

Gestion des Risques et Histoire des Coulées Boueuses



Projet GERIHCO 3

Etude multicritères du risque érosif :
Pérennisation des comportements préventifs, étude globale
du génie végétal et analyse paysagère
Rapport d'activité 2014/2015



NOTE DE PRESENTATION DU PROJET du BETA-GESTE (UMR Irstea/ENGEES)
A l'attention de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse

Etude multicritère du risque érosif :
Pérennisation des comportements préventifs, étude globale du génie
végétal et analyse paysagère

PORTEUR DE PROJET

Nom complet (et abréviation)	ENGEES
Adresse	1, quai Koch 67070 STRASBOURG
Téléphone	03.88.84.82.82
E-mail	Anne.rozan@engees.unistra.fr
Raison sociale	ENGEES
Statut	EPA
N° SIRET	196 701 890
Code APE	
Représenté par	Son Directeur, M. Jean-François Quéré
Responsable du projet	Anne Rozan (GESTE et BETA)
Unités	<p>BETA UMR 7522 Uds-CNRS <i>Bureau d'Économie Théorique et Appliquée</i> http://www.beta-umr7522.fr/ Pôle Européen de Gestion et d'Économie 61 avenue de la Forêt-Noire 67085 STRASBOURG cedex téléphone : 03 68 85 20 69 télécopie : 03 68 85 20 70 Directeur : Bertrand Koebel</p> <p>GESTE UMR Irstea-ENGEES <i>Gestion Territoriale de l'Eau et de l'Environnement</i> http://geste.engees.eu/ ENGEES 1, quai Koch 67070 STRASBOURG téléphone : 03 88 24 82 40 télécopie : 03 88 24 82 84 Directeur : Rémi Barbier</p> <p>LHYGES UMR 7517 Uds-CNRS-ENGEES <i>Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie de Strasbourg</i> http://lhyges.unistra.fr/ 1, rue Blessig 67084 STRASBOURG cedex téléphone : 03 68 85 05 59 télécopie : 03 68 85 04 02 Directeur : François Chabaux</p>

	<p>SAGE UMR 7363 Uds-CNRS <i>Sociétés, Acteurs, Gouvernement en Europe</i> http://sage.unistra.fr/ 5 allée du Général Rouvillois 67083 STRASBOURG Cedex Directrice : Hélène Michel</p> <p>LIVE UMR 7362 Uds-CNRS <i>Laboratoire Image, Ville, Environnement</i> http://live.unistra.fr/ 3, rue de l'Argonne 67083 STRASBOURG cedex téléphone : 03 68 85 09 51 télécopie : 03 68 85 09 50 Directeur : Dominique Badariotti</p> <p>ARAA <i>Association pour la Relance Agronomique en Alsace</i> 2 rue de Rome 67309 SCHILTIGHEIM cedex Directeur : Rémi Koller</p> <p>HydrISE - Institut La Salle Beauvais <i>Hydrogéochimie et Interactions Sol-Environnement</i> Rue Pierre Waguët 60026 Beauvais Téléphone : 03 44 06 89 79 Directeur : Olivier Porret</p>
--	--

Gestion des Risques et Histoire des Coulées Boueuses

Rapport final : étude globale du génie végétal et analyse paysagère

Ce rapport présente la synthèse des travaux réalisés au cours de l'année 2014, première année du projet pluri-annuel GERIHCO 3 (GEstion des RISques et Histoire des COulées boueuses). L' aide annuelle de l'AERM attribuée pour 2014 a permis d'accompagner les premières actions, en particulier la thèse de Lucie Froehlicher (financement Région/ADEME). Cette aide nous a permis de rester en concordance avec notre calendrier de recherches en nous concentrant particulièrement sur les travaux définis dans le volet des mesures d'hydraulique douce (fascines, haies, bandes de *Miscanthus Giganteus*) de réduction du risque érosif.

I. Le Contexte

Ce présent projet s'articule autour de la question de la gestion des risques de coulées boueuses dues à l'érosion des sols en Alsace. Les secteurs d'étude sont essentiellement le Sundgau, le Kochersberg et l'Outre-Forêt. Il s'inscrit dans la continuité des projets GERIHCO (GEstion des RISques et Histoire des COulées boueuses) de 2004 à 2007 et GERIHCO 2 de 2009 à 2011.

Rappelons rapidement que GERIHCO est un groupe de recherche interdisciplinaire (agronomie, économie, géographie, sociologie) composé de chercheurs de différentes Unités Mixtes de Recherche (BETA, GESTE, ICUBE, LIVE, SAGE) de l'Université de Strasbourg et de l'ENGEES, en collaboration avec l'INRA de Colmar et l'ARAA. GERIHCO 3 s'appuie sur les résultats et les connaissances acquises lors des deux premiers GERIHCO pour afficher une ambition qui consiste à approfondir certains aspects (comme la diffusion des techniques culturales sans labours) mais également à soulever de nouveaux questionnements relatifs entre autre au risque invasif ou à l'évolution du paysage. Pour ce faire, le groupe GERIHCO s'est enrichi de nouvelles compétences comme l'écologie végétale, la pédologie, le droit.

Le projet GERIHCO 3 est organisé en trois axes (axe 1 : Agir en amont, axe 2 : Analyse multicritères des dispositifs de génie végétal et axe 3 : Perspectives historiques des haies). La première année de financement du projet a permis de se concentrer sur les mesures d'hydraulique douce (axes 2 et 3). En Alsace, notamment dans le Bas-Rhin, ces mesures d'hydraulique douce sont largement employées dans la lutte contre les coulées boueuses. Il s'agit d'obstacles linéaires ou en bandes placées à travers des chemins d'eau de ruissellement dans le but de le freiner et de provoquer ainsi des dépôts directement en amont de l'obstacle. Les obstacles peuvent être de composition variée : bande d'herbacée vivace, fascine morte, fascine vivante, haie ou des associations entre ces dispositifs. Depuis 2008, 116 dispositifs d'hydraulique douce ont été installés dans 23 communes du Bas-Rhin, représentant une longueur totale de plus de 5,4 km (données de 2012).

II. Le programme d'actions

La Chambre d'Agriculture Région Alsace (CARA) a mis en place un site de démonstration à Schwindratzheim (67) avec une dizaine de modalités de haies et de fascines. Le site a pour objectif de servir de « vitrine de démonstration » pour les acteurs/gestionnaires intéressés par ce type de dispositifs. En nous appuyant notamment sur ce site de démonstration, nous avons mené des travaux autour de 3 thèmes :

- Comprendre l'adhésion des acteurs aux techniques disponibles et analyser la rentabilité économique de ces dispositifs.
- Mettre en place les premières actions pour évaluer le risque invasif d'espèces exotiques.
- Etudier les paysages du passé à travers les dépôts sédimentaires.

1. Comprendre l'adhésion des acteurs et analyser la rentabilité économique de ces dispositifs

(F. Le Ber, M.Isselkou, L. Picq, A.Rozan, M.Wintz)

Nous présentons dans un premier temps l'étude de la rentabilité économique des haies. Nous reviendrons sur une étude sociologique de ce dispositif dans un second paragraphe (p. 21).

L'étude sur la rentabilité économique des haies s'est concentrée sur le potentiel énergétique des haies de miscanthus. En effet, le miscanthus est une graminée géante, plantée non seulement pour la production de biomasse destinée à alimenter des chaudières, mais aussi pour limiter l'érosion des sols et la pollution des eaux souterraines. A titre d'exemple, deux systèmes de chaufferie collective utilisant le miscanthus sont en fonction en Alsace, un à Ammertzwiller (Haut-Rhin) et un à Brumath (Bas-Rhin). Dans ces communes, l'implantation de parcelles de miscanthus s'est faite pour répondre aux besoins énergétiques mais également pour limiter l'augmentation du taux de nitrates (à Ammertzwiller), préserver la ressource en eau dans l'Aire d'Alimentation de Captage et diminuer les coulées de boues (à Brumath)¹. Concernant la lutte anti-érosive, à Grassendorf (au nord-ouest de Brumath), un système de haies de miscanthus a été mis en place pour essayer de répondre au problème des coulées d'eau boueuses. La question est alors de savoir si ces haies, de tailles variables et plus ou moins distantes entre elles, pourraient être exploitées pour l'approvisionnement de chaudières à biomasse². Notre étude a consisté à développer une méthodologie afin de mesurer les coûts liés au ramassage de la biomasse et de tester cette méthodologie sur une étude de cas, à savoir la commune de Grassendorf.

La disposition des haies, ainsi que la distance de transport entre les haies et le site de combustion, constituent des facteurs importants dans le calcul du coût de revient de la biomasse. L'objectif de cette analyse est de déterminer si l'exploitation de haies de miscanthus pour la production de biomasse est économiquement viable. Cette étude se décompose en deux étapes :

- une analyse d'optimisation spatiale : optimisation du trajet de récolte des haies et distance à moindre coût entre site de production d'énergie et lieu de stockage de la biomasse.
- une analyse économique des coûts de récolte et de transport du miscanthus basée sur différents scénarios de récolte et de rendement.

¹ Voir la fiche *Projet de production de biomasse sur la zone de captage de Brumath* de la Chambre d'Agriculture de la Région Alsace disponible à l'adresse suivante : <http://www.alsace.chambagri.fr/pages-hors-menu-internet/liste-archives-internet/detail-breve-internet/actualite//le-developpement-du-miscanthus-dans-les-zones-de-captages-et-pour-lutter-contre-lerosion.html>

² Ce projet a bénéficié d'une collaboration avec la Chambre d'Agriculture Région Alsace (CARA). Un grand merci à Rémi Michael pour le temps qu'il a consacré à la stagiaire et pour toutes les informations agricoles nécessaires au projet qu'il a transmises. Nous remercions également Claire Cugnière pour les images fournies sur les haies de Grassendorf. Enfin, nous remercions Michel Batt, maintenant retraité de la CARA, pour son temps et les visites du site de Grassendorf.

1.1 Site d'étude, méthodologie de travail et données

Cette partie nous permet de replacer notre étude dans le contexte physique général. Afin de mener une analyse spatiale réaliste, une revue d'informations et de connaissances sur la logistique de la récolte du miscanthus et la caractérisation des haies de Grassendorf étaient aussi nécessaires.

Présentation de l'étude de cas

La Commune de Grassendorf (200 habitants) est située à l'ouest de Haguenau, dans une zone collineuse située entre les buttes de Bouxwiller et les collines de Brumath³ (Figure 1). La commune se situe dans le bassin versant de la Moder et plus précisément, la commune est située à l'amont du bassin versant du Lomdgraben. L'activité principale de cette commune est la production agricole céréalière. L'un des risques naturels majeurs recensé à Grassendorf est « l'inondation par ruissellement et coulées boueuses » (événements en décembre 1999, juin 2007, mai 2008 et juin 2010). En prévention, la commune a installé des fascines mortes et des bandes enherbées sur les chemins d'eau et mis en place une rotation des cultures en concertation avec les agriculteurs⁴. En début d'année 2014, la décision a également été prise de mettre en place des ouvrages d'hydraulique dure (bassin de rétention, caniveaux...) ainsi que des ouvrages d'hydraulique douce (haies de miscanthus)⁵. Les haies ont été plantées début avril 2014.

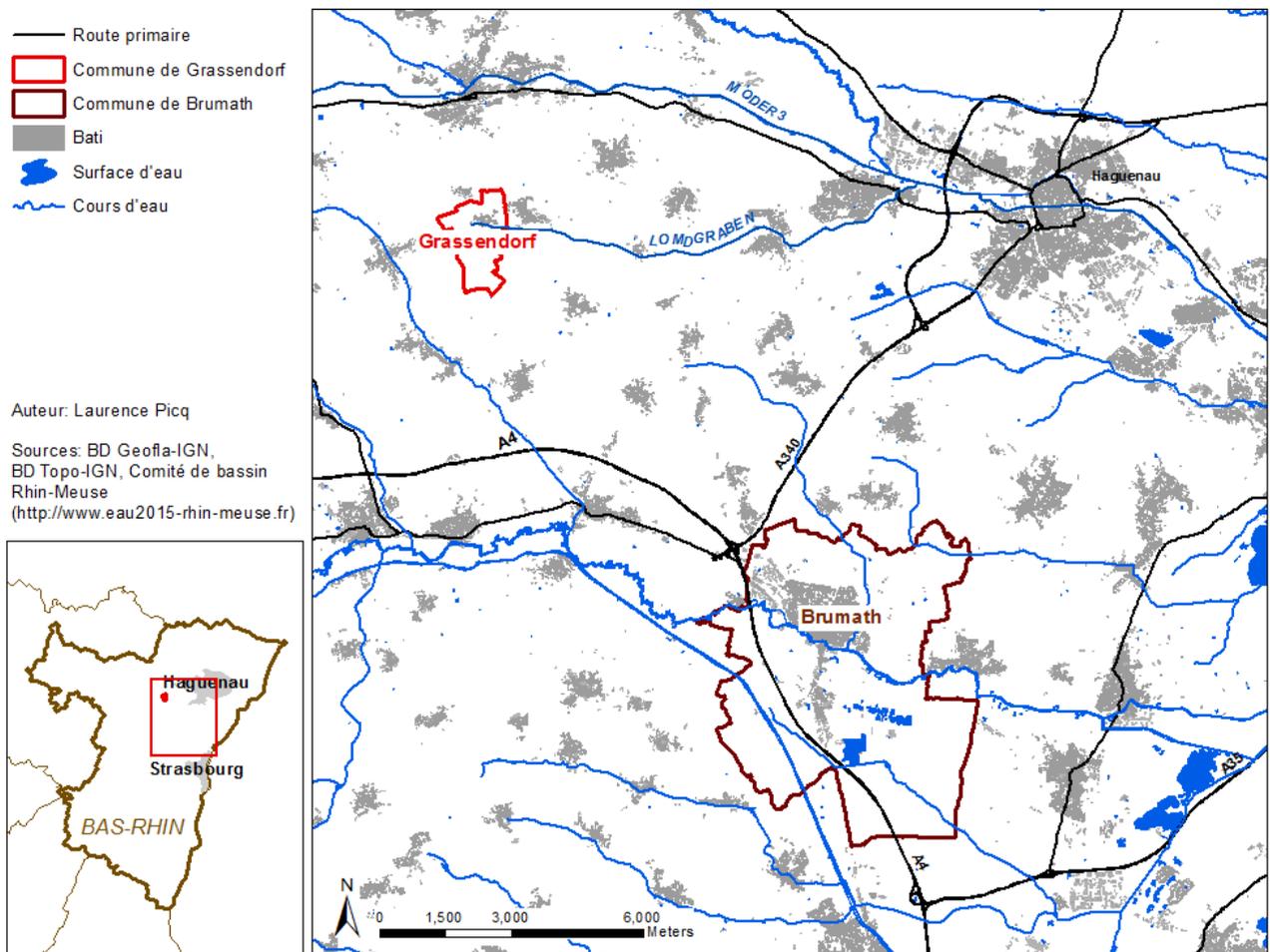


Figure 1: Localisation de la commune de Grassendorf.

Un retour d'expérience sur la récolte 2014 des parcelles de miscanthus à Brumath nous a permis d'obtenir des informations détaillées concernant la logistique mise en place par les agriculteurs pour la récolte, le

³ Référentiel Paysager du Bas-Rhin - Secteur collines et deltas entre Zorn et Moder et forêt de Haguenau, ADEUS (décembre 2013).

⁴ Document d'information communal sur les risques majeurs-(DIRIM) Commune de Grassendorf (2011).

⁵ Extrait des délibérations du Conseil Municipal (6/02/2014).

stockage et le transport du miscanthus, ainsi que les coûts associés (entretien avec R. Michael, CARA). Ces informations sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1: Étapes de l'approvisionnement en miscanthus à Brumath.

