
ÉTUDE DE L'IMPACT DE TRAVAUX MÉCANISÉS EN FORÊT SUR LA MOBILISATION ET LE TRANSPORT DE MATIÈRES PAR RUISSELEMENT



Simon Noury
BTSA Gestion Forestière
Session 2017-2019

Remerciements

Je tiens à remercier grandement mes deux maîtres de stage, Julien Fiquepron et Arnaud Legout, sans qui ce partenariat et ce stage n'aurait pu voir le jour. Leurs connaissances remarquables m'ont beaucoup aidées lors de la rédaction de ce dossier, de plus j'ai été chaleureusement accueillis et bien intégré tout au long de ma période de stage dans ces deux organismes. Je remercie également Serge Didier pour sa supervision et son expérience au niveau de la conception des dispositifs, pour m'avoir emmené sur le terrain régulièrement et m'avoir permis de voir les sites ateliers de l'unité BEF. De même, je remercie l'équipe du CRPF Grand Est qui m'a permis de passer une journée à leurs côtés et d'aller à la rencontre de propriétaires forestiers privés. Je remercie Monsieur Jean-Louis Maire le gestionnaire du domaine forestier où a eu lieu notre étude, sans qui nous n'aurions pas pu trouver le lieu idéal pour installer nos dispositifs.

Je tiens aussi à remercier l'équipe enseignante de mon école qui a toujours été présente et qui a su m'apporter conseils et connaissances.

Table des figures

<u>Figure 1</u> : Les antennes IDF.....	3
<u>Figure 2</u> : Les centres de recherche INRA	5
<u>Figure 3</u> : Comparaison des deux organismes pour quelques critères	7
<u>Figure 4</u> : Champs de compétences des deux organismes	8
<u>Figure 5</u> : Présentation du dispositif	14
<u>Figure 7</u> : La pesée des boites	16
<u>Figure 8</u> : Le broyage	17
<u>Figure 9</u> : Graphique de la campagne du 07/08/2018	17
<u>Figure 10</u> : L'échelle TRL	19
<u>Figure 11</u> : Graphique de la masse de matière mobilisée en fonction de la campagne.....	20
<u>Figure 12</u> : Potentiel érosif des dispositifs n°3 et 4.....	21
<u>Figure 13</u> : Les étapes clés du stage.....	23

Table des matières

Introduction.....	1
I. Le CNPF et l'INRA.....	2
1.1 Description des organismes et de leurs missions	2
1.1.1 Le CNPF.....	2
1.1.2 L'INRA	5
1.2 Financement et valorisation du projet.....	6
1.3 Comparaison des organismes et complémentarité	7
1.4 Travaux menés en lien avec la thématique de l'érosion en forêt	9
1.5 Moyens de diffusion.....	9
II. L'érosion en forêt.....	9
2.1 Qu'est-ce que l'érosion ?.....	9
2.2 L'érosion hydrique en forêt.....	10
III. Matériel et Méthodes	11
3.1 Les sites-ateliers de l'unité BEF	11
3.2 Le site de Cirey sur Vezouze (54480).....	11
3.3 Développer et fiabiliser un dispositif	12
3.3.1 Conception	12
3.3.2 Installation sur le terrain.....	13
3.3.3 Améliorations	14
3.4 Description et analyse des échantillons récoltés	15
3.4.1 Récoltes des échantillons.....	15
3.4.2 Préparation des échantillons au laboratoire.....	15
3.4.3 Analyse.....	16
3.4.4 Analyse des données	17
3.4.5 Déterminer les facteurs qui influencent l'érosion.....	18
IV. Résultats.....	18
4.1 Validation du dispositif.....	18
4.2 Résultats des échantillons récoltés	20
Conclusion	22
Bibliographie.....	24

Introduction

J'ai effectué mon stage au sein de deux organismes, l'INRA et le CNPF. L'unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF) de l'INRA et l'Institut pour le Développement Forestier (IDF) du CNPF ont travaillé main dans la main pour que ce stage voit le jour. J'ai donc eu l'occasion de travailler au centre de recherche de Champenoux (54280) aux côtés d'Arnaud Legout, ainsi qu'à l'antenne IDF de Nancy (54000) aux côtés de Julien Fiquepron.

Le thème général de l'étude est l'érosion en forêt, la problématique qui s'offre à moi avec ce stage est :
Les travaux mécanisés en forêt impactent-ils la mobilisation et le transport de matière par ruissèlement de surface ?

L'étude a eu lieu sur une parcelle forestière privée dans le massif Vosgiens et concerne la mise en place de dispositifs pour récolter la matière mobilisée et transportée par le ruissellement, la quantifier et la qualifier.

Ce stage a deux objectifs principaux :

- Concevoir et installer en forêt des dispositifs pour récolter le ruissellement de surface.
- Acquérir les premières données issues des dispositifs et en tirer quelques enseignements.

Nous verrons dans un premier temps la description, l'analyse et les objectifs des deux organismes d'accueil. Dans un deuxième temps nous détaillerons ce qu'est l'érosion et plus précisément l'érosion hydrique en forêt. Dans un troisième temps il s'agira d'expliquer le matériel et les méthodes employées pour cette étude. Enfin, dans un quatrième temps nous détaillerons les résultats obtenus.

I. Le CNPF et l'INRA

1.1 Description des organismes et de leurs missions

Ces deux établissements publics que sont le CNPF et l'INRA avaient le souhait de travailler ensemble, de concilier leurs aptitudes et leurs objectifs communs. Ce stage incarne cette volonté.

1.1.1 Le CNPF

Centre National de la Propriété Forestière



Mon maître de stage côté CNPF, Julien FIQUEPRON, est ingénieur au CNPF – IDF.

Le CNPF est un établissement public créé en 2009 au service des propriétaires forestiers. Il est issu de la création des Centres Régionaux de la Propriété Forestière en 1963. Il est en charge du développement de la gestion durable des forêts privées. Aujourd'hui, on comptabilise 3,5 millions de propriétaires forestiers, 11 millions d'hectares de forêt privée, soit environ 20% du territoire national.

Implantations

Les Centres Régionaux de la Propriété Forestière (CRPF) sont des délégations régionales du CNPF. Le CNPF dispose ainsi d'une capacité d'animation territoriale reconnue.

Le CNPF regroupe 11 centres régionaux (CRPF) et l'Institut pour le Développement Forestier (IDF), son service Recherche Développement Innovation.

Les 5 antennes de l'IDF et son siège à Paris :



Figure 1: Les antennes IDF

L'IDF est organisé autour de 5 pôles thématiques : risques, sylviculture, économie du bois et service, matériel végétal et génétique, biodiversité, et des activités transversales de valorisation. Ses activités sont : les études et les travaux de recherche appliquée, l'innovation, la diffusion des connaissances et la formation continue.

Le Conseil d'Administration du CNPF est composé majoritairement de propriétaires forestier et de personnalités qualifiées, notamment nommées par le ministre de l'agriculture.

Budget

Le CNPF fonctionne avec un budget total de 36 millions d'euros, ses financements proviennent de :

- 40 % subvention pour charge de services publics
- 25 % Taxe sur le foncier non bâti (collecté par les Chambres d'Agriculture, elles redistribuent une portion au CNPF)
- 35 % Ressources externes (éditions, formations, projets)

Missions

Le CNPF a les missions suivantes :

- **Orienter** la gestion des forêts privées par le biais des documents cadres sur la gestion durable : PSG, CBPS
- **Conseiller, améliorer et former** en rendant accessible les méthodes de sylviculture et avec des expérimentations sur le terrain.
- **Regrouper** les propriétaires forestiers, favoriser la coopération pour la gestion des forêts, la mobilisation des produits, la réalisation de travaux forestiers

Pour réaliser ces missions le CNPF dispose d'une organisation déconcentrée avec les 11 CRPF chargés de l'orientation de la gestion des forêts privées et des documents qui en découlent tel que les Plans Simples de Gestion (PSG).

Les actions du CNPF fond l'objet d'un contrat d'objectifs et de performance passé avec l'Etat (ministère de l'Agriculture et de la forêt).

Le CNPF informe, vulgarise et forme. Les outils mis en place pour cela sont divers :

Revue régionale, sites internet, moyens audio-visuels, ouvrage IDF, revue Forêt-entreprise, visite technique auprès des propriétaires forestiers, stages IDF.

