



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement



Ecole d'ingénieurs
polytechnique
de l'université de Tours

CITERES
UMR 6173
**Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés**

Equipe IPA-PE
**Ingénierie du Projet
d'Aménagement, Paysage,
Environnement**

Projet de Fin d'Etudes

**Relations entre le transport des
graines par la faune sauvage et la
restauration des écosystèmes :
Cas des milieux forestiers et
prairiaux**

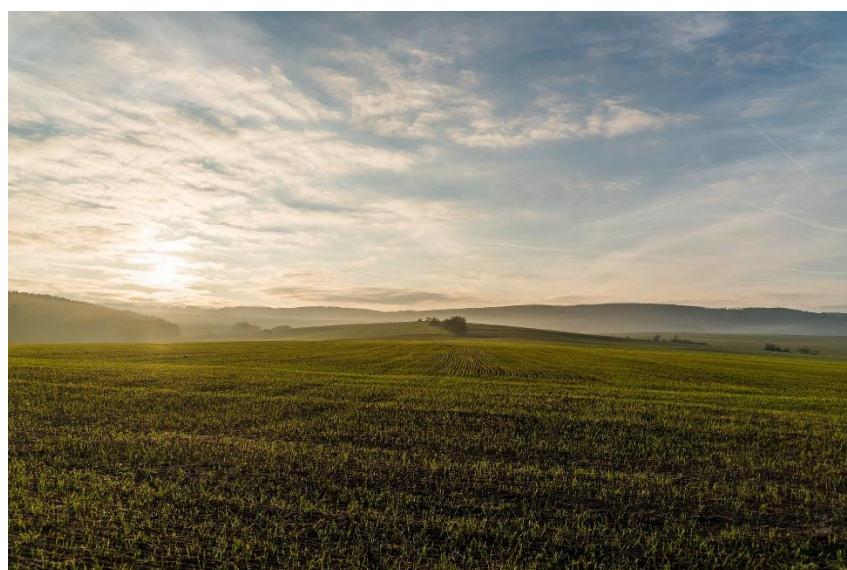
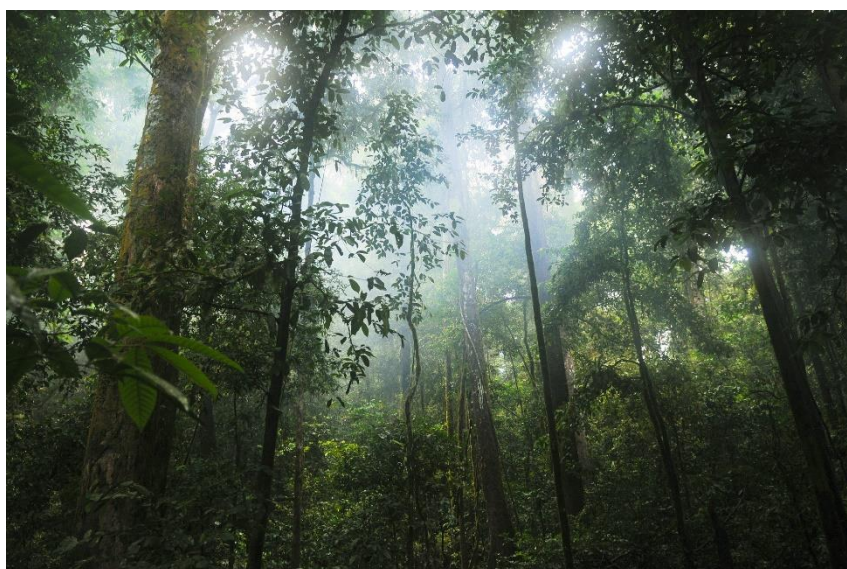


2017-2018

**Directeur de recherche
ISSELIN Francis**

JEANNE Floriane & SARNELLI Clara

Relations entre le transport des graines par la faune sauvage et la restauration des écosystèmes



**Directeur de recherche :
ISSELIN Francis
Année
2017/2018**

**Auteurs :
JEANNE Floriane & SARNELLI Clara**

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnels, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'aménagement et de l'environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce projet de fin d'études et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce rapport.

Nous adressons nos remerciements à notre professeur, Mr Francis ISSELIN, maître de conférences à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours (EPU – Polytech'Tours), qui nous a beaucoup aidés dans la rédaction de ce PFE. Son écoute et ses conseils nous ont permis de cibler nos recherches, et de faire un projet en totale adéquation avec mes attentes.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont conseillées et relu lors de la rédaction de ce rapport : nos familles, nos amies et camarades de promotion.

Sommaire

Avertissement	3
Remerciements.....	5
Sommaire	6
I. Introduction.....	7
Qu'est-ce que la restauration ?.....	7
Qu'est-ce que la zoochorie ?.....	7
II. Les écosystèmes herbacés	9
Importance de la zoochorie	9
La zoochorie et la restauration.....	10
III. Les écosystèmes forestiers	13
Importance de la zoochorie	13
La zoochorie et la restauration.....	14
IV. Discussion	18
Les milieux prairiaux	18
Les milieux forestiers.....	19
Conclusion	22
Lexique	24
Bibliographie.....	26

I. Introduction

Qu'est-ce que la restauration ?

L'écologie de la restauration est une discipline scientifique apparue dans les années 1980 qui étudie de manière globale les projets de restauration et leur amélioration. L'écologie de la restauration permet de lutter contre la dégradation rapide de la biodiversité et des écosystèmes. La restauration a lieu lorsqu'il y a une dégradation (anthropique ou naturelle), une perturbation d'un environnement : événement altérant, dans le temps et dans l'espace, les relations entre les organismes vivants et leurs habitats.

Au sens strict, la restauration écologique a été définie par la Society for Ecological Restoration International (S.E.R., 2002) comme « le processus d'assister l'auto-régénération des écosystèmes qui ont été dégradés, endommagés ou détruits » (Aronson, 2017).

Il existe deux types de restauration qui peuvent être mis en place en fonction de l'état du milieu et de ce que l'on souhaite faire :

- la restauration passive, soit l'arrêt / le retrait de la perturbation, permettant à l'écosystème de se régénérer seul ;
- la restauration active (complète), soit l'arrêt / le retrait de la perturbation ainsi que la mise en place de procédés pour faciliter le retour du milieu à son état initial.

Qu'est-ce que la zoochorie ?

La dispersion de graines est une phase importante de la restauration d'un milieu par la dynamique spatio-temporelle des espèces végétales, permettant les flux génétiques entre les populations et une colonisation de nouveaux habitats. La plupart des plantes utilisent des vecteurs externes (eau, vent, animaux, ...) pour se disperser. La compréhension de ces processus est devenue un enjeu central dans la recherche en écologie végétale au cours des dernières décennies (D'Hondt et al. 2012).

Le vent est le 1^{er} facteur de dissémination des graines. Cependant, cette dispersion est limitée à quelques mètres ou à quelques dizaines de mètres de la plante mère (A.M. Mouissi et al. 2005). Ainsi la zoochorie est essentielle à la régénération d'un écosystème. La zoochorie est un mode de dispersion par les animaux qui se manifeste sous deux formes : l'épizoochorie (transport externe) et l'endozoochorie (interne).

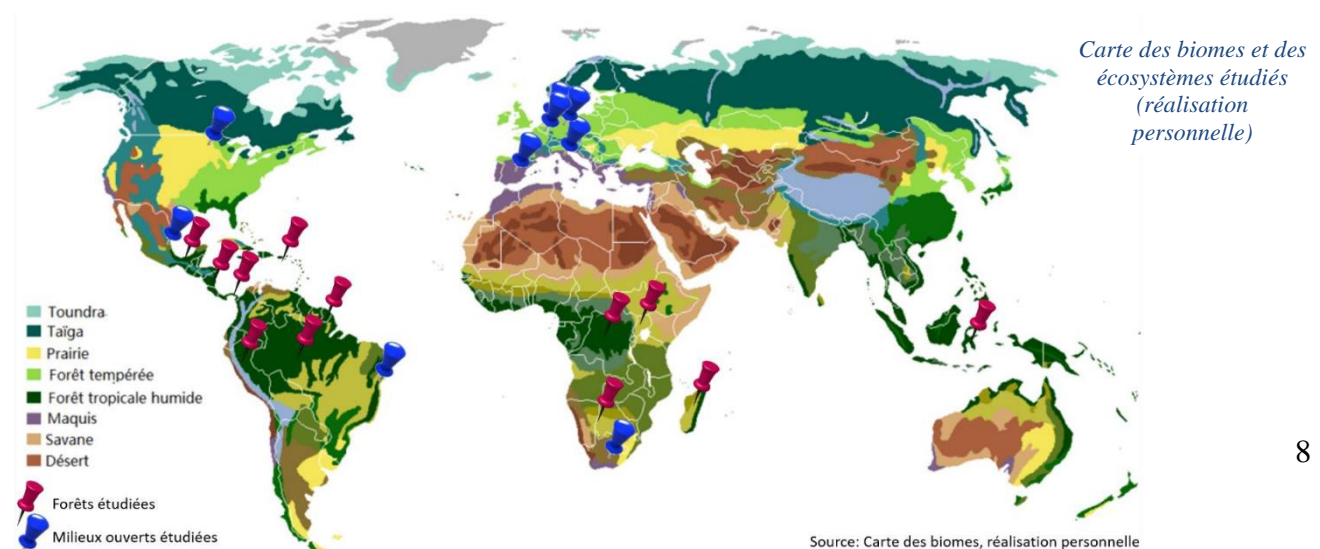
L'épizoochorie est un mode de transport externe des semences végétales (graines, fruits) par des animaux au moyen de leur plumage, leur pelage ou encore sous leurs sabots. Ce transport peut être involontaire de la part de l'animal car certaines graines possèdent des mécanismes pour rester accrochées aux pelages. Elles peuvent ensuite tomber plus loin et germer. Le transport peut aussi être volontaire, par exemple lorsqu'un animal accumule ou enterre les graines pour une consommation future, les oublie ou les fait tomber pendant le transport (Zoochorie : définition et explication, 2010).

