



Guide de monitoring des systèmes agroforestiers

Méthodes de mesure des effets sur l'environnement

Auteur-e-s

Giotto Roberti, Christoph von Pfeil, Jaromir Kunzelmann,
Leonie Funke, Theres Rutz, Sonja Kay



Impressum

Éditeur	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zurich www.agroscope.ch
Renseignements	Giotto Roberti: giotto.roberti@agroscope.admin.ch Sonja Kay : sonja.kay@agroscope.admin.ch
Traduction	Service linguistique Agroscope
Mise en page	Petra Asare
Photo de couverture	Leonie Funke
Download	www.agroscope.ch/agroforst
Copyright	© Agroscope 2023
ISSN	2296-7230

Exclusion de responsabilité

Les informations contenues dans cette publication sont destinées uniquement à l'information des lectrices et lecteurs. Agroscope s'efforce de fournir des informations correctes, actuelles et complètes, mais décline toute responsabilité à cet égard. Nous déclinons toute responsabilité pour d'éventuels dommages en lien avec la mise en œuvre d'informations contenues dans les publications. Les lois et dispositions légales en vigueur en Suisse s'appliquent aux lectrices et lecteurs, la jurisprudence actuelle est applicable.

Sommaire

Résumé	4
1 Introduction	5
1.1 Les systèmes agroforestiers, qu'est-ce que c'est?.....	5
1.2 Agro4esterie	5
2 Méthode	6
3 Biomasse et carbone	8
3.1 Objectif	8
3.2 Méthode	8
3.2.1 Mesure des arbres sur pied	8
3.2.2 Calcul du stockage du carbone.....	9
4 Végétation	10
4.1 Objectif	10
4.2 Méthode	10
4.2.1 Relevés de végétation dans les rangées d'arbres.....	10
4.2.2 Monitoring des adventices	11
5 Oiseaux et chauves-souris	12
5.1 Objectif	12
5.2 Méthode	12
5.2.1 Enregistrements audio sur le terrain	12
5.2.2 Évaluation.....	12
6 Pollinisateurs	14
6.1 Objectif	14
6.2 Méthode	14
6.2.1 Relevé par transect	14
6.2.2 Aides à la nidification.....	14
7 Activité du sol	16
7.1 Objectif	16
7.2 Méthode	16
7.2.1 Test des slips	16
7.2.2 Test du sachet de thé	16
7.2.3 Échantillons de sol.....	17
8 Qualité de l'habitat	18
8.1 Objectif	18
8.2 Méthode	18
9 Bibliographie	20
10 Annexe	21
I. Fiche de relevés des mesures de biomasse et de carbone	21
II. Protocole et fiches de relevés de végétation et de mauvaises herbes	22
III. Mode d'emploi AudioMoth	26
IV. Prélèvement d'échantillons de sol	28
V. Évaluation de la qualité de l'habitat des systèmes agroforestiers pour les oiseaux.....	29

Résumé

Les systèmes agroforestiers modernes - qui combinent arbres et cultures agricoles sur une même surface - existent dans les grandes cultures, l'élevage, les cultures maraîchères, fruitières et viticoles.

Ces systèmes ont des effets positifs sur l'écologie, l'économie et la société. Ainsi, le sol (réduction de l'érosion, qualité du sol), l'eau (qualité de l'eau et régime hydrique), le climat et l'air (puits de carbone, protection de l'air) ainsi que la biodiversité tirent profit de la plantation d'arbres sur les surfaces agricoles utiles.

Étant donné la grande diversité des systèmes, les effets sur l'environnement ne sont pas les mêmes. Ils dépendent beaucoup du site, mais aussi du système agroforestier.

Un monitoring structuré de longue durée permet une observation systématique de ces effets; il permet d'acquérir des connaissances sur l'évolution et l'état des paramètres et des domaines environnementaux. Pour obtenir des séries de données fiables, il est important d'utiliser des méthodes validées, de choisir le bon moment pour les relevés/mesures ainsi que de connaître et de prendre en compte les éventuels facteurs perturbateurs.

Ce guide s'adresse aux agricultrices et agriculteurs intéressés ainsi qu'aux collaboratrices et collaborateurs des services de vulgarisation agricole, de l'administration et des bureaux d'études environnementales. Il décrit comment concevoir et mettre en place le monitoring d'un système agroforestier sur plusieurs années. Il aborde les thèmes de la biomasse et du carbone, de la végétation, des pollinisateurs, des oiseaux, des chauves-souris et du sol. Enfin, il décrit des méthodes et des possibilités d'évaluation pour chaque thème. Ce document doit permettre aux utilisatrices et utilisateurs de développer un concept de monitoring approprié et sur mesure pour un projet comportant plusieurs systèmes.

1 Introduction

1.1 Les systèmes agroforestiers, qu'est-ce que c'est?

Un système agroforestier combine une ou plusieurs activités agricoles avec des arbres sur une même surface. On distingue souvent les systèmes sylvoarables (= grandes cultures et arbres) et les systèmes sylvopastoraux (= élevage et arbres) (fig. 1). Dans la pratique, il existe également différentes combinaisons au sein de ces types de systèmes ainsi que des associations avec des cultures spéciales.

