

Faculté des bioingénieurs

Evaluation de la biodiversité des haies de la ferme de Lauzelle et proposition d'un plan d'aménagement

Auteur : Eléonore de Roissart
Promoteur : Prof. Anne-Laure Jacquemart
Lecteurs : Prof. Sébastien Lambot, Marc de Toffoli
Année académique 2018-2019
Master Bioingénieur, finalité agronomie

Remerciements

Je tiens à remercier Anne-Laure Jacquemart, ma promotrice de mémoire, pour sa présence, sa bonne humeur et ses conseils, et ce depuis le commencement de ce mémoire en juillet 2018 jusqu'aux dernières relectures. Grâce à son soutien et aux opportunités créées, j'ai pu me donner à fond dans ce travail.

Je remercie également Sébastien Lambot pour le temps qu'il m'a dédié pour la modélisation de la haie par drone.

Un tout grand merci à Thierry Maniquet qui m'a permis de découvrir le monde de l'avifaune, tout en me partageant sa passion et sa motivation.

Pour le partage de leurs données de ressources nectarifères et fruitières ainsi que pour leurs réponses à mes questions à ce sujet, je remercie Daphné Fraselle, Pierre Ouvrard, Tom Timberlake et Mathilde Baude. Je souhaite aussi remercier Martin Vigan pour ses réponses à mes questions à propos de son modèle Terafor.

Pour m'avoir aidée à sortir la tête de mes calculs, je tiens à remercier Pierre Ouvrard. Merci de m'avoir épaulée pour regarder mes résultats dans un plus grand contexte.

Je remercie aussi Charlotte Descamps et Julia Merriman qui étaient présentes pour répondre à mes questions, ainsi que Sébastien François. J'ai énormément apprécié de pouvoir naviguer entre laboratoires, et de toujours trouver quelqu'un pour m'éclairer.

Enfin, je remercie Marc De Toffoli et Sébastien Lambot qui ont accepté d'évaluer mon mémoire.

Table des matières

1	Revue de la littérature	1
1.1	Cadre de l'étude	1
1.2	Définitions et types de haies	1
1.2.1	Définitions	1
1.2.2	Origine, âge et types de haies	2
1.3	Historique des haies	3
1.4	Services écosystémiques des haies	5
1.4.1	Services de production	6
1.4.2	Services culturels	6
1.4.3	Services de régulation	7
1.4.4	Service de soutien à la biodiversité floristique et faunique	10
1.5	Dis-services des haies	15
1.6	Objectifs du mémoire	16
2	Matériels et méthodes	17
2.1	Site d'étude	17
2.1.1	Localisation et délimitation de la zone d'intérêt	17
2.1.2	Evolution de la ferme de Lauzelle et de ses ligneux à travers l'histoire	17
2.1.3	Projet maraîcher de l'UCL	18
2.1.4	Situation pédologique	19
2.2	Localisation des ligneux au sein du site d'étude	19
2.3	Mesures floristiques	24
2.3.1	Identification des espèces ligneuses et évaluation de leur volume de couronne	24
2.3.2	Identification des espèces herbacées et évaluation du taux de recouvrement	26
2.3.3	Evaluation des ressources nourricières	26
2.4	Suivi de l'avifaune	28
2.5	Evaluation des services et dis-services des haies avec le modèle Terafor	29
2.6	Traitement et analyse des données	29
2.6.1	Relevés de végétation	29
2.6.2	Relevés des oiseaux	31
3	Résultats	32
3.1	Analyse des différentes méthodes de prise de mesures	32
3.2	Résultats de l'inventaire floristique	33
3.2.1	Composition floristique	33
3.2.2	Généralités sur les résultats floristiques	38
3.2.1	Analyses multivariées des relevés floristiques	40
3.2.2	Géoréférencement sur cartes	45

3.3	Quantification des ressources nourricières pour les pollinisateurs (nectar) et pour l'avifaune (fruits)	52
3.3.1	Quantification des ressources nourricières pour les pollinisateurs	52
3.3.2	Quantification dans le temps des ressources nourricières pour les pollinisateurs	55
3.3.3	Quantification des ressources nourricières pour l'avifaune	57
3.4	Résultats pour l'avifaune	59
3.4.1	Richesse spécifique et abondance	59
3.4.2	Influence de la structure et de la composition des haies.....	61
3.5	Evaluation des avantages et inconvénients des haies avec le modèle Terafor	66
4	Discussion	68
4.1	Discussion des résultats	68
4.1.1	Différence de structure et de ressources entre les zones.....	68
4.1.2	Comparaison avec les haies du site de la ferme de Marbaix	70
4.1.3	Discussion sur les données issues de la littérature	71
4.1.4	Principales ressources pour les insectes pollinisateurs	72
4.1.5	Principales ressources pour les oiseaux en automne-hiver	74
4.1.6	Interactions entre les espèces d'oiseaux et la structure des haies.....	76
4.1.7	Evaluation globale des haies grâce au modèle Terafor.....	78s
4.1.1	Perspectives d'étude	79
4.2	Plan d'aménagement	80
4.2.1	Cadre législatif	80
4.2.2	Principes de plantation et d'entretien	80
4.2.3	Choix des espèces pour les plantations.....	80
4.2.4	Proposition d'aménagements et de gestion pour chaque zone	81
5	Conclusion	93
6	Bibliographie	95
7	Annexes	i
	Annexe A : Matériel et méthode pour la modélisation de haie en 3D et la création d'un Modèle Numérique de Terrain grâce aux photos du drone et avec l'aide du Prof. Lambot.....	ii
	Annexe B : Script R du test de Kruskal-Wallis	vi
	Annexe C: Script R des réseaux bipartites	vi
	Annexe D : Modélisation 3D et MNT	viii
	Annexe E : Guide technique de plantation et d'entretien	xii
	Annexe F : Proposition de mélanges pour la plantation de bandes herbeuses	xvi

Liste des figures

Figure 1.1 Schéma d'une coupe transversale dans une haie	2
Figure 1.2 Modification du paysage agricole de Pleine-Fougères (800 ha, France) entre 1952 [A] et 1990 [B].	4
Figure 1.3 Les services écosystémiques selon le Millenium Ecosystem Assessment	6
Figure 1.4 Facteurs influençant la composition des communautés animales et végétales de la haie	11
Figure 1.5 Influence du type de haie sur la densité et la diversité des oiseaux	12
Figure 2.1 Occupation du sol des parcelles adjacentes aux haies de la ferme de Lauzelle	17
Figure 2.2 Evolution des arbres et de l'occupation des sols de la ferme de Lauzelle et de ses environs sur les cartes de Ferraris de 1777 [A], de Vandermaelen de 1846 à 1854 [B] et sur l'orthophotoplan de 2017 [C])	18
Figure 2.3 Prévision de l'occupation du sol des parcelles adjacentes aux haies de la ferme de Lauzelle à la suite de la modification du plan de secteur.	19
Figure 2.4 Localisation des types de ligneux dans le site d'étude et des zones d'aménagement	20
Figure 2.5 Photographies des haies en été (gauche) et en hiver (droite) de la scavée (Z1.1), la haie du champ (Z1.2), les arbres isolés (Z2.1), la haie de la prairie (Z2.2), le potager (Z3.1), le bosquet de la mare (Z3.2), les haies taillées (Z3.3).....	21
Figure 2.6 Méthode de mesure des dimensions ($V = l \times h \times p$) pour un arbuste	24
Figure 2.7 Méthode de mesure des dimensions ($V = 1/6 \times \pi \times h \times d^2$) pour un arbre	25
Figure 3.1 Résultats de l'ajustement bivarié avec régression simple des mesures de diamètre (a) et de la hauteur (b) du houppier des arbres obtenus par Drone et par Trimble	32
Figure 3.2 Proportions relatives des deux types de pollinisation (entomophile et anémophile) des espèces comprises dans des trois strates.....	39
Figure 3.3 Projection des 7 zones et des espèces ligneuses et herbacées dans le premier plan factoriel de l'ACP.	40
Figure 3.4 Dendrogramme selon la méthode de Ward et la mesure de distance Euclidienne des 7 zones en fonction de leur composition floristique.....	40
Figure 3.5 Projection des 7 zones et des caractéristiques des haies dans le premier plan factoriel de l'ACP	43

Figure 3.6 Dendrogramme selon la méthode de Ward et la mesure de distance Euclidienne des 7 zones en fonction de leurs caractéristiques	43
Figure 3.7 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone de la scavée (Z1.1).....	45
Figure 3.8 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la haie du champ (Z1.2)	46
Figure 3.9 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone des arbres isolés (Z2.1)	47
Figure 3.10 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone de la prairie (Z2.2)	48
Figure 3.11 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone du potager (Z3.1)	49
Figure 3.12 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 du bosquet de la mare (Z3.2)	50
Figure 3.13 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 des haies taillées de la ferme (Z3.3).....	51
Figure 3.14 Production annuelle de nectar pour chaque espèce ligneuse et herbacée présente sur le site d'étude a) par unité surfacique et b) par unité de volume pour les espèces ligneuses et par unité de surface pour les herbacées	53
Figure 3.15 Participation des haies à la production nectarifère en fonction de la phénologie	56
Figure 3.16 Participation de chaque zone à la production de fruits (%) (a) et Participation de chaque espèce à la production de fruits (%) (b)	58
Figure 3.17 Projection des 4 zones et des espèces d'oiseaux dans le premier plan factoriel de l'ACP.....	61
Figure 3.18 Réseaux bipartites qualitatifs de présence/absence montrant (a) les relations entre les espèces d'oiseaux (gauche) et les différentes composantes des haies ou l'occupation du sol (droite) et (b) les espèces d'oiseaux (gauche) qui ont eu trois ou plus interactions avec les espèces végétales (droite).....	64
Figure 3.19 Participation de la haie « ponctuelle » et des haies « linéaires » aux quatre principales fonctions des espaces arborés.....	67
Figure 4.1 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la zone de la scavée (Z1.1)	83

Figure 4.2 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la haie du champ (Z1.2)	84
Figure 4.3 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la zone des arbres isolés (Z2.1)	85
Figure 4.4 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la haie de la prairie (Z2.2)	86
Figure 4.5 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la haie du potager (Z3.1)	87
Figure 4.6 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans le bosquet de la mare (Z3.2)	89
Figure 4.7 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans les haies taillées (Z3.3)	90

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Distribution des espèces d'oiseaux dans les haies. D'après Pollard et al. (1974)	12
Tableau 2.1 Description générale des types de haies regroupées en classes et en zones d'aménagement	21
Tableau 2.2 Classe des indices d'abondance des oiseaux répertoriés.....	28
Tableau 3.1 Composition en espèces des strates arborescentes et arbustives, volume ligneux exprimé en m ³ et en % du total, origine (indigène ou exotique), et type(s) de pollinisation (anémophile, entomophile) pour les sept zones	33
Tableau 3.2 Composition en espèces de la strate herbacée, recouvrement moyen herbacé exprimé en %, origine (indigène ou exotique), type d'espèces herbacées (prairiales, forestières, rudérales) et type(s) de pollinisation (anémophile, entomophile) pour les sept zones.....	35
Tableau 3.3 Composition végétale et stratification des 7 zones . Les ligneux regroupent les arbres et arbustes, l'indice de Shannon a été calculé avec toutes les espèces, toutes les espèces ont été classées en fonction de leur origine (exotique ou indigène), les herbacées ont été classées en fonction de leur type (prairiale, forestière, rudérale).	38
Tableau 3.4 Code des espèces de l'ACP (figure 3.3)	41
Tableau 3.5 Données issues de la littérature de production de nectar (kg/ha.an) et source de la donnée pour les espèces végétales productrices et origine de la valeur.	52
Tableau 3.6 Indications pour chaque haie de la production totale de nectar (kg/an), du pourcentage de participation à la production totale de nectar (%) et de la production de nectar par unité surfacique (g/an.m ²)	54
Tableau 3.7 Période de floraison des espèces ligneuses (vert foncé) et herbacées (vert clair) à pollinisation entomophile présentes sur le site.....	55
Tableau 3.8 Principales espèces ligneuses et herbacées productrices de baies dans les haies de la ferme de Lauzelle.	57
Tableau 3.10 Abondance des espèces d'oiseaux par mois. En gris sont notées les espèces détectées et si tel est le cas, l'indice d'abondance est donné	59
Tableau 3.12 Présence (1 : bleu) absence (0 : blanc) des espèces présentes dans les haies. Diversité spécifique aviaire totale et par unité surfacique, abondance de l'avifaune totale et par unité surfacique et indice de Shannon pour les 4 haies observées dans le cadre de l'étude de l'avifaune	62

Tableau 4.1 Espèces végétales choisies pour les plantations, classées selon leur taille à maturité : petits arbustes (< 4 m), grands arbustes (4 à 5 m), arbres (> 5 m) et plantes grimpantes..... 80

Tableau 4.2 Synthèse des aménagements proposés pour les haies de la ferme de Lauzelle. (Tronçon à l'ouest du chemin : A, tronçon à l'est du chemin : B) 91

Tableau A.7.1 Paramètres constants pour la prise de photos par drone en mode manuel des haies de la Zone 1 de la ferme de Lauzelle.**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau A.7.2 Comparaison des conditions de prise de photographies aériennes à chaque passage et lien avec la qualité visuelle de l'estimation de la modélisation 3D.**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des abréviations

ACP = Analyse en Composantes Principales

CoDT = Code du Développement Territorial

MNT = Modèle Numérique de Terrain

SIG = Système d'Information Géographique

SPW = Service Public de Wallonie

1 Revue de la littérature

1.1 Cadre de l'étude

De nombreuses haies et alignements d'arbres ont été détruits au profit de l'agriculture intensive depuis les années 1950. Avec leur disparition, l'importance des services écosystémiques qu'ils fournissaient a été mise en lumière. Dans le cadre des Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC) et de la réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) de 2016, un intérêt croissant est porté aux bénéfices des réseaux de haies en zone agricole.

Dans ce mémoire, nous nous intéresserons principalement au service de soutien de la biodiversité fourni par les haies. Ce concept étant large, nous choisirons trois taxons pour représenter la biodiversité, qui sont les végétaux, les pollinisateurs et l'avifaune.

Les haies étudiées se situent sur le site de la Ferme de Lauzelle. Cette ferme est déjà mentionnée sur les cartes de Ferraris (XVII^{ème} siècle). Depuis lors, les haies de la ferme ont été partiellement réduites, et le bois de Lauzelle qui jouxtait les haies a été éloigné. L'année 2018-2019 est une période charnière pour ce site, qui est désormais voué à une transformation urbaine, dans le cadre du plan d'urbanisation du quartier de l'Ornoi. Dès lors, l'évaluation des haies, avant toute modification, est utile pour déterminer le mode de gestion à promouvoir sur le site.

Ce mémoire fait suite à celui de Daphné Fraselle (2018) qui s'est intéressée au réseau de haies du centre Alphonse de Marbaix (Corroy-le-Grand).

1.2 Définitions et types de haies

1.2.1 Définitions

Selon le dictionnaire Larousse (2019) une haie, aussi appelée *haie vive* est un « alignement d'arbres et d'arbustes qui marque la limite entre deux parcelles ». Cependant, selon Baudry et al. (2000) une rangée d'espèces ligneuses sera considérée comme une haie seulement si elle est gérée par l'homme. En effet, sans aucune gestion, une haie s'étendra sur les parcelles adjacentes pour former une forêt. Les indications de longueur ou de largeur minimale ou maximale ne font pas l'objet d'un consensus scientifique actuel (Baudry et al. 2000). Dans le cadre des subventions de la PAC, la haie est considérée comme « une unité linéaire de végétation ligneuse continue d'une largeur maximale de 10 mètres ne présentant pas de discontinuité supérieure à 5 m de long » (Agr'eau, 2015), Figure 1.1.

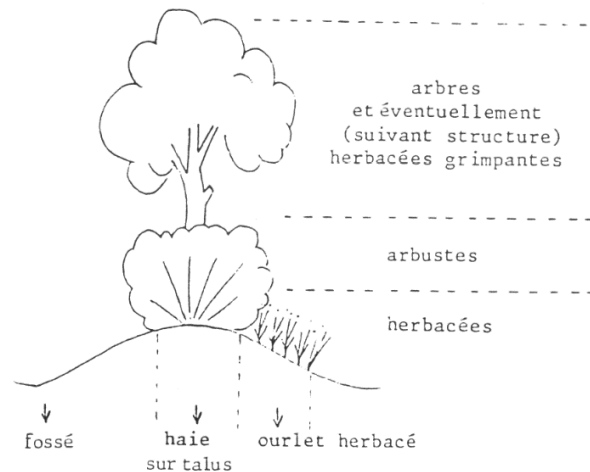


Figure 1.1 Schéma d'une coupe transversale dans une haie, d'après Couderc (1983) , modifiée, légende d'après Soltner (2015). Les strates (étagement horizontal) peuvent être au nombre de trois ; la strate herbacée, la strate arbustive et la strate arborescente. Les fossés, talus et ourlet herbacé constituent l'étagement vertical (Baudry et Jouin, 2003).

Les haies peuvent remplir la fonction de « corridor écologique » en reliant les zones d'habitat entre elles. Ces corridors permettent la circulation d'espèces entre différents habitats (Locquet et Clauzel, 2018).

1.2.2 Origine, âge et types de haies

Selon Forman et Baudry (1984), aucune haie européenne n'aurait eu une origine spontanée, certaines seraient des reliques forestières et pratiquement toutes auraient été plantées. Dans les haies *spontanées*, des arbres et arbustes poussent le long d'une clôture, d'un mur de pierre ou d'un fossé, à partir de graines dispersées par les animaux et par le vent. Forman et Baudry (1984) indiquent que la diversité spatiale et la diversité des espèces, en particulier des espèces de plantes dispersées par les oiseaux, ont tendance à être importantes dans les haies spontanées. Certaines haies européennes sont des *reliques forestières*, c'est à dire qu'elles auraient été constituées à la suite du défrichement partiel des forêts, laissant alors les lisières forestières en place. Ces haies sont caractérisées par la présence d'individus âgés et d'essences forestières diverses, à l'inverse des haies *plantées* qui sont pour la plupart monotones au niveau de leur structure et de leur diversité en espèces.

Le botaniste anglais Hooper (1977) a estimé que toute haie s'enrichit d'une espèce arbustive tous les 100 ans. Cette méthode peut être utilisée pour déterminer l'âge d'une haie, mais cette détermination présente une forte imprécision car la richesse floristique dépend aussi de l'origine de la haie et de son entretien (Soltner, 2015). En effet, l'hypothèse de Hooper (1977) a été contrée par l'étude de Willmot (1980), qui a indiqué que seulement 15% de la variation de la diversité des arbustes dans les haies d'une région du Royaume Uni pouvait être associée à l'âge des haies.

La structure des haies ainsi que la diversité des espèces qui les composent varient fortement en fonction de l'origine des haies, du type d'entretien de la haie et des pratiques agricoles dans les parcelles adjacentes (Forman et Baudry 1984). Les haies étudiées dans le cadre de nombreuses études (Den Boer, 1970; Notteghem, 1987; Walter et al. 2003; Fontaine et al. 2006; Follain et al. 2006; Ghazavi et al. 2008; Viaud et al. 2009; Lecq, 2013) sont souvent parallèles aux courbes de niveau et contiennent au moins deux strates horizontales de végétation, ainsi qu'un fossé ou un talus.

1.3 Historique des haies

Les haies font partie du paysage rural européen depuis de nombreux siècles mais leur évolution s'est échelonnée au cours de l'histoire (Baudry et Jouin, 2003).

En Belgique, l'existence de haies est rapportée dès la période romaine (Percsy, 2008), bien que les réseaux de haies se soient réellement développés à partir du XVII^{ème} siècle (Baudry et Jouin, 2003). Les fonctions premières de la haie étaient alors la délimitation des propriétés et le cloisonnement du bétail. En Europe, les premiers bocages apparurent au XVII^{ème} siècle avec le développement de l'élevage et la privatisation des terres (Bazin et Schmutz, 1994). Pendant les XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles, les bocages se développèrent fortement dans toute l'Europe. En effet, la forte demande en bois de chauffage due à la révolution industrielle se répercuta sur les haies, qui prirent de l'importance comme source de bois et accessoirement comme source de baies et de fourrage (Touret, 2002).

Ainsi, jusqu'au XX^{ème} siècle, les haies étaient étroitement associées à l'agriculture (Forman et Baudry, 1984; Percsy, 2008). Cependant, vers 1950, les haies perdirent progressivement leur intérêt et représentaient plus d'inconvénients que d'avantages aux yeux des propriétaires fonciers et des exploitants agricoles. Ainsi, jusqu'à 75% des haies auraient disparu en Europe tempérée lors du XX^{ème} siècle (Bazin et Schmutz, 1994). L'essor de l'agriculture mécanisée qui eut lieu à cette période engendra un besoin d'augmentation de la taille des parcelles. Les haies qui délimitaient les prairies et les champs étaient donc des obstacles à cette expansion (Liagre, 2006). Ce besoin d'évolution du système agricole fut intégré dans le changement d'aménagement du territoire grâce à la politique du remembrement, qui facilita l'agrandissement des parcelles et l'arrachage des haies (Liagre, 2006). Les haies qui étaient encore nécessaires pour remplir une fonction de clôture furent massivement remplacées par des fils barbelés et des clôtures électriques, dont le coût d'achat était bien inférieur au coût d'entretien des haies (Liagre, 2006). Par ailleurs, l'entrée en vigueur de la Politique agricole commune de l'Union européenne (PAC) en 1962 a fortement accéléré la régression de l'arbre rural en général. En effet, les surfaces agricoles arborées n'étant pas éligibles aux primes de la PAC, elles constituaient un manque à gagner pour les agriculteurs. Une autre raison de la

disparition des haies est leur arrachage pour combattre le feu bactérien, maladie dangereuse pour les arbres fruitiers propagée par les aubépines (*Crataegus spp.*) (Division de la Nature et des Forêts [DNF], 1995). L'arrachage massif des arbres et haies a aussi été la conséquence du développement important du réseau routier et des zones urbaines (Liagre, 2006). Enfin, le marché favorable du pétrole a également une part de responsabilité dans le délaissement du bocage car la production de bois de chauffage par les haies n'était plus une activité rentable (Baudry et Jouin, 2003). L'importance de la suppression partielle des haies dans le paysage agraire au sud de la France est illustrée à la Figure 1.2.



Figure 1.2 Modification du paysage agraire de Pleine-Fougères (800 ha, France) entre 1952 [A] et 1990 [B] (Morant et al. 1995).

Toutefois, depuis quelques années, un phénomène de replantation de haies s'est développé, aussi bien en milieu agricole que dans les milieux plus urbanisés, notamment car les problèmes engendrés par l'absence des haies ont graduellement été observés (Percsy, 2008).

Divers moyens ont été mis en œuvre par les pouvoirs publics afin d'aider à la conservation, l'entretien et la plantation de haies tant au niveau des agriculteurs que des particuliers. En effet, les arbres isolés et haies remarquables bénéficient désormais d'une protection juridique en Belgique ; conformément au Code du développement territorial (CoDT, 2007), leur abattage est soumis à un permis d'urbanisme. De plus, diverses subventions sont proposées en Région wallonne afin d'encourager la plantation et l'entretien des haies (Service Public de Wallonie [SPW], 2016; Percsy, 2008). En outre, de nombreuses actions proposent des services d'accompagnement pour la restauration des haies.

Par ailleurs, l'évolution de la PAC a graduellement permis de réintégrer les arbres et les haies au sein du monde rural. En effet, depuis 1994, il est imposé à chaque Etat membre de l'Union européenne de proposer la possibilité de rémunérer les agriculteurs pour mettre en œuvre une série de pratiques agricoles qui ont pour objectif de restaurer certains services écosystémiques. L'ensemble de ces pratiques sont appelées Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (ou MAEC). En 1995, le maintien des haies a été la première MAEC adoptée par les agriculteurs wallons. En région wallonne, près de 23 km de haies ont été plantés grâce à ce programme en 2016 (SPW, 2017).

Les mesures de la PAC de 2003 et 2006 ont encouragé le maintien et l'implantation des haies et arbres, et la révision de la PAC en 2015 a considérablement renforcé cet encouragement en ajoutant de nouvelles mesures en faveur de la préservation de l'ensemble des arbres sur les exploitations agricoles, notamment en permettant d'inclure les surfaces agricoles occupées par les arbres dans les subventions de la PAC.

1.4 Services écosystémiques des haies

Lecq (2013) explique que « les rôles des haies sont multiples que ce soit d'un point de vue anthropique, sociétal ou écologique ». Ces rôles, aussi appelés services écosystémiques, sont précisés dans les paragraphes suivants.

Les services écosystémiques ont été classés en 4 catégories : service de support, de production, de régulation et culturels (Duraiappah et al. 2005, Figure 1.3). Dans cette étude, nous détaillerons l'entièreté de ces services, notamment en expliquant leurs impacts sur les écosystèmes cultivés, car le site d'étude se situe sur la ferme de Lauzelle. Par la suite, nous nous focaliserons sur le service de support de la biodiversité, ainsi que le service de régulation des pollinisateurs et de l'avifaune.

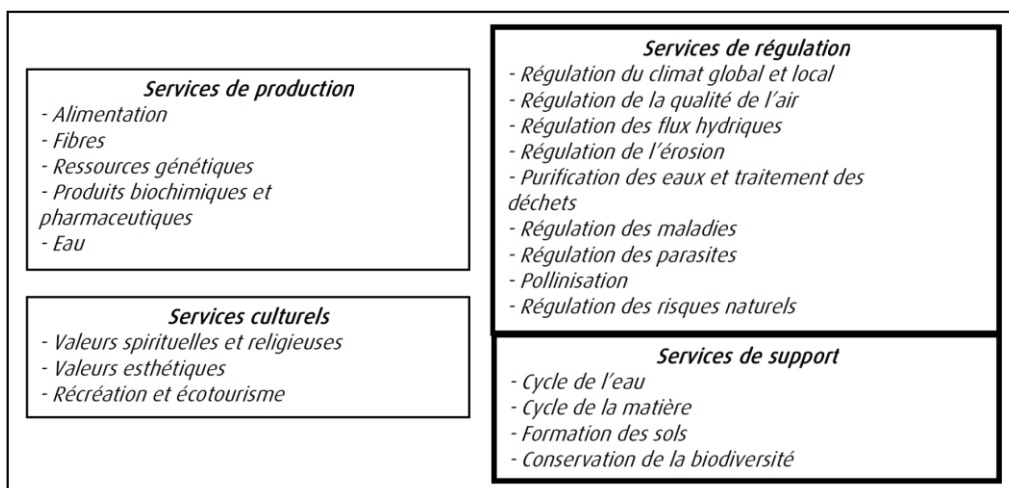


Figure 1.3 Les différents services écosystémiques selon le Millenium Ecosystem Assessment (Duraiappah et al. 2005)

1.4.1 Services de production

De nombreuses formes de bois peuvent être produites dans des haies, telles que du bois d'œuvre, du bois de chauffage et du bois d'industrie (copeaux, BRF¹, trituration) (Percsy, 2008).

Les haies fournissent aussi des produits non ligneux qui ne font souvent pas l'objet d'un commerce majeur (Lecq, 2013) tels que les petits fruits, fleurs et plantes médicinales. De plus, grâce à la production de fleurs, les haies offrent de la nourriture, notamment aux abeilles domestiques, qui peuvent avoir un impact économique direct qui est la production apicole (Melin, 2015).

1.4.2 Services culturels

1.4.2.1 Valeur esthétique

Les haies rompent la monotonie du paysage agricole par leur diversité de formes et de couleurs. La beauté des sites bocagers invite aux activités de détente telles que les balades et à la découverte de la nature, et permettrait de développer le tourisme « vert » (DNF, 1995). Elles favorisent également l'intégration des bâtiments (industriels ou agricoles) et constituent un écran visuel agréable (Percsy, 2008). Les haies à proximité des maisons protègent ces dernières du vent et les inscrivent dans un cadre naturel (DNF, 1995). Cependant, les grands

¹ Bois raméal fragmenté (BRF)

arbres présentent des inconvénients, notamment par l'ombre qu'ils projettent, ainsi qu'en tant qu'obstacles à une vue sur un paysage (Percsy, 2008).

1.4.2.2 *Valeur patrimoniale*

Les haies font partie intégrante du patrimoine rural (Percsy, 2008). En effet, les anciennes haies, présentes dans les paysages depuis quelques centaines d'années, sont les témoins de pratiques agricoles ancestrales qui consistent en la séparation des parcelles (Baudry et Jouin, 2003). Par ailleurs, elles sont constituées d'arbres typiques du paysage et elles peuvent contenir d'anciennes espèces fruitières importantes à conserver (Natagriwal, 2017).

1.4.3 Services de régulation

1.4.3.1 *Régulation du microclimat*

Les haies créent un microclimat (aussi appelé « effet tampon ») grâce à deux phénomènes de régulation climatique ; l'effet brise-vent et la modification du rayonnement.

En tant qu'obstacles au mouvement des masses d'air, la haie a un effet « brise-vent », qui est d'autant plus efficace que celle-ci est semi-perméable, régulière et haute (Baudry et Jouin, 2003), permettant une protection sur une distance de 15 à 20 fois sa hauteur (Soltner, 2015). En outre, les haies provoquent des ombres et réfléchissent le rayonnement solaire direct ainsi que le rayonnement infra-rouge émis par le sol (Soltner, 2015). Cette modification du rayonnement est à l'origine d'un changement de la température de l'air et du sol à leur proximité par rapport aux milieux ouverts ; plus faibles du côté ombragé, et plus élevées la nuit et du côté ensoleillé. Il en va de même pour l'humidité atmosphérique (Forman et Baudry, 1984).

L'effet tampon des haies (création d'un microclimat) peut protéger les cultures et animaux d'élevage des écarts de températures, du vent, ainsi que du soleil et de la pluie. Dès lors, Soltner (2015) et Forman et Baudry (1984) concluent que les haies améliorent le rendement des productions végétales et augmentent la résilience des agroécosystèmes.

1.4.3.2 *Conservation des sols*

Les haies, en particulier celles situées parallèlement aux courbes de niveau, permettent de réduire l'érosion hydrique ou éolienne des sols (Percsy, 2008; Viaud et al. 2009). Leur arrachage peut conduire à des glissements de terrain ou des lessivages impressionnants (Liagre, 2006). En outre, grâce aux apports de matière organique par la végétation pérenne et leur activité biologique importante, les sols des haies accumulent la matière organique (Walter et al. 2003; Follain et al. 2006). Cependant, tous ces processus dépendent des

conditions climatiques, de la position de la haie dans le paysage, du type et de la densité de végétation ainsi que de l'âge de la haie (Viaud et al. 2009).

1.4.3.3 *Régulation et épuration des eaux*

Le ruissellement de l'eau en surface est limité par les fissures verticales créées par le cheminement des racines des végétaux. Ainsi, l'infiltration est favorisée, ce qui permet une bonne alimentation des nappes phréatiques (Soltner, 2015; Ghazavi et al. 2008).

En outre, les haies ont un rôle d'évapotranspiration, qui est d'autant plus important qu'il y a une proximité entre les racines et la nappe d'eau superficielle. Par cela, elles réduisent le potentiel hydrique du sol entre le printemps et l'automne (Viaud et al. 2009) ; ce qui améliore le drainage des sols humides au printemps (Soltner, 2015), ainsi que le retard de la re-saturation des sols au moment de la reprise des pluies en automne (Ghazavi et al. 2008).

Par ailleurs, les haies interviennent dans l'amélioration de la qualité de l'eau. En augmentant l'infiltration d'eau, elles limitent la dispersion de produits phytosanitaires ainsi que de résidus de fertilisation (Percsy, 2008; Soltner, 2015). De plus, les excès de nitrates provenant de l'agriculture peuvent être tamponnés grâce à l'activité biologique importante des sols des haies, et grâce à l'absorption racinaire, qui est favorisée lorsqu'une partie de l'azote est stockée dans la biomasse ligneuse (Viaud et al. 2009).

1.4.3.4 *Pollinisation*

Les haies fleuries permettent la survie de nombreux animaux pollinisateurs (Kremen et al. 2002; Liagre, 2006; Fontaine et al. 2006; Morandin et Kremen, 2013; Garratt et al. 2014). Il est estimé que 65 % (Power, 2010) à 70% (Fontaine et al. 2006) des espèces d'angiospermes sont pollinisées par les animaux, en particulier les insectes en zones tempérées, ce qui assure leur reproduction et donc leur survie. La stabilité des écosystèmes dépend donc non seulement des interactions entre plantes et pollinisateurs (Fontaine et al. 2006), mais aussi de la diversité de ces interactions. En effet, l'impact de la diversité des animaux pollinisateurs sur le succès reproducteur d'angiospermes commence à être connu non seulement à l'échelle d'une espèce végétale (Kremen et al. 2002; Klein et al. 2003) mais aussi à l'échelle de communautés végétales (Fontaine et al. 2006).

La pollinisation est nécessaire pour 70% des 124 principales espèces cultivées pour la consommation humaine dans le monde, ce qui représente 35 à 40% du volume total de la production alimentaire (Klein et al. 2007). Selon Gallai et al. (2009), la pollinisation était responsable de 9,5% de la valeur économique totale de la production agricole mondiale utilisée pour l'alimentation humaine en 2005.

L'abeille mellifère (*Apis mellifera* L.) est la plus connue de tous les pollinisateurs. Cette espèce s'est adaptée à différentes conditions climatiques ainsi qu'à être gérée par des humains. Les pollinisateurs du genre *Apis* sont considérés être des meilleurs pollinisateurs que les autres abeilles (bourdons, abeilles solitaires) et que les syrphes. Selon une étude qui comparait 31 espèces pollinisatrices, l'abeille mellifère *Apis mellifera* est la plus efficace pour la pollinisation des cultures (Rader et al. 2009). Dans une étude sur le sarrasin commun (*Fagopyrum esculentum*), 49 espèces d'insectes visiteurs ont été répertoriées (Jacquemart et al. 2007). Les abeilles mellifères, qui représentaient les hyménoptères en majorité étaient les visiteurs les plus nombreux. Les autres insectes pollinisateurs étaient des diptères, représentés par les syrphes et d'autres familles (Jacquemart et al. 2007). Une autre étude sur le sarrasin commun a montré que les insectes pollinisateurs autres que les *Apis* permettaient seulement d'obtenir la moitié du potentiel de rendement de cette culture, comparée aux pollinisateurs du genre *Apis* (Taki et al. 2009).

Les abeilles mellifères et les bourdons (*Bombus spp.*) vivent en colonies. Les colonies se développent au printemps, grâce à la ponte abondante de la reine (Kämper et al. 2016; Moerman et al. 2016). En été, le nombre d'individus dans une colonie atteint son maximum, et la reine cesse de pondre, ce qui cause la réduction de la population de la colonie en automne. Pour l'espèce *Apis mellifera*, les individus survivants hivernent (Imdorf et al. 1996), tandis que chez *Bombus spp.*, seul les individus sexués hivernent, car les autres meurent (Lefèvre et al. 2002). Dès lors, pour assurer les besoins nutritionnels des insectes pollinisateurs, les ressources florales (pollen et nectar) doivent être produites à partir du mois d'avril jusqu'au mois de septembre, avec un maximum lors du début de l'été. Sans cette production de ressources, les pollinisateurs ne peuvent pas survivre.

Il est avéré que le déclin du service de pollinisation des cultures par les abeilles est lié à l'intensification agricole (Kremen et al. 2002). Les haies fleuries permettent un maintien des pollinisateurs, et ces derniers ont la capacité de se déplacer et de polliniser les parcelles adjacentes cultivées. En effet, dans une comparaison entre des champs dont les bords abordent une végétation herbacée spontanée et des champs entourés par des haies vives indigènes, ces dernières jouaient le rôle d'exportateurs nets d'abeilles sauvages vers les cultures adjacentes (Morandin et Kremen, 2013). Ainsi, afin de profiter de ce service de pollinisation des cultures, et de réduire la dépendance aux pollinisateurs gérés², il est

² Ces pollinisateurs sont importés par les agriculteurs et maintenus dans les parcelles lors de la période de floraison dans le but d'assurer la pollinisation des cultures. Cette méthode est mise en œuvre lorsque trop peu de pollinisateurs sont naturellement présents aux alentours des cultures, notamment aux États-Unis (Cornell University, 2019).

indispensable de veiller à la restauration et au maintien des habitats de nidification et de production de ressources florales, qui seront utiles aux pollinisateurs, notamment lorsqu'ils ne trouveront pas ces ressources dans les champs cultivés.

1.4.3.5 *Régulation des populations de ravageurs des cultures*

Les haies fournissent l'habitat et les diverses ressources alimentaires nécessaires aux insectes prédateurs (syrphes, carabes, araignées) et parasitoïdes, petits carnivores, oiseaux et chauves-souris insectivores et microbes pathogènes qui agissent comme des ennemis naturels des ravageurs agricoles (Burel et Baudry, 1995; Bianchi et al. 2006 ; Liagre, 2006; Debras, 2007; Power, 2010). Néanmoins, certains ravageurs pourraient eux aussi trouver des refuges dans les haies, mais le risque est difficile à prendre en compte (Debras, 2007) et son effet semble inférieur aux bénéfices biologiques des haies (Simon et al. 2011). En outre, en attirant des ravageurs tels que les pucerons, les haies permettent le maintien dans le temps de population de prédateurs généralistes, et surtout spécialistes, hautement intéressants sur un plan de lutte biologique (Bonnaure, 2011)

Par conséquent, les populations d'ennemis des ravageurs des cultures peuvent être maintenues à proximité des parcelles. Grâce à cette proximité, ils peuvent fournir des services de contrôle biologique dans les agroécosystèmes. (Power, 2010). La valeur économique de ce service peut être estimé car il autorise la diminution des pesticides. Ainsi, il a été notifié que l'importance de ce service dépend de la qualité de la haie ; de nombreuses études ont été conduites pour identifier l'impact des essences présentes dans les haies sur les animaux auxiliaires des cultures (Garratt et al. 2014). La diversité d'habitats proposés par la haie (Liagre, 2006; Garratt et al. 2014) ainsi que la contiguïté entre les haies semblent être des éléments essentiels (Power, 2010; Garratt et al. 2014). Une méta-analyse a montré que ce sont les paysages diversifiés qui offrent le plus de potentiel pour le maintien de la fonction de contrôle des ravageurs. (Bianchi et al. 2006). Les traitements phytosanitaires effectuées à proximité des haies (Debras, 2007) ainsi que la distance entre les haies et cultures visées (Pointreau, 2004) ont évidemment un impact crucial sur le potentiel de lutte biologique.

1.4.4 Service de soutien à la biodiversité floristique et faunique

Les haies ont un rôle important dans le maintien de la biodiversité en y accueillant de nombreuses espèces végétales et animales. Si elles sont à l'intersection entre deux écosystèmes différents, elles jouent le rôle d'écotone, c'est-à-dire de milieu de transition (effet lisière) (Soltner, 2015). Ainsi, aucune espèce florale ni animale n'est inféodée aux haies car la flore et la faune qu'on y retrouve sont issues d'autres biotopes, à la fois les prairies et les milieux forestiers (Baudry et Jouin, 2003). Si les haies jouxtent deux écosystèmes identiques, elles joueront un rôle différent en fonction des espèces concernées ; elles seront

plutôt une barrière au déplacement des espèces, ou un corridor facilitant leur mouvement (Notteghem, 1987; DNF, 1995; Hinsley et Bellamy, 2000; Boissinot et al. 2013; Baudry et Jouin, 2003; Liagre, 2006; Krewenka et al. 2011).

Le schéma récapitulatif d'après Burel et Baudry (1995) permet de représenter les différents facteurs influençant la composition des communautés des haies (Figure 1.4). Les facteurs ayant un impact sur la flore, l'avifaune et la faune pollinisatrice seront discutés dans les paragraphes qui suivent.