L'endozoochorie est un mode de transport interne des graines par les animaux. Les semences végétales passent dans le tube digestif de l'animal et sont rejetées par la suite dans les excréments. Cela implique que certaines graines subissent des dommages chimiques alors que d'autres bénéficient de ce transport pour germer (Kuiters, Huiskes, 2010). La distance de dispersion de la plante mère est également augmentée car les graines sont retenues dans le tube digestif (Kuiters, Huiskes, 2010). Il s'agit d'un mode plus complexe de dispersion. Il comprend une succession d'étapes se rapportant à la disponibilité, l'absorption, le mouvement et le dépôt des graines (D'Hondt et al. 2012). Il dépend également des habitudes alimentaires, des parcours, des zones de repos et des comportements sociaux. Chacune de ces étapes implique des composantes de l'écologie du mouvement de la plante ou de l'animal. Les caractéristiques du paysage rentrent aussi en jeu, puisqu'elles influencent, par exemple, l'abondance des plantes et le comportement des animaux. Diverses études montrent que le nombre de graines, provenant d'excréments d'animaux en liberté, sont présentes de façon viable bien qu'elles soient de différents types. L'endozoochorie semble l'emporter sur l'épizoochorie tant dans le nombre de graines que dans la diversité d'espèces dispersées (D'Hondt et al. 2012).

La dispersion des semences végétales peut être hétérogène dans l'espace (diversité, colonisation de nouveaux sites et leur maintien), ou homogène (alimentation de la banque de graines du sol). L'action de la faune sur la régénération forestière est analysée en fonction des coévolutions des espèces végétales et animales. La dispersion des graines par endozoochorie ou épizoochorie peut aider à la restauration écologique en reliant les communautés sources des espèces cibles aux sites de restaurations. Elle représente également une menace possible en raison de la dispersion d'espèces exotiques (Kuiters, Huiskes, 2010).

Plusieurs questionnements émergent alors : comment les relations entre le transport des graines par la faune sauvage contribue-t-il à la restauration des écosystèmes ? La dispersion des graines par zoochorie peut-elle être utilisée pour conserver la qualité d'un écosystème ou le restaurer ? Comment les espèces végétales et animales évoluent-elles dans un système dégradé et comment participent-elles à la restauration des écosystèmes ?

Afin de répondre à ces questions, l'article consistera en une synthèse dédiée à l'évaluation de la contribution de la zoochorie dans la restauration d'écosystèmes. Pour cela, nous aborderons la zoochorie dans deux milieux différents : les prairies et les forêts. En effet, dans ces milieux, plusieurs recherches ont mis en place différentes méthodes d'analyse d'impact de la zoochorie sur un milieu perturbé et/ou à restaurer. De plus, comme il est possible de le voir sur la carte suivante, ces études sont réparties dans le monde et sur différents biomes.



II. Les écosystèmes herbacés

Importance de la zoochorie

Les milieux prairiaux abritent une diversité importante d'espèces végétales (concentration d'espèces rares et/ou menacées) mais sont en train de disparaître à cause de la fragmentation de l'espace. Le déclin actuellement observé de la diversité végétale dans de nombreux habitats semi-naturels est en partie attribuable à la perte historique de la dispersion par le bétail. En outre, le pâturage et la culture intensifs et les modifications anthropiques (labourage, amélioration, etc) dans ces milieux jouent également un rôle. De plus, avec l'abandon des terres par le bétail et l'homme, la plupart des sites ont perdu une grande partie de leur qualité écologique (Kuiters, Huiskes, 2010). La prédominance de quelques espèces et l'empiétement des broussailles sont devenus des problèmes sérieux. En plus de la perte de biodiversité, d'importantes fonctions écosystémiques des prairies telles que la rétention d'eau et le stockage de carbone ont été endommagées par l'agriculture intensive, ce qui peut entraîner une eutrophisation sévère des écosystèmes proches (Mann, Tischew, 2010). Cette dégradation s'aggrave par le fait que de nombreuses espèces végétales n'ont pas de banque de semences persistante à long terme, dans le sol, nécessaire pour la régénération pionnière d'un milieu perturbé. Le retour d'espèces végétales après une disparition locale n'est alors pas aisé. En outre, la fragmentation des espaces prairiaux peut réduire les opportunités de dispersion, isolant ainsi les milieux et réduisant les échanges génétiques. En conséquence, certaines espèces peuvent disparaître localement en raison des problèmes de reproduction découlant de l'isolement de l'habitat.

La restauration des prairies semi-naturelles en Europe ne peut donc pas reposer uniquement sur la régénération via la banque de graines. Par conséquent, des plans de restauration pour rétablir les prairies riches en espèces sur les anciennes terres sont nécessaires en favorisant la zoochorie pour augmenter la banque de graines de ces milieux et favoriser les échanges génétiques.

La dispersion des graines sur de longues distances est devenue un problème important dans la gestion de la nature, en particulier dans les paysages fragmentés. Comme la plupart des milieux ouverts sont petits, fragmentés et isolés dans des terres agricoles gérées intensivement, la dispersion des espèces végétales est considérée comme l'un des principaux obstacles à leur restauration. La dispersion des graines à grande distance par les grands herbivores pourrait offrir une solution à ce problème. En effet, ils agissent comme vecteurs de dispersion de nombreuses plantes herbacées et graminées par endozoochorie. L'importance de ces vecteurs varie grandement selon l'habitat et le type d'herbivore. La réintroduction du pâturage traditionnel (troupeaux migrants) pourrait aussi améliorer la dispersion des graines. Les attributs de la plante, de l'animal et du paysage doivent être intégrés pour étudier les schémas de dispersion sur le terrain. Cependant, les données de terrain sur l'endozoochorie dans les milieux ouverts sont encore assez rares.

Les animaux ont le potentiel de déplacer des graines sur de grandes distances. Antérieurement, en Europe et en Amérique du Nord, les graines étaient probablement déplacées par les grands ongulés, mais aussi par les lagomorphes (lièvres, rongeurs, etc), comme l'Auroch sauvage (*Bos taurus primigenius*) et le Cerf élaphe (*Cervus elaphus*) en Europe, l'Orignal (*Alces alces*) ou le bison (*Bison*

bison bison) (Middleton et al. 2006). Aujourd'hui, les animaux de pâturage (bétails) sont d'importants propagateurs de graines, mais la réduction du mouvement du bétail à travers le paysage a également entraîné une réduction des graines dispersées de cette manière. Les oiseaux peuvent contribuer à contrer l'isolement et aider à la restauration. D'autres vecteurs de dispersion tels que les vêtements et les véhicules à moteur peuvent également transporter les graines de nombreuses espèces. En Europe, l'homme a un énorme potentiel de dispersion des graines dans les milieux ouverts en termes de graines et d'espèces. Il ne faut pas négliger le potentiel de la vie moderne et de l'agriculture (Kuiters, Huiskes, 2010).

Les graines présentes dans ces milieux doivent avoir une résistance aux dommages chimiques et mécaniques. En effet, la capacité de dispersion des graines endozoochores est proportionnelle à la taille du corps de l'animal. Les grands herbivores devraient avoir le plus grand impact sur la dispersion des graines. Par comparaison avec les petits herbivores, ils consomment beaucoup de nourriture, consomment de grandes quantités de graines de plantes et causent moins de dommages mécaniques lors de la mastication et de la rumination. Cependant, les dommages chimiques peuvent être plus importants lors du passage dans le tube digestif en raison du temps de rétention plus long. Selon la taille de l'animal, le temps de rétention des graines dans les voies digestives de l'animal varie d'un à plusieurs jours, ce qui permet la dispersion des graines sur de longues distances. Les espèces avec de petites graines et/ou des graines qui sont considérées comme relativement persistantes sont généralement sur-représentées dans les excréments de la faune locale. Une plus petite taille de graines implique un temps de rétention plus court pendant la digestion, ce qui augmente le taux de survie et donc le succès de la dispersion des graines endozoochores (Kuiters, Huiskes, 2010).

La zoochorie et la restauration

Un certain nombre de programmes ont été mis au point pour restaurer les divers habitats prairiaux, bien que l'efficacité de ces mesures varie considérablement. Par exemple, les prairies humides, riches en espèces dans les plaines d'inondation, sont au centre de la politique européenne de conservation de la nature (Conseil Européen 1992) (Mann, Tischew, 2010). Cependant, depuis les années 1970, de vastes zones de prairies dans les plaines inondables ont été améliorées, labourées et utilisées pour la culture intensive. Ces tendances ont été observées dans de nombreuses régions d'Europe (Allemagne). Depuis les années 1970, une série de restauration a eu lieu au niveau de l'Europe avec l'enlèvement d'arbustes et d'arbres, de la tonte, de la réintroduction du pâturage extensif, le transfert de foin riche en espèces, etc (Mann, Tischew, 2010). Les programmes s'orientent autour de 3 notions : le potentiel de dispersion, le potentiel de germination et enfin l'action d'ajouter ou de retirer une espèce animale.