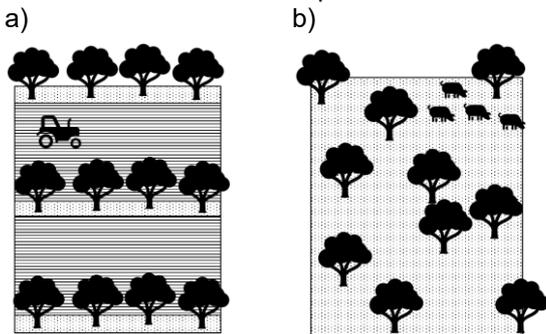


Figure 1: Les systèmes agroforestiers sylvoarables combinent les arbres et les grandes cultures (a); les systèmes agroforestiers sylvopastoraux combinent les arbres et l'élevage (b).

Alors que les grandes cultures, les cultures maraîchères et fruitières permettent d'obtenir des récoltes annuelles, les arbres et les arbustes (à bois d'œuvre) doivent pousser pendant plusieurs décennies avant de pouvoir être abattus ou de porter leurs «fruits». Autrement dit, les systèmes agroforestiers sont des systèmes longue durée, qui supposent une planification sur 40, 60 ou même 80 ans.

Cet investissement à long terme va également de pair avec la volonté de faire un état des lieux et l'envie d'accompagner activement les changements dans le temps. Alors qu'il est facile de «voir» la croissance des arbres et de la «mesurer» soi-même, les observateurs ne disposent souvent pas d'éléments tangibles pour appréhender les changements qui s'opèrent dans l'environnement et la biodiversité. Des rapports d'exploitants qui indiquent par exemple que depuis qu'ils ont mis en place un système agroforestier, le faucon est leur hôte quotidien ou l'hermine a élu domicile dans le tas de pierres de la rangée d'arbres, confirment ces changements, mais sont difficiles à comparer.

1.2 Agro4estérie

Le projet d'utilisation durable des ressources naturelles Agro4estérie, de l'Office fédéral de l'agriculture selon l'article 77a de la loi sur l'agriculture, recense systématiquement les prestations environnementales des systèmes agroforestiers. Le projet a été lancé en 2020 dans le but d'intégrer des systèmes agroforestiers résilients dans la pratique agricole dans les cantons de Genève, du Jura, de Neuchâtel et de Vaud, grâce à des conseils techniques et un soutien financier, et de suivre leur développement par le biais d'un monitoring scientifique. Le présent guide décrit les méthodes de monitoring environnemental.



Au total, 140 exploitations ont participé. Selon la problématique, un monitoring intensif a été mis en place sur 20 à 30 exploitations. Lors du choix des surfaces de monitoring, les scientifiques ont veillé à bien représenter l'hétérogénéité des régions (JU, GE, NE, VD), du mode d'exploitation (conventionnelle, bio) et des systèmes agroforestiers (sylvoarables, sylvopastoraux).

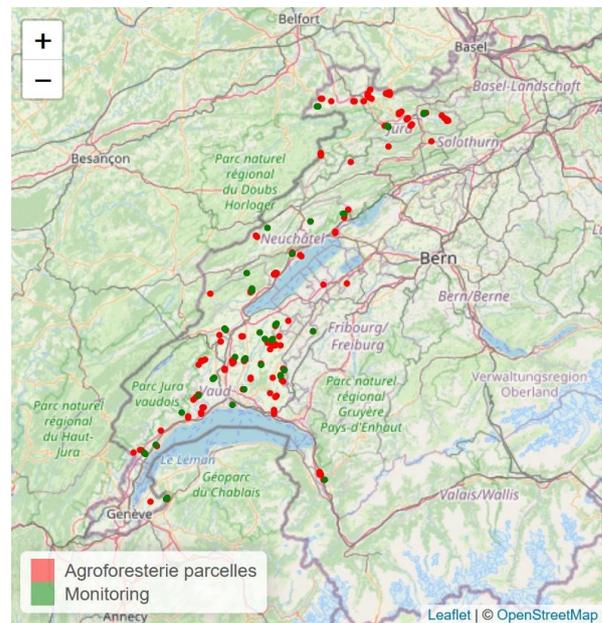


Figure 2: Exploitations participantes (en rouge) et parcelles de monitoring (en vert).

Agroscope effectue le monitoring de la biodiversité (flore et faune), de la croissance de la biomasse et du stockage de carbone. Les méthodes utilisées et les protocoles de monitoring sont décrits en détail dans les chapitres suivants, en fonction de la thématique.

2 Méthode

Mise en place et déroulement du monitoring

Les systèmes agroforestiers sont multiples. Chaque système est adapté individuellement à l'agriculture, l'élevage ou à des cultures spéciales comme les cultures maraîchères ou la viticulture. Par conséquent, les effets sur le milieu environnant sont différents et dépendent beaucoup du site et du système concerné. Afin d'observer les tendances et les effets malgré cette diversité et de les comparer, un monitoring est mis en place pour suivre chaque système individuellement pendant toute sa durée de vie (fig. 3).

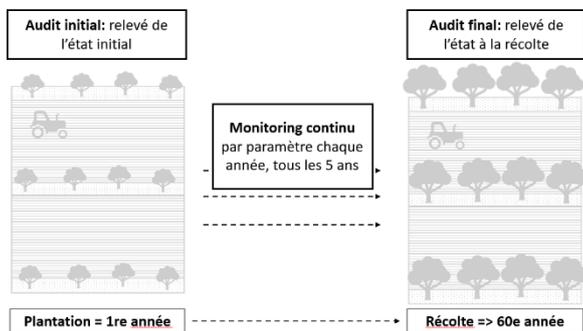


Figure 3: Monitoring de toute la durée de vie d'un système agroforestier.