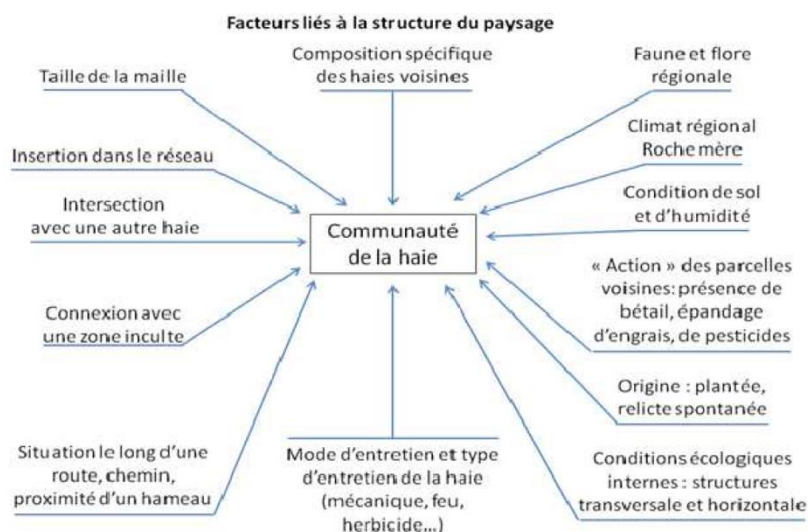


Figure 1.4 Facteurs influençant la composition des communautés animales et végétales de la haie (d'après Burel et Baudry, 1995)

1.4.4.1 Hauteur, largeur, structure de la végétation et éléments particuliers

La structure de la haie influencera la diversité de la faune qui s'y réfugie ; une haie large sera dominée par une faune forestière alors qu'une haie étroite ou basse hébergera des espèces de lisières ou de milieux ouverts (Baudry et Jouin, 2003). Par ailleurs, les strates de végétation ainsi que les divers microclimats présents dans la haie offrent des lieux de vie très différents, permettant la présence de diverses espèces d'insectes, d'amphibiens, de reptiles, de mollusques, d'oiseaux et de mammifères. Dès lors, il est généralement admis qu'une haie large et pluristratifiée favorisera la biodiversité faunique et floristique (Liagre, 2006; Boissinot et al. 2013).

Les oiseaux ont tendance à préférer les haies qui ressemblent le plus à leur habitat de nidification habituel. Par conséquent, le type de haie influence fortement les populations d'oiseaux que l'on peut y rencontrer (Amy et al. 2013 ; Hinsley et Bellamy, 2000 ; Tableau 1.1). Selon Forman et Baudry (1984), une grande diversité d'espèces d'oiseaux peut être observée dans des haies qui possèdent de nombreuses structures, car chaque espèce aviaire a une préférence pour un étage particulier de la haie. Dès lors, la plus forte densité d'oiseaux et la

plus grande diversité d'espèces est obtenue pour les haies associant grands arbres, arbustes et talus (Soltner, 2015 ; Figure 1.5).

Tableau 1.1 Distribution des espèces d'oiseaux dans les haies. D'après Pollard et al. (1974)

Compartiment de la haie	Niche seulement	Niche et se nourrit	Se nourrit seulement
Canopée	Corneille noire Corbeau freux Buse variable Faucon crécerelle Grive draine	Pigeon ramier Verdier d'Europe	Mésange bleue Pinson des arbres et autres espèces des arbres et des arbustes Grimpereau des bois Pic épeichette
Troncs, cavités	Effraie des clochers Chevêche d'Athéna Pigeon colombin Choucas des tours Mésange charbonnière Étourneau sansonnet Moineau friquet Faucon crécerelle Chouette hulotte	Troglodyte (dans lierre) Pic vert Pic épeiche Sittelle torchepot	Grimpereau des bois
Strate arbustive	Tourterelle des bois Pie bavarde Tourterelle turque	Pigeon ramier Coucou gris (dans les nids d'autres passereaux) Mésange à longue queue Grive musicienne Merle noir Fauvette babillarde Accenteur mouchet Troglodyte Chardonneret élégant Linotte mélodieuse Bouvreuil pivoine Pinson des arbres Verdier d'Europe Moineau domestique Gallinule poule d'eau (surtout sur les digues) Fauvette à tête noire Fauvette des jardins Pie-grièche écorcheur Bruant zizi Moineau friquet	Grive litorne Grive mauvis Grive draine Rouge-gorge Mésange charbonnière Mésange nonnette Mésange bleue Fauvette grisette Mésange boréale Mésange noire Pouillot fitis Pouillot véloce Gobemouche noir et autres espèces migrantes
Plantes herbacées et ligneuses basses		Fauvette grisette Bruant jaune Bruant des roseaux Rossignol philomèle Pouillot véloce Locustelle tachetée Phragmite des joncs Traquet pâle	Chardonneret élégant Verdier d'Europe et autres espèces des strates arbustives et herbacées
Sol	Alouette des champs	Rouge-gorge Bruant proyer Faisan de Colchide Perdrix grise Perdrix rouge Pouillot fitis	Accenteur mouchet Merle noir Grive musicienne Troglodyte et beaucoup d'autres espèces des strates arbustive et herbacée

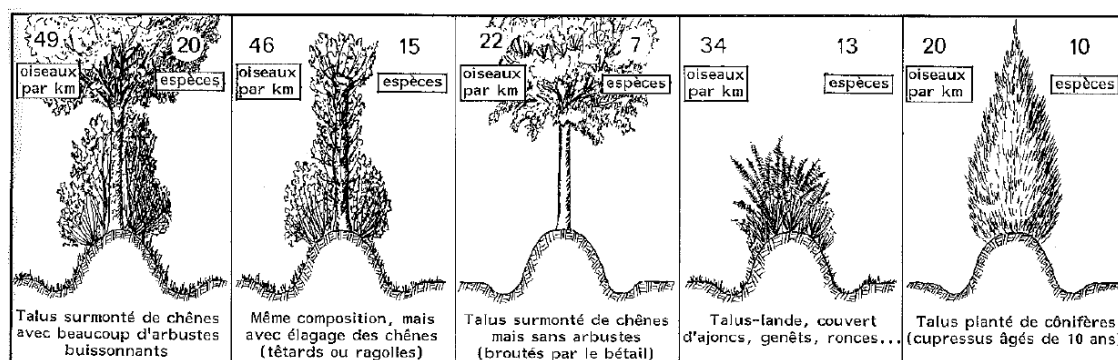


Figure 1.5 Influence du type de haie sur la densité et la diversité des oiseaux (Soltner 2015)

1.4.4.2 *Éléments des haies*

L'intérêt d'une haie pour la faune peut être augmenté en la combinant avec d'autres éléments tels que les fossés, talus, bandes enherbées, et des arbres creux ou morts.

Les haies et les talus sont essentiels pour certaines espèces d'oiseaux menacées par l'intensification agricole (DNF, 1995). Les talus seront utilisés par des pollinisateurs tels que les bourdons (*Bombus spp*), pour l'hivernage des fondatrices des colonies (Baudry et Jouin, 2003). Les abris, berges et fossés végétalisés sont intéressants pour différentes espèces d'oiseaux (Hinsley et Bellamy, 2000). Les bandes enherbées situées au pied des haies jouent également un rôle essentiel en abritant des invertébrés (Boissinot et al. 2013; Garratt et al. 2014), et elles sont importantes pour les oiseaux nichant et/ou se nourrissant au sol. Les vieux arbres têtards ou les arbres creux et les arbres morts sont cruciaux car leurs cavités offrent un site de nidification pour certains oiseaux, notamment les rapaces nocturnes tels que la chouette chevêche (*Athene noctua*) et diurnes tels que le faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) (Liagre, 2006; Tableau 1.1).

1.4.4.3 *Espèces végétales*

Outre la structure de la haie, les espèces florales influencent aussi la faune des haies. Les larges haies contenant des espèces végétales au feuillage persistant ou semi-persistant l'hiver (comme les hêtres juvéniles, le charme, ou le houx) créent un couvert propice pour abriter la faune, telle que les petits mammifères (lapins et rongeurs). En outre, une haie à la diversité florale élevée propose bien plus d'abris qu'une haie monotone. De plus, l'origine des espèces a son importance : la flore locale héberge la biodiversité naturellement présente, alors que les essences exotiques ne présentent pas naturellement un cortège d'insectes associés dans leur région d'introduction (Liagre, 2006).

Les espèces végétales hébergeant des invertébrés, ainsi que les espèces productrices de fruits et de graines sont bénéfiques pour l'avifaune. En outre, plus les espèces végétales sont nombreuses, plus une grande diversité de ressources sera offerte aux oiseaux. L'apport en nourriture assuré par les fructifications en décalé est essentiel pour les oiseaux migrants et pour les hivernants (Baudry et Jouin, 2003).

Les espèces végétales entomophiles attirent les pollinisateurs en leur offrant des ressources florales qui sont le pollen et le nectar (Goulson et Darvill, 2004). Le nectar est principalement constitué de sucres (Corbet, 2003). C'est l'aliment énergétique privilégié de la faune pollinisatrice. Le pollen est quant à lui la principale source d'éléments nutritifs utilisée pour le développement des larves et des adultes (Roulston et Cane, 2000; Génissel et al. 2002; Nicolson, 2011). Il est constitué principalement de lipides (stéroïdes) et de composés azotés

(acides aminés, protéines) (Roulston et Cane, 2000). La composition chimique du nectar et du pollen ainsi que la quantité produite et le moment de production sont fonction de l'espèce végétale productrice (Roulston et Cane, 2000; Génissel et al. 2002; Nicolson, 2011). En outre, une haie constituée de plusieurs espèces productrices de fleurs propose une grande diversité de ressources nourricières pour les pollinisateurs, et ce à différents moments de l'année. Ce décalage temporel de floraison permet de subvenir aux besoins des pollinisateurs qui se nourrissent dans les haies (Morandin et Kremen, 2013).

Il est aussi admis que les haies fleuries en bordure de champs peuvent attirer des abeilles sauvages (Hannon et Sisk, 2008). Les haies à la flore diversifiée attirent aussi les pollinisateurs oligolectiques (ou « spécialisés ») qui butinent de manière spécialisée un faible nombre d'espèces végétales. C'est le cas des Apidae à longue langue, qui sont en régression en Belgique à cause de la diminution des plantes à corolle profonde (*Lamiaceae*, *Fabaceae*, *Scrophulariaceae*). Ce phénomène est dommageable car ces pollinisateurs spécifiques sont les plus efficaces pour ce type de plantes (Delaplane et al. 2000; Rasmont et al. 2005).

1.4.4.4 Mode et type d'entretien de la haie

Le mode de gestion des haies a également une influence sur les insectes pollinisateurs et l'avifaune. A court terme, la taille des arbres provoque un changement brutal des conditions micro environnementales. Si cette taille est fréquente, la faune dans les haies sera alors modifiée (Baudry et Jouin, 2003). En effet, les milieux perturbés attirent davantage les espèces de carabes de plus petite taille, ubiquistes et aux capacités de dispersion importantes (Den Boer, 1970).

Les tailles fréquentes diminuent l'abondance des insectes pollinisateurs du groupe des hyménoptères (Maudsley et al. 2000) ainsi que l'avifaune (Hinsley et Bellamy, 2000). En effet, ce mode de gestion réduit la production de fleurs et de fruits. La taille des ligneux ainsi que les coupes de la strate herbacée à la base de la haie diminuent aussi la disponibilité en abris. D'ailleurs dans le cadre des MAEC la taille des haies est proscrite entre le 1^{er} avril et le 31 juillet et la fauche des bandes enherbées est réglementée (Natagriwal, 2019a).

1.4.4.5 Connectivité entre les haies

Les haies connectées entre elles facilitent le déplacement quotidien ou saisonnier des espèces dont le domaine vital dépasse la taille moyenne des habitats isolés (Bergès et al. 2010). Cet aspect est d'autant plus important pour la faune dont les capacités de déplacement et de dispersion sont limitées (inférieur à 1 km) (Liagre, 2006; Boissinot et al. 2013). Ce mouvement favorise la diversité génétique inter-espèces, qui est essentiel au maintien de la diversité

écologique (DNF, 1995). Ainsi, le maillage créé par la contiguïté et la densité des haies constitue un réel « réseau écologique ».

L'importance de la contiguïté des haies pour l'avifaune reste discutée. Un réseau continu de haies ne semble pas indispensable pour toutes les espèces. Pour circuler à travers le paysage, certains oiseaux, tels que les espèces migratrices, nécessitent uniquement des haies discontinues, qu'ils utilisent comme « relais » (DNF, 1995). D'autres espèces d'oiseaux, qui résident dans les haies, cherchent un habitat protégé du vent, des bruits et des prédateurs. Dès lors, les connexions entre les haies jouent un rôle essentiel et déterminent un gradient d'abondance en oiseaux qui décroît lorsque l'on s'en éloigne (Notteghem, 1987). En outre, les espèces dont l'habitat est forestier peuvent être observées dans des haies connectées à une forêt. Ces haies leur permettent de se déplacer sans quitter le milieu forestier. Les haies faciliteraient aussi l'accès à des ressources ou à un habitat qui, autrement, seraient trop éloignés ou trop risqués pour être utilisés par certaines espèces d'oiseaux (Hinsley et Bellamy, 2000).

Cependant, les haies jouent aussi un rôle de barrière en canalisant le déplacement de certaines espèces de plantes et d'animaux. Cet effet est important pour les papillons, qui ne traversent pas les haies hautes et denses. Pour certaines d'entre eux, une haie d'un mètre de haut peut constituer un obstacle à leur déplacement (Baudry et Jouin, 2003). Pour le déplacement des pollinisateurs, la connectivité entre les haies semble être importante. En effet, l'abondance et la richesse des espèces diminue en fonction de la distance à la haie, pour les abeilles solitaires et les guêpes mais pas pour les bourdons. En outre, les haies ne semblent pas limiter le mouvement des abeilles mellifères (Krewenka et al. 2011).

1.5 Dis-services des haies

Le terme « service (écosystémique) » occulte les dis-services que peuvent aussi générer les écosystèmes. A l'échelle des agroécosystèmes, les haies ont comme dis-services la perte d'espace cultivé (entre 1 et 5 %), la concurrence avec les cultures (eau, soleil), l'hébergement des ravageurs des cultures et le coût de l'entretien (McCollin, 2000; Pointreau, 2004). Dès lors, nous regrouperons les services et dis-services sous le terme de « fonctions ».

1.6 Objectifs du mémoire

Le but de ce travail est de déterminer la biodiversité fournie par les haies et groupes d'arbres du site de la ferme de Lauzelle. Pour ce faire, trois taxons seront étudiés. Ce sont les végétaux, les pollinisateurs et l'avifaune.

La flore des haies sera inventoriée et cartographiée pour chaque haie du site. Dès lors, l'abondance et la diversité des espèces pourront être étudiées. Le rôle du végétal dans l'apport à la biodiversité sera ainsi pris en compte.

L'impact des haies sur les pollinisateurs sera évalué en se basant sur les espèces végétales présentes, le mode de gestion des haies ainsi que leur structure. Les ressources en nectar produites par les espèces végétales seront estimées pour chaque haie. En outre, le nectar nécessaire pour la survie de quelques pollinisateurs communs sera calculé. Ainsi, la taille de la population de ces pollinisateurs qui pourra être potentiellement nourrie par les haies de la ferme de Lauzelle sera estimée.

La participation des haies à la fourniture d'abris et de ressources nourricières pour l'avifaune sera évaluée à l'aide de deux méthodes complémentaires. Non seulement nous estimerons la production fruitière par les arbres, mais nous suivrons les espèces d'oiseaux qui fréquentent les haies. Cela permettra d'établir un lien entre la structure des haies, les espèces végétales présentes et l'avifaune.

A la suite de cette évaluation, les avantages et inconvénients de chaque haie seront déterminés. Cela facilitera la discussion entre les différents acteurs du site dans le cadre du plan d'urbanisation du quartier de l'Ornoi.

Finalement, un plan d'aménagement des haies sera proposé, afin de répondre à un besoin de service paysager, ainsi qu'au support de la biodiversité. Ce plan visera à intégrer les bâtiments du quartier dans une structure rurale, ainsi qu'à améliorer la connectivité des haies et de maximiser le service écosystémique de support à la biodiversité pour les oiseaux et les pollinisateurs. Des « haies type » seront proposées pour des futures plantations de haies lors de la construction du quartier de l'Ornoi. Par ailleurs, le plan de plantation de nouvelles haies proposé par le gestionnaire de la ferme de Lauzelle sera analysé.

2 Matériels et méthodes

2.1 Site d'étude

2.1.1 Localisation et délimitation de la zone d'intérêt

Le site d'étude se situe à Lauzelle, sur la commune d'Ottignies Louvain-la-Neuve. Les parcelles concernées appartiennent à la ferme de Lauzelle. Cette ferme comprend actuellement 15 ha incluant des prairies, cultures et espaces bâtis. Au nord et à l'ouest de la ferme se situe le golf de Lauzelle. Le bois de Lauzelle, qui est une zone protégée Natura 2000, se trouve à l'ouest du golf. La zone bâtie est le quartier de Lauzelle, au sud de la ferme (Figure 2.1).

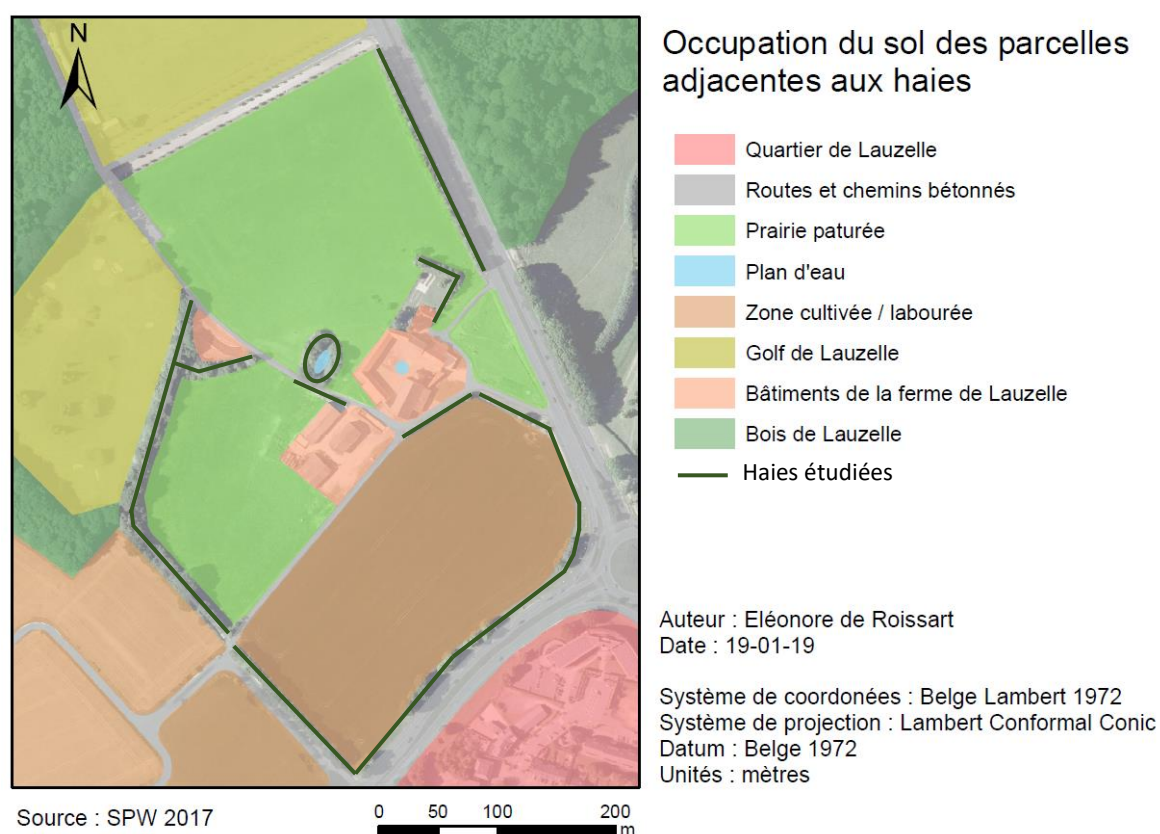


Figure 2.1 Occupation du sol des parcelles adjacentes aux haies de la ferme de Lauzelle (2017)

2.1.2 Évolution de la ferme de Lauzelle et de ses ligneux à travers l'histoire

Les sources divergent quant à la date de fondation de la ferme, mais des défrichements sont signalés dans la région de Lauzelle aux IX^e et X^e siècle. La ferme est pour la première fois mentionnée en 1111, dans un acte confirmant la possession de la « Curtis de L'Ausele et de toutes les terres qui en dépendent » à l'abbaye d'Affligem (Martin, 1969).

Depuis 1797, date à laquelle la propriété est vendue comme bien national, différentes familles ont successivement été propriétaires de la ferme et du bois (Martin, 1969). Au fil des propriétaires successifs depuis 1797, le bois de Lauzelle a été réduit au nord et à l'est de la ferme (

Figure 2.2). En 1968, l'UCL acquiert l'ensemble du site, tout en permettant au dernier propriétaire, Nicolas Braibant, l'exploitation des terres (Colette, 2016). Ce contrat a été étendu jusqu'en juillet 2017, date à laquelle l'UCL a donné le renom sur les terres, qui seront récupérées officiellement par l'UCL dès le début de l'année 2019.

On peut voir les modifications des ligneux et de l'occupation des terres de la ferme de Lauzelle sur presque deux siècles et demi (Figure 2.2). Sur la carte de Ferraris (1777), la scavée³, le chemin pavé et le bosquet de la mare (à l'ouest de la ferme) sont déjà présents, ainsi que le bois de Lauzelle en bordure de la ferme. Les bois étaient uniquement composés de feuillus (Goblet d'Alviella, 1927). La scavée borde le bois de Lauzelle sur la carte de Vandermaelen (1846).



Figure 2.2 Evolution des arbres et de l'occupation des sols de la ferme de Lauzelle et de ses environs sur les cartes de Ferraris de 1777 [A], de Vandermaelen de 1846 à 1854 [B] et sur l'orthophotoplan de 2017 [C]. (SPW, 2019)

2.1.3 Projet maraîcher de l'UCL

En 2013, les 30 ha de terres agricoles situés au nord du Boulevard de Lauzelle ont été convertis en « zone d'habitat » au plan de secteur, en vue de la construction du « quartier de l'Ornoi », à la suite de ce qui était prévu dans le plan directeur de Louvain-la-Neuve de 1971 (Plan de

³ Le terme « scavée » provient du latin *escavata*, qui signifie « chemin creux » (Larousse, 2019).

secteur de Jodoigne-Wavre-Perwez, SPW). À la suite de la modification du plan de secteur, la superficie des terres appartenant à la ferme sera de 3 ha, ainsi que 1 ha de l'autre côté de la Nationale 4 (Figure 2.3). Une activité maraîchère est prévue sur cette zone.

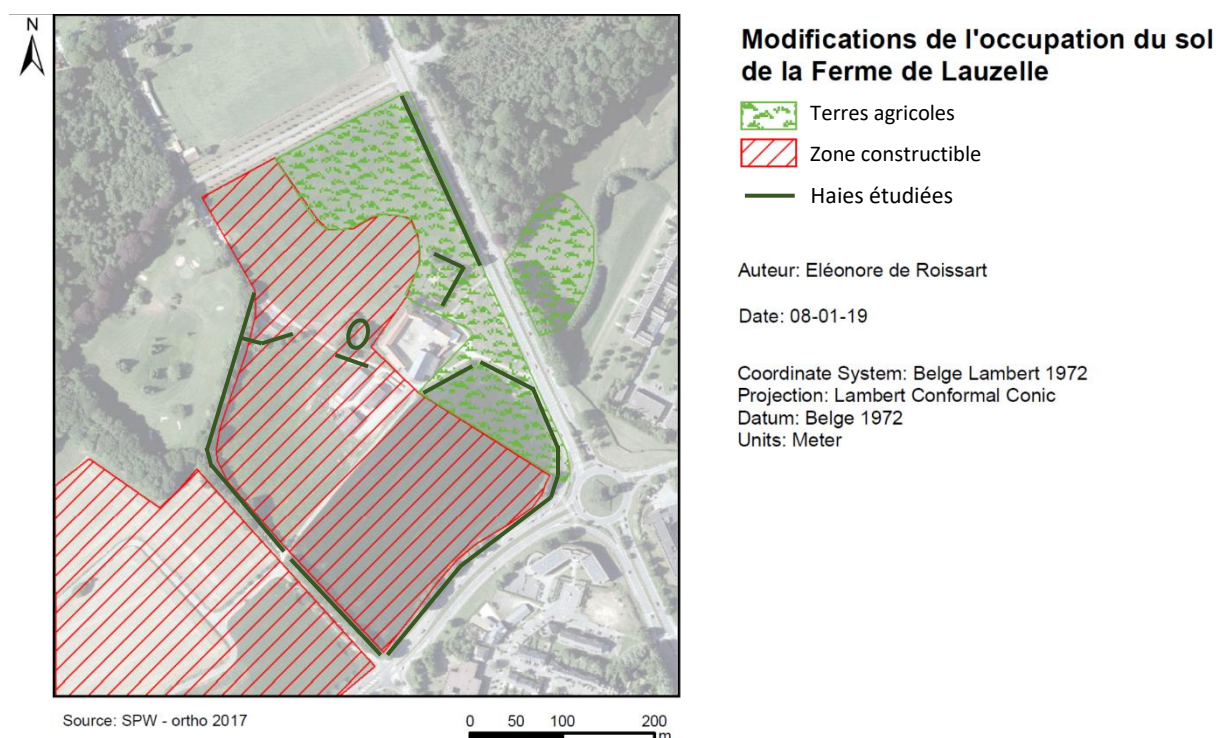


Figure 2.3 Prévion de l'occupation du sol des parcelles adjacentes aux haies de la ferme de Lauzelle à la suite de la modification du plan de secteur.

2.1.4 Situation pédologique

Selon la Carte Numérique des Sols de Wallonie qui est construite à partir de la Carte des sols de Belgique (établie de 1947 à 1991 ; SPW s. d.), deux types de sols distincts caractérisent la zone étudiée. Au sud des bâtiments de la ferme, les sols sont de type limoneux à drainage naturel favorable, propice aux cultures exigeantes (type Aba1). Au nord, on trouve des sols sablo-limoneux faiblement ou modérément gleyfiés à développement de profil non défini et substrat argilo-sableux (type wLDx2_3).

2.2 Localisation des ligneux au sein du site d'étude

La superficie considérée est d'environ 1,6 hectares, ce qui représente la totalité des espaces recouverts par des haies, alignements d'arbres isolés ou bosquets ligneux du site de la Ferme de Lauzelle. La définition reprise pour la notion de haies est la suivante : tout linéaire d'arbres et/ou d'arbustes d'une longueur supérieure à 20 m et de largeur maximum de 15 m.

Dans le but de faciliter l'étude des haies sur le site, elles ont été organisées en sept « zones d'aménagement ». Ces zones d'aménagement peuvent être regroupées en trois classes, en fonction de la localisation géographique, des parcelles adjacentes, de l'âge et de la structure de la haie. La première considère les portions de haies historiques (Z1), la seconde reprend les haies récentes le long des routes (Z2) et la troisième regroupe les haies proches des bâtiments de la ferme (Z3). Dès lors, chaque zone d'aménagement est indiquée par deux chiffres, le premier pour la classe et le deuxième pour le numéro de cette zone au sein de la classe.

Les zones d'aménagement sont représentées à la Figure 2.4, et résumées dans le Tableau 2.1. Les photographies correspondantes sont montrées à la Figure 2.5.

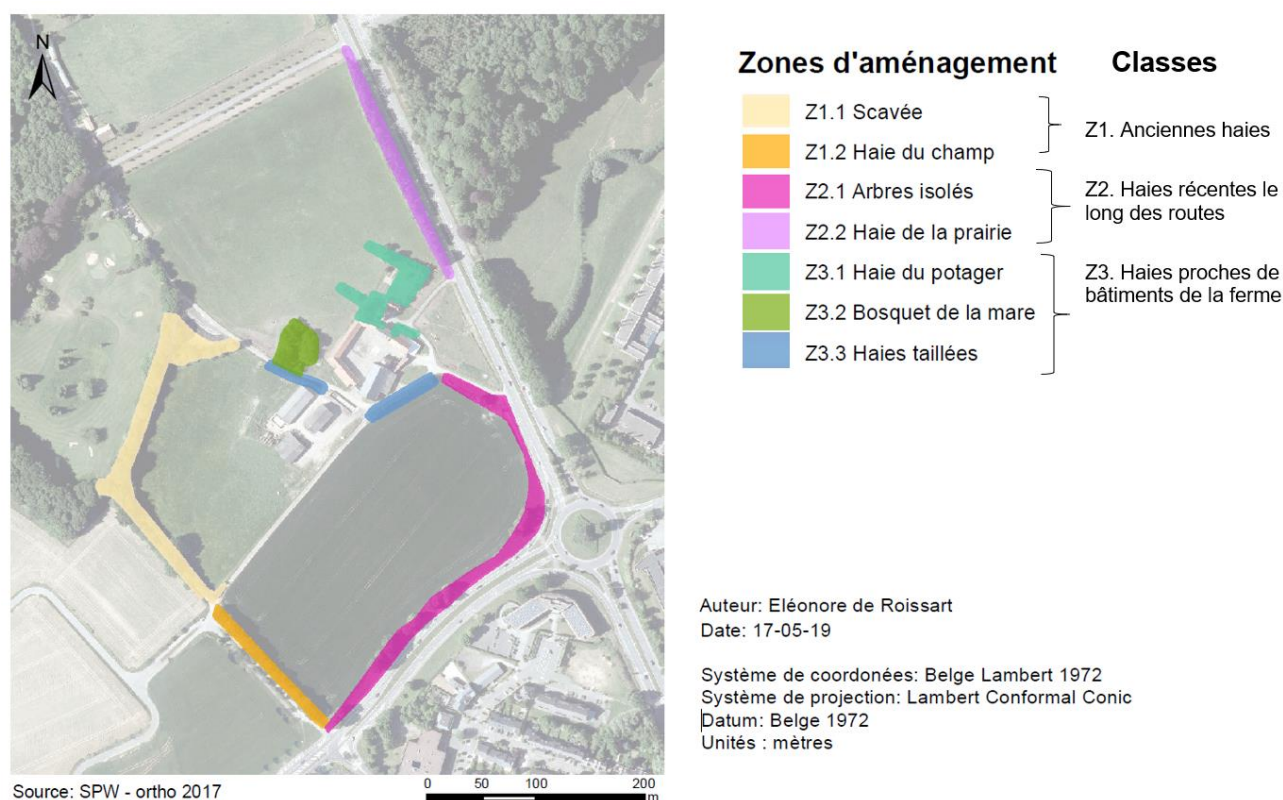


Figure 2.4 Localisation des types de ligneux dans le site d'étude et des zones d'aménagement.

La première classe (colorée en jaune et orange à la Figure 2.4), reprend deux anciennes haies qui bordent un tronçon du chemin de Lauzelle débutant à l'extrémité sud-est du bois de Lauzelle et s'arrêtant perpendiculairement au boulevard de Lauzelle. Ces haies étaient déjà répertoriées en l'an 1777 (Ferraris, 1777). La double haie multi-strates, appelée scavée (Z1.1) est empruntée plusieurs fois par jour par des piétons, cavaliers, vélos, ainsi que des mobylettes (bien qu'elle soit interdite aux véhicules à moteur). Au sud de cette première haie se trouve la haie du champ (Z1.2). Cette haie d'arbres et d'arbustes borde le chemin du côté

est. Les terrains adjacents à ces haies sont inclus dans le nouveau quartier de l'Ornoi comme terrains urbanisables.

La deuxième classe (colorée en rouge et violet à la Figure 2.4) comprend des arbres isolés ainsi qu'un alignement d'arbres et d'arbustes qui se trouvent le long de routes construites ou aménagées vers 1970. Les espèces présentes sont diverses. Souvent, les arbres d'une même espèce sont regroupés localement par groupes de deux à dix individus.

La troisième classe (colorée en bleu et vert à la Figure 2.4) inclut différents types de haies qui sont tous proches des bâtiments de la ferme. Comme pour la deuxième zone, les terrains adjacents seront, pour une part, inclus dans le nouveau quartier de l'Ornoi comme terrains urbanisables, et pour l'autre part, cultivés par la ferme. Cette zone contient des haies taillées proches de bâtiments un bosquet et des arbres autour du potager de la ferme.

Tableau 2.1 Description générale des types de haies regroupées en classes et en zones d'aménagement

Classe	Zone d'aménagement	Nom de l'élément linéaire boisé	Parcelles adjacentes actuelles	Parcelles adjacentes dans le plan de conversion la ferme	Structure	Longueur totale [m]	Largeur moyenne [m]
1 : Anciennes haies	Z1.1	Scavée	Culture, golf et prairie pâturée	Urbanisé	Double haie multi-strate ancienne	389	11,5
	Z1.2	Haie champ	Cultures	Urbanisé	Haie arborescente et arbustive ancienne	142	9
2 : Haies récentes le long des routes	Z2.1	Arbres isolés champ	Culture et route (Boulevard de Lauzelle)	Urbanisé et route (Boulevard de Lauzelle)	Arbres isolés	534	8
	Z2.2	Haie prairie	Prairie pâturée et route (Nationale 25)	Maraichage et route (Nationale 25)	Haie arborescente et arbustive	229	6,5
3 : Haies proches des bâtiments de la ferme	Z3.1	Potager	Bâtiments de la ferme, potager et prairie pâturée	Bâtiments de la ferme et maraichage	Arbres et arbustes alignés et isolés	75	5
	Z3.2	Bosquet de la mare	Prairie pâturée, proche des bâtiments de la ferme	Urbanisable, proche des bâtiments de la ferme	Bosquet d'arbres et arbustes autour d'une mare	91	9
	Z3.3	Haies taillées	Bâtiments de la ferme et culture et prairie pâturée	Urbanisable, bâtiments de la ferme	2 haies taillées régulièrement et récentes	118	4

(Z1.1)



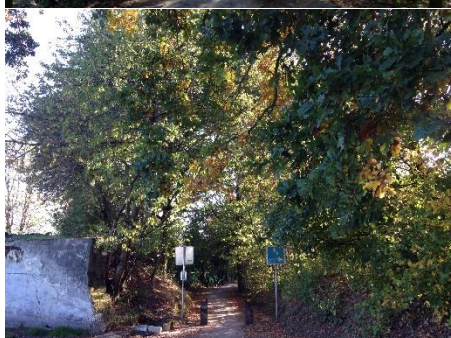
Entrée sud de la scavée



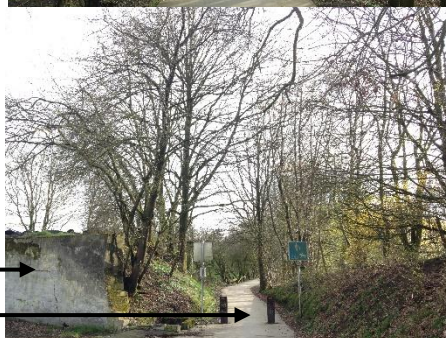
Prairie pâturée



Golf de Lauzelle



Entrée nord de la scavée



Silo

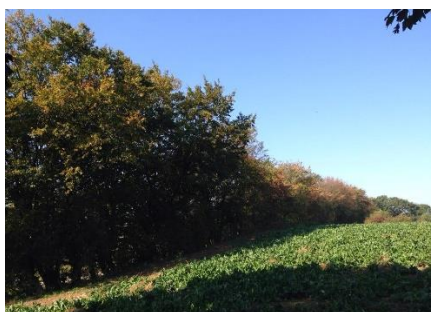


Entrée sud de la scavée

Prairie pâturée

Entrée nord de la scavée

(Z1.2)



(Z2.1)



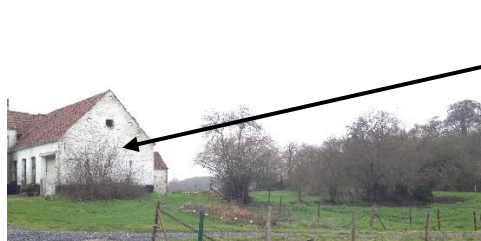
Boulevard
de Lauzelle

(Z2.2)



Prairie pâturée

(Z3.1)



Bâtiment de
la ferme

(Z3.2)



Prairie pâturée

Mare



(Z3.3)



Bâtiment de
la ferme

Figure 2.5 Photographies des haies en été (gauche) et en hiver (droite) de la scavée (Z1.1), la haie du champ (Z1.2), les arbres isolés (Z2.1), la haie de la prairie (Z2.2), le potager (Z3.1), le bosquet de la mare (Z3.2), les haies taillées (Z3.3). (Eléonore de Roissart, 2018)

2.3 Mesures floristiques

2.3.1 Identification des espèces ligneuses et évaluation de leur volume de couronne

Lors du mois de juillet 2018, toutes les espèces ligneuses se trouvant sur le site de la ferme de Lauzelle ont été identifiées à l'aide de flores (Rameau et al. 2003; Jacquemart et Descamps, 2018). Leur origine (indigène ou exotique) et leur mode de pollinisation (anémophile et/ou entomophile) a également été noté. Pour chaque haie, l'indice de biodiversité de Shannon a été calculé selon la formule :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i * \log_2(p_i)$$

Avec i : une espèce ligneuse ou herbacée du milieu d'étude, S : la richesse spécifique du milieu, p_i : la proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude, calculé comme suit : $p_i = \frac{n_i}{N}$, avec n_i : le nombre d'individus pour l'espèce i , et N : l'effectif total.

L'estimation du volume des houppiers des ligneux a été effectuée entre les mois de septembre et de novembre 2018. Les paragraphes suivants décrivent les différentes méthodes utilisées pour mesurer ce paramètre.

En ce qui concerne les arbustes des haies, des mesures de la hauteur (h), de la largeur (l) et de la profondeur (p) du houppier ont été effectuées manuellement avec un mètre ruban ou un pentadécamètre après l'identification des espèces. Ainsi, le volume de chaque houppier d'arbuste a été calculé en comparant leur forme à celle d'un cuboïde (Figure 2.6). Cette mesure fournit des résultats précis mais est coûteuse en temps et, pour des raisons physiques, ne peut pas être utilisée pour les arbres qui mesurent plus de 4m de haut. Ainsi, elle a seulement été utilisée pour la mesure des arbustes.

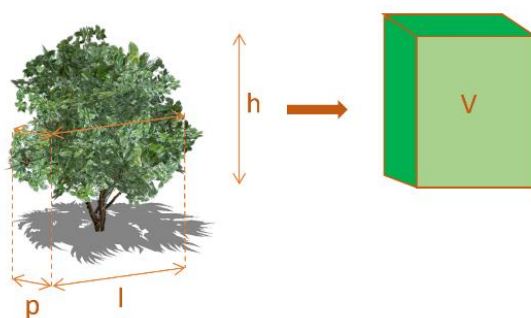


Figure 2.6 Méthode de mesure des dimensions ($V = l \times h \times p$) pour un arbuste

Dans le but de mesurer les volumes des houppiers des arbres, deux méthodes ont été utilisées :

1. La prise de mesures géoréférencées sur le terrain.

L'appareil utilisé est un Trimble (Geo 7X), qui permet de mesurer les coordonnées GPS d'un point avec 10 à 50 cm de précision. Quatre points par arbre ont été mesurés, permettant d'obtenir les valeurs de hauteur et de rayon du houppier de l'arbre. Le volume du houppier a ensuite été approximé par la forme d'un ellipsoïde simple (Figure 2.7). L'avantage de cette méthode est la facilité de la prise de mesures. Cependant, cette méthode a le désavantage de ne pas permettre la prise de mesure avec précision de chaque arbre, lorsque ces derniers se chevauchent. C'est pourquoi les individus d'une même espèce ont été regroupés lorsqu'ils suivaient une structure similaire.