Le CNPF anime aussi des formations sur la gestion forestière (nommées Fogefor) auprès des propriétaires forestiers souhaitant acquérir des notions de bases essentielles.

Le contrat d'objectifs et de performance du CNPF cible trois grands objectifs prioritaires :

- 1) Améliorer la gestion durable en forêt
- 2) Conduire le changement par l'innovation, le transfert des connaissances et le partenariat
- 3) Adapter le fonctionnement du CNPF

Cette étude s'inscrit dans la première partie du deuxième objectif : Prioriser les thèmes de R&D selon les orientations du Programme National de la Forêt et du Bois (PNFB) et coordonner ces actions en interne (CRPF/IDF) et en externe (INRA, IRSTEA, ONF, FCBA...). En effet, dans cette partie il y a la vocation d'intensifier les partenariats sur les actions de Recherche, Développement et Innovation (RDI), l'adaptation des forêts et de leur gestion aux aléas et risques.

Mon stage répond à ces objectifs, à la fois sur le plan des partenariats (en étant co-encadré avec le CNPF et l'INRA) et sur le plan des risques en développant une nouvelle expertise sur l'érosion des sols.

L'INRA a pour vocation la recherche avec une petite partie de transmission des résultats tandis que le CNPF a pour principal objectif la vulgarisation et la diffusion des connaissances auprès d'un public d'horizons divers et une partie secondaire de recherche.

Le CNPF – IDF a pour but de répondre aux besoins des propriétaires, pour ce faire il mène des actions d'études, de recherches et de développement mais aussi de formation et de diffusion.

D'un autre côté l'INRA est un producteur de résultat qui a peu de liens avec les gestionnaires.

1.1.2 L'INRA



L'Institut National de la Recherche Agronomique

Mon maître de stage côté INRA, Arnaud Legout, est Chargé de Recherche dans l'unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestier (BEF).

L'INRA fut fondé en 1946 après la Seconde Guerre Mondiale pour répondre à une demande sociale : « nourrir la France ». Aujourd'hui les recherches de l'INRA s'étendent dans trois domaines imbriqués :

- L'alimentation,
- L'agriculture et
- L'environnement.

L'objectif est désormais de « Nourrir durablement le Monde ».

L'INRA en quelques chiffres :

- 1er institut de recherche agronomique en Europe
- 2ème institut mondial en sciences agronomiques (sur 743)
- 2ème institut en science agricole dans le monde
- 5ème institut mondial en sciences de l'animal et du végétal (sur 1096)

Implantations

Les centres de recherche INRA sont au nombre de 17 dont un aux Antilles-Guyane :



Figure 2 : Les centres de recherche INRA

Budget

L'INRA a un budget exécuté de 850 millions d'euros dont :

- 77% en provenance du ministère de la Recherche
- 20% d'autres crédits publics

(Données chiffrées datant de 2017)

Missions

L'INRA mène des recherches au service d'enjeux de société majeurs. Les métiers de l'INRA sont d'explorer, de comprendre, d'expérimenter et d'anticiper. Leurs finalités sont de livrer les clés permettant à la société de choisir et d'innover. Les domaines de travaux sont l'alimentation, l'agriculture et l'environnement. Leurs enjeux sont la compétitivité, les territoires, la santé, le développement durable et la bioéconomie. Les principales sont détaillées ci-dessous :

- **Produire et diffuser** des connaissances scientifiques
- **Contribuer à l'innovation** par le partenariat et le transfert
- **Former** à la recherche et par la recherche
- **Elaborer** la stratégie de recherche européenne et nationale
- **Eclairer les décisions** publiques
- **Contribuer au dialogue** entre sciences et société

Dans le cadre de mon stage (côté INRA) j'ai été accueilli dans le centre Grand Est – Nancy basé à Champenoux, dont les recherches sont axées sur les écosystèmes forestiers (et thématiques associées) ainsi que sur l'ingénierie et la sécurité sanitaire des aliments.

L'unités qui m'a accueillie (BEF) appartient au département scientifique Ecologie des forêts, Prairies et milieux Aquatiques (EFPA).

L'unité BEF occupe une position à l'interface entre géosciences et agronomie – foresterie. L'une des missions de BEF est de comprendre l'évolution de la fertilité (chimique, biologique et physique) des sols forestiers dans un contexte de changement globaux. Pour cela, cette unité étudie la réponse des écosystèmes forestiers à des pressions naturelles et anthropiques.

1.2 Financement et valorisation du projet

Ce stage est financé en partie (côté CNPF) par le Projet AFFORBALL, adaptation de la filière forêt-bois du Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges. C'est un projet PSRD (Programme de Recherche pour et sur le développement régional).



Ce projet vise à proposer des solutions d'adaptation innovantes pour la filière forêt-bois à l'échelle du territoire du PNR répondant aux enjeux globaux de développement durable de la filière, de lutte contre le changement climatique, de préservation de la biodiversité, et de résilience (économique et environnementale) des territoires. Côté INRA, ce stage est financé par une convention de recherche portant sur la Fertilité des Sols Forestiers.

Le contenu de mon stage sera valorisé par les livrables du projet Afforball et dans le cadre de la Zone Atelier Moselle.



**Zone
Atelier
Moselle**

La Zone Atelier Moselle (ZAM) est un regroupement de chercheurs autour du thème de l'eau. Il existe 13 ZA dans le monde dont 11 en France métropolitaine. Elles sont toutes focalisées sur un territoire précis comme un fleuve et son bassin versant et c'est sur ce territoire que des démarches scientifiques de recherches, d'observations et d'expérimentations ont lieu. Une ZA est donc un réseau de sites ateliers disponible pour la communauté et le site sur lequel porte mon étude (Cirey sur Vezouze) a été intégré à la Zone Atelier Moselle

Mon maître de stage INRA, Arnaud Legout, fait partie du comité de direction de la ZAM et mon maître de stage CNPF, Julien Figuepron, est associé à l'axe de recherche Eaux et territoires forestiers.

1.3 Comparaison des organismes et complémentarité

Ce tableau compare les deux organismes pour quelques critères : il nous montre quelques différences notables entre ces derniers :

	INRA	CNPF
Infrastructure	17 centres de recherche	1 service Recherche Développement et Innovation : l'IDF avec 6 implantations
Budget	850 millions d'euros	36 millions d'euros
Effectif	13000 avec 1800 chercheurs	500 (dont 40 pour l'IDF) Avec 130 ingénieurs et 300 techniciens

Figure 3 : Comparaison des deux organismes pour quelques critères

L'INRA a pour vocation première la recherche et le CNPF - IDF a pour but de répondre aux besoins des propriétaires forestiers. Ce stage illustre la volonté des deux établissements de travailler ensemble, de concilier leurs compétences complémentaires et leurs objectifs communs.

Ces deux Instituts que sont l'INRA BEF et le CNPF IDF ont en effet des objectifs communs avec des champs d'actions qui diffèrent quelque peu, leurs compétences sont schématisées ci-dessous :



Figure 4 : Champs de compétences des deux organismes

Les bulles correspondent aux champs d'action des deux instituts. L'INRA BEF est plus tourné vers l'émergence des idées et la recherche tout en ayant une part de développement et de diffusion. Le CNPF IDF est quant à lui tourné principalement vers le développement et la diffusion mais il participe tout de même à des travaux de recherche. La bulle de couleur bleue représente la zone où les activités des deux instituts se croisent. Certains objectifs se rejoignent entre l'INRA BEF et le CNPF IDF et des collaborations en découlent, cela permet d'établir un lien complet entre la recherche et les gestionnaires (et/ou propriétaires forestiers). Mon stage est le fruit de cette collaboration entre instituts.

La gestion durable des forêts dans un contexte de changement global est un objectif commun aux deux instituts. L'objectif est développer une gestion forestière répondant aux trois piliers du développement durable : économie, environnement et social. Au cœur de cette gestion durable se trouvent les services rendus et des fonctions remplies par les écosystèmes forestiers, ces fonctions sont économiques (production), environnementales (puits de carbone, biodiversité, régulation de l'érosion) et sociales (métiers et activités de la forêt).