Potentiel de dispersion

Il y a un fort potentiel de dispersion des graines à longue distance par endozoochorie pour un large spectre d'espèces végétales, provenant de diverses familles de plantes. Cette dispersion est facilitée par les troupeaux. La réintroduction de pâturage traditionnel par les troupeaux migrateurs améliore la dispersion des graines entre les milieux ouverts fragmentés. Les troupeaux permettent aux

espèces végétales de combler les lacunes dans l'espace et le temps. De nombreuses études évoquent ce point.

Une étude effectuée en Belgique et aux Pays-Bas a permis de mettre en évidence le potentiel de dispersion des moutons dans les prairies calcaires hollandaises (Kuiters, Huiskes, 2010). Le but de cette étude était de déterminer le potentiel des moutons à agir en tant qu'agents de dispersion des plantes via endozoochorie. Pour cela, des échantillons de fumier provenant de moutons ont été prélevés à partir de cinq sites. Le potentiel de germination et l'identité des graines dans les échantillons de fumier ont été déterminés à partir de la germination des plantules dans des conditions de serre. Les caractéristiques des graines viables dans le fumier ont été comparées à celles présentes dans le pool d'espèces locales. Les résultats de cette étude sont les suivants :

- 72 espèces végétales provenant de 23 familles de plantes ont des graines viables ;
- Les familles de plantes rencontrées le plus fréquemment sont : Gramineae et Compositae ;
- L'espèce de plantes la plus abondante et la plus souvent enregistrée est l'*Urtica dioica* (80% du nombre total de graines) ;
- La densité moyenne des graines était de 0,8g-1 matière sèche. Les graines ayant une faible masse et un indice élevé de longévité étaient surreprésentées dans les excréments.

Les moutons sont donc potentiellement des disséminateurs importants d'espèces végétales dans les prairies calcaires hollandaises, bien que les plus petites graines aient été relativement abondantes. Avant de lancer des programmes de restauration à grande échelle dans les champs abandonnés, des études préliminaires sur le terrain sont fortement recommandées (Kuiters, Huiskes, 2010).

Potentiel de germination

La connaissance de la dispersion des graines peut être utilisée pour maintenir et restaurer la biodiversité dans des paysages fragmentés. En Espagne et en Belgique, des études ont été menées sur la relation entre la zoochorie et la richesse d'un milieu pour de futures restaurations.

La première portait sur les effets de l'application du fumier sur la richesse spécifique et en particulier sur la réintroduction d'espèces perdues après un abandon (Traba et al., 2003). A l'aide de quadrats témoins et de quadrats avec des semis d'excréments, suivis pendant 3 ans, 115 espèces différentes ont été récoltées sur les quadrats témoins et 105 dont 15 rares sur les quadrats semés. De plus, une expérience en serre a été réalisée pour déterminer les graines viables. Pour finir, la richesse spécifique entre les échantillons ensemencés et témoins a été comparée via une analyse de variance. Une augmentation significative de la richesse spécifique à petite échelle a pu être observée. Cette augmentation est principalement due au traitement appliqué. La richesse et la composition floristiques diminuent avec le temps. Ce traitement est alors utile pour la restauration de la richesse en espèces dans les pâturages abandonnés, bien que des mesures supplémentaires soient nécessaires (Traba et al., 2003).

En Belgique, l'étude portait sur les effets du dépôt de fumier sur le nombre de semis dans une communauté végétale, 3 mois et 1 an après celui-ci, mais aussi sur la différence d'abondance entre les espèces monocotylédones et les espèces dicotylédones et entre les prairies gazonnées et les prairies non perturbées (D'Hondt et al., 2012). En fait, il s'agissait d'analyser les conséquences du dépôt de fumier sur les caractéristiques de la communauté végétale locale (couverture, richesse spécifique, diversité). L'expérience a été réalisée sur une zone de 61 ha pâturée en moyenne par 5 bovins Highland

écossais et 19 poneys Shetland. Dès le début de l'expérience, une partie de ce site a été exclue du pâturage des grands herbivores. Des graines viables de monocotylédones étaient abondamment présentes dans les excréments après 3 mois. Cependant, cet effet n'était plus significatif après 1 an. Un plus petit nombre de dicotylédones était dispersé dans le fumier, mais leur couverture et leur richesse en espèces étaient plus élevées après un an (D'Hondt et al., 2012).

L'augmentation de la germination des graines et de l'établissement des semis après le dépôt de fumier affectera la composition et la structure de la communauté végétale locale en augmentant la richesse des espèces. Le nombre d'espèces monocotylédones et dicotylédones est plus élevé dans les parcelles perturbées que dans les parcelles non perturbées. Étant donné que le développement a fragmenté les paysages et que cette situation ne devrait pas changer, la dispersion des semences pourrait être améliorée en déplaçant le foin ou le bétail vers les sites endommagés.

Ajouts/ retrait d'une espèce animal

Le pâturage des grands herbivores s'avère efficace pour convertir d'anciennes terres en prairies riches en espèces. Néanmoins, plusieurs facteurs importants doivent être pris en considération.

En Allemagne, des expériences sur les prairies humides dans les plaines inondables ont été effectuées (Mann, Tischew, 2010). Deux questions ont pu être posées lors de cette étude :

- Est-il nécessaire d'accélérer le développement de la végétation en transférant des espèces et comment l'ensemencement des mélanges commerciaux de semences affecte-t-il la colonisation des espèces cibles ?
- Y a-t-il des preuves que le pâturage soutienne la colonisation des espèces cibles sur les anciennes terres arables ?

Pour cela, la plupart des terres en jachère a été clôturée en même temps que de vieux pâturages ou des prairies déjà aménagées et laissées à la récupération naturelle. Les agriculteurs locaux ont appliqué un régime de pâturage toute l'année sans alimentation supplémentaire et avec une faible densité de peuplement de 3 à 6 animaux pour 10 ha. Sur les anciennes terres, le pâturage des grands herbivores sans alimentation supplémentaire est possible et conduit à un développement successif de communautés de prairies typiques à faible statut nutritionnel. L'intégration des vieux pâturages dans le système de pâturage favorise la colonisation des espèces indigènes dans les prairies. Le transfert de foin riche en espèces accélère le taux de colonisation de plusieurs espèces de prairies (Mann, Tischew, 2010).

L'évaluation des conséquences de la dispersion interne des graines par les grands herbivores en liberté, l'enregistrement des densités de graines viables dans des échantillons de bovins, de moutons et de poneys ainsi que la surveillance de la colonisation des excréments sur le terrain ont pu être analysés aux Pays-Bas (Mouissi et al., 2005). Les trois espèces d'herbivores (bovin, mouton et poney) dispersent de grandes quantités d'espèces diverses provenant d'une variété de familles de plantes, de monocotylédones et de dicotylédones. La densité des graines viables dans les excréments d'herbivores et la colonisation des crottins sont positivement corrélées avec les valeurs d'indicateur d'azote d'Ellenberg et l'approvisionnement en graines, mais pas avec la masse ou la forme des graines. Pour les sites de restauration de cet habitat, le pâturage, intégré avec les communautés végétales ciblées sur des sols pauvres en nutriments, est recommandé (Mouissi et al., 2005).

III. Les écosystèmes forestiers

Importance de la zoochorie

Les milieux forestiers abritent un grand nombre d'espèces végétales et animales qui ont des interactions complexes entre elles. Les forêts sont des milieux indispensables pour les services écologiques qu'ils rendent mais sont aussi les milieux les plus perturbés. En raison de la dégradation continue des forêts, pour leur exploitation par exemple, ces milieux font l'objet d'opérations de restaurations importantes.

Dans ces milieux, plusieurs facteurs interviennent dans les mécanismes de régénération tels que la structure, la nature et le système de drainage du sol de la forêt. Les facteurs climatiques, les autres modes de disséminations et la prédation des graines jouent aussi un rôle important. Les taux de reconstitution des forêts sont plus lents que ceux des milieux prairiaux en raison de la complexité des relations entre les espèces et la difficulté des espèces arborées à s'implanter et à croître sans interférence.

Dans les forêts, le cas d'étude le plus répandu est l'observation de leur régénération dans les espaces fragmentés compte tenu de la complexité du milieu à restaurer (difficulté à reboiser naturellement des espaces). Dans ces zones, le vent peut apporter des graines, mais elles proviennent en majorité d'arbres en lisière de forêt mature. Il y a donc peu de diversité dans les espèces. De plus, il est probable qu'il s'agisse d'espèces pionnières (graines de petite taille) du fait de la simplicité de leur dispersion. La dispersion d'espèces pionnières est essentielle, dans un premier temps, pour favoriser la régénération de la forêt, mais peut également être un frein au rétablissement d'espèces arborées. C'est pour cela que la zoochorie est un processus important pour garantir l'apport de semences arborées (graines de plus grande taille). Il est souvent observé un assemblage d'espèces végétales similaires aux habitats voisins matures dû à la cohabitation entre les espèces animales et végétales (spéciation étroite). Cette méthode de dispersion est l'étape la plus importante pour la régénération des écosystèmes, puisque en général, il y a peu de problèmes de pollinisation. En outre, la zoochorie, contrairement à l'anémochorie, ne s'opère pas au hasard, elle a donc une plus grande efficacité de dissémination même si elle est dépendante des comportements des animaux. En effet, les animaux se déplacent peu entre les zones fragmentées et donc ne déplacent pas de semences végétales, car ces milieux sont peu accueillants. Il est nécessaire également de différencier les forêts fragmentées protégées qui arrivent à se rétablir plus facilement que celles exploitées par les citoyens. Ceci est dû à l'utilisation qu'en font les citoyens et l'introduction animale qu'ils peuvent y faire (bétail pour le pâturage). Il faut donc protéger les forêts fragmentées pour favoriser leur restauration et préserver leur valeur de conservation et leur viabilité à long terme. (Chapman, 2003)

Dans les écosystèmes forestiers, la grande majorité des graines disséminées a des diaspores charnues et est dispersée par endozoochorie. D'autres semences végétales sont plus adaptées à l'épizoochorie et sont disséminées par les mammifères ou les insectes (Scott, 2017). Pour observer les

phénomènes de disséminations par les animaux ce sont, leurs déjections (endozoochorie), leur pelage ou encore le taux de disparition de graines d'un site choisi (épizoochorie) qui peuvent être examinés.