2. La prise de mesure sur cartes géoréférencées issues de photographies par un drone.

Avec l'aide du Professeur Sébastien Lambot, trois prises de vue avec le drone Phantom4Pro+ ont été effectuées, le 23 et 31 octobre et le 16 novembre 2018. Le drone a suivi un tracé en double passage, permettant d'augmenter le taux de recouvrement entre les photographies afin d'obtenir un résultat en 3D précis. La prise de vue a été effectuée en mode automatique (logiciel PIX4D) afin de maintenir un taux de recouvrement constant entre chaque photographie. Selon ces paramètres, la prise de vue d'une haie de 1000m² a duré environ 20 minutes. A partir des photographies, une image 3D de la haie a été reconstituée grâce au logiciel Agisoft (construction d'un nuage de points dense, chaque point possède une coordonnée indiquant sa position (XYZ) et sa couleur (RGB)). Vu la difficulté d'effectuer des mesures d'un objet 3D (l'arbre) sur un support 2D (l'écran d'ordinateur), il est nécessaire de créer un orthophotoplan et un Modèle Numérique de Terrain (MNT), visualisables sur ArcGis. Ces deux supports permettent facilement de mesurer la hauteur (htot) et le diamètre (d) de chaque arbre. La hauteur du houppier (h) est estimée en soustrayant 2 m à la hauteur totale (htot). Pour cette méthode, le volume du houppier a aussi été approximé par la forme d'un ellipsoïde simple (Figure 2.7). L'avantage de cette méthode est de créer un support 3D dérivable en cartes qui peuvent être utiles à d'autres fins (cartographie, visualisation 3D des haies) (Annexe A et D). Cependant, elle nécessite l'acquisition et la maîtrise de plusieurs logiciels (PIX4D, Agisoft, ArcGis) et du drone.

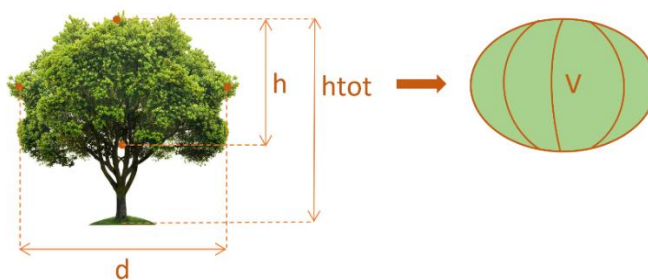


Figure 2.7 Méthode de mesure des dimensions ($V = 1/6 \times \pi \times h \times d^2$) pour un arbre

La première méthode a été utilisée pour estimer le volume des houppiers des ligneux de toutes les haies, alors que la deuxième a été utilisée uniquement pour les haies de la zone 1. Ainsi, la comparaison entre les deux méthodes sera effectuée uniquement pour les ligneux de cette zone.

2.3.2 Identification des espèces herbacées et évaluation du taux de recouvrement

Les herbacées se trouvant dans les zones des haies ont été identifiées en juillet, septembre et mars, à l'aide de flores (Fitter et Fitter, 1984; Rameau et al. 2003; van der Meijden et al. 2016; Jacquemart et Descamps, 2018). La mesure du taux de recouvrement a été effectuée aux mêmes périodes. Pour la zone de la scavée (Z1.1) qui contient une strate herbacée fort développée, le pourcentage de recouvrement des herbacées a été évalué en considérant des tronçons les plus « uniformes » possibles. Ainsi, un tronçon a été délimité en se basant sur un même type de végétation et de structure rencontrés. Au total, 9 tronçons de 2 à 12 mètres de long ont été utilisés. Pour les autres zones, la strate herbacée était peu présente, dès lors l'estimation du recouvrement s'est réalisée sur l'entièreté des haies. Les espèces herbacées ont par ailleurs été regroupées en trois catégories : rudérales, forestières et prairiales. De la même manière que pour les espèces ligneuses, leur origine indigène ou autochtone et leur mode de pollinisation ont été notés (Jacquemart et Descamps, 2018).

2.3.3 Évaluation des ressources nourricières

Pour chaque espèce ligneuse, la période de floraison et de fructification a été déterminée à l'aide de flores (Rameau et al. 2003; Jacquemart et Descamps, 2018). Ainsi, une chronologie de floraison et de fructification a pu être établie.

En outre, la quantification des ressources nourricières (pollen, sucres de nectar) a été déterminée grâce à des données issues de la littérature, qui ont été mesurées dans la région du sud-ouest du Royaume Uni (Baude et al. 2016; Timberlake et al. 2019). Néanmoins, il existe actuellement encore peu de données à ce sujet, en particulier pour le pollen. Ainsi, pour les mesures de pollen, seules les 6 espèces qui avaient une valeur dans la littérature ont été utilisées (Ouvrard, 2018). A cause de ce manque de données, la production totale de pollen n'a pas été calculée. Pour les sucres de nectar, les 11 espèces pour lesquelles les données ne figuraient pas dans la littérature ont été ignorées, à l'exception de 5 espèces, pour lesquelles des données existaient pour une autre espèce du même genre. Dès lors, leurs valeurs ont été assimilées comme identiques.

La méthodologie qui a été suivie est élaborée et décrite par Baude et al. (2016) dans leurs travaux, et résumée dans les paragraphes qui suivent.

1. La **production de sucres de nectar par fleur** est issue de mesures ou de modélisation de la production de sucres (saccharose) produit par une fleur de chaque espèce (Baude et al. 2016; Timberlake et al. 2019).
2. La production de **pollen par fleur** est issue de mesures de Ouvrard (2018).
3. Le **nombre de fleurs par m²** a été déterminé en quantifiant le nombre d'unités florales ouvertes de chaque espèce, dans un quadrat de 1 m², à un moment donné. Pour les arbres et les arbustes, toutes les fleurs dans une colonne verticale de 5 m au-dessus du quadrat ont été comptées. Au-delà de 5 m de hauteur, Baude et al. (2016) ont préféré ne plus compter les fleurs pour des raisons physiques. Ainsi, pour les ligneux supérieurs à 5m de haut, la hauteur de l'arbre a été estimée à l'aide d'un clinomètre et les valeurs d'abondance florale ont été multipliées en conséquence.
4. L'estimation du nombre de fleurs ouvertes par mètre carré à un moment donné a été multipliée par la production florale journalière moyenne de nectar de chaque espèce, donnant une estimation des **grammes de sucres par unité de surface par période de 24 heures**.
5. Ensuite, la densité de fleurs étant une mesure prise à une date précise, elle a été pondérée dans le temps en fonction de la phénologie des fleurs afin de déterminer la **quantité de sucres de nectar par m² produite en un an**.

Par la suite, nous emploierons le terme « nectar » pour nommer les sucres de nectar.

Ensuite, les données de quantité de nectar par m² par an pour chaque espèce, issues de la littérature, ont été traitées afin d'être utilisables dans le cas des espèces ligneuses présentes dans les strates arbustives et arborescentes des haies étudiées. Pour les ligneux, les valeurs de nectar par m² par an de Baude et al. (2016) ont été divisées par la hauteur moyenne de ces ligneux, qui a été estimée à 10 m pour les arbres, et à 5m pour les arbustes. Cela permet d'obtenir des valeurs de nectar par m³ par an.

Pour les arbres et arbustes, les valeurs de nectar produit par m³ par an ont été extrapolées pour les volumes de chaque espèce ligneuse considérée. Pour les espèces présentes dans la strate herbacée, les valeurs de nectar produit par m² par année ont été extrapolées pour les surfaces de chaque espèce considérée. Pour les plantules ligneuses présentes dans la strate herbacée, il a été estimé qu'aucune production de fleurs et fruits n'avait lieu.

La quantification des fruits produits par l'ensemble des haies de la ferme de Lauzelle a été effectuée de manière similaire. Des données de fruits par m³ de volume de couronne pour chaque espèce ligneuse productrice sont issues de la littérature (Fraselle, 2018). Ces données sont pratiques à utiliser car le nombre de fruits a été mesuré par unité volumique, permettant une extrapolation aisée au volume de chaque espèce. Les volumes pris en compte ici ne sont

pas les volumes totaux, mais ceux « en périphérie » de couronne où l'on retrouve les fruits. Une profondeur de 50 cm a été prise pour déterminer ce volume de couronne (Fraselle, 2018). La densité de fruits qui a été mesurée en Belgique au printemps 2018 a été utilisée pour 12 espèces. Pour 3 espèces dont les données de densité de fruits n'ont pas été retrouvées dans la littérature, la valeur de densité de fruits a été estimée arbitrairement à 1 000 fruits par m³ de couronne. Cette estimation a été préférée à une absence de prise en compte de ces espèces. Pour *Crataegus monogyna*, les données de Staley et al. (2012) ont été utilisées afin d'estimer la production de fruits sur des haies taillées tous les deux ans.

2.4 Suivi de l'avifaune

Le suivi des oiseaux migrateurs et hivernants a été réalisé entre les mois d'octobre et mi-avril, de l'ordre d'un relevé toutes les deux à trois semaines. Les observations ont été effectuées en parcourant à pied le site pendant 2 heures maximum en matinée, avec un ornithologue spécialiste, Thierry Maniquet.

Deux précautions ont été prises afin de limiter le biais lié au double comptage. En effet, les observations ont été effectuées en suivant un parcours prédéfini de 1,1 km de long, permettant de ne pas passer deux fois au même endroit. En outre, le comptage a été effectué par classe d'abondance (Tableau 2.2). Cette méthode a été préférée à un comptage individuel. La détermination de l'abondance des oiseaux a été réalisée dans les haies anciennes (Z1.1, Z1.2), ainsi que dans la zone du bosquet de la mare (Z3.2) et dans les haies taillées (Z3.3). Les zones situées le long des routes (Z2.1 et Z2.2) et proches du potager (Z.31) n'ont pas été étudiées pour des raisons pratiques ; le bruit et l'animation autour de ces haies n'aurait pas permis l'identification par l'écoute du chant et des cris des oiseaux.

Les oiseaux ont également été localisés sur le site, dans la mesure du possible, permettant de connaître les haies, les espèces d'arbustes ainsi que la ou les strates fréquentées. Les individus qui ne faisaient que survoler le site sans utiliser les haies n'ont pas été pris en compte. Pour chaque haie, l'indice de biodiversité de Shannon a été calculé afin de prendre en compte la diversité d'espèces ainsi que leur abondance.

Tableau 2.2 Classe des indices d'abondance des oiseaux répertoriés (Roché et al. 2013 ; Maniquet, communication personnelle, septembre 2018)

Indice d'abondance	Nombre d'individus
I	1-5
II	6-10
III	11-20
IV	21-50
V	50-100
VI	100-200

2.5 Évaluation des services et dis-services des haies avec le modèle Terafor

L'évaluation des services et dis-services des haies du site sera effectuée à l'aide du modèle Terafor, construit dans le cadre de la thèse de Martin Vigan (2018). Ce modèle prend en compte l'ensemble des fonctions des espaces arborés (haie ou bosquet) dans les territoires agricoles. Les services et dis-services seront rassemblés sous le terme de « fonctions ». Chaque fonction est incluse dans l'un des quatre axes principaux, qui sont : l'agroforesterie, l'agriculture, le territoire et l'environnement. Le modèle Terafor évalue l'apport de la haie étudiée pour chaque fonction par un avis binaire (effet « notable » ou « négligeable »). Cet outil peut ensuite servir d'aide à la discussion sur les fonctions des espaces arborés pour la construction de projets partagés de territoires agroforestiers.

Le logiciel DEXi (5.02) qui sert de support au modèle Terafor combine une méthode d'analyse multicritère, une organisation hiérarchique, une évaluation qualitative et un système expert. Chaque haie de la ferme de Lauzelle sera évaluée à l'aide du modèle Terafor « Linéaire », à l'exception de la zone Z2.1, qui sera évaluée à l'aide du modèle Terafor « Ponctuel », car sa structure d'arbres isolés correspond plutôt à ce type de modèle.

2.6 Traitement et analyse des données

2.6.1 Relevés de végétation

2.6.1.1 *Volume du houppier*

Pour les haies de la zone 1, les volumes de houppier de chaque espèce arborescente ont été calculés grâce à deux méthodes différentes : une méthode, nécessitant l'appareil Trimble Geo7x, et une autre méthode, nécessitant la modélisation 3D des haies. Afin de déterminer si des différences significatives existent entre les deux méthodes, une comparaison entre les résultats obtenus a été effectuée pour les mesures de diamètre et de hauteur des houppiers. Un ajustement bivarié avec une régression simple a été réalisé avec le logiciel JMP Pro (version 14). La régression simple permet d'effectuer un test de Student, et un test de Fisher. Les variances sont donc supposées égales. Cela est vérifié avec un test de Levene d'égalité des variances. Le seuil de signification choisi pour la p-valeur est de 5%.

Pour chaque espèce ligneuse et pour chaque haie, la somme des volumes obtenus par l'appareil Trimble (Geo 7X) a été effectuée. Pour les herbacées, le recouvrement moyen sur les haies a été pris en compte. Ainsi, le pourcentage de recouvrement pour chacune des espèces est connu et les sept haies ont pu être comparées au niveau des strates herbacée, arbustive et arborescente.

De plus, ces haies ont pu être comparées aux haies de la ferme de Marbaix, car le traitement de données y est identique (Fraselle, 2018). En effet, la hauteur de la végétation qui définit les

strates est identique. Ainsi, la strate herbacée a été considérée en dessous de 1,5 m, la strate arbustive jusqu'à 5 m et enfin, la strate arborescente au-delà de 5 m de hauteur.

2.6.1.2 *Ressources*

Pour le type de pollinisation, un test de Kruskal-Wallis a été réalisé avec le logiciel R (version 3.5.3, Annexe B), en utilisant la fonction « `kruskal.test` », afin de déterminer si des différences significatives existent entre les 7 zones et les 3 strates. Le seuil de signification choisi pour la p-valeur est de 5%.

2.6.1.3 *Géo-référencement sur Système d'Information Géographique (SIG)*

La position de toutes les espèces ligneuses présentes dans les haies a été cartographiée à l'aide du logiciel Arcmap 10.4. Les coordonnées GPS prises lors des mesures des houppiers des arbres avec l'appareil Trimble Geo7x, ont été utilisées afin d'améliorer la précision de la représentation. Les cartes présentées permettent de connaître la composition spécifique de chacune des zones grâce à une indication de la position des espèces arbustives et arborescentes présentes dans les haies. L'occupation du sol y figure également. Le support utilisé pour réaliser les cartes, visible en transparence est un orthophotoplan de 2017 de la Wallonie (SPW).

2.6.1.4 *Modélisation en 3D*

Les méthodes utilisées pour la modélisation de la haie en 3D sont décrites dans l'annexe A.

2.6.1.5 *Analyses statistiques : ACP*

Deux analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées avec le logiciel PC-ORD (version 5). L'ACP est une méthode statistique qui permet d'analyser et de visualiser un jeu de données dit multivarié. C'est une méthode qui permettra de réduire considérablement le nombre de variables tout en conservant une grande partie des informations de la base de données (Jolliffe, 2011).

La première ACP (Figure 3.3) a pour objectif de mettre en évidence les distinctions entre les 7 zones au niveau des espèces qui les composent. Pour ce faire, le recouvrement moyen connu pour chaque espèce dans chacune des zones a été converti en coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet, avant d'être remplacés par ceux de Van der Maarel (Braun-Blanquet, 1932; Van der Maarel, 1979).

La deuxième ACP (Figure 3.5) a pour but de déterminer si les 7 zones sont significativement différentes en fonction de certaines caractéristiques (telles que l'occupation du sol, la largeur moyenne de la haie, etc).

Deux dendrogrammes (méthode de Ward) ont également été réalisés, afin de voir si les zones ont tendance à se regrouper ou non. Cette méthode consiste à regrouper les individus dans une classe de façon que ces individus soient le plus semblables entre eux tandis que les classes soient le plus dissemblables entre elles. Afin d'évaluer la dissimilarité entre deux échantillons donnés, on utilisera la distance Euclidienne. Cet indice est compris entre 0 (les deux échantillons ont la même composition) à 1 (les échantillons sont totalement dissemblables). Cet indice de dissimilarité a été utilisé pour le premier dendrogramme (Figure 3.6), qui classe les zones en termes d'abondance d'espèces présentes, ainsi que pour le deuxième dendrogramme (Figure 3.4), qui a pour but de différencier les zones en fonction de leurs caractéristiques.

2.6.2 Relevés des oiseaux

Une analyse en composantes principales (ACP) a également été effectuée avec le logiciel PC-ORD (version 5) afin de mettre en évidence les préférences des oiseaux pour les différentes haies. Les types de haies sont : la scavée (Z1.1), la haie du champ (Z1.2), les haies taillées (Z3.1), le bosquet de la mare (Z3.3).

Deux réseaux bipartites de présence/absence ont été réalisés avec le logiciel R (version 3.5.3, Annexe C) en utilisant le package « bipartite » et la fonction « plotweb ». Ces réseaux permettent de représenter les interactions entre les espèces d'oiseaux qui fréquentent le site et les différentes composantes des haies. Un premier réseau (Figure 3.18(a)) a ainsi été effectué en vue de montrer les interactions entre les espèces d'oiseaux et les différentes composantes des haies. Ces composantes sont les suivantes : arbres hauts, arbustes, prairie sol, champ sol, bâtiments et haies taillées. Le deuxième réseau (Figure 3.18(b)) consiste à mettre en évidence les interactions entre les espèces d'oiseaux et les espèces végétales suivantes : *Sambucus nigra*, *Crataegus monogyna*, *Prunus avium*, *Carpinus betulus* et *Quercus robur*. Ces espèces végétales ont été choisies car elles présentaient des interactions fréquentes avec l'avifaune. En effet, les espèces d'oiseaux concernés y ont été observées plus de 3 fois sur l'ensemble des relevés.

3 Résultats

3.1 Analyse des différentes méthodes de prise de mesures

Les mesures issues de l'appareil Trimble et du Drone sont corrélées positivement entre elles pour les mesures du diamètre ($R^2 = 0,76$) (Figure 3.1), et en moindre mesure pour les mesures de hauteur (coefficient de corrélation linéaire = $R^2 = 0,34$) (Figure 3.1).

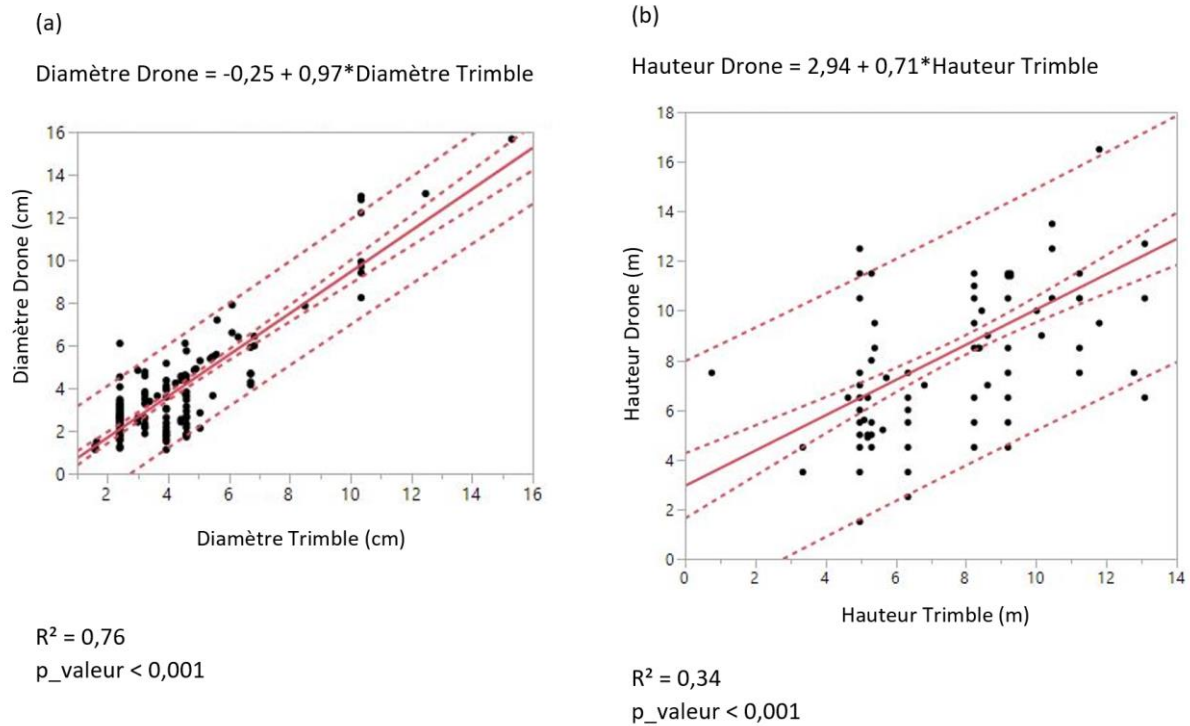


Figure 3.1 Résultats de l'ajustement bivarié avec régression simple des mesures de diamètre (a) et de la hauteur (b) du houppier des arbres obtenus par Drone et par Trimble. — Régression simple avec intervalle de confiance à 95% sur l'ajustement et sur les valeurs individuelles.

3.2 Résultats de l'inventaire floristique

3.2.1 Composition floristique

Tableau 3.1 Composition en espèces des strates arborescentes et arbustives, volume ligneux exprimé en m³ et en % du total, origine (indigène ou exotique), et type(s) de pollinisation (anémophile, entomophile) pour les sept zones (Z1.1 : scavée, Z1.2 : haie du champ, Z2.1 : arbres isolés, Z2.2 : haie prairie, Z3.1 : potager, Z3.2 : bosquet de la mare, Z3.3 : haies taillées)

Strate arborescente	Origine (indigène : I, exotique : E)	Type(s) de pollinisation (entomophile : E, anémophile : A)	Volume ligneux (m ³)							Volume ligneux (%)						
			Z1.1	Z1.2	Z2.1	Z2.2	Z3.1	Z3.2	Z3.3	Z1.1	Z1.2	Z2.1	Z2.2	Z3.1	Z3.2	Z3.3
<i>Acer campestre</i>	I	E	1171			12				7,7			0,1			
<i>Acer platanoides</i>	I	E														
<i>Acer pseudoplatanus</i>	I	E	1196	142		1642		156		7,9	5,6		16,0		7,2	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	I	E					100							7,7		
<i>Alnus incana</i>	I	A	124							0,8						
<i>Betula pendula</i>	I	A	68	271		3373				0,5	10,8		32,8			
<i>Carpinus betulus</i>	I	A	299			2188		192		2,0			21,3		8,9	
<i>Castanea sativa</i>	I	A						10							0,5	
<i>Corylus avellana</i>	I	A	121			121	152	47		0,8			1,2	11,7	2,2	
<i>Crataegus monogyna</i>	I	E	2646				649	95		17,5				50,1	4,4	
<i>Fagus sylvatica</i>	I	A	296							2,0						
<i>Fraxinus excelsior</i>	I	A	94			337	342			0,6			3,3	26,4		
<i>Ilex aquifolium</i>	I	E						85							4,0	
<i>Magnoliaceae</i> sp.	E	E					53							4,1		
<i>Picea abies</i>	E	A	18							0,1						
<i>Populus alba</i>	I	E			144							2,6				
<i>Prunus avium</i>	I	E	1683			545		257		11,1			5,3		12,0	
<i>Prunus serotina</i>	E	E	193							1,3						

<i>Prunus spinosa</i>	I	E	68							0,5						
<i>Quercus robur</i>	I	A	6524	2105	1301	251		786		43,1	83,6	23,2	2,4		36,6	
<i>Rhus typhina</i>	E	E	69							0,5						
<i>Salix alba</i>	I	E, (A)			108	638						1,9	6,2			
<i>Salix caprea</i>	I	E, (A)	15			1185		468		0,1			11,5		21,8	
<i>Sorbus aucuparia</i>	I	E	32							0,2						
<i>Tilla platyphyllos</i>	I	E, (A)	123							0,8						
<i>Ulmus major</i>	I	A	35					54		0,2					2,1	
<i>Ulmus minor</i>	I	A	354							2,3						
Strate arbustive																
<i>Acer campestre</i>	I	E	9			18				0,6			4,4			
<i>Acer pseudoplatanus</i>	I	E	22		2, 00				31	1,4		72,7				9,4
<i>Alnus incana</i>	I	E	8							0,5						
<i>Betula pendula</i>	I	A	10							0,6						
<i>Buddleja davidii</i>	E	E					13							17,0		
<i>Carpinus betulus</i>	I	A	40			14				2,5			3,3			
<i>Cornus sanguinea</i>	I	E	20			37				1,2			8,8			
<i>Corylus avellana</i>	I	A	52	8		16	6	75	15	3,2	2,3		3,9	7,9	28,7	4,7
<i>Crataegus germanica</i>	I	E	13							0,8						
<i>Crataegus monogyna</i>	I	E	1100	308		260	28	30	172	67,4	89,0		62,8	37,4	11,5	52,9
<i>Fagus sylvatica</i>	I	A	1							0,1						
<i>Hedera helix</i>	I	E						10							3,8	
<i>Ilex aquifolium</i>	I	E	6							0,4						
<i>Picea abies</i>	E	A	4							0,2						
<i>Prunus avium</i>	I	E	55					32		3,4					12,3	
<i>Prunus serotina</i>	E	E	28			15				1,7			3,6			
<i>Prunus spinosa</i>	I	E	20			17				1,2			4,1			
<i>Quercus robur</i>	I	A	12			10		24		0,7			2,4		9,2	
<i>Rhus typhina</i>	E	E	105							6,4						
<i>Rosa canina</i>	I	E	11		1	19	15		18	0,7		27,3	4,5	19,5		5,5

<i>Rubus</i> sp.	I	E		30						8,7					
<i>Salix alba</i>	I	E, (A)	24							1,5					
<i>Sambucus nigra</i>	I	E	12			14		57		0,7			18,3		17,4
<i>Taxus baccata</i>	I	A (Gymnosperme)	3							0,2					
<i>Ulmus major</i>	I	A	8							0,5					
<i>Ulmus minor</i>	I	A	29				90	22,5		1,8				34,5	6,9
<i>Viburnum lantana</i>	I	E	4							0,2					
Arbuste mort, souche			38		9,14			10,2		2,3			2,2		3,1

Tableau 3.2 Composition en espèces de la strate herbacée recouvrement moyen des espèces exprimé en %, origine (indigène ou exotique), type d'espèces herbacées (prairiales, forestières, rudérales) et type(s) de pollinisation (anémophile, entomophile) pour les sept zones (Z1.1 : scavée, Z1.2 : haie du champ, Z2.1 : arbres isolés, Z2.2 : haie prairie, Z3.1 : potager, Z3.2 : bosquet de la mare, Z3.3 : haies taillées)

Strate herbacée	Origine (indigène : I, exotique : E)	Type d'herbacée (prairiale : P, forestière : F, rudérale : R)	Type(s) de pollinisation (entomophile : E, anémophile : A)	Recouvrement moyen herbacé (%)						
				Z1.1	Z1.2	Z2.1	Z2.2	Z3.1	Z3.2	Z3.3
<i>Acer campestre</i>	I		E				0,22			
<i>Acer platanoides</i>	I		E		0,01					
<i>Acer pseudoplatanus</i>	I		E	0,6		0,11				
<i>Achillea millefolium</i>	I	P	E			1,84				
<i>Aegopodium podagraria</i>	I	R	E			0,78				
<i>Aethusa cynapium</i>	I	R	A, (E)			0,07				
<i>Anthemis cotula</i>	I	R	E	0,18						
<i>Artemisia vulgaris</i>	I	R	E	0,05	0,02					
<i>Arum maculatum</i>	I	R	E	0,02						
<i>Atriplex patula</i>	I	R	A	0,27						
<i>Avena fatula</i>	I	F	A	0,44	0,98	1,23				5,32

<i>Bellis perennis</i>	I	P,R	E			0,53				
<i>Bryonia dioica</i>	I	F	E	0,01					1,72	6,64
<i>Buxaceae buxus</i>	I		E					0,25		
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	I	R	Autogame	0,07		0,01				
<i>Carex pendula</i>	I	F	A						0,34	
<i>Carpinus betulus</i>	I		E		0,07					
<i>Chenopodium album</i>	I	R	E,A		0,23					
<i>Cirsium arvense</i>	I	R	E			1,1				
<i>Cirsium vulgare</i>	I	P,R	E	0,09		0,37				
<i>Cornus sanguinea</i>	I		E	0						
<i>Crataegus monogyna</i>	I		E	0,09			13,65	0,13		
<i>Dactylis glomerata</i>	I	R	A	0,23	7,18	1,47			1,12	1,71
<i>Daucus carota</i>	I	R	E	0,03	0,02					
<i>Dryopteris filix-mas</i>	I	F	Végétatif (sporangies)	0,19						
<i>Echinochloa crus-galli</i>	I	F	A		0,05					
<i>Equisetum arvense</i>	I	R	Végétatif (sporangies)			0,18				
<i>Euphorbia helioscopia</i>	I	R	E			0,18				
<i>Ficaria verna</i>	I	F	E	17,81						
<i>Galeopsis tetrahit</i>	I	R	E	0,18						
<i>Geranium columbinum</i>	I	R	E			0,3				
<i>Geranium pusillum</i>	I	R	E			0,35				
<i>Geum urbanum</i>	I	R	E		0,07					
<i>Hedera helix</i>	I	P	E	19,32					2,84	8,28
<i>Hirschfeldia incana</i>	I	R	E			0,02				
<i>Hypericum maculatum</i>	I	P	E	0		0,39				
<i>Ilex aquifolium</i>	I	P,R	E	0,1				0,26	0,86	
<i>Jacoba exucifolia</i>	I	P,R	E			0,01				
<i>Leontodon autumnalis</i>	I	P	E			0,09				
<i>Lolium perenne</i>	I	R	A	0,12	0,23					
<i>Mercurialis annua</i>	I	P	A	0						

<i>Phleum pratense</i>	I	P	A	0,01						
<i>Plantago lanceolata</i>	I	R,P	E, A			1,15				
<i>Poa annua</i>	I	R	A	0,47	6,52	1,84				
<i>Poa pratensis</i>	I	P	A	5,88		71		70		24,38
<i>Prunus spinosa</i>	I		E				10,62			
<i>Quercus robur</i>	I		A	0,01		0,02				
<i>Ranunculus acris</i>	I	P	E			0,64				
<i>Rhus typhina</i>	E		E	3,56						
<i>Rosa canina</i>	I	R	E		0,28			0,32		
<i>Rubus sp.</i>	I	F	E	14,25	13,05		7,58		43	26,45
<i>Rumex acetosella</i>	I	R	A		0,05	0,69			0,09	
<i>Salix alba</i>	I		E, (A)	0,02						
<i>Sambucus nigra</i>	I	F	A					0,08		
<i>Senecio vulgaris</i>	I	R	E	0,13						
<i>Sonchus arvensis</i>	I	R	E			0,34				
<i>Sonchus asper</i>	I	R	E			0,3				
<i>Stellaria media</i>	I	R	E	0,1						
<i>Taraxacum sp.</i>	I	R	E	0,48		1,38			0,17	1,14
<i>Thymus pulegioides</i>	I	P	E			0,3				
<i>Trifolium pratense</i>	I	P	E			0,28				
<i>Urtica dioica</i>	I	R	A	3,01	0,07	1,52	0,66		0,6	18,13

3.2.2 Généralités sur les résultats floristiques

En termes de composition floristique, les 7 zones sont fort différentes entre elles, avec un nombre total d'espèces allant de 60 à 14, la zone de la scavée (Z1.1) en contenant le plus, et les zones du potager (Z3.1) et des haies taillées (Z3.3) en contenant le moins. De manière similaire, l'indice de biodiversité de Shannon est le plus élevé pour la zone de la scavée (Z1.1), et la zone du potager (Z3.1) est caractérisée par l'indice de Shannon le plus faible (2,2).

Trois zones contiennent des espèces exotiques. Concernant les espèces herbacées, les rudérales sont majoritaires dans 6 haies, avec un pourcentage variant de 50 à 79%. La zone du bosquet de la mare (Z3.2) contient quant à elle plus d'espèces herbacées forestières. Les espèces prairiales sont les plus présentes dans la zone de la scavée (Z1.1), ou elles représentent plus d'un tiers des espèces. Le recouvrement des strates est différent d'une zone à l'autre en fonction de sa structure. La zone des arbres isolés (Z2.1) a le plus faible recouvrement arborescent et arbustif car elle est constituée d'arbres isolés. Ce recouvrement de ligneux est le plus élevé dans la haie de la scavée (Z1.1), qui est une large haie multi-strates (Tableau 3.3).

Tableau 3.3 Composition végétale et stratification des 7 zones : la scavée (Z1.1), la haie du champ (Z1.2), les arbres isolés (Z2.1), la haie du champ (Z2.2), la haie du potager (Z3.1), le bosquet de la mare (Z3.2), les haies taillées (Z3.3). Les ligneux regroupent les arbres et arbustes, l'indice de Shannon a été calculé avec toutes les espèces, toutes les espèces ont été classées en fonction de leur origine (exotique ou indigène), les herbacées ont été classées en fonction de leur type (prairiale, forestière, rudérale).

	Z1.1 Haie de la scavée	Z1.2 Haie du champ	Z2.1 Arbres isolés	Z2.2 Haie de la prairie	Z3.1 Haie du potager	Z3.2 Bosquet de la mare	Z3.3 Haies taillées
Nombre d'espèce inventoriées							
Espèces ligneuses	28	6	8	15	8	12	6
Espèces herbacées	33	16	32	5	6	9	8
Indice de Shannon	5,5	3,6	4,0	4,5	2,2	3,9	4,5
Origine des espèces inventoriées							
Exotique (%)	10,0	0,0	0,0	5,0	14,3	0,0	0,0
Indigène (%)	90,0	100,0	100,0	95,0	85,7	100,0	100,0
Type d'espèces herbacées							
Prairiale (%)	36,4	7,1	28,1	<0,1	<0,1	<0,1	12,5
Forestière (%)	13,6	14,3	<0,1	50,0	33,3	55,6	37,5
Rudérale (%)	50,0	78,6	78,9	50,0	66,7	44,4	50
Strates							
Recouvrement (%)							
Arborescente	61,6	32,9	23,1	32,2	16,5	40,5	0,0
Arbustive	11,0	13,1	<0,1	16,2	1,7	9,0	34,2
Herbacée	49,9	28,8	88,5	32,7	7,1	50,7	92,0
Hauteur moyenne (m)							
Arborescente	7,3	8,4	9,5	8,2	5,4	7,5	0,0
Arbustive	3,3	2,1	1,9	1,7	2,8	2,4	1,9
Herbacée	0,3	0,5	0,3	0,5	0,2	0,6	0,4

La majorité des espèces présentes dans les haies de la ferme de Lauzelle sont entomophiles. Dans 6 zones, la strate arbustive contient plus de 80% d'espèces qui sont pollinisées par les insectes, alors que les espèces sont majoritairement anémophiles dans la strate arborescente, et ce dans 5 zones, et dans la strate herbacée dans 4 zones. La zone 3.1 contient la plus grande proportion d'espèces entomophiles, toutes strates comprises (Figure 3.2).

Cependant, le test de Kruskal-Wallis ne montre pas de différence significative en termes de type de pollinisation, ni entre les zones, ni entre les strates. En effet, la p-valeur obtenue si l'on teste la différence de l'indice de pollinisation est de 0,42 pour les zones, et de 0,46 pour les strates.

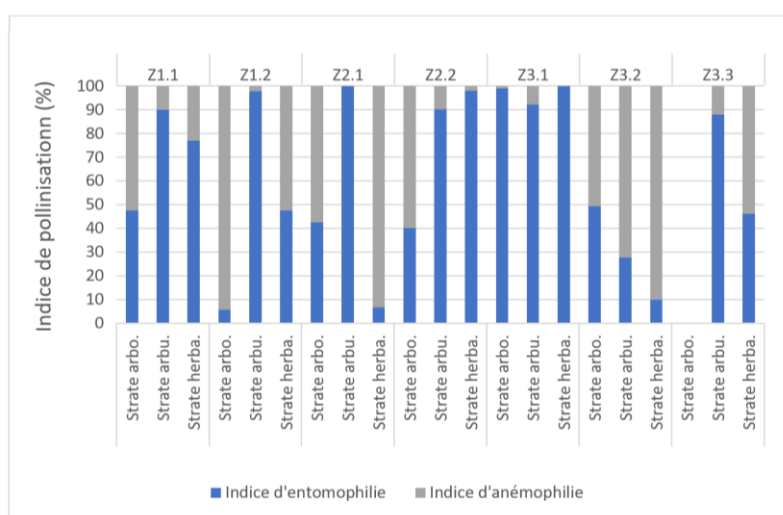


Figure 3.2 Proportions relatives des deux types de pollinisation (entomophile et anémophile) des espèces comprises dans des trois strates (arborescente, arbustive et herbacée) pour chaque zone (Z1.1 : scavée, Z1.2 : haie du champ, Z2.1 : arbres isolés, Z2.2 : haie prairie, Z3.1 : potager, Z3.2 : bosquet de la mare, Z3.3 : haies taillées).

