant à éradiquer sur le long terme une population de renouée. Pour cela, il nous a été demandé de prendre en compte les différentes contraintes que pourraient représenter ce projet ; et cela que ce soit à un niveau économique, écologique et social. Ce projet de fauches répétées sera contraint au niveau économique par le coût qu'implique l'obtention du matériel et du personnel spécifiques ainsi que les interventions nécessaires à la réalisation du projet (70 euros/ heure pour location du matériel et du personnel). Une logistique importante et compliquée à mettre en place en raison des nombreux acteurs et intervenants est légitimement imputée à l'établissement du projet sur une commune. La contrainte écologique est bien évidemment au cœur même de ce projet. Il est donc nécessaire de prendre garde à cette modalité lors de toutes les étapes du protocole.

Par ailleurs, il se dégage de la biblio 6 modalités à tester :

- *Témoin* - est utilisé pour observer l'évolution d'un massif de renouée non-fauché. Il servira de référence pour l'ensemble de l'expérimentation.
- *Témoin +* est utilisé pour observer l'évolution d'un massif de renouée au rythme des fauches de bord de routes (1 à 2 fois par an). Il servira à montrer les effets des fauches actuels sur les massifs de renouée.
- *Fauche toutes les 5 semaines* est un compromis entre le rythme de développement de la plante et la réalisabilité technique. C'est la modalité principale du projet.
- *Fauche toutes les 10 semaines* ; cette modalité n'a pour but que de montrer aux collectivités que de faucher la renouée à un rythme qui n'est pas assez soutenu n'a aucun effet d'affaiblissement et peut même constituer une sorte d'entretien pour la plante qui se développerait encore plus facilement.
- *Modalité « Flavigny »* ; Nous nous servons des méthodes non appropriées qui ont été utilisées sur ce site pour montrer que le traitement de la renouée ne doit en aucun cas être fait de manière hasardeuse et sans précautions particulières.

Pour réaliser ces objectifs, nous pouvons compter sur nos nombreux partenaires. Les mairies de Saint-Nicolas-de-Port et de Laxou sont les deux communes sur lesquels ce trouveront nos deux massifs expérimentaux. Ce sont des massifs importants qui se trouvent géographiquement dans une zone accessible pour notre autre partenaire, Noremat, qui nous fournit le matériel et la main d'œuvre nécessaire à la réalisation de la fauche. Les 6 modalités seront étudiées sur chacun des sites. L'un des sites, celui de Saint-Nicolas-de-Port, a plus une portée communicative auprès du grand public, tandis que celui de Laxou, enclavé et n'étant pas inquiété par les différentes perturbations qu'une exposition à la population peut engendrer, a une portée purement scientifique.

Un des objectifs finaux de ce projet est d'obtenir dans quelques années un fichier permettant de déterminer le nombre d'années de fauche, le nombre de fauches par année, la biomasse récupérable, le méthaniseur à livrer et les coûts à prévoir pour l'opération selon divers paramètres d'entrée : la surface du massif, de sa densité, de la taille des tiges, et/ou de leur état de « lignification », de l'espèce, de la nature du sol et de la topographie de la zone, de la localisation du massif et de l'organisme de gestion. Un

essai de calcul a été mené sur le résultat de la première fauche de l'année 2015 des sites de Laxou et de Saint-Nicolas-de-Port.

2. La méthanisation

2.1. Détermination du BMP

L'intérêt de ce projet est d'utiliser le déchet de la fauche comme produit pour le fonctionnement d'un méthaniseur. Il faut donc connaître en premier lieu le pouvoir méthanogène de la renouée pour prévisionnellement l'associer à la ration exigeante du méthaniseur en question. La plus grande problématique rencontrée pour ce point est due à la saisonnalité de la pousse de la renouée qui est en total décalage par rapport à notre cycle scolaire. Les premiers tests ont été effectués sur des renouées âgées, broyées finement, prélevées en novembre, c'est à dire en fin de période végétative. Le test du BMP a donc été réalisé sur ces feuilles et tiges récoltées tardivement sachant que dans le cadre du protocole de fauche, la biomasse hypothétiquement méthanisée ne sera constituée que de jeunes plants de renouée broyés grossièrement. Il sera bon de vérifier si le BMP obtenu pour les plants âgés est identique au BMP des jeunes plants.

Le protocole mis en place est exposé dans le 3.4.a.y) de la partie bibliographique de notre rapport. Il est directement inspiré d'un protocole créé par des élèves de troisième année de l'ENSAIA travaillant sur la méthanisation. C'est également pourquoi il ne sera exposé que les statistiques dans la partie C) concernant les résultats de la méthanisation.

La première fauche de l'année 2015 a été réalisée le 4 mai sur le site de Laxou et le 5 mai sur le site de Saint-Nicolas-de-Port. À cette occasion des morceaux de tiges et de feuilles de renouées de 15 jours ont été prélevés. Ils seront de nouveau testés en BMP par le prochain groupe de projet pro pour discuter de nos résultats sur plants âgés.

2.2. Traitements statistiques

Afin de compléter notre analyse graphique nous avons effectué une approche statistique de nos résultats. Nous voulons donc confirmer l'existence de différences statistiquement significatives entre des substrats et identifier quels substrats sont concernés.

Nous avons choisi 3 modalités différentes: le temps d'atteinte du plateau, le volume produit cumulé et la vitesse de production maximale. Chaque modalité est comparée pour 4 des 5 substrats testés. En effet le coefficient de variation des feuilles vertes de Japonica est trop important (presque 30%) pour une des modalités, n'ayant pas pu refaire cette mesure nous avons choisis de ne pas la traiter.

Pour confirmer ou infirmer l'existence d'au moins une différence, nous avons d'abord réalisé une comparaison de moyenne via un tableau ANOVA à un facteur.

Nous avons obtenu au moins une différence au sein des moyennes comparées.

Dans le but de déterminer entre quel(s) couple(s) de valeurs se trouvent les différences, nous avons souhaité réaliser un test de Tukey. Étant plus familiers avec le test de Student nous avons choisi d'utiliser ce test en appliquant la correction de Bonferroni ce qui est analogue à un test de Tukey.

$$f = \binom{n}{2} \text{ avec } n \text{ le nombre de moyennes à comparer 2 à 2.}$$

f correspond au nombre total de comparaisons à réaliser

Dans notre cas, nous prenons un α de 10%. Nous comparons deux à deux 4 moyennes ce qui nous donne $f=6$.

2.3 Ensilage et test de repousse

La question du stockage et de la repousse de morceaux des parties aériennes mécaniques séparées abordée précédemment a été expérimentalement envisagée. Ce sujet est abordé en annexe.

3. La communication

Le but d'une communication est de sensibiliser les entreprises (comme Norematt), les mairies, et les autres organismes de l'importance du problème posé par la renouée ainsi que de les convaincre de réagir et d'en faire nos partenaires dans cette lutte. Évidemment, elle a également pour objectif d'informer les citoyens de ce problème et les inciter à aider à leur niveau. Elle permet, enfin, d'informer nos partenaires des avancées du projet auquel ils contribuent.