Le monitoring devrait débuter dès la plantation du système agroforestier. Cet audit initial doit être le plus complet possible et marquer le point de départ du monitoring. Pendant la durée de vie du système agroforestier, il faut faire en sorte que le monitoring soit aussi continu que possible, chaque année ou à des intervalles de deux ou cinq ans, en fonction des paramètres. Avant la récolte des arbres ou la plantation de nouveaux arbres, il est recommandé de procéder à un audit final complet.

Paramètres

Un monitoring valable tente de réunir autant de paramètres que possible, mais pas plus que nécessaire. Des études montrent sur quels domaines environnementaux les systèmes exercent une influence particulière. Ainsi, le sol (réduction de l'érosion, qualité du sol), l'eau (qualité de l'eau), le climat et l'air (stockage du carbone, contrôle de la pollution de l'air) ainsi que la biodiversité profitent de la plantation d'arbres sur la surface agricole utile. Ce rapport se concentre sur la biomasse (carbone) et la biodiversité (flore, faune).

Les thèmes suivants sont décrits en détails dans les prochains chapitres:

1. Relevés sur le terrain
 - Biomasse et carbone (→ Chapitre 3)
 - Végétation (→ Chapitre 4)
 - Oiseaux et chauves-souris (→ Chapitre 5)
 - Pollinisateurs (→ Chapitre 6)
 - Activité du sol (→ Chapitre 7)
2. Évaluation des données existantes
 - Enregistrement de la qualité de l'habitat au niveau du paysage (→ Chapitre 8)

Pour garantir la comparabilité des données au fil des ans, le monitoring doit, dans la mesure du possible, toujours être réalisé au même endroit sur la parcelle et au même moment dans la saison.

Site

Afin de réduire l'influence du paysage environnant, d'éviter les effets périphériques et de refléter autant que possible le caractère agroforestier «pur» des parcelles, tous les relevés sont effectués le plus au centre possible du système agroforestier.

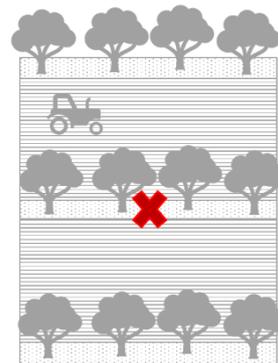


Figure 4: Site du monitoring, le plus au centre possible du système agroforestier.

Saison

Le moment où a lieu le monitoring doit également être optimisé en fonction du paramètre ou de l'espèce à observer. Il faut notamment tenir compte du fait que la flore et la faune doivent être observées pendant les périodes de floraison ou d'activité. Alors que pour de nombreuses espèces, la saison idéale pour l'observation est le printemps (p. ex. végétation, oiseaux), certaines espèces sont plus faciles à observer en été (p. ex. pollinisateurs). Le Tableau 1 donne un aperçu des activités de suivi au fil des saisons.

Tableau 1: Calendrier des champs – Monitoring au fil de l’année

Calendrier des champs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Biomasse & carbone (Rythme: 5 - 10 ans)												
Mesures d'arbres												
Végétation (Rythme: 1 - 2 ans)												
Rangées d'arbres												
Adventices												
Oiseaux et chauves-souris (Rythme: 1 - 2 ans)												
Relevés acoustiques												
Pollinisateurs (Rythme: 1 - 2 ans)												
Relevé par transect												
Nichoires pour les abeilles sauvages												
Activité du sol (Rythme: 1 - 5 ans)												
Slips												
Sachet de thé												

3 Biomasse et carbone

3.1 Objectif

Alors que les exploitations agricoles enregistrent chaque année le volume des récoltes (par exemple en t/ha, kg/an), ce n'est pas aussi simple pour les arbres et les arbustes des systèmes agroforestiers. Il est donc important de mesurer régulièrement les arbres et leur croissance et de suivre leur évolution sur toute la durée du système. Les données mesurées par arbre/arbuste permettent de calculer le volume de biomasse sur pied ainsi que le carbone qui y est stocké.

3.2 Méthode

Selon le site, l'essence et le mode d'exploitation, les arbres et les arbustes peuvent se développer de manière très différente. Un premier relevé détaillé de la surface ainsi qu'un protocole de mise à jour du peuplement et de son évolution sont essentiels (cf. annexe I). Voici la procédure proposée :

3.2.1 Mesure des arbres sur pied

Conformément aux protocoles établis en sylviculture, les paramètres relevés sur les arbres sur pied sont l'essence, la hauteur de l'arbre et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP, environ 130 cm). Des paramètres supplémentaires peuvent être enregistrés (par ex. début et étendue de la couronne ou dommages sur le tronc/ la couronne). Les arbres de moins de 130 cm ne sont normalement pas mesurés, mais leur nombre est enregistré.



Figure 5: Exemple de plan.