3.2.1 Analyses multivariées des relevés floristiques

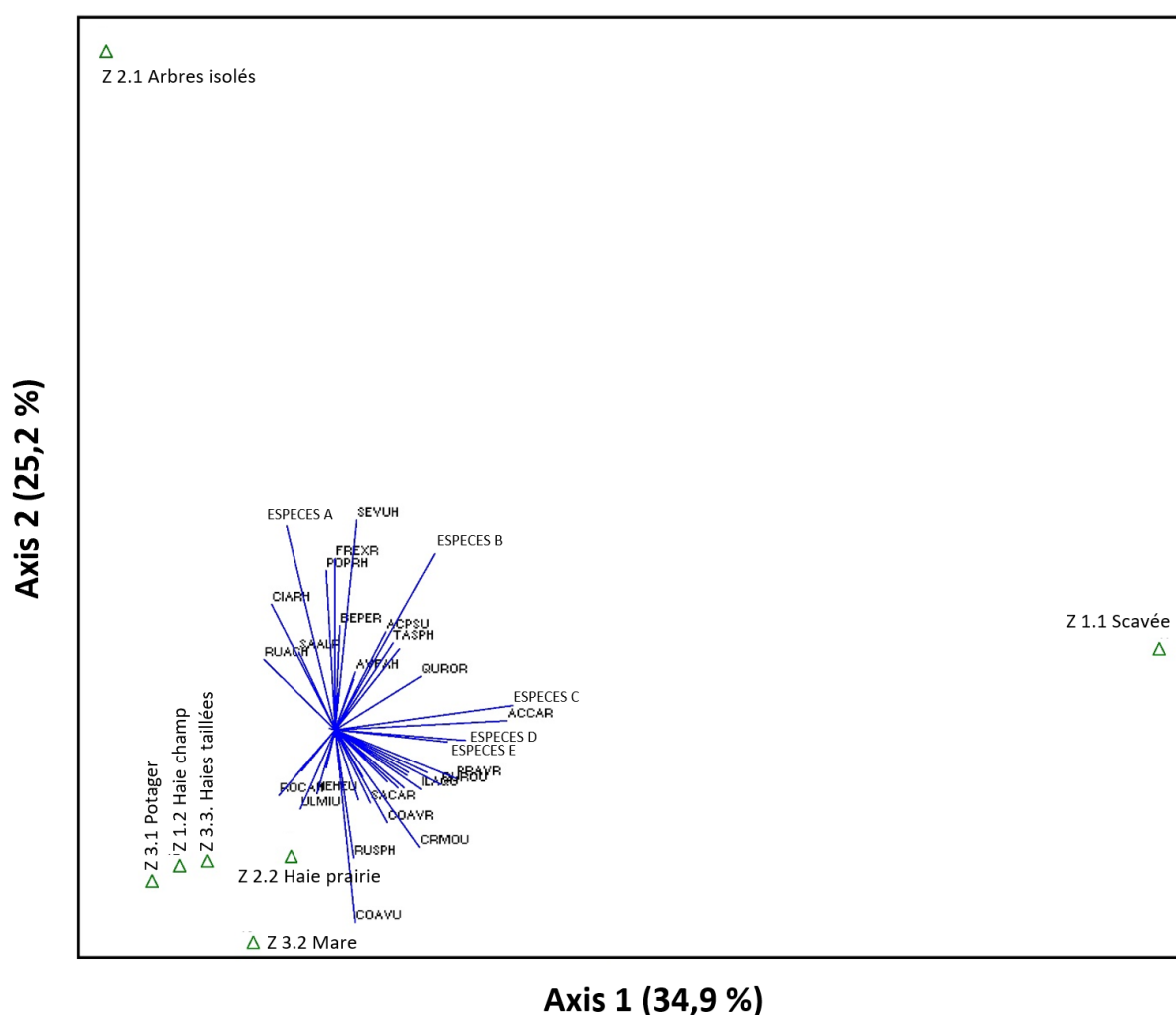


Figure 3.3 Projection des 7 zones (triangles) et des espèces ligneuses et herbacées dans le premier plan factoriel de l'ACP.
 Code des espèces reprises dans ESPECES A : ACPLR, AECYH, AEPUH, BEPEHEQARH, EUHEH, GECOH, GEPUH, HIINH, JAEXH, LEAUH, PLLAH, POALR, RUACH, SOARH, SOASH, THPLH, TRPHR
 Code des espèces reprises dans ESPECES B : ACMFH, ACPSH, CABUH, CIVUH, HYMAN, QUORH
 Code des espèces reprises dans ESPECES C : ALINU, ANCOH, ARMAH, ATPAH, BEPEU, COSAH, CRMOU, DRFIH, FASYU, GATEH, PHORH, PIABR, PIABU, PRSER, PRSPR, RHTYH, RHTYR, RHTYU, SAALH, SAALU, SOACR, STLEH, TABAU, TIPLR, VILAU, VLMIR
 Code des espèces reprises dans ESPECES D : ARVUH, CABEU, COSAU, LOPEH, PRSEU
 Code des espèces reprises dans ESPECES E : ACCAU, DCAHA, PRSPU

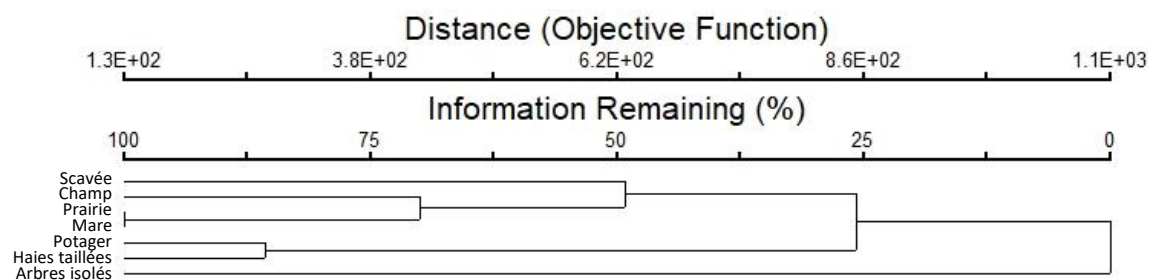


Figure 3.4 Dendrogramme selon la méthode de Ward et la mesure de distance Euclidienne des 7 zones en fonction de leur composition floristique

Tableau 3.4 Code des espèces de l'ACP (figure 3.3) (A : arborescente, a : arbustive, h : herbacée)

Espèce	Code espèce	Espèce	Code espèce	Espèce	Code espèce
<i>Acer_campestre_A</i>	ACCAR	<i>Crataegus_monogyna_h</i>	CRMOH	<i>Prunus_serotina_A</i>	PRSER
<i>Acer_campestre_a</i>	ACCAU	<i>Crataegus_germanica_a</i>	CRMOU	<i>Prunus_serotina_a</i>	PRSEU
<i>Acer_campestre_h</i>	ACCAH	<i>Crataegus_monogyna_A</i>	CRMOR	<i>Prunus_spinosa_A</i>	PRSPR
<i>Acer_platanoides_A</i>	ACPLR	<i>Crataegus_monogyna_a</i>	CRMOU	<i>Prunus_spinosa_a</i>	PRSPU
<i>Acer_platanoides_h</i>	ACPOH	<i>Dactylis_glomerata_h</i>	DAGLH	<i>Prunus_spinosa_h</i>	PRSPH
<i>Acer_pseudoplatanus_A</i>	ACPSR	<i>Daucus_carota_h</i>	DACAH	<i>Quercus_robur_A</i>	QUROR
<i>Acer_pseudoplatanus_a</i>	ACPSU	<i>Dryopteris_flix-mas_h</i>	DRFIH	<i>Quercus_robur_a</i>	QUROU
<i>Acer_pseudoplatanus_h</i>	ACPSH	<i>Echinochloa_crus-galli_h</i>	ECCRH	<i>Quercus_robur_h</i>	QUROH
<i>Achillea_millefolium_h</i>	ACMFH	<i>Equisetum_arvense_h</i>	EQARH	<i>Rhus_typhina_A</i>	RHTYR
<i>Aegopodium_podagraria_h</i>	AEPUH	<i>Euphorbia_helioscopia_h</i>	EUHEH	<i>Rhus_typhina_a</i>	RHTYU
<i>Aesculus_hippocastanum</i>	AEHIH	<i>Fagus_sylvatica_A</i>	FASYR	<i>Rhus_typhina_h</i>	RHTYH
<i>Aethusa_cynapium_h</i>	AECYH	<i>Fagus_sylvatica_a</i>	FASYU	<i>Rosa_canina_a</i>	ROCAU
<i>Alnus_incana_A</i>	ALINR	<i>Ficaria_verna_h</i>	FIVEH	<i>Rosa_canina_h</i>	ROCAH
<i>Alnus_incana_a</i>	ALINU	<i>Fraxinus_excelsior_A</i>	FREXR	<i>Rubus_sp._h</i>	RUSPH
<i>Anthemis_cotula_h</i>	ANCOH	<i>Galeopsis_tetrahit_h</i>	GATEH	<i>Rumex_acetosella_h</i>	RUACH
<i>Artemisia_vulgaris_h</i>	ARVUH	<i>Geranium_columbinum_h</i>	GECOH	<i>Ranunculus_acris_h</i>	RUACH
<i>Arum_maculatum_h</i>	ARMAH	<i>Geranium_pusillum_h</i>	GEPUH	<i>Salix_alba_A</i>	SAALR
<i>Atriplex_patula_h</i>	ATPAH	<i>Geum_urbanum_h</i>	GEURH	<i>Salix_alba_a</i>	SAALU
<i>Avena_fatula_h</i>	AVFAH	<i>Hedera_helix_a</i>	HEHEU	<i>Salix_alba_h</i>	SAALH
<i>Bellis_perennis_h</i>	BEPEH	<i>Hedera_helix_h</i>	HEHEH	<i>Salix_caprea_A</i>	SACAR
<i>Betula_pendula_A</i>	BEPER	<i>Hirschfeldia_incana_h</i>	HIINH	<i>Sambucus_nigra_a</i>	SANIU
<i>Betula_pendula_a</i>	BEPEU	<i>Hypericum_maculatum_h</i>	HYMAH	<i>Sambucus_nigra_h</i>	SANIH
<i>Bryonia_dioica_h</i>	BRDIH	<i>Ilex_aquifolium_a</i>	ILAQH	<i>Senecio_vulgaris_h</i>	SEVUH
<i>Buddleja_davidii_a</i>	BUDAU	<i>Ilex_aquifolium_h</i>	ILAUH	<i>Sonchus_arvensis_h</i>	SOARH
<i>Buxus_sempervirens_h</i>	BUSEH	<i>Jacoba_erucifolia_h</i>	JAEXH	<i>Sonchus_asper_h</i>	SOASH
<i>Capsella_bursa-pastoris_h</i>	CABUH	<i>Leontodon_autumnalis_h</i>	LEAUH	<i>Sorbus_acuparia_A</i>	SOACR
<i>Carex_pendula_h</i>	CASPH	<i>Lolium_perenne_h</i>	LOPEH	<i>Stellaria_media_h</i>	STMEH
<i>Carpinus_betulus_A</i>	CABER	<i>Magnoliaceae_sp._A</i>	MASPR	<i>Taraxacum_sp._h</i>	TASPH
<i>Carpinus_betulus_a</i>	CABEU	<i>Mercurialis_annua_h</i>	MEANH	<i>Taxus_baccata_a</i>	TABAU
<i>Carpinus_betulus_h</i>	CABEH	<i>Phleum_pratense_h</i>	PHPRH	<i>Thymus_pulegioides_h</i>	THPLH
<i>Castaena_sativa_A</i>	CASAR	<i>Picea_abies_A</i>	PIABR	<i>Tilla_platyphyllos_A</i>	TIPLR
<i>Chenopodium_album_h</i>	CHELH	<i>Picea_abies_a</i>	PIABU	<i>Trifolium_pratense_h</i>	TRPRH
<i>Cirsium_arvense_h</i>	CIARH	<i>Plantago_lanceolata_h</i>	PLLAH	<i>Ulmus_glabra_A</i>	ULGLR
<i>Cirsium_vulgare_h</i>	CIVUH	<i>Poa_annua_h</i>	POANH	<i>Ulmus_minor_A</i>	ULMIR
<i>Cornus_sanguinea_a</i>	COSAU	<i>Poa_pratensis_h</i>	POPRH	<i>Ulmus_minor_a</i>	ULMIU
<i>Cornus_sanguinea_h</i>	COSAH	<i>Populus_alba_A</i>	POALR	<i>Urtica_dioica_h</i>	URDIH
<i>Corylus_avellana_A</i>	COAVR	<i>Prunus_avium_A</i>	PRAVR	<i>Viburnum_lantana_a</i>	VILAU
<i>Corylus_avellana_a</i>	COAVU	<i>Prunus_avium_a</i>	PRAVU		

Le pourcentage de variance expliqué par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales (ACP) est de 60,1 % (l'axe 1 explique 34,9 % et l'axe 2 explique 25,2% de la variance) (Figure 3.3). Cette analyse distingue en termes de composition en espèces la scavée (Z1.1), de la zone des arbres isolés (Z2.1), de l'ensemble des autres haies. Les autres haies sont difficilement différenciables entre elles. Les deux haies les plus ressemblantes en termes de composition d'espèces sont la haie de la prairie nord (Z2.2) et le bosquet de la mare (Z3.2).

Au total, 13 espèces (ou 22% des espèces) (strates non comprises) ne sont retrouvées que dans la scavée (Z1.1) telles que la fougère mâle (*Dryopteris filix-mas*) et le sumac de Virginie (*Rhus typhina*), qui est une espèce exotique envahissante. Ensuite, 13 espèces (33%), toutes herbacées, ne sont retrouvées que dans les alignements d'arbres isolés (Z2.1), comme le géranium vivace (*Geranium columbinum*). Etant fortement éloignées entre elles et par rapport aux autres haies (Figure 3.4), ces deux haies se distinguent par rapport aux espèces qui leur sont spécifiques. Cela est notamment lié à leurs caractéristiques structurelles particulières. La scavée est par ailleurs la haie où l'on peut noter une forte régénération de ligneux, étant donné la présence de nombreuses plantules notamment d'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*) et de chêne pédonculé (*Quercus robur*). En revanche, les plantules de ligneux sont très peu présentes dans l'alignement d'arbres isolés. Cependant 11 espèces herbacées sont communes aux deux zones.

La haie du potager (Z3.1) contient quatre espèces (29%) (strates non comprises) qui lui sont spécifiques, telle que le buddleia de David (*Buddleja davidii*), qui est une espèce exotique envahissante et un cultivar de Magnolia (*Magnoliaceae sp.*). Outre ces quatre espèces, toutes les espèces sont aussi présentes dans la scavée (Z1.1). Seules quatre espèces (18%), toutes herbacées, sont spécifiques à la haie du champ (Z1.2), et trois espèces (14%) ne sont retrouvées dans le bosquet de la mare (Z3.2), telle que la laîche pendante (*Carex pendula*), typique des zones humides.

Aucune espèce n'est spécifique à la haie de la prairie (Z2.2) ni aux haies taillées (Z3.3). De plus, l'ensemble des espèces contenues dans ces deux zones sont aussi retrouvées dans la scavée (Z1.1).

L'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*) est présente dans toutes les haies sauf les arbres isolés. Au niveau des herbacées, la grande ortie (*Urtica dioica*) est retrouvée dans toutes les haies, à l'exception du potager. Le chêne pédonculé (*Quercus robur*) et l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) sont des ligneux présents dans toutes les strates arborescentes, sauf dans le potager, et dans les haies taillées, car la strate arborescente y est inexistante bien entendu (Figure 3.3).

Axis 2 (21,2 %)

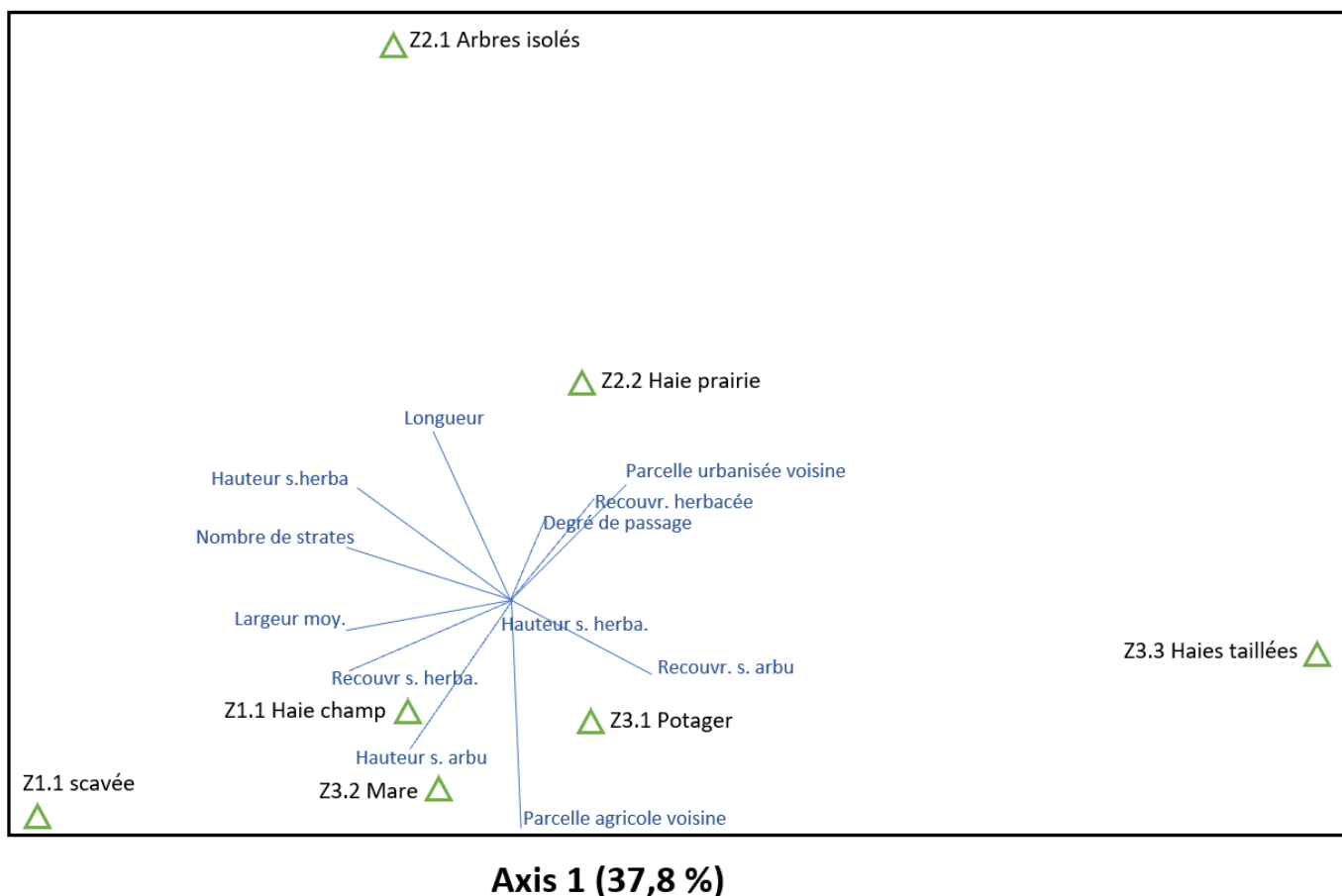


Figure 3.5 Projection des 7 zones (triangles) et des caractéristiques des haies dans le premier plan factoriel de l'ACP (Longueur, Largeur moyenne, Hauteur de la strate arborescente, Hauteur de la strate arbustive, Hauteur de la strate herbacée, Recouvrement de la strate arborescente, Recouvrement de la strate arbustive, Recouvrement de la strate herbacée, nombre de strates, Parcelle urbanisée voisine, Parcelle agricole voisine)

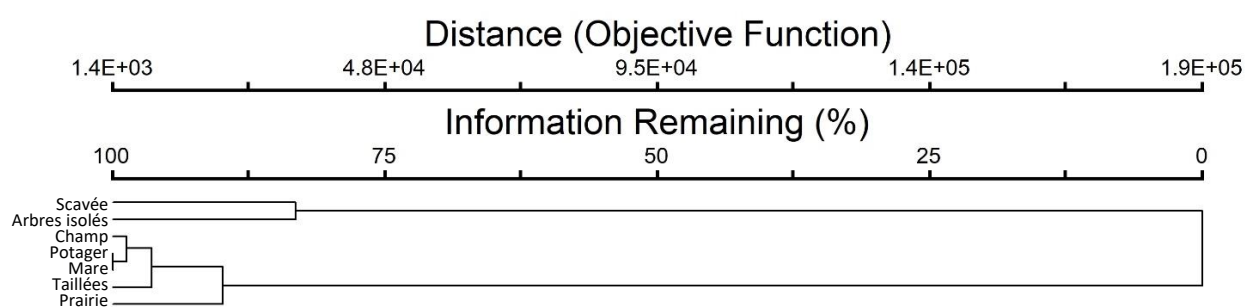


Figure 3.6 Dendrogramme selon la méthode de Ward et la mesure de distance Euclidienne des 7 zones (Z1.1 : scavée, Z1.2 : haie champ, Z2.1 : arbres isolés, Z2.2 : haie prairie, Z3.1 : potager, Z3.2 : mare, Z3.3 : haies taillées) en fonction de leurs caractéristiques

Le pourcentage de variance expliqué par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales (Figure 3.5) est de 59 % (l'axe 1 explique 37,8 % et l'axe 2 explique 21,2 % de la variance). Cette analyse distingue en termes de caractéristiques la zone de la scavée (Z1.1), des arbres isolés (Z2.1), des haies taillées (Z3.3). En effet, ces trois haies sont fortement différentes en termes de structure (Tableau 2.1).

Les quatre autres haies sont difficilement différenciables entre elles, et ont des caractéristiques intermédiaires entre les trois haies fort particulières. Les haies les plus semblables entre elles sont les haies du champ (Z1.2), du potager (Z3.1) et du bosquet de la mare (Z3.2). En termes de structure, elles sont plutôt ressemblantes à la haie de la scavée (Z1.1) Tandis que la haie de la prairie (Z2.2) est semblable aux arbres isolés (Z2.1) par sa situation géographique, sa hauteur et sa longueur (Figure 3.6).

Tandis que la première analyse en composantes principales (Figure 3.3) regroupe les haies en fonction de leur composition spécifique, la deuxième analyse en composantes principales (Figure 3.5) permet de les différencier en termes de structure. En comparant les résultats de ces deux analyses, il n'est pas judicieux de regrouper les haies. En effet, dans les deux analyses, la scavée (Z1.1) et les arbres isolés (Z2.1) sont des zones fort différentes entre elles ainsi que par rapport aux autres haies. La zone des haies taillées (Z3.3) est plutôt différente par rapport aux autres haies en termes de structure plutôt qu'en termes d'espèces végétales. Les quatre haies qui sont le plus semblables en termes de structure et d'espèces sont les haies du champ (Z1.2), de la prairie (Z2.2), du potager (Z3.1) et du bosquet de la mare (Z3.2). Il a été décidé de ne pas regrouper ces haies en une zone non seulement car les analyses en termes d'avifaune n'ont pas été effectuées pour toutes les haies, mais aussi car les haies ne sont physiquement pas semblables l'une à l'autre. Dès lors, les 7 zones d'aménagement seront maintenues comme telles.

3.2.2 Géoréférencement sur cartes

1. Scavée (zone Z1.1)



Figure 3.7 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone de la scavée (Z1.1) (SPW 2019, Eléonore de Roissart, 2019)

La haie multi-strates de la zone de la scavée (Z1.1) comprend un total de 40 espèces, dont certaines se retrouvent dans de multiples strates. Ainsi, 20 espèces se retrouvent dans la strate arborescente, 24 dans la strate arbustive et 33 dans la strate herbacée. La strate arborescente est composée à 43% en volume du chêne pédonculé (*Quercus robur*) dont certains individus mesurent plus de 20m de haut. L'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*) fortement présente dans cette haie, car elle constitue quasi exclusivement le côté est de la haie. Cette espèce est la deuxième espèce la plus présente dans la strate arborescente (17%), et elle est majoritaire dans la strate arbustive (67%). Par ailleurs, dans la strate arborescente et la strate arbustive, une espèce exotique a été identifiée, qui est l'épicéa commun (*Picea abies*). En outre, deux des espèces reprises dans la liste noire de des espèces envahissantes de Belgique y ont également été retrouvées ; le cerisier tardif (*Prunus serotina*), et le sumac de virginie (*Rhus typhina*), qui est également présent sous forme de plantules dans la strate herbacée. La strate herbacée est constituée de nombreuses espèces qui représentent un faible taux de recouvrement, ainsi que trois espèces, qui recouvrent à elles seules environ la moitié de la surface au sol. Ces espèces sont le lierre (*Hedera helix*), la ficaire (*Ficaria verna*) et la ronce (*Rubus spp.*) (Figure 3.7).

2. Haie du champ (zone 1.2)

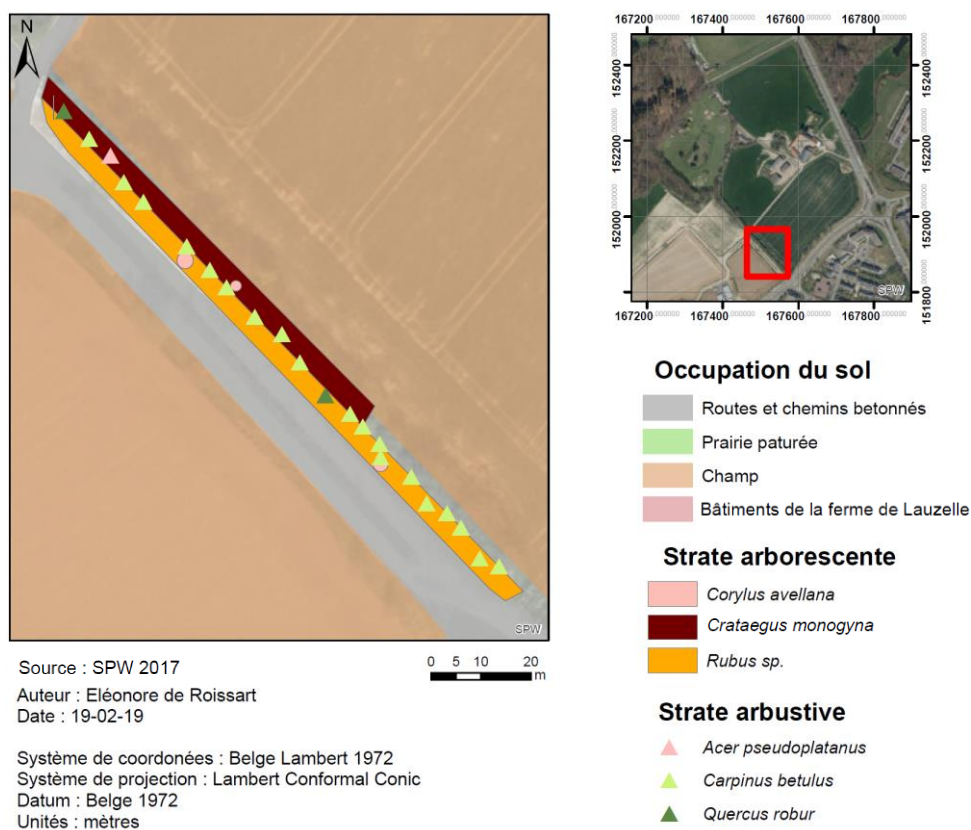


Figure 3.8 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la haie du champ (Z1.2) (SPW 2019, Eléonore de Roissart, 2019)

La haie de la prairie (Z1.2) comprend un total de 20 espèces, toutes d'origine indigène. La strate arborescente ne contient que 3 espèces, et elle est majoritairement dominée par le charme (*Carpinus betulus*), qui représente 87% du volume de cette strate. La strate arbustive est elle aussi représentée que par 3 espèces, dont l'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*) est l'espèce la plus abondante (89%). La strate herbacée, qui contient 16 espèces différentes est dominée par des massifs de ronce (*Rubus sp.*) en bordure de chemin, qui recouvrent 13% de l'espace au sol (Tableau 3.2).

3. Arbres et arbustes isolés du champ (zone 2.1)

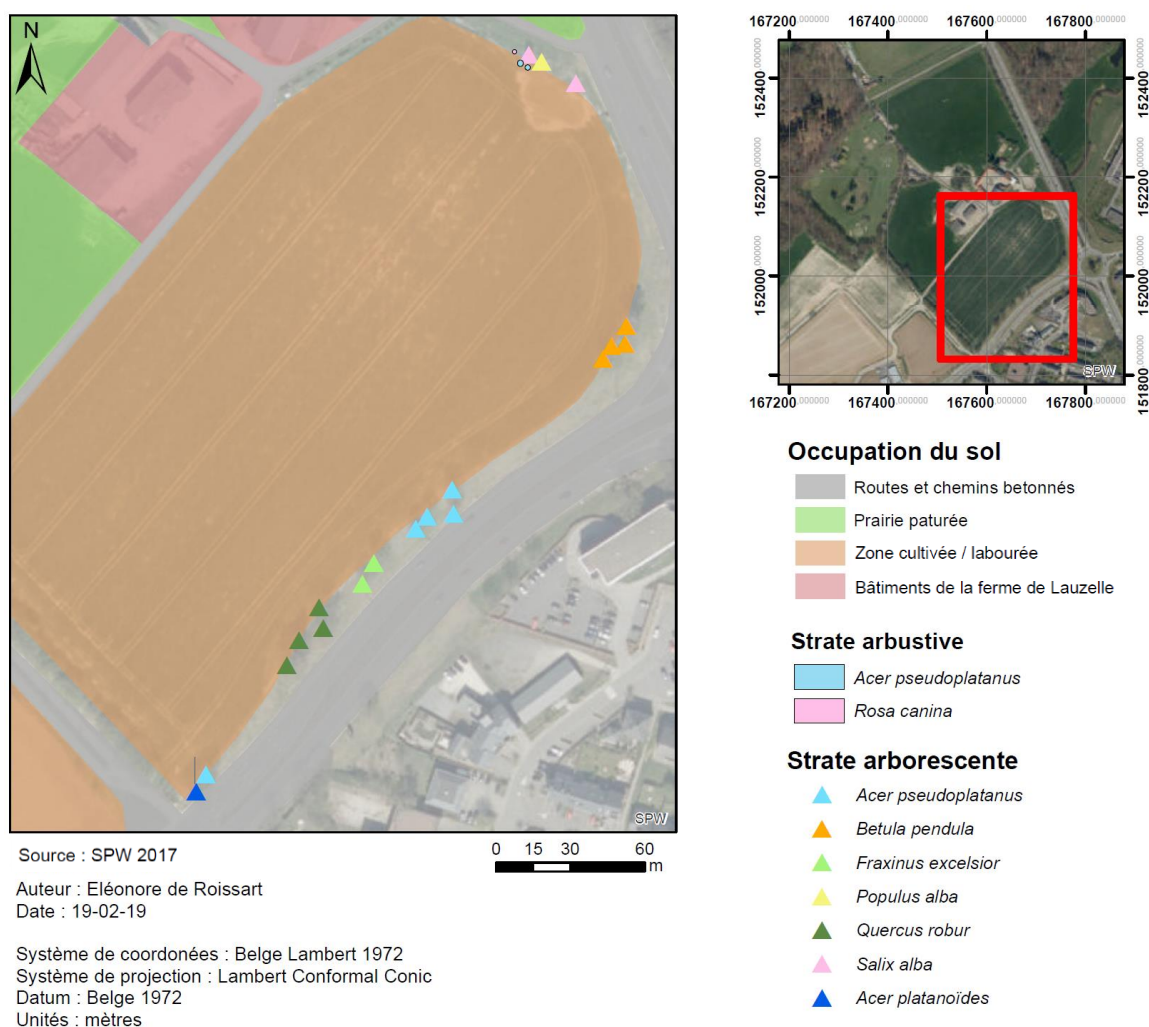


Figure 3.9 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone des arbres isolés (Z2.1) (SPW 2019, Eléonore de Roissart, 2019)

La zone des arbres isolés (Z2.1) est constituée d'un alignement d'arbres isolés le long de deux routes fort fréquentées (N4 et boulevard de Lauzelle). Cette zone comprend un total de 39 espèces, dont 80% sont des espèces herbacées. Cette strate est dominée par le pâturin des prés (*Poa pratensis*), qui couvre 71% de la surface au sol. Les 31 autres espèces herbacées ont

un faible taux de recouvrement, souvent inférieur à 1%. Aucune espèce constituant la strate arborescente ne la domine particulièrement. L'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) et le chêne pédonculé (*Quercus robur*) en occupent chacun environ un quart. En outre, la plupart des arbres sont groupés par deux à quatre individus de la même espèce. La strate arbustive, qui est fort peu présente, n'est constituée que de deux espèces, l'églantier (*Rosa canina*) ainsi que des jeunes plants d'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) (Figure 3.10).

4. Haie de la prairie (zone 2.2)

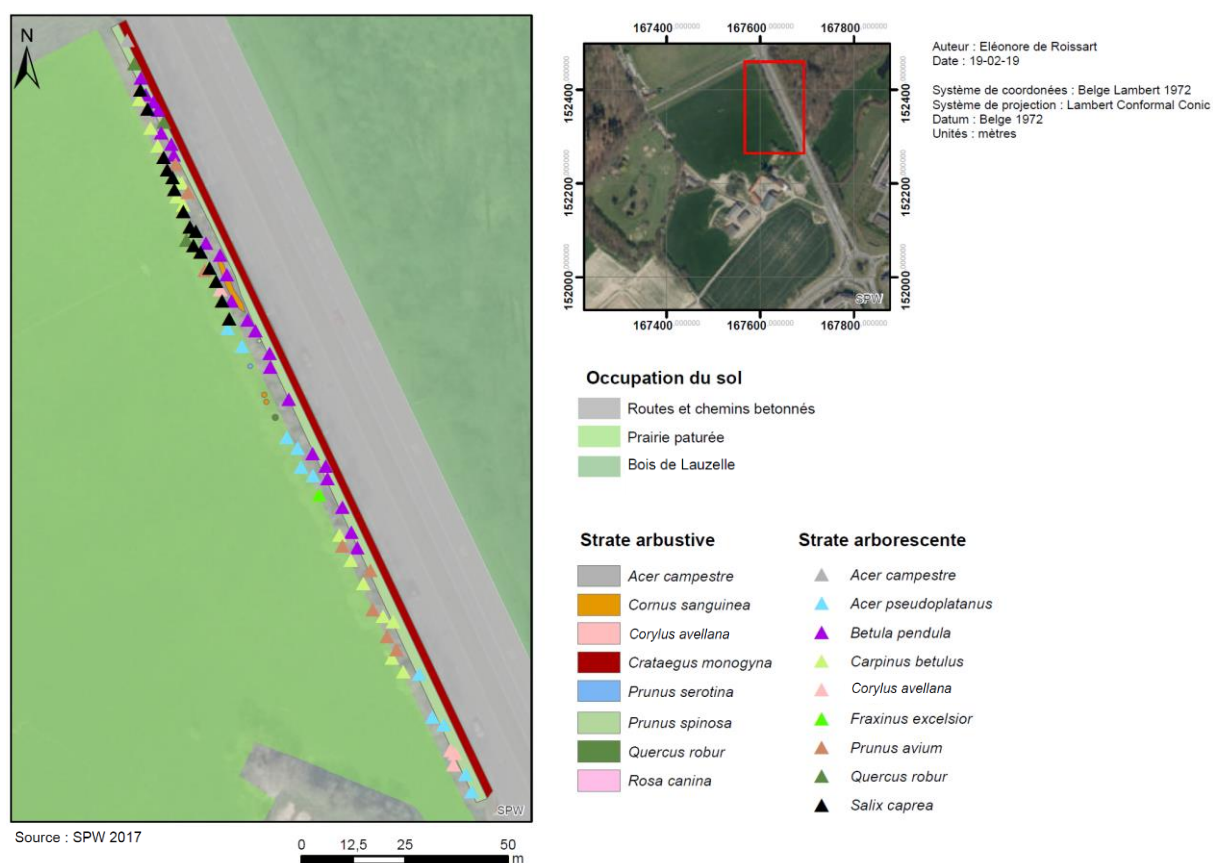


Figure 3.10 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone de la prairie (Z2.2) (SPW 2019, Eléonore de Roissart, 2019)

La haie de la prairie (Z2.2) est elle aussi située le long d'une route fort empruntée (N4). C'est une haie multi-strates qui contient 15 espèces différentes, dont une seule est exotique envahissante, le cerisier tardif (*Prunus serotina*). Le bouleau verruqueux (*Betula pendula*), dont les individus sont groupés au nord de la haie, représente un tiers de la strate arborescente. La strate arbustive est composée à 63% en volume d'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*). La strate herbacée, qui recouvre presque un tiers de l'espace au sol, est dominée par des plantules d'aubépine à un style (Tableau 3.2).

5. Arbres et arbustes du potager (zone 3.1)

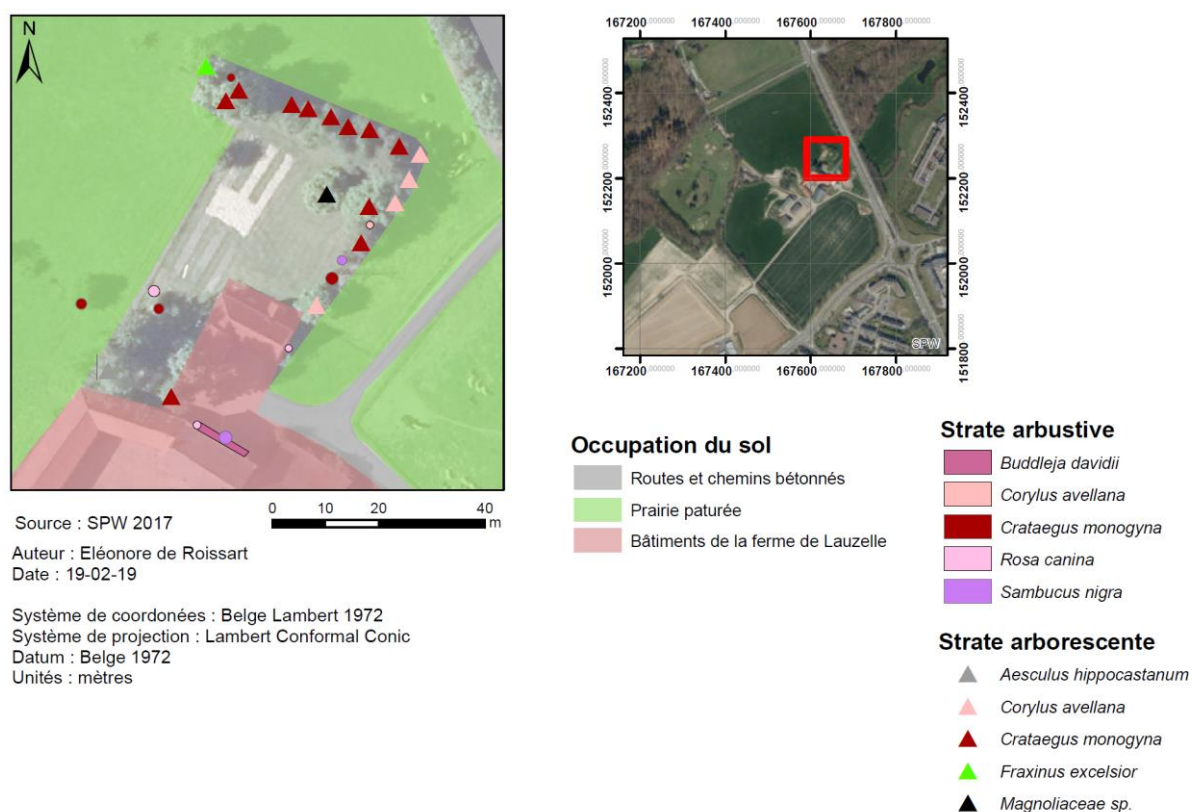


Figure 3.11 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 de la zone du potager (Z3.1) (SPW 2019, Eléonore de Roissart, 2019)

Dans les haies du potager (Z3.1), 13 espèces différentes ont été identifiées. Parmi ces espèces, deux qui sont d'origine exotique. Il s'agit du magnolia (*Magnoliaceae spp*) et du buddléia de david (*Buddleja davidii*). L'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*) domine la strate arborescente à 50%, et est l'espèce la plus présente dans la strate arbustive, représentant 37% du volume. Le pâturin des prés (*Poa pratensis*) occupe principalement la strate herbacée, couvrant 70% de la surface au sol (Tableau 3.2).

Arbres et arbustes autour de la mare (zone 3.2)

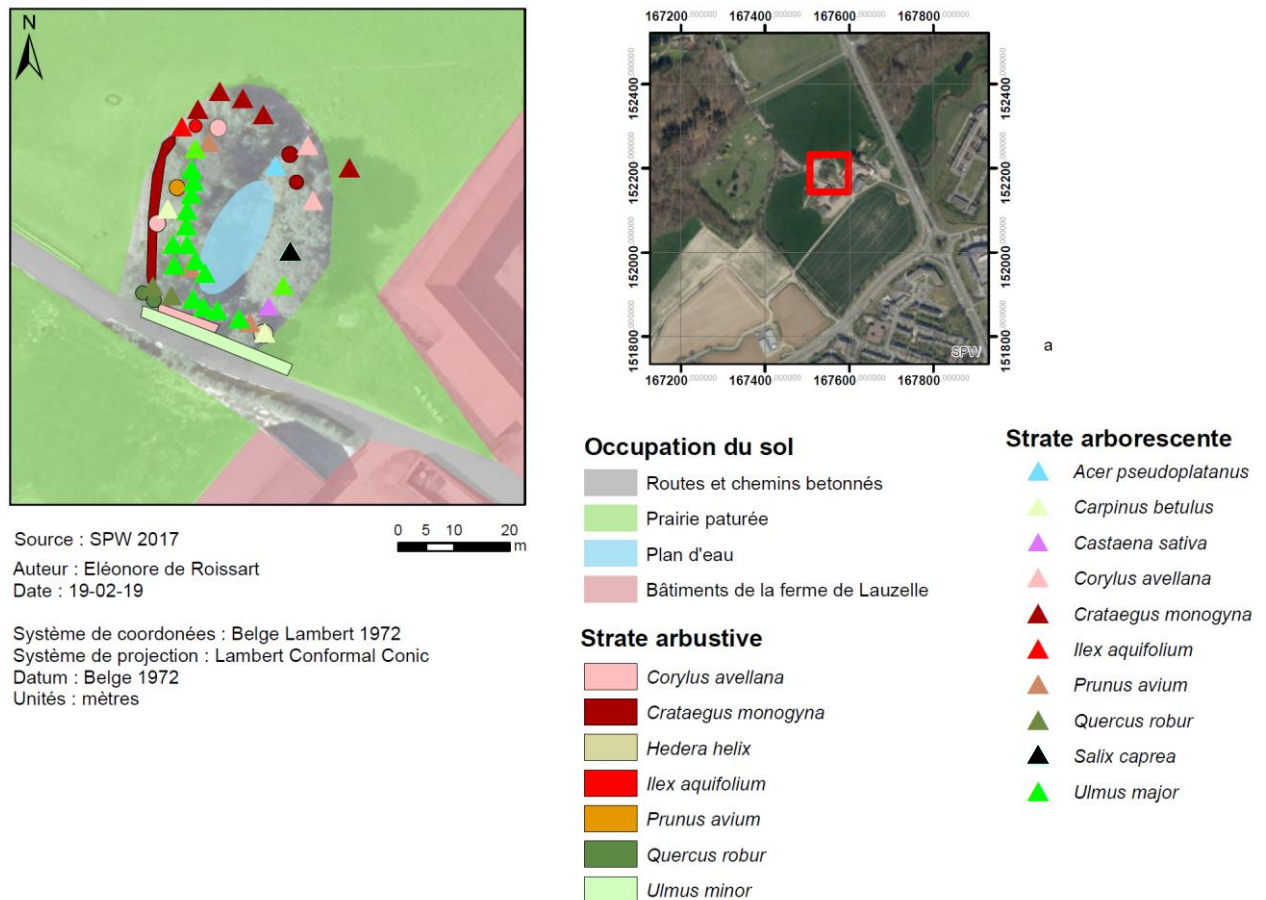


Figure 3.12 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 du bosquet de la mare (Z3.2) (SPW 2019, Eléonore de Roissart, 2019)

Dans le bosquet de la mare (Z3.2), 19 espèces ont été identifiées, toutes ces espèces étant indigènes. L'espèce qui représente le plus la strate arborescente est le chêne pédonculé (*Quercus robur*). L'orme champêtre (*Ulmus minor*) occupe 35% de la strate arbustive en volume, suivi du noisetier (*Corylus avellana*), qui en occupe 29%. La strate herbacée est dominée par les ronces (*Rubus sp.*), qui occupent près de la moitié de la surface au sol, et qui forment un large massif au sud-est du bosquet. Le plan d'eau au centre du bosquet (appelé « mare ») était à sec de mi-juin à mi-septembre 2018.

