

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

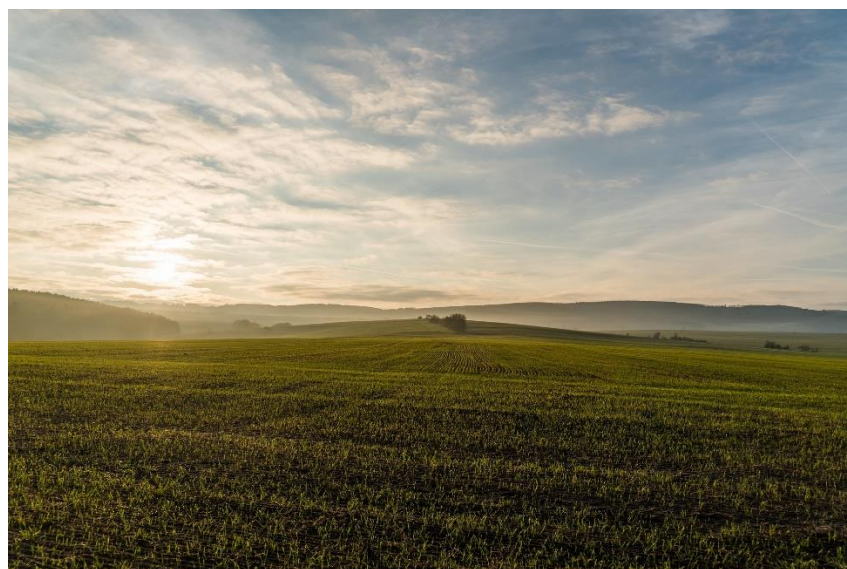


2018

**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 2018

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	4
Remerciements.....	6
Sommaire	7
Introduction.....	8
Qu'est-ce que la restauration ?.....	8
Qu'est-ce que la zoochorie ?.....	8
I. Les écosystèmes herbacés.....	10
Importance de la zoochorie.....	10
La zoochorie et la restauration.....	11
II. Les écosystèmes forestiers.....	17
Importance de la zoochorie.....	17
La zoochorie et la restauration.....	18
Discussion	22
Les milieux prairiaux.....	22
Les milieux forestiers.....	24
Conclusion	27
Lexique	29
Bibliographie.....	31

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 (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).

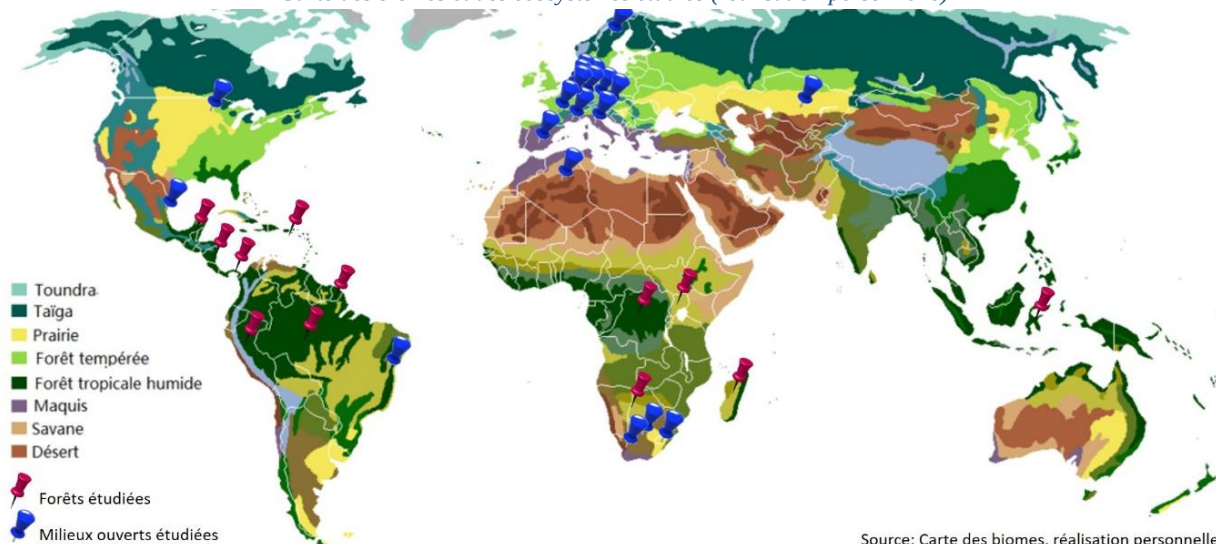
L'endozoochorie est un mode de transport interne des graines par les animaux. Les semences végétales passent dans le tube digestif de l'animal et sont rejetées par la suite dans les excréments. Cela implique que

certaines graines subissent des dommages chimiques alors que d'autres bénéficient de ce transport pour germer (Kuiters et Huiskes, 2010). La distance de dispersion de la plante mère est également augmentée car les graines sont retenues dans le tube digestif (Kuiters et 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 et 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, ce travail consistera en une synthèse de la littérature scientifique dédiée à l'évaluation de la contribution de la zoochorie dans la restauration. La lecture de près d'une centaine d'articles et leur classement dans un tableau synthétique (auteur, date, titre, hypothèse, méthode, résultat, conclusion, ...), sur 6 mois de l'année universitaire (octobre 2017- mars 2018), ont permis d'identifier deux milieux spécifiques et un certain nombre de mots clé (potentiel, dispersion, germination, pâturage traditionnel, perchoirs, ...). Nous aborderons, alors, 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.

Carte des biomes et des écosystèmes étudiés (réalisation personnelle)



I. 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 et 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 et 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'Original (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 et 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 et Huiskes, 2010).