Étant donné qu'une parcelle agroforestière doit être mesurée sur plusieurs années (par exemple tous les 5 ans), les données doivent pouvoir être attribuées individuellement à chaque arbre ou à chaque haie. Autrement dit, chaque arbre doit être clairement identifié. Ce n'est qu'à ces conditions que l'on peut calculer la croissance de l'arbre/de la haie.

A partir d'un croquis détaillé de la parcelle agroforestière, basé par exemple sur un plan de plantation ou une vue aérienne (fig. 5), un numéro est attribué à chaque arbre/chaque haie. Cette numérotation est reportée dans un tableau dans lequel sont également documentés l'essence, la hauteur, le DHP et éventuellement d'autres critères. Ensuite, on saisit la numérotation sur la parcelle et on mesure la hauteur en mètres, le DHP en centimètres et on relève l'espèce des arbres. Pour les haies et les arbustes, on mesure la longueur, la largeur et la hauteur et on estime la proportion des différentes espèces d'arbustes.

Le volume par arbre ou par arbuste se calcule à l'aide de la formule de volume pour les cylindres :

$$V_B = \pi * r^2 * h$$

avec :

V_B = volume (de la biomasse) (m^3)

R = rayon moyen (= $\frac{1}{2}$ diamètre) (m)

h = hauteur (m)

Pour les arbres sur pied, on mesure le diamètre à hauteur de poitrine au lieu du rayon moyen. C'est pourquoi l'équation est adaptée comme suit :

$$V_B = \left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi * h * f$$

avec :

V_B = volume (de la biomasse) (m^3)

d = diamètre (m) à 130 cm (DHP)

f = coefficient de forme (approximation $f = 0,5$ pour les feuillus)

h = hauteur (m)

Pour les haies, le volume de la biomasse dépend beaucoup de la densité. En général, le volume résulte de la longueur, de la largeur et de la hauteur qui, combinées à un coefficient de densité estimé, donnent le volume de la haie :

$$V_H = h * L * l * r$$

avec :

V_H = volume (de la haie) (m^3)

h = hauteur (m)

L = largeur (m)

l = longueur (m)

r = facteur de réduction (estimation de la part de biomasse, haies denses $r = 0,8-0,95$, haies clairsemées, $r = 0,3-0,5$)

3.2.2 Calcul du stockage du carbone

Les données collectées sur le terrain (hauteur, DHP, essence) pour un arbre ou une haie ainsi que la biomasse calculée à partir de ces données peuvent servir de base pour déterminer les réservoirs de carbone. Étant donné que les plantes prélèvent leur carbone dans l'air sous forme de dioxyde de carbone, il est ainsi possible de dire combien de carbone une parcelle agroforestière a puisé dans l'atmosphère. Environ 50 % de la biomasse ligneuse (arbre et racines) est constituée de carbone. Autrement dit, il faut d'abord calculer la masse ligneuse à partir du volume mesuré d'un arbre/d'une haie. Celle-ci dépend de la densité du bois spécifique à l'espèce (p. ex. 690 kg/m³ de densité sèche pour le noyer, 600 kg/m³ pour le cerisier ou 410 kg/m³ pour le peuplier). Comme toutes les espèces végétales n'ont pas la même densité, il faut calculer, dans le cas des haies, une moyenne pondérée en fonction du pourcentage de chaque espèce végétale dans la haie ainsi que de leur densité. La masse de la haie peut être calculée à partir de la densité spécifique de l'essence ou de la valeur moyenne de la densité et du volume, ce qui permet de calculer le carbone stocké. On suppose globalement que la biomasse des racines correspond à la moitié de la biomasse aérienne ($V_A * 0,5$).

Le calcul est le suivant:

$$C_{Bois} = (V_A + V_R) * D_E * CA_{Bois}$$

avec:

C_{Bois} = carbone du bois

V_A = volume (de l'arbre) (m³)

V_R = volume des racines de l'arbre (m³) ($V_A * 0,5$)

D_E = densité sèche (spécifique à l'essence)

CA_{Bois} = pourcentage de carbone (= 0,5)

Pour obtenir le stockage de CO₂ à partir du stockage de carbone (C_{Bois}), il faut encore multiplier le résultat par 3,67.

$$CO_2 = 3,67 * C_{Bois}$$

Exemple:

Une parcelle agroforestière de 50 cerisiers (DHP: 10 cm; hauteur: 4 m, âge: environ 10 ans) stocke ensuite environ 0.026 t de CO₂ par arbre ou 1.3 t de CO₂ par parcelle.

Par arbre:

$$V_A = (d/2)^2 * \pi * h * f$$

$$= (0.1m/2)^2 * \pi * 4m * 0.5$$

$$= 0.0157 m^3$$

$$V_R = V_A * 0,5$$

$$= 0,0157 m^3 * 0,5$$

$$= 0,0078 m^3$$

$$C_{Bois} = (V_A + V_R) * D_E * CA_{Bois}$$

$$= (0,0157 m^3 + 0,0078 m^3) * 600 kg/m^3 * 0,5$$

$$= 7 kg C \text{ (resp. 0,007 t C)}$$

$$CO_2 \text{ bois} = 3,67 * C_{Bois}$$

$$= 3,67 * 0,007 t C$$

$$= 0,026 t CO_2$$

Par parcelle:

$$CO_2 = 50 \text{ arbres} * CO_2 \text{ par arbre}$$

$$= 1,3 t CO_2$$

Recommandations pour la pratique

Matériel pour effectuer les mesures de l'arbre sur le terrain:

- Croquis de la parcelle agroforestière, y compris numérotation des arbres / des haies
- Liste / Tableau avec numérotation des arbres
- Pied à coulisse (→ mesure DHP)
- Mètre (→ mesure de la hauteur)
- Ev. altimètre
- Long ruban de mesure (pour les haies)
- Clipboard
- Smartphone (en option pour la saisie des données)

4 Végétation

4.1 Objectif

Les bandes de végétation entre les rangées d'arbres sont considérées comme un habitat potentiellement précieux pour une flore secondaire diversifiée. Parallèlement, ces bandes risquent aussi de constituer un réservoir de plantes indésirables et problématiques. Différentes espèces végétales pourraient se propager rapidement dans les surfaces cultivées adjacentes et leur nuire potentiellement.

C'est pourquoi il est recommandé d'analyser la composition de la végétation tant dans les rangées d'arbres que dans les surfaces cultivées. La procédure doit être adaptée selon la problématique, le système de culture et l'âge des arbres (ex.: systèmes sylvopastoraux, systèmes herbagers, prairies temporaires).

Les objectifs des relevés de végétation sont les suivants:

- obtenir des informations sur la diversité des plantes et la composition des associations végétales,
- recenser les plantes problématiques,
- saisir l'évolution de la composition de la végétation (en cas de monitoring à long terme),
- déterminer le rapport entre les adventices et les plantes cultivées; évaluer les effets possibles des adventices sur les quantités récoltées.
- Selon la question posée et l'analyse des données, il est recommandé d'effectuer des analyses récurrentes sur plusieurs années afin de suivre l'évolution au sein d'un système agroforestier ou d'étudier les effets possibles des associations végétales mises en place dans les bandes de végétation sur différentes cultures. En complément, une méthode équivalente peut être appliquée dans des parcelles sans système agroforestier (témoin) situées à proximité immédiate (Boinot *et al.*, 2019).

4.2 Méthode

Avant de procéder aux relevés sur le terrain, il est important de clarifier le mode d'exploitation des systèmes agroforestiers. D'une part, il faut connaître la culture, le régime de fauche dans les bandes de végétation, le plan de pulvérisation éventuel en cas d'applications de pesticides (pour les systèmes sylvoarables) et le plan de pâturage pour les systèmes sylvopastoraux. Pour les surfaces cultivées de manière conventionnelle, il est recommandé de planifier les relevés au

plus tôt quatre semaines après la dernière application d'herbicide.

4.2.1 Relevés de végétation dans les rangées d'arbres

L'idéal est d'effectuer les relevés entre mai et juillet, avant la première coupe de la végétation dans les rangées d'arbres. C'est en effet à cette période que les caractéristiques permettant de déterminer les plantes sont les plus visibles. Dans un premier temps, il s'agit de définir une ou plusieurs rangées d'arbres pour l'analyse. Dans la mesure du possible, il est préférable d'éviter les rangées en périphérie, afin que la surface cultivée puisse être analysée des deux côtés de la bande de végétation et que l'on évite les éventuels effets de bordure (forêt, autres habitats).

Six relevés de végétation de 1 m² sont effectués dans les rangées d'arbres sélectionnées (plots en V). Les surfaces de relevé sont réparties sur les rangées d'arbres sélectionnées (1 ou plusieurs) et leur position est définie de manière aléatoire (au moins 5 m de distance par rapport aux deux extrémités des rangées d'arbres). Toutes les espèces de la surface de relevé sont identifiées et leur pourcentage de couverture estimé (voir protocole de relevé, annexe II). Les mesures/estimations portent également sur le pourcentage de couverture du sol nu, la matière végétale morte et la hauteur de végétation (moyenne de quatre mesures). Ces six plots en V devraient permettre de recenser la majorité des espèces végétales d'un système et de caractériser la composition des associations végétales.

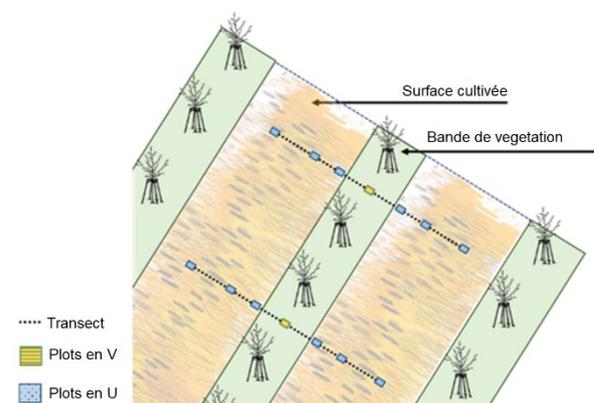


Figure 6: Représentation schématique d'un système agroforestier vu du ciel. Les prises de vue se concentrent sur la rangée d'arbres centrale, 2 parcelles sur 6 sont représentées dans la bande de végétation ainsi que les 4 transects verticaux avec 3 plots chacun dans les surfaces cultivées.

Si d'autres espèces sont observées en dehors des six plots de relevé, elles sont ajoutées à la liste totale des espèces du système (une zone tampon d'environ 5 m

depuis la bordure du champ n'est pas prise en compte pour la liste des espèces). On dispose ainsi, en plus des six relevés de végétation, d'une liste d'espèces complétée pour l'ensemble du système. Dans les systèmes sylvopastoraux avec haies fourragères, les six relevés sont effectués en bordure de la haie, à une distance d'un mètre par rapport à la haie.