Haies taillées de la ferme (zone 3.3)



Figure 3.13 Composition de la strate arbustive et arborescente et occupation du sol en 2018 des haies taillées de la ferme (Z3.3) (SPW 2019, Éléonore de Roissart, 2019)

Au total, 14 espèces ont été inventoriées dans les haies taillées (Z3.3), qui ne contient pas de strate arborescente car ces haies sont taillées. La strate arbustive est majoritairement dominée par l'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*), qui représente 53% du volume total. La strate herbacée, qui contient 8 espèces, et fortement représentée par la ronce (*Rubus sp*) et le pâturin des prés (*Poa pratensis*), qui recouvrent chacun environ un quart de la surface au sol. L'ortie dioïque (*Urtica dioica*) est aussi fort présente, avec un recouvrement de 18% (Tableau 3.2).

3.3 Quantification des ressources nourricières pour les pollinisateurs (sucres de nectar) et pour l'avifaune (fruits)

3.3.1 Quantification des ressources nourricières pour les pollinisateurs

Tableau 3.5 Données issues de la littérature de production de sucres de nectar (kg/ha.an) et source de la donnée pour les espèces végétales productrices.

Nom espèce	Sucres de nectar produit (kg/ha.an)	Source	Nom de l'espèce remplaçante si données de nectar manquantes
<i>Acer campestre</i>	243,75	Baude et al. (2016)	
<i>Acer platanoides</i>	243,75	Baude et al. (2016)	
<i>Acer pseudoplatanus</i>	511,55	Baude et al. (2016)	
<i>Achillea millefolium</i>	603,25	Baude et al. (2016)	
<i>Aegopodium podagaria</i>	192,59	Baude et al. (2016)	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	355,96	Baude et al. (2016)	
<i>Aethusa cynapium</i>	65,17	Baude et al. (2016)	
<i>Anthemis cotula</i>	NA		
<i>Atriplex patula</i>	0,10	Baude et al. (2016)	
<i>Bellis perennis</i>	105,23	Baude et al. (2016)	
<i>Bryonia dioica</i>	0,01	Timberlake et al. (2019)	
<i>Buddleja davidii</i>	943,12	Baude et al. (2016)	
<i>Buxus sempervirens</i>	NA		
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	1,44	Baude et al. (2016)	
<i>Castanea sativa</i>	14,25	Baude et al. (2016)	
<i>Cirsium arvense</i>	80,01	Baude et al. (2016)	
<i>Cirsium vulgare</i>	1961,79	Baude et al. (2016)	
<i>Cornus sanguinea</i>	5,65	Baude et al. (2016)	
<i>Corylus avellana</i>	1,70	Baude et al. (2016)	
<i>Crataegus germanica</i>	NA		
<i>Crataegus monogyna</i>	584,18	Baude et al. (2016)	
<i>Daucus carota</i>	213,38	Baude et al. (2016)	
<i>Ficaria verna</i>	0 ;92	Baude et al. (2016)	
<i>Galeopsis tetrahit</i>	144,11	Baude et al. (2016)	
<i>Geranium columbinum</i>	1,73	Baude et al. (2016)	<i>Geranium pratense</i>
<i>Geranium pusillum</i>	1,73	Baude et al. (2016)	<i>Geranium pratense</i>
<i>Geum urbanum</i>	1,93	Baude et al. (2016)	
<i>Hedera helix</i>	705,45	Baude et al. (2016)	
<i>Hirschfeldia incana</i>	NA		
<i>Hypericum maculatum</i>	NA		
<i>Ilex aquifolium</i>	0,02	Timberlake et al. (2019)	
<i>Leontodon autumnalis</i>	391,29	Baude et al. (2016)	
<i>Plantago lanceolata</i>	0,37	Baude et al. (2016)	
<i>Prunus avium</i>	196,69	Baude et al. (2016)	
<i>Prunus serotina</i>	196,69	Baude et al. (2016)	<i>Prunus avium</i>
<i>Prunus spinosa</i>	258,51	Baude et al. (2016)	
<i>Ranunculus acris</i>	49,66	Baude et al. (2016)	

<i>Rosa canina</i>	570,00	Baude et al. (2006)	
<i>Rubus sp.</i>	167,49	Baude et al. (2016)	<i>Rubus fruticosus agg.</i>
<i>Salix alba</i>	3612,14	Baude et al. (2016)	
<i>Salix caprea</i>	3612,14	Baude et al. (2016)	
<i>Sambucus nigra</i>	42,45	Baude et al. (2016)	
<i>Senecio vulgaris</i>	74,33	Baude et al. (2016)	
<i>Sonchus arvensis</i>	89,91	Baude et al. (2016)	
<i>Sonchus asper</i>	3,45	Baude et al. (2016)	
<i>Sorbus aucuparia</i>	77,34	Baude et al. (2016)	
<i>Stellaria media</i>	3,32	Baude et al. (2016)	
<i>Taraxacum agg.</i>	686,23	Baude et al. (2016)	
<i>Thymus pulegioides</i>	15,83	Baude et al. (2016)	<i>Thymus polytrichus</i>
<i>Tilia platyphyllos</i>	292,40	Baude et al. (2016)	
<i>Trifolium pratense</i>	894,26	Baude et al. (2016)	
<i>Viburnum lantana</i>	NA		

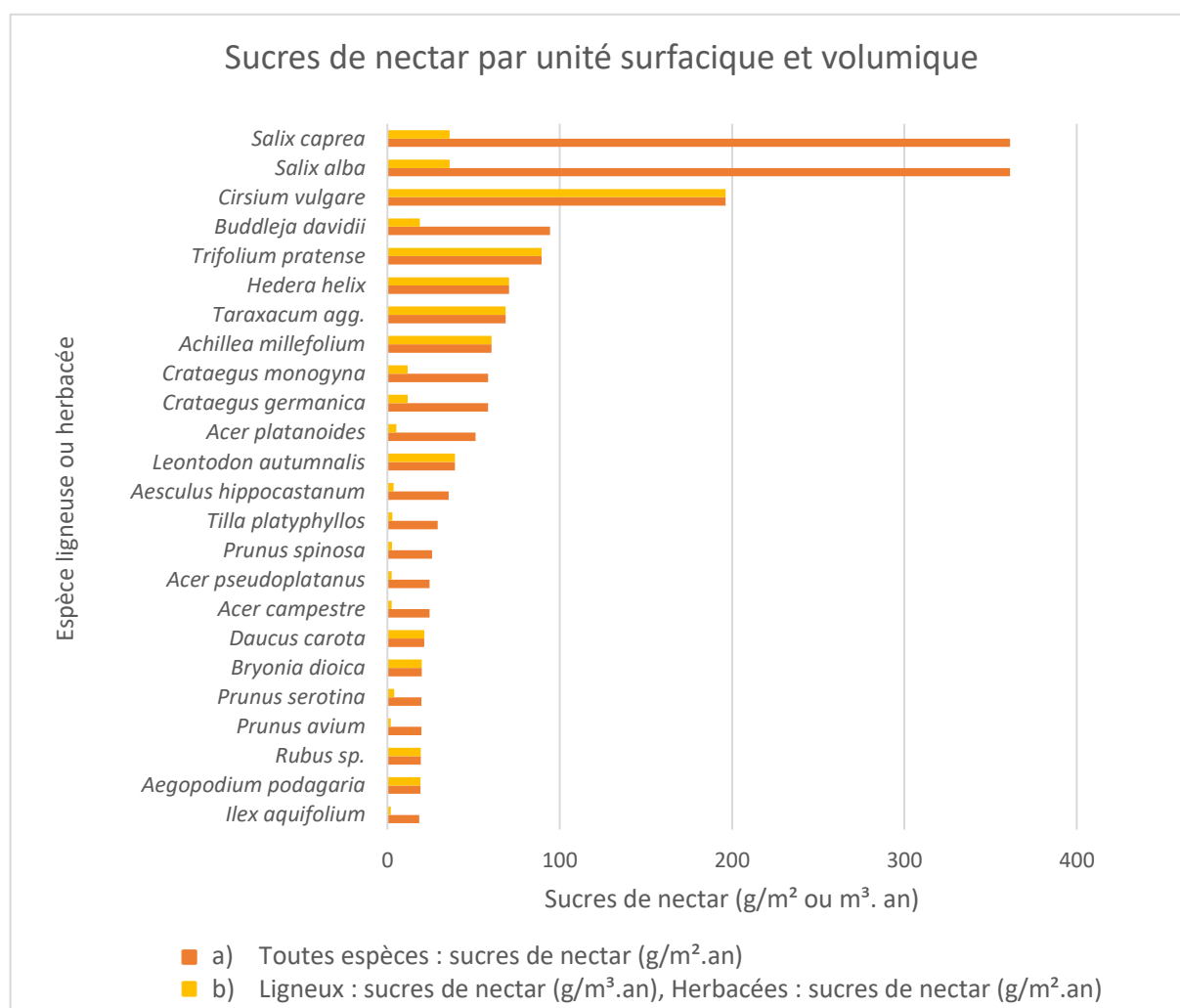


Figure 3.14 Production annuelle de sucres de nectar pour chaque espèce ligneuse et herbacée présente sur le site d'étude a) par unité surfacique, selon Baude et al. (2006) et Timberlake et al. (2019) et b) par unité de volume pour les espèces ligneuses et par unité de surface pour les herbacées

Les données de nectar produit par chaque espèce végétale issues de la littérature (Baude et al. 2016; Timberlake et al. 2019) indiquent que les espèces ligneuses les plus productrices par unité de surface sont les saules (*Salix alba* et *Salix caprea*). Les herbacées les plus productrices sont le cirse des champs (*Cirsium arvense*) et le trèfle des prés (*Trifolium pratense*), qui produisent au moins 800 kg de nectar par hectare et par an (Tableau 3.5).

Ramenées à une unité de mesure par volume, les espèces ligneuses ont des données de nectar bien moins élevées, alors que les valeurs pour les herbacées ne sont pas modifiées. Ces données seront utilisées par la suite pour calculer le potentiel de production nectarifère de chaque haie en utilisant les mesures de volume du houppier pour les arbres, et de mesure de recouvrement du sol pour les herbacées (Figure 3.14)

Aucune donnée n'a été trouvée pour 11 espèces, mais pour 5 d'entre elles, nous leur avons attribué la valeur d'une autre espèce du même genre. C'est notamment le cas du géranium colombin (*Geranium columbinum*), pour qui la valeur du géranium des prés (*Geranium pratense*) a été utilisée (Tableau 3.5).

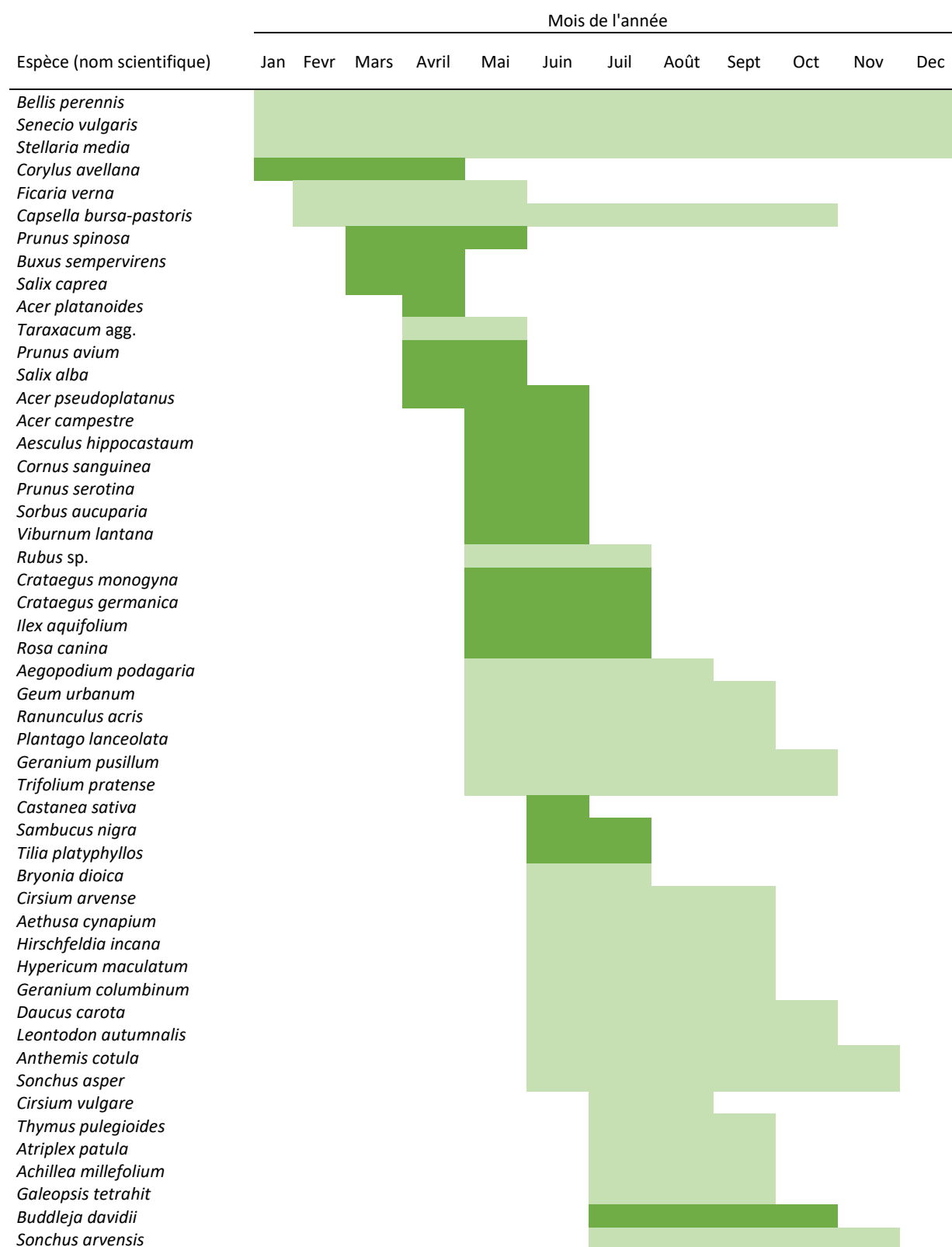
Tableau 3.6 Indications pour chaque haie de la production totale de sucres de nectar (kg/an), du pourcentage de participation à la production totale de nectar (%) et de la production de nectar par unité surfacique (kg/ha.an)

	<i>Production totale de sucres de nectar (kg/an)</i>	<i>% de participation à la production totale</i>	<i>Production de sucres de nectar par unité surfacique (kg/ha.an)</i>
<i>Z1.1 : Scavée</i>	81,0	33,9	180,2
<i>Z1.2 : Haie du champ</i>	13,5	5,6	106,5
<i>Z2.1 : Arbres isolés</i>	26,0	10,9	59,7
<i>Z2.2 : Haie prairie</i>	76,9	32,2	509,4
<i>Z3.1 : Haies du potager</i>	6,6	2,8	42,8
<i>Z3.2 : Bosquet de la mare</i>	29,0	12,2	249,8
<i>Z3.3 : Haies taillées</i>	5,8	2,4	121,3

La quantité totale de nectar produite en une année par tous les végétaux des haies de la ferme de Lauzelle peut ainsi être estimée à près de 300 kg de sucres. Toutes les haies ne participent pas de la même manière à la production de nectar. La haie la plus productrice est celle de la haie de la scavée (Z1.1), qui participe à hauteur de 44 % à la production de nectar. Cette haie couvre non seulement une grande surface (plus de 4 000 m²) mais dispose d'un fort potentiel de production par unité surfacique. La haie de la prairie (Z2.2) a le potentiel de production par unité surfacique le plus élevé, car elle contient de nombreux saules qui sont fort productifs (plus de 3 600 kg de sucre par ha). Ces deux grandes haies produisent conjointement 71% de la production nectarifère totale. Les zones 1.2, 2.1, 3.1 et 3.3 ne participent qu'à moins de 10% chacune à la production nectarifère. La haie du potager (Z3.1) a le potentiel de production surfacique le plus faible, qui est de 44 kg de sucre par ha par an.

3.3.2 Quantification dans le temps des ressources nourricières pour les pollinisateurs

Tableau 3.7 Période de floraison des espèces ligneuses (vert foncé) et herbacées (vert clair) à pollinisation entomophile présentes sur le site.



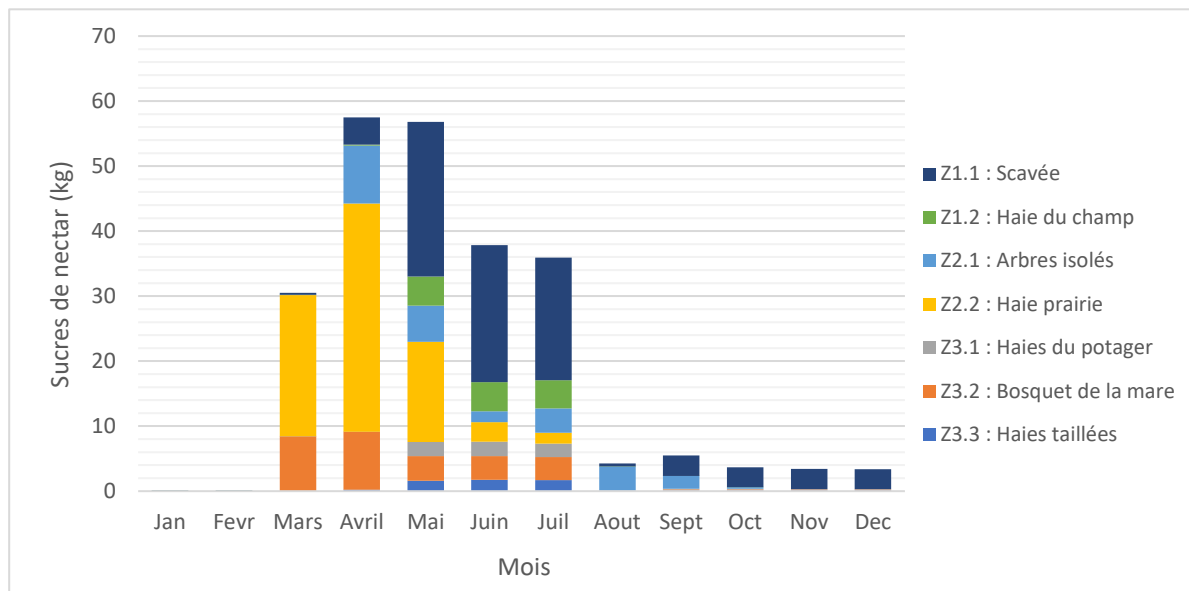


Figure 3.15 Participation des haies à la production en sucres de nectar en fonction de la phénologie

Outre trois espèces herbacées présentes sur le site qui fleurissent toute l'année (*Bellis perennis*, *Senecio vulgaris* et *Stellaria media*), chaque espèce végétale participe à la production de nectar lors de sa période de floraison (Tableau 3.7). Ainsi, les ligneux à la production nectarifère importante qui fleurissent au printemps sont le prunellier (*Prunus spinosa*) en mars, suivis du merisier (*Prunus avium*), de l'érable plane (*Acer platanoïdes*) et du saule marsault (*Salix caprea*) en avril. La ficaire fausse-renoncule (*Ficaria verna*) et la capselle bourse à pasteur (*Capsella bursa-pastoris*) sont les premières herbacées qui fleurissent en février, suivies du pissenlit (*Taraxacum spp.*) en avril. La plupart des espèces fleurissent entre mai et août, donc la production nectarifère y est importante. A partir du mois de septembre, seules quelques espèces herbacées fleurissent, telles que le laiteron des champs (*Sonchus arvensis*) et le lierre (*Hedera helix*). Le dernier ligneux à participer à la production nectarifère est le buddléia de david (*Buddleja davidii*), qui fleurit jusqu'en octobre.

Toutes haies comprises, on observe logiquement un creux en production nectarifère en automne et en hiver. Dès le mois de mars, la production nectarifère augmente rapidement jusqu'à atteindre plus de 30 kg. La production double presque au mois d'avril, pour atteindre près de 60 kg. Ensuite, dans le courant du printemps et de l'été, la production nectarifère diminue graduellement jusqu'à stagner à moins de 10 kgde nectar produit par mois d'août à décembre.

On observe que la scavée (Z1.1) et la zone des arbres isolés (Z2.1) sont les seules qui produisent tout au long de l'année. La scavée (Z1.1) produit entre 10 et 100 fois plus que la zone des arbres isolés (Z2.1) en hiver. La haie de la prairie (Z2.2), qui produit énormément au printemps cesse toute production à partir du mois d'août et ce jusqu'à la fin de l'année (Figure 3.15).

3.3.3 Quantification des ressources nourricières pour l'avifaune

Les espèces ligneuses produisant des baies comestibles pour l'avifaune ont été classées en trois groupes en fonction de la période à laquelle elles produisent des baies (Voisin et Voisin, 2009 ; Tableau 3.8).

Les baies d'été apparaissent dès le 15 mai et mûrissent à tour de rôle pour disparaître en septembre. Au total, 8 espèces ligneuses présentes sur le site produisent des baies en été, telle que *Prunus avium*, qui est la plus importante en termes de volume à cette période, mais dont la production de fruits par unité de volume ne figure pas dans la littérature. L'espèce la plus productrice par unité de volume est *Sambucus nigra* (29 685 baies par m³ de couronne). En été, *Prunus serotina*, qui est une espèce exotique envahissante produit une grande quantité de fruits (plus de 7 500 fruits par m³ de couronne). *Prunus spinosa*, dont la production est moindre (287 fruits par m³ de couronne), produit également des fruits en été.

Les baies d'automne mûrissent à la fin de l'été et sont consommées de septembre à décembre ou janvier. *Crataegus monogyna*, qui est la deuxième espèce la plus importante sur le site en fait partie. Selon Fraselle (2018), les arbustes de cette espèce produisent 2 728 fruits par m³ de couronne lorsqu'ils ne sont pas taillés (fréquence de taille inférieure à une fois tous les quatre ans), ce qui est le cas pour la majorité des haies du site d'étude. Cependant, les haies taillées (Z3.3) subissent une taille biennale. Selon ce mode de gestion, seulement 12% de la production fruitière est assurée, par rapport à des haies non taillées (Staley et al. 2012). Ainsi, seul 336 fruits sont produits par m³ de couronne dans cette zone.

Enfin la seule espèce productrice de baies d'hiver, *Hedera helix*, produit des baies consommables de janvier à mars. Il n'y a pas de baies disponibles entre fin mars et début mai sur le site de la ferme de Lauzelle.

Tableau 3.8 Principales espèces ligneuses et herbacées productrices de baies dans les haies de la ferme de Lauzelle. Période de production fruitière (Été : 15 mai – 31 août, Automne : 1 septembre – 31 janvier, Hiver : 15 janvier – 1 avril) (Voisin et Voisin, 2009), nombre de fruits/m³ de couronne de houppier, somme des volumes de couronne de l'espèce dans l'ensemble des haies du site et production totale de fruits calculée.

Nom latin	Période de production de fruits	Fruits/m ³ de couronne	Source	Volume de couronne (m ³)	Nombre de fruits produits
<i>Cornus sanguinea</i>	Été	3 525	Fraselle (2018)	48	168 236
<i>Prunus avium</i>	Été	1 000	Estimation	725	724 548
<i>Prunus spinosa</i>	Été	287	Fraselle (2018)	49	14 184
<i>Prunus serotina</i>	Été	7 598	Fraselle (2018)	99	752 817
<i>Sambucus nigra</i>	Été	29 685	Fraselle (2018)	60	1 782 621
<i>Sorbus aucuparia</i>	Été	1 000	Estimation	18	18 269
<i>Rubus</i> sp.	Été	3 530	Fraselle (2018)	696	2 456 807

<i>Crataegus monogyna</i> sans taille	Automne	2 728	Fraselle (2018)	2 761	7 533 310
<i>Crataegus monogyna</i> taille biennale	Automne	336	Fraselle (2018) et Staley et al. (2012)	151	50 568
<i>Rosa canina</i>	Automne	1 192	Fraselle (2018)	75	89 984
<i>Hedera helix</i>	Hiver	1 000	Estimation	499	817

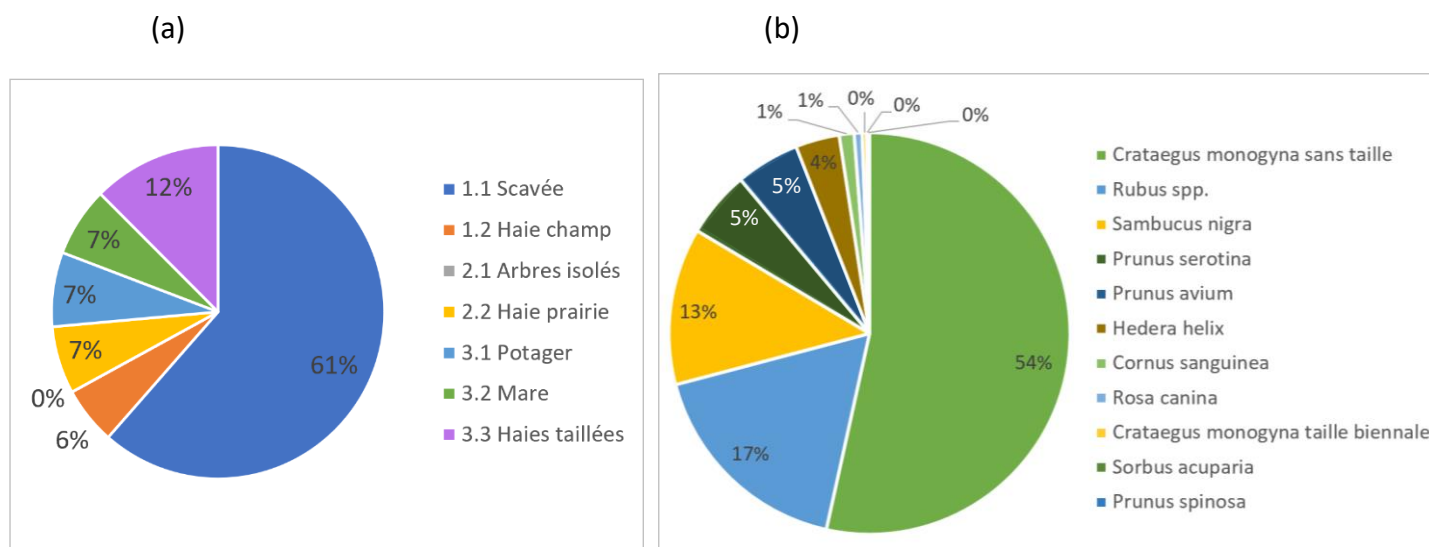


Figure 3.16 Participation de chaque zone à la production de fruits (%) (a) et Participation de chaque espèce à la production de fruits (%) (b)

La scavée (Z1.1) est la haie qui participe le plus à la production fruitière (61%). En effet, elle contient la majorité des individus de *Crataegus monogyna*, qui est l'espèce prédominante dans l'approvisionnement en fruits. En outre, la scavée contient au moins un individu de chaque espèce productrice de fruits. Elle permet ainsi une production des baies de mi-mai à fin mars.

Les haies taillées (Z3.3), constituées presque exclusivement de *Sambucus nigra* et de *Crataegus monogyna* participent à 14% de la production fruitière. Ces haies produisent des baies à la fois en été et en automne, mais la taille fréquente de ces haies ne les autorise pas à produire au maximum de leur potentiel. La haie de la prairie (Z2.2), qui produisait le plus de nectar est une des haies les moins productrice en termes de baies, représentant seulement 5% de la production. Elle contient 8 espèces sur les 11, mais en volume très peu importants.

La haie de la prairie (Z2.2), qui produisait le plus de nectar est une des haies les moins productrice en termes de baies, représentant seulement 5% de la production. Elle contient 8 espèces sur les 11, mais en volume très peu importants. La zone des arbres isolés (Z1.1) n'est composée d'aucune espèce productrice de baies.

3.4 Résultats pour l'avifaune

3.4.1 Richesse spécifique et abondance

Tableau 3.9 Abondance des espèces d'oiseaux par mois (octobre à mars). En gris sont notées les espèces détectées et si tel est le cas, l'indice d'abondance est donné (I : entre 1-5 individus, II : entre 6-10 individus, III : entre 11-20 individus, IV : entre 21-50 individus). Les espèces migratrices hivernant en Brabant Wallon sont indiquées en bleu.

		Octobre			Novembre		Janvier	Février	Mars	Avril
Espèce	Famille	05.10.18	21.10.18	26.10.18	09.11.18	30.11.18	13.01.19	08.02.19	06.03.19	14.04.19
<i>Columba palumbus</i>	Columbidae	I	II	III	II	I	II	I	II	I
<i>Fringilla coelebs</i>	Fringillidae	I	I	IV	V	IV	III	II	IV	I
<i>Pica pica</i>	Corvidae	I	II	II	I	I	II	II	I	II
<i>Parus major</i>	Paridae	I	I	I	I	I	I	I	II	I
<i>Corvus corone</i>	Corvidae	II	I		I	III	I	I	I	
<i>Passer domesticus</i>	Passeridae	II	I	I	III	I	II		III	III
<i>Cyanistes caeruleus</i>	Paridae	I	I	I	I	I	I	I	III	I
<i>Turdus merula</i>	Turdidae		I	I	I	I	I	I	I	
<i>Troglodytes troglodytes</i>	Troglodytidae		I	I	I	I		I		
<i>Sturnus vulgaris</i>	Sturnidae	IV			II	III		I		I
<i>Erithacus rubecula</i>	Turdidae	I	I	I	I	I			II	I
<i>Motacilla alba</i>	Motacilidae	II		I		I				
<i>Corvus monedula</i>	Corvidae	I		I						
<i>Dendrocopos major</i>	Picidae	I		I						
<i>Picus viridis</i>	Picidae	I			I					
<i>Prunella modularis</i>	Prunellidae				I				I	
<i>Garrulus glandarius</i>	Corvidae		I		I				I	
<i>Emberiza citrinella</i>	Emberizidae		I		I				I	I
<i>Aegithalos caudatus</i>	Aegithalidae		I		I				I	
<i>Certhia brachydactyla</i>	Certhiidae			I						
<i>Regulus ignicapilla</i>	Regulidae	I							I	
<i>Chloris chloris</i>	Fringillidae		I							I
<i>Motacilla cinerea</i>	Motacilidae	I				I	I			
<i>Streptopelia decaocto</i>	Columbidae	I				I				I
<i>Turdus viscorius</i>	Turdidae					I				
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	Muscicapidae	I	I						I	
<i>Phylloscopus collybita</i>	Sylviidae		I							
<i>Sylvia atricapilla</i>	Sylviidae									I
<i>Fringilla montifringilla</i>	Fringillidae			I		I		I		
<i>Turdus iliacus</i>	Turdidae				I		II	II		
<i>Turdus pilaris</i>	Turdidae				III		I	III	I	

En tout, 31 espèces ont été identifiées sur le site d'étude, appartenant à 17 familles, avec un maximum de 5 espèces par famille. La famille la plus représentée en termes d'espèces est celle des Turdidae, suivie des Corvidae, puis des Fringilidae (Tableau 3.9). Selon l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), la plupart des espèces ne remplissent pas les critères d'une catégorie en danger, donc ont un statut de conservation de « préoccupation mineure ». Seule la Grive mauvis (*Turdus iliacus*) est classée sous le statut « quasi menacé », et donc est considérée comme une espèce qui est probable d'être en danger dans un futur proche dans l'Union Européenne (IUCN 2019). Le programme de surveillance des oiseaux communs en Wallonie (SOCWAL) classe les espèces selon trois catégories d'habitats ; celles des milieux agricoles, des milieux forestiers et les espèces généralistes (Derouaux et Paquet 2018). Sur le site d'étude, nous avons 70% d'espèces généralistes, 17% d'espèces forestières et 13% d'espèces de milieux agricoles.

Les espèces les plus fréquemment présentes dans les haies sont la Mésange bleue (*Cyanistes caeruleus*), le Pinson des arbres (*Fringilla colebs*), la Pie bavarde (*Pica pica*), la Mésange charbonnière (*Parus major*) et le Pigeon ramier (*Columba palumbus*). Ces cinq espèces ont été observées à chaque passage. Trois autres espèces sont également présentes à chaque fois, à l'exception d'une seule fois où elles n'ont pas été entendues ou vues. Il s'agit du Moineau domestique (*Passer domesticus*), de la Corneille noire (*Corvus corone*), et du Merle noir (*Turdus merula*). Toutes ces espèces fréquentent les haies à la recherche de nourriture en période hivernale.

De plus, certains oiseaux ont été observés en grandes bandes en hiver. C'est le cas du Pinson des arbres (*Fringilla colebs*), dont les bandes comptaient plus de 80 individus au mois de novembre. Dans une moindre mesure, les Grives mauvis (*Turdus iliacus*) et Grives litorines (*Turdus pilaris*) étaient en bandes de plus de 10 individus le même mois. La Corneille noire (*Corvus corone*) était elle aussi fortement présente ; des groupes de plus de 12 individus se trouvaient dans les prairies aux abords des haies, et d'autres individus occupaient les terres agricoles avoisinantes en novembre. L'Etourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*), une espèce grégaire, a aussi souvent été observée en bandes qui pouvaient compter entre 21 et 50 individus.

Les migrants nordiques sont au nombre de trois : le Pinson du nord (*Fringilla montifringilla*), la Grive mauvis et la Grive litorne (*Turdus iliacus* et *pilaris*). Des individus de ces espèces, migrant à partir de l'Europe du nord, ont passé l'hiver en Brabant Wallon. Les migrants partant vers le sud sont nombreux. Parmi eux, il y a trois espèces qui migrent vers le sud de l'Europe, sans que d'autres individus venant de l'Europe du nord ne migrent en Belgique. C'est le cas de la Fauvette à tête noire (*Sylvia atricapilla*), du Roitelet à triple bandeau (*Regulus*

3.4.2 Influence de la structure et de la composition des haies

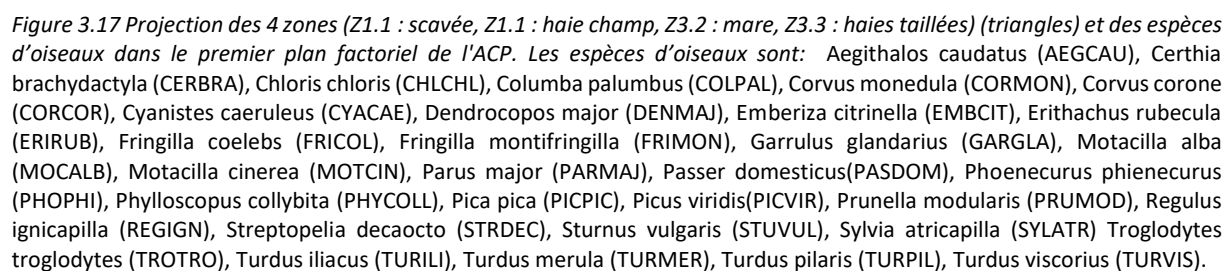


Tableau 3.10 Présence (1 : bleu) absence (0 : blanc) des espèces présentes dans les haies. Diversité spécifique aviaire totale et par unité surfacique, abondance de l'avifaune totale et par unité surfacique et indice de Shannon pour les 4 haies observées (Z1.1 : scavée, Z1.1 : haie champ, Z3.2 : mare, Z3.3 : haies taillées) dans le cadre de l'étude de l'avifaune

Espèce (nom scientifique)	Z1.1 Scavée	Z1.2 Haie champ	Z3.2 Bosquet mare	Z3.3 Haies taillées
<i>Columba palumbus</i>	1	1	1	1
<i>Turdus merula</i>	1	1	1	1
<i>Pica pica</i>	1	1	1	1
<i>Fringilla coelebs</i>	1	1	1	1
<i>Erithacus rubecula</i>	1	1	1	1
<i>Parus major</i>	1	1	0	1
<i>Cyanistes caeruleus</i>	1	1	0	1
<i>Troglodytes troglodytes</i>	1	1	0	1
<i>Corvus corone</i>	1	1	0	1
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	1	1	0	1
<i>Sturnus vulgaris</i>	1	0	1	1
<i>Turdus pilaris</i>	1	1	1	0
<i>Fringilla montifringilla</i>	1	0	1	0
<i>Picus viridis</i>	1	0	0	1
<i>Prunella modularis</i>	1	0	0	1
<i>Streptopelia decaocto</i>	1	0	0	1
<i>Garrulus glandarius</i>	1	1	0	0
<i>Dendrocopos major</i>	1	1	0	0
<i>Aegithalos caudatus</i>	1	1	0	0
<i>Emberiza citrinella</i>	1	1	0	0
<i>Chloris chloris</i>	0	1	1	0
<i>Passer domesticus</i>	0	0	1	1
<i>Motacilla cinerea</i>	0	0	1	1
<i>Corvus monedula</i>	1	0	0	0
<i>Turdus iliacus</i>	1	0	0	0
<i>Certhia brachydactyla</i>	1	0	0	0
<i>Regulus ignicapilla</i>	1	0	0	0
<i>Silvia atricapilla</i>	1	0	0	0
<i>Phylloscopus collybita</i>	0	1	0	0
<i>Turdus viscorius</i>	0	0	1	0
<i>Motacilla alba</i>	0	0	0	1
Nombre d'espèces d'oiseaux	25	17	12	17
Nombre d'oiseaux	168	87	212	219
Nombre d'espèces d'oiseaux/ha	56	134	103	353
Nombre d'oiseaux/ha	374	688	1824	4544
Indice de Shannon	4	3,3	1,5	3

Le pourcentage de variance expliqué par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales (ACP) est de 86,6 % (l'axe 1 explique 50,5 % et l'axe 2 explique 36,1 % de la variance) (Figure 3.17). Cette analyse distingue en termes d'abondance et de diversité en oiseaux la scavée (Z1.1) du bosquet autour de la mare (Z3.2) et des haies taillées (Z3.3).

L'avifaune de la haie du champ (Z1.2) est fort semblable à celle dans le bosquet de la mare (Z3.2), ainsi qu'à celle de la scavée, dans une plus large mesure. En effet, 8 espèces sont communes à ces trois haies. La zone des haies taillées (Z3.3) est la plus différente en termes d'avifaune, notamment car sa diversité spécifique est nettement inférieure aux autres zones (12 espèces différentes contre 17 à 20 espèces).