Dans les milieux forestiers tropicaux, il a été identifié plusieurs espèces favorisant la zoochorie. Ce sont essentiellement les chauves-souris, les oiseaux et les primates, mais aussi le bétail, les fourmis ou encore les bousiers. Les bonobos (*pan paniscus*), par exemple, sont des vecteurs de dispersion de graines qui affectent la structure et la dynamique de leur milieu (Cosyns et al. 2006). Ils sont caractérisés comme les jardiniers de la forêt par leur action, mais aussi par le fait qu'il n'existe pas de chevauchement fonctionnel avec d'autres frugivores. Pour les oiseaux, la taille des graines disséminées dépend de la taille d'ouverture de leur bec. Pour chaque type de fruit zoochore, il existe un groupe plus ou moins diversifié d'animaux frugivores. Les graines de grande taille sont plutôt consommées par les primates alors que les fourmis récoltent des graines non-charnues.

L'épizoochorie dans les milieux forestiers se produit lorsque des animaux viennent se frotter contre les arbres, se déplacent dans les broussailles ou encore s'alimentent, accrochant ainsi les graines présentes à ces endroits. Beaucoup d'espèces végétales s'accrochent au pelage de l'animal. Elles sont alors transportées sur des grandes distances et peuvent atteindre des zones fragmentées. La distance de dissémination d'une graine épizochore est souvent déterminée par les habitudes de pansage des espèces animales (Scott, 2017). Les insectes déplacent également les graines sèches pour faire des réserves. Ici, on parle plutôt de dyszoochorie. Cela permet aux graines d'être déplacés dans des zones où la prédation est moins forte et de se développer plus facilement (Chapman, 2003).

Dans les espaces fragmentés, la zoochorie est essentielle pour faire transiter les graines sur des distances qu'elles ne peuvent pas parcourir par d'autres modes de dispersion (anémochorie, barochorie, etc). Les animaux tels que les buffles, qui utilisent autant la forêt que les champs (fragmentation provoquée par la perturbation humaine), contribuent amplement à la banque de graine du sol (Karlowski, 2006). Les oiseaux, eux, sont essentiels pour atteindre les couronnes supérieures des arbres et donc disséminer les graines des grandes espèces boisées. L'influence des chauves-souris et des oiseaux sur les processus successifs secondaires sont fondamentaux pour l'établissement de la végétation arborée (Karlowski, 2006).

La zoochorie et la restauration

Les différentes études qui portent sur la restauration de milieux perturbés, mettent en avant des méthodes testées pour favoriser le retour des espèces animales et végétales. Il existe encore aujourd'hui peu de cas différents qui montrent des résultats convaincants de restauration. Cela peut s'expliquer par la complexité des milieux et donc la quantité de temps investit pour comprendre son fonctionnement pour pouvoir mettre en place d'une méthode de restauration efficace. Cependant, il est possible d'évoquer quelques méthodes qui montrent des résultats favorables.

Potentiel de dispersion

Une étude effectuée en Afrique, qui compare la dissémination de graines par les bousiers dans la région des lacs de cratères (espace fragmenté) et la forêt continue du parc national de Kibale en Ouganda, permet d'observer l'impact de la dispersion épizochore (Chapman et al., 2003). Les bousiers remplissent un rôle majeur dans le déplacement des graines qui leur permet de survivre à la

prédation des rongeurs. Il a été analysé que le taux de déplacement des graines est plus faible dans les espaces fragmentés que dans la forêt continue, dans la mesure où un plus grand nombre de bousiers sont présents dans les milieux continus et qu'ils s'y déplacent plus facilement que dans les milieux fragmentés. La dispersion épizoochore est plus faible dans les espaces fragmentés en raison de l'absence d'espèces la favorisant. La dispersion endozoochore, quant à elle, persiste par le déplacement d'espèces animales moins sensibles à la fragmentation des espaces (chimpanzés- *Pan troglodytes*, Calao à joues grises- *Ceratogymna subcylindricus*). Du fait qu'elles se déplacent sur de plus grandes distances, elles ne sont donc pas impactées par l'absence de nourriture dans les espaces fragmentés (Chapman et al., 2003). Dans les études sur l'endozoochorie, plusieurs méthodes sont utilisées pour identifier les défécations des différentes espèces qui concernent soit la capture de l'animal dans un sac ou dans un filet, soit la récolte des défécations en fonction de la journée (chauves-souris / oiseaux) ou encore en fonction de lieux spécifiques de concentration des animaux (perchoirs, lieu de repos).

Une étude en Afrique du Sud dans la réserve naturelle de Tygeberg et Mooiplaas Wine Estate sur les basses-terres du Cap, a permis d'observer le potentiel de restauration d'une végétation renosterveld par favorisation de la zoochorie (Heelemann et al., 2012). L'expérience testait l'effet des perchoirs d'oiseaux artificiels et leur potentiel à améliorer la dispersion des diaspores par les oiseaux frugivores dans des communautés de terrain abandonnées. Cette expérience a été réalisée sur deux terrains, chacun comprenant 10 perchoirs et pièges à graines érigés dans des champs agricoles abandonnés, ainsi que 10 pièges de contrôle sans perchoir. Un an plus tard et avant la saison suivante de fructification, les pièges ont été enlevés et les deux quarts de la zone en dessous de chaque perche ont été débarrassés des herbes exotiques afin d'étudier l'établissement des semis dans la végétation et les sites sans compétition. Les résultats ont montré une augmentation significative de la dispersion des graines sur les sites de perchoir. Cependant, au cours de la saison suivante de fructification, et après l'enlèvement des perchoirs, la dispersion des graines et leur établissement dans les champs abandonnés ont diminué, voir échoué. L'augmentation de la dispersion de graines ne garantit pas l'augmentation de la germination des graines du fait des conditions d'établissement peu favorable (sol, apport, en eau, compétition, manque de plante nourricière) (Heelemann et al., 2012).

D'autres études ont mis en place des perchoirs artificiels sur des espaces fragmentés. Il a été remarqué qu'il y avait une abondance plus importante de graines et de diversité sous les perchoirs en raison de la facilitation de l'accès aux espèces zoochores à ces milieux. Deux types de perchoirs ont été testés, un en forme de branche et un en forme de barre transversale. Les perchoirs de type branche d'apparence plus naturelle reçoivent un plus grand nombre de visites d'oiseaux ceci augmente le nombre de graines au sol. Le phénomène de dispersion augmente si les forêts aux alentours produisent une grande quantité de fruits. Il reste constant tant que les perchoirs sont présents. Ceci permet une augmentation de la croissance de semis sur des espaces perturbés. Il a été démontré que les appâts ajoutés aux perchoirs ne favorisent pas la visite d'oiseaux (Holl, 1998).

L'installation de perchoirs artificiels permet d'augmenter la quantité de graines disséminées dans un milieu perturbé, car ils attirent les oiseaux dans ces zones. Certaines études montrent que le nombre de graines éparpillées est 118 fois supérieur sous les perchoirs. Ils servent de structure de catalyse à l'avifaune zoochore.

Pour déterminer l'évolution de la régénération d'une parcelle forestière, un suivi régulier est nécessaire. Pour cela, il faut déterminer des parcelles fixes d'étude dont l'âge est connu. La méthode

du point quadra est très souvent utilisée (Tomazi et Castellani, 2016). Afin de définir quelles forêts sont aptes à bénéficier d'un projet de restauration, il faut déterminer leur potentiel végétatif et séminal édaphique. Ces paramètres renseignent sur le potentiel de régénération de la forêt avant la coupe ou le chablis. Pour le potentiel végétatif, il faut déterminer des parcelles d'études, choisir des espèces végétales d'intérêt, diviser les parcelles et faire un inventaire des plantules existantes. La méthode de matrice spatiale d'autocorrélation (analyse statistique) est principalement utilisée. Pour déterminer le potentiel séminal édaphique, il faut prendre les mêmes parcelles définies pour le potentiel végétatif, faire un échantillonnage des graines de ces parcelles et les mettre en germination. Ensuite, il est possible de tester les meilleures combinaisons de plantation afin de déterminer celles qui permettent une restauration plus efficace et plus rapide (Julliot, 1992).

Potentiel de germination

Les chercheurs se sont intéressés au potentiel de germination d'une graine qui est passée par les intestins d'un animal. Pour étudier l'impact de l'endozoochorie sur la germination des graines, il est nécessaire d'étudier le taux de germination des graines après passage dans l'animal ainsi que le délai de germination. Pour cela l'étude de graines de contrôle (n'ayant pas transité par voies intestinales) et de graines test (récupéré dans les défécations) germées in vitro et ex vitro est faite pour déterminer l'effet de l'endozoochorie. Il est remarqué que les graines ayant suivi un processus de digestion germent plus facilement et ont un taux plus faible de mortalité que les autres.