Ces deux instituts ont aussi comme objectif de comprendre, d'évaluer et de prévenir les risques encourus par les écosystèmes forestiers face à des pressions. Ces pressions sont nombreuses et diverses. On peut citer la mécanisation accrue des travaux sylvicoles, l'augmentation des prélèvements de biomasse, les contraintes d'exploitations qui évoluent avec des entreprises qui fonctionnent en flux tendu (c'est-à-dire qui n'ont qu'un très faible stock de bois et ont donc la nécessité de mobiliser du bois quasiment toute l'année, avec une praticabilité des dessertes pas toujours optimales), la pollution atmosphérique, le changement climatique qui accentue les menaces sur les peuplements : stress hydrique, tempêtes, incendies, crues, et maladies émergentes.

1.4 Travaux menés en lien avec la thématique de l'érosion en forêt

Au CNPF IDF des travaux sur les sols forestiers ont déjà été menés notamment avec l'ouvrage de François Charnet Les sols forestiers publié en 2018. Le CNPF co-organise une formation avec le FCBA sur la prévention des dégradations physiques des sols forestiers (évaluation du risque et mesures d'aménagement). De plus l'IDF a mené et publié des études concernant la protection des captages d'eau en forêt. La plupart des recommandations pour protéger les captages en forêt consistent à protéger les sols lors de l'exploitation forestière. Des travaux ont aussi été faits au niveau de l'impact de la sylviculture sur l'eau. Une formation IDF a eu lieu en Haute-Savoie intitulée « Associer gestion forestière et protection des captages d'eau ».

L'unité BEF de l'INRA a débuté récemment (2015) une étude sur l'érosion en forêt de Senones (88). D'autres études sont aussi en cours, sur des thématiques proches s'intéressant à l'effet du tassement du sol sur les écosystèmes forestiers. Ces différents sites-ateliers sont décrits dans la partie Matériel et Méthodes.

1.5 Moyens de diffusion

La diffusion des résultats et données issus de leurs recherches respectives est un objectif commun à l'INRA et au CNPF. Cependant, cette diffusion va différer en fonction du public visé et des résultats, les informations pourront être vulgarisées pour atteindre un public plus large par exemple.

Le CNPF va diffuser par le biais de : revues en particulier Forêt entreprise, formations, stages, colloques scientifiques et professionnels, journées de vulgarisation, éditions (livres et brochures), la plateforme de formation à distance pour les propriétaires : www.jemeformepourlesbois.fr

Quant à l'INRA, la diffusion se fera par le biais de formations auprès des gestionnaires de revues (Forêt Entreprise, Rendez-vous Techniques), ou encore des journées de vulgarisation auprès du grand public.

II. L'érosion en forêt

2.1 Qu'est-ce que l'érosion ?

L'érosion du sol est le processus selon lequel de la matière est détachée de son milieu, transportée puis déposée sur un nouveau milieu. Ce processus va dépendre de paramètres climatiques, géomorphologiques, pédologiques, de la couverture en place et des activités anthropique (ex : mécanisation des travaux sylvicoles / agricoles). Il existe plusieurs types d'érosions du sol les principales sont l'érosion éolienne et hydrique, les 3 étapes clés du processus restant les mêmes.



Erosion hydrique en forêt

(planet-terre.ens-lyon.fr)



Erosion éolienne sur sol agricole

(wwf.panda.org)

Dans le domaine agricole l'érosion est connue et étudiée, de nombreux résultats alarmant voient le jour fréquemment et déplorent l'état de la couche superficielle du sol déjà inexistante à certains endroits critiques. En forêt cette notion d'érosion est beaucoup moins étudiée car souvent lente et discrète. Elle reste néanmoins très présente et ses conséquences sont visibles.

2.2 L'érosion hydrique en forêt

Dans le cas de l'érosion hydrique en forêt le détachement de la matière se fait le plus souvent par les gouttes de pluies et le transport se fait par l'eau qui ruisselle sur le sol.

Les facteurs de risques en forêt se divisent en deux catégories que sont les facteurs naturels et les facteurs anthropiques. Les facteurs naturels sont la pentes - on considère qu'une pente supérieure à 30% a un risque érosif. Le peuplement en place joue aussi un rôle, en fonction des essences d'arbres leur système racinaire diffère, ce qui modifie le maintien du sol par les racines. Entre résineux et feuillus la couverture au sol est différente. La présence ou non de végétation au sol impacte grandement le risque érosif du milieu. Le type de sol et le climat sont aussi des facteurs à prendre en compte. En effet tous les types de sols n'ont pas la même capacité d'absorption de l'eau ; pareillement la pluviométrie, l'ensoleillement, la température, l'humidité atmosphérique et le vent influent sur le risque érosif et diffèrent selon les stations.

Pour les facteurs anthropiques, la mécanisation grandissante des activités sylvicoles est un facteur de risque majeur, il provoque de forts tassements du sol qui diminuent entre autre sa capacité d'absorption. La récolte accrue de biomasse (rémanents) diminue la couverture au sol qui ralentit fortement le processus d'érosion. La gestion et la sylviculture peuvent aussi être des facteurs à risques.

Les conséquences de cette érosion peuvent être catastrophiques à l'échelle des milieux impactés et à une plus grande échelle diminuer l'accroissement des essences présentes dans ces milieux où les fertilités physiques chimiques et biologiques peuvent être impactées de façon quasi irréversible. Effectivement, sur le milieu de départ de la matière le sol est appauvri, les horizons de surfaces sont les plus riches et leur perte endommage le milieu. Dans l'autre sens, les dépôts de matières indigènes en contrebas du lieu de détachement peuvent apporter de la matière indésirable.

III. Matériel et Méthodes

3.1 Les sites-ateliers de l'unité BEF

Plusieurs sites ateliers ont vu le jour entre 2000 et 2010 sur des thématiques liées à l'évolution de la fertilité des sols forestiers. Les sites de Breuil, Clermont en Argonne et Azerailles en font partie. Ils sont fortement instrumentés et permettent d'étudier respectivement l'effet des essences pour les deux premiers sites (pression sylvicole) et l'effet du tassement sur les sols pour le troisième.

En 2015, un nouveau site expérimental a été mis en place par l'unité BEF pour quantifier et qualifier l'érosion du sol en forêt (phénomène encore jamais étudié par l'unité). Ce dispositif est lourdement instrumenté et a une superficie de 300m² répliquée trois fois dans la Forêt Domaniale du Val de Senones (88).

Pour chacune des trois répétitions, les trois dispositifs sont disposés les uns à côté des autres, il y a un canal venturi pour mesurer le débit du ruissellement, un préleveur automatique d'eau ainsi que des matières en suspension, une sonde multi-paramètre qui relève la température de l'eau, son pH et sa turbidité.

Pour mettre en place le site de Senones il a fallu 1 mois de travail en tout réparti sur 2 ans à 3 personnes. Ce site est opérationnel depuis 2017.

Le principe de base de l'unité BEF INRA est de construire un site atelier fortement instrumenté pour étudier finement une thématique (étude des processus). Une fois les premiers résultats obtenus, il est nécessaire d'étendre l'étude en question, pour étudier les phénomènes dans des contextes différents. Pour ce faire de plus petits dispositifs sont mis en place, beaucoup moins instrumentalisés, avec des coûts réduits, et présentant une facilité de mise en œuvre pour pouvoir répéter l'opération.

Dans le cas de notre étude, le site principal est celui de Senones qui étudie le phénomène de l'érosion en forêt et plus particulièrement le ruissellement de surface, et un site secondaire simplifié a été ouvert à Cirey sur Vezouze (2018) avec de plus petits dispositifs.

L'IDF, souhaitant étudier ce phénomène conjointement avec l'INRA BEF, la mise en œuvre du site secondaire de Cirey sur Vezouze a été faite en forêt privée.

3.2 Le site de Cirey sur Vezouze (54480)

Notre étude sur l'érosion des sols en forêt et plus précisément sur la matière que transporte le ruissellement de surface, a eu lieu dans la forêt privée de Ban Le Moine. Cette étude a pour objectif, rappelons-le, est de quantifier la matière mobilisée par le ruissellement de surface après exploitation. L'impact influant le départ de matière qui est étudié ici est le débardage mécanisé. Tous les autres impacts présents doivent être les mêmes sur toutes les zones étudiées par les dispositifs. Le fait qu'elles soit toutes identiques sur chacune des zones va annuler leurs effets lors de la comparaison des résultats. Sur ce site nous devons annuler l'effet des impacts suivant : la topographie, le type de sol, les essences en place, la position sur la pente et son pourcentage.