La zoochorie et la restauration

Un certain nombre de programmes a été mis au point pour restaurer les divers habitats prairiaux, bien que l'efficacité des 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 et 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, la tonte, la réintroduction du pâturage extensif, le transfert de foin riche en espèces, etc (Mann et Tischew, 2010).

Les programmes s'orientent autour de 3 processus : le potentiel de dispersion, le potentiel de germination et enfin l'action d'ajouter ou de retirer une espèce animale.

Potentiel de dispersion : En termes de dispersion de graines, la zoochorie est-elle vraiment efficace ?

Des études menées dans différentes régions du monde soulignent l'importance générale de la dispersion par zoochorie (Bonn et Poschlod, 1998, Cain et al., 2000) et ont également été discutées (Van Oudtshoorn et Van Rooyen, 1999). En Mongolie, au sein du parc national de Godi Gurvan Saykhan, cette thématique a été abordée en comparant la dispersion anémochore et hydrochore à la dispersion zoochore. Au final, ces recherches

montrent que l'épizoochorie a un grand potentiel de dispersion et, par conséquence d'échange génétique entre les populations mais que l'endozoochorie semble plus rare (Bläb et al., 2010). De plus, l'étude réalisée en Belgique, a démontré la contribution des grands herbivores dans la dispersion des graines entre les habitats isolés. L'épizoochorie a été étudiée en brossant des graines de la fourrure de 201 grands herbivores domestiqués (bovins Galloway, ânes et chevaux). Au total, 6385 graines provenant de 75 espèces ont germé (Couvreur et al., 2004). D'autre part, il est important de noter que l'anémochorie et l'hydrochorie sont encore moins susceptibles de contribuer à la dispersion sur des grandes distances (Bläb et al., 2010).

En ce qui concerne l'épizoochorie, peu d'études ont porté sur ces facteurs d'influence malgré le fait que l'épizoochorie soit largement reconnue comme un mécanisme efficace de dispersion des graines sur de longues distances. L'un des aspects clés de l'épizoochorie est l'interaction adhésive entre les graines et les fourrures. Les travaux ont permis de tester la capacité d'attachement et de détachement de 3 plantes (*Agrimonia eupatoria* L., *Geum rivale* L. et *Triglochin palustre* L.) communes aux espaces semi-naturels, dans la fourrure de daims (*Dama dama*) et de bovins (*Bos taurus*). Les résultats indiquent que la capacité de dispersion des graines ne différait pas entre les deux espèces animales étudiées. Toutefois, la rétention des graines dans la fourrure varie entre les espèces végétales, entre les différentes positions sur l'animal, et entre différentes espèces animales. La taille, le nombre et l'emplacement des diaspores sur l'animal, influent sur leur durée de tolérance et de conservation (Kiviniemi, 1996). Une étude, portant également sur ce sujet, a mesuré les scores d'adhésivité de 66 espèces sur les fourrures de sept mammifères. Les fourrures profondes avec des poils longs, rugueux et ondulés sont les plus adaptées à l'adhérence des graines. Les graines avec des appendices adhésifs spécialisés présentent des scores d'adhésivité plus élevés que les graines avec des appendices non spécialisés ou sans appendices, leur potentiel de dispersion est donc plus élevé (Couvreur et al., 2007). Bien que la morphologie des graines permette de prédire l'adhésivité des graines, les types de graines les moins adhérents ont souvent des scores d'adhésivité relativement élevés. Par conséquent, il est probable que presque toutes les espèces sont, dans une certaine mesure, capables de se disperser (Couvreur et al., 2004).

Grace aux caractéristiques de sa fourrure (laine dense, bouclée et grasse) et en comparaison aux autres animaux (Agnew & Flux, 1970, Sorensen, 1986, Luftensteiner, 1982, Tomich et al., 1968), le mouton est probablement l'agent le plus efficace en termes de dispersion de graines et de diaspores (Shmida et Ellner 1983, 1892, Ridley 1930, Lousley 1961, Liddle et Elgar 1984, Probst 1949, Ryves 1974, Milton et al. 1990). Des études expérimentales sur la dispersion des plantes sur les moutons ont été menées. Plusieurs facteurs susceptibles d'influencer l'attachement et le détachement des diaspores ont été étudiés, ainsi que la distribution des diaspores sur les différentes parties du corps d'un mouton. Les effets des différents modes de locomotion des moutons sur la dispersion ont été examinés. L'étude Allemande (Jura de Schwabische) a évalué le temps de rétention des diaspores. Pour cela, des expériences ont été réalisées sur deux moutons apprivoisés. Après 16 examens, plus de 8500 diaspores de 85 espèces de plantes vasculaires ont été trouvées sur un seul mouton (Fischer et al., 1996). De même, une étude en Afrique australe sur des toisons de mouton tondues a été effectuée. Toutes les diaspores vues dans la laine ont été recueillies et ont ensuite été triées, identifiées et comptées. C'est au moins 54 espèces qui ont été collectées (Milton et al., 1990). Pour finir, l'étude française, réalisée au sein du parc naturel régional du Luberon et traitant du rôle des ovins dans le transport de graines d'espèces messicoles, renforce ce propos.

Les graines ont été échantillonnées dans la toison d'un animal resté présent au minimum deux heures par jour dans les chaumes et après 3 jours de présence dans la même parcelle. 218 graines appartenant à 16 espèces ont été récoltées (Dutoit et al., 2003). Les densités de graines les plus élevées et la plus grande diversité d'espèces ont été trouvées dans la zone des épaules (Milton et al., 1990), du poitrail et du cou des moutons (Fischer et al., 1996). La hauteur de la présentation des diaspores, la structure superficielle des diaspores et la locomotion des moutons sont les facteurs déterminants du transport des diaspores dans la laine.