Deux études dans la forêt tropicale de Guyane ont mis en avant l'impact du transit intestinal sur la germination des graines. Différentes espèces animales ont été suivies, mais ce sont plus particulièrement les singes hurleurs roux (*alouatta seniculus*) qui ont été étudiés (Julliot et Huignard, 1992). Des tests de germination ont été effectués, à partir de graines récupérées dans les fèces et de graines témoins non ingérées qui ont été plantées dans des pots en lisière de forêt. Afin d'éviter l'action de prédateurs et de réduire l'ensoleillement ou l'apport extérieur de graines, ces pots ont été placés à 1 mètre du sol et sous une ombrière. Grâce à la mesure du taux et du délai de germination sur les 2 types de graines, il a été démontré que la germination est majoritairement facilitée par le transit digestif. De plus, les singes hurleurs roux défèquent sur une zone restreinte (dortoirs), ce qui favorise l'agrégation de graines permettant une restauration plus efficace. Leur impact sur la régénération d'une forêt est essentiel, car 95,6% des espèces végétales exploitées pour leurs fruits mûrs sont disséminées par eux, ce qui représente 1/3 des espèces zoochores de la canopée et de la sous-canopée (Julliot et Huignard, 1992). Une autre étude dans la forêt tropicale du Congo, met en avant l'importance des bonobos dans la dissémination de graines et leur germination (Beaune et al., 2013). Il a été observé que les graines, qui sont passées par les voies intestinales de cette espèce, germant plus rapidement, ont un taux élevé de succès et un plus grand taux de survie post-dispersion que les graines recrachées ou non consommées. La présence des bonobos est vitale car ils affectent 40% des espèces d'arbres et 65% des arbres individuels. Il faut donc les prendre en compte dans les projets de restauration.

Il est ainsi mis en évidence que l'endozoochorie permet de maintenir le pouvoir germinatif d'une graine plus longtemps que pour les graines de la même espèce non ingérées. Par ailleurs, pour chaque type de fruit zoochore, il existe un groupe plus ou moins diversifié d'animaux frugivores (Beaune et al., 2013).

Ajouts/ retrait d'une espèce animal

Les espaces fragmentés de forêt sont issus de la déforestation et de l'utilisation des terres comme champ d'agriculture ou de pâturage. Dans certains cas, il est nécessaire de retirer la présence de certaines espèces animales pour favoriser le rétablissement de la forêt.

Une étude sur la côte pacifique du Panama a montré l'influence du retrait du bétail dans des espaces fragmentés d'écosystème tropical sec (Griscom et al., 2009). La mesure de la densité du branchage et de la diversité des plantes a été effectuée pour analyser l'impact du bétail sur le milieu. L'exclusion de ces espèces a eu un effet bénéfique pour la restauration de la strate arborée, en diminuant les perturbations comme le piétinement, la consommation de la végétation, la compaction du sol ou encore la baisse en quantité d'eau et de nutriments. Cependant, d'autres études montrent l'effet bénéfique du bétail sur la dissémination épizoochore des graines avec le retrait de compétition des plantes arborées contre les plantes herbacées. Le fumier, qui crée un microclimat favorable à la germination des graines, est un atout supplémentaire. Il est alors conseillé d'avoir une densité de bétail faible sur les sites de restauration pour favoriser la dissémination sans que les bêtes n'aient un impact négatif trop important sur les semis en croissance (Griscom et al., 2009).

Dans d'autres cas, l'ajout d'espèces animales est bénéfique au milieu. Comme il a été évoqué plus haut, l'installation de perchoirs artificiels permet d'attirer les espèces animales telles que les oiseaux qui vont avoir un impact positif important sur la régénération du milieu forestier.

IV. Discussion

Les milieux prairiaux

La restauration des milieux ouverts via la zoochorie dépend de nombreux facteurs : qualité/caractéristique du sol, de la nappe phréatique, des conditions hydrologique, météorologique, ... mais les contraintes existantes sont importantes. En effet, le niveau de fertilité du sol, la limitation des propagules, l'absence d'espèces clefs et les régimes de fauche ou de pâturage inappropriés sont des freins à cette pratique.

Le problème majeur dans la restauration des milieux prairiaux réside dans le fait que certaines espèces clefs ont non seulement une capacité de dispersion limitée, mais également que leurs graines peuvent avoir des exigences de germination très restrictives, non satisfaites par l'environnement dans le site de restauration. Par exemple, pour les tourbières, le *Carex stricta* ne se disperse pas, et germe difficilement, alors que son établissement est essentiel pour la restauration, car l'espèce forme des touffes qui déterminent la structure de la zone humide (Middleton et al. 2006).

C'est le manque de dispersion des graines ainsi qu'un environnement de régénération inapproprié qui peuvent nuire au succès de la restauration. La zoochorie est un facteur important de la restauration. Cependant, il n'est pas le seul et s'il l'était, serait-ce viable ?

De nombreuses espèces végétales des prairies ne constituent pas la banque de semences dans le sol et ne peuvent pas survivre à long terme pour permettre une bonne régénération. Après la disparition d'un milieu, il n'est pas facile pour ces espèces de réintégrer le site (Kuiters et Huiskes, 2010). De plus, chez les populations de végétaux menacés, la consanguinité et la dérive génétique sont courantes, de sorte qu'en général, la variabilité génétique est plus élevée dans les grandes populations (Middleton et al. 2006). A contrario, certaines espèces demeurent dans les banques de graines pendant plusieurs décennies après le retrait des pâturages (Middleton et al. 2006). Les graines de certaines espèces ont une longue durée de vie et des épisodes fréquents de dispersion ne sont alors pas toujours nécessaires pour maintenir la biodiversité (Middleton et al. 2006).

La restauration prairial est limitée par le potentiel de dispersion des graines dans la mesure où la fragmentation peut entraver la capacité des graines à se disperser entre les zones naturelles et donc se mélanger. En outre, les populations fragmentées peuvent avoir un approvisionnement réduit en graines parce qu'elles souffrent d'effets de bord, menant à un succès reproducteur plus faible ou à un appauvrissement génétique en raison d'une réduction des échanges de graines et de pollen entre les populations. De plus, la dispersion des graines endozoochores peut constituer une menace potentielle pour les communautés riches en espèces en aidant à la propagation de rudérales envahissantes telles que *U. dioica*. Il y a donc une menace possible en raison de l'invasion de mauvaises herbes, d'herbacés ou d'espèces exotiques. (Kuiters et Huiskes, 2010)

Les mégaherbivores créent un paysage multifonctionnel. Ils augmentent la diversité biologique et structurelle des plantes, leur régime de pâturage extensif soutient la fixation du carbone et la

formation des sols. Le transfert de foin et un roulement de prairies en pâturage extensif sont évidemment les méthodes les plus appliquées pour améliorer le transfert d'espèces dans des projets de restauration, ce qui conduit à une dissémination élevée et au développement de communautés végétales riches en espèces cibles. (Mann et Tischew, 2010)

Par ailleurs, un projet de restauration a un coût, souvent très élevé. Par exemple, l'enlèvement de la terre végétale et/ou le transfert de foin riche en espèces représente des financements importants (Mann et Tischew, 2010). La mise en œuvre de ces projets qui s'étendent sur plusieurs dizaines d'années, n'est jamais réellement finie. Il faut retourner régulièrement sur les lieux de la restauration pour effectuer des vérifications, des relevés, ... ce qui induit des coûts supplémentaires de gestion.

Les milieux forestiers

Même si la restauration par zoochorie est un moyen d'aider un écosystème à se rétablir, il existe un certain nombre de problèmes et d'obstacles à la mise en place de projets. De ces analyses, plusieurs points ont pu être dégagés.

La zoochorie est un élément important dans les mécanismes de la régénération forestière après coupe. Par exemple, 70% à 90% des plantes à fruit dépendent des animaux pour disperser leurs graines dans les forêts tropicales. En effet, elle permet d'enrichir la banque de graines du sol, cruciale au début d'une régénération, grâce aux rejets des animaux. Cependant, cette banque de graines diminue avec la progression de la succession et l'enrichissement du milieu dépend de différents facteurs :

- l'apport de graines par les espèces zoochores (apport de graines de systèmes plus mature);
- la propagation de la végétation ;
- les pluies de graines.

Un autre paramètre limitant est la gestion de la forêt dont la régénération peut être limitée, si elle est aménagée par une action intensive de broutage ou un épandage trop important de graines. La protection des plantes des pousseurs est importante pour permettre leur croissance, mais si la quantité de pousseurs est trop faible il y a une diminution importante du vecteur animal pour la dispersion des graines. Il faut donc doser l'apport d'animaux brouteurs / pousseurs sur les espaces à restaurer pour permettre une bonne régénération de la forêt. Pour une gestion durable et un rétablissement optimal, il faut définir un taux de stockage, d'apport de graines et de couverture par les arbustes sur le milieu. De plus, les sites à restaurer doivent être protégés de toute dégradation humaine et faire l'objet d'une protection spécifique, visant à protéger les nombreux fragments de forêt utilisés pour leur exploitation.