Cette forêt est la propriété de Monsieur Talhouet. Elle est située dans le département des Vosges à une altitude d'environ 500 mètres et a une superficie de 289 hectares. Cette forêt fait partie du Groupement Forestier de la Forêt des Marches, installé à Cirey sur Vezouze et en activité depuis 26 ans.

Lors de notre travail nous avons pu rencontrer Jean-Louis Maire, le gestionnaire de la forêt, qui nous a chaleureusement accueilli sur la propriété. Grâce à son aide nous avons pu trouver la parcelle idéale pour mettre en place nos expériences. Le lieu devait répondre à des critères tels que la présence de pentes, une exploitation très récente et dont l'accès pouvait se faire par voies carrossables. Il était nécessaire de choisir un lieu à fort potentiel érosif pour avoir l'occasion d'obtenir des résultats. L'exploitation est le facteur qui est étudié sur ce site, il était donc important d'avoir une exploitation mécanisée très récente. J'ai eu l'occasion de m'entretenir avec le chef de l'entreprise de travaux forestier qui a œuvré sur la parcelle. La période d'exploitations (début juin 2018) a été réfléchié par le gestionnaire et s'est donc effectuée par temps sec sur cloisonnement. Soucieux de l'impact de l'exploitation sur le peuplement, le gestionnaire a opté pour un travail d'abattage manuel et un débardage mécanisé (skidder à câble).

La parcelle 18, où a eu lieu notre étude, est une parcelle avec un peuplement en place de sapin pectiné et d'épicéa d'une hauteur moyenne de 30 m. Sur la placette support de notre étude (2400 m²), l'équipe terrain de l'INRA-BEF et moi-même avons effectué un Inventaire Pied à Pied pour répertorier l'essence, le diamètre et la position de chaque arbre et souche (de l'exploitation passée). Grâce à ces données j'ai pu calculer le diamètre moyen, le nombre de souche, leur circonférence et en déduire que cette coupe était une coupe de récolte car les arbres abattus étaient arrivés à leur diamètre d'exploitabilité (> 50 cm de diamètre). D'après le guide des stations Vosges gréseuses Lorraine, la parcelle se trouve sur l'unité stationnelle n°7 Sapinière – Pineraie à Callune et Leucobryum sur sol très acide. Après l'étude minutieuse de fosses pédologiques, nous avons observé un sol sableux riche en cailloux avec des horizons de couleur ocre et une profondeur prospectable comprise en 60 et 70 cm. La roche mère est du conglomérat, roche sédimentaire constituée de cailloux et de galets cimentés par des matériaux sableux ou argileux.

3.3 Développer et fiabiliser un dispositif

3.3.1 Conception

Dès le début de ce stage il a été question de mettre au point un dispositif dont le but sera de récolter le ruissellement de surface. Ce dispositif « low-cost » se devait d'être facile à construire, rapide à mettre en place et permettant de récolter de la matière en quantité suffisante.

Pour ce faire, je me suis inspiré des dispositifs présents sur le site de Senones ainsi que de l'expérience de Serge Didier, responsable de la construction de tous les sites ateliers pour l'unité BEF. Une fois les premiers croquis réalisés, il a fallu trouver les matériaux adéquats à la construction de ce dispositif en forêt sur forte pente et en prenant en considération une certaine durée de vie (plus de 3 ans). J'ai répertorié tous les matériaux nécessaires et après l'étude des différents coûts des matériaux j'ai proposé deux options, une option plus chère que l'autre qui emploie des matériaux plus onéreux. Après une réunion où toutes les personnes impliquées dans cette étude ont été conviées, nous avons validé le prototype du dispositif ainsi que les matériaux que l'on utilisera. Nous avons fait l'acquisition de tous les matériaux nécessaires et fait un essai dans les bois jouxtant le centre INRA de Champenoux pour s'assurer que tout coïncidait. Puisque

tout fonctionnait nous avons pu pré-construire et préparer toutes les parties des 6 dispositifs pour leur mise en place sur le terrain.

L'annexe 2 nous schématise le dispositif.

3.3.2 Installation sur le terrain

L'installation comporte plusieurs étapes clés, la première est le choix des zones à étudier. Ici, puisque nous étudions l'effet de l'exploitation mécanisée, nous avons choisi 3 zones avec des traces de cette exploitation. Une première modalité avec une trace de roue du skidder et deux modalités de trace de traine de grumes (incision dans le sol). Sur chacune de ces 3 zones il y a un dispositif « Témoin » et un dispositif « Perturbé ».

La deuxième étape est la construction et la pose des dispositifs. C'est un travail de précision, c'est pourquoi il est important que ce soit toujours les mêmes personnes qui effectuent les mêmes tâches à l'identique. J'ai néanmoins assisté et participé à toutes les étapes de construction des dispositifs.

Le travail de la première équipe consistait à mettre en place les plaques d'acier qui formeront l'entonnoir ainsi que le profil gouttière en zinc aplatie à une de ses extrémités. Le travail de la seconde était de mettre en place le caniveau en béton polymère, le coude, le tuyau et pour finir le sceau.

Tout le matériel dont nous avons eu besoin sur le terrain avait été pensé, réfléchi et préparé par Serge et moi les jours précédents le chantier. Les découpes les plus importantes ont aussi été faites la veille (découpes sur les plaques d'acier, profil gouttière en zinc).

D'autres découpes ont été effectuées sur le terrain pour s'adapter à chaque cas de figure.

L'ensemble du dispositif repose sur des piquets de chênes, l'inclinaison des dispositifs sur la pente a donc pu être contrôlée et ajustée.

Le sceau placé à la fin du dispositif doit être sous le coude et le tuyau, il est donc nécessaire de creuser pour placer correctement cette dernière partie.

Pour finir, tout le sol perturbé en contact avec le dispositif a été syliconné pour éviter tout départ de matière dû à l'installation (le long des plaques d'acier de l'entonnoir et sur le profil de sol au niveau de la pose de la gouttière de zinc aplatie). Une lame de lambris PVC blanc est disposée au-dessus du dispositif de manière à ce qu'elle repose sur le caniveau en guise de protection. Cette pièce est assez longue pour dépasser au-dessus du sceau et donc le protéger.

Toute la zone au-dessus des dispositifs jusqu'à la route forestière en amont doit être délimitée avec de la rubalise pour éviter toute perturbation qui fausserait les futurs résultats.

Tout le chantier est ensuite rangé et nettoyé pour laisser la zone dans un état similaire à celui que nous avons trouvé à notre arrivée. Le chantier aura duré une journée.

Ci-dessous un des dispositifs terminés :

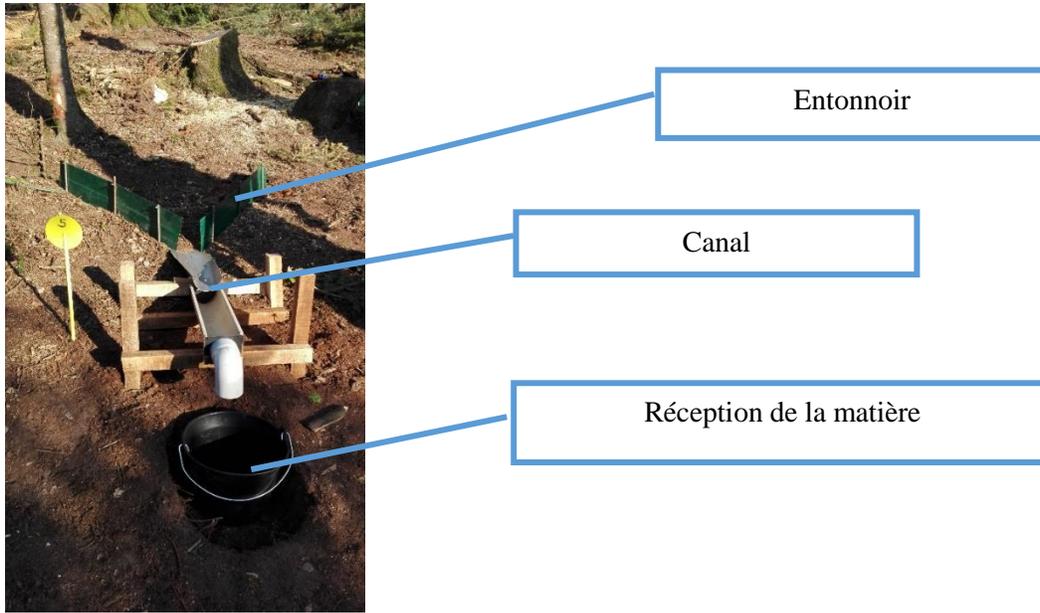


Figure 5 : Présentation du dispositif

3.3.3 Améliorations

Avec le temps et nos différents passages sur le site nous avons pu diagnostiquer des défauts et des points à améliorer sur les dispositifs. Ces points sont les suivant :

- Poser un toit offrant une meilleure protection du dispositif et qui résistera dans le temps.
- Poser une « échelle à scarabée » dans le sceau de récupération des eaux pour permettre aux scarabée et autre forme de vie à sortir du sceau si elle s'y retrouvait prisonnière.
- Remplacer la rubalise par de la corde qui sera durable dans le temps et s'intégrera mieux dans le paysage

Ces différents points ont été solutionnés au mois d'Octobre 2018.