La scavée (Z1.1) est la zone la plus diversifiée en termes d'espèces, et elle est caractérisée par un indice de biodiversité élevé (indice de Shannon égal à 4). On y observe 25 espèces sur les 31 présentes sur le site, dont 20 qui sont aussi présentes dans au moins une autre haie. Ainsi, la scavée partage 10 espèces avec la haie du champ (Z1.2), 9 espèces avec la haie de la prairie (Z2.2), et seulement 2 espèces avec les haies taillées (Z3.3). Quatre espèces sont présentes dans les trois zones. Il s'agit de *Columba palus*, *Pica pica*, *Turdus merula*, *Erithacus major* et *Fringilla coelebs*.

Seules quelques espèces sont spécifiques à chaque zone. Il s'agit de *Phylloscopus collybita* pour la haie du champ (Z1.2), *Turdus viscivorus* pour le bosquet de la mare (Z3.2) et *Motacilla alba* pour les haies taillées (Z3.3). Cinq espèces (20%) sont spécifiques à la scavée (Z1.1). Il s'agit de *Corvus monedula*, *Turdus iliacus*, *Certhia brachydactyla* et *Sylvia atricapilla*.

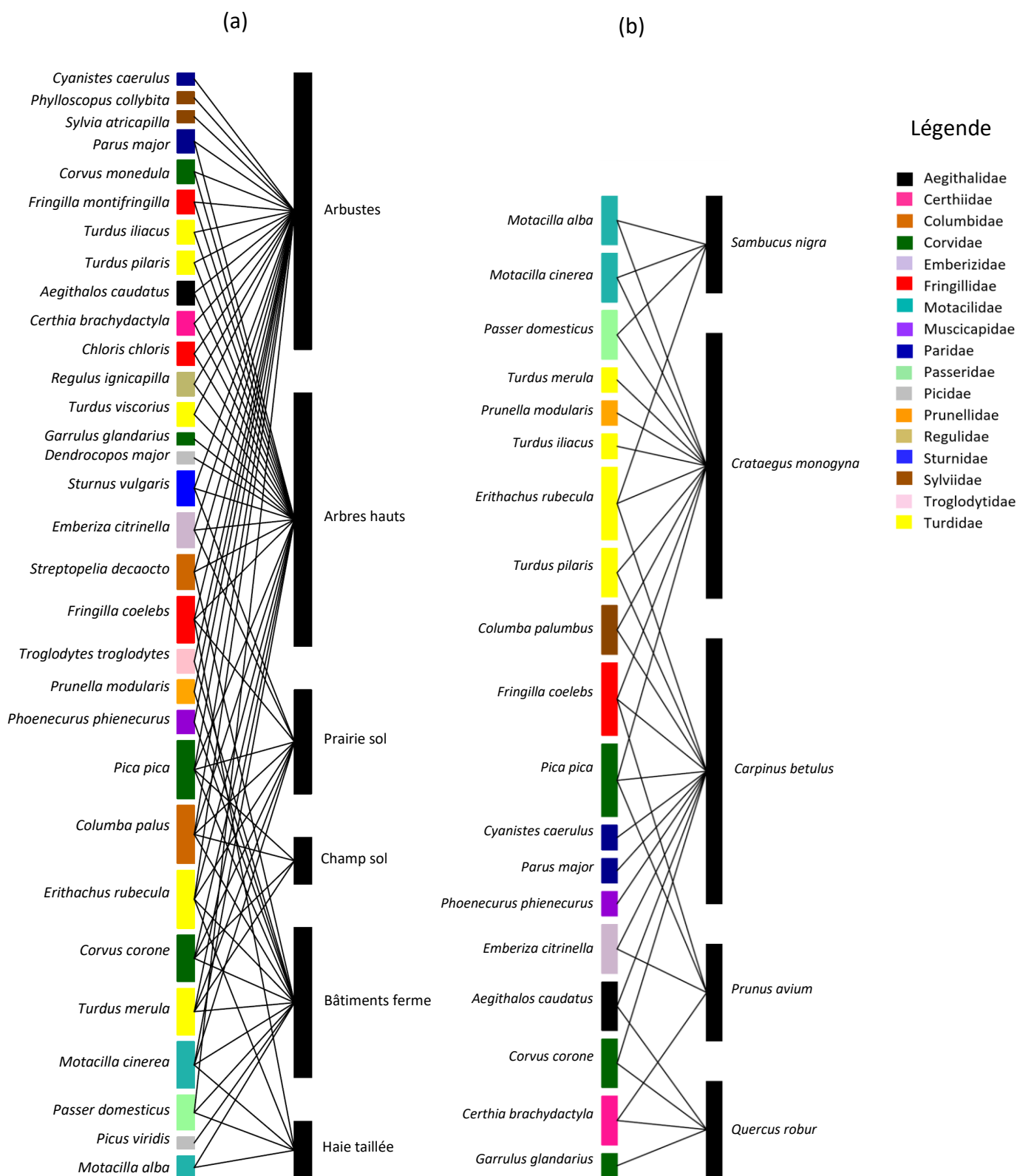


Figure 3.18 Réseaux bipartite qualitatifs de présence/absence montrant (a) les relations entre les espèces d'oiseaux (gauche) et les différentes composantes des haies ou l'occupation du sol (droite) et (b) les espèces d'oiseaux (gauche) qui ont eu trois ou plus interactions avec les espèces végétales (droite). Les couleurs pour les oiseaux représentent les différentes familles (voir légende)

De nombreuses interactions entre les espèces d'oiseaux et les arbres hauts situés dans les haies sont observées. Les principales espèces concernées appartiennent aux familles des Fringillidae, des Turdidae, des Columbidae et des Corvidae, et la plupart sont aussi associées aux arbustes (Figure 3.18 (a)).

Les espèces faisant partie des familles Sylviidae et Paridae ne se retrouvent que dans des arbustes, excepté pour *Parus major*, qui a aussi été observé dans les arbres hauts (Figure 3.18 (a)). Les deux espèces de Paridae en question ont uniquement eu des interactions avec le charme (*Carpinus betulus*) (Figure 3.18 (b)). Cette espèce, qui ne produit pas de fruits comestibles pour l'avifaune, est un abri pour les oiseaux qui y ont été observés.

Quatre espèces ont été observées à la fois dans les haies taillées et sur les bâtiments de la ferme. C'est par exemple le cas des deux représentants de la famille des Motacilidae : *Motacilla alba* et *Motacilla cinerea* (Figure 3.18 (a)). Toutes ces espèces ont eu des interactions avec le sureau noir (*Sambucus nigra*) et l'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*), qui composent les haies taillées (Figure 3.18 (b)). Ces espèces végétales produisent très peu de fruits car elles sont taillées tous les deux ans. D'autres espèces retrouvées sur les bâtiments de la ferme ont été observées uniquement dans des arbustes, qu'elles utilisaient comme abri. C'est le cas de *Prunella modularis*, *Troglodytes troglodytes* et *Phoenicurus phoenicurus*. En outre, deux espèces de Corvidae et deux espèces de Columbidae, qui ont un habitat très variable, ont aussi été observés sur les bâtiments de la ferme (Figure 3.18 (a)).

Columba palus, *Pica pica*, *Turdus merula* et *Corvus corone* sont des espèces qui ont été observées presque à chaque relevé sur le site. Ayant toutes quatre ou plus interactions, elles fréquentent divers habitats, dont le sol de la prairie et du champ, ainsi que les arbres hauts et/ou arbustes (Figure 3.18 (a)).

L'aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*) et le charme (*Carpinus betulus*) sont les végétaux avec lesquels l'avifaune a le plus d'interactions. Toutes les espèces de Turdidae ont notamment été observées dans des aubépines monogyne (*Crataegus monogyna*). Le chêne pédonculé (*Quercus robur*) et le cerisier des oiseleurs (*Prunus avium*) attirent moins d'espèces (3 et 4 espèces respectivement), mais ces dernières ont toutes été retrouvées dans des arbres hauts. Le sureau noir (*Sambucus nigra*), n'attire aussi que 4 espèces, mais ces dernières proviennent uniquement des haies taillées (Figure 3.18 (b)).

3.5 Evaluation des avantages et inconvénients des haies avec le modèle Terafor

Les zones de la scavée (Z1.1), de la haie du champ (Z1.2), des arbres isolés (Z2.1) et de la haie de la prairie (Z2.2) ont un potentiel de production de produits ligneux et non ligneux économiquement valorisables (Figure 3.19 (a)).

En termes d'apport aux activités agricoles, aucune haie n'a un effet positif marqué. Les haies permettent seulement de constituer une clôture pour le bétail, mais n'ont pas d'impact notable sur l'activité d'élevage. En revanche, les haies de la scavée (Z1.1), et du champ (Z1.2), auront un effet positif sur l'activité d'apiculture, si cette dernière se développait. Concernant l'impact des haies sur l'activité de grandes cultures, toutes les haies, sauf celle du champ (Z1.2) et celle du potager (Z3.1) ont un effet notable sur la pollinisation. Les haies voisines à une parcelle agricole (Z1.2, 3.1, 3.2 et 3.3) ont un effet bénéfique sur cette dernière par la création d'un microclimat propice aux productions végétales. En outre, nous ne disposons pas de données suffisantes pour déterminer si les haies de la ferme ont un effet sur le sol cultivé (Figure 3.19 (b)).

La haie de la scavée (Z1.1), la haie du champ (Z1.2) et la haie de la prairie (Z2.2) ont toutes les trois un effet positif sur le territoire. En effet, ces haies favorisent les quatre composants de l'amélioration du territoire qui sont : la protection contre le bruit, la création d'un microclimat favorable, l'amélioration de la qualité de l'air et la délimitation entre deux occupations du sol différentes. En outre, toutes les haies favorisent l'attractivité du lieu et du territoire, mais certaines d'entre elles (Z1.1, Z2.2 et Z3.3) sont une contrainte pour l'agriculteur car elles nécessitent un entretien et elles occupent une surface excluant d'autres usages. En outre, la haie du potager (Z3.1) a un effet négatif sur le territoire, car elle ne favorise aucun aspect positif du territoire, mais elle participe à l'émission de pollen, qui est considérée comme « néfaste », ce par la proximité de la haie par rapport aux bâtiments de la ferme (Figure 3.19 (c)). Cependant, les espèces végétales à pollinisation anémophile représentent moins de 10% des espèces dans cette haie. Dès lors, l'impact négatif de cette haie sur le territoire est minime.

Toutes les haies sur le site d'étude ont un effet positif sur l'environnement naturel, sauf les arbres isolés (Z2.1) et les haies taillées (Z3.3) (Figure 3.19 (d)).

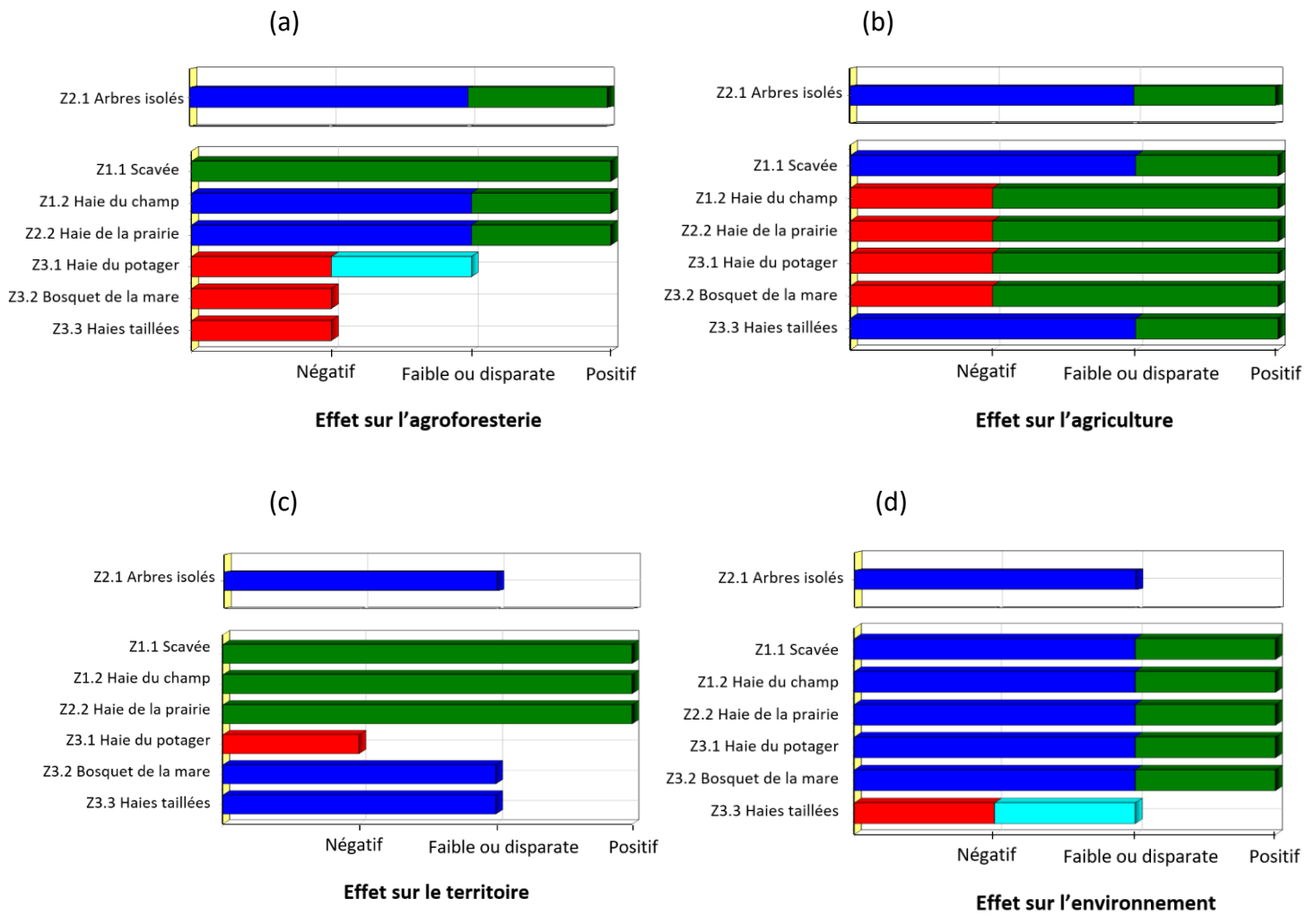


Figure 3.19 Participation (positive, faible ou disparate, négative) de la haie « ponctuelle » (les arbres isolés : Z2.1) et des haies « linéaires » (la scavée : Z1.1, la haie du champ : Z1.2, la haie de la prairie : Z2.2, le potager : Z3.1, le bosquet de la mare : Z3.2, et les haies taillées : Z3.3) aux quatre principales fonctions des espaces arborés, qui sont: l'agroforesterie (a), l'agriculture (b), le territoire (c) et l'environnement (d). Modèle Terafor (Vigan, 2018)

4 Discussion

4.1 Discussion des résultats

4.1.1 Différence de structure et de ressources entre les zones

La scavée (Z1.1) est la haie qui présente la plus grande diversité spécifique, avec un total de 40 espèces. Elle contient presque autant d'espèces ligneuses que d'espèces herbacées, alors que la zone des arbres isolés (Z2.1), qui est la deuxième zone la plus riche en espèces avec un total de 39 espèces, contient quatre fois plus d'herbacées que d'espèces ligneuses. Ces deux haies, qui n'ont que 17 espèces en commun se distinguent par quatre paramètres (la structure, la gestion, l'origine et l'utilisation du sol des parcelles adjacentes) qui ont une influence sur la richesse spécifique.

La structure de la scavée (Z1.1), en double haie multi-strates, ainsi que ses dimensions importantes de hauteur et de largeur agissent sur la quantité d'habitats disponibles. Ces paramètres ainsi que la proximité au bois de Lauzelle favorisent une diversité spécifique élevée, notamment pour les espèces ligneuses, ainsi qu'une proportion d'espèces forestières importante en strate herbacée (Baudry et Jouin 2003). De plus, le nombre important d'espèces est favorisé par l'origine double de la haie, c'est à dire plantée et spontanée (Deckers et al. 2004). Cependant, les parcelles à l'ouest de la haie sont occupées par un champ et un terrain de golf, impliquant un mode de gestion intensif et l'utilisation de produits phytopharmaceutiques et/ou d'engrais, ce qui a pour conséquence de favoriser quelques espèces adventices annuelles, réduisant le nombre d'espèces herbacées total. En outre, la strate herbacée serait réduite par le piétinement des animaux qui viennent s'abriter au pied de la haie, sur son côté est, dans la prairie pâturée. La faible proportion d'ouvertures dans les strates arborescentes et arbustives ne favorise pas non plus les herbacées (Baudry et Jouin, 2003).

La zone des arbres isolés (Z2.1) est quant à elle caractérisée par une absence de recouvrement en ligneux sur plus de trois quarts de sa surface. Cela confirme l'hypothèse stipulant que l'élagage des strates ligneuses augmente la richesse spécifique de la strate herbacée (Baudry et Jouin, 2003; Deckers et al. 2004). L'occupation du sol des parcelles adjacentes de cette zone par des champs et une route ainsi que les tailles des strates arbustives et herbacées fréquentes et intensives influencent négativement la diversité spécifique en ligneux (Deckers et al. 2004). De plus, la structure de la haie, en groupes d'individus de la même espèce, la présence importante de *Poa pratensis* dans la strate herbacée ainsi que l'absence de l'indication de la haie dans les cartes anciennes implique que cette haie a été plantée récemment. Cette origine aurait une influence négative sur la richesse spécifique des haies (Deckers et al. 2004).

Les autres haies sur le site contiennent entre 13 et 20 espèces différentes, c'est à dire entre deux à trois fois moins que dans les zones de la scavée (Z1.1) et des arbres isolés (Z.2.1).

Les haies du potager (Z3.1) et les haies taillées (Z3.3) présentent la plus faible richesse spécifique, de 13 et 14 espèces respectivement. En effet, ces deux zones ont des petites dimensions (hauteur et largeur moyennes faibles), et le mode de gestion y est intensif (les haies sont taillées tous les deux ans, et les tontes sont régulières dans la zone du potager). Les haies taillées (Z3.3) contiennent un plus grand nombre d'espèces herbacées que d'espèces arbustives, sans doute à cause du recouvrement important de la strate arbustive (34%), qui permet de créer un microclimat propice au développement d'herbacées, ce qu'une strate arborescente dense ne permet pas de fournir (Le Cœur et al. 1997; Deckers et al. 2004). En revanche, les haies du potager contiennent moins d'espèces herbacées que de ligneuses, conséquence du mode de gestion intensif lié au jardin potager qui lui est adjacent (Le Cœur, Baudry, et Burel 1997; French et Cummins 2001; Deckers et al. 2004). C'est aussi dans le potager que le taux d'espèces exotiques est le plus élevé.

La haie du champ (Z1.2) et la haie de la prairie (Z2.2) sont deux larges et hautes haies multi-strates, à diversité spécifique moyenne, de 20 et 15 espèces respectivement. Dans haie du champ (Z1.2) le taux de recouvrement ligneux inférieur à 50% ainsi que le côté de la haie voisin du champ favorisent un nombre important d'espèces herbacées, notamment des adventices. La haie de la prairie (Z2.2) est quant à elle pauvre en herbacées à cause du taux de recouvrement ligneux important, ainsi qu'à la proximité du bétail, qui surpâture sa strate herbacée. La différence de proportion entre espèces herbacées et espèces ligneuses dans ces deux zones semble être liée à l'occupation du sol des parcelles adjacentes, ainsi qu'au taux de recouvrement ligneux (Deckers et al. 2004).

Concernant la composition des strates, la strate arborescente est dominée en volume par des espèces différentes dans quatre zones : *Carpinus betulus* dans la zone 1.2, *Acer pseudoplatanus* dans la zone 2.1, *Betula pendula* dans la zone 2.2 et *Crataegus monogyna* dans la zone 3.1. Les strates arborescentes des zones 1.1 et 3. 2 sont dominées par *Quercus robur*. Les strates arbustives de 5 zones sont dominées par *Crataegus monogyna*, en représentant entre 37% et 89%. Dans la strate arbustive de la zone 2.1, c'est *Acer pseudoplatanus* qui est le plus présent, tandis que c'est *Ulmus minor* dans la zone 3.2. Toutes zones confondues, les six espèces ligneuses les plus présentes sont, par ordre décroissant : *Quercus robur*, *Crataegus monogyna*, *Betula pendula*, *Carpinus betulus*, *Acer pseudoplatanus* et *Prunus avium*.

Quercus robur, qui est présent dans cinq zones sur les sept est une espèce ligneuse qui se retrouve fréquemment dans les haies européennes (Pollard et al. 1974; Sarlöv et al. 2000 ;

Deckers et al. 2004). *Crataegus monogyna*, retrouvée dans les strates arbustives et arborescentes, est également très fréquente, notamment en Angleterre où elle domine 47% des haies (French et Cummins, 2001). Les haies étaient effectivement abondamment plantées avec cette espèce épineuse au XIX^{ème} siècle afin de constituer des barrières infranchissables pour le bétail (Baudry et al. 2000).

L'espèce dominante dans la strate herbacée est *Poa pratensis*, qui recouvre environ 3600 m² au total (c'est-à-dire 11% de la surface totale), suivie de *Rubus* sp. et de *Hedera helix*. La plupart des espèces herbacées inventoriées sont rudérales, indiquant une richesse en azote et une saturation en bases du sol (Rameau et al. 2003). Les espèces forestières sont présentes dans toutes les zones, sauf celle des arbres isolés (Z12.1), ce qui est en cohérence avec la structure très ouverte de cette zone. Cependant, la scavée (Z1.1), liée au bois de Lauzelle, contient seulement 14% d'espèces forestières, ce qui, tout comme l'étude menée par French et Cummins (2001), ne renforce pas l'hypothèse du rôle de la haie comme corridor forestier pour les plantes herbacées. Les espèces prairiales, globalement moins nombreuses, sont absentes des zones 2.2, 3.1 et 3.2, ce qui est étonnant car ces zones sont voisines d'une prairie pâturée. Dans la scavée (Z1.1), elles comptent par contre pour 36% des herbacées. L'occupation du sol des parcelles adjacentes ne semble donc pas avoir un effet significatif sur le type d'espèces herbacées.

4.1.2 Comparaison avec les haies du site de la ferme de Marbaix

Il existe certaines similitudes entre les haies de la ferme de Lauzelle et celles étudiées par Fraselle (2018) au centre A. de Marbaix (Corroy-le-Grand). De manière générale, les haies dans les deux sites contiennent une grande proportion de *Crataegus monogyna*, mais *Prunus spinosa* est plus présent dans les haies du centre de Marbaix. En outre, *Urtica dioica*, qui est une plante nitrophile indicatrice d'un sol riche en azote (Jacquemart et Descamps, 2018), est peu présente à Lauzelle alors qu'elle domine les strates herbacées dans le centre de Marbaix. Cela indique que les sols de Lauzelle sont mieux gérés que ceux du centre de Marbaix au point de vue de l'azote.

La zone des haies taillées à Lauzelle (Z3.3) ressemble à la zone éponyme à Marbaix (zone 1) plus par sa structure que par sa composition en espèces. En effet, ce sont toutes deux des haies taillées de manière intensive ayant un rôle paysager important. Concernant les espèces végétales, on trouve au centre de Marbaix trois espèces arborescentes (*Betula pendula*, *Salix* spp., *Fraxinus escelcior*), qui sont absentes de cette haie à Lauzelle. En outre, *Crataegus monogyna* qui domine la haie à Lauzelle à plus de 50% représente seulement 10% dans la haie du centre de Marbaix. Au niveau de l'avifaune, 12 espèces ont été identifiées dans les arbustes dans les deux sites parmi les 14 espèces retrouvées dans les arbustes au site de Marbaix.

La haie du potager (Z3.1) ressemble aux groupes d'arbustes (zone 3) au centre de Marbaix, car les deux haies sont voisines à une prairie pâturée. En outre, leur strate arborescente est fort ressemblante, car elle est dominée par *Fraxinus excelsior* à 43% contre 26%, à Marbaix et à Lauzelle respectivement, et par *Crataegus monogyna* à 24% contre 50%. Cependant, la strate arbustive dans les groupes d'arbustes au centre de Marbaix (zone 3) est dominée à 92% par *Prunus spinosa*, espèce absente de la haie de la zone du potager (Z3.1) à Lauzelle.

La haie multi-strates du centre de Marbaix (zone 4) est semblable à deux haies à Lauzelle, qui partagent la même structure. Toutes ces haies possèdent trois strates, et sont larges et hautes. La haie multi-strates (zone 4) ressemble à la haie de la scavée à Lauzelle (Z1.1) car toutes deux ont une diversité spécifique élevée. En revanche, en termes de composition spécifique, c'est à la haie de la prairie à Lauzelle (Z2.2) qu'elle est semblable. Les espèces *Salix* spp. sont presque autant présentes dans les strates arborescentes des deux zones (20% dans la haie 4 de Marbaix contre 17% à Lauzelle). Cependant, dans la zone à Marbaix, la strate arbustive est dominée par *Prunus spinosa*, qui est peu présent dans les deux haies de Lauzelle. De plus, *Crataegus monogyna*, très importante à Lauzelle ne représente que 15% de la strate arborescente dans la haie multi-strates à Marbaix (zone 4) (Fraselle, 2018).

4.1.3 Discussion sur les données issues de la littérature

Il existe actuellement encore peu de données de nectar ou pollen produit par espèce, en particulier pour le pollen (Baude et al. 2016; Ouvrard 2018; Timberlake et al. 2019). Ainsi, les espèces pour lesquelles les données ne figuraient pas dans la littérature n'ont pas été prises en compte. Cette simplification est acceptable car les espèces ignorées comptent pour moins d'1% du volume total.

En outre, les mesures de quantification des ressources en nectar ont été effectuées dans la région du sud-ouest du Royaume Uni, donc elles pourraient être écartées de la réalité par rapport aux valeurs réelles en Belgique. En effet, les volumes et concentrations en nectar varient en fonction des conditions environnementales (Melin, 2015). Aux différences de conditions environnementales en fonction du lieu de la prise de mesure s'ajoutent aussi les variations météorologiques interannuelles. En effet, les mesures de densité de fruits issues du travail de Fraselle (2018) sont sans doute sous-estimées car le printemps et l'été en 2018 étaient anormalement secs (Institut Régional de Météorologie, 2019). Par contre, les mesures de Baude et al. (2016) et de Timberlake et al. (2019) permettent d'éviter ce biais, car les données de quantité de nectar et de nombre de fleurs ont été moyennés sur 3 années. Les données de fleurs et de fruits sur *Crataegus monogyna* sont quant à elles moyennées sur 5 ans (Staley et al. 2012). Une autre source de variation est le mode de gestion des haies. En effet, Staley et al. (2012) ont indiqué que le nombre de fleurs produit par *Crataegus*

monogyna, peut varier d'un facteur 6, et le nombre de fruits d'un facteur 15, en fonction de la fréquence de la taille. Il est certain que le mode de gestion des haies a un impact sur la production des autres espèces, mais aucune information supplémentaire n'a été trouvée dans la littérature. Par ailleurs, la plupart des données sont issues des travaux de Baude et al. (2016), dans lesquels le mode de gestion des haies n'est pas signalé. Cependant, on pourrait supposer que le mode de gestion est peu intensif sur les sites d'étude de Baude et al. (2016), car des arbustes de plus de 3 m de haut y sont présents, tout comme à la ferme de Lauzelle. L'emploi de leurs données semble donc adéquat à notre site d'étude en terme de mode de gestion. L'utilisation des données de Timberlake et al. (2019) conduit sans doute à une sous-estimation de la production de fleurs des haies de la ferme de Lauzelle, car elles sont issues de haies maintenues à une hauteur moyenne de 1,8 m, pour lesquelles la fréquence de la taille est sans doute plus importante que celle dans notre site d'étude. Les autres sources de variabilité incluent les différences entre populations, individus, ainsi que les variations dues à la position et à l'âge de la plante considérée. Celles-ci n'ont pas été prises en compte.

Une source d'erreur notable est issue de la méthode de la prise de mesures du nombre de fleurs pour chaque espèce ligneuse. En effet, Baude et al. (2016), ainsi que Timberlake et al. (2019) ont tous deux compté le nombre de fleurs par m². Ainsi, toutes les fleurs sur une colonne de base de 1 m² ont été comptées. La hauteur de l'arbre est donc fort influente sur la valeur du nombre de fleurs. Afin de pouvoir utiliser ces données dans le cadre de ce travail, elles ont été divisées par la hauteur des arbres pour obtenir le nombre de fleurs par m³. Cependant, aucun des auteurs ne disposaient des données de hauteur des arbres pour chaque espèce ligneuse (Baude et Timberlake, communication personnelle, 2019). Ainsi, la valeur de 1,8 m a été retenue pour les travaux de Timberlake et al. (2019) (Timberlake, communication personnelle, 2019). Une hauteur arbitraire de 10 m a été utilisée pour les données de Baude et al. (2016). Ces hypothèses simplificatrices n'ont pas lieu pour les herbacées, car l'impact de leur hauteur sur le nombre de fleurs est négligeable, étant donné que les herbacées ne dépassent pas 50 cm dans le cadre de ce travail ainsi que dans les autres études (Baude et al. 2016 ; Ouvrard, 2018 ; Timberlake et al. 2019).

4.1.4 Principales ressources pour les insectes pollinisateurs

Dans les haies du site d'étude, les espèces qui fleurissent au printemps, aux mois de mars et d'avril, sont notamment *Salix* spp., *Prunus* spp. et *Acer pseudoplatanus*. Ces espèces, retrouvées dans les zones de la haie de la prairie (Z2.2) et du bosquet de la mare (Z3.2), offrent des ressources florales pour les reines des bourdons (*Bombus* spp.) qui cherchent à fonder leur colonie, en sortant de l'hivernation. Selon Baude et al. (2016), les *Salix* spp. seraient les ligneux les plus prolifiques en nectar, produisant plus de 3,5 tonnes de sucre par ha par an. En effet, l'espèce peut produire en moyenne 1000 chatons par m³ (Fraselle, 2018). Ces plantes

produisent aussi du pollen, qui constitue une excellente ressource pour le développement des larves de la colonie chez *Bombus* spp., de par sa concentration élevée en acides aminés essentiels, d'environ 100 mg/g (Moerman et al. 2016). Selon Kämper et al. (2016), l'abondance du pollen est essentielle pour *Bombus terrestris*. En effet, les butineuses ont une préférence pour les plantes au pollen abondant, même s'il est de qualité moyenne. Cela leur permet de minimiser le temps de recherche pour le pollen. Ainsi, la présence de quelques espèces de plantes abondantes en fleurs tout au long de la saison d'alimentation des bourdons peut couvrir les besoins nutritionnels des colonies (Kämper et al. 2016). *Prunus avium* et *Prunus spinosa* produisent aussi une quantité importante de nectar en début de saison : 384 et 266 µg de sucre par fleur et par jour respectivement. Grâce à sa richesse en saccharose (56,7%) (Baude et al. 2016), le nectar des *Prunus* est considéré comme très attrayant pour les *Apidae* comme *Apis mellifera* et *Bombus terrestris* (Percival 1961). *Acer pseudoplatanus* participe aux ressources disponibles en nectar, pouvant en produire 71,4 µg de sucre par fleur par jour (Baude et al. 2016).

Grâce à leur proportion importante en espèces fleurissant au printemps, les zones des arbres isolés (Z2.1) et la haie du champ (Z2.2) fournissent des ressources aux pollinisateurs à ce moment crucial. Sans ces haies, le nectar produit en mars sur le site de la ferme de Lauzelle serait réduit de ⅓.

Ensuite, aux mois de mai et de juin, la haie de la scavée (Z1.1) prend progressivement le relais pour la production nectarifère. *Crataegus monogyna*, qui constitue la moitié de sa strate arbustive, produit 20 000 fleurs par m linéaire (si non taillé) (Staley et al. 2012), chaque fleur produisant 102,5 µg de sucre par jour (Baude et al. 2016). La zone des haies taillées (Z3.3) participe aussi à cette production estivale, mais ne produit pas au maximum de son potentiel car ces haies sont trop fréquemment taillées. En effet, Staley et al. (2012) ont démontré que la production de fleurs sur des haies de *Crataegus monogyna* taillées de manière bisannuelle est réduite jusqu'à 75% par rapport aux haies non taillées. De nombreuses herbacées telles que *Rubus* sp. et *Trifolium pratense* participent aussi à la production estivale. Celle-ci est cruciale pour le nourrissage des pollinisateurs. En effet, le nombre d'*Apis mellifera* dans les ruches est le plus élevé aux mois de juin et juillet. C'est pendant ces mois que leurs besoins sont les plus importants (Imdorf et al. 1996).

A partir de la fin du mois de juillet débute une régression des populations d'abeilles (Imdorf et al. 1996). Dès lors, le besoin en ressources nourricières diminue. La production nectarifère des haies du site est peu importante en automne et en hiver. *Buddleja davidii*, qui est une plante exotique, fleurit jusqu'en octobre. Seuls *Sonchus arvensis* et *Hedera helix* fleurissent jusqu'en novembre.

Les besoins nutritionnels pour les pollinisateurs sont assurés grâce à la production nectarifère des haies de la ferme de Lauzelle. Les haies fournissent notamment une grande quantité de nectar au printemps (mars, avril, mai). A la fin de l'été (juillet, août), la production de nectar est assez faible. Il serait intéressant d'augmenter cette production pour s'assurer que les insectes pollinisateurs ne manquent pas de ressources.

4.1.5 Principales ressources pour les oiseaux en automne-hiver

Dans les haies de la ferme de Lauzelle, 31 espèces d'oiseaux ont été observées ; 22 d'entre elles ont une alimentation mixte, c'est-à-dire qu'elles se nourrissent d'insectes au printemps et en été, et de baies, fruits et de graines en automne et en hiver. Au cours des prises de mesure entre les mois d'octobre et d'avril, le nombre d'espèces observées le long de l'itinéraire de 1,1 km atteint un maximum à la fin du mois d'octobre, diminue en janvier et février, pour ré-augmenter à partir du mois de mars, lorsque les oiseaux migrateurs reviennent. Selon Debussche et Isenmann (1992), la variation en abondance et en diversité spécifique de l'avifaune est significativement liée à la phénologie des espèces ligneuses portant des fruits. Cependant, les déductions résultant d'observations de présence/absence des espèces d'oiseaux ne permettent pas explicitement de déterminer la préférence d'une espèce d'oiseaux vis-à-vis d'une certaine espèce végétale. En effet, plusieurs espèces de végétaux peuvent répondre aux besoins particuliers des oiseaux. Par ailleurs, les ressources fournies par une espèce donnée sont susceptibles d'être exploitées de différentes manières par plusieurs espèces d'oiseaux (Hinsley et Bellamy, 2000). Néanmoins, le lien naturel qui existe entre la présence d'oiseaux consommateurs de fruits et la disponibilité de fruits permet de comprendre l'importance des baies dans l'alimentation des oiseaux de la ferme de Lauzelle.

Les baies d'été apparaissent dès la seconde quinzaine du mois de mai et mûrissent à tour de rôle pour disparaître en septembre. Les espèces qui portent des fruits à cette période au sein du site d'étude sont au nombre de 8.

Les *Prunus spp.* sont les premiers à porter des fruits. Ils permettent de produire près de 1,5 million de fruits sur l'ensemble du site. *Prunus avium* et *P. serotina* sont les plus gros producteurs, tandis que *P. spinosa*, qui compte que pour un petit volume (49m³ de couronne), participe moins à la production. Nous avons observé quatre espèces d'oiseaux sur *P. avium*, qui portait encore quelques fruits lors des premiers relevés de l'avifaune. En été, les arbustes de *Cornus sanguinea* sont responsables de la production de près de 200 000 fruits, et *Sambucus nigra* en a fourni dix fois plus. Quatre interactions ont été observées pour *S. nigra*, qui pourtant ne présentait déjà plus de fruits lors des premiers relevés. Cet arbuste fournit donc des services autres que la production de baies, tels qu'un abri. Près de 2 500 000 fruits ont été produits sur les 696 m³ de *Rubus spp.*, qui sont fort appréciées par les oiseaux (Fuentes,

1994). Quelques individus de *Sorbus acuparia* (32 m³) ainsi qu'un arbuste de *Viburnum lantana* (4 m³) ajoutent encore à cette production fruitière estivale. La production de fruits par unité de volume de ces espèces n'a pas été retrouvée dans la littérature.

Ces huit espèces ligneuses produisent plus de 9 000 000 fruits au cours de l'été. Elles sont exploitées successivement, à mesure de leur maturation, par les frugivores qui bénéficient ainsi d'un approvisionnement plus ou moins constant jusqu'à l'apparition des baies d'automne. Les baies d'été sont ainsi disponibles pendant la reproduction, l'émancipation des jeunes et la période préparatoire à la migration (Voisin et Voisin, 2009).

Les baies d'automne mûrissent à la fin de l'été et sont consommées à partir du mois de septembre et jusqu'au mois de décembre. Elles sont utilisables par les derniers visiteurs d'été, et par les migrateurs (Voisin et Voisin, 2009). Dans les haies de la ferme de Lauzelle, ces baies sont produites par deux espèces, dont *Crataegus monogyna*, qui est la principale source en fruits disponibles pour les oiseaux à cette période. Cette espèce produit plus de 2 700 fruits par m³ en moyenne lorsqu'elle n'est pas taillée, contre seulement 336 fruits par m³ lorsqu'elle subit une taille biennale (Staley et al. 2012). Cette espèce est la plus importante en termes de production fruitière, car elle produit plus de 7,5 millions de fruits, ce qui représente 65% de la production totale des haies étudiées. Au Royaume-Uni, cette espèce, qui domine les haies, est connue pour produire une abondance de baies, qui constituent une importante source de nourriture pour de nombreux animaux tout au long de l'hiver (French et Cummins, 2001 ; Croxton et Sparks, 2002). En effet, les baies de *C. monogyna* sont non seulement nutritionnellement riches, mais elles tiennent fermement aux branches, permettant qu'elles soient disponibles longtemps pour l'avifaune (Voisin et Voisin 2009). Elles sont notamment restées disponibles jusqu'en janvier sur le site de la ferme de Lauzelle.

Nous avons observé 12 espèces d'oiseaux dans les haies de *C. monogyna*, notamment un groupe de *Fringilla colebs*, qui y a été identifié plusieurs fois de suite. Des couples de *Turdus ilicatus* arrivant en migration ont été observés en nourrissage et la préférence de *T. merula* pour *C. monogyna* a déjà été observée (Fuentes, 1994). *Crataegus monogyna* semble bien attirer les oiseaux grâce à son abondante production de fruits. En effet bien que *Quercus robur* domine le site en volume, cette espèce n'a présenté que 4 interactions avec l'avifaune, car ses fruits ne sont pas consommables par plusieurs d'espèces d'oiseaux. On y a cependant observé *Garrulus glandularis*, qui en consomme les glands. La deuxième espèce productrice de fruits en automne est *Rosa canina*, qui permet la production extrapolée d'environ 90 000 baies.

Enfin les baies d'hiver sont produites uniquement par les individus de *Hedera helix* qui sont en pleine lumière. Ces baies, consommées de janvier à mars, sont utilisables par les hivernants au moment le plus froid de l'année. Ces baies sont d'ailleurs riches car elles présentent un

taux de 23% en lipides (Debussche et Isenmann 1992). Cependant, *H. helix* ne produit pas beaucoup de baies au total car cette espèce est peu importante en volume, et elle produit uniquement des fruits en pleine lumière, alors que sur le site d'étude, elle est fréquemment retrouvée à l'ombre des ligneux, dans la strate herbacée.

Grâce aux haies de la ferme, les oiseaux ont des baies à leur disposition pendant la plus grande partie de l'année, notamment à la période de la reproduction et lors de la préparation à la migration. Le rôle des baies dans l'alimentation des oiseaux est donc primordial, et le maintien de leur diversité passe bien évidemment par la conservation des espèces qui les produisent. En effet, la richesse et l'abondance des espèces d'oiseaux augmentent en fonction du nombre d'espèces ligneuses présentes (Hinsley et Bellamy, 2000), notamment car ces dernières augmentent la diversité et la disponibilité des denrées alimentaires toute l'année (Pollard et al. 1974).