Étapes de l'approvisionnement		
Récolte (avril/mai selon les conditions climatiques)	Ensileuse accompagnée d'un tracteur+remorque Une fois la remorque remplie, transport du miscanthus jusqu'au lieu de stockage Chaque agriculteur se charge de récolter ses parcelles afin de pouvoir calculer le volume produit et le prix d'achat total.	Prix d'achat du miscanthus livré au lieu de stockage : 100 €/m ³
Stockage	Miscanthus stocké en vrac dans un hangar chez un agriculteur à Mittelschaeffolsheim (7km au sud de Brumath)	Coût du stockage: 3,17 €/m ³
Transport	Transport du miscanthus entre le lieu de stockage et la chaudière par un agriculteur avec son matériel : tracteur et remorque spécialement adaptée (30 m ³)	Temps de transport (aller-retour, avec chargement et déchargement) : 2 h Coût : 100 €

Notons que l'implantation des haies de miscanthus de Grassendorf comporte des différences avec celles présentes à Brumath :

- Les haies de miscanthus ont été plantées en limite de parcelles, dans le sens des cultures, avec la participation de neuf agriculteurs; elles n'occupent donc pas l'espace réservé aux cultures.
- Elles ont été plantées sur des chemins d'eau avec pour objectif principal de limiter l'impact des coulées boueuses dans le village.
- La récolte des haies doit se faire de manière collective pour limiter les coûts.
- La récolte des haies ne peut pas se faire avec le même matériel que la récolte des parcelles. L'ensileuse est un équipement beaucoup trop large qui pourrait endommager les cultures avoisinantes.
- Il est nécessaire de prévoir un lieu de stockage du miscanthus car la récolte se fait généralement à la fin de la saison de chauffage et ne peut être utilisée qu'à l'automne suivant. Il serait possible de stocker le miscanthus à Grassendorf.

Les informations concernant la longueur des haies (Tableau 2) ont permis d'estimer la quantité de miscanthus produite qui servira de base aux calculs de coûts. Cette estimation de quantité produite a été comparée avec l'image fournie par la Chambre d'Agriculture pour confirmer le tonnage obtenu (Figure 2).

Tableau 2: Données concernant la taille des haies de miscanthus.

Haie n°	Lieu-dit	Longueur totale (en m) ou surface (en ares)	Nombre de rangs	Surface estimée (en m ²)	Quantité estimée de miscanthus (en t MS*)	Volume estimé de miscanthus (en m ³)
1a	Alte Strasse	15	2	23	0,023	0,214
1b	Alte Strasse	30	2	45	0,045	0,429
2	Alte Strasse	30	2	45	0,045	0,429
3	Alte Strasse	40	2	60	0,060	0,571
4a	H, der Kirche	100	2	150	0,150	1,429
4b	H, der Kirche	30	2	45	0,045	0,429
6	Grundel	20	2	30	0,030	0,286
7	Grundel	80	2	120	0,120	1,143
8	Klamm	125	4	375	0,375	3,571
9	arrêt de bus	45	2	68	0,068	0,643
10	Pferch	10	2	15	0,015	0,143
11	Pferch	95	2	143	0,143	1,357
12	Pferch	40	2	60	0,060	0,571
13	Keyway	165	1	165	0,165	1,571
14	Keyway/Teichmatt	155	2	233	0,233	2,214
15	Teichmatt	3,5		350	0,350	3,333
16a	Englicher Berg	20	2	30	0,030	0,286
16b	Englicher Berg	80	2	120	0,120	1,143
16c	Englicher Berg	40	2	60	0,060	0,571
17	Thalgraben	100	2	150	0,150	1,429
18	Thalgraben (houbl)	40	2	60	0,060	0,571
19	Thalgraben (houbl)	40	2	60	0,060	0,571
20	Ruhberg	35	2	53	0,053	0,500
21	Accacias	30	2	45	0,045	0,429
22	Ganzai	30	2	45	0,045	0,429
23	Ganzai	40	2	60	0,060	0,571
24	Rangclos	335	2	503	0,503	4,786
25	Pferch	30	2	45	0,045	0,429
26	Obermatt	140	2	210	0,210	2,000
27	Landgraben	8		800	0,800	7,619
TOTAL		1 930 m + 12.5 ares		4 165	4,165	39,667

* t MS : tonne de matière sèche

Notes : Les valeurs moyennes suivantes ont été utilisées pour calculer la quantité et le volume de miscanthus produit : largeur de 1,5 m pour deux rangées de miscanthus ; rendement de 10 t MS/ha (valeur moyenne pour une 2^{ème} année d'implantation) ; densité de 105 kg/m³ (valeurs varient entre 100 et 110 kg/ m³).



Figure 2: Image fournie par la Chambre d'Agriculture avec la localisation et numérotation des haies.

Définition des chemins de moindre coût.

L'étude de la littérature (Panichelli et Gnansounou 2008, Searcy *et al.* 2007) met en avant à la fois l'importance des coûts de transport dans le coût de production énergétique, et l'importance de la précision des mesures de distance. La première étape de l'analyse spatiale a donc consisté à créer un réseau routier permettant d'optimiser les chemins de récolte et de transport. Les informations précédentes, notamment la nécessité de stocker le miscanthus et le transport par tracteur, ont permis de soulever plusieurs points importants concernant les chemins :

- La nécessité de stocker le miscanthus après la récolte implique la mise en place d'un chemin de récolte avec pour point d'arrivée le lieu de stockage du miscanthus. Afin de simplifier l'analyse, le point de départ de la récolte est également défini au lieu de stockage. La plus grande ferme de

Grassendorf a été sélectionnée arbitrairement comme point de départ et d'arrivée du chemin de récolte.

- Le chemin de transport part du lieu de stockage défini ci-dessus et se termine à la chaudière de Brumath qui est, pour le moment, le seul lieu à proximité utilisant le miscanthus en tant que source énergétique.
- Le transport du miscanthus se fait par tracteur et remorque. La vitesse d'un tracteur varie peu et ne dépend pas des limites de vitesse légales. Minimiser la distance de transport revient donc à minimiser le temps de transport. Il n'est donc pas nécessaire de mettre en place un réseau avec des vitesses de transport variables. En revanche, un tracteur ne peut pas emprunter une autoroute et certaines contraintes concernant le type de route doivent être mises en place.

a. Données géographiques de base

Les données suivantes ont été utilisées et traitées sous ArcGIS :

- BDOrtho (IGN, données du 05/2011, résolution : 50 cm) : Seules les orthophotos couvrant la région entre Grassendorf et Brumath ont été sélectionnées. Elles ont permis de localiser le lieu de stockage à Grassendorf, de visualiser les parcelles agricoles et ont servi de fond de carte.
- BD Topo du Bas-Rhin (IGN, données du 09/2013) :
 - o La couche « Commune » a été utilisée pour localiser Grassendorf et Brumath et a servi de fond de carte.
 - o La couche « Route » a servi de base à la construction du réseau de récolte et de transport. Elle a été limitée géographiquement à la région autour de Grassendorf (sur un rayon de 30 km autour de la commune) afin de limiter le temps de traitement.

Cette couche contient des informations concernant la nature et l'importance des routes ainsi que l'altitude de départ (Z_INI) et de fin (Z_FIN) de chaque tronçon de route. Plusieurs nouveaux attributs ont été ajoutés : ELEV_INI et ELEV_FIN (conversion des altitudes (float) en valeurs entières pouvant être lues par Network Analyst) ; LENGTH (calcul de la longueur de chaque tronçon de route) ; SLOPE (calcul de la pente des tronçons de route en pourcentage) ; SLOPEWGHT (création de trois classes de pentes selon le pourcentage défini dans SLOPE).

$$\text{SLOPE} = ([\text{ELEV_FIN}] - [\text{ELEV_INI}]) * 100 / [\text{LENGTH}]$$

Tableau 3: Classification des pentes du réseau routier.

Classe de pente	Valeurs de pentes (en %)
1	-4 < SLOPE < 4
2	-8 < SLOPE <= -4 ou 4 <= SLOPE < 8
3	-8 = < SLOPE ou SLOPE >= 8

L'image fournie par la Chambre d'Agriculture (Figure 2) a été importée dans ArcGIS et géoréférencée de façon à pouvoir créer une nouvelle couche « haies » servant dans l'analyse.

b. Création des chemins

La couche « Routes » finalisée a été transformée en jeu de données réseau par l'intermédiaire de l'extension Network Analyst de ArcGIS. Un réseau est composé d'arcs connectés entre eux par des jonctions et des tournants ; il permet de modéliser les déplacements en intégrant des attributs de coûts, de description, de hiérarchie et de contraintes.

Deux itinéraires ont été définis à partir du réseau routier: l'itinéraire de récolte des haies et l'itinéraire de transport.

Itinéraire de récolte

L'hypothèse est que la récolte des haies de miscanthus est organisée de manière collective avec un agriculteur se chargeant de couper toutes les haies en une fois. Le point de départ et d'arrivée de cet itinéraire est le lieu de stockage défini précédemment.

La récolte des haies doit se faire dans le sens du travail des champs, sans endommager les cultures avoisinantes. Pour les haies se situant le long d'un chemin agricole faisant partie du réseau routier, la récolte se fait en suivant ce chemin. Pour les haies se situant entre deux parcelles et éloignées du réseau routier, des tronçons de route ont été créés pour définir la distance de parcours nécessaire à la récolte : ces tronçons ont été délimités en suivant la limite de parcelle jusqu'à l'extrémité de la haie la plus éloignée du réseau routier de façon à représenter le chemin pris par les machines agricoles.

Le nombre de trajets nécessaires pour la récolte varie selon le type de récolte (récolte en vrac ou en balles) et l'équipement utilisé. La récolte et le pressage du miscanthus en balles est possible en un seul itinéraire, c'est-à-dire toutes les haies sont visitées en une fois. La récolte du miscanthus en vrac, c'est-à-dire avec une ensileuse et une remorque, peut nécessiter un ou plusieurs itinéraires selon la contenance de la remorque. Étant donné que le volume des haies est estimé à 40 m³, et que la contenance des remorques pour la récolte à Brumath variait entre 12 et 29 m³, la récolte à Grassendorf pourrait se faire en deux trajets minimum avec une remorque d'une contenance moyenne de 20 m³.

Dans l'analyse réseau, chaque haie a été définie comme un arrêt sur l'itinéraire de récolte, en situant le point d'arrêt soit à l'extrémité de la haie (c'est-à-dire à la fin du tronçon délimité précédemment) soit au centre de la haie (pour les haies situées sur le réseau). Le lieu de stockage a également été défini comme le premier et le dernier arrêt pour l'itinéraire. Au total, 29 arrêts ont été définis pour l'itinéraire de récolte.

La recherche du meilleur itinéraire de récolte a été faite de façon à minimiser la distance, en réorganisant les arrêts selon un ordre optimal. Étant donné la vitesse restreinte des machines agricoles (5 km/h) et le peu de chemins disponibles, l'itinéraire le plus court est aussi l'itinéraire le plus rapide.

Les itinéraires calculés sont présentés ci-dessous. La numérotation des arrêts correspond à l'ordre de récolte des haies. L'itinéraire n° 1 (Figure 3) correspond au chemin optimal pour la récolte du miscanthus en balles, où un seul trajet est nécessaire.



Figure 3: Itinéraire de récolte du miscanthus en balles.

Les itinéraires nos 2 et 3 (Figure 4 et Figure 5) correspondent à la récolte du miscanthus en vrac en deux trajets du fait de la contenance maximum de la remorque. La remorque pleine doit être vidée au lieu de stockage.



Figure 4: Itinéraire de récolte du miscanthus en vrac (1^{ère} partie).

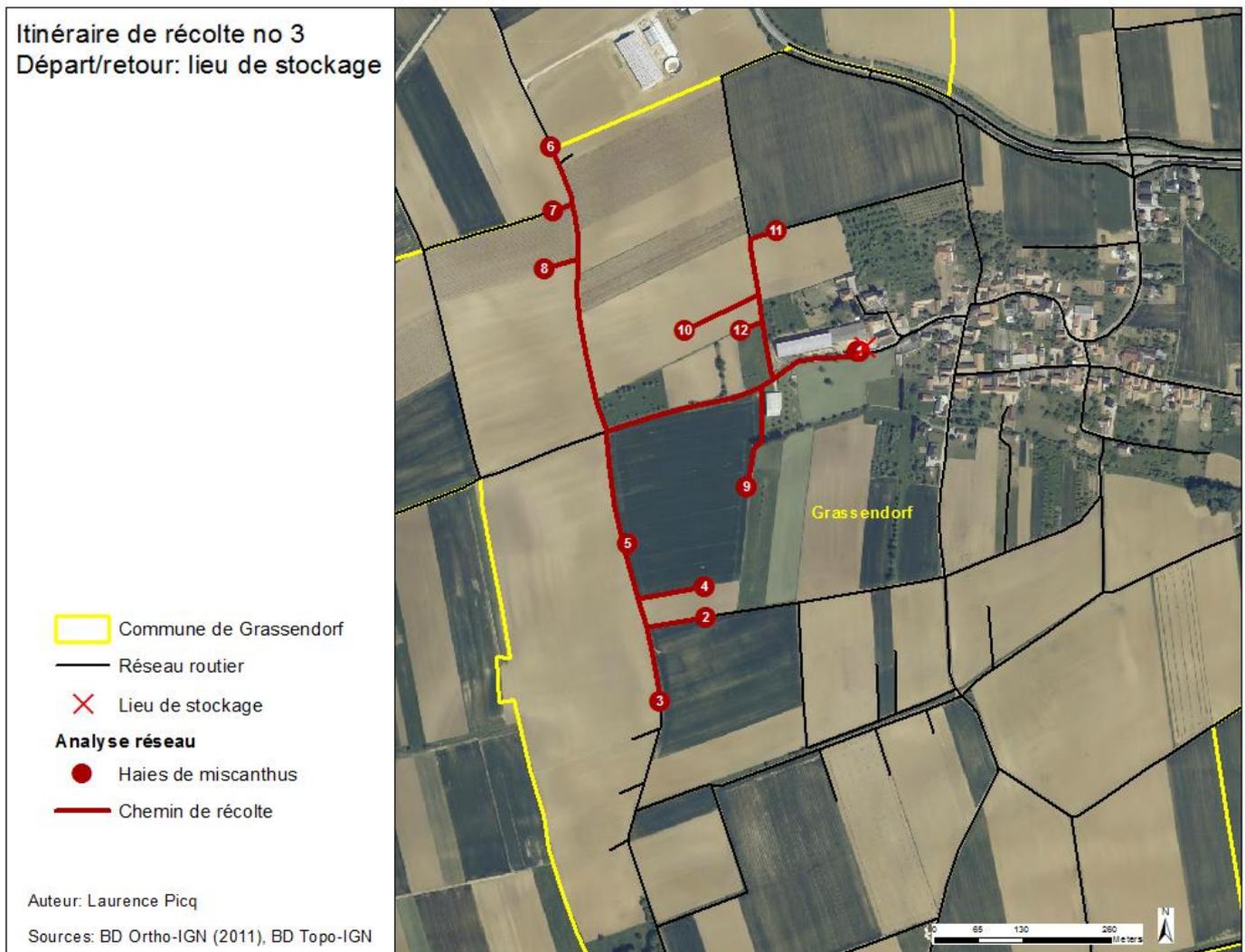


Figure 5: Itinéraire de récolte du miscanthus en vrac (2^{ème} partie).

Itinéraire de transport

Seul le miscanthus récolté en vrac peut être utilisé dans la chaudière à biomasse de Brumath. Le transport se fait par tracteur et remorque agricole. Le lieu de stockage et la mairie de Brumath ont été définis comme l'origine et la destination de cet itinéraire.

L'itinéraire de transport minimise la distance de parcours en intégrant plusieurs contraintes (définies comme attributs du réseau) (Figure 6 et Figure 7):

- Type de route : L'itinéraire ne peut pas prendre l'autoroute (PROHIBITED). Il doit de préférence prendre des routes principales (Prefer : HIGH), c'est-à-dire d'importance 2 ou 3 (attribut : Road_class).
- Topographie : L'itinéraire doit éviter de préférence les routes ou tronçons de route avec des pentes supérieures à 8% (Avoid : MEDIUM).