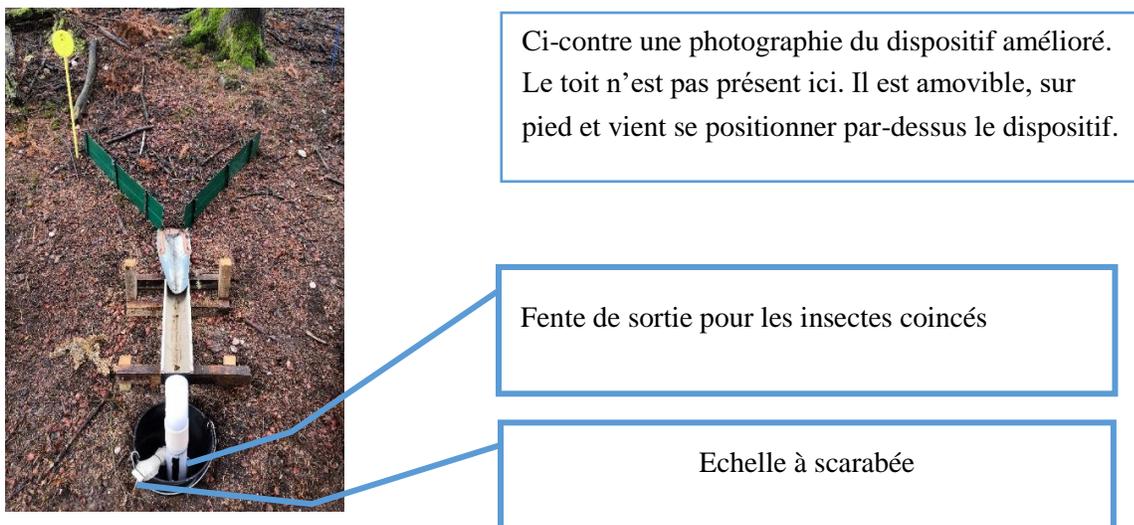


Figure 6 : Présentation du dispositif amélioré

3.4 Description et analyse des échantillons récoltés

3.4.1 Récoltes des échantillons

L'INRA a fixé les dates de récolte d'échantillons sur site tous les 2 mois. Premièrement parce qu'il faut de l'eau dans les sceaux, un mois serait un délai insuffisant, il faut qu'il y ait eu des précipitations assez importantes pour entraîner un ruissellement de surface que nos dispositifs pourront récolter. À l'amont de chaque campagne des données météo de la station la plus proche sont étudiées, certaines campagnes de récoltes pourront être annulées pour cause de manque de précipitations. Deuxièmement, le site de Senones se situe non loin de Cirey sur Vezouze et pour des raisons pratiques les campagnes de récoltes de ces deux sites se font à la même date.

Avant la première récolte sur le terrain j'ai réfléchi à la question « Comment procéder ? » pour pouvoir récolter la matière solide qui nous intéresse se trouvant au fond du sceau dans 11 Litres d'eau (si le sceau est entièrement plein). J'ai donc mis au point un protocole minutieux en détaillant toutes les étapes du procédé d'extraction des 2-3 derniers litres d'eau du sceau contenant notre matière à étudier. Pour ce faire une petite pompe a été utilisée dans le but de vidanger l'eau de sceau excédentaire. Nous avons adapté cette pompe à nos besoins en y couplant une jauge de profondeur pour ne pas aspirer la matière au fond du sceau. La pompe se pose au fond du sceau et avec la jauge elle reste quelques centimètres au-dessus de la matière et peut donc aspirer toute l'eau inutile se trouvant au-dessus de cette limite. La matière restant dans le sceau avec de l'eau est transvasée dans un pilulier de 2 Litres et ramenée dans les locaux de l'INRA Champenoux.

Le moment de la récolte est aussi l'occasion de vérifier que tout est en ordre sur le site, de réparer d'éventuels dégâts sur les dispositifs.

De plus une station météo INRA a été installée sur le site, il faut donc récolter ses données. Elle enregistre régulièrement les précipitations, la température, l'humidité, la vitesse du vent et l'ensoleillement.

3.4.2 Préparation des échantillons au laboratoire

Les eaux chargées en matière solides sont directement placées en chambre froide à leur retour de Cirey sur Vezouze. Il est important de les conserver en milieu froid le temps de les étudier pour éviter que la vie s'y développe.

Par la suite, le but est d'évaporer toute l'eau contenue dans les boîtes et de conserver uniquement la matière organique et minérale. Avant d'évaporer toute cette eau il a fallu enlever les êtres vivants s'y trouvant car, en effet, la conception des dispositifs n'a pas pris en compte (à ses débuts) le fait que des petits êtres vivants pourraient se retrouver piégés dans les sceaux sans aucun moyen d'en sortir. De ce fait un grand nombre de scarabées, fourmis, guêpes, quelques petits lézards et même un crapaud ont été pris au piège dans le sceau. Ce travail s'effectue à l'aide d'une fine pincette dans l'eau des piluliers souvent très odorante.

Par la suite des améliorations ont été apportées aux dispositifs, une échelle à scarabée constituée d'une tige enveloppée d'un grillage fin a été posée dans les sceaux.

Une fois les êtres vivants retirés, j'ai procédé à la filtration du contenu de ces boîtes. À l'aide d'un filtre avec des mailles de 5mm, j'ai pu séparer tous les éléments grossiers contenus comme les feuilles mortes (principalement de bouleau), aiguilles (sapin et épicéa), fragments d'écorces et autres petites brindilles. La

partie inférieure à 5mm est mise dans une autre boîte d'une même contenance et la partie supérieure à 5mm (partie constituée d'éléments solides) est placée dans une boîte plus petite d'une contenance égale à 450ml. Ces deux boîtes sont ensuite mises à l'étuve pour évaporation durant 3-4 jours à la température de 60°C. Le même protocole a été appliqué à chacune des 6 boîtes (une boîte par dispositif).

Le but de ce filtrage était de différencier et séparer la matière organique de la matière minérale.

Lorsque la totalité de l'eau est évaporée il ne reste que la matière organique et minérale sèche. On a alors pu constater que le filtrage n'a pas été suffisant et que le filtre laissait passer de la matière organique dans la partie inférieure à 5mm (partie uniquement minérale théoriquement). Il y avait de la matière organique dans les deux parties, elles ont donc été regroupées et l'étape de filtrage MO/MM s'est avérée inutile.

Une fois sèche les boîtes sont grattées car de la matière est collée sur les parois intérieures. Cette étape est cruciale et doit être pratiquée minutieusement pour pouvoir extraire le maximum de matière possible. Cette matière est ensuite pesée pour obtenir la masse totale de matière récoltée par le dispositif en question.

Après la pesée nous avons extrait une aliquote représentative de l'ensemble du contenu de la boîte pour l'analyser. Pour obtenir cet échantillon représentatif j'ai utilisé la méthode du cartage qui consiste à diviser en 4 parties les plus identiques possible le contenu de la boîte. Le quart représentatif est alors disposé dans un petit pilulier pour l'analyser. Les trois quart restant sont eux disposés dans une boîte d'une contenance de 450mL pour d'éventuelles analyses supplémentaires.