3.1 Les différents supports

Nous avons le choix entre différents moyens de communication :

	Avantages	Inconvénients
Discours appuyés par du destinataire, adaptabilité au public. power point	Interactivité, réponses aux questions	Nécessite notre disponibilité
Dossier	Disponibilité, explication en profondeur du sujet.	Moins attrayant
Posters	Disponibilité, mise en avant des points clefs du sujet. Clair et concis.	Besoin d'un support durable, coûteux, et pouvant nécessiter des explications complémentaires
Flyers	Disponibilité, facilité de lecture, distribution aisée, peu coûteux.	Information réduite donc simplifiée ou très ciblée

En conséquence, nous avons choisi différents messages à faire passer à l'aide de ces supports:

Support	Message	Mise à disposition
Discours appuyés par power point	Discours complet de 20 min aux représentants des organismes (CG, mairies, Noremat), rencontres et visites de terrains	Sur demande après prise de contact avec les organismes
Dossier	Résumé de notre projet abordant seulement les points clefs de nos recherches, pour un public ciblé (mairies)	Fourni aux mairies contactées
Posters	Message simplifié adapté à tous publics abordant les grandes thématiques de notre projet pour expliquer notre présence sur les différents sites et convaincre la population du bien-fondé de notre démarche (le but étant que les posters se suffisent à eux-mêmes). Nous souhaitons de plus remercier nos partenaires pour leur aide.	Exposés sur les sites concernés
Flyers	Flyer n°1 : Message simplifié adapté à tous publics abordant les points clefs de nos recherches et proposant au lecteur différents niveaux d'implication dans la lutte contre la renouée. Flyer n°2 : Message plus ciblé destiné à compléter l'information présente sur les posters	N°1 Mis à disposition dans les mairies partenaires N°2 A distribuer aux personnes intéressées

3.2 Réflexion sur la création

- Le power point

Le power point présentera le projet en exposant tout d'abord le problème posé par l'invasion des paysages par la renouée, puis notre méthode de lutte par fauchage et enfin les avantages de la valorisation par méthanisation.

Le power point devra être visuellement agréable et contiendra des illustrations pour appuyer le discours (des photos de renouée devront être montrées pour apprendre à la reconnaître), mais il devra contenir peu de texte pour n'être qu'un appui et ne pas perturber la progression du discours oral. Il contiendra 20-25 diapos pour que la présentation dure 20 minutes.

- Les posters

Poster 1 : Présentation simple des plantes invasives pour resituer le problème de la renouée. Le poster a un rôle de prévention. Nous voulons convaincre de la nécessité de

lutter contre la renouée et justifier nos actes.

Poster 2 : Présentation des différentes méthodes de lutte existantes, justification du choix de la fauche répétée et exposition du protocole appliqué sur le site. Nous souhaitons convaincre de la pertinence de la méthode choisie.

Poster 3 : Explication simple du principe de méthanisation et lien avec notre projet. Le but est de convaincre de l'intérêt de notre démarche tant du point de vue économique que du point de vue environnemental.

Les posters contiendront des chiffres clefs et phrases marquantes pour frapper le lecteur afin de le convaincre de l'importance du projet.

Ils ne devront pas être trop chargés, et devront mettre en avant les idées clefs des messages à faire passer.

Nous avons cherché à créer une unité entre les posters grâce à leur aspect visuel. Ainsi, pour tous les posters nous utilisons

- Les mêmes couleurs: bleu turquoise et orange
- La même mise en page: une image à gauche et son texte à droite alterné avec une image à droite et son texte à gauche.

- Les flyers

Ils ne comporteront pas trop de textes et seront agréables à regarder. Pour respecter une unité dans l'ensemble de nos productions, les couleurs des flyers sont aussi dans les mêmes tons.

C) Résultats

1. La fauche

1.1. Règles à respecter pour la fauche

D'un point de vue purement technique, l'opération de fauche en elle-même ne doit respecter que des consignes visant à empêcher la dissémination de la plante.

Il faudra donc être particulièrement vigilant à ne pas taper dans le sol avec la tête de coupe pour ne pas endommager le rhizome. D'autre part il faudra veiller à ce que l'aspiration et le broyage soient suffisamment puissants pour ne laisser au sol aucun débris assez gros pour permettre une reprise végétative.



1.2. Les différentes étapes de la fauche

La fauche se déroule en 5 étapes :

- a) Sécurisation de la zone
- b) Fauche de la renouée avec le VSV de Noremat supportant un caisson (auto-moteur équipé d'un ou plusieurs organes de coupe, dont certains pouvant récupérer le produit de fauche)
- c) Finition correspondant à l'aspiration des débris non aspirés durant la coupe
- d) Transport jusqu'au lieu de stockage
- e) Mise sous bâche

Document 22 : Coupe de mise à zéro sur des cannes sèches de renouée (étape b)



Document 23 : Aspiration des résidus (étape c)



Document 24 : Mise sous bâche celée des résidus de fauche du site de Laxou (étape e)



Avant chaque fauche, nous nous chargerons de mesurer un certain nombre de paramètres sur la physionomie aérienne des massifs afin de savoir de quelle façon elle réagit à ce stress et de déterminer la biomasse récupérable. Nous avons d'abord décider d'effectuer des mesures sur la forme globale du massif :

- Les dimensions de la zone infectée
- Le taux de recouvrement du sol (en %)
- La densité

En plus de ces mesures, il est important de prendre des photos afin d'observer l'évolution de l'infection au cours du temps.

Puis pour des mesures plus précises sur la plante en elle-même, nous avons choisi de séparer la population en 3 classes (nombre de classe à revoir à chaque fois en fonction de

la taille des plants). Ici nous observons une population constituée de plants de petite taille, des plants moyens et des grands mais il s'agissait de la première fauche et les conditions de reprise de développement se sont avérées exceptionnelles cette année. Pour chacune des classes, nous prélevons 5 plantes en les coupant à la base et effectuons sur chacune d'entre elles les mesures suivantes :

- Hauteur de la tige
- Nombre d'entre-nœuds
- Diamètre à la base
- Diamètre au sommet
- Longueur de la plus longue feuille

Comme il est dit plus haut, ces mesures peuvent paraître inutiles dans l'immédiat mais peuvent s'avérer utiles pour étudier l'évolution de la plante et les éventuelles réactions qu'elle peut avoir suite à la fauche.

Document 25 : 1/5 de la biomasse récolté lors de la mise à zéro sur le site de Laxou



1.3. La répartition des modalités sur les différents sites de fauche

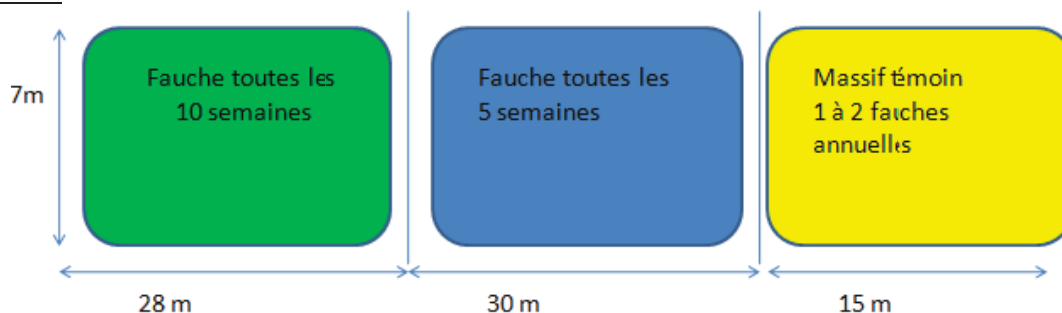
La délimitation des différents massifs se fait grâce à des piquets. La répartition s'est faite suivant la topographie et la répartition des massifs sur les deux zones expérimentales. Les zones difficiles d'accès ont par exemple été destinées aux modalités occasionnant le moins de fauches.