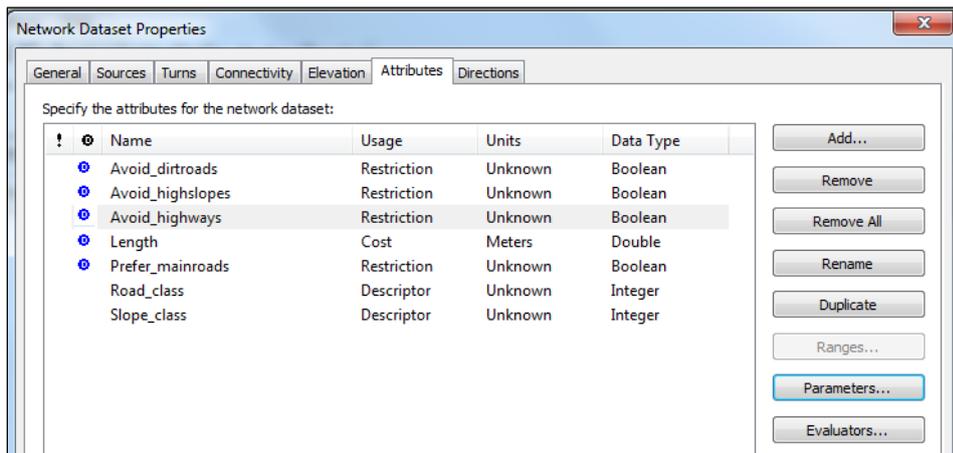
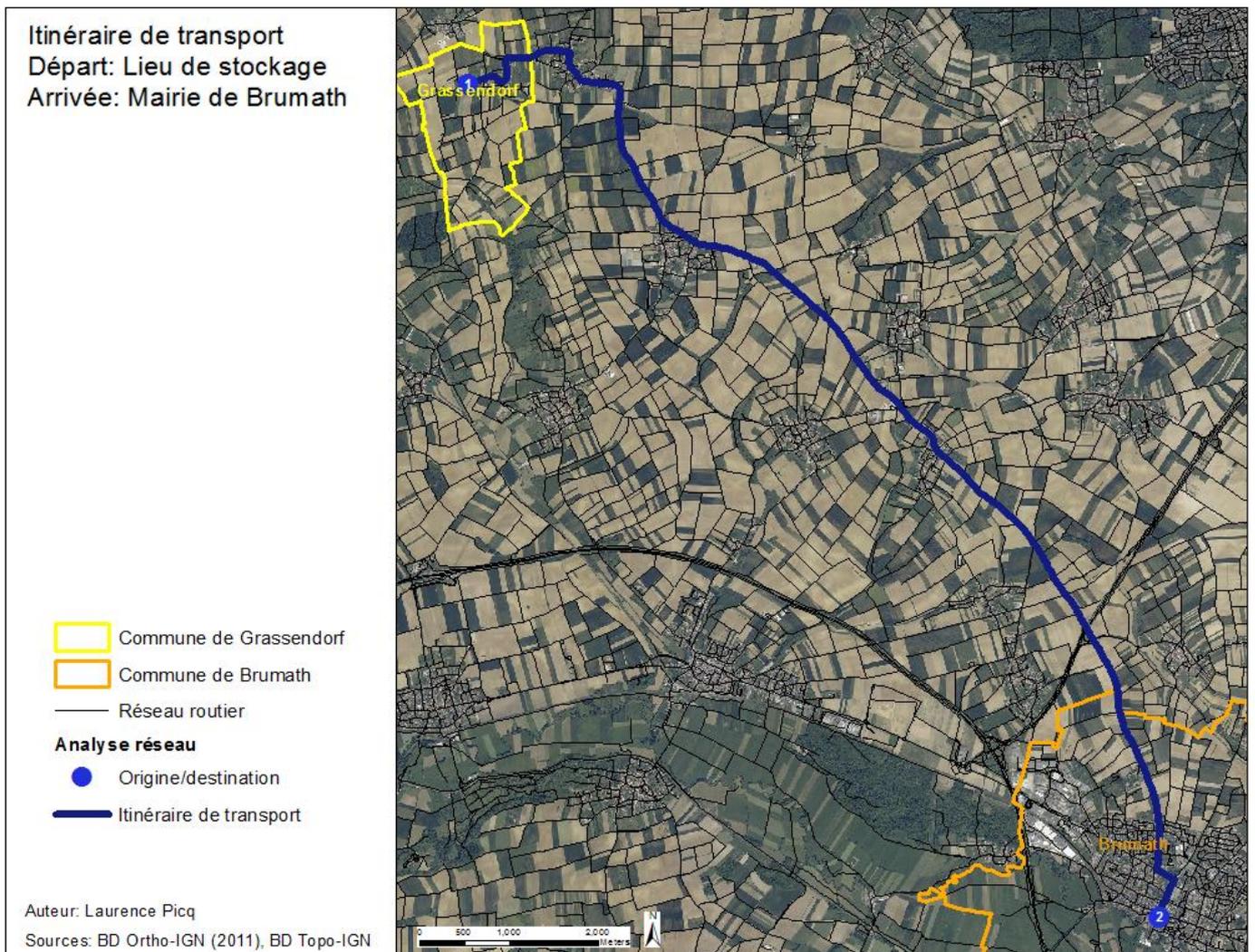


Figure 6: Contraintes intégrées dans le réseau pour l'itinéraire de transport.

Figure 7: Itinéraire de transport entre Grassendorf et la chaudière à biomasse de Brumath.



c. Calculs des coûts

Les coûts de récolte et de transport du miscanthus ont été calculés en fonction de la distance du trajet et du temps de parcours basé sur une vitesse moyenne de l'équipement agricole (Tableau 4). Les coûts utilisent les valeurs fournies par le Barème d'entraide agricole, un document publié chaque année par les Chambres d'Agriculture listant le coût prévisionnel indicatif des matériels agricoles en euros par heure ou en euros par hectare⁶. Pour les machines non-listées dans le Barème, le coût a été estimé en prenant la moyenne des coûts des machines agricoles de même catégorie ayant un coût d'achat neuf similaire. Le coût de stockage correspond à la valeur calculée pour Brumath.

Tableau 4: Distances calculées pour les itinéraires de récolte et de transport.

Analyse réseau	Distance (en km)	Vitesse estimée (en km/h)	Temps (en h)
Trajet de récolte n° 1 (miscanthus en balles)	10,09	5 (pressage) 8 (ramassage)	2,02 1,26
Trajets de récolte n°s 2 et 3 (miscanthus en vrac)	11,78	5	2,36 + 0.5 (déchargement)
Trajet de transport aller-retour Grassendorf-Brumath	28,66	25	1.15 + 1h (chargement-déchargement)

Afin d'élargir les possibilités de valorisation du miscanthus, les coûts ont été calculés pour deux scénarios : récolte en vrac et récolte en balles. Le miscanthus en vrac est utilisé pour la production de chaleur mais peut également être utilisé en tant que litière animale et paillage pour espaces verts et plantes maraichères; le miscanthus en balles peut être utilisé en tant que litière animale et fibre digestive pour les ruminants.

La récolte de haies de miscanthus n'est pas encore développée et il existe peu de références quant au matériel de récolte utilisable. Chaque scénario intègre donc deux options d'équipement de récolte pour obtenir une gamme de coûts possibles. Les équipements sélectionnés peuvent être utilisés pour la récolte du miscanthus en parcelle (Gauthier et Somer, 2013) ou la récolte des haies de biomasse:

- L'ensileuse automotrice correspond à l'équipement standard pour récolter les parcelles de miscanthus. En pratique, cet équipement serait trop large et trop coûteux pour récolter les haies et pourrait endommager les cultures avoisinantes. Il est inclus comme coût de base.
- L'ensileuse portée est une petite ensileuse compacte permettant de couper et broyer 2 rangs et serait plus appropriée pour la récolte des haies. Elle s'attache à l'avant du tracteur.
- Le broyeur andaineur Kuhn (WS 320 BIO) est présenté comme une alternative à l'ensileuse pour la récolte du miscanthus. Il est porté à l'avant du tracteur et peut être associé à une presse à balles.
- Le biobaler Anderson est conçu pour la récolte de la biomasse forestière et agricole. La machine coupe et presse la biomasse en balles rondes. Elle s'attache derrière le tracteur.

Les valeurs de rendement du miscanthus disponibles dans la littérature concernent l'implantation en parcelles. Nous supposons ici que le rendement des haies de miscanthus est similaire à celui d'une parcelle. La première récolte de miscanthus se fait généralement deux ans après l'implantation avec un

⁶ <http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/gestion-de-lexploitation/accompagnementconseil/bareme-entraide.html>

rendement autour de 10 tonnes de matière sèche par hectare. Les années suivantes, le rendement est souvent plus élevé avec une moyenne de 14 t MS/ha. Deux hypothèses de rendement ont été utilisées afin de prendre en compte l'augmentation du rendement du miscanthus, et ainsi fournir une estimation basse (année 2) et une estimation haute (année 3).

1.2. Résultats et interprétation

a. Résultats

Pour définir la rentabilité de l'exploitation des haies, les coûts calculés ont été comparés aux coûts suivants (Tableau 5) :

- Coûts de la matière première (miscanthus en vrac) pour la chaudière à biomasse de Brumath.
- Coûts des autres options de valorisation : paille en balles et litière animale (d'après les coûts moyens disponibles).
- Coût du fioul domestique : Cette comparaison permet de mettre en évidence l'avantage économique de la biomasse par rapport à une énergie plus traditionnelle.

Le détail des coûts est présenté ci-dessous (Tableau 6 et Tableau 7). Il est à noter que les coûts n'incluent pas de rémunération supplémentaire pour l'agriculteur.

Tableau 5: Coûts de référence.

Coûts de référence		
	Coût d'achat du miscanthus a l'agriculteur	100€ par t MS livrée au lieu de stockage
Chaudière à biomasse – Brumath ⁽¹⁾	Coût de transport à Brumath (100 € par livraison de 30 m3)	31.75 € par t MS
	Coût de stockage (3.17 €/m3)	30.18 € par t MS
	Coût total	161.9 € par t MS
	Total équivalent fioul	0.32
Fioul domestique	Moyenne hebdomadaire pour la période 01/01/2014-31/05/2014 ⁽²⁾	0.84 à 0.89 €/L TTC (selon la quantité livrée)
Paille (prix de vente par l'agriculteur)	Coût par balle ronde de 280 kg	13 à 18 € ⁽³⁾ HT (+ transport)
	Coût par tonne (en balles)	60 à 100 €/t ⁽⁴⁾ HT (+transport)
Litière animale ⁽⁵⁾ (prix de vente par site commercial)	Prix d'une tonne de litière miscanthus pour chevaux	351 € HT livrée
	Prix d'une tonne de litière paille	379 € HT livrée

(1) Source : Chambre d'Agriculture de la Région Alsace

(2) Source : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Prix-de-vente-moyens-des.10724.html>

(3) Source : <http://www.chambres-agriculture-picardie.fr/gestion-de-l'exploitation/baremes-indices/fourrages-2014.html>

(4) Source : <http://www.agriaffaires.com/annonces.asp?action=rech&numrub=475>

(5) Source : <http://www.equinoo.fr/litiere-paille/bas-rhin-67.php>

Tableau 6: Coûts d'exploitation du miscanthus en vrac.

Scénario 1: Récolte du miscanthus en vrac							
<i>Option 1: Ensileuse automotrice la moins puissante + remorque</i>				<i>Option 2: Petit ensileuse portée Kemper C1200 + remorque + tracteur</i>			
	Coût (en €/h)	Coût total (en €)			Coût (en €/h)	Coût total (en €)	
		Année 2	Année 3			Année 2	Année 3
Récolte en 2 trajets							
Ensileuse 290-310 ch (avec carburant)	194,00	536,1	536,1	Ensileuse Kemper C1200 (estimée -occasion)	32.13	91.8	91.8
Benne 12/14 t (en €/t/h) contenance: 17-20 m ³	0,66	7,9		Benne 12/14 t (en €/t/h) contenance: 17-20 m ³	0,66	7,9	
Benne 18 t (en €/t/h) contenance: 25-28 m ³	0,70		11,7	Benne 18 t (en €/t/h) contenance: 25-28 m ³	0,70		11,7
Main d'œuvre	17,00	48,6	48,6	Tracteur 100 ch (cat. B) - avec carburant	17,10	48,8	48,8
				Main d'œuvre	17,00	48,6	48,6
<i>Coût livré au lieu de stockage</i>	<i>Total</i>	592,6	596,4	<i>Coût livré au lieu de stockage</i>	<i>Total</i>	197,1	200,8
	<i>Total par tonne</i>	142,3	102,3		<i>Total par tonne</i>	47,3	34,4
Stockage							
Coût (en €/m ³)	3,17	125,7	176,0	Coût (en €/m ³)	3,17	125,7	176,0
Chargement-Déchargement							
Tracteur 90 CV (cat. A) - sans carburant	9,70	9,7	9,7	Tracteur 90 CV (cat. A) - sans carburant	9,70	9,7	9,7
Benne 14 t élévatrice (en €/t/h) Contenance:18-20 m ³	0,74	1,5		Benne 14 t élévatrice (en €/t/h) Contenance:18-20 m ³	0,74	1,5	
Benne 18 t (en €/t/h) contenance: 25-28 m ³	0,70		2,0	Benne 18 t (en €/t/h) contenance: 25-28 m ³	0,70		2,0
Main d'œuvre	17,00	17,0	17,0	Main d'œuvre	17,00	17,0	17,0
Transport jusqu'à Brumath (2 trajets aller-retour)							
Tracteur 90 CV (cat. A) - avec carburant	15,10	34.6	34.6	Tracteur 90 CV (cat.A) - avec carburant	15,10	34,6	34,6
Benne 14 t élévatrice (en €/t/h) Contenance:18-20 m ³	0,74	3.5		Benne 14 t élévatrice (en €/t/h) Contenance:18-20 m ³	0,74	3,5	
Benne 18 t (en €/t/h) contenance: 25-28 m ³	0,70		4.7	Benne 18 t (en €/t/h) contenance: 25-28 m ³	0,70		4,7
Main d'œuvre	17,00	39.0	39.0	Main d'œuvre	17,00	39.0	39.0
<i>Total transport + déchargement</i>		133,6	135,8	<i>Total transport + déchargement</i>		133,6	135,8
Coût total							
Coût total		851.9	908,2	Coût total		456,4	512,6
Coût total par t MS		204.5	155,7	Coût total par t MS		109,6	87,9
Total équivalent fioul		0.41	0,31	Total équivalent fioul		0,22	0,17

Note : Pour l'année 2, le rendement est estimé à 10 t MS/ha. Pour l'année 3, il est estimé à 14 t MS/ha.

Tableau 7: Coûts d'exploitation du miscanthus en balles.