Figure 7 : La pesée des boites

3.4.3 Analyse

Pour la partie analyse, le contenu du petit pilulier sera broyé pour obtenir une fine poudre et on ne gardera que moins d'un gramme (quantité requise par l'instrument de mesure). Le broyage permet d'obtenir une très fine poudre homogène (comme de la farine). L'instrument en question est un analyseur élémentaire, il nous permettra de connaître avec précision les quantités respectives de matière organique et minérale. Les mesures qu'effectue cet instrument sont obtenues par combustion de l'échantillon.



Ci-dessus le bol permettant de broyer la matière. Il est violemment secoué dans une machine et la pièce circulaire (ici au centre du bol) va écraser la matière qui ressortira sous forme de poudre.

Ci-dessus, les piluliers contenant la matière broyée.

Figure 8 : Le broyage

3.4.4 Analyse des données

Pour ce qui concerne la gestion des données, un grand tableau Excel est construit où tous les champs sont renseignés, tous les échantillons sont numérotés et nommés selon un code bien spécial propre à chaque scientifique auquel se rapportent les échantillons en question. Ce tableau Excel est construit de sorte que l'on puisse y ajouter les résultats de chaque campagne de récolte dans le futur. Dans notre cas, le tableau Excel en plus d'avoir la fonction de répertorier toutes les données des dispositifs, m'a permis d'illustrer les résultats obtenus avec des graphiques. Les dispositifs fonctionnent par couple, il faut donc observer les résultats par couple (Témoin et Perturbé) en les comparant l'un par rapport à l'autre.

Graphique représentant le départ de matière en fonction du dispositif sur la campagne du 07/08/2018

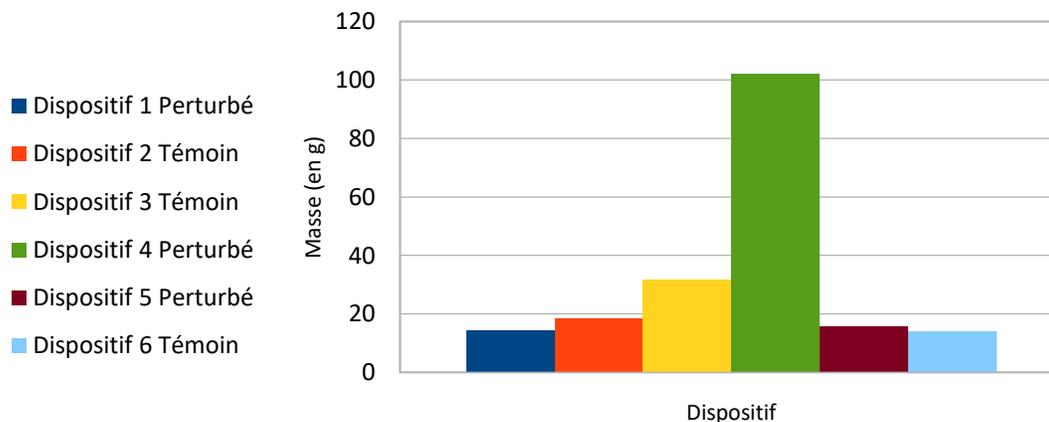


Figure 9 : Graphique de la campagne du 07/08/2018

3.4.5 Déterminer les facteurs qui influencent l'érosion

Il s'agit ici de caractériser chaque contexte dans lequel sont placés les 6 collecteurs. En effet, l'hétérogénéité du terrain peut atténuer ou accentuer l'érosion selon différents.

Les facteurs pris en compte sont déterminants pour le départ de matière sur un milieu. La pente est, bien entendu, le principal facteur (sur 200% pour une meilleure représentation graphique) mais le recouvrement du sol est très aussi important, il joue un rôle de tampon sur l'eau. La végétation et les rémanents au sol sont donc primordiaux. Le sol visible (horizon A) signifie qu'il est nu et sans protection, de la matière peut s'y détacher facilement ce qui en fait un facteur important également. Les atterrissements de matière sont la preuve visible que le processus d'érosion a déjà opéré sur le milieu, en effet les zones d'atterrissement sont des zones de dépôts de matière en contrebas des zones de départ.

Pour saisir ces facteurs nous avons utilisé la méthode du quadra (description précise du milieu par petite unité de surface carrée).

Ce travail, que j'ai effectué avec Arnaud Legout, est long et rigoureux. Il nous a permis de déterminer avec précision le risque ou le potentiel érosif de la zone en amont de chaque dispositif. Ce travail pour déterminer ces facteurs est qualitatif, pour chaque résultat et remarque les deux opérateurs confronte leurs opinions et se mettent d'accord. J'ai représenté les résultats de ce travail sous forme de graphiques radar que nous retrouverons dans la partie suivante.

IV. Résultats

4.1 Validation du dispositif

Il existe une échelle permettant de mesurer le niveau de maturation technologique appelée Technology Readiness Level (TRL). Cette échelle a pour objectif de qualifier le degré de maturité d'une idée, d'une activité ou d'une nouvelle technologie. Elle comporte neuf échelons, de l'échelon 1 où les principes de base sont observés ou décrits, à l'échelon 9 où le système réel est achevé et qualifié par des missions opérationnelles réussies. Il est intéressant de placer le système de dispositif mis au point durant mon stage sur cette échelle. Avec le temps et un regard extérieur, les 6 dispositifs présents sur le site sont bien intégrés au sein de leur milieu, ils remplissent leurs fonctions avec brio et tiennent physiquement dans le temps. Les matériaux choisis sont résistants et devraient résister plusieurs années.

Placer le système de dispositif sur cette échelle (image ci-contre) n'est pas évident mais après avoir étudié la question et comparé nos avis (entre Arnaud Legout, Julien Fiquepron et moi-même), nous avons déterminé que le système devrait se situer au niveau de l'échelon 8. Cet échelon correspond à un système réel achevé et qualifié par des tests et des démonstrations, ce qui est clairement le cas de nos dispositifs à Cirey sur Vezouze.

Depuis cette échelle, on peut retracer étape par étape tout le développement du dispositif jusqu'à son état final aujourd'hui avec les améliorations qu'on a pu apporter avec le temps.

De plus, l'INRA, l'institut principalement concerné, a très largement validé ce système de dispositif qui sera pour sûr réutilisé sur d'autres sites similaires à Cirey.

Le dernier échelon pourrait être validé pour notre système de dispositif sauf qu'il prend en compte une notion de commercialisation. Ce qui n'est pas du tout le cas ni l'objectif de notre système.

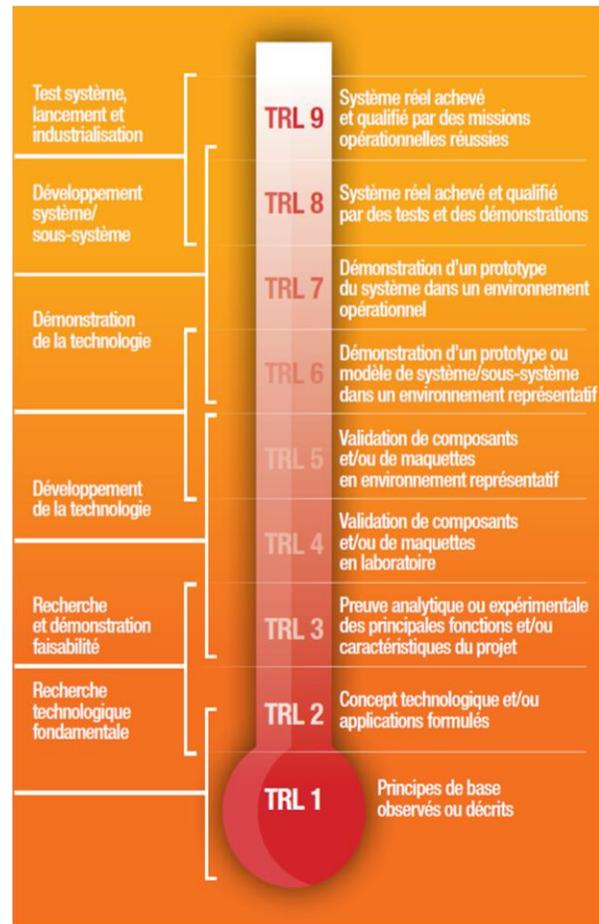


Figure 10 : L'échelle TRL

Si je devais donner un point négatif sur ce système de dispositif ainsi qu'un point positif, je dirai que l'aspect négatif repose sur le montage qui est un travail rigoureux demandant temps et précision. Pour l'aspect positif je citerai la grande adaptabilité du système qui peut être installé sur quasiment tous types de terrains.