Pour faciliter les fauches à suivre, une mise à zéro et un désencombrement des zones a été effectué le 13 Mars 2015 à Laxou et le 25 Mars 2015 à Saint-Nicolas-de-Port. La répartition des modalités sur les différents massifs a été établi avec l'aval de notre partenaire Noremat, la principale contrainte étant l'accessibilité des zones au VSV.

Document 27 : Délimitation des modalités à Laxou



Document 28 : Délimitation des modalités à Saint-Nicolas-de-Port



1.4. Réalisation de la première fauche

La première fauche a eu lieu sur le site expérimental de Laxou où nous avons retrouvé nos partenaires de Noremat, équipés d'un VSV porteur d'un caisson avec aspiration et broyage. Sur ce site a été testé une tête de coupe qui s'est avérée assez efficace même si elle laissait dans certain cas des débris mais ces derniers étaient écrasés par le rouleau sensor de la tête de coupe et ne présentent donc aucun risque de repousse (des test quant à l'éventuelle reprise du développement de ces débris sont en cours). Cette fauche de la modalité de 5 semaines a permis de récolter une biomasse d'environ 150 kg pesée grâce à un système de plaque apporté par Noremat. Cette biomasse a été tassée dans un bidon de 200L afin de tenter d'en faire un ensilage. Cependant, il s'avère que ce bidon ait été ouvert durant la semaine suivante par des squatteurs du site (voir annexe).

Nous nous sommes rendu l'après midi même sur le site de Saint Nicolas pour y effectuer les mesures avant que celui-ci ne soit fauché (le lendemain). Notre professeur référant a pu assister à la fauche du site et nous a confirmé que la tête de coupe testée à Saint Nicolas (car le personnel de Noremat voulait tester deux têtes de coupe différentes) s'avère plus efficace que celle testée à Laxou. Un nouveau bidon pour l'ensilage a été réalisé avec les 150 kg récoltés sur le site.

Aucun résultat ne peut être tiré de cette première série de mesures, les chiffres sont donc confiés au professeur encadrant le projet afin de pouvoir par la suite répéter ces mesures et les comparer au cours du temps.

Document 29 : Avant/après de la première fauche sur le site de Laxou – le 5/05/15



Document 30 : Avant/après de première fauche sur le site de Saint-Nicolas-de-Port – le 6/05/15



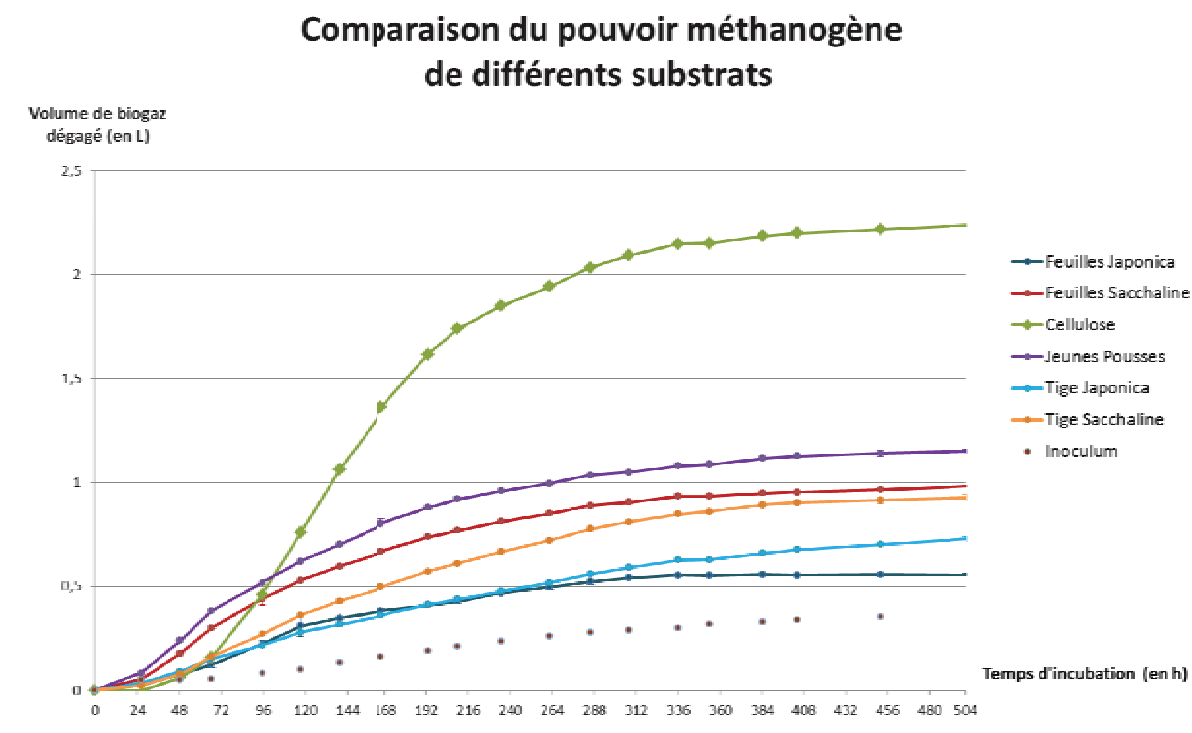
2. Méthanisation

Comme il a été dit précédemment nous n'exposerons dans cette partie que les résultats des courbes obtenues et des statistiques du calcul du BMP sur la renouée du Japon et de la renouée de Sachaline.

2.1. Courbes BMP

Les volumes de gaz dégagés en fonction du temps d'incubation ont été transcrit sous forme de courbes (document). À chaque point des courbes l'inoculum a été retiré afin de ne conserver que la production de gaz du substrat introduit.

Document 31 : Comparaison du pouvoir méthanogène de différents substrats



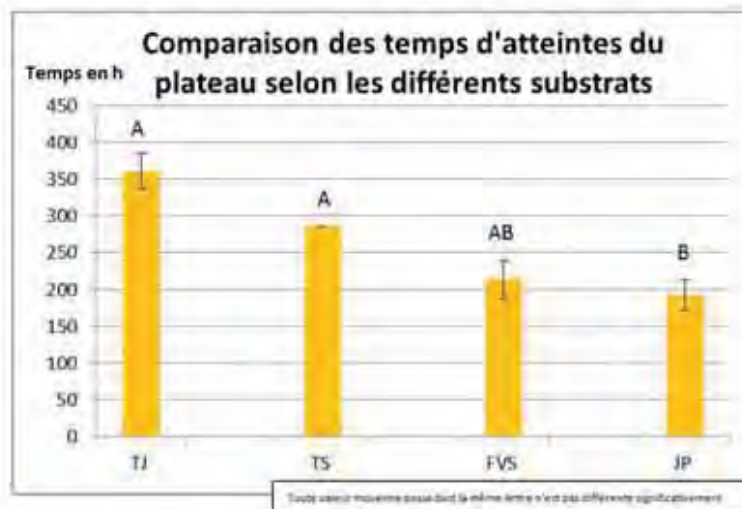
Les rejets de l'inoculum n'étant pas nuls, les bactéries sont toujours fonctionnelles donc nous pouvons valider notre modèle de méthaniseur expérimental. Le témoin positif, la cellulose, a dégagé du biogaz comme attendu avec néanmoins un temps de latence initial de 2 jours. Les autres mesures sont dans l'ensemble cohérentes car elles se situent entre les 2 témoins.