Quelques études évoquent la dispersion par endozoochorie. Pour cela, des échantillons de fumier provenant de l'espèce animale sont collectés et analysés. Les graines sont identifiées à partir de la germination (par la méthode d'émergence des semis) des plantules. La composition des espèces qui en résulte, est comparée à la végétation sur pied (pool d'espèces locales). Les travaux effectués en Belgique et aux Pays-Bas ont permis de déterminer le potentiel des moutons à agir en tant qu'agents de dispersion des plantes via endozoochorie dans les prairies calcaires (Kuiters et Huiskes, 2010). 72 espèces végétales provenant de 23 familles de plantes ont été recueillies et ont des graines viables. Les moutons sont donc potentiellement des disséminateurs importants d'espèces végétales, bien que les plus petites graines aient été relativement abondantes (Kuiters et Huiskes, 2010). L'étude menée dans le Sahara septentrional algérien, sur la dissémination des graines dans les excréments du dromadaire, montre sa participation à la dispersion. Tout comme le mouton, le dromadaire joue un grand rôle dans la dissémination des graines, tant sur le plan quantitatif que qualitatif et en dépit de sa grande capacité à bien digérer les parois y compris la lignine. Les excréments dans lesquels les graines sont entreposées et dispersées dans l'environnement offrent des conditions favorables à la préservation et la germination des graines. Par ce biais, le dromadaire contribue à préserver son environnement et son rôle dans la dispersion des graines par endozoochorie souligne son importance écologique dans les milieux désertiques (Trabelsi et al., 2012). Les autres herbivores (bétail domestique, cervidés, ...) peuvent également agir comme vecteurs de dispersion en ingérant délibérément ou accidentellement des fruits mûrs. Leur rôle dans la dispersion des plantes via l'endozoochorie a été traité dans les zones arides d'Afrique du Sud. Après 28 jours, 97% des semis avaient émergé. Sur les 29 échantillons de bouse, au total 909 plants ont germé. Les espèces dispersées ressemblent à la composition spécifique de la végétation sur pied dans les parcelles. Les résultats montrent que le bétail domestique facilite la dispersion des taxons caractéristiques. La forte abondance de jeunes plants indique une importance relativement élevée de l'endozoochorie pour la dispersion de certaines espèces (Haarmeyer et al., 2009).

En conséquence, la dispersion à longue distance semble être plus efficace avec la zoochorie, et plus particulièrement l'epizoochorie, qu'avec le vent ou l'eau. Le transport passif par attachement à la fourrure ou à la laine couvre de très longues distances de dispersion en fonction de la durée de l'attachement, du mouvement et de la vitesse de l'animal. Il est possible que les herbivores soient l'un des principaux vecteurs de mouvement des graines en ce qui concerne la gestion de la restauration (Poschlod et al., 1995, Poschlod, 1996). Cependant, les différentes méthodes excluent, la plupart du temps, l'impact du comportement animal (toiletage) et des facteurs environnementaux. Les moutons domestiques sont de bons disséminateurs des diaspores. Les toisons de mouton sont susceptibles de transporter beaucoup plus de graines que les poils droits des ongulés sauvages ou que la fourrure fréquemment entretenue des petits mammifères indigènes. Par endozoochorie, les différentes

espèces animales ont un fort potentiel de dispersion des graines à longue distance pour un large spectre d'espèces végétales, provenant de diverses familles de plantes. Cette dispersion est facilitée par les troupeaux qui permettent aux espèces végétales de combler les lacunes dans l'espace et le temps. De plus, la dispersion par endozoochorie contribue à la germination des plantes contrairement à l'épizoochorie.

Potentiel de germination : la zoochorie impacte-t-elle la germination des graines ?

La zoochorie a souvent été proposée comme un vecteur important qui peut aider à surmonter la limitation de la dispersion des plantes dans les paysages fragmentés. Afin d'évaluer l'impact de la faune sur les espèces végétales, le potentiel de germination des graines doit être connu. L'effet du piétinement des moutons sur l'émergence des plantules et la survie d'espèces menacées ont été étudiés en Allemagne. Des moutons avec des graines étaient présents sur trois parcelles de sable pendant 24 h. Le détachement des graines, l'intensité du piétinement et l'ombre des graines ont été mesurés. L'émergence et la survie des plantules ont été enregistrées sur une période de 8 mois. Le piétinement des moutons a provoqué l'enfouissement de grandes quantités de graines. En l'absence de vecteurs de piétinement, les graines de grande taille et/ou de forme irrégulière sont moins faciles à assimiler par le sol que les graines petites et/ou rondes. L'enfouissement des graines par le piétinement a affecté positivement l'émergence des semis et un taux plus élevé de mortalité a été trouvé pour les espèces des parcelles non piétinées. Une courte visite de moutons passant de zones de référence à des sites de restauration isolés peut aboutir à l'établissement d'espèces cibles grâce à un apport élevé de semences et à la création de sites sûrs par le piétinement. (Wessels-de Wit et Schwabe, 2010)