4.2 Résultats des échantillons récoltés

Après les pesés de la matière récoltée sur les 3 campagnes (août, octobre et novembre) nous obtenons les résultats suivants :

Graphique représentant la masse de matière mobilisée en fonction de la campagne et du dispositif

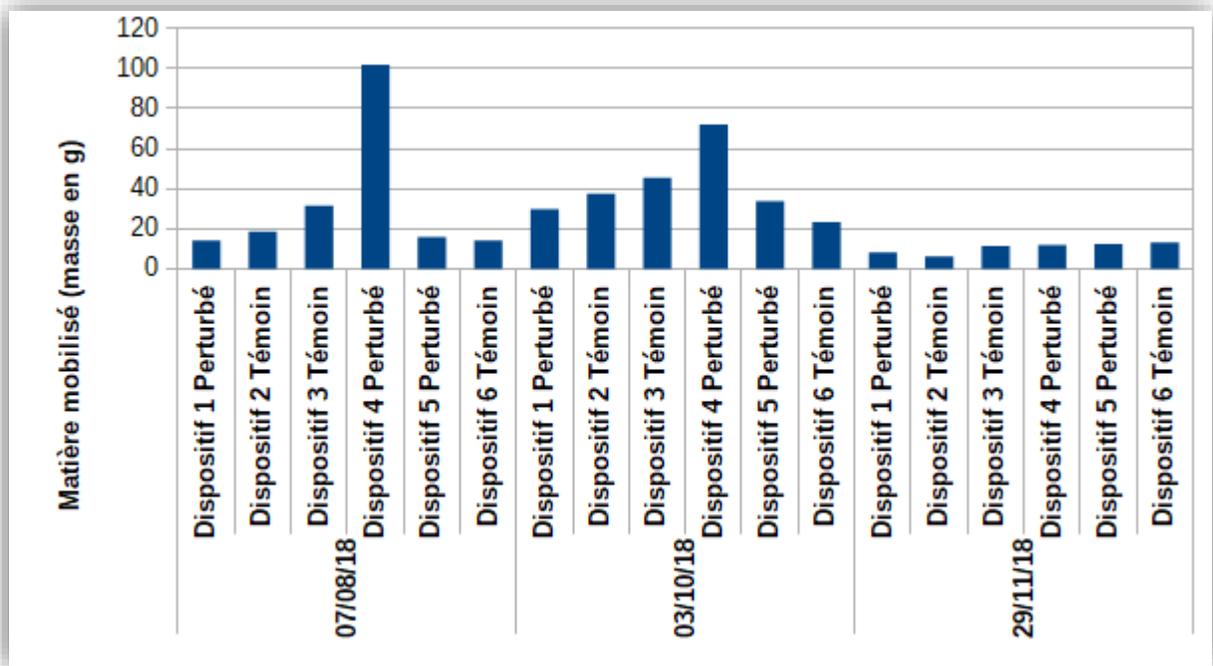


Figure 11 : Graphique de la masse de matière mobilisée en fonction de la campagne

Sur cet historique on peut visualiser la masse mobilisée récoltée sur la zone en amont de chacun des 6 dispositifs de cette étude. On observe que le dispositif 4 est celui qui en récolte le plus et le couple témoin/perturbé 3 et 4 est le couple qui possède la plus grande différence de quantité de matière. Autrement, on remarque que sur la troisième campagne de récolte les dispositifs n'ont pas capté une grande quantité de matière.

Se donner un ordre d'idée par rapport à la masse de matière récupérée sur chaque dispositif n'est pas chose simple, il n'est pas inutile de représenter le « risque érosif » d'un des dispositifs pour exemple. Cette notion de risque érosif signifie simplement le fait de mettre en relation tous les facteurs présents sur le site (à proximité de chaque dispositif) qui vont favoriser un départ de matière.

J'ai représenté le potentiel/risque érosif des dispositifs par le biais de graphiques en radars, plus la surface colorée est grande plus le risque érosif est important. Ci-après, l'exemple du couple dispositif 3 et 4 :

Potentiel érosif du couple T/P dispositif n°3 et 4

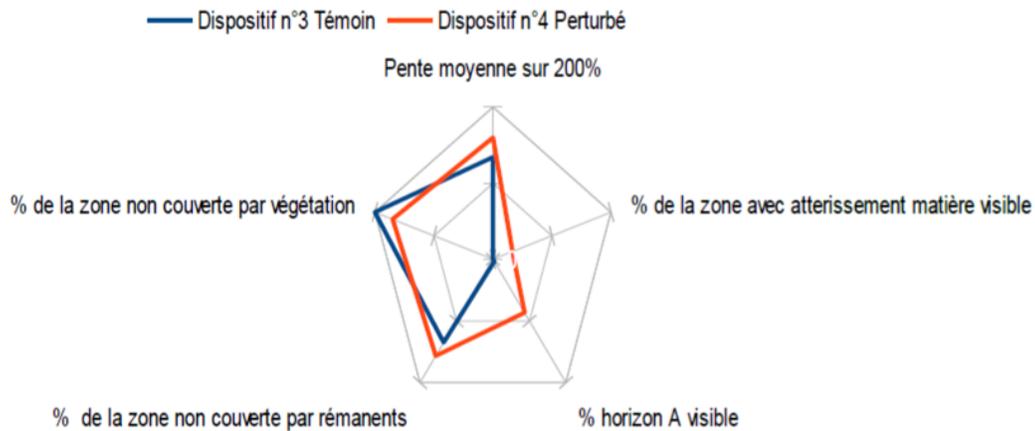


Figure 12: Potentiel érosif des dispositifs n°3 et 4

Il est intéressant de comparer le duo dispositif n°3 « témoin » et le dispositif n°4 « perturbé » de ce couple. Le dispositif n°3 est placé proche du dispositif n°4 avec les mêmes conditions topographiques mais sans aucunes perturbations liées à l'exploitation mécanisée dont on étudie les conséquences.

On peut observer la représentation graphique du potentiel érosif de ces deux dispositifs qui nous montre les différences notables entre la modalité témoin et perturbée. On remarque que tous les facteurs étudiés (sauf le pourcentage de zone non recouverte par de la végétation) sont supérieurs au niveau du dispositif perturbé n°4 (en rouge), la zone recouverte par ce dispositif est bien supérieure à celle recouverte par le dispositif témoin.

Sur ce graphique radar, la zone recouverte par le dispositif n°4 nous enseigne qu'il a un potentiel érosif fort. En effet, tout le long de mon étude sur le site de Cirey su Vezouze, le dispositif n°4 a été de loin celui qui a récolté le plus de matière. Étant en zone « perturbée ». Il paraît logique que celui-ci soit impacté, mais pourquoi plus que tous les autres dispositifs ? Il s'est avéré que ce dispositif se trouve sur une traîne de grume produite lors de l'exploitation des bois ; le débardeur a tiré la grume (avec un câble et par le biais d'un treuil sur la machine) du bas de la pente vers le haut sur la piste. La trace laissée par cette activité a entaillé le sol sur 34 cm de large et 10 cm de profondeur et ce sur 15 m, le dispositif n°4 a été disposé sur cette entaille pour mesurer l'éventuel départ de matière qu'elle pourrait générer.

Avec les observations sur le terrain et les résultats obtenus, nous avons déduit que cette entaille peut faire effet de rigole lors d'évènements pluvieux importants et peut décupler la quantité de départ de matière par rapport aux dispositifs voisins.

Sur toute la surface de la placette étudiée (2400 m²), c'est 29,3 m² qui ont été impactés par l'exploitation : tassement du sol par la machine, traces laissées par le câblage des bois, sol retourné, profil de sol perturbé et humus scalpé.