On observe une allure similaire pour toutes les courbes, c'est-à-dire un volume dégagé maximal dans les premiers jours, puis l'atteinte d'un plateau. D'après les modalités choisies, il se dégage plusieurs groupes de courbes, dans le cas de la modalité pente maximale on constate que les jeunes pousses et les feuilles Saccholine ont une pente proche et plus élevée que les tiges Saccholine, tiges Japonica et feuilles vertes Japonica toutes trois possédant des pentes proches. En ce qui concerne le temps d'atteinte du plateau, on ne peut discerner graphiquement plusieurs valeurs et on ne peut donc rien conclure. Enfin, dans le cas du volume final cumulé, il semble que les substrats présentent des différences. On obtient par ordre croissant de volume final dégagé : Feuilles Japonica (FVJ), Tige Japonica (TJ), Tige Saccholine (TS), Feuilles Saccholine (FVS), Jeunes Pousses (JP).

2.2 Statistiques

2.2.a Comparaison des temps d'atteintes du plateau selon les différents substrats

Document 32 : Comparaison des temps d'atteintes du plateau selon les différents substrats

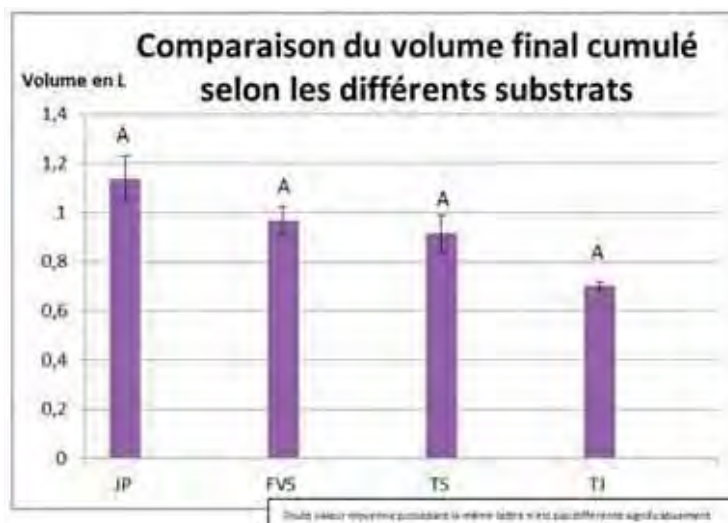


L'approche graphique nous montre une différence entre les substrats, les barres d'erreurs ne se recoupent pas. Cependant l'approche statistique ne nous permet pas une telle conclusion, en effet notre expérience se base sur une répétabilité à $n=2$ ce qui entraîne une grande variabilité des mesures.

Le graphique nous permet d'observer deux groupes statistiquement différents: TJ, TS et JP. En effet, JP atteint son plateau plus rapidement que TS et TJ. De son côté, FVS n'atteint pas son plateau à un temps significativement différent des autres modalités.

2.2.b Comparaison du volume final cumulé selon les différents substrats

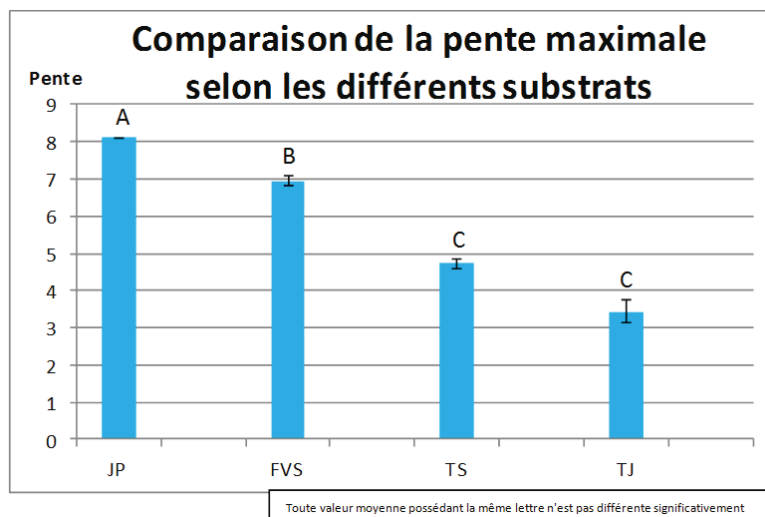
Document 33: Comparaison du volume final cumulé selon les différents substrats



L'ANOVA à un facteur nous a indiqué la présence d'au moins une différence significative entre les modalités, avec un seuil d'erreur égal à 5 %. Cependant la correction de Bonferonni abaisse le seuil d'erreur à 1,6 %, ce qui explique pourquoi nous n'observons aucune différence entre les modalités après avoir effectué le test de Student.

2.2.c Comparaison de la pente maximale selon les différents substrats

Document 34: Comparaison de la pente maximale selon les différents substrats



L'analyse statistique du facteur pente maximale nous montre la présence de plusieurs différences entre les modalités. En effet, on observe que JP et FVS sont significativement différents de toutes les modalités. JP possède donc la pente maximale la plus forte, et est donc la modalité qui est méthanisée le plus rapidement.

TS et TJ ne sont significativement pas différents entre eux, mais ils le sont par rapport aux deux autres modalités.

2.2.d Interprétation agronomique

Les jeunes pousses sont méthanisées plus rapidement que les autres modalités. Nous pouvons donc supposer que ses sucres sont plus disponibles. En effet, les plantes plus âgées ont une histologie plus complexe, les sucres sont donc moins accessibles aux bactéries qui participent à la méthanisation. De plus nous pensions que les tiges seraient peu productives, l'expérimentation nous a prouvé le contraire. Nous n'avons pas trouvé de différences entre les modalités testées pour le volume de biogaz produit, cependant il paraîtrait logique que les jeunes pousses produiraient plus. Graphiquement les jeunes pousses semblent être plus productives que les tiges de Japonica ; ce qui n'est pas confirmé statistiquement à cause de la grande variabilité de nos deux répétitions. Pour affirmer ou infirmer nos hypothèses il faudrait refaire la manipulation avec d'avantages de répétitions.

3. Communication

3.1. Rendu des différents supports de communication

- Power point

Afin de convaincre le Conseil Général de Meurthe-et-Moselle, les mairies, la commune de Laxou d'oeuvrer à nos cotés, nous sommes allés leur présenter le projet à l'aide de différents power point adaptés à nos interlocuteurs mais tous basés sur la même trame : présentation de la renouée, de la méthode de lutte et des différents protocoles : détermination de la biomasse du massif, fauche, et BMP.