La capacité des graines à germer après ingestion par un animal est importante pour la dynamique des populations de certaines espèces végétales et significative pour l'évolution des interactions plant-animal. Des études méditerranéennes, sur les frugivores, montrent que ceux-ci contribuent à l'hétérogénéité des caractéristiques de germination au sein des populations/communautés végétales, chaque espèce de frugivore ayant un effet particulier sur les graines consommées. Ces études avaient pour objectif de déterminer comment la germination des graines était affectée par le passage dans les viscères de leurs principaux disséminateurs (Traveset et al., 2001) et portaient également sur les différents mécanismes par lesquels la germination des graines est modifiée après ingestion par les frugivores. Ces travaux ont examiné les effets de différents vertébrés (espèces d'oiseaux, mammifères non-volants, chauves-souris, reptiles, poissons) sur la germination des espèces végétales. Des animaux captifs ont été utilisés pour obtenir des graines ingérées et comparer leur vitesse et leur pourcentage final de germination. La vitesse de germination des graines a changé chez toutes les espèces après le traitement des intestins (Traveset et al., 2001). Les disséminateurs de graines influent aussi le pourcentage de germination (Traveset, 1998). Malgré les différences morphologiques et physiologiques des voies digestives, les différents groupes d'animaux testés ont des effets similaires sur la germination des graines, bien que les mammifères non-volants tendent à influencer la germination un peu plus souvent que les autres groupes. Le temps de rétention des graines dans le tube digestif des disséminateurs est un facteur qui influence la germination et aide à expliquer la variation des réponses des graines observées parmi les espèces végétales, et même au sein d'une même espèce (Traveset, 1998). Le passage des graines dans le tube digestif accélère la germination des espèces étudiées (Traveset et al., 2008).

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. Ces études portaient sur les effets du dépôt de fumier sur le nombre de semis dans les communautés végétales et la richesse spécifique. La réintroduction d'espèces perdues après un abandon (Traba et al., 2003) mais aussi 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), ont pu être observé. Ces expériences ont permis, également, d'analyser les conséquences du dépôt de fumier sur les caractéristiques de la communauté végétale locale (couverture, richesse spécifique, diversité). En Espagne, après un suivi de 3 ans, 115 espèces différentes ont été récoltées sur les quadrats témoins et 105 dont 15 rares sur les quadrats semés. Une augmentation significative de la richesse spécifique à petite échelle, principalement due au traitement appliqué, a pu être remarquée. 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, sur une zone pâturée par 5 bovins Highland écossais et 19 poneys Shetland, des graines viables de monocotylédones étaient abondamment présentes dans les excréments après 3 mois. 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). Ces études sont soutenues par les travaux réalisés le long des côtes française et belge, qui traitent des espèces végétales tirant profit de l'endozoochorie et mettent l'accent sur la diversité et l'abondance en graines dans les excréments de chevaux en liberté. Sur 56 échantillons de fumier, 53 493 plantules ont émergé, représentant 106 espèces végétales différentes, soit 21,4% de toutes les espèces enregistrées dans la végétation établie des sites d'étude (Cosyns et al., 2005).

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 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 animale : Le pâturage traditionnel pour la restauration

La conservation des espèces rares et en voie de disparition devrait tenir compte de l'importance des grands herbivores pour maintenir la richesse en espèces des milieux herbacés. Les grands herbivores domestiqués, en tant que modèles pour les mammifères sauvages, sont des disséminateurs importants de nombreuses espèces végétales. Grâce au pâturage saisonnier, les herbivores servent de liaison, en reliant les réserves naturelles isolées, ce qui peut influencer le développement de la végétation et la survie à long terme des populations végétales (Couvreur et al., 2004). En tant que tels, les grands herbivores sont des instruments importants dans la restauration écologique, en particulier dans les écosystèmes fragmentés. Cependant, il est probable que l'élevage ovin soit capital dans la restauration des prairies menacées. Le pâturage traditionnel facilite l'échange d'individus, de plantes et d'animaux entre des parcelles isolées. Autrement dit, le bétail est capable de maintenir des processus dynamiques même dans notre paysage très fragmenté. Cela est probablement essentiel à la viabilité à long terme de nombreuses espèces (Fisher et al., 1996).

La réintroduction ou l'introduction du pâturage traditionnel affecte la richesse en espèces dans les milieux ouverts. Le fait que le pâturage soutienne la colonisation des espèces cibles, était une des questions de ces études. En Allemagne, les résultats révèlent que la réintroduction du pâturage des moutons est nécessaire pour rétablir la richesse originale des espèces (Poschlod et al., 1998). Le pâturage des grands herbivores s'avère alors efficace pour convertir d'anciennes terres en prairies riches en espèces. Néanmoins, plusieurs facteurs importants doivent être pris en considération. Dans les plaines inondables, les agriculteurs locaux ont appliqué un régime de pâturage toute l'année, avec une faible densité de peuplement. Le pâturage des grands herbivores conduit alors à un développement successif de communautés de prairies (Mann et Tischew, 2010).

Pour finir, quelques études, en accord entre elles, montrent que l'élevage traditionnel compense partiellement la perte de processus naturels (tempête, incendie, inondation ...) qui ont été supprimés par l'homme. En effet, les méthodes appliquées dans l'élevage traditionnel remplacent en partie plusieurs de ces processus importants qui maintiennent la biodiversité et atténuent d'autres effets. Les travaux de recherche soulignent l'importance de l'élevage traditionnel pour le maintien de la biodiversité. La suppression du feu et d'autres perturbations aurait probablement causé un déclin plus grave que prévu de la biodiversité, mais cet effet négatif a été en partie retardé par la gestion agricole traditionnelle. Les perturbations naturelles et l'élevage traditionnel ont créé des habitats sans arbre ou semi-ouverts, importants pour une grande partie de la flore et de la faune. Le système optimal de gestion des pâturages pour la biodiversité est probablement une combinaison compliquée de continuité et de pressions de pâturage différentes (Pykälä, 1999).