4.1.6 Interactions entre les espèces d'oiseaux et la structure des haies

Parmi les espèces d'oiseaux retrouvées sur le site de la ferme de Lauzelle, 70% sont généralistes, c'est-à-dire qu'elles peuvent occuper une grande diversité d'habitats. Cela fait d'elles des espèces fort adaptables en fonction du milieu, qui peuvent potentiellement se retrouver dans tous les types de milieux présents sur le site. Ces espèces sont notamment *Columba palus*, *Pica pica*, *Turdus merula* et *Corvus corone*, qui ont été observées au sol dans la prairie et dans le champ, autour des bâtiments de la ferme, ainsi que dans les arbres hauts et/ou arbustes des haies. Rencontrées presque à chaque passage, ces espèces sont fort fréquentes sur le site, et ont été observées au sol au début du printemps, sans doute à la recherche d'insectes ou de graines. Il s'agit d'espèces très communes en Belgique, en particulier en zones urbanisées semi-rurales.

Malgré la diversité théorique des potentiels lieux de vie des espèces généralistes, seul un tiers des espèces a été observé dans au moins trois milieux différents. Cela indique que les oiseaux, mêmes généralistes, préfèrent certaines structures végétales par rapport à d'autres.

Les oiseaux de plus petite taille comme *Certhia brachydactyla* et *Troglodytes troglodytes* n'ont été observés qu'au pied des haies ou dans les arbustes d'une hauteur inférieure à 3 mètres. En outre, les quatre espèces aviaires ont été observées dans des arbustes bas de *Sambucus nigra* qui ne présentaient plus de fruits. La présence de ces oiseaux de petite taille (moins de 20 cm et de 30 g) dans des haies taillées indique leur préférence pour une structure buissonnante, qui leur fournit un abri, ou une cachette, plutôt que pour des arbres hauts.

A l'inverse, les oiseaux de plus grande taille appartenant notamment à la famille des Corvidae comme *Corvus corone* et à la famille des Accipitridae comme *Buteo buteo* ont été observés

sur les arbres tels que *Prunus avium* ou *Fraxinus excelsior*. Ceux-ci s'en servent notamment comme perchoirs pour chasser (Hinsley & Bellamy, 2000).

Selon la littérature, deux paramètres influenceraient l'abondance et la probabilité d'occurrence de plusieurs espèces d'oiseaux dans les haies (Hinsley et Bellamy, 2000). Le premier paramètre est la structure de la haie ; la hauteur, la largeur, ainsi que le nombre de strates seraient bénéfiques à l'avifaune. Cela est vérifié dans cette étude, car les haies composées à la fois d'arbres hauts et d'arbustes (multi-strates) semblent convenir à une large gamme d'espèces. En effet, 17 espèces (55%), dont de nombreux *Fringillidae*, *Turdidae*, *Columbidae* et *Corvidae* ont été observées à la fois dans des arbres hauts, et dans des arbustes. En outre, la haie de la scavée (Z1.1), qui est une haie multi-strates, est celle dans laquelle le plus grand nombre d'espèces différentes (25) ont été observées. La haie du champ (Z1.2) ainsi que le bosquet de la mare (Z3.2), qui sont des zones plus petites que la scavée (moins de la moitié de la surface au sol), sont également composées de trois strates différentes, et ont une diversité spécifique élevée (chacune 17 espèces). En comparaison, les haies taillées (Z3.3), uniquement composées d'arbustes et d'herbacées ont attiré seulement 12 espèces d'oiseaux, ce qui représente seulement un tiers des espèces du site.

Cependant, les haies taillées sont composées de seulement 6 espèces arbustives différentes, et sont dominées par *C. monogyna*, contrairement aux autres haies, qui contiennent 6 à 28 espèces ligneuses. Selon French et Cummins (2001), la qualité des haies vives en tant qu'habitat est non seulement déterminée par leurs caractéristiques structurelles, mais aussi par leurs attributs floristiques. Ainsi, le deuxième indicateur de la diversité aviaire prend en compte la diversité végétale des haies. En effet, les haies à espèces ligneuses diversifiées ont tendance à avoir une richesse en espèces d'oiseaux relativement élevée (MacDonald et Johnson, 1995; French et Cummins, 2001).

Dans le cadre de cette étude, il n'est pas possible de déterminer quel paramètre, entre la composition floristique et la structure de la haie a le plus d'impact sur le nombre d'espèces aviaires qu'une haie peut attirer.

Aucun oiseau n'a été observé dans *Rubus* spp., qui produit pourtant une grande quantité de fruits. Comme cette espèce végétale est située juste à côté du chemin, le passage important dans cette zone pourrait être la cause de l'absence d'oiseaux. La zone de la scavée (Z1.1) qui est fort empruntée, et donc fort bruyante, présente la moins grande diversité en oiseaux par unité surfacique. Le « degré de dérangement » pourrait donc avoir un impact sur l'avifaune.

4.1.7 Evaluation globale des haies grâce au modèle Terafor

Le modèle Terafor ne permet pas d'analyser précisément quelle haie est plus intéressante pour un aspect spécifique. En revanche, c'est un modèle qui permet d'avoir une idée globale sur les services et dis-services offerts par les haies.

Les activités forestières et agroforestières (production de bois et de produits non ligneux valorisables économiquement) ne sont pas développées au sein des haies de la ferme de Lauzelle. Cependant, la zone de la scavée (Z1.1), la haie du champ (Z1.2) les arbres isolés (Z2.1) et la haie de la prairie (Z2.2) ont un potentiel de production à ne pas sous-estimer, et à pondérer en fonction des coûts de production.

Concernant l'influence sur l'agriculture, on remarque que le bétail n'a pas un contact assez étroit avec les haies pour les valoriser. En effet, les ligneux sont seulement présents en bordure des prairies, derrière une clôture en fils barbelés. Il serait donc intéressant de planter des alignements d'arbres au sein de la parcelle, pour que le bétail puisse bénéficier de plus de services écosystémiques fournis par les haies. Il en va de même pour les cultures, qui sont peu en contact avec les haies. Des pratiques culturales, telles que le maraîchage en agroforesterie, qui incluent plus de ligneux en leur sein seraient intéressantes à mettre en œuvre. En outre, afin que les haies jouent un rôle dans le contrôle biologique des cultures, il serait intéressant de planter des essences ligneuses qui favorisent la faune auxiliaire. De plus, les haies de la scavée (Z1.1) et la haie du champ (Z2.2) contiennent une grande diversité d'espèces végétales d'intérêt nectarifère, permettant de soutenir le service de pollinisation, indispensable à certaines plantes cultivées.

Concernant l'impact sur le territoire et sur l'environnement naturel, les haies de la ferme de Lauzelle ont un aspect bénéfique qui est à conserver. L'impact le plus important qu'elles ont est sur l'embellissement du cadre de vie. En effet, elles jouent le rôle de tampon entre les voies de communication et les parcelles agricoles, en réduisant fortement les nuisances sonores, visuelles et en améliorant la qualité de l'air. La plupart de ces haies sont accessibles sans véhicule motorisé, notamment la haie de la scavée (Z1.1) qui borde un chemin réservé aux usagers de la mobilité douce, et qui rejoint le bois et le golf de Lauzelle.

Finalement, on observe que toutes les haies multi-strates ont un effet positif sur l'environnement naturel. En effet, les haies jouent des rôles cruciaux en termes d'apport à la biodiversité de l'écosystème, de régulation des cycles pédo-bioclimatiques (régulation de l'écoulement de l'eau, cycle du carbone) et de la création d'un microclimat qui tamponne les variations climatiques importantes. Seules les zones des arbres isolés (Z2.1) et des haies taillées (Z3.3), qui ne sont pas multi-strates, ont un effet neutre voir négatif sur

l'environnement naturel. En effet, le modèle Terafor indique que les haies peuvent réduire la biodiversité en constituant un obstacle au soleil, ainsi qu'en servant de corridor aux espèces envahissantes. Ces deux aspects sont certainement sur-évalués car les herbacées sont fortement présentes dans les haies concernées (Z2.1 et Z3.3), et aucune espèce envahissante ne s'y trouve. Dès lors, il serait judicieux d'ajuster le modèle en donnant moins de poids au paramètre de « réduction de la biodiversité ».

4.1.1 Perspectives d'étude

Il serait intéressant d'étendre la base de données du nombre de fleurs par espèce, ainsi que de la quantité de nectar et de pollen par fleur. En effet, ces données sont rares, et les données issues de mesures en Belgique le sont encore plus.

En outre, la méthode de la prise de mesure du nombre de fleurs et de fruits pourrait être améliorée à l'avenir. Afin d'éviter les biais dus aux variations météorologiques, il serait intéressant d'effectuer une moyenne pour des mesures prises pendant 3 à 5 ans. En outre il est primordial d'indiquer le mode de gestion des espèces et si possible de prendre différentes mesures pour différents modes de gestion. De plus, une mesure plus appropriée pour la quantité de fleurs et de fruits produits serait de compter leur nombre par unité de volume. Ainsi, cette donnée serait extrapolable à tout ligneux, quelle que soit sa hauteur. Les fleurs et fruits n'étant pas produits dans l'entièreté du volume du houppier, mais plutôt dans un « volume de couronne », il serait intéressant de quantifier le nombre de fleurs et fruits uniquement dans ce « volume de couronne » (Jacquemart et al. 2018). Ainsi, pour déterminer le nombre de fleurs ou fruits produits sur un arbre ou arbuste, il suffirait d'extrapoler la donnée du nombre de fleurs ou fruits par m³ de couronne, au volume de la couronne du houppier ou du ligneux en question.

De plus, il serait intéressant de déterminer quel paramètre, entre la composition floristique et la structure de la haie a le plus d'impact sur le nombre d'espèces aviaires qu'une haie peut attirer. Pour déterminer cela, il faudrait effectuer une étude approfondie, dans laquelle la composition spécifique aviaire serait comparée avec des haies (a) de structure différente mais de composition floristique identique et (b) de composition floristique différente mais de structure similaire.

4.2 Plan d'aménagement

4.2.1 Cadre législatif

En Région wallonne, des subventions existent pour la plantation des haies et les alignements d'arbres, les conditions d'obtention étant reprises dans l'AGW du 8 septembre 2016. Pour la plantation d'une haie vive, le paiement varie entre 3€ et 5€ par mètre linéaire, en fonction du nombre de rangs d'arbres. En outre, l'entretien des haies et alignements d'arbres est subventionné dans le cadre des mesures agro-environnementales (mesure MB 1a). Le paiement annuel s'élève à 25 € par 200 m de haie linéaire. Aucune haie de la ferme de Lauzelle ne bénéficie d'une subvention, ni d'un classement comme « arbre et haie remarquable de Wallonie » (SPW, 2019).

4.2.2 Principes de plantation et d'entretien

Une préparation du sol est nécessaire avant la plantation des « jeunes plants » (0,3 à 1,2 m). Lors des premières années, les plants seront taillés différemment en fonction de la forme que l'on veut qu'ils obtiennent (arbres de haut jet ou arbuste buissonnant). Par la suite, après 3 ou 5 ans, les haies arbustives seront taillées selon la croissance des espèces, par exemple tous les 4 ans, afin d'éviter le développement de la strate arborescente tout en maximisant la production de fleurs et de fruits (Percsy, 2008; Soltner, 2015 ; Annexe E).

Les aménagements des haies du site d'étude peuvent être regroupés selon le type de haie qui sera planté. Chaque haie a son schéma de plantation ainsi que sa méthode de gestion. Trois types de haies seront abordés dans le cadre des aménagements du site d'étude ; les bandes boisées, les haies libres, les haies libres avec alignement d'arbres et les bosquets (Annexe E).

4.2.3 Choix des espèces pour les plantations

Nous proposons de planter des espèces autochtones dont les exigences écologiques sont adaptées aux conditions du site. Ainsi, ces espèces formeront une haie semi-naturelle stable (Reif et Schmutz 2001). De plus, nous proposons des espèces entomophiles fleurissant à différents moments de l'année. En particulier, celles qui produisent du nectar et du pollen de qualité importante telles qu'*Acer pseudoplatanus*, *Tilia cordata* et *Salix caprea*. Pour l'avifaune, les espèces végétales produisant des fruits recherchés par les oiseaux sont proposées (Tableau 4.1).

Tableau 4.1 Espèces végétales choisies pour les plantations, classées selon leur taille à maturité : petits arbustes (< 4 m), grands arbustes (4 à 5 m), arbres (> 5 m) et plantes grimpantes.

Petits arbustes (< 4 m)	Grands arbustes (4-5 m)	Arbres (> 5 m)	Plantes grimpantes
<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Cornus mas</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Hedera helix</i>
<i>Ribes nigrum</i>	<i>Corylus avellana</i>	<i>Prunus avium</i>	<i>Bryonia dioica</i>
<i>Ribes uvavrispa</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Quercus robur</i>	
<i>Rubus idaeus</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Salix alba</i>	
	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Salix caprea</i>	
	<i>Rosa canina</i>	<i>Tilia platyphyllos</i>	
	<i>Sambucus nigra</i>		
	<i>Sorbus aucuparia</i>		
	<i>Viburnum spp.</i>		

Trois types de bandes herbeuses seront mises en œuvre (Annexe F). Nous proposons une « bande herbeuse pour la faune », ensemencée d'un couvert en faveur des oiseaux des champs et de la petite faune des plaines agricoles (Natagriwal, 2019). Re-semé chaque printemps avec essentiellement des céréales, ce couvert aura pour but de fournir un refuge à la faune en hiver, ainsi que des graines pour l'avifaune. Il contiendra par exemple du radis fourrager (*Raphanus sativus* L), dont les graines restent disponibles jusqu'à la fin de l'hiver (Ouvrard, communication personnelle, mai 2019). Grâce à cette bande, nous espérons héberger l'avifaune nichant au sol, telles que l'alouette des champs (*Aluda arvensis*), le bruyant proyer (*Miliana calandre*) et la perdrix grise (*Perdrix perdrix*).

Nous proposons aussi une « bande aménagée à fleurs des prés », qui est ensemencée d'un mélange de graminées, de légumineuses et d'autres plantes à fleurs. Le mélange « MAEC - bande butineurs » proposé par Ecosem (2019) pourra être utilisé. Le but de cette bande, pérenne est de fournir des ressources pour les pollinisateurs en été. Ainsi, elle sera complémentaire aux haies du site, qui proposent surtout des ressources au printemps. Etant pérenne, cette bande constituera une bonne zone tampon entre les zones urbanisées et les haies. En outre, étant notamment composée de plantes à fleurs, cette bande aura l'avantage d'être très esthétique, et pourra être placée à l'avant de celle destinée au refuge pour la faune.

La dernière bande herbeuse sera appelé « bande d'herbacées supportant l'ombrage ». Ce mélange est composé de 85% de graminées et 15% de fleurs vivaces et bisannuelles. Il convient pour les zones plus ombragées (lisières ombragées ou bois clair). Ce mélange contient notamment des herbacées pérennes, telles que la silène dioïque (*Silene dioica*) et la primevère des bois (*Primula elatior*) (Ecosem, 2019).

4.2.4 Propositions d'aménagements et de gestion pour chaque zone

a) Propositions d'aménagement pour la haie de la scavée (Z1.1) :

Cette double haie est primordiale à préserver car elle présente un intérêt biologique crucial dû à sa richesse spécifique importante et par la présence de trois strates bien développées. En outre, cette haie est en contact avec le bois de Lauzelle, et pourrait ainsi servir de corridor écologique si elle est bien gérée. Etant fort différents, les deux tronçons de haies bordant le chemin de la scavée (A et B) seront traités indépendamment. Un plan d'aménagement sera aussi proposé pour la zone contenant les silos (C) (Figure 4.1, Tableau 4.2).

- Dans la haie bordant le chemin à l'ouest (A), deux espèces exotiques sont présentes, et ce depuis plusieurs années si l'on en juge à la taille de certains individus, mesurant jusqu'à 13 m de haut. *Prunus serotina* est envahissant par sa pression de propagules importante (Pairon et al. 2006) tandis que *Rhus typhina*, qui compte pour 6,4% de la strate arbustive,

présente un vaste réseau de drageons lui conférant son caractère potentiellement envahissant. Il est donc nécessaire d'intervenir dans le but d'empêcher le développement de ces espèces. Même si *P. serotina*, fournit des ressources intéressantes pour les pollinisateurs et les oiseaux, il faut supprimer cette espèce envahissante agressive.

- Afin d'assurer la régénération des vieux *Quercus robur* qui sont présents dans cette haie, nous proposons de sélectionner deux plants de *Q. robur* entre chaque grand arbre de la même espèce. Autour de ces plants, quelques tiges seront coupées afin de réduire la compétition pour la lumière. Nous proposons de sélectionner des plants proches des espèces envahissantes, qui seront coupées dans le plan d'aménagement. Le but est que ces plants de *Q. robur* restent en place afin de remplacer petit à petit les arbres dominants.
- De plus, plusieurs arbres morts et vieilles souches sont présents dans cette haie et sont à laisser car les coléoptères saproxyliques dépendent du bois mort pour réaliser une partie de leur cycle de vie (Dodelin et al. 2005) et les petites cavités servent d'abris ou de sites de nidification pour les pollinisateurs (Baudry et Jouin, 2003). Il est proposé de continuer à maintenir une quantité de bois mort dans la haie. Dès lors, les arbres coupés seront laissés à terre. En outre, la haie ne contient pas d'arbres à grandes cavités, alors que ces dernières peuvent offrir des sites de reproduction et de repos pour des oiseaux cavernicoles et pour les chauves-souris. Dès lors, il serait intéressant de conduire quelques arbres en « têtards ». Les *Salix* spp. seront préférés pour cela.
- Afin d'améliorer la connectivité entre la haie du côté sud-ouest de la scavée (A) et le bois de Lauzelle, nous proposons d'agrandir la haie pour augmenter la surface de contact avec la lisière du bois de Lauzelle. Cette haie élargie jouera aussi le rôle de tampon entre la haie et les habitations. Notre proposition inclut la plantation d'une double rangée d'arbustes (Figure E.2 (b)), ainsi qu'une « bande pour la faune » de 5 m de large, suivie d'une « bande de fleurs des prés » de 2 m de large.
- A l'est du chemin se trouve un alignement de *Crataegus monogyna* (B). Cette ancienne haie est fortement dégarnie à sa base et la strate herbacée y est presque absente car des gravats recouvrent le sol. Dans le plan du quartier de l'Ornoi, la prairie permanente qui se trouve en bordure de haie sera remplacée par une zone urbanisée. Une taille de restauration par rabattement et des plantations sont proposées pour revitaliser la haie et la regarnir à la base. En outre, nous proposons une plantation d'une rangée d'arbustes (Figure E.2 (a)) ainsi qu'une « bande pour la faune » de 5 m de large, suivie d'une « bande de fleurs des prés » de 2 m de large.
- La zone où se trouvent les anciens silos (C), autrefois utilisés par la ferme de Lauzelle, sera aussi restaurée car ces silos n'ont plus de vocation agricole à l'avenir. Il serait intéressant de les enlever, et d'y installer une zone humide qui offrira un refuge pour diverses espèces d'amphibiens et de batraciens, dont les populations sont en régression en Wallonie (p. ex. triton crêté, crapaud accoucheur), mais aussi pour les libellules et d'autres insectes. Il faut

veiller à ce que la mare dispose de quelques aménagements et d'une diversité d'espèces végétales pour attirer une faune importante et variée. De plus la mare doit être ensoleillée au moins 5h par jour (SPW, 1995). Dès lors, elle sera installée dans une position lui octroyant un ensoleillement maximal, et les arbres qui lui feraient de l'ombre seront abattus.

- L'ensemble du site doit être nettoyé afin de retirer les petits déchets présents dans la haie, les restes d'anciennes clôtures et la petite centaine de pneus qui se trouvent proches du silo. Afin d'éviter de prochaines pollutions par les déchets, une poubelle peut être placée à chaque extrémité de cette zone, qui sont des points stratégiques car ce sont des intersections de trois à quatre chemins ou routes.
- Concernant le chemin de la scavée, la fréquentation y est fort importante. En effet, de nombreux usagers de la mobilité douce circulent par ce chemin. De plus, malgré le panneau interdisant la circulation de véhicules motorisés, des cyclomoteurs empruntent fréquemment ce chemin. Etant donné que le flux d'usagers de ce chemin risque de s'accroître à cause de la construction du quartier, il est indispensable de maintenir la sécurité des usagers de la mobilité douce, tout en conservant le calme nécessaire à la faune de cette haie, notamment à l'avifaune. Dès lors, nous proposons de maintenir et de faire respecter l'interdiction des cyclomoteurs, notamment par le positionnement d'un radar mobile, couplé à la pose d'un panneau d'avertissement.

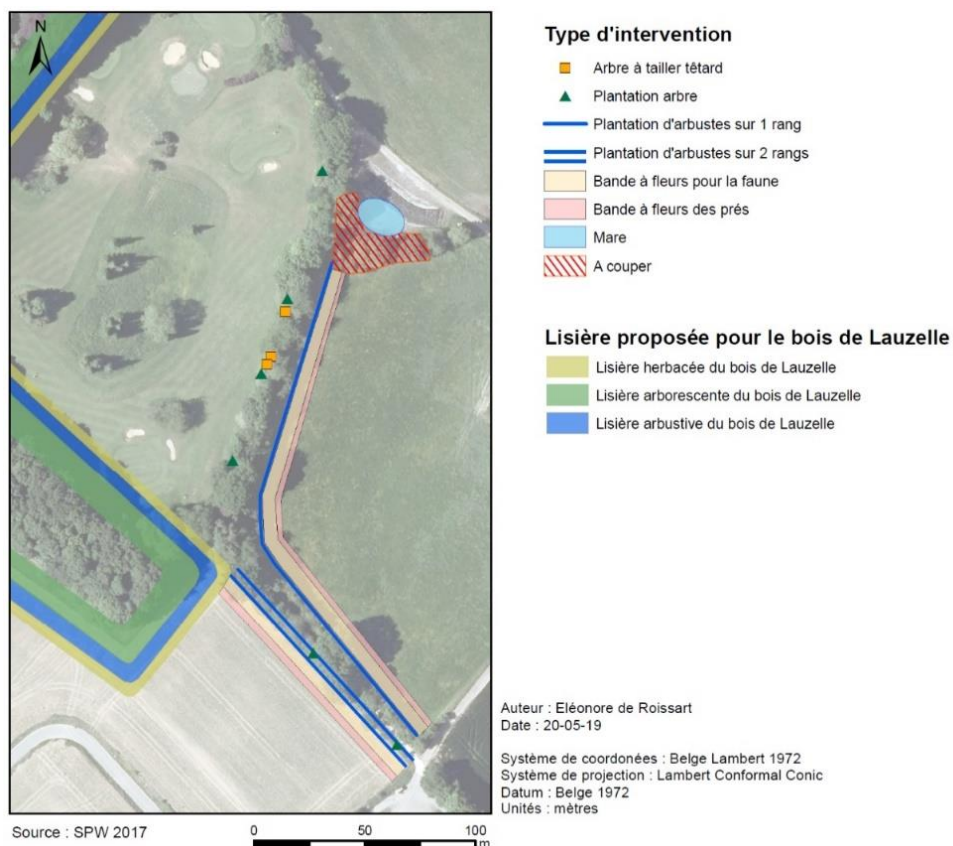


Figure 4.1 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la zone de la scavée (Z1.1)

b) Propositions d'aménagement pour la haie du champ (Z1.2) :

La haie du champ est utile pour les oiseaux car elle est multi-strates, donc propose des sites de repos à différents étages. Cependant, elle n'est pas diversifiée en termes d'espèces végétales, et elle ne contient que peu d'espèces productrices de fruits. Dès lors, notre proposition est de planter une bande boisée sur le côté ouest du chemin (Figure E.1 (b)), où l'on ne trouve actuellement que quelques arbres isolés. Cela permettra de constituer une haie multi-strates, qui assurera une importante production de nectar et de fruits. En outre, nous proposons de planter un plant de *Quercus robur* tous les 20m dans cette haie afin de maintenir la fonction écosystémique culturelle des haies de la conservation du patrimoine. Par ailleurs, cet aménagement permettra une connectivité plus importante avec la haie de la scavée (Z1.1). De plus, de chaque côté du chemin, nous proposons la plantation d'une « bande pour la faune » de 5 m de large, suivie d'une « bande de fleurs des prés » de 2 m de large.

Les *Rubus* spp., qui dominent la strate herbacée de la haie du côté est du chemin, en recouvrant plus de 13% de la surface au sol, y seront laissées. En effet, elles produisent une grande quantité de fleurs attirant les pollinisateurs et constituent une ressource alimentaire et un refuge pour les oiseaux (Baudry et Jouin, 2003). Cependant, dans l'optique de la construction du quartier de l'Ornoi, cette zone pourra être une des entrées au quartier. Dès lors, il sera intéressant d'y installer un panneau à portée pédagogique, qui expliquerait l'intérêt des *Rubus* spp. pour la biodiversité car ce sont des espèces « mal vues » par le public, qui les considère souvent comme des plantes indésirables (Figure 4.2, Tableau 4.2).

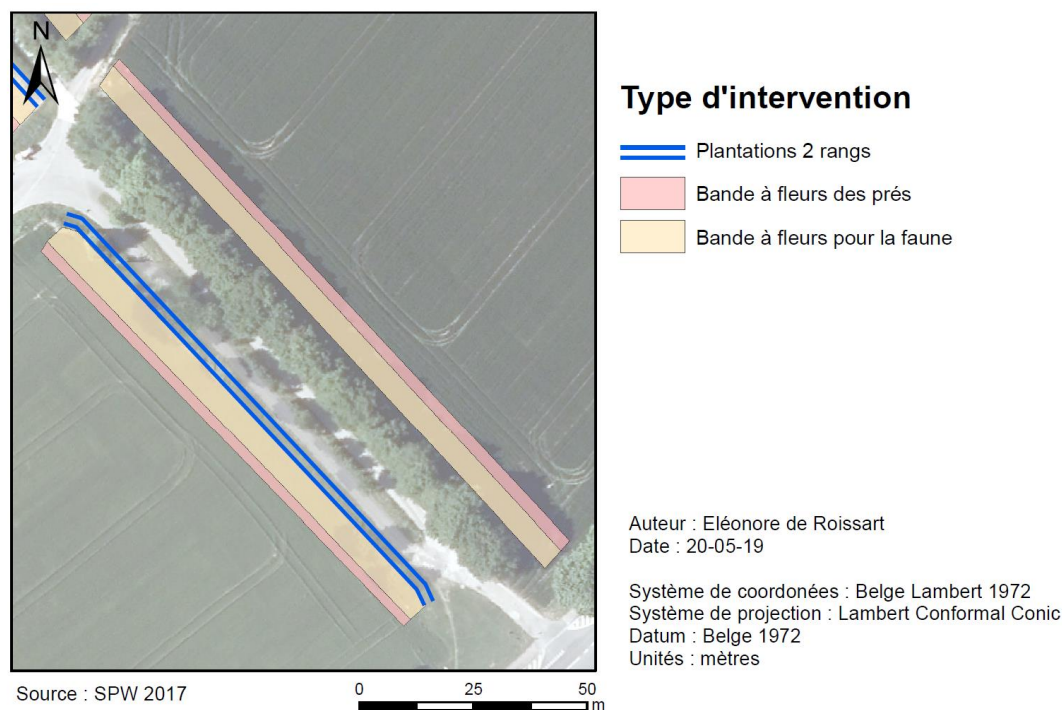


Figure 4.2 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la haie du champ (Z1.2)

c) Propositions d'aménagement pour la zone des arbres isolés (Z2.1) :

Nous proposons de créer une strate arbustive dans cette zone afin de fournir un abri à la faune. Les arbustes seront plantés autour des arbres, qui sont déjà présents dans la zone, pour former des « mini-bosquets » (Soltner, 2015 ; Figure E.3). Pour compléter les mini-bosquets, nous proposons la plantation de sept arbres. Les mini-bosquets seront reliés entre eux par un simple rang d'arbustes gérés en haie libre (Figure E.2 (a)). Les arbustes proposés mesurent au maximum 5m de haut à maturité, afin de ne pas obstruer la vue, et ils sont héliophiles car la zone bénéficie d'une exposition sud. On installera aussi des plantes grimpantes.

Afin d'augmenter la production de nectar et de pollen de cette zone, il sera intéressant de remplacer la strate herbacée, composée presque exclusivement de *Poa pratensis* (71% de recouvrement du sol) par une « bande de fleurs des prés » d'environ 0,6 ha (440 m sur 14 m). Le faible recouvrement ligneux de cette zone (23%) permettra le bon développement des bandes fleuries (Figure 4.3, Tableau 4.2).

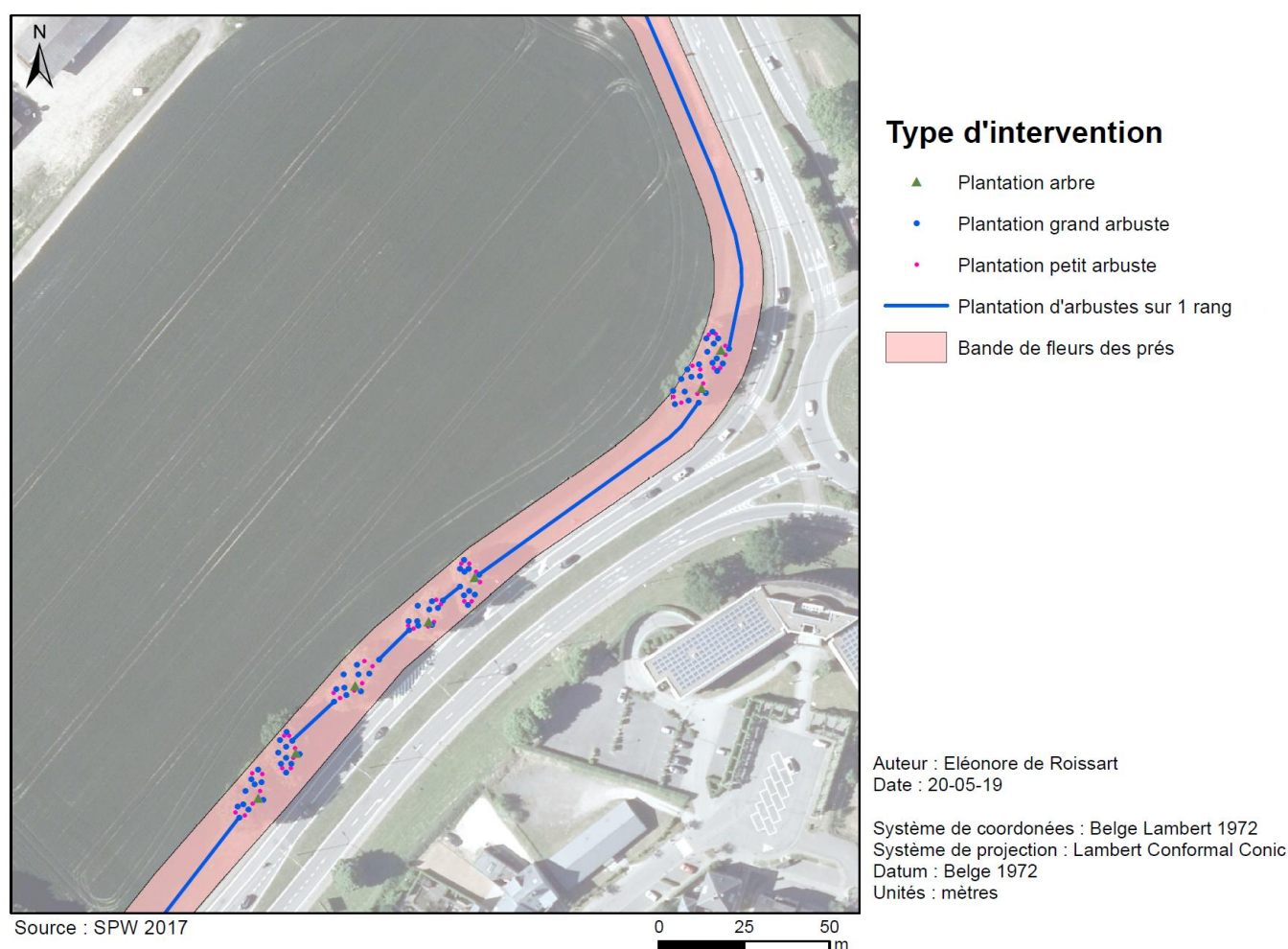


Figure 4.3 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la zone des arbres isolés (Z2.1)

d) Propositions d'aménagement pour la haie de la prairie (Z2.2) :

Cette haie multi-strates à la diversité spécifique élevée est un élément essentiel de la biodiversité du site, notamment grâce à sa forte production de nectar et de pollen dès les premiers mois du printemps par *Salix* spp.. En outre, elle contient de nombreux arbres et arbustes productifs en baies pour assurer le nourrissage de l'avifaune. Cependant, étant voisine d'une route nationale fortement empruntée, cette haie est fort bruyante et ne serait par conséquent pas une bonne zone de refuge pour les oiseaux. Son rôle au niveau de la faune est donc essentiellement celui de fournir des ressources nourricières. Dans le cadre du quartier de l'Ornoi, cette haie est un élément crucial du paysage, car elle est un obstacle à la vue et au bruit de la route N25. En outre, les racines des arbres retiennent un talus d'environ 3 m de dénivelé sur tout le long, et les houppliers jouent le rôle de brise vent.

La clôture qui sépare la haie de la prairie pâturée est située aux pieds des arbustes, laissant peu de place au développement de la strate herbacée. Lors de la construction du quartier de l'Ornoi, la prairie pâturée sera transformée en cultures maraîchères. Dès lors, nous proposons d'installer une « bande à fleurs pour la faune » de 10 m de large, qui favorisera la présence d'oiseaux et de la petite faune des plaines agricoles. Cette dernière sera suivie d'une « bande à fleurs des prés » de 5 m de large, qui assurera la production de nectar à la fin de l'été (Figure 4.4, Tableau 4.2).



Figure 4.4 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la haie de la prairie (Z2.2)

e) Propositions d'aménagement pour la haie du potager (Z3.1) :

La zone du potager contient deux espèces exotiques :

Buddleja davidii est une plante mellifère qui nourrit un grand nombre d'insectes, dont des papillons. Cependant, cette plante porte préjudice à la biodiversité. En effet, cette espèce est envahissante notamment grâce à sa production prolifique de graines. Les graines à dispersion anémophile peuvent coloniser des milieux éloignés. Du fait de sa forte rusticité, sa capacité de se développer sur tous types de sols, ainsi que sa résistance aux sécheresses, l'espèce se répand et risque de supplanter les espèces indigènes. En outre, les feuilles de *B. davidii* ne nourrissent pas les chenilles des papillons qu'il attire. Ainsi, l'espèce contribue paradoxalement à l'extinction des papillons qu'elle nourrit de nectar lorsqu'elle remplace la flore autochtone, empêchant tout nourrissage des chenilles (Tallent-Halsell et Watt, 2009). Dès lors, il est primordial de déterrer l'arbuste présent sur le site. A la place, on plantera deux jeunes plants qui se développeront en arbustes fleuris, un de *Viburnum lanata*, très robuste et un *Sambucus nigra*, à la floraison plus tardive. Le site sera surveillé pour des éventuelles repousses de *B. davidii*. L'arbre situé au centre du potager est un cultivar de *Magnoliaceae* sp.. Il sera laissé en place car il n'est pas invasif.

La haie du potager, essentiellement composée de *Crataegus monogyna* et de *Corylus avellana*, sera regarnie à la base et dans ses discontinuités par la plantation de jeunes plants de *Prunus spinosa*, *Sambucus nigra* ou de *Crataegus monogyna* (Figure 4.5, Tableau 4.2).

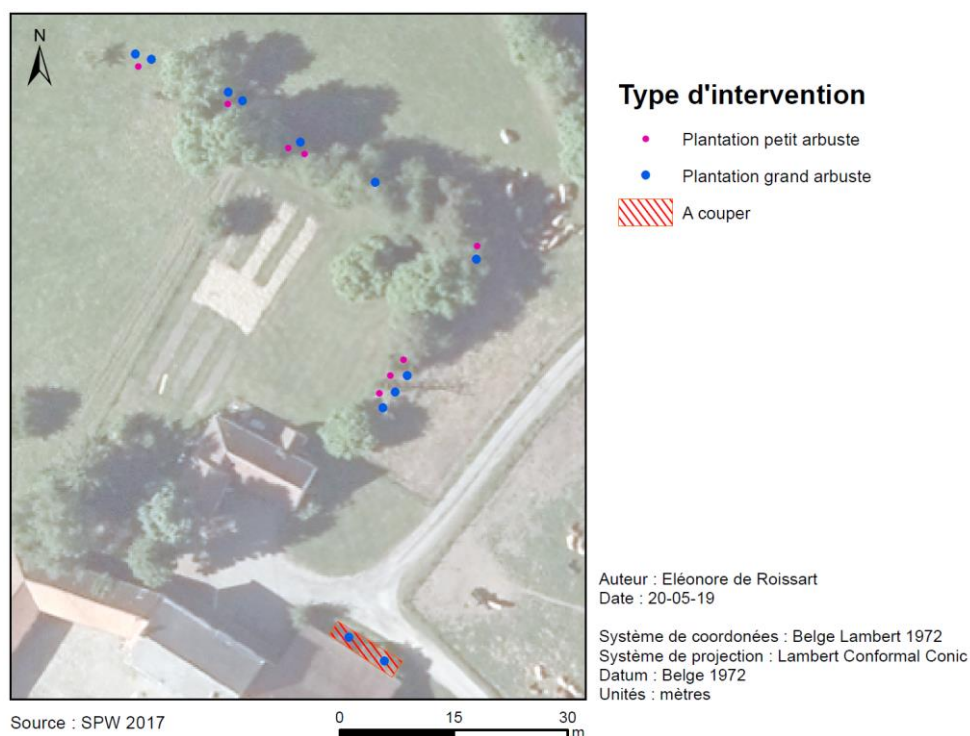


Figure 4.5 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans la haie du potager (Z3.1)

f) Propositions d'aménagement pour le bosquet de la mare (Z3.2) :

Le bosquet est un aménagement très utile pour augmenter la biodiversité, notamment grâce à sa structure fermée, qui offre des zones ombragées et un microclimat particulier, propice à une faune abondante. En outre, ce site couvert et peu bruyant est favorable aux oiseaux.

Cependant, il est important qu'une mare soit exposée au soleil afin qu'elle attire. Dès lors, quelques arbres au sud du bosquet seront coupés afin de créer une percée pour augmenter le taux d'ensoleillement de la mare. On préférera couper 10 arbres d'*Ulmus* spp. qui ne produisent pas de ressources nourricières pour la faune. En outre, on taillera les arbustes d'*Ulmus* spp. au sud de la mare.

La croissance végétale n'étant pas entravée par des tailles, le bosquet procure nectar, fruits et abris à de nombreux animaux. Les différentes espèces végétales présentes dans le bosquet permettent d'obtenir des floraisons et des fructifications échelonnées dans le temps. Afin d'accroître ce service et de diversifier la production de ressources nourricières, il serait intéressant de planter d'autres espèces végétales productrices. Nous proposons la plantation d'arbres et d'arbustes au nord-ouest du bosquet, selon la structure du « mini-bosquet » proposé par Soltner (2015) (Figure E.3). Ainsi, la surface couverte par le bosquet sera augmentée, de même que la production de fleurs et de fruits. Les arbres plantés seront notamment *Salix* spp. afin d'assurer la floraison au printemps, *Prunus avium* et *Tilia platyphyllos*, pour assurer la floraison à la fin de l'été. On y installera aussi des plantes grimpantes telles que *Hedera helix*, utile pour la production de fruits à la fin de l'automne.