Document 35: Visualisation des différents power point créés

- Dossier mairie

Elle entraîne donc de nombreux désagréments aussi bien pour la
de que pour les hommes, notamment en dégradant le
et infrastructures d'assainissement et en limitant la stabilité des

Elle entraîne donc de nombreux désagréments aussi bien pour la
de que pour les hommes, notamment en dégradant le
et infrastructures d'assainissement et en limitant la stabilité des

Elle entraîne donc de nombreux désagréments aussi bien pour la
de que pour les hommes, notamment en dégradant le
et infrastructures d'assainissement et en limitant la stabilité des




DOSSIER MAIRIE

PROJET PWD ENSAIR
INITIATION DU PROJET EN 2018
PLANTES INVASIVES ET METHANISATION

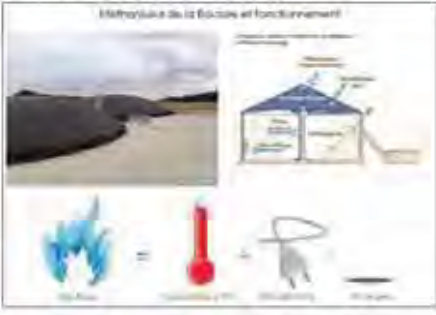


1. Présentation de la Renouée du Japon
2. Méthode de gestion employée: la fauche répétée
3. Plan de communication
4. Valorisation de la biomasse

4. Valorisation de la Renouée

L'idée qui nous a permis de développer ce projet est d'utiliser cette biomasse résiduelle pour le fonctionnement d'un méthaniseur (de manière ponctuelle). Cette initiative est parfaitement intégrée au jeu des nouvelles réglementations et permet, grâce à son impact environnemental et des économies de budget opérées dans les collectivités.

Un méthaniseur est une cuve surmontée d'une membrane permettant d'enfermer le gaz produit par la dégradation du substrat par différentes bactéries présentes naturellement dans l'écoulement. Le gaz ainsi produit est ensuite brûlé pour créer de l'électricité ou envoyé dans le réseau de gaz.



L'environnement naturel d'un méthaniseur, nous qui s'agit de contrôler du vivant, c'est qu'il doit être alimenté toute l'année. L'apport de biomasse de renouée en complément de la ration principale serait intéressant mais il ne permettrait qu'entre mars et septembre (période végétative) si un stockage n'est pas effectué.

Document 36 : Visualisation du dossier mairie

Posters

Pour informer les gens de nos recherches et de nos actes sur les sites concernés par le problème de la renouée, nous avons créé des posters présentant :

Document 37: Poster 1 - La menace que représente la renouée

La renouée du Japon: une plante invasive menaçant nos espaces naturels

❖ **Qu'est ce qu'une plante invasive?**

- C'est une espèce qui a été introduite par l'homme.
- Elle s'est adaptée à notre environnement.
- Elle prolifère désormais grâce à un système de reproduction et de dispersion efficace sans concurrents ou prédateurs pouvant limiter son expansion.



En France, beaucoup d'espèces sont invasives comme le robinier, la renouée du Japon, la berce du caucasse, le séneçon du cap, le topinambour, la balsamine et bien d'autres....



Baisse de la biodiversité : Photo prise dans le parc de Luch.

❖ **Quel est le problème ?**

- Certaines plantes invasives engendrent des problèmes de santé publique : allergies, toxicité de la plante, brûlures...
- La prolifération de ces espèces leur permet de prendre le dessus sur les espèces naturellement présentes. Ainsi, toute biodiversité disparaît des lieux colonisés, ce qui est un désastre pour nos paysages.
- Il devient alors compliqué de les éradiquer sans favoriser leur propagation.



Leur expansion est parfois si virulente qu'elle endommage les espaces urbains !

❖ **Que puis je faire ?**

- Savoir les identifier :

La renouée :

- Plante sous forme de massif pouvant aller jusqu'à 3-4m de haut.
- Feuilles en forme de cœur, grandes comme la main et de couleur vert tendre à vert franc.
- En fin d'été, fleurs blanches regroupées en épis.
- Tiges creuses, souples et vigoureuses.

- Faire passer le message !
- M'informer sur les initiatives prises par les collectivités de ma région.

Attention le remède est parfois pire que le mal, même coupée en petits morceaux la renouée peut bouturer et repartir. Il ne faut pas la couper sans précaution!

Credit Photos : Philippe Dubois de la Fédération - Yann Cougnet - Marie Laurence - Alexandra Magné - Fab. Marlier - Cédric Teyssé - Mathieu Besson - Claire Drouot - Arthur Mouton - Sébastien Moreau



Nous avons expliqué succinctement ce que sont les plantes invasives et les conséquences de leur expansion, puis nous avons fait une description de la renouée du Japon, comme souhaité initialement. Cependant, la quantité d'informations était trop importante et le poster présente trop de texte. En particulier nous n'avons pas pu détailler les pratiques à éviter (par exemple il est préférable de ne pas couper soi-même la renouée car 3g de rhizome de renouée suffisent à redonner un pied feuillé), ni les effets néfastes de certaines plantes invasives (pour exemple, la Berce du Caucase qui provoque des brûlures, ...).



Valoriser la biomasse issue de la fauche répétée grâce à la méthanisation

Lors des nombreuses fauches, une quantité importante de renouée est récupérée. Toute cette biomasse est ensuite transformée en méthane grâce à la méthanisation. Ce méthane est ensuite utilisé pour générer de l'électricité.

Comment ça marche ?

Au sein des grandes cuves en béton qui composent le méthaniseur, la matière organique des plantes est dégradée par différentes bactéries. Le carbone contenu dans cette matière organique est alors transformé en biogaz : un mélange de dioxyde de carbone (CO_2) à 40% et de méthane (CH_4) à 60%.

Comment ça marche ?

On le brûle : l'énergie est alors convertie en chaleur et en électricité grâce à un alternateur. Le CO_2 produit lors de cette combustion correspond au CO_2 absorbé par les plantes lors de leurs croissances. La méthanisation n'a donc pas d'impact sur le réchauffement climatique !

Et avec la renouée, ça fonctionne ?

Nous avons mesuré la capacité des plants de renouée à produire du biogaz. Nous avons calculé qu'une tonne de renouée fauchée permet d'alimenter un réfrigérateur pendant une année !

Dans quelques années, la renouée pourrait bien devenir une forme d'énergie renouvelable grâce à la méthanisation. Il semblerait bien que le problème de la renouée soit en passe d'être dénoué...



PR : Didier - Philippe Dubois - Marc Gauthier - Marie-Laurence - Alexandre Huguier - Eric Huet - Julien Peris - Sébastien Simon - Céline Thomas - Antoine Vigneron - Sébastien Vigneron

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

NOREMAT

Projet

On a bien atteint les objectifs quant au message à faire passer sur le processus de méthanisation mais, le poster étant déjà suffisamment chargé, nous n'avons pas pu rajouter de point de comparaison (avec le maïs par exemple) pour mieux imaginer ce que représente le pouvoir méthanogène.