La réintroduction de pâturage traditionnel par les troupeaux migrateurs, améliorant la dispersion et la germination des graines entre les milieux ouverts fragmentés, permet de maintenir et de restaurer la biodiversité dans des paysages fragmentés. Des connaissances sur la dispersion des graines et leur potentiel de germination sont alors essentielles. Avant de lancer des programmes de restauration à grande échelle dans les champs abandonnés, des études préliminaires sur le terrain sont fortement recommandées (Kuiters et Huiskes, 2010). Cependant, jusqu'à présent, il n'existe aucune étude ou expérience qui montre vraiment l'effet positif de la dispersion passive des graines par les animaux sur la gestion de la restauration. Par conséquent, il est nécessaire d'inclure de telles expériences dans les futures pratiques de gestion.

II. 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 et al., 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 épizoochore 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 et al., 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 épizoochore (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 fragmentées (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 et Huignard, 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.

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 (Middleton et al. 2006).

Jusqu'à récemment, la dissémination n'a pas été considérée comme un facteur limitant pour la viabilité des populations végétales. Avec la fragmentation croissante des habitats naturels et semi-naturels, la dispersion est, désormais, considérée comme un facteur clé pour la survie des populations végétales fragmentées, étant donné que celle-ci est un facteur important pour le flux génétique entre les populations et entre les individus et, par conséquent, une clé essentielles pour la survie à long terme des populations (Poschlod et Bonn, 1998). Prendre en compte l'influence de la dispersion dans les modèles prédictifs de distributions des plantes, afin d'améliorer la compréhension des dynamiques d'aires de leur prédiction est essentiel. Il apparaît nécessaire d'appliquer la contribution de la dispersion zoochore à la diversité et à la composition des communautés végétales, grâce aux processus résultant de l'interaction plantes-animaux et aux autres modes de dispersion des graines (Picard, 2014). Par conséquent, il est important que les pratiques de gestion et de restauration incluent ces connaissances dans le futur. Si les processus de dispersion ne peuvent être restaurés, il est clair que tout effort de restauration sera en contradiction avec le but de fournir de nouveaux habitats pour les espèces locales ou même disparues, sauf si elles peuvent survivre dans la banque du sol. (Poschlod et Bonn, 1998). Toutefois, la dispersion des graines endozoochores peut constituer une menace potentielle pour les communautés riches en espèces, en aidant à la propagation de plantes envahissantes (Kuiters et Huiskes, 2010). Certaines espèces, comme le bison d'Europe, bien que considérées comme des vecteurs efficaces pour la propagation des plantes entre les communautés végétales et pour la restauration des habitats dégradés, pourraient également comporter un risque d'invasion par des espèces indésirables ou des espèces exotiques (Jaroszewicz et al., 2008). Cette menace est à prendre en compte. C'est le manque de dispersion des graines ainsi qu'un environnement de régénération inapproprié qui peuvent nuire au succès de la restauration.

Malgré les différences morphologiques et physiologiques des voies digestives, les différents groupes d'animaux ont des effets similaires sur la germination des graines, influencée par leur temps de rétention dans le tube digestif. D'autres facteurs sont aussi capitaux, par exemple, le type de nourriture ingérée en plus des fruits, peut affecter la germination. Les caractéristiques des graines, telles que la structure du manteau ou l'épaisseur, peuvent elles-mêmes être responsables de certaines variations dans les temps de rétention. En outre, l'effet du

passage dans l'intestin sur la germination diffère entre les zones tropicales et tempérées. La germination des graines des arbustes et des arbres (les données sur les espèces herbacées sont encore rares) dans la zone tempérée est plus fréquemment améliorée que dans les tropiques (Traveset, 1998).

De nombreuses espèces végétales des prairies ne constituent pas la banque de semences dans le sol et ne peuvent pas survivre à long terme, ne permettant pas 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). 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. A contrario, certaines espèces demeurent dans les banques de graines pendant plusieurs décennies. 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). L'incorporation dans une banque de graines d'espèces végétales peut déterminer le succès de la gestion visant la restauration d'une végétation cible. Il est très important de réaliser que la distance de dispersion des graines et la formation des banques de semences ne constituent qu'une partie de la stratégie de dispersion totale d'une espèce. D'autres parties de cette stratégie, telles que le temps et la durée de la libération des graines et, après l'établissement, la vitesse de reproduction clonale et sexuelle peuvent être tout aussi importantes dans la restauration (Poschlod et al., 1995).

Sous l'influence du pâturage, les habitats plus dégradés subissent des changements de composition d'espèces plus importants que ceux qui sont dans de meilleures conditions. Les moutons peuvent restaurer les prairies et contribuent de manière significative à la propagation des semences lors du franchissement entre les zones plus et moins riches en espèces. Cette constatation est d'une importance fondamentale pour l'organisation de la gestion des pâturages, où les animaux continuent d'être déplacés entre les habitats riches en espèces et les habitats dégradés, de sorte que ce dernier profite d'un nouveau type d'enrichissement. Son importance est également avérée pour empêcher la propagation des espèces indésirables (Fulínová, 2010). Le pâturage par le bétail est devenu un outil essentiel de gestion de la nature pour la conservation et la restauration de nombreux habitats. Par conséquent, l'impact des grands herbivores sur les communautés végétales est devenu un enjeu critique dans l'écologie de la conservation et de la restauration (Bakker et Londo, 1998, Wallis De Vries, 1995, Van Wieren, 1991). De plus, 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. Les grands herbivores sont des outils de gestion utiles en raison de leur potentiel de dispersion des graines sur de longues distances pour un large éventail d'espèces végétales, tant par endo- que par épizoochorie (Poschlod et al., 1998, Fischer et al., 1996). En raison de leurs préférences en matière d'habitat (Cosyns, 2004), les herbivores peuvent relier des habitats appropriés à différentes échelles spatiales. Les preuves croissantes du rôle des grands herbivores, dans le processus de dispersion des graines, préconisent une politique de gestion de la nature bien réfléchie, qui vise non seulement l'amélioration des conditions de l'habitat, mais aussi l'aménagement spatial approprié pour les espèces végétales critiques. Ce processus a pour effet de permettre aux plantes de combler les lacunes dans l'espace et le temps, ce qui peut favoriser une conservation durable des populations végétales critiques. 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 représentent 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. La réduction du pâturage, due à un manque d'intérêt et à des incitations économiques, a entraîné un déclin des zones de prairies. Jusqu'à présent, la conservation de ces zones consistait, dans la plupart des cas, en une stratégie de gestion artificielle. Cette stratégie de gestion nécessite beaucoup de temps et d'argent. Par conséquent, il n'est pas possible de fournir une perspective à long terme sur une grande échelle, mais seulement sur une perspective locale (Poschlod et al., 1996). Deux possibilités sont alors envisagées pour gérer ou conserver les sites de prairies :