Sur des sites perturbés protégés, il a été remarqué que les espèces pionnières réapparaissent plus rapidement lorsque des espèces animales zoochores sont présentes. La dissémination des graines dépend des comportements animaliers. La dissémination peut alors être limitée à une aire (exemple celle des singes hurleurs roux), ce qui peut représenter un obstacle à la restauration d'un écosystème forestier. Dans les espaces fragmentés, ce phénomène est amplifié dans la mesure où les espèces se déplacent peu dans ces zones, qui offrent peu de ressources et peu de couverture contre d'éventuels dangers. L'objectif est alors de faciliter le déplacement des espèces dans ces milieux pour permettre une restauration efficace du milieu forestier. D'autre part, la faune zoochore possède plusieurs modes de dissémination, contribuant à l'augmentation de l'hétérogénéité spatiale du potentiel de régénération

et impactant les futures structures floristiques. De même, dans les forêts, les différentes espèces se nourrissent dans des strates différentes de la canopée et très souvent le taux de recouvrement des espèces végétales qu'ils disséminent est faible. Il faut donc considérer le rôle de chaque espèce dans l'enrichissement du milieu forestier. D'autres animaux frugivores (Callitrichidae) contribuent également à l'homogénéité du peuplement forestier en redistribuant plus largement les graines.

Différents types de boisement artificiel (par l'homme) ont été expérimentés pour connaître leur impact sur la restauration des milieux forestiers et sur la dissémination par zoochorie. La mise en place initiale d'une forêt plantée avec une distribution homogène des plantes zoochores permet une chute de graines spatialement homogène. Ceci augmente les chances de survie et l'établissement réussi de graines. Le repeuplement d'espèces végétales est une stratégie conservative permettant de maximiser l'attraction du lieu pour les zoochores communs aux sites de restauration tropicale. Il faut cependant prendre en compte que les espèces végétales doivent être d'essences différentes et que certains animaux zoochores sont plus ou moins attirés par des arbres spécifiques.

La méthode qui consiste à installer des perchoirs artificiels a été également testée sur des milieux ayant subi un glissement de terrain. Elle n'a pas eu d'impact majeur en raison du faible apport en graines d'espèces boisées. Ce résultat peut aussi être dû à la faible présence de ces espèces matures aux alentours, ce qui impacte de manière significative les résultats. L'apport de graines d'espèces boisées est une étape critique dans l'accélération de la restauration de glissement de terrain, qui nécessite de prévoir d'autres techniques de restauration dans ces milieux. Même si les perchoirs artificiels augmentent la dispersion des graines en attirant de l'avifaune, cela ne dépasse pas certains problèmes de la régénération de la forêt tels que la prédation des graines et la faible quantité de germination.

Finalement, la restauration par zoochorie est un facteur parmi d'autres qui permet de faciliter la restauration d'un écosystème, mais ne doit pas être le seul pris en compte. La qualité des autres paramètres tels que l'humidité du sol, l'apport en eau, la quantité de soleil et la qualité du lieu doivent être également considérés. En effet, la qualité d'accueil des lieux dégradés peut varier. Les conditions physiques sont dures durant la succession primaire et il y a une forte prédation, ce qui réduit le succès d'établissement des plantes. De plus, l'absence de plantes nourricières et la compétition peuvent influencer le potentiel de germination de certaines espèces végétales. Dans les forêts fragmentées, la perturbation des relations écologiques est importante et peut provoquer des cascades d'extinction, même si des espèces peuvent survivre dans des espaces perturbés.

De même, pour permettre une restauration complète, il est important d'avoir une diversité d'espèces zoochores afin d'avoir un apport de graines diversifié. Il est donc crucial de connaître quelles sont les espèces présentes dans l'écosystème et quelles graines elles dispersent pour pouvoir définir une stratégie de restauration adaptée. Il faut se demander alors quels arbres doivent être plantés pour attirer telle ou telle espèce ? Quelle forme donner aux plantations ? Quelle typologie d'arbre est nécessaire (hauteur et densité) ? Chaque stratégie est adaptée à son écosystème.

Comme il a pu être évoqué précédemment, la restauration par zoochorie est un processus indispensable pour la régénération et au maintien de milieux. Pour opérer au mieux, il apparaît donc essentiel de procéder à une analyse complète du milieu et des interactions qui y prennent place. Un des

points mis en avant est la prise en compte de la conservation des espèces clefs zoochores dans les stratégies de conservation. Cependant, à travers les différentes méthodes mises en place, un point important est mis en avant : la zoochorie, présente dans les milieux perturbés, n'est pas suffisante pour restaurer à elle seule ces milieux. En effet, de nombreux autres acteurs entrent en compte comme les conditions abiotiques du milieu perturbé, les autres modes de dispersions, etc. La faune endémique d'un milieu perturbé, devenu peu accueillant pour elle, n'est pas capable de revenir par ces propres moyens dans celui-ci. Il est alors nécessaire d'attirer les espèces dans ces espaces, afin d'avoir une diversité de plante importante et une régénération efficace de la forêt.

Conclusion

Les écosystèmes planétaires sont des lieux essentiels qui rendent de nombreux services à la terre (absorption de CO₂, production de matière première, relâchement d'oxygène, etc). Hors, ces milieux sont pour la plupart dégradés ou en voie de disparation en raison de l'impact de l'homme. Il est donc nécessaire de les conserver, de les protéger et pour les plus perturbés de les restaurer. La restauration des milieux est un processus qui requiert de nombreuses actions telle que l'étude de leur fonctionnement écosystémique, de la faune et de la flore les composant, de la mise en place d'une méthode de restauration et par la suite de la mise en œuvre d'une gestion durable du système. Ces éléments requièrent un engagement durable pendant de longues années, qui peut se révéler très coûteux d'autant plus s'il est indispensable de les substituer entièrement aux processus naturels. La plupart des projets de restauration des paysages prairiaux et forestiers dégradés demandent au minimum une décennie pour produire des résultats durables.

L'organisation de Fonds Mondial pour la Nature (WWF, 2017) définit que pour restaurer une forêt dégradée, il faut faire appel à :

- une analyse écologique fine de l'état de dégradation des qualités de l'écosystème forestier ;
- une analyse des services dont les populations ont besoin ;
- la définition d'un engagement d'un ensemble d'acteurs et d'objectifs à long terme.

L'appel à diverses techniques, comme la régénération naturelle et en dernier recours à la plantation, mais aussi des techniques agricoles notamment pour stopper ou atténuer les pressions qui ont causé la dégradation des milieux, sont mises en place pour restaurer un milieu.

Dans la restauration d'un écosystème, la dispersion par les mammifères joue un rôle tout à fait significatif dans la distribution des espèces végétales. Dans beaucoup de cas, les capacités de dispersion temporelle (banque de graines) et spatiale (pluie de graines) ne suffisent pas à restaurer complètement le cortège floristique après plusieurs années. Il est alors nécessaire de favoriser le déplacement des espèces animales sur les milieux perturbés puisqu'elles agissent comme vecteur de dissémination de graines. Elles sont également source de nutrition pour les sols (excrément) ; elles permettent notamment de retirer de la compétition les espèces herbacées parfois invasives (passeurs/brouleurs) et de créer des paysages multifonctionnels (mégaherbivores).

Afin de mieux comprendre comment fonctionne un écosystème perturbé et de proposer une méthode de restauration efficace, plusieurs recherches se sont intéressées au comportement des animaux dans ces milieux. Que ce soit dans les milieux prairiaux ou forestiers, il est possible de définir des méthodes privilégiées pour améliorer la zoochorie.

Une première méthode pour améliorer la disponibilité en graines sur un site est d'adopter un système de gestion par pâturage itinérant ou tournant. Ceci permet de diminuer l'impact négatif du bétail (compactage du sol, destruction des semences végétales en croissance, etc) sur le milieu tout en gardant les impacts positifs (dissémination de graines diverses). Les animaux sont capables de transporter un nombre très important de graines dans leur pelage (épizoochorie) ou leur tube digestif

(endozoochorie). Dès lors, dans un système de restauration, où les animaux passent alternativement des écosystèmes matures à des écosystèmes à restaurer, un grand nombre de graines d'espèces caractéristiques peut être transporté en provenance de populations-sources relativement éloignées. Pour ces raisons, la zoochorie a souvent été considérée comme un outil important pour la restauration du cortège floristique des milieux ouverts et / ou fermés. Dans un ordre d'idée similaire, quoique bien moins étudiées, les activités humaines de gestion ou de loisirs peuvent être aussi responsables de la dispersion d'espèces typiques de ces milieux.

Une deuxième méthode pour favoriser la restauration d'un habitat, est d'attirer les espèces animales dans les milieux perturbés. Le seul exemple évoqué dans les recherches est celui des perchoirs artificiels qui favorisent le retour des oiseaux. Ce procédé permet d'augmenter l'apport en graines extérieures au site, ce qui diversifie et augmente la banque de graines du sol, en proposant des espaces d'abris / repos où les oiseaux peuvent se percher.

Une troisième méthode est l'apport extérieur de fumier sur des sites perturbés. Cette expérience montre l'impact important des fumiers, car ils ont permis la croissance de semences qui étaient présentes dans les excréments. Il serait donc possible, sur des sites difficiles d'accès où l'introduction animale est compliquée, de faciliter la restauration par apport extérieur.

Les études sur la restauration d'écosystèmes par zoochorie sont, au final, peu diversifiées et traitent en majorité des relations entre la faune sauvage et le milieu qu'elle habite. Peu de méthodes sont mises en place pour favoriser la régénération d'un écosystème par zoochorie. Les quelques exemples cités sont les plus pertinents et ceux qui correspondaient le plus au sujet. Ce défaut d'information et d'expérimentations peut s'expliquer par la difficulté de la mise en place de restauration dans les écosystèmes perturbés. Des étapes préliminaires telles que l'analyse des relations écosystémiques sont essentielles pour comprendre le fonctionnement du milieu et, par la suite, proposer une méthode de restauration, étape qui requiert un temps de recherche long, voir sur plusieurs années, si l'on souhaite proposer une restauration durable.