4.2.2 Monitoring des adventices

Dans les systèmes sylvoarables, deux des six plots en V sont placés sur deux transects dans des directions opposées (fig. 6). Un transect se compose de trois plots en U (plots d'adventices dans la surface cultivée) de 0,25 m² (50 cm x 50 cm), situés respectivement à 0,5 m, 2 m et 8 m du bord du champ.

Les plots en U servent à identifier toutes les espèces d'adventices (toutes les plantes présentes sur la surface et qui n'ont pas été semées en tant que plantes cultivées) et à estimer leur pourcentage de couverture. La couverture des plantes cultivées est un paramètre important qui doit être relevé. Si besoin est, cette valeur permet de calculer le rapport entre les plantes cultivées et les plantes adventices et de le comparer avec les rendements. Le pourcentage de sol nu, de matière végétale morte et la hauteur de la végétation sont également relevés. D'autres paramètres peuvent être enregistrés à l'intérieur des carrés (plots) en fonction de la problématique. Dans les systèmes agroforestiers plus anciens, l'ombre fournie par les arbres peut par exemple être considérée comme un facteur intéressant (Paesel *et al.*, 2019).

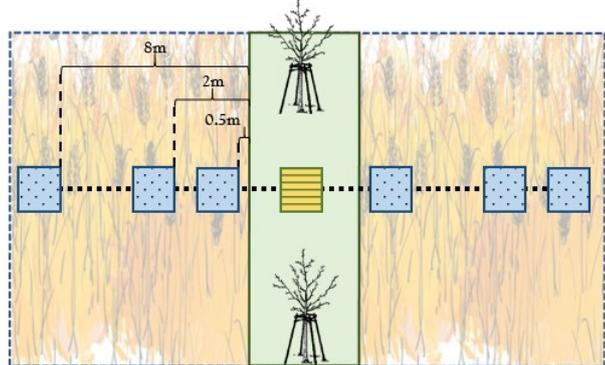


Figure 7: Schéma détaillé des points de relevé d'un seul transect avec les distances prescrites.

Recommandations pour la pratique:

- Réaliser les relevés entre mai et juillet, si possible avant la première coupe de la végétation dans les rangées d'arbres. C'est à cette période que les caractéristiques permettant de déterminer les plantes sont les plus visibles.
- Clarifier le régime d'exploitation (notamment application d'herbicides, dates de fauche) avant la saison sur le terrain.
- Les ouvrages suivants sont recommandés comme références:
 - Flora Helvetica (Lauber *et al.*, 2018)
 - Flora Helvetica, guide d'excursion (Eggenberg *et al.*, 2018)
 - Flora Vegetativa (Eggenberg *et al.*, 2013)
- Plusieurs applications proposent une fonction de reconnaissance d'images automatique qui peut aider à déterminer les espèces inconnues.
- Pour la saisie des données botaniques, il est recommandé d'utiliser le programme open-source «VegeDaz».

5 Oiseaux et chauves-souris

5.1 Objectif

L'objectif est de pouvoir dire quelles espèces d'oiseaux et de chauves-souris utilisent les systèmes agroforestiers comme habitat régulier.

5.2 Méthode

L'audiomonitoring consiste à collecter des données acoustiques dans les zones agroforestières afin d'identifier les espèces d'oiseaux et de chauves-souris à partir de leurs cris. Pour ce faire, on utilise des enregistreurs AudioMoth. Une description détaillée du fonctionnement se trouve à l'annexe II.

5.2.1 Enregistrements audio sur le terrain

AudioMoth est un enregistreur open-source qui peut enregistrer des sons allant d'une fréquence audible à des ultrasons.



Figure 8: Un enregistreur AudioMoth avec son boîtier.

Afin de couvrir de manière représentative la saison de reproduction et de végétation, trois enregistrements sont effectués durant une semaine début avril, en juin et en août. Les fenêtres de temps les plus adaptées aux enregistrements sont les suivantes:

Tableau 2: Fenêtres de temps pour enregistrer les cris des oiseaux et des chauves-souris :

Taxon	Début	Fin
Oiseaux	Lever du soleil	2h après le lever du soleil
Chauves-souris	22h00	24h00

Les relevés devraient être effectués si possible par temps ensoleillé et sans vent pour assurer la qualité des enregistrements.

Sur le terrain, l'appareil doit être placé au milieu de la «surface d'enregistrement» (parcelle agroforestière), dans une rangée d'arbres, sur un piquet à 1,5 m de hauteur. L'ouverture du microphone doit être orientée de préférence vers le sud-sud-est (à l'opposé du côté exposé aux intempéries). Il est important de se tenir à distance des autres sources de bruit, comme les routes. Par ailleurs, l'appareil ne devrait pas être entouré directement de plantes ou d'herbes hautes, car celles-ci peuvent atténuer le bruit ou être source de perturbation en cas de vent. Il est recommandé de couper l'herbe dans les rangées d'arbres, surtout lorsqu'elle est haute, dans un rayon d'un mètre autour du lieu de prise de vue.



Figure 9: Un enregistreur AudioMoth sur le terrain.