• Flyers

Pour informer les mairies et leurs citoyens de nos actions replacées dans le contexte de la lutte contre la renouée nous avons créé ce flyer, conformément à nos objectifs :



Document 40: Visualisation des flyers

Pour compléter les informations sur la fauche répétée nous avons créé ce flyer. Il présente en détail le protocole appliqué par l'ENSAIA sur les différents sites, et son but à terme. Il rappelle de plus les précautions à prendre. Il est destiné notamment aux accoroutistes.

3.2. Les répercussions

Les présentations orales et le dossier mairie ont permis de débiter de nouvelles relations avec :

- Noremat, qui fournit le personnel et le matériel nécessaires aux fauches.
- Le conseil général de Meurthe-et-Moselle, qui autorise la fauche sur la D1A.
- Et la mairie de St Nicolas de Port qui nous autorise à disposer du massif situé sur la D1A pour nos expériences.

De plus, ces nouveaux partenaires, très impliqués dans le projet, y apportent un point

de vue extérieur ainsi que de nouvelles idées.

Enfin, le Conseil Général de Meurthe-et-Moselle et Fondation de France vont nous aider à financer l'affichage des posters. Ce projet est actuellement en demande de subvention par ces organismes.

3.3. Les projets à envisager

Nous n'avons pas encore créé les panneaux pour afficher les posters sur les différents sites mais nous avons imaginé ceci pour le site derrière le supermarché Auchan de la commune de Laxou et la commune de St Nicolas-de-Port: Les panneaux pourront être enfoncés dans la terre à St Nicolas-de-Port tandis qu'ils devront être maintenus par des plots en béton à Laxou.

Document 41: Montage photo du rendu des posters implantés



Pour améliorer le rôle social du projet, nous souhaiterions interagir de manière plus approfondie avec la mairie de St Nicolas-de-Port (ville fleurie) et mettre en place une sensibilisation auprès des écoles primaires, des jardiniers et des particuliers. Ces sensibilisations pourraient comprendre une visite des sites, ainsi que des ateliers ludiques pour intéresser les petits comme les grands quant à la reconnaissance de la renouée. On y pousserait aussi le public à nous apporter son aide pour la cartographie des massifs de renouée.

De plus la mise en place d'un site internet apportant des conseils ciblés pour les différents publics pourrait être envisagée.

Conclusion

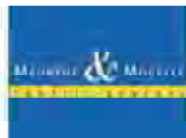
Afin de lutter contre la propagation de la renouée, nous avons effectué une recherche bibliographique approfondie qui nous a permis d'élaborer divers protocoles.

Naturellement le premier protocole auquel nous nous sommes attelés porte sur les spécificités de la fauche. En effet, une étude de terrain a été nécessaire pour affiner le protocole de fauche, qui nous a permis de régler les problèmes de sécurité et de périodicité. La finalité de ce protocole est l'éradication de la renouée grâce à l'épuisement de son rhizome. Cependant ce protocole n'est pas encore extrapolable à tous types de topographies. Parallèlement, une estimation de la biomasse nous permet de prédire si une valorisation au méthaniseur est économiquement rentable.

A l'aide des élèves de 3ème année de la spécialisation DEFI, nous avons pu mettre en place notre protocole de calcul du potentiel méthanogène sur la renouée. Ainsi, nous avons mis en évidence que les jeunes pousses de renouée ont un meilleur potentiel méthanogène.

Cependant, ce projet s'inscrit sur plusieurs années donc les résultats souhaités ne sont pas forcément visibles tout de suite. C'est pourquoi, il est nécessaire de nuancer nos premiers résultats. De plus, il reste de nombreux points à améliorer dans ce projet, comme la mise en place d'une cartographie précise, à l'échelle dans un premier temps régionale, puis à l'échelle nationale ou encore continuer à effectuer les mesures sur les différents massifs pour pouvoir par exemple, dresser un modèle d'affaiblissement du rhizome.

Bien évidemment tout cela n'aurait pas été possible sans l'aide de nos partenaires.



Bibliographie :

1) Les plantes invasives sont sources de désagréments

- ¹ : **Fabrice Pelloté, Jacques Haury et Sylvie Magnanon.** *Les Grandes renouées.* In : Observatoire de la biodiversité et du patrimoine naturel de Bretagne. [En ligne] [consulté le 16/12/14]. Disponible sur : <http://www.observatoire-biodiversite-bretagne.fr/especes-invasives/Flore-continentale/Invasives-averees/Les-Grandes-Renouees-Reynoutria-et-Polygonum>
- ² : **Association Escaut-vivant.** *Etat des lieux des connaissances sur les espèces invasives et des techniques de lutte contre leur prolifération.* In : renouée. [En ligne] [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://www.escaut-vivant.org/telechargement/Renou%C3%A9e.pdf>
- ³ : **CENTRE RÉGIONAL DE PHYTOSOCIOLOGIE AGRÉÉ CONSERVATOIRE BOTANIQUE NATIONAL.** *Protocole de suivi des chantiers de gestion de plantes exotiques envahissantes dans le nord-ouest de la France.* In : Conservatoire botanique national de Bailleul. [En ligne], édité le 02/2010, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : http://www.cbnbl.org/IMG/pdf/Protocole_de_suivi_des_especes_exotiques_envahissantes_du_nord-ouest_de_la_France.pdf
- ⁴ : **Yann Cohignac.** *Espèces invasives : quand des plantes étrangères menacent la biodiversité locale.* In : L'actualité verte. [En ligne] [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://www.developpementdurable.com/diapos/2011/12/D6348/E1729/especes-invasives-quand-des-plantes-etrangeres-menacent-la-biodiversite-locale.html>
- ⁵ : **De Waal L.C.** A viability study of *Fallopia japonica* stem tissue. *Weed Research*, 2001, 41, 447-460.
- ⁵ : **Le Guen M.** *Plantes invasives en Côtes d'Armor: Outils pour l'inventaire, Éléments sur la distribution et la gestion.* Rapport de stage, Licence "PARTAGER", Rennes: Université de Rennes 1, 2008, 65 p.
- ⁵ : **Le Guen M.** *Synthèse des résultats des tests de germination réalisés au Conservatoire botanique national du Massif Central de 1999 à 2006.* Conservatoire botanique national du Massif Central, 2007, 63 p. *La renouée du Japon.* In: Wikipédia. [En ligne], édité le 25/12/2014, [consulté le 10/12/2014]. Disponible sur : http://fr.wikipedia.org/wiki/Renou%C3%A9e_du_Japon
- ⁵ : *Les grandes renouées.* In: Observatoire de la biodiversité et du patrimoine naturel en Bretagne. [En ligne], édité le 05/05/2008, [consulté le 8/12/2014]. Disponible sur : <http://www.observatoire-biodiversite-bretagne.fr/especes-invasives/Flore-continentale/Invasives-averees/Les-Grandes-Renouees-Reynoutria-et-Polygonum>
- ⁵ : *Une nouvelle technique d'éradication mécanique des renouées du Japon testée avec succès au bord de l'Ain et de l'Isère.* In: Site Internet de Mireille Boyer. [En ligne], édité le 20/07/2013, [consulté le 10/12/2014]. Disponible sur : <http://fallopia.japonica.pagesperso-orange.fr/>
- ⁶ : **L'Association Rivière Rhône Alpes.** *Renouée du Japon : Gestion et lutte, Actes des journées techniques.* [En ligne], mis à jour le 29/06/11 [consulté le