Scénario 2: Récolte du miscanthus en balles							
Option 3: Broyeur andaineur Kuhn + tracteur + presse balles				Option 4: Biobaler Anderson + tracteur (balles rondes)			
	Coût (en €/h)	Coût total (en €)			Coût (en €/h)	Coût total (en €)	
		Année 2	Année 3			Année 2	Année 3
Récolte en 1 trajet							
Broyeur andaineur (estimé)	48,7	98,3	98,3	Biobaler (estimé)	132,3	266,9	266,9
Tracteur 250 ch (cat. D) - avec carburant	47,2	95,2	95,2	Tracteur 130 ch (cat. C) - avec carburant	21,6	43,6	43,6
Presse balles rondes (120x120)	52,3	105,5	105,5	Main d'œuvre	17,0	34,3	34,3
Main d'œuvre	17,0	34,3	34,3				
Ramassage des balles							
Tracteur 100 ch (cat. A) - avec carburant	16,2	20,4	20,4	Tracteur 100 ch (cat. A) - avec carburant	16,2	20,4	20,4
Chargeur frontal	3,6	4,5	4,5	Chargeur frontal	3,6	4,5	4,5
Tracteur 150 ch (cat. C) - avec carburant	28,7	36,2	36,2	Tracteur 150 ch (cat. C) - avec carburant	28,7	36,2	36,2
Plateau 8 m	5,0	6,3		Plateau 8 m	5,0	6,3	
Plateau 10 m	5,3		6,7	Plateau 10 m	5,3		6,7
Main d'œuvre (2 conducteurs)	17,0	42,9	42,9	Main d'œuvre (2 conducteurs)	17,0	42,9	42,9
Coût livré au lieu de stockage	Total	443,7	444,1	Coût livré au lieu de stockage	Total	455,1	455,5
	Total par t MS	106,5	76,2		Total par t MS	109,3	78,1
Stockage							
Coût (en €/m ³)	3,17	73,3	99,2	Coût (en €/m ³)	3,17	73,3	99,2
Coût total							
Coût total		517,0	543,3	Coût total		528,4	554,7
Coût total par balle		30,4	23,6	Coût total par balle		31,1	24,1
Coût total par t MS		124,1	93,2	Coût total par t MS		126,9	95,1
Total équivalent fioul		0,25	0,19	Total équivalent fioul		0,25	0,19

Note : Pour l'année 2, la production est estimée à 17 balles de 250 kg. Pour l'année 3, elle est estimée à 23 balles de 250 kg.

b. Interprétation

Miscanthus en vrac

Utilisation pour la production énergétique

Si l'on compare les coûts de la tonne de miscanthus livrée au lieu de stockage, seule la récolte avec une petite ensileuse (option 2) offre des coûts de récolte bas sur les deux années, permettant de dégager un bénéfice pour l'agriculteur (en considérant le prix d'achat de 100 €/t MS de Brumath). La récolte par ensileuse traditionnelle a un coût trop élevé : même si sa taille est plus adaptée aux parcelles son coût de revient est trop élevé.

Le coût de revient total du miscanthus est de 162 €/t MS pour Brumath. Bien que la distance entre Grassendorf et Brumath soit le double de la distance entre Mittelschaeffolsheim et Brumath, l'utilisation énergétique du miscanthus en haie reste possible avec l'option 2. En effet, le coût de revient total reste inférieur de 50 à 70 €/t MS à celui de Brumath, même en considérant deux trajets de 20 m³. Ces résultats confirment la nécessité d'utiliser un équipement de récolte dont la taille est adaptée aux haies.

Utilisation pour la litière animale

Le miscanthus en vrac pourrait être utilisé pour la litière animale et le paillage des espaces verts si des besoins existaient dans la région. Afin d'avoir une idée des besoins, une petite recherche exploratoire a été menée. Cela a permis d'identifier une dizaine de centres équestres dans un rayon de 30 km autour de Grassendorf. Une analyse « Origine/Destination » a été réalisée sous Network Analyst. En utilisant l'hypothèse d'un coût de transport de 1,87€ par km par t MS⁷, le coût de livraison (aller-retour) dans un rayon de 20 km s'élèverait environ à 75 € par t MS ; le coût total de la tonne de miscanthus livrée varierait donc entre 153 € (année 2) et 140 € par t MS (année 3) (en considérant la récolte par petite ensileuse). Étant donné le prix relativement élevé de la litière pour cheval, et la proximité de plusieurs centres équestres, cette valorisation du miscanthus en haie pourrait être considérée.

Miscanthus en balles

Le pressage du miscanthus en balles est relativement cher ; le coût d'une balle de miscanthus est supérieur au coût du marché (d'au moins 75%), quelle que soit l'année ou l'option de récolte utilisée. Néanmoins, cette option pourrait être viable si des agriculteurs du village, ou des villages voisins, ayant des besoins en paille, devaient faire livrer des ballots provenant d'une distance de plus de 30 km. En effet, en utilisant l'hypothèse d'un coût de transport de 0,19€ par km par m³ (c'est-à-dire de 0.26 €/km par balle⁸) et d'un prix moyen d'une balle de 16 € TTC, le coût des balles de miscanthus deviendrait compétitif.

c. Discussion

L'exploitation des haies de miscanthus de Grassendorf pourrait être rentable économiquement avec plusieurs options d'utilisations possibles localement.

Toutefois, notre analyse constitue une première exploration qui pourrait être améliorée et précisée à plusieurs niveaux⁹. Le principal point de discussion concerne la construction du réseau de transport. En effet, les coûts ont été calculés en fonction de distances mesurées sur le réseau routier (construit à partir la couche 'Route' de la BP Topo-IGN). Or, ces données contiennent un certain nombre de limites. En particulier, elles n'incluent pas d'informations précises sur les conditions réelles de circulation telles que les restrictions de circulation (sens unique, restrictions de hauteur, largeur, etc.).

Il est également nécessaire de préciser ou confirmer les hypothèses utilisées dans cette analyse, notamment le rendement des haies de miscanthus et le coût du matériel agricole utilisé. De meilleures données géographiques de base, ainsi qu'une connaissance précise de l'équipement agricole local, permettraient une amélioration des résultats obtenus. Néanmoins, notre méthodologie pourrait être applicable dans d'autres communes qui envisagent d'installer des pratiques de prévention des coulées boueuses.

c. Conclusion

Les haies de miscanthus sont une des options possibles pour la prévention des risques de coulées boueuses. *A priori*, le miscanthus est une plante dense qui permet de ralentir les eaux de ruissellement et de retenir la boue. Elle a une forte productivité en biomasse, utilisable directement pour la production de chaleur. En évaluant son potentiel économique, cette étude a confirmé la possibilité d'une double valorisation des haies de miscanthus.

⁷ Ce coût correspond à la moyenne des coûts de transport de Brumath et de ceux calculés pour Grassendorf.

⁸ Voir analyse au paragraphe précédent.

⁹ Les autres points de discussion sont détaillés dans le rapport de L. Picq (2014).

Cette analyse a également mis en évidence l'importance de l'équipement agricole de récolte : seul un petit matériel adapté à la surface des haies permet une exploitation rentable. L'ensileuse traditionnelle n'est pas adaptée tant par sa taille que par son coût de revient. L'exploitation des haies est donc conditionnée soit à la disponibilité d'un tel matériel chez les agriculteurs de la région, soit à son achat.

Enfin, l'existence d'un marché local pour le miscanthus est le dernier élément clé pour une exploitation rentable. La présence de la chaudière à Brumath a permis de montrer que le coût de revient du miscanthus en haie était compétitif par rapport au miscanthus en parcelles ; les haies pourraient produire un complément de biomasse si nécessaire. De plus, il existe d'autres débouchés possibles pour le miscanthus (en vrac ou en balles), notamment en tant que litière animale pour les centres équestres situés dans la région mais également pour les éleveurs. Des informations concernant les bénéfices du miscanthus devront être fournies aux acheteurs potentiels pour développer ce marché.

L'approche sociologique, quant à elle, avait pour objet de comprendre les modalités et processus sociaux qui vont amener les agriculteurs à choisir une technique d'interception des coulées boueuses en particulier, avec une attention portée au choix fait entre les haies vivantes et le miscanthus.

L'hypothèse de départ était que les techniques privilégiées sont celles qui s'inscrivent au mieux dans les systèmes d'action et les pratiques actuelles du monde agricole ; c'est-à-dire qui peuvent être mises en œuvre et éventuellement valorisées à travers les savoir-faire et les équipements déjà existants ou facilement adaptables.

L'étude devait s'appuyer sur les principales investigations suivantes :

- quels sont les acteurs concernés par ces pratiques d'interception ?
- quelles sont leurs représentations, motivations et logiques d'action ?
- quelles sont les filières technico-économiques existantes ou mobilisables ?
- quelles sont les formes de valorisation souhaitées, envisageables et compatibles avec les pratiques dominantes ?

L'enquête a été effectuée entre avril et juillet 2014 dans les communes de Grassendorf et alentours (Bitschhoffen, Ettendorf, Gougenheim, Grassendorf, Mietesheim, Morschwiller), sur la base d'une dizaine d'entretiens semi-directifs. Notons ici qu'il s'agit d'une étude exploratoire et que toutes nos hypothèses n'ont pas pu être vérifiées pour l'heure. Cependant, nous pouvons présenter quelques éléments de réflexions dégagés de nos entretiens et de nos recherches bibliographiques.

Le premier constat qui nous paraît intéressant est que sur les 24 agriculteurs qui plantent du miscanthus dans le Bas-Rhin, seuls deux l'utilisent dans le cadre de la lutte contre les coulées boueuses (soit environ 1 ha sur les 35 ha au total)¹⁰. L'utilisation majoritaire est la valorisation dans des chaudières individuelles ou collective (comme à Brumath, cf : supra).

Dans les deux cas d'utilisation du miscanthus en tant que pratique d'interception, l'initiative est prise par les communes qui prennent en charge le financement. Les agriculteurs qui se chargent de cultiver les plants utilisent les machines dont ils disposent déjà dans le cadre de leurs activités régulières. Le choix du miscanthus semble s'inscrire dans l'influence d'un réseau d'expertise, en lien avec les organisations agricoles. L'enquête semble, à ce stade, confirmer l'hypothèse que le miscanthus peut se diffuser relativement facilement car il s'inscrit bien dans les pratiques actuelles du monde agricole (les machines conventionnelles peuvent également être utilisées pour le miscanthus) et la plante ne représente pas une gêne importante pour les cultures.

De plus, s'il n'est pas valorisé économiquement, le miscanthus trouve des utilisations secondaires comme fagots dans les dispositifs anti-érosion (fascines mortes) ou comme paillage dans les parcelles agricoles. De ce fait, cette plante est relativement facilement intégrée dans les pratiques actuelles sans générer de désagréments notables aux yeux des agriculteurs.

Concernant l'implantation de haies vivantes, là encore, les démarches, dans les deux communes concernées, ont été réalisées suite à des initiatives communales. On peut penser que l'acceptation par les agriculteurs a été facilitée par la prise en charge du coût et de la mise en œuvre par la commune (par

¹⁰ Sources : Chambre agriculture Région Alsace

l'intermédiaire de sociétés *ad hoc*). A noter ici que les agriculteurs ne sont pas les acteurs principaux de la mise en place des haies. Les haies vives sont perçues comme moins efficaces et plutôt gênantes pour les activités agricoles. Leur structure et leur gestion s'intègrent moins bien dans le contexte agricole actuel. Notamment du fait de la surface nécessaire et des effets périphériques (ombre...), mais aussi du fait que leur valorisation éventuelle (bois, fruits...) est plus complexe que le miscanthus dans le cadre de systèmes agricoles simplifiés. Néanmoins, les systèmes de haies pourraient peut-être trouver davantage de justification dans le cadre de politiques plus transversales telle que le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) qui pourrait combiner lutte contre l'érosion et trame verte. Cette approche fera l'objet d'un complément d'étude auprès des municipalités et du monde agricole dans le cadre de la convention GERIHCO 3 (2016-2018). De plus, ce programme étudiera également le potentiel réel de réduction du risque érosif de la haie.

2. Evaluation du risque invasif

(S. Boetsch, I. Combroux, M. Mischler, L. Palumbo)

2.1 Suivi de la zone expérimentale de Schwindratzheim

Le suivi de la zone expérimentale a été effectué par relevés de végétation au niveau de la bande enherbée. Ces relevés ont été effectués sous forme de 5 quadrats contigus de 3 m par 3 m placés en dessous des dispositifs d'interception (DI par la suite - Figure 1). Pour chaque relevé, le pourcentage de recouvrement total de la végétation, le pourcentage de recouvrement de chaque espèce végétale, la hauteur des dispositifs lorsqu'ils sont constitués de végétation vivante et la distance entre le DI et le premier peuplement végétal continu ont été notés. Ces relevés ont été effectués tout au long de la période de végétation, tous les mois d'avril à septembre, à l'exception des périodes de fauche où les relevés n'étaient pas réalisables.

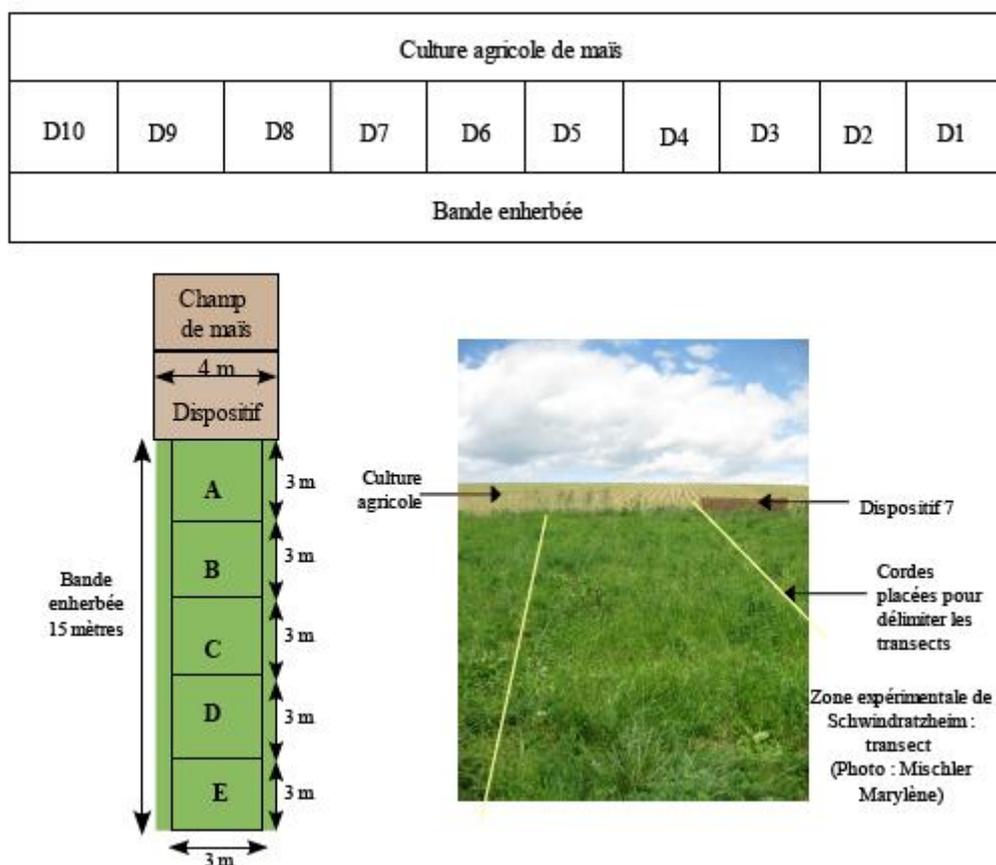


Figure 1 : placettes de suivi sur la zone expérimentale

En complément, durant les relevés du mois de juillet, pour chaque dispositif, la hauteur des 10 pieds de maïs les plus proches du dispositif ainsi que le nombre d'épis par pieds ont été mesurés dans le but de mettre en évidence d'éventuels impacts des DI sur la culture agricole en amont.

Le suivi de la végétation sur la bande enherbée ne montre pas d'effet notable pour cette première année d'installation des dispositifs d'interception. La principale cause de variation de la végétation étant l'effet saisonnier. Quatre espèces végétales sont davantage abondantes par rapport aux autres: il s'agit de *Poa trivialis*, *Arrhenatherum elatius*, *Taraxacum officinalis* et *Medicago sativa*. Pour le mois de mai, les relevés sont localisés et 4 espèces végétales sont plus abondantes que les autres: *Medicago sativa*, *Lolium multiflorum*, *Poa trivialis* et *Taraxacum officinalis*. Pour le mois de juin, le résultat est identique, les relevés sont localisés dans un même point et les 4 mêmes espèces végétales que pour le mois de mai sont toujours les plus représentées au sein des relevés. Pour le mois de juillet, toujours le même résultat: des relevés localisés et 4 espèces végétales plus abondantes: il s'agit ici de *Taraxacum officinalis*, *Medicago sativa*, *Lolium multiflorum* et *Poaceae sp*, cette dernière représente toutes les autres graminées de la liste qui n'ont pas pu être identifiées sur le site car leur période de floraison était finie. On note une forte ressemblance des relevés de juillet et septembre : regain après les fauches de juin et d'août (Figure 2).