Les fichiers audio enregistrés doivent être classés de manière à ce que le lieu, l'heure et la date d'enregistrement soient clairement indiqués dans le nom du fichier.

5.2.2 Évaluation

Oiseaux

Les personnes disposant de bonnes connaissances ornithologiques peuvent écouter les enregistrements et ainsi identifier les espèces d'oiseaux.

L'outil BirdNET, entre autres, permet d'automatiser ce processus. Cet outil permet d'identifier plus de 3000 espèces d'oiseaux d'Europe et d'Amérique du Nord à partir de leurs cris ou de leurs chants. BirdNET est basé sur un réseau neuronal artificiel, un modèle informatique qui a été entraîné avec de nombreux enregistrements audio d'oiseaux (Kahl *et al.*, 2021).

Au bout du compte, l'outil fournit une liste des espèces identifiées et indiquent les valeurs de «confiance». Ces dernières indiquent le degré de «fiabilité» des données. Ce système permet d'éliminer directement

les résultats très incertains, ceux qui par exemple sont inférieurs à 0,8.

Bien que BirdNET reconnaisse les espèces communes de manière relativement fiable, il ne remplace pas l'évaluation par des experts. Certains enregistrements doivent donc être évalués et vérifiés à la fois par des experts et par BirdNET.

Chauves-souris

Les chauves-souris émettent des cris d'écholocation dans la gamme des ultrasons. Ces cris sont spécifiques à l'espèce et peuvent être utilisés pour reconnaître ou distinguer différentes espèces.

L'être humain n'est pas capable d'entendre les ultrasons, c'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser des outils et des logiciels pour déterminer les cris des chauves-souris. Le programme BatScope 4 (Obrist & Boesch, 2018) constitue une option. Il permet de lire des fichiers audio existants et d'y rechercher les cris des chauves-souris. Comme avec BirdNET, les espèces individuelles sont identifiées et une liste des espèces reconnues est éditée.

Comme l'évaluation n'est pas encore entièrement automatisée et qu'elle prend beaucoup de temps, elle ne peut être effectuée que pour quelques enregistrements partiels représentatifs. Il peut s'agir par exemple de la nuit où le plus grand nombre de cris a été enregistré.

Recommandations pour la pratique

Enregistreur AudioMoth

- Informations complémentaires sur l'appareil et les accessoires: www.openacousticdevices.info; www.github.com/OpenAcousticDevices/Application-Notes

Logiciel d'évaluation

- Le logiciel BirdNET pour ordinateur peut être téléchargé ici: <https://github.com/kahst/BirdNET-Analyzer>
- BirdNET existe également sous forme d'applications pour smartphones. Mais il existe de nombreux autres programmes pour les enregistrements bio-acoustiques (aperçu sous: www.github.com/rhine3/bioacoustics-software)
- Les informations relatives à l'utilisation de BatScope 4 sont disponibles dans le mode d'emploi (www.wsl.ch/fileadmin/user_upload/WSL/Services/Produkte/Software/Apps/BatScope/BatScope4manual/index.html).
- Notez que BatScope 4 n'est actuellement disponible qu'en version bêta. Le programme est en cours de développement.

6 Pollinisateurs

6.1 Objectif

L'objectif du monitoring des pollinisateurs est d'obtenir une vue d'ensemble de la population d'insectes pollinisateurs et de leur évolution sur les parcelles agroforestières.

6.2 Méthode

Le monitoring des pollinisateurs se compose de deux éléments:

1. Trois relevés par transect (avril-août)
2. Aides à la nidification pour les abeilles sauvages qui recherchent des cavités pour nicher (mars-octobre)

6.2.1 Relevé par transect

Trois passages sont effectués sur chaque site de monitoring. Ils ont lieu lors de trois périodes de relevés: de fin avril à début mai, de début à mi-juin et de début à mi-août. Le début du relevé fluctue en fonction de l'altitude. Les passages ont lieu plus tard sur les parcelles situées en altitude afin de tenir compte du retard de la végétation.

La visite sur le terrain s'effectue selon la méthode dite du transect linéaire. Un transect est un corridor imaginaire dans l'espace qui est parcouru à un rythme lent et régulier (5 min. pour 50 m, fig. 10, Settele *et al.*, 2014). Au total, quatre sections définies de 50 m chacune sont parcourues dans les rangées d'arbres sur chaque parcelle. Cela donne une longueur totale d'observation par transect de 200 m par parcelle.

L'opération consiste à comptabiliser tous les pollinisateurs se trouvant dans une zone située sur 2,5 m à gauche et à droite de la ligne parcourue ainsi que dans une zone située 5 m au-dessus et 5 m en avant (fig. 9). La multitude d'insectes pollinisateurs est répartie en cinq groupes:

- abeilles sauvages,
- abeilles mellifères,
- bourdons,
- guêpes,
- syrphes.

Les comptages ont lieu d'avril à août, entre 10h et 17h environ. Le respect de la durée d'observation et des sections parcourues est fondamental pour que les résultats puissent être comparés ultérieurement.

Le monitoring des pollinisateurs doit également être effectué par beau temps, avec peu de vent (force du

vent < 20 km/h) et des températures agréables (> 13 °C). D'une manière générale, le monitoring des pollinisateurs s'oriente sur les méthodes de recensement des papillons diurnes du «Monitoring de la biodiversité en Suisse».