08/12/14]. Disponible sur :

[www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.riviererhonealpes.org%2Ffichiers%2Fjournees%2FJournee 52 29-6-](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.riviererhonealpes.org%2Ffichiers%2Fjournees%2FJournee%2052%2029-6-2010%20Actes%20Renouees%20ARRA%202011.pdf&ei=g0aQVM3vFcHmaOTEgbAD&usq=AFQjCNEH61kDBq-jVMJYcbW1LUPykrkpoQ&sig2=K8MUu_YJrIilpR5tEqd8Zw)

[2010 Actes Renouees ARRA 2011.pdf&ei=g0aQVM3vFcHmaOTEgbAD&usq=AFQjCNEH61kDBq-jVMJYcbW1LUPykrkpoQ&sig2=K8MUu_YJrIilpR5tEqd8Zw](http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.riviererhonealpes.org%2Ffichiers%2Fjournees%2FJournee%2052%2029-6-2010%20Actes%20Renouees%20ARRA%202011.pdf&ei=g0aQVM3vFcHmaOTEgbAD&usq=AFQjCNEH61kDBq-jVMJYcbW1LUPykrkpoQ&sig2=K8MUu_YJrIilpR5tEqd8Zw)

- ⁷ : **Syndicat mlxte de la Vallée de l'Orge Aval (SIVOA)**. *Impacts et gestion de la renouée du Japon dans la vallée de l'Orge*. In : Syndicat de l'Orge. [En ligne], édité le 07/2004, [consulté le 12/2014]. Disponible sur : <http://syndicatdelorge.fr/decoupes/entretenir/rapportsivoa2004.pdf>

2) La fauche est le moyen de lutte qui correspond le plus à notre objectif de valorisation de la biomasse des renouées mais elle implique des précautions

- ⁸ : **Association hommes et territoires**. *Gestion des dépendances routières et bordures de champs à l'échelle de la région Centre*. In : Hommes et territoires. [En ligne], édité le 2011, [consulté le 29/11/2014]. Disponible sur : http://www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/etudes/Gestion_bords_routes_Hommes_et_Territoires.pdf
- ⁸ : **Sétra**. *Guide pratique, entretien des dépendances vertes*. In : Les services de l'État dans le Cher. [En ligne], mis à jour le 2004, [consulté le 29/11/2014]. Disponible sur : http://www.cher.gouv.fr/content/download/6066/36064/file/dependances_vertes.pdf
- ⁹ : **Parc naturel régional de la Haute Vallée de Chevreuse**. *Que faire si j'ai la renouée du Japon dans mon jardin*. In : Parc naturel régional de la Haute Vallée de Chevreuse. [En ligne], mis à jour le 31/08/2011, [consulté le 9/12/2014]. Disponible sur : http://www.parc-naturel-chevreuse.fr/fileadmin/media/nature-paysages/Fiche_Renouee_dans_mon_jardin.pdf
- ¹⁰ : **Assemblée Nationale**. *Rapport fait au nom de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire sur la proposition de loi, adoptée par le sénat, visant à mieux encadrer l'utilisation des produits phytosanitaires sur le territoire national (n° 1561)*. In : Assemblée Nationale. [En ligne] [consulté le 09/12/2014]. Disponible sur : http://www.assemblee-nationale.fr/14/rapports/r1708.asp#P166_55985
- ¹¹ : **Maëlle LE BERRE**. 2010. Proposition de plan de gestion des renouées exotiques invasives (*Fallopia*spp.) et d'autres espèces envahissantes sur les digues de l'Isère, du Drac et de la Romanche Master. [Consulté le 28 décembre 2014]. Disponible sur : http://www.isere-drac-romanche.fr/IMG/pdf/Gestion_Invasives_MaëlleLeBerre.pdf
- ¹² : **Norem**. 2008. VSV : Véhicule service Viabilité. [Consulté le 28 décembre 2014]. Disponible sur : <http://www.norem.fr/fr/vsv.php#1>
- ¹³ : **Ministère de l'équipement**. 2010. La route : qui gère quoi ? [Consulté le 9 novembre]. Disponible sur : <http://www.enroute.est.equipement.gouv.fr/la-route-qui-gere-quoi-r114.html>
- ¹⁴ : **Alain Franck KOSSI**, Estimation de la biomasse végétale du sous-bois [en ligne], mis à jour le 19 janvier 2010 [consulté le 9 décembre 2014] Disponible sur : http://www.cifor.org/forenet/publications/pdf_files/Franck-Master%201.pdf

3) **La biomasse récoltée par la fauche est acheminée jusqu'au méthaniseur où il complète la ration et est transformé en biogaz.**

- ¹⁵ : Appel à projets pour le développement de 1 500 projets de méthanisation en 3 ans. In : developpement-durable.gouv.fr. [En ligne], mis à jour le 25/11/2014, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Appel-a-projets-pour-le.html>
- ¹⁵ : L'aventure du premier méthaniseur de France. In : web-agri.fr. [En ligne], édité le 30/11/2012, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://www.web-agri.fr/machinisme-batiment/batiment-traite/article/l-aventure-du-premier-methaniseur-de-france-1157-85128.html>
- ¹⁵ : Méthanisation : les produits agricoles alimentaires seront interdits. In : actu-environnement.com. [En ligne], édité le 13/10/2014, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://www.actu-environnement.com/ae/news/methanisation-interdiction-produits-agricoles-alimentaires-plte-22954.php4>
- ¹⁵ : Nouveau dispositif de soutien à la méthanisation. In : developpement-durable.gouv.fr. [En ligne], [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_de_presse_Methanisation.pdf
- ¹⁵ : Le Plan Énergie Méthanisation Autonomie Azote (EMAA). In : agriculture.gouv.fr. [En ligne], édité le 29/03/2013, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/Volet-methanisation-Questions#6>
- ¹⁶ : Guide de suivi de la biologie sur une unité de méthanisation agricole. In : aile.asso.fr. [En ligne], édité en juin 2011, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://www.aile.asso.fr/wp-content/uploads/2011/10/guide-suivi-biologie.pdf>
- ¹⁶ : La Méthanisation. In : eseta.fr. [En ligne], édité en 2011, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://eseta.fr/index.php/fr/la-societe/77-societe/77>
- ¹⁶ : Présentation de Philippe DELFOSSE lors de la journée de formation transfrontalière du 21 novembre sur la méthanisation
- ¹⁷ : Présentation de Fabien CLAUDE, Assistant au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement à Arlon Campus Environnement. Séminaire du 21 novembre sur la valorisation du biogaz.
- ¹⁷ : MidiConcept et Oktopus 21. Agriculture. In : Méthaneva, Transformer pour protéger. [En ligne] [Consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://www.methaneva.eu/agriculture.html>
- ¹⁷ : Biogaz : les voies de valorisation. In : ATEE: Association Technique Energie Environnement, Club Biogaz. [En ligne], édité le 10/10/2012, [consulté le 16/12/2014]. Disponible sur : <http://atee.fr/biogaz/biogaz-les-voies-de-valorisation>
- ¹⁸ : N Bachmann, M Deront, H Fruteau, C Holliger, Y Membrez, A Wellinger. Optimisation des tests standardisés de digestibilité dans des réacteurs batch. In : bfe.admin.ch. [En ligne] [consulté le 04/11/2014]. Disponible sur : http://www.bfe.admin.ch/php/includes/container/enet/flex_enet_anzeige.php?lang=fr&publication=10761&height=400&width=600
- ¹⁹ : Renouée du Japon. In : Wikipédia, encyclopédie libre. [En ligne], mis à jour le 14/11/2014, [consulté le 9/12/2014]. Disponible sur :