Cependant, les questionnements évoqués dans l'introduction trouvent une réponse dans l'existence des relations entre le transport des graines par la faune sauvage et la restauration des écosystèmes. La dispersion des graines par zoochorie peut être utilisée pour maintenir ou restaurer les écosystèmes.

Au final, les réponses apportées se prolongent sur de nouvelles interrogations. L'homme a-t-il un réel impact sur la restauration des écosystèmes par la facilitation de la zoochorie ? Comment peut-on mettre en place d'autres méthodes de restauration par zoochorie ? La dispersion zoochore permet-elle de recréer un écosystème identique au précédent ? Existe-t-il une évolution du comportement animal et végétal suite à une perturbation ? Dans l'affirmative, l'écosystème reviendra-t-il à son état initial ou au contraire se différencier ?

Lexique

Climax

Stade théorique ultime de l'évolution d'une communauté végétale livrée à elle-même. La présence de perturbations naturelles, variables en fréquence, étendue et intensité, induit des rajeunissements et des évolutions différentes de point en point. De ce fait, le climax est la somme des étapes de ces diverses successions. Il tire de cette complexité une partie de sa diversité floristique et ne peut être considéré qu'à une échelle très grande.

Dyszoochorie

Correspond au transport des graines qui ont des substances de réserves à offrir aux animaux, et qui sont oubliées ou perdues.

Endozoochorie

Graines sont ingérées par les animaux et rejetées. On peut distinguer deux sous cas :

- l'ornithocorie quand il s'agit d'oiseaux;
- la mammaliothorie quand il s'agit de mammifères.

Elles transitent le long du système digestif en résistant aux sucs et sont disséminées, intactes, dans les déjections de l'animal. Certaines plantes nécessitent que les sucs digestifs des animaux ramollissent les coques dures de leurs graines pour germer.

Epizoochorie

Le transport se fait par les poils ou les plumes des animaux. Ses graines peuvent s'accrocher en utilisant des épines, des harpons... Les animaux sont dans ce cas passifs et participent donc involontairement au transport des graines.

Héliophile

Qui aime le soleil.

Pionnière

Espèce qui initie la succession. Terme utilisé ici pour les arbres qui occupent en premier les sols récemment dénudés. Grâce à leur dormance, les pionnières ne germent que dans les trouées. La plupart ont une vie brève, une faible stature et une croissance très rapide.

Potentiel végétatif

Arbres ou plantules capables de donner des rejets après être tombés au sol. Les graines de ces espèces sont sensibles au dessèchement et ne germent qu'en sous-bois (humidité élevée, luminosité faible).

Potentiel séminal édaphique

Espèces dont les graines restent en dormance dans le sol et constituent la banque de graines du sol (espèce pionnières héliophiles).

Potentiel advectif

Graines apportées de la forêt avoisinante par les disséminations.

Recrû

Ensemble des **rejets** et **drageons** apparaissant après coupe.

Type de zoochorie

- Hémérochorie = animaux domestiques et homme;
- Chiroptérochorie = Chauves- souris;
- Entomochorie = insectes;
- Myrmécochorie = fourmis;
- Ornithochorie ou avichorie = Oiseaux;
- Saurochorie = reptiles;
- Ériochorie = laine de mouton

Sciaphile

Qui aime l'ombre.

Succession végétale

Séquence chronologique ordonnée de l'évolution d'une communauté végétale à partir d'un état peu évolué vers un état plus évolué dont le stade final serait le climax. La composition floristique n'est qu'un des paramètres à considérer.

Synzoochorie

Désigne le mode de dispersion intentionnel, les graines étant transportées par un animal sans être ingérées, afin de faire des réserves.

Zoochorie

La dispersion des graines se fait par les animaux. Ce processus présente l'avantage de faire franchir de grandes distances aux graines. Cela favorise l'extension de l'espèce et la diversification de son patrimoine génétique.

Zoochorie à élaïosome

Structure huileuse est présente à l'extérieure de la graine, elle attire les animaux qui vont emporter la graine, consommer l'élaïosome et laisser la graine. On parle également de Myrmécochorie.

Bibliographie

- A. Horn, G. Pachmann & P. Poschlod. (2013). Can sheep replace indigenous antelope as seed dispersers in the Kalahari? *Journal of Arid Environments*, 91, 69-78. Consulté le 04/12/2017, sur <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.11.005>
- A.B. Shiels & L. R. Walker. (2003). Bird Perches Increase Forest Seeds on Puerto Rican Landslides. *Restoration Ecology*, 11, 457-465. Consulté le 17/11/2017, doi:10.1046/j.1526-100X.2003.rec0269.x
- A.G. Auffret. (2011). Can seed dispersal by human activity play a useful role for the conservation of European grasslands? *Applied Vegetation Science*, 14, 291-303. Consulté le 28/10/2017, doi: 10.1111/j.1654-109X.2011.01124.x
- A.L. Tomazi & T.T. Castellani. (2016). Artificial perches and solarization for forest restoration: assessment of their value. *Tropical Conservation Science*. Consulté le 04/10/2017, sur <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/194008291600900215>
- A.M. Mouissi, P. Vos, H.M.C. Verhagen & J.P. Bakker. (2005). Endozoochory by free-ranging, large herbivores : Ecological correlates and perspectives for restoration. *Basic and Applied Ecology*, 6, 547-558. Consulté le 04/11/2017, doi:10.1016/j.baae.2005.03.004
- A.T. Kuiters & H.P.J. Huiskes. (2010). Potential of endozoochorous seed dispersal by sheep in calcareous grasslands: correlations with seed traite. *Applied Vegetation Science*, 13, 163-172. Consulté le 04/10/2017, doi:10.1111/j.1654-109X.2009.01058.x
- B. D'Hondt, S. D'Hondt, D. Bonte, R. Brys & M. Hoffmann. (2012). A data-driven simulation of endozoochory by ungulates illustrates directed dispersal. *Ecological Modelling*, 230, 114-122. Consulté le 28/10/2017, doi:10.1016/j.ecolmodel.2012.01.014
- B. Middleton, R. Van Diggelen & K. Jensen. (2006). Seed dispersal in fens. *Applied Vegetation Science*, 9, 279-284. Consulté le 25/10/2017
- C.A. Chapman, L.J. Chapman, K. Vulnec, A. Zanne, M.J. Lawes. (2003). Fragmentation and Alteration of Seed Dispersal Processes: An Initial Evaluation of Dung Beetles, Seed Fate, and Seedling Diversity. *Biotropica*, 35, 382-393. doi:10.1111/j.1744-7429.2003.tb00592.x
- C.A. Lindell, J. Leighton Reid & R.J. Cole. (2013). Planting Design Effects on Avian Seed Dispersers in a Tropical Forest Restoration Experiment. *Restoration Ecology*, 21, 515-522. Consulté le 26/10/2017, doi:10.1111/j.1526-100X.2012.00905.x
- C. Julliot & J. Huignard. (1992). *Utilisation des ressources alimentaires par le singe hurleur roux, Alouatta Seniculus (Atelidea, Primare) en Guyane: impact de la dissémination des graines sur la régénération forestières*. Thèse. Consulté le 10/10/2017

- C.M. Jacobi & F.F. do Carmo. (2011). Life-forms, pollination and seed dispersal syndromes in plant communities on ironstone outcrops, SE Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, 25, 395-412. Consulté le 21/10/2017
- Conservation nature. *Les différents modes de dispersion des graines*. Consulté le 19/10/2017, sur Conservation nature: <http://www.conservation-nature.fr/article1.php?id=306>
- D. Beaune, F. Bretagnolle, L. Bollache, C. Bourson & G. Hohmann. (2013). Ecological services performed by the bonobo (*Pan paniscus*). *Journal of Tropical Ecology*, 29, 367-380. Consulté le 03/11/2017, sur <https://www-cambridge-org.inshs.bib.cnrs.fr/core/journals/journal-of-tropical-ecology/article/ecological-services-performed-by-the-bonobo-pan-paniscus-seed-dispersal-effectiveness-in-tropical-forest/A581415D4111271BDCD5AAA7D0E9519B>
- D. Larpin (1989). Evolution floristique et structurale d'un recrû forestier en Guyane Française. 44, 209-224. (R. E. Vie), Éd.) Paris. Consulté le 20/10/2017, sur http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/55354/LATERREETLAVIE_1989_44_3_209.pdf?sequence=1
- D.Y. Alexandre. (1989). *Dynamique de la régénération naturelle en forêt dense de côte d'ivoire: stratégies écologiques des arbres de la voûte et potentiels floristiques*. Edition de l'ORSTOM. Consulté le 05/10/2017, sur http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_2/etudes_theses/27187.pdf
- E. Ceccon & P. Hernandez. (2009). Seed rain dynamics following disturbance exclusion in a secondary tropical dry forest in Morelos, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 57, 257-269. Consulté le 11/11/2017, sur <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19637705>
- E. Cosyns, B. Bossuyt, M. Hoffmann, H. Vervaet & L. Lens. (2006). Seedling establishment after endozoochory in disturbed and undisturbed grasslands. *Basic and Applied Ecology*, 7, 360-369. Consulté le 04/11/2017, doi:10.1016/j.baae.2005.08.007
- Fleurs sauvages de l'Yonne. (28/06/2017). *Dissémination végétale*. Consulté le 19/10/2017, sur Fleurs sauvages de l'Yonne: <http://fleursauvageyonne.github.io/flsv/Lex/Lexi6.htm>
- Fruit and seed dispersal of *Salvia* L. (Lamiaceae): a review of the evidence. (2017). *The botanical review*, 82, 195-212. Consulté le 11/11/2017, sur <https://link-springer-com.inshs.bib.cnrs.fr/article/10.1007%2Fs12229-017-9189-y>
- H. de Foresta, P. Charles-Dominique, CH. Erard & M.F. Prévost. (1984). Zoochorie et premiers stades de la régénération naturelle après coupe en forêt Guyanaise. 39, 369-400. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*. Consulté le 19/10/2017, sur http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/55177/LATERREETLAVIE_1984_39_4_369.pdf?sequence=1
- H.P. Griscom, B.W. Griscom & M.S. Ashton. (2009). Forest Regeneration from Pasture in the Dry Tropics of Panama: Effects of Cattle, Exotic Grass, and Forested Riparia. *Restoration Ecology*, 17, 117-126. Consulté le 26/11/2017, doi:10.1111/j.1526-100X.2007.00342.x