La présence de différentes strates procure un intérêt biologique au bosquet. Cependant, la strate herbacée est dominée par *Rubus* spp. et elle est réduite au centre du bosquet car il s'y trouve une mare. Les ronces sont à conserver, car elles fournissent des ressources à la faune. Afin de diversifier cette strate, il serait intéressant de planter de nouvelles espèces herbacées au moment des tailles et des plantations. On y installera une « bande d'herbacées supportant l'ombrage ».

La litière de feuilles mortes et les arbres morts laissés en place accueillent un grand nombre d'invertébrés saprophytes. Afin d'attirer plus d'animaux cavernicoles, il serait intéressant de tailler l'individu *Salix caprea* en « têtard » et/ou de laisser un tas de bois dans une partie du bosquet (Figure 4.6, Tableau 4.2).

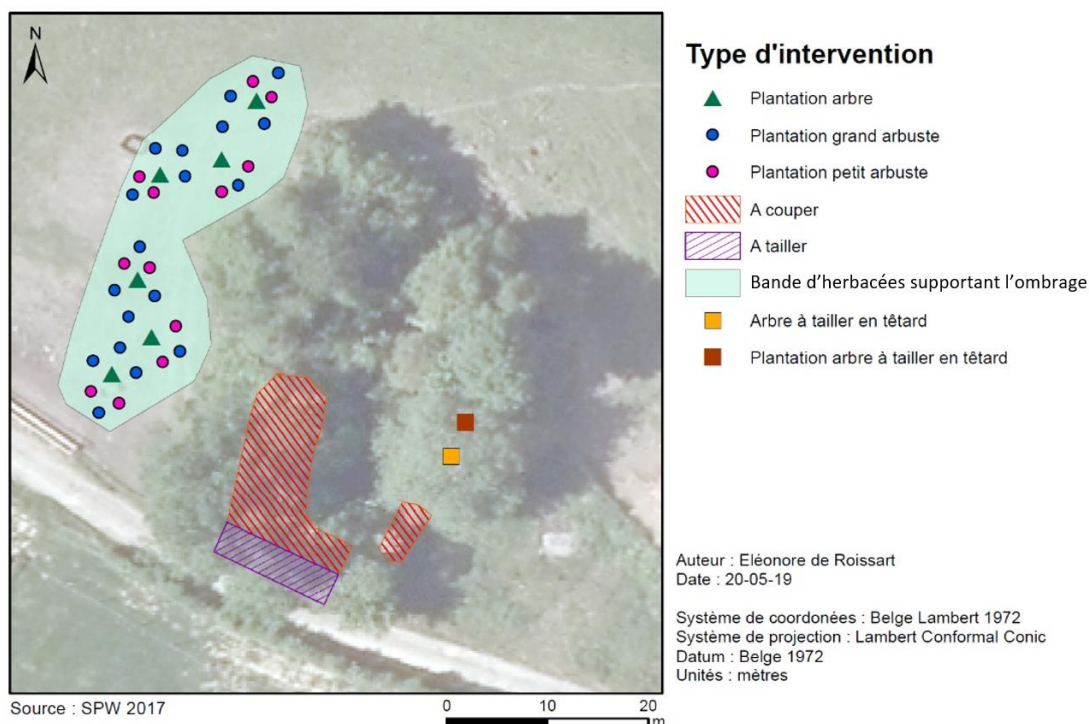


Figure 4.6 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans le bosquet de la mare (Z3.2)

g) Propositions d'aménagement pour les haies taillées (Z3.3) :

Les haies situées dans cette zone jouent essentiellement un rôle paysager (Figure 4.7). Ces deux haies étaient taillées tous les deux ans afin de ne pas obstruer le champ de vision vers l'entrée de la ferme de Lauzelle. Ces tailles bisannuelles ne leur permettent pas de produire beaucoup de fleurs ou des fruits. Cependant, la structure ouverte de ces haies est intéressante pour l'avifaune, car on y observe des espèces aviaires préférant les milieux ouverts. Dans le cadre de la construction du quartier de l'Ornoi, des maisons se trouveront très probablement en face des haies, donc le champ de vision vers la ferme sera probablement obstrué. En outre, les haies de cette zone sont constituées à plus de 53% en volume d'une seule espèce, *Crataegus monogyna*. Elles sont dégarnies à la base et elles comportent de nombreuses discontinuités ou « trous » d'une longueur allant jusqu'à trois mètres.

Dès lors, nous proposons une conduite de type « haie libre + alignement ». La haie en face de la mare sera agrandie afin d'être raccordée à la haie de la scavée (Z1.1). En outre, des jeunes plants arbustifs seront plantés dans les discontinuités de ces haies afin de regarnir les haies libres à leur base. Les arbres d'alignement, espacés de 10 m, constitueront une strate arborescente peu dense mais attractive pour l'avifaune. Cette dernière permettra également une meilleure intégration des bâtiments dans le paysage, tout en n'obstruant pas le champ de vision (Figure 4.7, Tableau 4.2).

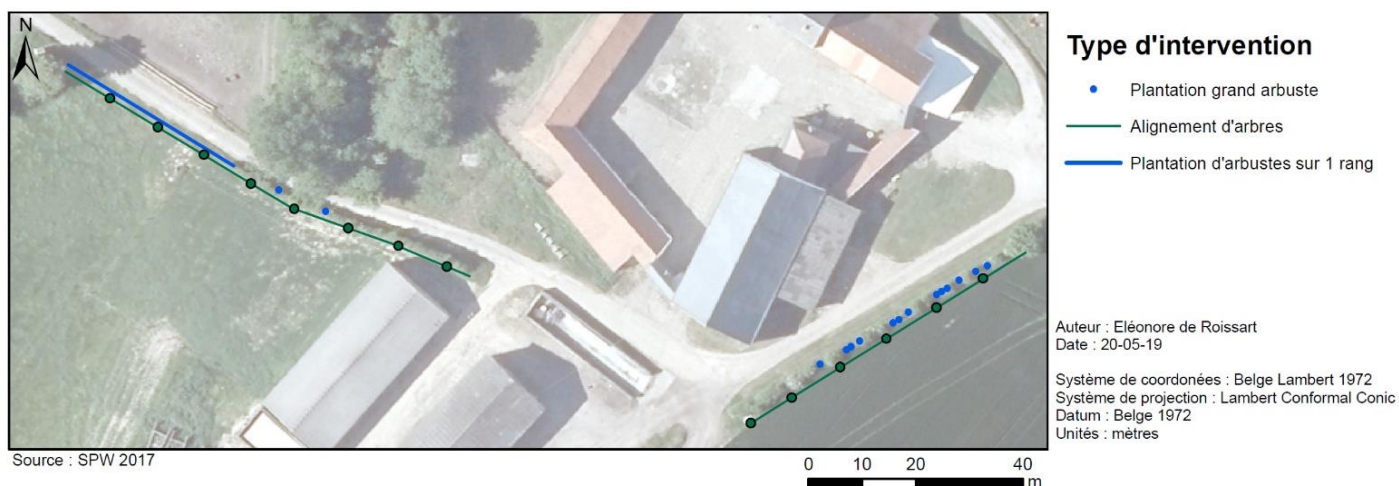


Figure 4.7 Haies faisant l'objet de restauration ou de plantation dans les haies taillées (Z3.3)

h) Propositions d'aménagement pour des nouvelles haies :

Le quartier de l'Ornoi a pour objectif d'être un « éco-quartier ». Dès lors, il est judicieux de proposer des plans pour la plantation de haies afin d'aider à la mise en place de haies utiles en termes de biodiversité. Les espèces qui seront utilisées pour les plantations sont les mêmes que celles proposées dans le cadre des aménagements des haies existantes (Tableau 4.1).

Nous proposons d'installer des bandes boisées (Figure E.1) et des bosquets (Figure E.3) lorsque la place est disponible. Le long des voies de circulation, il est proposé de planter des « haies libres + alignement d'arbres » (Figure E.4). Ce type de haie permet de ne pas obstruer complètement le champ de vision tout en favorisant la production de ressources pour la faune. Entre deux parcelles voisines, il est proposé d'installer des haies libres constituées d'arbustes plantés en double rang (Figure E.2(b)). Les types de haies ainsi que les principes de plantation et d'entretien sont mentionnés à l'Annexe E.

i) Synthèse des aménagements proposés pour les haies du site d'étude

Tableau 4.2 Synthèse des aménagement proposés pour les haies de la ferme de Lauzelle. (Tronçon à l'ouest du chemin : A, tronçon à l'est du chemin : B)

Zone	Z1.1	Z1.1	Z1.2	Z2.1	Z2.2	Z3.1	Z3.2	Z3.3
Tronçon	A	B						
Actions	-Suppression des plantes exotiques -Sélection des jeunes <i>Quercus robur</i> et taille des arbres autour - Mise en place d'une « bande de fleurs pour la faune » (5 m de large) et d'une « bande de fleurs des prés » (2 m de large) -Taille de <i>Salix</i> spp. en têtard	-Taille et regarnissage - Mise en place d'une « bande de fleurs pour la faune » (5 m de large) et d'une « bande de fleurs des prés » (2 m de large)	-Mise en place d'un panneau pédagogique à propos des ronces	- Mise en place d'une « bande de fleurs pour la faune » (10 m de large) et d'une « bande de fleurs des prés » (5 m de large)	- Mise en place d'une « bande de fleurs pour la faune » (5 m) et d'une « bande de fleurs des prés » (2 m)		-Coupe dans <i>Ulmus</i> spp. -Taille de <i>Salix caprea</i> en têtard -Plantations d'herbacées supportant l'ombrage	
Plantations	- Plantation d'un double rang arbustif	- Plantation d'un simple rang arbustif	-Plantation d'une bande boisée (avec un <i>Quercus robur</i> tous les 20 mètres)	-Plantation d'une haie libre d'arbustes entrecoupée de mini-bosquets	/	-Regarnissage arbustif de la haie	-Plantation de <i>S. caprea</i> -Plantation d'arbres et arbustes pour compléter une structure en mini-bosquet	-Regarnissage arbustif et arborescent de la haie et agrandissement de la haie jusqu'à Z1.1
Longueur totale des plantations (m)	120	240	120	338 + bosquets		85	2 mini-bosquets	36 + regarnissage + alignement
Nombre de rangs	2	1	2	1		2		1
Nombre de plants	160	160	110	225 + 121		20	36	24 + 15 + 14
Espèces	<i>Cornus sanguinea</i> <i>Ribes idaeus</i> <i>Ribes nigrum</i> <i>Rubus idaeus</i>	<i>Cornus sanguinea</i> <i>Ribes idaeus</i> <i>Ribes nigrum</i> <i>Rubus idaeus</i>	<i>Cornus sanguinea</i> <i>Ribes</i> spp. <i>Rubus idaeus</i> <i>Cornus mas</i>	<i>Cornus sanguinea</i> <i>Ribes nigrum</i> <i>Rubus idaeus</i> <i>Cornus mas</i>		<i>Prunus spinosa</i> <i>Crataegus monogyna</i> <i>Sambucus nigra</i> <i>Viburnum lantana</i>	<i>Cornus sanguinea</i> <i>Ribes nigrum</i> <i>Ribes uvacrispa</i> <i>Rubus idaeus</i>	<i>Crataegus monogyna</i> <i>Prunus spinosa</i> <i>Sambucus nigra</i> <i>Ilex aquifolium</i> <i>Salix caprea</i>

	<i>Cornus mas</i> <i>Crataegus monogyna</i> <i>Frangula alnus</i> <i>Sambucus nigra</i> <i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Cornus mas</i> <i>Frangula alnus</i> <i>Prunus spinosa</i> <i>Sambucus nigra</i> <i>Viburnum lantana</i>	<i>Crataegus monogyna</i> <i>Prunus spinosa</i> <i>Rosa canina</i> <i>Sambucus nigra</i> <i>Viburnum opulus</i> <i>Acer pseudoplatanus</i> <i>Prunus avium</i> <i>Salix alba</i> <i>Quercus robur</i>	<i>Corylus avellana</i> <i>Crataegus monogyna</i> <i>Frangula alnus</i> <i>Sambucus nigra</i> <i>Sorbus aucuparia</i> <i>Prunus spinosa</i> <i>Prunus avium</i> <i>Tilla platyphyllos</i>			<i>Cornus mas</i> <i>C. avellana</i> <i>C. monogyna</i> <i>Frangula alnus</i> <i>Sambucus nigra</i> <i>Sorbus aucuparia</i> <i>Prunus spinosa</i> <i>Prunus avium</i> <i>Salix spp.</i> <i>Tilla platyphyllos</i>	<i>Tilla platyphyllos</i>
--	---	---	---	--	--	--	--	---------------------------

5 Conclusion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence le service écosystémique de soutien à la biodiversité fourni par les haies de la ferme de Lauzelle, par l'étude de trois taxons : les végétaux, les insectes pollinisateurs et l'avifaune.

Grâce aux inventaires floristiques, nous constatons que les haies larges et multi-strates sont les plus riches en espèces végétales, quel que soit leur âge. Les espèces ligneuses les plus importantes en volume dans les haies sont *Quercus robur* et *Crataegus monogyna*, deux espèces communes dans les haies européennes. La strate herbacée dans les haies multi-strates est caractérisée par une présence d'espèces forestières, alors que les graminées sont dominantes dans les alignements d'arbres isolés et haies proches de la ferme.

Pour mesurer le volume du houppier des arbres, nous avons utilisé deux méthodes que nous avons comparées. Il s'avère que l'utilisation du Trimble Geo7X permet des mesures précises, mais cette méthode n'est pas utilisable dans toutes les situations, tandis que la modélisation en 3D issue de photographies par drone l'est. Cette deuxième méthode autorise des mesures plus rapides mais moins précises et elle permet aussi d'obtenir d'autres informations utiles à propos de la haie étudiée.

Grâce à l'extrapolation de la production nectarifère, nous avons pu évaluer les ressources fournies par les haies du site. Nous y avons constaté une forte production de nectar au début du printemps, notamment grâce à *Salix spp.* et à *Acer spp.*, ainsi qu'une forte production en été, grâce aux nombreuses espèces entomophiles dans les haies multi-strates. Nous avons dès lors identifié que les haies du site sont primordiales pour les pollinisateurs non seulement grâce aux refuges qu'elles leur fournissent, mais aussi en termes de ressources nourricières produites. Cependant, l'estimation de la production de nectar en fin d'été est faible, alors que c'est une période pendant laquelle les pollinisateurs ont besoin de ressources pour assurer leur hivernage.

Le suivi de l'avifaune nous a permis d'observer 32 espèces au total, dont la majorité sont des espèces généralistes. Nous avons constaté la préférence de l'avifaune pour les haies multi-strates, ainsi que pour les haies au faible taux de dérangement. Grâce à l'estimation de la production de fruits, nous avons déterminé que l'espèce *Crataegus monogyna* est cruciale, par son abondante production de fruits en automne, nécessaire aux oiseaux avant leur départ en migration et pour les hivernants.

Nous avons tenu à proposer des aménagements précis, adaptés au site des haies de Lauzelle visant à préserver et accroître la biodiversité. Ces aménagements consistent dans un premier temps à restaurer des strates herbacées le long des haies, fournissant un refuge pour la faune, ainsi qu'une production estivale de fleurs. En outre, des coupes de restauration seront prévues afin d'étoffer les haies à leur base, et seront suivies de regarnissage. De plus, des plans de plantations attractives pour les pollinisateurs et pour les oiseaux sont envisagés, ainsi que des méthodes de gestion visant à minimiser la fréquence des tailles. Finalement, des propositions de restauration de certains sites en faveur des amphibiens et des animaux saprophytes sont également conseillés.

Des études ultérieures pourraient être envisagées afin d'évaluer l'impact d'autres aménagements sur la faune pollinisatrice ainsi que sur l'avifaune en zone agricole.

6 Bibliographie

- Agr'eau. 2015. « Fiche réglementaire : Arbres, haies et bandes végétalisées dans la PAC de 2015-2020 » *Association française d'Agroforesterie*, 16 p.
- Agrarius SA. 2019. Firme de commercialisation de semences. <https://agrarius.vpweb.be/>
- Baude, M., Kunin, W.E., Boatman, N.D., Conyers, S., Davies, N., Gillespie, M.A.K., Morton, R.D., Smart, S.M. et Memmott, J. 2016. « Historical nectar assessment reveals the fall and rise of Britain in bloom ». *Nature* 530 (7588): 85-88.
- Baudry, J., Bunce, R.G.H. et Burel, F. 2000. « Hedgerow diversity : An international perspective on their origin, function and management ». *Journal of Environmental Management* 60(1): 7-22.
- Baudry, J. et Jouin, A. 2003. « De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion ». Quae. Editeur: INRA. *Collection Espaces Ruraux*.
- Bazin, P. et Schmutz, T. 1994. « La mise en place de nos bocages en Europe et leur déclin ». *Revue Forestière Française*, n° 46: 115-18.
- Bergès, L., Roche, P. et Avon, C. 2010. « Corridors écologiques et conservation de la biodiversité, intérêts et limites pour la mise en place de la Trame verte et bleue ». *Sciences Eaux Territoires* Numéro 3 (3): 34-39.
- Bianchi, F.J.J.A, Booij, C.J.H et Tscharntke, T. 2006. « Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273 (1595): 1715-27.
- Boissinot, A., Grillet, P., Morin-Pinaud, S., Besnard, A. et Lourdaï, O. 2013. « Influence de la structure du bocage sur les amphibiens et les reptiles. Une approche multi-échelle ». *Faune Sauvage*, n° 301: 41-48.
- Bonnaure, R. 2011. « Inventaire des plantes utilisables en PPAM : une approche de la biodiversité ». *Institut technique interprofessionnel des plantes à parfum, médicinales, aromatiques et industrielles [ITEIPMAI]*.
- Braun-Blanquet, J. 1932. *Plant Sociology*. Mcgraw-Hill Book Company, Inc; New York; London.
- Burel, F. et Baudry, J. 1995. « Species biodiversity in changing agricultural landscapes: A case study in the Pays d'Auge, France ». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, n° 55: 193–200.
- Fontaine, C, Meriguet, J., Loreau, M., & Dajoz, I. 2006. «La diversité des interactions plantes-pollinisateurs: un pré-requis indispensable à la stabilité des écosystèmes. » *Médecine/sciences*, 22(10), 817-819.
- Corbet, S.A. 2003. « Nectar Sugar Content: Estimating Standing Crop and Secretion Rate in the Field ». *Apidologie* 34 (1): 1-10.

- Cornell University. 2019. « Managed Bees as Crop Pollinators ». 2019.
<https://pollinator.cals.cornell.edu/pollinator-conservation/managed-bees-crop-pollinators/>.
- Couderc, J.M. 1983. « Les Végétations anthropogènes et nitrophiles et la prospection archéologique. » *Colloques Phytosociologique* 12: 331-47.
- Croxton, P. J, et Sparks, T. H. 2002. « A farm-scale evaluation of the influence of hedgerow cutting frequency on hawthorn (*Crataegus monogyna*) berry yields ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93 (1): 437-39.
- Debras, J.F. 2007. « Rôles fonctionnels des haies dans la régulation des ravageurs: le cas du psylle *Cacopsylla pyri* L. dans les vergers du sud-est de la France ». Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.
- Debussche, M. et Isenmann, P.. 1992. « A mediterranean bird disperser assemblage: composition and phenology in relation to fruit availability », 1992, *Société nationale de protection de la nature et d'acclimatation de France*.
- Deckers, B., Hermy, M. et Muys, B. 2004. « Factors affecting plant species composition of hedgerows: relative importance and hierarchy ». *Acta Oecologica* 26 (juillet): 23-37.
- Delaplane, K.S., Mayer, D.R et Mayer, D.F. 2000. *Crop pollination by bees*. Cabi.
- Den Boer, P. J. 1970. « On the Significance of Dispersal Power for Populations of Carabid-Beetles (Coleoptera, Carabidae) ». *Oecologia* 4 (1): 1-28.
- Derouaux, A., et Paquet, J.Y. 2018. « L'évolution préoccupante des populations d'oiseaux nicheurs en Wallonie: 28 ans de surveillance de l'avifaune commune ». *Aves* 55: 1-33.
- Division de la Nature et des Forêts [DNF]. 1995. « Guide pour la plantation de haies, Brochure technique n°3 ». Ministère de la région Wallone, Division de la Nature et des Forêts. environnement.wallonie.be.
- Dodelin, B., Pene, B. et André, J. 2005. « L'alimentation des coléoptères saproxyliques et notes sur les contenus stomacaux de cinq espèces ». *Publications de la Société Linnéenne de Lyon* 74 (10): 335-45.
- Duraiappah, A.K., Naeem, S., Agardy, T., Ash, N.J, Cooper, H.D, Diaz, S., Faith, DP. et al. 2005. « Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis; a Report of the Millennium Ecosystem Assessment ». *World Resource Institute*.
- Ecosem. 2019. « Mélanges "prairies fleuries" ». 2019.
<https://www.ecosem.be/fr/products.php?id=443>.
- Ferraris. 1777. « La carte de Ferraris. Bibliothèque royale de Belgique. Mis en ligne en 2017
<https://www.kbr.be/fr/la-carte-de-ferraris>.
- Fitter, R. et Fitter, A. 1984. « Guide des fleurs sauvages ». *Les guides du naturaliste*. Paris, France. Delachaux et Niestlé.

- Follain, S., Minasny, B., McBratney, A.B. et Walter, C. 2006. « Simulation of soil thickness evolution in a complex agricultural landscape at fine spatial and temporal scales ». *Geoderma*, Advances in landscape-scale soil research, 133 (1): 71-86.
- Forman, R.T., et Baudry, J. 1984. « Hedgrows and hedgerow networks in landscape ecology ». *Journal of Environmental Management*, n° 8(6): 495-510.
- Fraselle, D. 2018. « Proposition d'un plan d'aménagement pour le réseau de haies du centre A. de Marbaix ». Mémoire de fin d'études, Université Catholique de Louvain.
- French, D.D., et Cummins, R.P. 2001. « Classification, composition, richness and diversity of British hedgerows ». *Applied Vegetation Science* 4.2, 2001.
- Fuentes, M. 1994. « Diets of Fruit-Eating Birds: What Are the Causes of Interspecific Differences? » *Oecologia* 97 (1): 134-42.
- Gallai, N., Salles, J.M., Settele, J. et Vaissière, B.E. 2009. « Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. » *Ecological Economics*, Elsevier, 2009, sect. 68 (3).
- Garratt, M.P.D., Senapathi, D. et Potts, S.G. 2014. « The benefits of hedgerows for pollinators and natural enemies depends on hedge quality and landscape context - ScienceDirect ». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, n° 247: 363–370.
- Génissel, A., Aupinel, P., Bressac, C., Tasei, J.-N, et Chevrier, C. 2002. « Influence of Pollen Origin on Performance of *Bombus Terrestris* Micro-Colonies ». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 104 (2-3): 329-36.
- Ghazavi, G., Thomas, Z., Hamon, Y., Marie, J.C, Corson, M., et Merot, P. 2008. « Hedgerow Impacts on Soil-Water Transfer Due to Rainfall Interception and Root-Water Uptake ». *Hydrological Processes* 22 (24): 4723-35.
- Goblet d'Alviella, F. 1927. « Histoire des forêts et des bois de Belgique ». Lambersin.
- Goulson, D., et Darvill, B. 2004. « Niche Overlap and Diet Breadth in Bumblebees; Are Rare Species More Specialized in Their Choice of Flowers? » *Apidologie* 35 (1): 55-63.
- Hannon, L.E, et Sisk, T.D. 2008. « Hedgerows in an agri-natural landscape: Potential habitat value for native bees ». *Biological Conservation*, 2008, 142 edition.
- Hinsley, S. A, et Bellamy, P. E. 2000. « The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: A review ». *Journal of Environmental Management* 60 (1): 33-49.
- Hooper, M.D. 1977. « L'archéologie du paysage ». *Le Recherche*, n° 83.
- Imdorf, A., Rickli, M., et Fluri, P. 1996. « Dynamique des populations d'abeilles ». *FAM Publikation Sektion Bienen*, 1996, Centre Suisse de recherche apicole édition.
- Institut Régional de Météorologie [RM.] Consulté le 24 février 2019. « Bilan climatologique saisonnier - IRM ». <https://www.meteo.be/meteo/view/fr/1124472-Bilan+climatologique+saisonnier.html>.

- International Union of Conservation of Nature [IUCN]. 2019. « The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. » *IUCN Red List of Threatened Species* <https://www.iucnredlist.org/en>.
- Jacquemart, A.-L., Gillet, C. et Cawoy, V. 2007. « Floral visitors and the importance of honey bee on buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) in central Belgium. » *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2007, sect. 82(1).
- Jacquemart, A.-L., et Descamps, C. 2018. « Flore écologique de Belgique ». Erasme.
- Jacquemart, A.-L., Moquet, L., Ouvrard, P., Quetin-Leclercq, J., Hérent, M.-F., et Quinet, M. 2018. « Tilia Trees: Toxic or Valuable Resources for Pollinators? » *Apidologie* 49 (5):
- Jolliffe, I. 2011. *Principal component analysis*. Springer Berlin Heidelberg.
- Jorion Philip seeds. 2019. Firme de commercialisation de semences. <http://www.jorion-philip-seeds.be/fr/produits/fleurs/>
- Kämper, W., Werner, P.K., Hilpert, A., Westphal, C., Blüthgen, N., Eltz, T. et Leonhardt, S.D. 2016. « How Landscape, Pollen Intake and Pollen Quality Affect Colony Growth in *Bombus Terrestris* ». *Landscape Ecology* 31 (10): 2245-58.
- Klein, AM, Steffan–Dewenter, I., et Tscharntke, T. 2003. « Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees ». *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 270 (1518): 955-61.
- Klein, A.M, Vaissiere, B.E, Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., et Tscharntke, T. 2007. « Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B* 274, 303–313. (doi:10.1098/rspb. 2006.3721) ». *Philosophical transactions of the Royal Society B*, n° 274: 303–313.
- Kremen, C., Williams, N.M, et Thorp, R.W.. 2002. « Crop Pollination from Native Bees at Risk from Agricultural Intensification ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*
- Krewenka, K.M, Holzschuh, Tscharntke T., et Dormann, C.F. 2011. « Landscape elements as potential barriers and corridors for bees, wasps and parasitoids. » *Biological Conservation*, 2011, sect. 144(6).
- Larousse. 2019. « Encyclopédie Larousse en ligne ». Consulté le 2019. <https://www.larousse.fr>
- Le Coeur, D., Baudry, J., et Burel, F. 1997. « Field margins plant assemblages: variation partitioning between local and landscape factors ». *Landscape and Urban Planning*
- Lecq, Stéphane. 2013. « Importance de la structure des haies, des lisières, et de la disponibilité en abris sur la biodiversité, implications en termes de gestion ». Phdthesis, Université de Poitiers.
- Lefèvre, D, P Aupinel, S Le cuin, et J Pierre. 2002. « Élevage, comportement de butinage et utilisation du bourdon terrestre (*Bombus terrestris*) pour la pollinisation. » *Bull. Tech. Apic*, 2002, sect. 29(1).
- Liagre, F. 2006. « Les haies rurales: rôles, création, entretien ». *France Agricole Editions*.

- Locquet, A., et Clauzel, C. 2018. « Identification et caractérisation de la trame verte et bleue du PNR des Ardennes : comparaison des approches par habitat et par perméabilité des milieux ». *Cybergeo : European Journal of Geography*.
- MacDonald, D. W., et Johnson, P. J. 1995. « The Relationship Between Bird Distribution and the Botanical and Structural Characteristics of Hedges ». *Journal of Applied Ecology* 32 (3): 492-505.
- Martin, J. 1969. « La ferme et le domaine de Lauzelle ». *Wavriensia*, XVIII, n°5:117-34.
- Maudsley, M.J, West, T.M, Rowcliffe, H.R. et Marshall, E. J. P. 2000. « The Impact of Hedge Management on Wildlife: Preliminary Results on Plants and Invertebrates ». *Aspects of Applied Biology* (58): 389–396.
- McCollin, D. 2000. « Hedgerow policy and protection-changing paradigms and the conservation ethic ». *Journal of Environmental Management* 60(1): 3-6.
- Melin, E. 2015. « Botanique apicole et notions d'écologie à destination des apiculteurs ». Université de Liège, Institut de Botanique, pour l'Ecole d'Apiculture de la Région wallonne.
- Moerman, R., Roger, N., De Jonghe, R., Michez, D., et Vanderplanck, M. 2016. « Interspecific Variation in Bumblebee Performance on Pollen Diet: New Insights for Mitigation Strategies ». *PLOS ONE* 11 (12): e0168462.
- Morandin, L.A., et Kremen, C. 2013. « Hedgerow Restoration Promotes Pollinator Populations and Exports Native Bees to Adjacent Fields. » *Ecological Applications*, sect. 23(4).
- Morant P., Lehenaff, F., et Marchand, J.-P. 1995. « Les mutations d'un paysage bocager: essai de cartographie dynamique », Mappemonde 1/95, .
- Natagriwal. 2014. « Conditionnalité & verdissement ». Text. Natagriwal. 12 décembre 2014. <https://www.natagriwal.be/fr/conditionnalite-et-verdissement/en-quelques-mots>.
- . 2019. « Les Méthodes Agro- Environnementales et Climatiques - Fiche MB 1c : Mare, Fiche MC 8a : Bande aménagée pour la faune, Fiche MB 1a : haies et alignements d'arbres ». Natagriwal : Liste des MAEC..
- Nicolson, S.W. 2011. « Bee food: the chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two ». *African Zoology* 46 (2): 197-204.
- Notteghem, P. 1987. « Incidence de la structure d'un bocage sur l'avifaune au cours d'un cycle annuel (Autunois/Charolais) ». *Rev. Ecot. (Terre Vie)*, n° Suppl. 4.
- Ouvrard, P. 2018. « Estimation of pollinating insect populations in agro-ecosystems : comparing oilseed-rape fields and AES flower-strips ». UCL - Université Catholique de Louvain.
- Pairon, M., Chaberie, O., Casado, C.M., et Jacquemart, A.-L. 2006. « Sexual regeneration traits linked to black cherry (*Prunus spinosa* Ehrh.) invasiveness ». *Acta Oecologica*, 2006, sect. 30 (2).

- Percival, M.S. 1961. « Types of nectar in angiosperms ». *New Phytologist* 60 (3): 235-81.
- Percsy, C. 2008. « Des haies pour demain ». Troisième édition revue et augmentée : Service Public de Wallonie.
- Pointreau, P. 2004. « L'arbre et le paysage : enjeux environnementaux et reconnaissance de la multifonctionnalité ». Académie d'Agriculture de France.
- Pollard, E., Hooper, M.D. et Moore, N.W. 1974. *Hedges*. W. Collins Sons. London.
- Power, A.G. 2010. « Ecosystem services and agriculture : tradeoffs and synergies ». *Philosophical transactions of the Royal Society B*, n° 365: 2959-9971.
- Quentin C. 2016. « Louvain-la-Neuve a 45 ans : ils ont vécu l'arrivée de l'UCL », Journal L'avenir.
- Rader, R., B. Howlett, S.A Cunningham, D.A Westcott, L.E Newstrom-Lloyd, M.K Walker, et Edwards. 2009. « Alternative pollinator taxa are equally efficient but not as effective as the honeybee in a mass flowering crop. » *Journal of Applied Ecology*, n° 46(5): 1080-87.
- Rameau, J.-C., Mansion, D., Dumé, G., Timbal, J., Lecointe, A., Dupont, P. et Keller, R. 2003. *Flore forestière française (guide écologique illustré), tome 1: Plaines et collines*. Paris: Institut pour le développement forestier.
- Rasmont, P., Pauly, A., Terzo, M., Patiny, S., et Michez, D. 2005. « Survey of wild bees (Hymenoptera, Apoidea) in Belgium and France ». *FAO report*.
- Reif, A, et Schmutz, T. 2001. « Plantation et entretien des haies en Europe ». *Institut pour le développement forestier*. 32 avenue bosquet, 75007, Paris.
- Roché, J.E, Muller, Y., et Siblet, J.P. 2013. « Une méthode simple pour estimer les populations d'oiseaux communs nicheurs en France ». *Alauda, Revue internationale d'ornithologie de France* 81(4): 241-68.
- Roulston, T.H., et Cane, J.H. 2000. « Pollen Nutritional Content and Digestibility for Animals ». In *Pollen and Pollination*, édité par Amots Dafni, Michael Hesse, et Ettore Pacini, 187-209. Vienna: Springer Vienna.
- Sarlöv, H., Ingrid L., et Fry, G.. 2000. « Dispersal of Woody Plants in Forest Edges and Hedgerows in a Southern Swedish Agricultural Area: The Role of Site and Landscape Structure ». *Landscape Ecology* 15 (3): 229-42.
- Simon, S., Bouvier, J.-C., Debras, J.F., et Sauphanor, B. 2011. « Biodiversity and Pest Management in Orchard Systems ». In *Sustainable Agriculture Volume 2*, édité par Eric Lichtfouse, Marjolaine Hamelin, Mireille Navarrete, et Philippe Debaeke, 693-709. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Soltner, D. 2015. *Planter des haies*. 10^{ème} édition. Sciences et techniques agricoles.
- Service Public de Wallonie [SPW]. 1995. « Votre jardin au Naturel ». Portail environnement de Wallonie.

- . 2016. « Réglementation pour la transformation des produits issus de l'agriculture biologique ».
- . 2017. « Subventions pour la plantation de haies ». 15 septembre 2017.
http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/FFH_18.html.
- . 2019. « Arbres et haies remarquables ». consulté en 2019.
http://environnement.wallonie.be/dnf/arbres_remarquables/permis.html.
- . 2019 « WalOnMap 2018, Toute la Wallonie à la carte, Fond de plan et voyage dans le temps ». Consulté le 30 septembre 2018. <http://geoportail.wallonie.be/walonmap>.
- . 2019 Code de Développement Territorial [CoDT]. 2007. *art 2*.
<https://wallex.wallonie.be/index.php?mod=voirdoc&script=wallex2&PAGEDYN=SIGNTEXT&CODE=37102&IDREV=16%252520-%252520t5>.
- Staley, J.T., Sparks, T.H., Croxton, P.J., Baldock, K.C.R., Heard, M.S., Hulmes, S., Hulmes, L., Peyton, J., Amy, S.R. et Pywell, R.F. 2012. « Long-term effects of hedgerow management policies on resource provision for wildlife ». *Biological Conservation* 145 (1): 24-29.
- Taki, H., Okabe, K., Makino, S. I., Yamaura, Y., & Sueyoshi, M. 2009. « Contribution of small insects to pollination of common buckwheat, a distylous crop. » *Annals of Applied Biology*, 2009, sect. 155(1).
- Tallent-Halsell, N.G., et Watt M.S. 2009. « The Invasive Buddleja davidii (Butterfly Bush) ». *The Botanical Review* 75 (3): 292.
- Timberlake, T., Vaughan, I., et Memmott, J. 2019. « Phenology of farmland floral resources reveals seasonal gaps in nectar availability for bumblebees », février, 38.
- Tourret, V. 2002. « Les grands types de bocages en Europe et leurs fonctions ». Cerizay.
- Van der Maarel, E. 1979. « Transformation of Cover-Abundance Values in Phytosociology and Its Effects on Community Similarity ». *Vegetatio* 39 (2): 97-114.
<https://doi.org/10.1007/BF00052021>.
- Vandermaelen. 1846. « Cartes de Vandermaelen ». publiée en 1854, mis en ligne en 2017 1846. <http://geoportail.wallonie.be/catalogue/67ed5145-72be-499b-8a95-c94711f344f1.html>.
- Van der Meijden, R., Van Schijndel, M.S., et Van Rossum, F. 2016. *Guide des plantes sauvages du Benelux*. Meise, Belgique: Jardin botanique de Meise.
- Viaud, V., Grimaldi, C., et Merot, P. 2009. « Impact of hedgerows on water and soil resources as illustrated in Brittany - Recent results and outlook ». *Revue Forestière Française, Ecole nationale du génie rural* 61 (5): 493-502.
- Vigan, M. 2018. « Vers un arbre à palabres agroforestier : Le modèle Terafor d'évaluation multicritère qualitative pour considérer l'ensemble des fonctions des espaces arborés dans les territoires agricoles ». Thèse, Toulouse: Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse). Unité de recherche : Dynamiques et écologie des paysages

agriforestiers (UMR 1201 Dynafor) École doctorale (et spécialité) : SEVAB
(Agrosystèmes, écosystèmes et environnement).

Voisin, C., et Voisin, J.F. 2009. « Phenology of birds and berries of an isolated small forest remnant in an agricultural landscape in the Gâtinais (France) ». *Revue d'écologie (terre et vie)* 64.

Walter, C., Merot, P., Layer, B., et Dutin, G. 2003. « The Effect of Hedgerows on Soil Organic Carbon Storage in Hillslopes ». *Soil Use and Management* 19 (3): 201-7.

Willmot, A. 1980. « The Woody Species of Hedges with Special Reference to Age in Church Broughton Parish, Derbyshire ». *Journal of Ecology* 68 (1): 269-85.

Evaluation de la biodiversité des haies de la ferme de Lauzelle et proposition d'un plan d'aménagement.

Eléonore de Roissart

Depuis quelques décennies, les bénéfices des réseaux de haies en zone agricole sont valorisés et des plantations sont organisées, notamment dans le cadre des MAEC et de la réforme de la PAC en 2016. Cependant les services fournis par les haies n'ont pas toujours autant été considérés, particulièrement depuis la deuxième moitié du XX^{ème} siècle où près de 75% des haies auraient disparu en Belgique à cause de l'intensification agricole.

Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé la fonction de soutien à la biodiversité fournie par les haies en milieu rural. Pour ce faire, nous avons étudié trois taxons, qui sont les végétaux, les insectes pollinisateurs et l'avifaune. Le site d'étude choisi est la ferme de Lauzelle, situé au nord de la ville de Louvain-la-Neuve, autour duquel le « quartier de l'Ornoi », un « éco-quartier » est prévu. Dès lors, l'objectif de cette étude est non seulement de déterminer si les haies du site sont importantes au point de vue du soutien à la biodiversité, mais aussi de proposer des aménagements et des gestions futures pour ces haies afin d'améliorer les services qu'elles offrent.

Ainsi, une première évaluation des haies existantes a été effectuée, à l'aide d'inventaires floristiques et d'un suivi de l'avifaune. Les ressources nourricières disponibles pour les insectes pollinisateurs (sucres de nectar) et pour les oiseaux (fruits) ont été estimées via une extrapolation des données issues de la littérature aux volumes des houppiers des espèces végétales.

En comparant les haies comprises dans les zones, il s'avère que les haies larges et multi-strates sont les plus riches en espèces végétales. Une des espèces la plus fréquente et la plus abondante est *Crataegus monogyna*, qui se révèle être cruciale pour la production de fleurs en début d'été et de fruits en automne. La strate herbacée dans les haies multi-strates est caractérisée par une présence d'espèces forestières (*Rubus sp.* et *Hedera helix*), alors que les graminées (telles que *Poa spp.*) sont dominantes dans les alignements d'arbres isolés et haies proches de la ferme.

Les estimations de la production nectarifère indiquent une production très importante au début du printemps, notamment grâce à *Salix spp.* et à *Acer spp.*, mais une faible production en fin d'été. Pour les oiseaux, 32 espèces ont été observées au total, appartenant à 17 familles, dont la majorité sont des espèces généralistes. Leur suivi a par ailleurs indiqué une préférence pour les haies multi-strates, pour les arbustes de *Crataegus monogyna*, ainsi que pour les haies au faible taux de dérangement.

Nous avons tenu à proposer des aménagements précis, adaptés au site des haies de Lauzelle visant à préserver la biodiversité. Ces aménagements consistent dans un premier temps à restaurer des strates herbacées le long des haies, fournissant un refuge pour la faune, ainsi qu'une production estivale de fleurs. En outre, des coupes de restauration seront prévues afin d'étoffer les haies à leur base et seront suivies de regarnissage. Finalement, des plans de plantations attractives pour les pollinisateurs et pour les oiseaux sont proposés, ainsi que des méthodes de gestion visant à minimiser la fréquence des tailles.