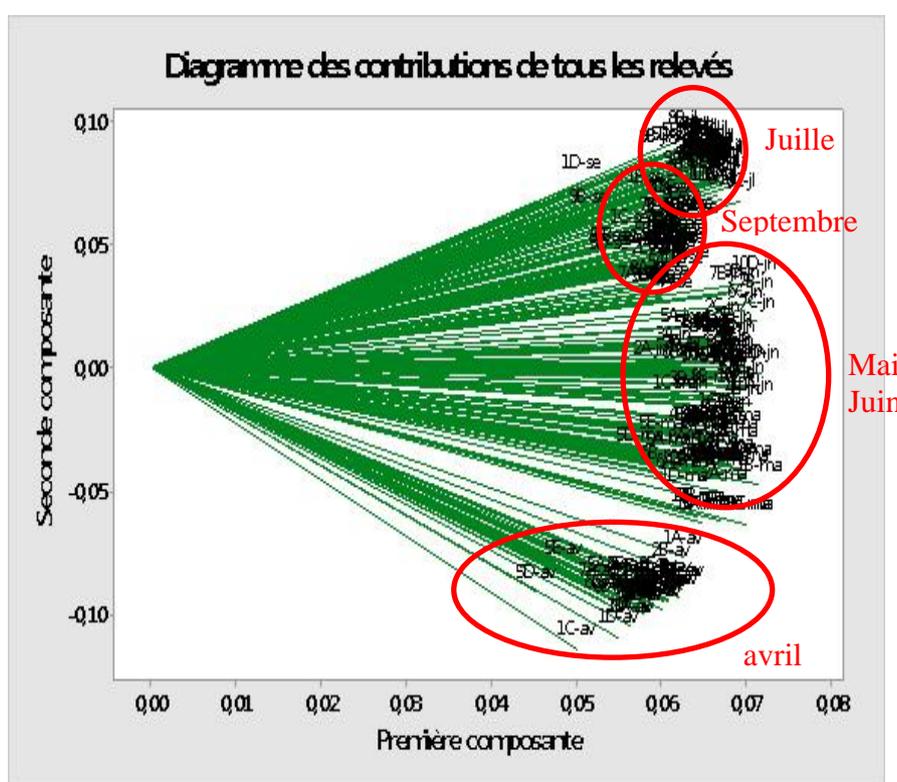


Figure 2 : carte factorielle des relevés de végétation sur la parcelle expérimentale sur la saison de végétation 2014.

Concernant l'impact des dispositifs d'interception sur la culture en amont, on note une différence significative entre les dispositifs sur la hauteur du maïs (ANOVA, $p = 0,007$). Le dispositif 'Fascine morte' et le dispositif 'Haie arbustive basse' conduisent à une légère augmentation de la hauteur des pieds de maïs. Le dispositif 'Miscanthus x giganteus' n'a pas d'impact sur la croissance du maïs. En ce qui concerne le nombre d'épis par pieds, il n'y a pas d'impact significatif des différents dispositifs (ANOVA, $p = 0,146$), la formation d'épis de maïs n'est pas impacté par la mise en place des fascines et des haies vives sur la zone expérimentale.

2.2 Potentiel invasif de *Miscanthus x giganteus*

Le potentiel invasif de *Miscanthus x giganteus* a été étudié sous différents axes :

- Une vérification des données de la littérature sur la stérilité réputée de l'hybride *M. x giganteus*.

- Une comparaison du potentiel allélopathique de *M. x giganteus* avec celui de ces espèces parentales réputées invasives (données non connues dans la littérature)
- Une quantification de la dispersion des *Miscanthus* à partir des parcelles cultivées en Alsace sur les 20 dernières années : étude menée conjointement avec la CARA.

a. Stérilité de l'hybride *M. x giganteus*

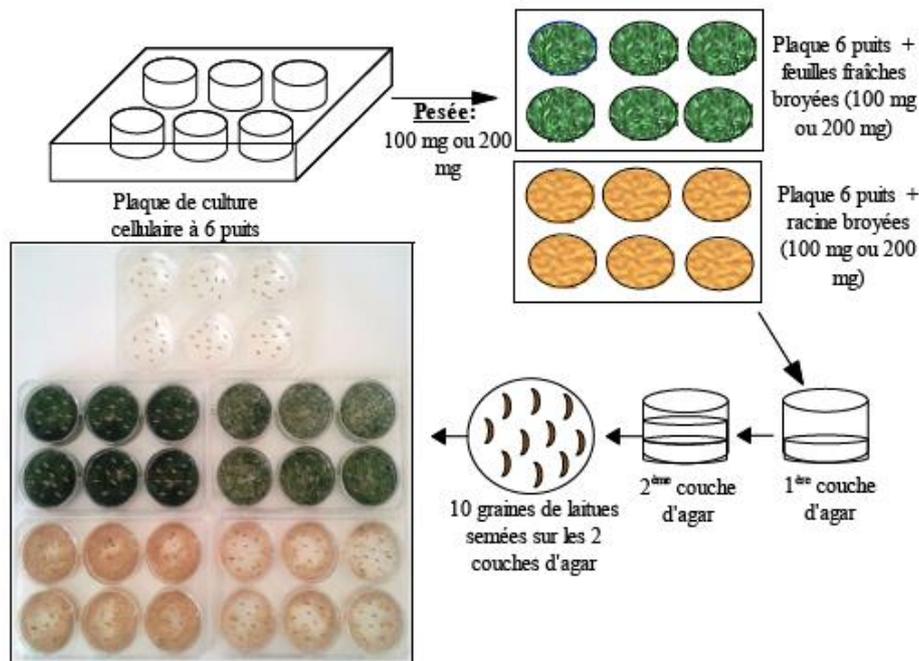
Dix panicules de *M. x giganteus* ont été récoltées à l'automne 2014 sur 7 parcelles de 6 producteurs différents. Chaque fleur a été disséquée et observée à la loupe binoculaire. Cela a permis de confirmer la détermination de l'hybride.

Aucune graine n'a été détectée.

Il est à noter que des « individus » semblant s'échapper des parcelles ont été identifiés sur quelques parcelles mais ils ne produisent pas d'inflorescences.

b. Potentiel allélopathique de *M. x giganteus*

Ce protocole a pour but de tester expérimentalement un éventuel effet allélopathique de différentes espèces du genre *Miscanthus*, par la réalisation de tests de phyto toxicité dits tests "sandwich" (Fujii et al., 2003 – Figure 3)



Test sandwich effectué sur *Miscanthus x giganteus* (JB) en Juin 2014
 1^{ère} ligne: témoin (agar + graines). 2^{ème} ligne: traitement feuilles fraîches (à gauche: 200 mg ; à droite: 100 mg). 3^{ème} ligne: traitement racines (à gauche: 200 mg ; à droite: 100 mg)
 (Photo: Mischler Marylène)

Figure 3 : Schéma du protocole en laboratoire des tests « sandwich »

Ces tests allélopathiques ont été réalisés sur 7 plantes différentes : 6 cultivées au jardin botanique de l'Université de Strasbourg et la 7^{ème} provenant de la zone expérimentale de Schwindratzheim. Cette dernière, plantée au début du mois de mai, n'a pu être testée qu'à partir du mois de juin, afin de la laisser se développer davantage et de s'adapter à son nouveau milieu. Ces espèces du genre *Miscanthus* ont différentes origines: *Miscanthus sacchariflorus* provient du Jardin Botanique de Karlsruhe. *Miscanthus x giganteus* du Jardin Botanique de l'UNISTRA provient des pépinières Juckert d'Eschau. *Miscanthus floridulus* provient du Jardin Botanique de Tohoku de l'Université de Sendai au Japon. Les origines de *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sinensis* 'Gracillimus', *Miscanthus sinensis* 'Zebrinus' et *Miscanthus x giganteus* plantée à la zone expérimentale de Schwindratzheim, ne sont pas connues.

Ces tests ont été effectués une fois par mois : d'avril à août, afin de visualiser un possible effet allélopathique en fonction des phases de croissance de la plante, et seront continués jusqu'à la fin de la période de végétation du *Miscanthus*.

Le résultat principal de ces tests démontre une activité allélopathique de l'hybride *M. x giganteus* du même ordre que ses espèces parentales réputées invasives (Figure 4). Comme pour l'espèce parentale *M. sinensis*, l'hybride produit des composés allélopathiques tant au niveau des racines que des feuilles. L'activité allélopathique des racines est uniquement réduite chez l'hybride en début de saison.



Figure 4 : Activité allélopathique de *M. x giganteus* et *M. sinensis* sur une saison de végétation, mesurée en taux de réduction de la croissance de la plante test. L = effet des feuilles ; R = effet des racines.

En cas de dispersion des individus de l'hybride cette production de composés allélopathiques pourrait lui procurer un avantage compétitif propre à une invasion biologique.

c. L'inventaire de plantations de *Miscanthus*

Un total de 71 parcelles ont été inventoriées dans toute la région Alsace : 22 parcelles dans le Haut-Rhin et 49 parcelles dans le Bas-Rhin ; les dates de plantation s'échelonnant de 1993 à 2014.

Au niveau de la dispersion d'individus aux alentours des parcelles ou bandes de *Miscanthus* cultivées, on observe une dispersion plus importante, de l'ordre de 45%, pour les parcelles récentes : celles plantées en 2012. Mais également pour les parcelles les plus anciennes: celles plantées en 1993, avec 33% de parcelles présentant une dispersion de *Miscanthus*. La distance de dispersion des individus de *Miscanthus* n'est pas très importante : 2 m maximum en dehors de la parcelle, avec une moyenne autour de 1 m. Ceci montre que pour les deux fonctions principales : valorisation ou dispositif anti-érosion, on ne peut pas vraiment parler de dispersion à grande échelle, ni de formation de nouvelles populations de *Miscanthus* en dehors de la parcelle.

Le nombre d'espèces invasives présentes dans les parcelles de *Miscanthus* a été comparé avec le nombre d'espèces invasives présentes dans des prairies de fauche et des roselières. Le nombre d'espèces invasives est significativement plus grand dans les prairies de fauche. Il n'y a pas de différence entre les roselières et les parcelles de *Miscanthus*. On peut en conclure que les parcelles de *Miscanthus* ne favorisent pas davantage le développement d'autres espèces invasives. Ceci permet de réfuter l'hypothèse que *Miscanthus x giganteus* pourrait intensifier ou promouvoir le développement d'une seconde invasion biologique, par la mise en place d'interactions positives avec d'autres espèces invasives.

Enfin, suite aux entretiens avec les agriculteurs et les membres de la chambre d'agriculture, deux points inquiétants sur la culture de *Miscanthus* en Alsace sont ressortis :

- 1) L'absence de certitude de l'espèce/hybride planté : Les agriculteurs, suite à leur commande, reçoivent des sacs de rhizomes étiquetés « Rhizome » ou « Miscanthus » mais sans aucune indication ou traçabilité sur l'espèce réellement implantée.
- 2) Certaines parcelles présentent des individus avec des morphologies différentes de *M. x giganteus* et ayant tendance à s'échapper des parcelles.

Il existe donc une potentialité non négligeable que les rhizomes de *M. x giganteus* implantés soient parfois « pollués » par des rhizomes d'espèces parentales réputées invasives ou par des variétés d'hybride présentant des aptitudes invasives.

Une étude de la variabilité génétique de ces « outlyers » est proposée pour 2015/2016.

3. Etudier les paysages du passé à travers les dépôts sédimentaires

(D. Ertlen, L.Froehlicher, D.Schwartz)

L'objectif de ce volet est d'étudier les systèmes de lutte anti érosive dans leur dimension historique. Ce travail s'est concentré sur l'étude des haies vives perpendiculaires au sens de la pente. En effet, ces dernières ont la particularité, par blocage et accumulation de sédiments à l'arrière de la haie, de former avec le temps des talus appelés aussi rideaux de culture. *A priori*, rien n'indique que ces systèmes de haies aient été délibérément érigés pour lutter contre l'érosion puisque bien d'autres fonctions sont attribuées aux haies (délimitation, enclos, fourniture de bois, etc). En revanche, l'efficacité du blocage se manifeste bien par l'accumulation de sédiments (colluvions). La haie vive « monte » progressivement avec le talus ce qui rend le système pérenne et plus efficace que les haies « mortes » (fascines) qui sont rapidement enfouies. Alors que les systèmes de bocage emblématiques de l'Ouest de la France ont beaucoup été étudiés (Antoine et Marguerie 2004), les systèmes de haies résiduels que l'on trouve en Alsace n'ont jamais fait l'objet d'une attention particulière. La datation directe de ces systèmes n'est pas évidente et des débats sur la chronologie de leur mise en place restent largement ouverts.

Les retombées attendues de cette étude sont la mesure sur le temps long de l'efficacité des haies vives dans la lutte anti érosive. Ce travail est complémentaire des dispositifs expérimentaux (cf. site de Schwindratzheim) qui testent cette même efficacité à court et moyen terme.

Ce travail est principalement mené par L. Froehlicher dans le cadre de sa thèse de doctorat (co-financement ADEME et Région Alsace) sous la direction de Dominique Schwartz. En 2015 (deuxième année de thèse) le travail de terrain et de laboratoire a été achevé. L'année 2016 sera consacrée à l'interprétation des résultats, la rédaction d'articles et la rédaction de la thèse

Une grande partie du travail effectué en 2014 a consisté en une recherche bibliographique étendue. Nous axerons notre rapport sur l'importante phase de prospection qui comprend de la télédétection et du contrôle terrain, et sur la phase d'analyse et de datation des accumulations de sédiments derrière les haies. Précisons également qu'un travail important de recherche de documents iconographiques anciens a été effectué ainsi qu'un calcul du stock de carbone accumulé dans les colluvions derrière les haies.

3.1 La phase de prospection

La phase de prospection a eu pour objectif d'inventorier les secteurs alsaciens sur lesquels ont existé à un moment donné des parcellaires délimités par des haies. Nous nous sommes intéressés dans un premier temps à l'ensemble du territoire, puis l'accent a été mis sur les grandes zones de lœss. Ce travail a été d'autant plus indispensable que l'Alsace est réputée être une région d'openfield, et que les secteurs riches en haies sont marginaux. De plus, dans ces secteurs, les systèmes de haies ne sont en général pas entretenus et sont donc en régression. L'objectif de cette phase était double : recenser les zones qui historiquement ont été occupées par des haies, et repérer les zones clefs sur lesquelles nous allions procéder à des études plus approfondies par la suite.

La phase de prospection a été effectuée en plusieurs étapes, décrites ci-dessous :

- **Le travail préliminaire sur les images (cf. Froehlicher et al. 2015 présenté en annexe) (LIDAR, photos aériennes, plans et cartes anciennes, ...)**

Cette phase a pour but de trouver à partir des différents types d'imagerie disponibles, des zones compatibles avec l'objet de notre recherche (des talus colluviaux ou « rideaux de cultures »). Pour cette étape, l'ensemble du territoire alsacien sur lequel on disposait d'une couverture LIDAR (light detection and ranging) a été étudié, à l'exception de la plaine, zone dans laquelle les rideaux de culture sont absents.



Figure 8 : Exemple d'image LIDAR avec digitalisation des haies et rideaux de cultures pour le site de RIXHEIM ; Source du fond LIDAR : InfoGéo68

- **Présélection de sites avec rideaux de culture, haies, sur lœss**

Une fois le travail d'inventaire LIDAR fini, une phase de confrontation avec des photos satellitaires et des cartes géologiques nous a permis de juxtaposer les informations propres à chaque site, et de sélectionner les plus pertinents. Un site dit « pertinent » pour notre étude correspond à un site présentant un ou plusieurs rideaux de cultures en zone agricole, avec des haies encore actives, le tout sur lœss.