Conclusion

Cette étude nous a permis de vérifier que les travaux sylvicoles ont des impacts sur les sols forestiers. Ces impacts concernent le tassement des sols, la récolte accrue de rémanents (et autres biomasses forestières) ainsi que les perturbations des sols liées aux passages d'engins ou de grumes tractées. Tous ces impacts peuvent favoriser l'érosion des sols, principalement hydrique en forêt, lorsque les parcelles concernées sont en pentes (> 25%) et exposées à des précipitations importantes.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce stage démontrent que les milieux perturbés par les travaux mécanisés (débardage) ont un plus fort potentiel/risque érosif et la masse de matière mobilisée et transportées par le ruissèlement est plus forte que pour les milieux non perturbés. Ces résultats sont le fruit d'une étude « légère » et ne peuvent être étendus à une zone plus grande que celle étudiées. Ce travail nous permet donc de répondre partiellement à la problématique de ce dossier qui est « Les travaux mécanisés en forêt impactent-ils la mobilisation et le transport de matière par ruissèlement de surface ? ». Nous pouvons néanmoins valider l'hypothèse que les travaux mécanisés impactent la mobilisation et le transport de matière dans notre parcelle d'étude. De façon plus générale ces travaux peuvent dégrader les sols, au niveau de sa fertilité (physique, chimique et biologique) et augmenter son potentiel/risque érosif.

L'INRA BEF a prévu d'installer d'autres sites similaires à celui de Cirey-sur-Vezouze pour approfondir l'étude de l'érosion en forêt mais avec des modalités différentes tels qu'un peuplement différent, un type de sol différent, des pressions environnementales ou anthropiques différentes.

Ce stage m'a permis d'acquérir des compétences par le biais de situations professionnelles vécues. Le travail en autonomie en fait partie, ainsi que la participation à la conception et le développement d'un projet, de sa mise en œuvre et son suivie. De plus j'ai eu un regard technique sur la gestion des matériaux et sur l'aspect financier qui en découlent (coût des facteurs de production). Je me suis aussi adapté à la méthodologie du travail scientifique, volet très présent dans ce stage.

Pour conclure sur la partie stage, cette figure représente tout son déroulement :

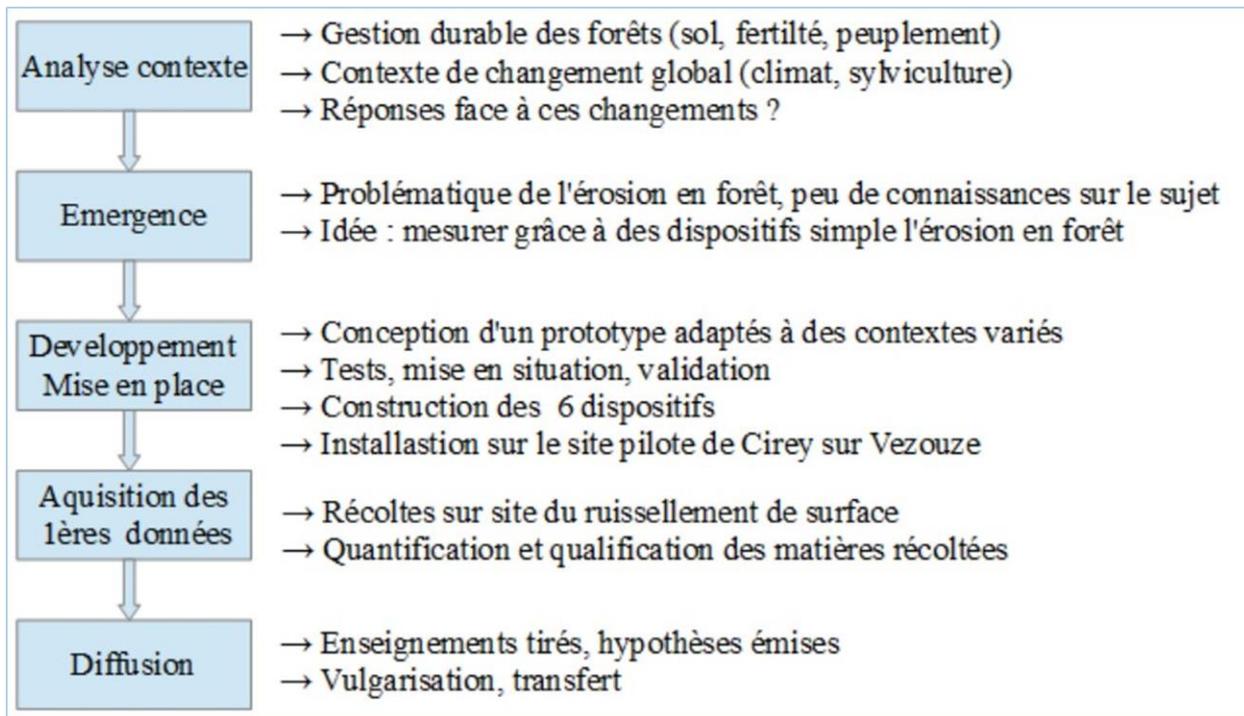


Figure 13 : Les étapes clés du stage

Bibliographie

- L'érosion et la lutte contre l'érosion en forêt méditerranéenne, Andrea GIORDANO, forêt méditerranéenne t. xv, n° 1, janvier 1994
- Impact de ruissellement de surface sur la qualité des cours d'eau vosgiens en milieu forestier : mise au point, installation et suivis de dispositifs dédiés, Marie-Clotilde MAINTENANT, 2017
- Compensation des exportations minérales et remédiations aux dégradations des sols, Arnaud Legout – Claudine Richter – Noémie Pousse – Grégory Van der Heijden – Jean-Louis Morel – François Charnet – Marie-Odile Simonnot – Jacques Ranger, INRA, 2014
- Quelques conséquences locales et régionales des changements d'usages des sols liés aux activités humaines, Thibault LORIN – Félix LALLEMAND – Ayman EL-SHAFFEY – Frédéric DARBOUX, <<http://planet-terre.ens-lyon.fr/prepublication/db/planetterre/data/article/erosion-sols.xml>>, Novembre 2018
- Les forêts et leurs arbres, les limiters d'érosion, Cyril LANGLOIS – Pierre THOMAS, <<http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/Img552-2016-12-05.xml>>, Décembre 2016
- Les milieux forestiers dans les vosges gréseuses lorraines, Eric LACOMBE – Anne MADESCLAIRE – Jean- Claude RAMEAU, Octobre 1999
- Guide « PROSOL », Didier PISCHEDDA, 2009
- Praticols Guide sur la praticabilité des parcelles forestières, Didier PISCHEDDA – tammouz Enaut HELOU, Octobre 2017
- Les sols forestiers, François Charnet, CNPF Institut pour le Développement Forestier, 2018
- Comprendre les sols pour mieux gérer les forêts, Bernard JABIOL – Gérard LEVY – Maurice BONNEAU – Alain BRÉTHES, AgroParisTech ENGREF, 2009
- Guide pour la description des sols, Denis BAIZE – Bernard JABIOL, édition Quae, 2011
- L'humus sous toutes ses formes, B. JABIOL, ENGREF, 1995
- Des forêts pour l'eau potable : la forêt protège votre eau, Julien FIQUEPRON – Olivier PIQUARD – Eric TOPPAN, CNPF-IDF-FPF, Octobre 2012
- Les chiffres clés de la forêt privée, Julie THOMAS - Olivier PIQUARD - Eric TOPPAN, CNPF-FPF, 2015
- Le débardage par câble : ça vaut le coût !, Julien FIQUEPRON, Forêt-entreprise, n°237, novembre 2017
- Groupe technique pentes massifs central : résultats et boîte à outils, Forêt Cellulose Bois – Construction Ameublement, www.fcbainfo.fr, juillet 2017
- Sols et Environnement, Michel-Claude GIRARD – Christian WALTER – Jean-Claude REMY – Jacques BERTHELIN – Jean-Louis MOREL, Dunod, 2005
- Petit lexique de pédologie, Denis BAIZE, INRA édition, mai 2005
- Protéger et valoriser l'eau forestière, Aurélien BANSEPT – Julien FIQUEPRON, CNPF, 2014
- Livre vert sur les paiements des services environnementaux des forêts méditerranéennes, Tina Siomončič – Dragan Matijašič, Sylvamed, 2013
- Vocabulaire Forestier, Y.Bastien – C.Gauberville, AgroParisTech – CNPF IDF – ONF, 2011
- Forêt entreprise, n°242, CNPF IDF, Septembre-Octobre 2018
- <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/geologie-conglomerat-1061/>, Conglomerat