- Réintroduire du pâturage traditionnel sur une base économique ;
- Permettre la succession des terres boisées, éventuellement associée parfois à des afforestations.

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'elles 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 le 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 sont des lieux essentiels qui rendent de nombreux services (absorption de CO₂, production de matière première, relâchement d'oxygène, etc). Hors, ces milieux sont pour la plupart dégradés ou en voie de disparation. Il est donc nécessaire de les conserver, de les protéger et / ou de les restaurer. La restauration des milieux est un processus qui requiert de nombreuses actions (étude du fonctionnement écosystémique, de la faune et de la flore, mise en place de méthode de restauration, mise en œuvre d'une gestion durable) et un engagement durable pendant de longues années, qui peut se révéler très coûteux.

Dans la restauration d'un écosystème, la faune joue un rôle tout à fait significatif dans la distribution des espèces végétales. En effet, 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, comme source de nutrition (excrément) et permettent de retirer de la compétition les espèces parfois invasives.

Pour améliorer la disponibilité en graines, le pâturage traditionnel et itinérant peut être d'adopter. Ceci permet de diminuer l'impact négatif du bétail (compactage du sol, destruction des semences végétales en croissance, etc) tout en gardant les impacts positifs (dissémination de graines diverses). 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 (épizoochorie ou endozoochorie) en provenance de populations relativement éloignées. Pour ces raisons, la zoochorie est considérée comme un outil important pour la restauration du cortège floristique des milieux ouverts et / ou fermés. Pour favoriser la restauration d'un habitat, l'objectif est d'attirer les espèces animales dans les milieux perturbés. L'exemple souvent évoqué dans les recherches est celui des perchoirs artificiels qui favorisent le retour des oiseaux. En proposant des espaces d'abris / repos où les oiseaux peuvent se percher, ce procédé permet d'augmenter l'apport en graines extérieures au site, ce qui diversifie et augmente la banque de graines du sol. L'apport extérieur de fumier sur des sites perturbés a un impact important. Il serait 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. 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.

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 sera-t-il différencié ?

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. (Conservatoire nature)

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. (Conservatoire nature)

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. (Conservatoire nature)

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. (Conservatoire nature)

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. (Conservatoire nature)

Bibliographie

- 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.D.Q. Agnew & J.E.C. Flux. (1970). Plant dispersal by hares (*Lepus capensis* L.) in Kenya. *Ecology* 51, 735-737. Consulté le 06/02/2018.
- A.E. Sorensen. (1986). Seed dispersal by adhesion. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 443-463. Consulté le 06/02/2018.
- 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. 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.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. Shmida & S. Ellner. (1983). Seed dispersal on pastoral grazers in open mediterranean chaparral, Israel. *Israel Journal of Botany*, 32, 147-159. Consulté le 08/02/2018.
- 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
- A. Traveset. (1998). Effect of seed passage through vertebrate frugivores' guts on germination: a review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 1/2, 151-190. Consulté le 15/02/2018.
- A. Traveset, J. Rodriguez-Perez & B. Pias. (01/2008). Seed trait changes in dispersers' guts and consequences for germination and seedling growth. *Ecology*, 89, 95-106. Consulté le 24/02/2018.
- A. Traveset, N. Riera & R. E. Mas. (2001). Passage through bird guts causes interspecific differences in seed germination characteristics. *Functional Ecology*, 15, 669-675. Consulté le 22/02/2018.
- 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. Jaroszewicz, E. Piroznikow & R. Sagehorn. (2008). The European bison as seed dispersers: the effect on the species composition of a disturbed pine forest community. *Botanique*, 86, 475-484. doi:10.1139/B08-012. Consulté le 22/02/2018.

- 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. Consulté le 25/10/2017.
- C. Bläß, K. Ronnenberg, O. Tackenberg, I. Hensen & K. Wesche. (27/01/2010). The relative importance of different seed dispersal modes in dry. *Journal of Arid Environments*, 74, 991-997. doi:10.1016/j.jaridenv.2009.12.002. Consulté le 13/02/2018.
- 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.H. Haarmeyer, B.M. Bösing, U. Schmiedel & J. Dengler. (03/12/2009). The role of domestic herbivores in endozoochorous plant dispersal in the arid Knersvlakte, South Africa. *South African Journal of Botany*, 76, 359-364. doi:10.1016/j.sajb.2009.12.001. Consulté le 13/02/2018.
- D. Larpin. (1989). Evolution floristique et structurale d'un recru 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. Vervaeke & L. Lens. (2006). Seedling establishment after endozoochory in disturbed and undisturbed grasslands. *Basic and Applied Ecology*, 7, 360-369. doi:10.1016/j.baae.2005.08.007. Consulté le 04/11/2017.