- **Validation terrain (3 sites retenus)**

Après avoir établi une liste de sites présélectionnés, de nombreuses missions de prospections ont été réalisées dans le Sundgau et le Kochersberg, zones privilégiées d'affleurement du lœss. En particulier, une campagne de sondages à la tarière a été réalisée. A l'issue de la prospection, 3 sites, qui nous semblaient les plus pertinents, ont été retenus :

- Le site de Habsheim (68)
- Le site d'Uffheim (68)
- Le site de Marmoutier (67)

- **Description brève des sites**

○ *Site de HABSHEIM*

Le site d'étude sélectionné se situe à l'ouest de la commune de Habsheim, au sud-est de la ville de Mulhouse (Haut-Rhin). Il se caractérise par un ensemble de collines vallonnées, dont le substratum géologique est entièrement recouvert de lœss.

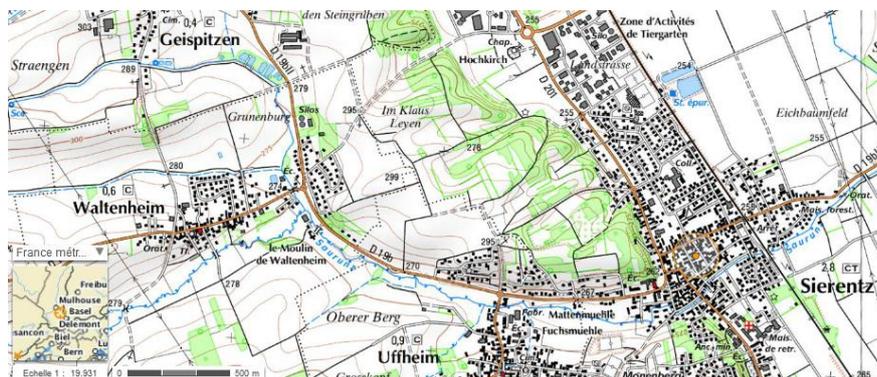


Coordonnées GPS	47° 43' 39,20" N 7° 24' 36,42" E
Commune	Habsheim (68440/ Haut-Rhin)
Altitude moyenne	280 m
Parcelles concernées	46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 148 et 149 de la feuille cadastrale n° 7 de la commune d'Habsheim

Figure 9 : Localisation du site d'Habsheim

○ Site d'UFFHEIM

Le site d'étude se situe sur une colline lœssique à l'ouest de Sierentz, à quelques kilomètres du précédent.

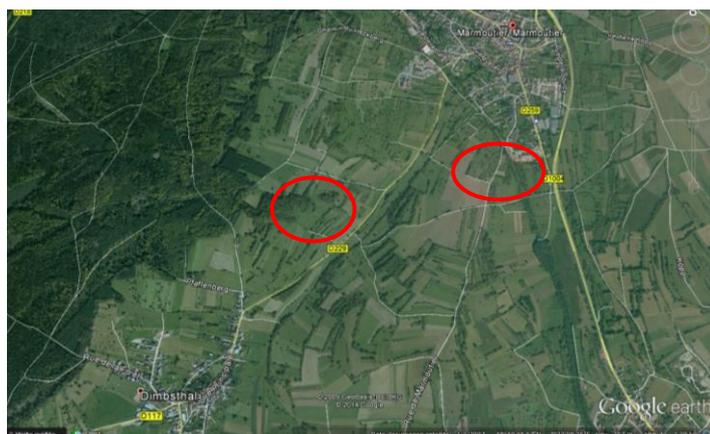


Coordonnées GPS	47°39'20.92 "N 7°26'35.53"E
Commune	Uffheim (68510 / Haut-Rhin)
Altitude moyenne	306 m
Parcelles concernées	Parcelles n° 21, 22, 25, 26, 29 de la feuille cadastrale n°5 de la commune de UFFHEIM

Figure 10 : localisation du site d'Uffheim

○ Site de MARMOUTIER

Situé sur une zone sans lœss, le site de Marmoutier reste tout de même essentiel à notre étude pour l'approche historique. En effet, ici coexistent sur la même zone, l'ensemble des grandes structures agraires connues à l'échelle régionale, à savoir : des champs bombés, des pierriers et des talus colluviaux ou « rideaux de cultures ».



Coordonnées GPS	48°40'50.97"N 7°22'04.73"E
Commune	Marmoutier (67 / Bas-Rhin)
Altitude moyenne	270 m
Parcelles concernées	Parcelles 24 et 32 et la feuille cadastrale numéro 24 de la commune de MARMOUTIER

Figure 4 : Localisation du site de Marmoutier

La phase de prospection a permis de mettre en avant un nombre important de haies ou de systèmes de haies souvent en cours d'abandon et/ou de dégradation

3.2 Etude de terrain et analyses en laboratoire

L'étude de terrain sur les sites sélectionnés a pour objectif de caractériser la géométrie des systèmes de haie et des rideaux de culture associés, de caractériser et de quantifier les matériaux piégés par les haies et de fournir une chronologie de mise en place de ces haies.

- Topographie

Des relevés topographiques fins ont été réalisés pour les trois sites d'études présentés ci-dessus. Ces relevés sont indispensables, puisqu'ils seront utilisés pour quantifier les flux de matière sur l'ensemble des transects, et les représenter le mieux possible sous forme de profil ou de bloc diagramme (fig. 6 et 7). Ils sont également nécessaires pour représenter les continuités ou discontinuités des horizons pédologiques, et vérifier ainsi que les talus observés correspondent bien à des rideaux de culture ou à des terrasses.

Pour le site de Habsheim, nous avons fait appel à un géomètre-expert (Hubert ORTLIEB). En effet, la complexité du site est telle qu'il est très difficile d'obtenir une topographie fine sans les outils nécessaires.

- Etude sur fosses pédologiques (description)

Pour l'étude pédologique des sites, la réalisation de fosses est primordiale. Le choix de l'emplacement des fosses a été guidé par la campagne de sondages préalable. Ainsi, nous avons ouvert pour chaque site entre 1 et 10 fosses. Ces fosses, une fois décrites, ont été complétées par des prélèvements à la tarière intermédiaires entre chacune d'elles pour affiner la description complète du transect, et en particulier mieux caler les limites latérales des strates et des horizons de sols.

La profondeur des fosses varie de 50 cm à 2 m. jusqu'à atteindre les loëss non remaniés. Pour la description des fosses, le même protocole a été respecté sur l'ensemble des sites :

- Délimitation des strates et des horizons
- Photographie avec une échelle
- Description visuelle, texturale et colorimétrique pour chaque horizon : couleur, structure, texture, description des éléments grossiers (Galets, briques, charbons,...), description du réseau racinaire, types de transitions entre les horizons

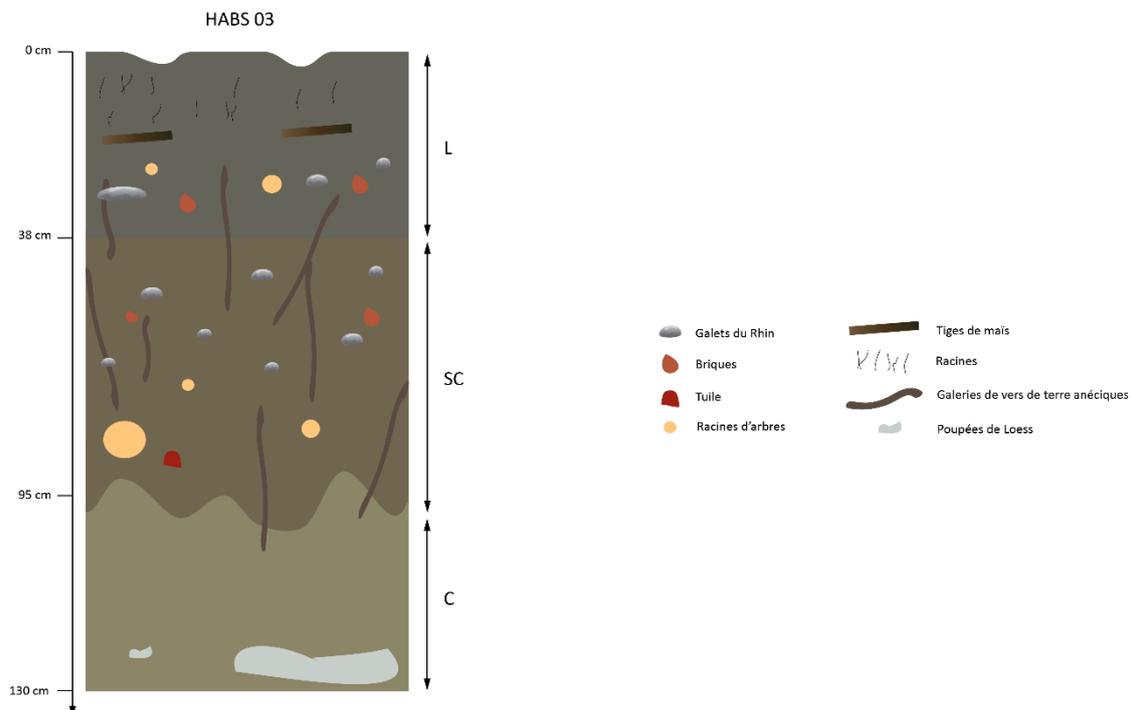


Figure 11 : Exemple de schéma de description de fosse pour HABS03; Source : Lucie Froehlicher

- Protocole d'échantillonnage et analyses

Nous avons procédé à 6 échantillonnages différents nécessaires aux 9 types d'analyses prévus :

- Prélèvement type 1 : « Analyses courantes » qui permet de réaliser les analyses de pHmétrie, granulométrie laser, carbone, test à l'acide. Un ou deux prélèvements/horizon selon son épaisseur. Ces analyses permettent de caractériser au mieux les sols et sédiments observés et viennent compléter les descriptions (analyses réalisées en 2015).
- Prélèvement type 2 : « NIRS », prélevé systématiquement tous les 10 cm sur 2 colonnes. Ces analyses permettent d'établir l'évolution du signal spectral proche infra-rouge de la Matière Organique (M.O.) en fonction de la profondeur afin d'identifier l'occupation du sol ancienne (tend vers une signature prairial, forestière ou cultural ?) (analyses effectuées en 2015, interprétation à venir)

- Prélèvement type 3 : « Carbone 14 », dans chaque horizon sous l'horizon de labour. Ce prélèvement permet de dater par le 14C des niveaux de colluvions, ou encore d'obtenir le Temps Moyen de Résidence (TMR) de la M.O.
- Prélèvement type 4 : « OSL », dans des horizons précis, à l'aide de tubes en PVC opaque. Cette méthode permet de dater les échantillons de sols ou sédiments, ou du moins connaître le temps écoulé depuis leur dernière exposition à la lumière. La mesure permettra d'obtenir les flux d'accumulations de colluvions.

Ces analyses (prélèvements de type 3 et 4) permettent de dater les systèmes de haies et éventuellement d'estimer le rythme d'accumulation des sédiments derrière les haies. (analyses réalisées en 2015 et valorisées dans l'article de Froehlicher *et al.*, soumis)

- Prélèvement type 5 : « Densité Apparente », tous les 10 cm sur 2 colonnes, à l'aide de cylindres de même taille (50 ml). Ce prélèvement permettra de mesurer l'évolution de la densité apparente du sol (masse de sol/volume sec apparent) avec la profondeur. Ces analyses couplées à la mesure du taux de carbone permettent de mesurer le stock de carbone et le stock de terre accumulés derrière les haies (analyses réalisées en 2015).
- Prélèvement type 6 : « Lames Minces » : effectué dans certains horizons, avec pour but d'indurer des blocs à l'aide d'une résine, puis de les découper pour obtenir des « lames minces ». Une fois réalisées, ces lames permettront d'analyser au microscope la micromorphologie des sols, dans l'objectif de préciser la nature des processus en jeu (colluvionnement, lessivage, recarbonatations secondaires,...).

Le tableau ci-dessous présente les différents prélèvements réalisés pour chaque fosse de chaque site :

SITES D'ÉTUDES	NOMBRES DE FOSSES	NOMBRES DE PRÉLÈVEMENTS	TYPES ET NOMBRES D'ANALYSES PRÉVUES
HABSHEIM	10 fosses (Mars, Avril, Juin 2014)	41 pour HABS01 41 pour HABS02 65 pour HABS03 27 pour HABS05 129 pour HABS06 64 pour HABS07 74 pour HABS08 87 pour HABS09 36 pour HABS10	OSL, Densité apparente, Walkley & Black, Granulométrie Laser, mesure du pH, NIRS, lames minces, C/N
UFFHEIM	3 fosses (octobre 2014)	18 pour UFF01 27 pour UFF02 58 pour UFF03	OSL, Densité apparente, Walkley & Black, Granulométrie Laser, mesure du pH, NIRS, lames minces,C/N
MARMOUTIER	1 fosse	3 pour MARMOU	Carbone 14
TOTAL :	14 fosses	670échantillons	

3.3 Premiers résultats (sélection)

a. Résultats de l'analyse SIG diachronique sur le site d'Habsheim

Cette partie du travail permet de reconstituer la dynamique de l'occupation du sol sur les trois derniers siècles (fig. 6). Ceci permet de vérifier que les haies étudiées ne sont pas récentes et que le parcellaire concerné est relativement stable.

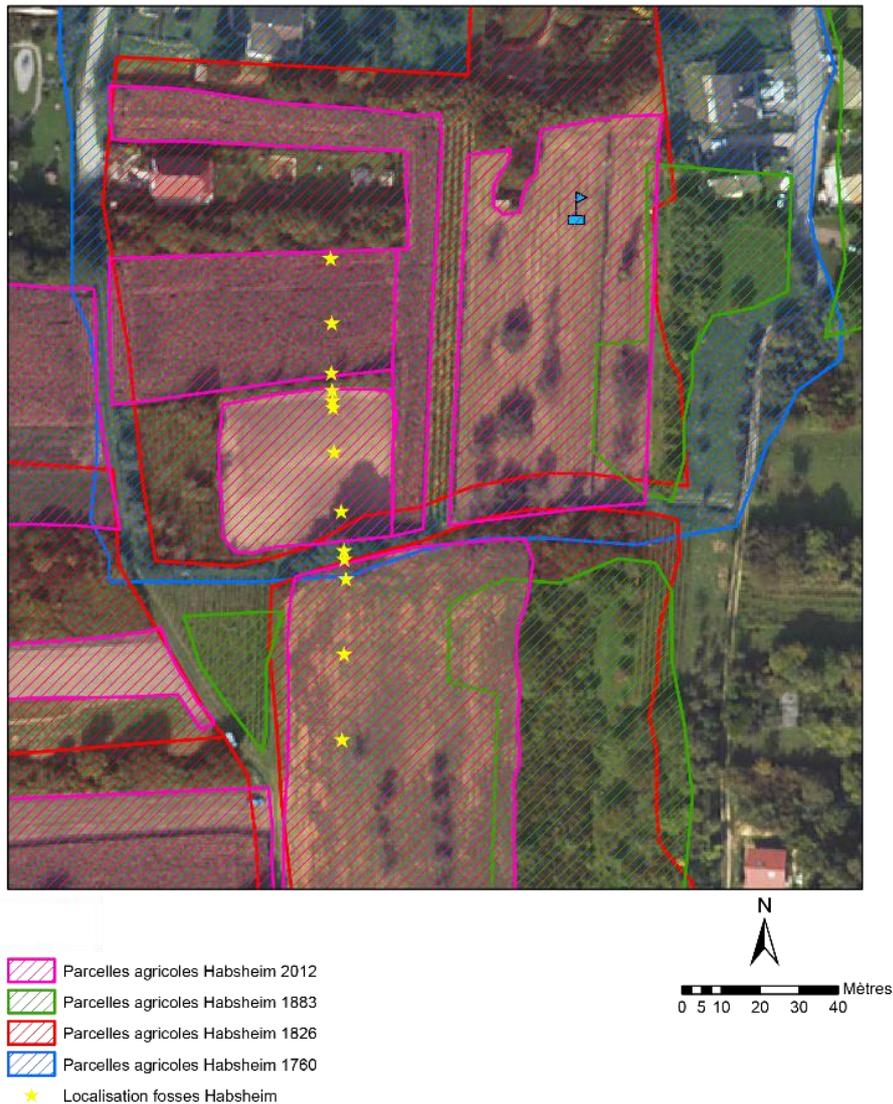


Figure 6 Evolutions des surfaces de culture entre 1760 et l'actuel sur le site de Habsheim .

b. Analyse des topo-séquences

Les deux topo-séquences ci-dessous permettent d'avoir une vision d'ensemble pour les sites de Habsheim et d'Uffheim.