- I. Cordero, M.D. Jimenez, J.A. Delgado, L. Villegas & L. Balaguer. (2016). Spatial and demographic structure of tara stands (*Caesalpinia spinosa*) in Peru: Influence of present and past forest management. *Forest ecology and management*, 377, 71-82. Consulté le 21/10/2017, doi:10.1016/j.foreco.2016.06.034
- J. Piqueray & G. Mahy. (2010). Revue bibliographique sur la restauration des pelouses calcicoles en Europe: contraintes rencontrées et solution proposées. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14, 471-484. Consulté le 11 04/11/2017
- J. Traba, C. Levassor & B. Peco. (2003). Restoration of Species Richness in Abandoned Mediterranean Grasslands: Seeds in Cattle Dung. *Restoration Ecology*, 11(3), 378-384. Consulté le 10 30/10/2017
- K. C. Barnosa & M. A. Pizo. (2006). Seed rain and seed limitation in a planted gallery forest in Brazil. *Restoration Ecology*, 14(4), 504-515. Consulté le 21/10/2017
- K. Valenta, T.S. Steffens, R.R. Rafaliarison, C.A. Chapman & S.M. Lehman. (2015). Seed Banks in Savanna, Forest Fragments, and Continuous Forest Edges Differ in a Tropical Dry Forest in Madagascar. *Biotropica*, 47, 435-440. Consulté le 16/10/2017, doi:10.1111/btp.12228
- K.D. Holl. (1998). Do Bird Perching Structures Elevate Seed Rain and Seedling Establishment in Abandoned Tropical Pasture? *Restoration Ecology*, 6, 253-261. Consulté le 28/11/2017, doi:10.1046/j.1526-100X.1998.00638.x
- L. Zanini & G. Ganade. (2005). Restoration of Araucaria Forest: The Role of Perches, Pioneer Vegetation, and Soil Fertility. *Restoration Ecology*, 13, 507-514. Consulté le 21/11/2017, doi:10.1111/j.1526-100X.2005.00063.x
- Le portail de la forêt privée. *Les fonctions écologiques*. Consulté le 12/12/2017, sur Le portail de la forêt privée: <http://www.foretpriveefrancaise.com/n/les-fonctions-ecologiques/n:24>
- M. Bournélias & Y. Bastien. *Forêts: La forêt, un milieu naturel riche et diversifié*. Enciclopedia Universalis [en ligne]. Consulté le 05/12/ 2017, sur Universalis.fr: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/forets-la-foret-un-milieu-naturel-riche-et-diversifie/4-evolution-de-la-foret-et-du-milieu-forestier/>
- M. Leithead, M. Anand, L. da S. Duarte & V.D. Pillar. (2012). Causal effects of latitude, disturbance and dispersal limitation on richness in a recovering temperate, subtropical and tropical forest. *Journal of Vegetation Science*, 23, 339-351. Consulté le 25/10/2017, doi:10.1111/j.1654-1103.2011.01351.x
- M. Marchesini Grassotti dos Santos, J.M. Oliveira, S.C. Müller & V.D. Pillar. (2011). Chuva de sementes de espécies lenhosas florestais em mosaicos de floresta com Araucária e campos no Sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 25, 160-167. Consulté le 28/10/2017

- M.J. Evelyn & D.A. Stiles. (2003). Roosting Requirements of Two Frugivorous Bats (*Sturnira lilium* and *Arbiteus intermedius*) in Fragmented Neotropical Forest. *Biotropica*, 35, 405-418. Consulté le 02/12/2017
- O. Flores. (2005). *Détermination de la régénération chez quinze espèces d'arbres tropicaux en forêt guyanaise: les effets de l'environnement et de la limitation par la dispersion*. Thèse, Université Montpellier II, Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier. Consulté le 05/10/2017, sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00297707/document>
- P. Charles-Dominique. Le rôle de la faune sur la régénération forestière naturelle. Consulté le 02/12/2017, sur http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/5773/195_205.pdf?sequence=1
- R.A. Medellin & O. Gaona. (1999). Seed Dispersal by Bats and Birds in Forest and Disturbed Habitats of Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 31, 478-485. Consulté le 10/12/2017, doi:10.1111/j.1744-7429.1999.tb00390.x
- R.J. Whittaker & S.H. Jones. (1994). The role of frugivorous bats and birds in the rebuilding of a tropical forest ecosystem, Krakatau, Indonesia. *Journal of biogeography*, 21(3), 245-258. Consulté le 22/10/2017, sur http://www.jstor.org/stable/2845528?seq=2#page_scan_tab_contents
- S. Heelemann, C.B. Krug, K.J. Esler, C. Reisch & P. Poschlod. (2012). Pioneers and Perches—Promising Restoration Methods for Degraded Renosterveld Habitats? *Restoration Ecology*, 20, 18-23. Consulté le 17/11/2017, doi:10.1111/j.1526-100X.2011.00842.x
- S. Maccherini & E. Santi. (2021). Long-term experimental restoration in a calcareous grassland: Identifying the most effective restoration strategies. *Biological Conservation*, 146, 123-135. Consulté le 28/10/2017, doi:10.1016/j.biocon.20.11.032
- S. Mann & S. Tischew. (2010). Role of megaherbivores in restoration of species-rich grasslands on former arable land in floodplains. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*, 10, 7-15. Consulté le 30/10/2017, doi:0041-afsv-01028
- T.R. McClanahan & R.W. Wolfe. (1993). Accelerating Forest Succession in a Fragmented Landscape: The Role of Birds and Perches. *Conservation Biology*, 7, 279-288. Consulté le 02/11/2017, doi:10.1046/j.1523-1739.1993.07020279.x
- U. Karlowski. (2006). Afromontane old-field vegetation: secondary succession and the return of indigenous species. *African Journal of Ecology*, 44, 264-272. Consulté le 17/11/2017, doi:10.1111/j.1365-2028.2006.00647.x
- WWF. (2017). *Restaurer les forêts dégradées*. Consulté le 12/12/2017, sur WWF: <https://www.wwf.fr/champs-daction/foret/gestion-durable/restauration-forestiere>
- Y. Caraglio. Les fourmis dans les forêts tropicales. Consulté le 04/10/2017, Récupéré sur http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/5771/188_194.pdf?sequence=1

Zoochorie: définition et explications. (08/12/2010). Consulté le 19/10/2017, sur AquaPortail:
<https://www.aquaportail.com/definition-7957-zoochorie.html>

CITERES
UMR 7324
*Cités, Territoires,
Environnement et
Sociétés*

*Equipe IPA-PE
Ingénierie du Projet
d'Aménagement,
Paysage,
Environnement*



35 allée Ferdinand de Lesseps
BP 30553
37205 TOURS cedex 3

Directeur de recherche :
JEANNE Floriane & SARNELLI Clara

ISSELIN Francis
Projet de Fin d'Etudes
DA5
2016-2017

Relation entre le transport des graines par la faune sauvage et la restauration des écosystèmes : PFE Etat de l'art

Résumé :

Dans un contexte global de perturbations anthropiques toujours croissantes et d'augmentation des perturbations climatiques, l'unique conservation des écosystèmes ne suffit plus. La restauration de milieux perturbés est alors primordiale.

Avec une approche synthétique de la littérature scientifique dédiée à l'évaluation de la pertinence de la zoochorie dans la restauration d'écosystème, nous avons analysé les relations entre le transport des graines par la faune sauvage et la restauration des écosystèmes. Pour cela, plusieurs questions se sont posées : comment les relations entre le transport des graines par la faune sauvage contribue-t-il à la restauration des écosystèmes ? La dispersion des graines par zoochorie peut-elle être utilisée pour conserver la qualité d'un écosystème ou le restaurer ? Comment les espèces végétales et animales évoluent-elles dans un système dégradé et comment participent-elles à la restauration des écosystèmes ? La réponse à ces questions a été abordée selon deux milieux différents : prairiaux et forestier.

Plusieurs méthodes ont été mises en place pour tester l'impact de la zoochorie sur la restauration dans les écosystèmes. Ces études permettent par la suite de mettre en place des méthodes de restauration efficaces et adaptées. La dispersion par les mammifères joue un rôle tout à fait significatif dans la distribution des espèces, permettant un flux génétique entre les populations et une colonisation de nouveaux d'habitats. La zoochorie est souvent considéré comme un outil important pour la restauration du cortège floristique. Dans un ordre d'idée similaire, les activités humaines de gestion ou de loisirs peuvent être responsables de la dispersion d'espèces typiques de ces milieux.

Mots Clés : Zoochorie - Restauration – Dispersion – Forêt tropical – Prairie