- E. Cosyn & M. Hoffmann. (2005). Horse dung germinable seed content in relation to plant species abundance, diet composition and seed characteristics. *Basic and Applied Ecology*, 6, 11-24. doi:10.1016/j.baae.2004.09.012. Consulté le 03/02/2018
- 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. *Rev. Ecol. (Terre Vie)* 39, 369-400. Consulté le 19/10/2017, sur http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/55177/LATERREETLAVIE_1984_39_4_369.pdf?sequence=1
- H.N. Ridley. (1930). The Dispersal of Plants Throughout the World. *Reeve, Ashford & Kent*. Consulté le 08/02/2018.
- 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. doi:10.1111/j.1526-100X.2007.00342.x. Consulté le 26/11/2017.
- H. Trabelsi, A. Senoussi & A. Chehma. (2012). Etude de la dissémination des graines des plantes spontanées dans les fèces du dromadaire dans le Sahara septentrional algérien. *Sécheresse*, 23(2), 94-101. doi:10.1684/sec.2012.0338. Consulté le 28/02/2018.
- H.W. Luftensteiner. (1982). Untersuchungen zur Verbreitungsbiologie von Pflanzengemeinschaften an vier Standorten in Niederösterreich. *Bibliotheca Botanica*, 135, 1-68. Consulté le 06/02/2018.
- 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. doi:10.1016/j.foreco.2016.06.034. Consulté le 21/10/2017.
- J.E. Lousley. (1961). A census list of wool aliens found in Britain. *Proceedings of the Botanical Society of the British Isles*, 4, 221-247. Consulté le 08/02/2018.
- J.P. Bakker & G. Londo. (1998). Grazing for conservation management in historical perspective. In Wallis De Vries, M. F., Bakker, J. P., & van Wieren, S. E. (Eds.), *Grazing and conservation management* (pp. 23–54). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. Consulté le 13/02/2018.
- J. Pykälä. (10/11/1999). Mitigating Human Effects on European Biodiversity through Traditional Animal Husbandry. *Conservation Biology*, 14(3), 705-712. Consulté le 25/02/2018.
- 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.D. Holl. (1998). Do Bird Perching Structures Elevate Seed Rain and Seedling Establishment in Abandoned Tropical Pasture? *Restoration Ecology*, 6, 253-261. doi:10.1046/j.1526-100X.1998.00638.x. Consulté le 28/11/2017.
- K. Kiviniemi. (03/1996). A study of adhesive seed dispersal of three species under natural conditions. *Acta Bot. Neerl.*, 45, 73-83. Consulté le 16/02/2018.
- K.R. van Oudtshoorn, M.W. van Rooyen. (1999). *Dispersal Biology of Desert Plants*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. Consulté le 13/02/2018.

- 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. doi:10.1111/btp.12228. Consulté le 16/10/2017.
- 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>
- L. Zanini & G. Ganade. (2005). Restoration of Araucaria Forest: The Role of Perches, Pioneer Vegetation, and Soil Fertility. *Restoration Ecology*, 13, 507-514. doi:10.1111/j.1526-100X.2005.00063.x. Consulté le 21/11/2017.
- 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. Couvreur, B. Christiaen, K. Verheyen & M. Hermy. (2004). Large herbivores as mobile links between isolated nature reserves through adhesive seed dispersal. *Applied Vegetation Science*, 7, 229-236. Consulté le 27/02/2018.
- M. Couvreur, B. Vandenberghe & K. Verheven. (01/02/2007). An experimental assessment of seed adhesivity on animal furs. 14, 147-159. doi:10.1079/SSR2004164.. Consulté le 28/02/2018.
- M. Fulínová. (04/2010). *Sukcese na lokalitách stepních trávníků po obnově pastvy (Succession after reintroduction of grazing in dry grasslands)*. Thèse. Prague. Consulté le 03/02/2018.
- M.F. Wallis De Vries. (1995). Large herbivores and the design of large-scale nature reserves in Western Europe. *Conservation Biology*, 9, 25–33. Consulté le 28/02/2018.
- M.J. Evelyn & D.A. Stiles. (2003). Roosting Requirements of Two Frugivorous Bats (*Sturnira lilium* and *Arbuteus intermedius*) in Fragmented Neotropical Forest. *Biotropica*, 35, 405-418. Consulté le 02/12/2017.
- M.J. Liddle & M.A. Elgar. (1984). Multiple pathways in diaspore dispersal, exemplified by studies of Noogoora Burr (*Xanthium occidentale* Bertol., Compositae). *Botanical Journal of Linnean Society*, 88, 303-315. Consulté le 08/02/2018.
- M.L. Cain, B.G. Milligan & A.E. Strand. (2000). Long-distance seed dispersal in plant populations. *American Journal of Botany* 87 (9), 1217–1227. Consulté le 28/02/2018.
- 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. doi:10.1111/j.1654-1103.2011.01351.x. Consulté le 25/10/2017.
- 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. Picard. (2014). *Influence de la dispersion endozoochore sur la composition des communautés végétales : une approche fonctionnelle basée sur trois ongulés sauvages*. Thèse. Orléans. Consulté le 26/02/2018.
- 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
- P. Poschlod. (1996). Das Metapopulationskonzept eine Betrachtung aus pflanzenökologischer Sicht. *Z. Ökol Naturschutz* 5: 161-185.
- P. Poschlod & S. Bonn. (03/1998). Changing dispersal processes in the central European landscape since the last ice age: an explanation for the actual decrease of plant species richness in different habitats? *Acta Bot. Neerl.*, 47, 27-44. Consulté le 16/02/2018.
- P. Poschlod, S. Bonn, S. Fischer, S. Kiefer & U. Tränkle. (1998). Plant species richness in calcareous grasslands as affected by dispersability in space and time. *Applied Vegetation Science*, 1, 75-91. Consulté le 22/02/2018.
- P. Poschlod, S. Fischer & S. Kiefer. (1995). Die potentielle Gefährdung von Pflanzenpopulationen in Kalkmagerrasen auf der Mittleren Schwabischen Alb durch Sukzession (Brache) und Aufforstung—ein Beispiel für eine Gefährdungsanalyse von Pflanzenpopulationen. *Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ*, 83, 199-227. Consulté le 16/02/2018.
- P. Poschlod, S. Fischer & S. Kiefer. (1996). A coenotical approach of plant population viability analysis on successional and afforested calcareous grassland sites. 219-229. Consulté le 03/02/2018.
- P. Tomich, N. Wilson & C.H. Lamoureux. (1968). Eco-logical factors of Manana Island, Hawaii. *Pacific Science*, 22, 352-368. Consulté le 06/02/2018.
- R.A. Medellin & O. Gaona. (1999). Seed Dispersal by Bats and Birds in Forest and Disturbed Habitats of Chiapas, Mexico. *Biotropica*, 31, 478-485. doi:10.1111/j.1744-7429.1999.tb00390.x. Consulté le 10/12/2017.
- 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
- R. Probst. (1949). Wolladventivflora Mitteleuropas. *Voigt-Schild, Solothurn*. Consulté le 08/02/2018.
- S. Bonn & P. Poschlod. (1998). Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas. *Quelle und Meier Verlag, Wiesbaden*. Consulté le 16/02/2018.
- S.E. Van Wieren. (1991). The management of populations of large animals. In Spellenberg, I. F., Goldsmith, F. B., & Morris, M. G. (Eds.), *The scientific management of temperate communities for conservation. 31st British Ecological Society Symposium* (pp. 103–127). Oxford: Blackwell. Consulté le 16/02/2018.
- S.F. Fischer, P. Poschlod & B. Beinlich. (10/1996). Experimental studies on the dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 33(5), 1206-1222. Consulté le 22/02/2018, sur www.jstor.org/stable/2404699
- 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. doi:10.1111/j.1526-100X.2011.00842.x. Consulté le 17/11/2017.
- S.J. Milton, W. R. Siegfried & W. R. J. Dean. (01/1990). The distribution of epizoochoric plant species: A clue to the prehistoric use of arid Karoo Rangelands by large herbivores. *Journal of biogeography*, 17(1), 25-34. Consulté le 08/02/2018.