La topo-séquence (fig. 7 et 8) permet de décrire l'organisation des horizons et des strates sur l'ensemble du transect, à partir de la synthèse de l'ensemble des fosses réalisées, dont nous avons affiné le tracé grâce aux observations à la tarière. La lecture des niveaux d'accumulation est parfois rendue difficile par la superposition de processus pédologiques postérieurs aux dépôts. L'analyse des lames minces (2016) permettra de préciser ces modalités.

Cependant, l'hypothèse du piégeage et de l'accumulation de sédiment à l'arrière des haies est déjà confirmée par cette étude de terrain. Les processus observés laissent plutôt penser que cette accumulation s'est faite sur le temps long

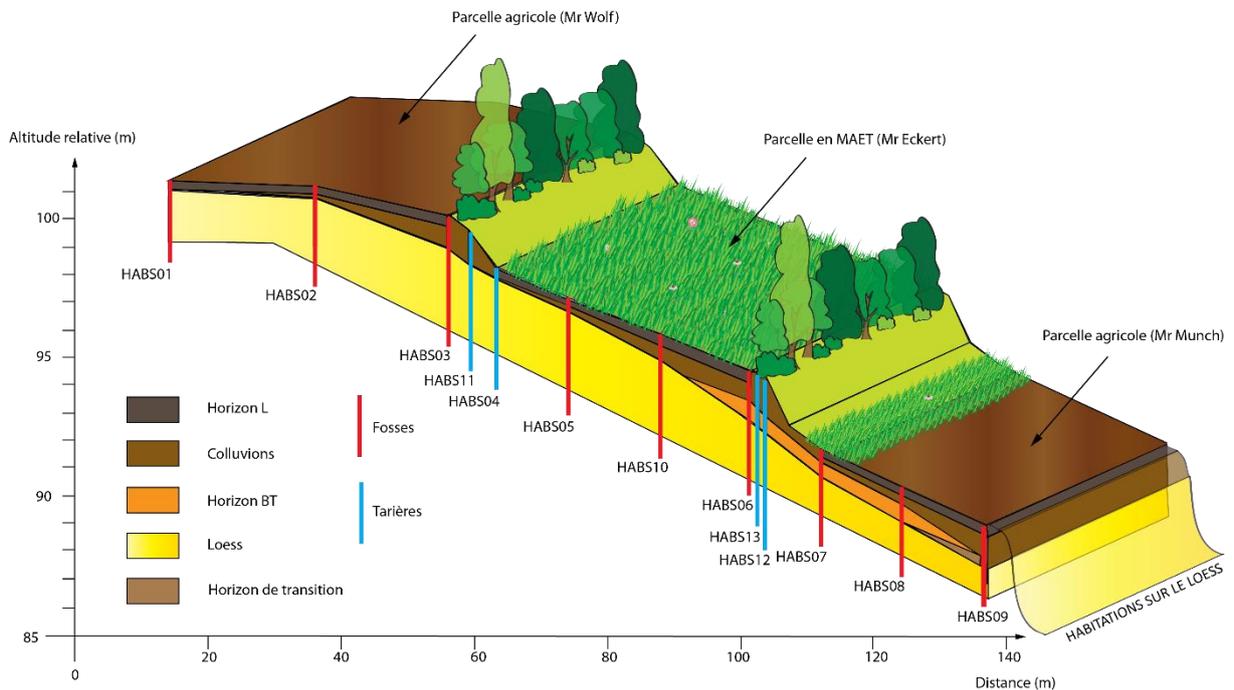


Figure 7 : Topo-séquence du site d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

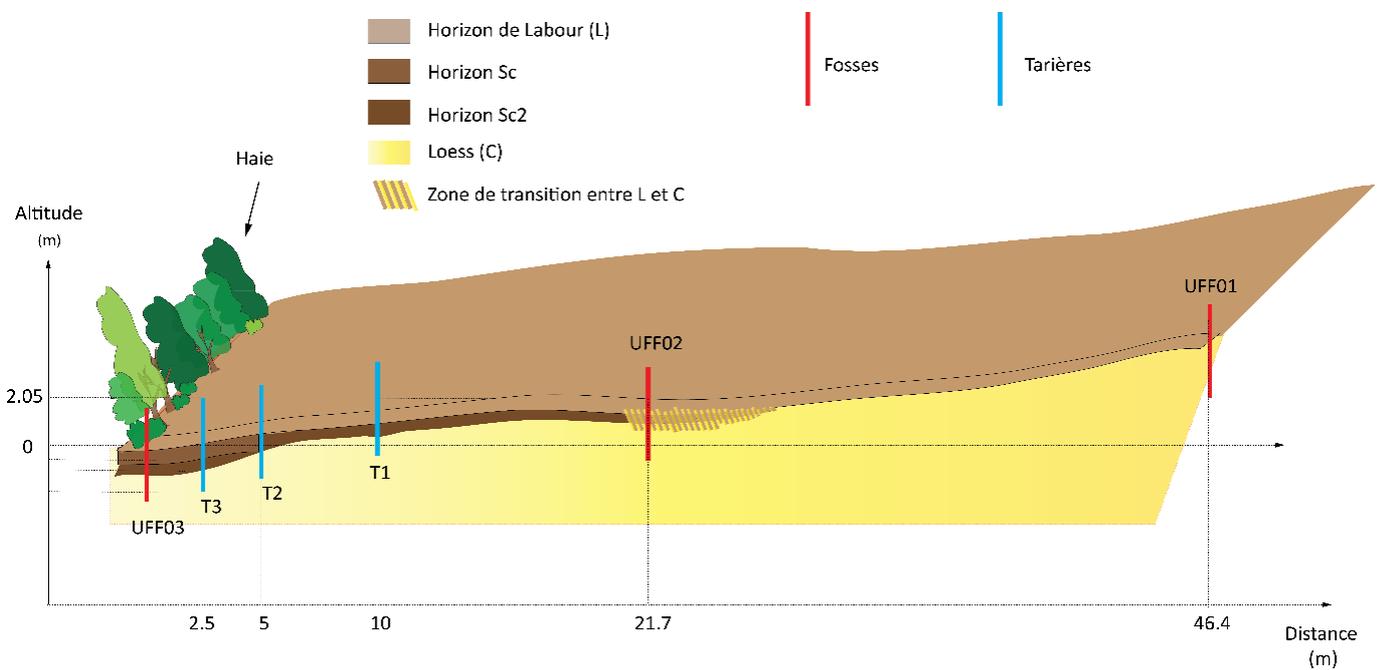


Figure 8 : Topo-séquence du site d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

c. Éléments de chronologie

Les datations obtenues sur la séquence de Habsheim font l'objet d'une publication soumise à la revue *Quaternaire* en décembre 2015, dont voici le résumé.

« Les rideaux de culture sont des ressauts topographiques qui se forment par accumulation de colluvions derrière une haie perpendiculaire à la pente d'un versant. Ces colluvions constituent des archives naturelles à fort potentiel pour l'analyse historique de l'érosion agricole, comme le montre l'étude d'une toposéquence caractérisée par deux rideaux de culture successifs sur un versant loessique. La description détaillée de la catena de sols couplée à des datations OSL y ont permis de retracer les grandes phases de l'érosion. Celle-ci démarre dès le Néolithique supérieur, vers 5800 BP. La haie amont est installée vers 2700 BP, à la toute fin de l'Age du Bronze ou au début du 1er Age du Fer et la haie aval au Haut Moyen Age. A partir de 2700 BP donc, l'érosion ne concerne plus l'ensemble du versant, mais des tronçons successifs. Ces dates montrent également que les sols de la partie haute du versant ont subi une ablation complète avant 2700 BP. Cette phase d'érosion, sans doute néolithique, est conforme à d'autres datations obtenues dans le Nord de l'Alsace. »

L'élément clef de cette publication est la datation directe de la mise en place d'une haie à la charnière de l'Age du Bronze et de l'Age du Fer (2700 avant notre ère)

d. Stockage du carbone

Ce volet du travail commandité par l'ADEME (co-financeur de la thèse de L. Froehlicher) a fait l'objet d'une présentation sous forme de poster et fera l'objet d'une publication en 2016. L'élément essentiel à retenir est que les quantités de carbone stockées derrière les haies sont faibles. Le poster, présenté dans un colloque international en septembre 2015, est fourni en annexe de ce document.

3.4 Conclusion

En attendant l'exploitation de l'ensemble des données (soutenance de thèse prévue en septembre 2016) les résultats marquants à retenir sont de trois ordres :

- **La phase de prospection a permis de mettre en avant un nombre important de haies ou de systèmes de haies souvent en cours d'abandon et/ou de dégradation.**
- **L'hypothèse du piégeage et de l'accumulation de sédiments à l'arrière des haies est confirmée par cette étude de terrain.**
- **Les analyses ont permis la première datation d'une haie mise en place à la charnière de l'Age du Bronze et l'Age du Fer (2700 Before present).**

En termes de valorisation des travaux entrepris, voici la liste des publications réalisées et en cours :

Articles scientifiques

Froehlicher L., Schwartz D., Ertlen D., Trautmann M., Hedges, colluvium, and lynchets along a reference toposéquence (Habsheim, Alsace, France): the history of erosion in a loess area. (Soumis, 2015 à *Quaternaire*)

Froehlicher L., Vorburger F. et Schwartz D. Les paysages de haies dans les vallées alsaciennes à la fin des époques médiévales : de la reconstitution des espaces au questionnement par l'iconographie. En préparation pour la revue *Etude Rurale*.

Communication orale

Froehlicher L., Ertlen D., Schwartz D., 2015. Carbon storage in hedge landscape in loess areas of Alsace (France). 5th Symposium on Soil Organic Matter, Göttingen; 09/2015

Ertlen D., Froehlicher L., Vysloužilová B., Šefrna L., Vorburger F., Schwartz D., 2015. Near infrared fingerprint of soil organic matter as a proxy for tracking old SOM. 5th International Symposium on Soil Organic Matter, Göttingen; 09/2015

Froehlicher L., Ertlen D., Schwartz D., 2015. L'apport du LIDAR dans l'étude des structures agricoles : le cas des rideaux de culture en Alsace. Séminaire « LIDAR et façons culturales », Besançon; 05/2015

A venir

Froehlicher L., Schwartz D. et al. Stockage du carbone derrière les dispositifs de haie. A venir

4. Conclusion et perspectives

Cette année de financement nous a permis de lancer les premières actions de GERIHCO 3. Pour la plupart d'entre elles, elles s'inscrivent sur du plus long terme et se poursuivront donc dans le cadre de la convention pluriannuelle, signée le 5 octobre 2015 (GERIHCO 3.2).

Pour ce présent bilan, notons que deux des actions menées en 2014 s'inscrivent directement dans l'axe 2 de GERIHCO 3.2. Ces actions portent sur les mesures d'hydraulique douce (fascines, haies, bandes de *Miscanthus Giganteus*) utilisées pour réduire le risque érosif. Ces deux actions ont ciblé le *Miscanthus Giganteus* car cette plante fait partie des options possibles pour la prévention des risques de coulées boueuses. *A priori*, le *Miscanthus Giganteus* est une plante dense qui permet de ralentir les eaux de ruissellement et de retenir la boue (ce point sera à confirmer par les travaux sur l'évaluation des capacités d'interceptions des sédiments des différents dispositifs, partie intégrante de l'axe 2 qui démarrera en 2016). Nous avons également pu mettre en avant son fort potentiel de productivité en biomasse, utilisable directement pour la production de chaleur. D'ailleurs, en évaluant **ce potentiel économique**, notre étude a confirmé la possibilité d'une double valorisation des haies de miscanthus.

Le second aspect étudié en 2014 portait sur le risque invasif de cette plante. Différentes expérimentations ont été réalisées. Ainsi, un premier test a porté sur l'étude du caractère stérile de la plante. Ainsi, dix panicules de *M. x giganteus* ont été récoltées à l'automne 2014 sur 7 parcelles de 6 producteurs différents. Chaque fleur a été disséquée et observée à la loupe binoculaire. Cela a permis de confirmer la détermination de l'hybride. **Aucune graine n'a été détectée**. Le deuxième test consistait en la comparaison du potentiel allélopathique de *M. giganteus*. Le résultat principal de ces tests démontre **une activité allélopathique de l'hybride *M. x giganteus* du même ordre que ses espèces parentales** réputées invasives. Comme pour l'espèce parentale *M. sinensis*, l'hybride produit des composés allélopathiques tant au niveau des racines que des feuilles. L'activité allélopathique des racines est uniquement réduite chez l'hybride en début de saison. Enfin, un inventaire des parcelles plantées de *M. giganteus* a été réalisé sur l'ensemble de l'Alsace. Il existe donc **une potentialité non négligeable que les rhizomes de *M. x giganteus* implantés soient parfois « pollués » par des rhizomes d'espèces parentales** réputées invasives ou par des variétés d'hybride présentant des aptitudes invasives. Aussi, une étude de la variabilité génétique de ces « outlyers » est proposée dans le cadre de la convention pluriannuelle pour 2016/2017.

Enfin, une troisième action a démarré en 2014, dans le cadre de la thèse de Lucie Froehlicher (financement Région/ADEME). Ce travail s'inscrit dans l'axe 3 du projet sur l'évolution des paysages. Dans ce cadre, il s'agissait de mener une étude des paysages du passé à travers les dépôts sédimentaires. Pour l'année 2014, l'étude consistait avant tout à définir les terrains et à lancer les premières analyses. La thèse sera soutenue fin 2016, les résultats détaillés seront présentés dans le rapport de la convention pluriannuelle GERIHCO 3. Notons tout de même que les premières analyses permettent de confirmer **l'hypothèse du piégeage et de l'accumulation de sédiments à l'arrière des haies depuis des temps anciens**. En effet, les analyses effectuées ont permis d'estimer **une datation d'une haie qui aurait été mise en place à la charnière entre l'Age du Bronze et l'Age du Fer (2700 Before present)**.

ANNEXES

CARBON STORAGE IN HEDGE LANDSCAPE

Example of loess areas of Alsace (France)



Lucie FROELICHER^{1&2}, Dominique SCHWARTZ¹, Damien ERTLEN¹

1 : UMR 7362, CNRS/ULP, Laboratoire Image Ville et Environnement, 3 rue de l'Argonne 67000 Strasbourg
 2 : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, 20 avenue de Grésillé - BP 90406 49004 Angers Cedex France

CONTEXT

The issue of carbon storage in soils is a major challenge. Indeed, with the agronomic and environmental changes (soil fertility, chemical and physical characteristics of the soil, carbon sinks, etc.) it is essential to understand the carbon fluxes in soils at different scales.

To understand this phenomenon, we must be able to quantify a stock, but also simulate the evolution of this stock of carbon at different time scales. Within the different existing agricultural practices, fragmented systems with hedges (bocage systems in a watershed) combined with cropping activity are very suitable field of study to measure changes in carbon stocks at the slope scale. Indeed, with such a configuration, it is possible to measure all inputs / outputs of different agricultural erosion phases (colluvial), and quantified products of this erosion (colluvium).

Coupled with a historical study of the hedge landscape, the rhythm of C accumulation flux in the system can also be estimated (Stock. m².y⁻¹)



Reference: Corg. stock for old forest and grassland in loess areas

OBJECTIVES

The objective of this study is to measure / quantify the storage capacity of soil organic carbon (Corg. St.) in both:



- Colluvium deposited behind and under the hedges (when the hedge is uplift)

- The entire watershed following a representative transect perpendicular to the slope, intersecting one or more "hedge system" (hedge plus colluvium) from the top to the bottom of the watershed. From these measures we estimate the carbon stock changes in the watershed.