- http://fr.wikipedia.org/wiki/Renou%C3%A9_du_Japon
- ²⁰ : Hélène CARRERE. Intérêt des prétraitements pour la méthanisation de la biomasse lignocellulosique. In : BioEnergieSud. [En ligne], édité le 31/05/2011, [consulté le 9/12/2014]. Disponible sur : http://www.bioenergiesud.org/www.bioenergiesud.org/UserFiles/file/BIOENERGIESUD31mai2011_HeleneCarrere_LBE.pdf
- ²¹ : René Moletta (coordonateur). Chapitre 12 : Co-traitements physico-chimiques (Hélène CARRERE). In : La méthanisation. Tech&Doc, 2011, p.280 à 288. ISBN : 978-2-7430-1036-2
- ²² **Naskeo Environnement**. Installations de biogaz. In : biogaz-energie-renouvelable. [En ligne], édité en 2009, [consulté le 9/12/2014]. Disponible sur : http://www.biogaz-energie-renouvelable.info/biogaz_installations.html

Partenaires : Université de Lorraine, ENSAIA, Mairie de Laxou, Noremat, Association Floraine

Tuteurs universitaires : Yves Le Roux, Cyril Feidt, Stéphane Pacaud

Élèves ingénieurs : Yann Guepet, Mélina Ramos, Marie Lecarme, Claire Toinon, Adrien Vásquez, Valentin Weens, Cyril Chabas, Cédric Perez, Alexandre Magrit, Philippe Dubois de la Sablonière, Eva Merlier



Annexe

- Tentative d'ensilage

Pour pouvoir intégrer la renouée à la ration d'un méthaniseur, il est essentiel de l'apporter au bon moment. Il s'avère de plus que les gestionnaires de stations de méthanisation déplorent un manque dans la ration en hiver, et ce n'est pas à ce moment que la renouée est fauchée. Nous nous sommes donc posé la question de savoir s'il était possible de la stocker sous une forme assurant une certaine sécurité vis-à-vis de sa dissémination. L'idée d'en faire un ensilage a alors germé. Pour cela, nous avons récupéré le broyat résultant de la première fauche que nous avons tassé dans un bidon de 200L hermétiquement fermé de façon à placer cette biomasse en condition d'anaérobiose nécessaire à la réussite d'un ensilage. Ce premier bidon réalisé a été ouvert par des squatteurs du site de Laxou. Un autre bidon a alors été fait avec la biomasse récoltée à Saint Nicolas de Port.

S'il s'avère que la plante supporte bien l'ensilage et que cet ensilage conserve un pouvoir biométhanogène correct, notre projet pourra alors en plus de lutter contre la renouée d'une façon raisonnée, permettre aux gestionnaires de méthaniseurs de combler ce manque de matière hivernale.

Document 42 : Tassement de la biomasse



- Test de repousse

Le broyat produit par la machine de Noremat lors de la fauche s'avère très fin. Nous pouvons donc supposer que le risque de reprise de végétation à partir de ces résidus est très faible. Afin de s'en assurer, nous avons placé en jardinière ces résidus (déposés à la surface ou enfouis) en présence d'un substrat nutritif très favorable au développement végétal (du terreau).

Les résultats de ces deux expériences ne sont pas encore connus à l'heure actuelle mais les expérimentations sont suivies de près.



- Protocole déterminant les réserves d'un rhizome de renouée

Proposition de protocole pour évaluer le taux de matière sèche d'un rhizome

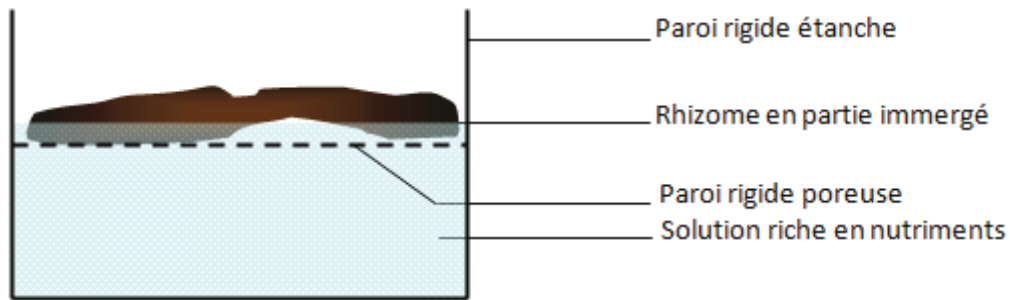
Un fragment de rhizome pris au hasard est pesé et mesuré (longueur et diamètre) avant d'être broyé grossièrement et mis à l'étuve. Lorsque la totalité de l'eau contenue dans les fragments s'est évaporée, la masse sèche du rhizome est mesurée. Le taux de matière sèche d'un rhizome est ensuite facilement déductible.

Proposition de protocole pour quantifier les réserves présentes dans un rhizome

Le but de l'expérience est de mesurer indirectement la quantité de réserves présentes dans un rhizome. Nous considérons que lors de la croissance d'une partie aérienne non photosynthétique, celle-ci puise toute sa masse dans les réserves du rhizome. Ainsi, en empêchant la photosynthèse, seul le carbone présent dans les réserves utilisables du rhizome permettra la croissance des parties aériennes.

Un fragment de rhizome pris au hasard est pesé et mesuré (longueur et diamètre). Il est ensuite partiellement immergé dans une boîte séparée en deux parties par une paroi rigide poreuse horizontale tel que représenté sur le schéma ci dessous. La paroi poreuse permet de maintenir le rhizome partiellement immergé sans risques d'asphyxie ou de carences.

SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL



Dès qu'une tige apparaît, celle-ci est coupée avant la mise en place des feuilles. Lors de chaque coupe, le poids sec des matériaux récupérés est mesuré. Lorsque le rhizome ne fait plus de nouvelles pousses aériennes, celui-ci est considéré comme épuisé. La somme des masses sèches des matériaux récupérés correspond alors à la masse de réserves du rhizome.

Proposition de protocole pour visualiser les conséquences des fauches répétées

De la même façon, quatre fragments de rhizome pris au hasard sont pesés et mesurés (longueur et diamètre). Ils sont ensuite déposés dans quatre boîtes telles que présentée précédemment.

Les fragments mettront en place des parties aériennes qui seront coupées à différentes fréquences.

Le fragment témoin ne sera fauché qu'une fois par an.

Le fragment correspondant à une fauche optimale sera fauché au stade deux nœuds.

Les deux fragments restants seront fauchés respectivement toutes les 5 et 10 semaines.

Après chaque fauche, les rhizomes sont pesés ainsi que les parties aériennes avant et après passage à l'étuve.