- S. Maccherini & E. Santi. (2021). Long-term experimental restoration in a calcareous grassland: Identifying the most effective restoration strategies. *Biological Conservation*, 146, 123-135. doi:10.1016/j.biocon.20.11.032. Consulté le 28/10/2017.
- 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. doi:0041-afsv-01028. Consulté le 30/10/2017.
- S. Wessels-de Wit & A. Schwabe. (30/11/2010). The fate of sheep-dispersed seeds: Plant species emergence and spatial patterns. *Flora*, 205, 656-665. doi:10.1016/j.flora.2010.04.010. Consulté le 28/02/2018.
- T.B. Ryves. (1974). An interim list of wool-alien grasses from Blackmoor, North Hants, 1969-1972. *Watsonia*, 10, 35- 38. Consulté le 08/02/2018.
- T. Dutoit, M. Jäger, E. Gerbaud, P. Poschlod. (2003). *Rôles des ovins dans le transport de graines d'espèces messicoles: Le cas d'une exploitation agricole du Parc Naturel Régional du Luberon*. Ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD), programme DIVA (DIVersité et Agriculture). Consulté le 26/02/2018
- 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. doi:10.1046/j.1523-1739.1993.07020279.x. Consulté le 02/11/2017.
- U. Karlowski. (2006). Afromontane old-field vegetation: secondary succession and the return of indigenous species. *African Journal of Ecology*, 44, 264-272. doi:10.1111/j.1365-2028.2006.00647.x. Consulté le 17/11/2017.
- 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>
- Z. Scott. (2017.) Fruit and seed dispersal of *Salvia* L. (Lamiaceae): a review of the evidence. *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>

Directeur de recherche :
ISSELIN Francis

JEANNE Floriane & SARNELLI Clara

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

Abstract

In a global context of ever increasing human disturbance and increased climatic disturbances, the unique ecosystem conservation is not enough. The restoration of disturbed environments is essential.

With a synthetic approach of the scientific literature dedicated to the evaluation of the relevance of zoochoria in ecosystem restoration, we analyzed the relationships between the transport of seeds by wildlife and the restoration of ecosystems. For this, several questions have arisen: how does the relationship between the transport of seeds by wildlife contribute to the restoration of ecosystems? Can seed dispersal by zoochory be used to maintain the quality of an ecosystem or restore it? How do plant and animal species evolve in a degraded system and how do they contribute to the restoration of ecosystems? The answer to these questions was raised in two different environments: grasslands and forests.

Several methods have been put in place to test the impact of zoochoria on ecosystem restoration. These studies subsequently allow the establishment of efficient and adapted restoration methods. Mammal dispersal plays a very significant role in the distribution of species, allowing gene flow between populations and colonization of new habitats. Zoochoria is often considered as an important tool for the restoration of the floristic procession. In a similar vein, human activities of management or recreation may be responsible for the dispersal of species typical of these environments.

Mots Clés :

Zoochorie - Restoration – Dispersion – Rainforest – Grassland