Occurrence of grassland : > 150 y. attested

Occurrence of forest : > 500 y. attested



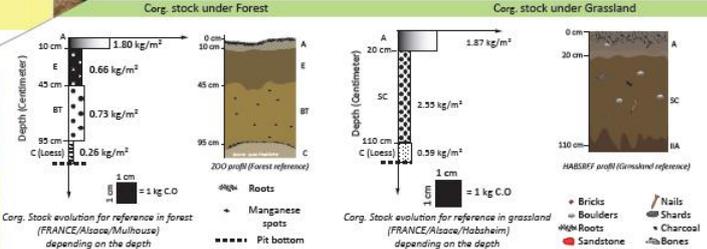
MATERIAL & METHODS

Prerequisite: Selection of sites where the agricultural past (fields) is attested more than 300 years, Old hedges associated with a bank, Sites in loess areas.

Sampling: Pits opening across the transect (Before and after the hedges), Sample systematic every 10 cm for each pit to the substrate (Ex : bulk density (figure))

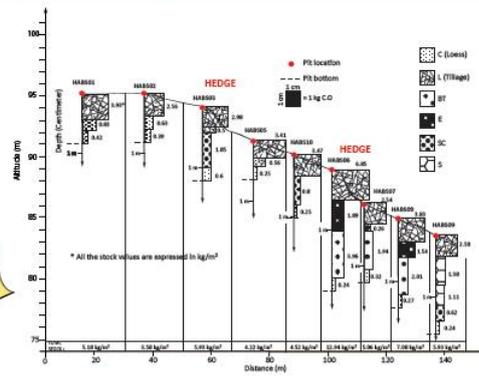
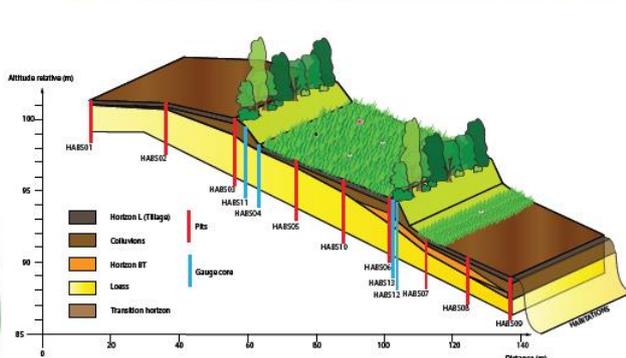
$$\text{Formula \& analysis: } Q(\text{Organic Carbon}) = \text{Thickness (m)} \times \text{Organic Carbon (\%)} \times \text{Apparent density surface (t/m}^3\text{)}$$

Walkley & Black method for carbon organic measurement

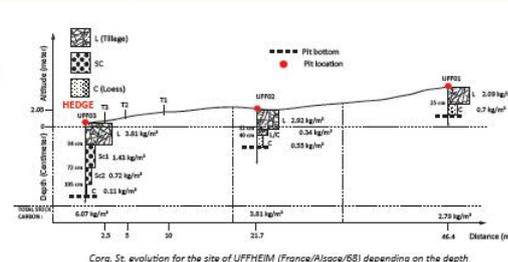
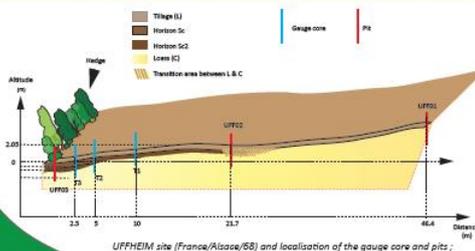


RESULTS Study of Corg. stock in hedges landscapes

Corg. stock for site with hedgerow in loess areas: HABSHEIM (France/Alsace/68)



Corg. stock for site with hedgerow in loess areas: UFFHEIM (France/Alsace/68)



CONCLUSION

Although loess soils are not likely to store carbon due to their particle size characteristics, the evolution of organic carbon stock can be significant.

Indeed, for HABS06 (12.94 kg/m²) behind the hedge the stock is 4 times higher than in the upper part of the field (HABS05).

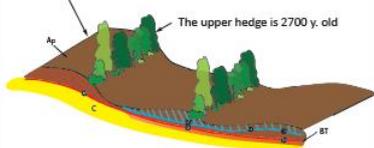
A couple of other studied sites show the same tendency as UFF03 (6.07 kg/m²) for UFFHEIM.

Thus, hedges appear as a possible solution to carbon sequestration.



PERSPECTIVE When and how fast is it stored?

The soil of the top of the hill was completely eroded up to the loess before 2700 BP



- Datation (OSL, 14C) of the different horizons results to the agricultural erosion.

- Proposal different landscape change scenarios. In connection with the results of dating, historical documents and organisation of soil horizons.

- The past as a prediction key for the future (Evolution of S.O.C, evolution of colluvium).



Les haies, une alternative à l'openfield dans les zones loessiques d'Alsace ?

Perspectives historiques, systèmes agraires futur, érosion, effet sur le colluvionnement et le stockage de carbone.

FROEHLICHER Lucie ¹, SCHWARTZ Dominique ¹, ERTLEN Damien ¹

1 : Faculté de Géographie et d'Aménagement, UMR 7362, Laboratoire Image Ville Environnement, Dynamique des paysages, UDS, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex

lucie.froehlicher@live-cnrs.unistra.fr

Ce poster pose les bases d'une thèse qui vient de débiter (octobre 2013). Il est donc essentiellement méthodologique.

Dans les zones sensibles à l'érosion en Alsace, le Sundgau et le Kochersberg apparaissent comme des zones particulièrement fragiles. Avec des sols développés sur matériaux loessiques caractérisés par une faible stabilité structurale, associés à des systèmes agraires monospécifiques (maïs), ainsi qu'à une topographie et à un climat défavorables (pentes relativement fortes, précipitations orageuses de printemps), ces espaces sont sujets à des coulées de boues parfois spectaculaires.

Pour pallier ces problèmes, l'établissement de fascines ou « haies mortes » et de haies vives (programme GERIHCO 2 & 3) permet de tester des alternatives à ces espaces d'openfields vulnérables à l'érosion. Les conséquences de l'implantation de ces structures sont multiples :

- Paysagères (modifications visuelles des systèmes agraires)
- Pédologiques (modification des dynamiques colluviales avec un « fractionnement » et une diminution des coulées) ;
- Ecologiques (les haies jouent le rôle de trame verte) ;
- Economiques (valorisation des produits des haies, nouveau système agricole) ;
- Sociales (capacité d'adaptation et d'acceptation d'un « nouveau paysage »).

Néanmoins, il n'est pas possible de mesurer l'efficacité de ces haies vives sur le long terme sans une expérimentation longue. En effet, pour mesurer l'impact de ces systèmes, il faut quantifier les stocks de terre et de matière organique colluvionnés, puis stoppés par les haies. Or, pour valoriser et justifier l'implantation de ces systèmes de haies qui remet en question un pourcentage non négligeable des paysages agricoles actuels en Alsace, il est essentiel de pouvoir prédire ce qu'il va se passer. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail.

Dans cette perspective, nous avons entrepris une approche temporelle des systèmes de haies anciens (médiévaux ?), matérialisés par des rideaux de culture. L'objectif est de quantifier les flux de colluvions et de carbone bloqués derrière les haies. Le choix des sites étudiés doit répondre à plusieurs critères : localisation en zone loessique, en pente, abondance des rideaux de culture traduisant un passé agricole ancien.

Après analyse des images LIDAR et de nombreuses prospections de terrains, le site de Habsheim fait partie des zones sélectionnées pour réaliser cette étude sur le rôle des

systèmes haies face aux dynamiques colluviales d'origine agricole. Ainsi un transect permet de recouper deux talus colluviaux ou « rideaux de culture » ayant permis de bloquer les colluvions (figure 1).

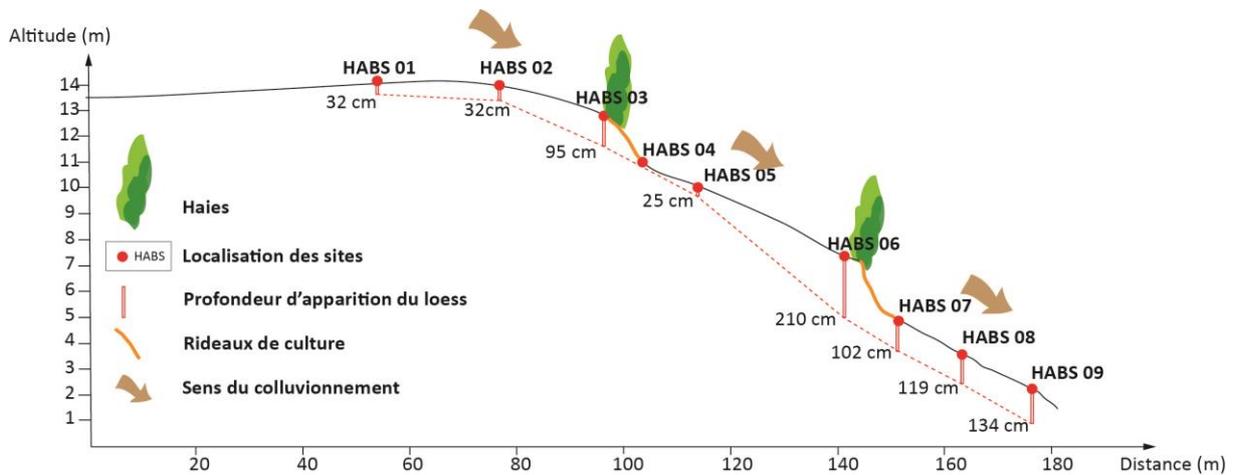


Figure 1: Profil en coupe du site d'Habsheim; Source: Lucie Froehlicher

Cette figure présente neuf sites de prélèvements (de HABS 01 à HABS 09). Pour chacun d'entre eux, une fosse est réalisée et permet de déterminer la profondeur d'apparition des loëss et les différents horizons du sol. Ainsi, il est possible de déterminer l'origine des matériaux colluvionnés. Ce matériau sera daté (OSL, carbone 14) afin de mesurer les flux de terre et de carbone. Les stocks de carbone entre parties amont et aval séparant deux rideaux seront mesurés, pour évaluer le rôle de ces dispositifs dans le bilan du carbone et améliorer la connaissance du rôle de ce dispositif agricole dans la thématique « changement global et agriculture durable ».

Les résultats escomptés de cette étude sur ces systèmes agraires du passé, doivent permettre d'en avoir une meilleure connaissance (âge, répartition,...), et d'établir ainsi les meilleures préconisations et conseils pour une gestion future du milieu.

Les haies, une alternative à l'openfield dans les zones loessiques d'Alsace ?

Thèse en cours (Financement ADEME et Région Alsace), Programme GERIHCO 3

FROELICHER Lucie¹, SCHWARTZ Dominique¹, ERTLEN Damien¹

¹ : Faculté de Géographie et d'Aménagement, UMR 7362, Laboratoire Image Ville Environnement, Equipe Dynamique des Paysages, UDS, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex
lucie.froelicher@live-cnrs.unistra.fr



Figure 1 : Coulée boueuse dans le Kochersberg, Source : IMSF Strasbourg

Contexte de l'étude

L'association entre cultures peu couvrantes comme le maïs, sols à faible stabilité structurale et abondants orages aux printemps aboutit à de nombreuses coulées boueuses parfois désastreuses (en 2012, l'état de catastrophe naturelle a été reconnu pour 54 communes du Bas-Rhin).

Pour remédier à cette situation, différents dispositifs sont proposés : Les fascines (Programme GERIHCO 2) & les haies vivantes (Programme GERIHCO 3 dans lequel s'inscrit ma thèse). Les effets de tels aménagements auront des répercussions à la fois au niveau économique, social, écologique, agricole et paysager.

Même s'il est certain aujourd'hui que des modifications au niveau du transfert des matériaux (colluvions) et des modifications de dénivelés sont à prévoir avec l'implantation de systèmes de type « haies vives », une étude expérimentale *in situ* n'est pas possible pour connaître le rôle et l'influence exacte de ces haies (expérimentation représentative sur un temps long non compatible avec la mise en place rapide des haies liée à une réelle volonté politique).



Figure 2: Formation d'un rideau de culture par accumulation de colluvions derrière une haie

Les objectifs

Pour pallier le manque d'étude expérimentale sur le fonctionnement des haies, une approche paléoenvironnementale est proposée. Cette approche consiste à étudier de façon très précise les dépôts de colluvions bloqués dans les rideaux de cultures. Elle permettra d'établir à partir de paysages agricoles et de systèmes de culture disparus ou reliques, une description des systèmes de haies anciens et ainsi de prédire :

- Les flux moyens de colluvionnement sur la période de fonctionnement du système (étude des profils pédo-stratigraphiques)
- Le cycle du carbone à l'échelle du bassin versant induit par un nouveau système agraire

Les outils

Pour cette étude paléoenvironnementale des systèmes de haies anciens, différents outils sont à ma disposition, tels que : les LIDAR (Light Detection and Ranging), la Spectroscopie Proche InfraRouge (SPIR) (Ertlen, 2010), les cartes anciennes, les données géohistoriques, les données archéologiques, les études pédologiques, diverses méthodes de datation (OSL, ¹⁴C,...)

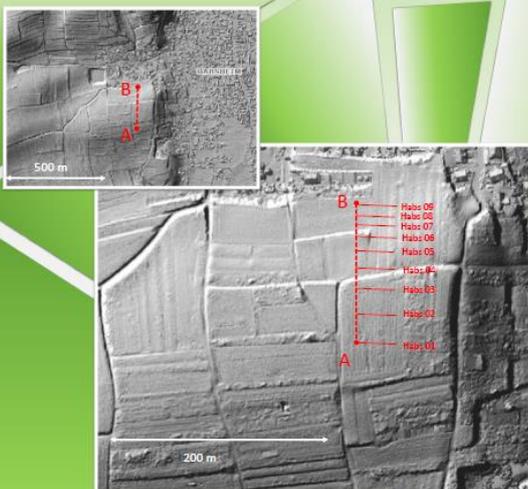


Figure 3 : LIDAR de parcelles agricoles à l'ouest de la commune d'Habsheim avec localisation du transect d'étude (68, Haut-Rhin) ; Source : Infogéo 68

Les résultats et les applications

Les résultats de cette thèse permettront :

- d'acquies une meilleure connaissance de l'extension du système agraire de type « haie » en Alsace,
- de mesurer l'efficacité des systèmes de haies en tant de « barrière » aux coulées de boues,
- de chiffrer l'évolution des stock de carbone dans les colluvions (stabilité de la matière organique du sol),
- de quantifier les stocks de matière organique du sol d'origine colluviale ou boueuse retenu par les haies.

Ainsi, ces résultats permettront d'apporter les réponses nécessaires pour une meilleure gestion future du milieu agricole en Alsace, et plus particulièrement dans les zones loessiques très sensibles à l'érosion. Les premiers résultats permettent de modéliser les différentes profondeurs d'apparition du loess pour le site d'étude d'Habsheim :

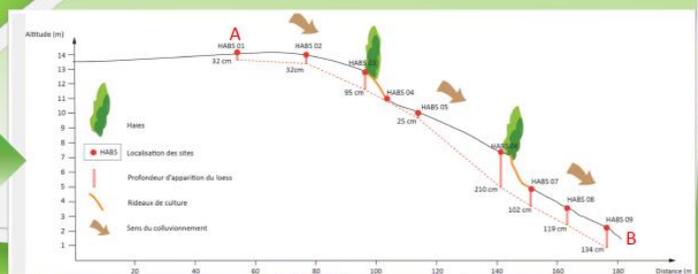


Figure 4 : Schéma d'apparition des horizons loessiques pour le site d'Habsheim ; Source figure : Lucie Froelicher

12es Journées d'Etude des Sols

Chambéry, du 30 juin au 4 juillet 2014