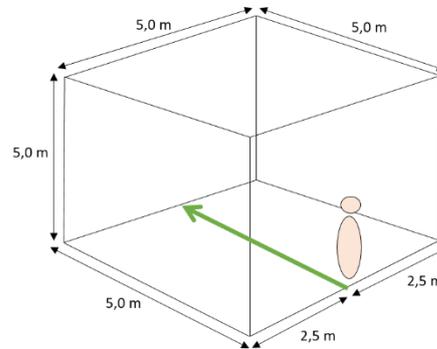


Figure 10: Zone de relevés standard (représentation personnelle d'après Settele *et al.*, 2014).

6.2.2 Aides à la nidification

Un nichoir pour abeilles sauvages nichant dans des cavités est installé sur chaque parcelle de monitoring (fig. 11). Les aides à la nidification sont mises en place au printemps (vers mars, avant le début de la végétation) dans les rangées d'arbres au centre de la parcelle. En règle générale, elles doivent être orientées vers le sud ou le sud-est, c'est-à-dire pas du côté exposé aux intempéries. A la fin de la période de végétation (env. octobre), les aides à la nidification sont récupérées.



Figure 11: Nichoir installé sur une parcelle avec haie fourragère (Photo: Leonie Funke).

Les scientifiques utilisent un nichoir standard. Celui-ci se compose de 10 panneaux MDF (fibres à densité moyenne) de 160 mm x 210 mm, dans lesquels des tubes de nidification ont été percés. Les tubes de nidification ont cinq diamètres différents (3,2, 4, 6, 8 et 10 mm) afin de pouvoir couvrir le spectre le plus large possible d'abeilles sauvages nichant dans les cavités. Les panneaux de fibres sont séparés les uns

des autres par un film plastique (fig. 12). Si les panneaux sont déplacés ou séparés les uns des autres au cours de l'évaluation, les tubes de nidification occupés ne sont pas détruits. Au total, il y a 20 tubes de nidification par catégorie de diamètre, soit 100 tubes dans chaque nichoir.

Le bloc de nidification est placé dans une construction fixe en bois, posée sur deux poteaux. Ce dispositif protège le bloc des intempéries sur les côtés et fait également office de toit pour le nichoir. Ainsi, à la fin de la période de végétation, les nichoirs peuvent être retirés de leur emplacement en enlevant le bloc de nidification, tandis que la structure extérieure reste sur les parcelles. Les années suivantes, le nichoir peut ainsi être réinstallé facilement au même endroit sur les parcelles.

Évaluation

Chaque année, les tubes fermés sont comptés par catégorie de diamètre à la fin de la période de végétation afin de déterminer le taux d'occupation du nichoir, ce qui permet d'observer l'évolution de la population d'abeilles sauvages.

Il faut tenir compte du fait que seules 30 à 40 espèces nichant dans des cavités peuvent utiliser ces aides à la nidification. Elles ne représentent donc qu'une petite partie des quelque 615 espèces d'abeilles sauvages de Suisse.



Figure 12: Exemple d'une plaque avec des tubes de nidification occupés.

Recommandations pour la pratique

Transects

- Par temps chaud, il peut arriver que les insectes fuient la chaleur, c'est-à-dire qu'ils se cachent dans la végétation ou se retirent dans des zones ombragées. Lorsqu'il fait chaud, il est donc conseillé d'éviter les heures de midi pour effectuer les visites sur le terrain.
- Utilisation d'un chronomètre pour garantir le respect de la durée d'observation
- Informations complémentaires sur le site: www.biodiversitymonitoring.ch

Aides à la nidification

- Une fixation stable: le nichoir ne doit pas se balancer au gré du vent ou basculer dans un sens ou dans l'autre.
- Protection contre les intempéries grâce à un auvent suffisant: il faut éviter que l'humidité ne pénètre dans le nichoir.
- Les arrêtes des tubes doivent être le plus lisses possible pour que les animaux ne risquent pas de se blesser à l'entrée du tube de nidification ou d'endommager leurs ailes.
- Il est possible d'identifier les espèces d'abeilles sauvages à l'aide du type et de la couleur de la nourriture apportée ou de la fermeture du nid, mais cela nécessite une certaine expérience. Pour garantir la détermination des différentes espèces, il est recommandé de s'adresser à des entomologistes.

7 Activité du sol

7.1 Objectif

L'activité biologique du sol peut être mesurée à l'aide du test du slip ou du sachet de thé. La répétition des tests les années suivantes permettra d'étudier l'évolution de l'activité du sol au fil du temps.

En complément, des échantillons de sol peuvent être prélevés dans les rangées d'arbres et analysés en laboratoire.

7.2 Méthode

7.2.1 Test des slips

Le test du slip consiste à enterrer deux slips en coton dans l'une des rangées d'arbres de chaque surface d'étude. Les slips sont enterrés pendant un ou deux mois au cours de la période de végétation. Afin de faciliter la comparaison des résultats, le projet «La preuve par le slip» recommande les slips du modèle suivant: Naturaline Slip pour hommes, blanc, taille S (art. n°: 3305289013). Information complémentaire sur le site du projet «La preuve par le slip»: <https://www.beweisstueck-unterhose.ch/fr/>.



Figure 13: Slips qui viennent d'être enterrés.

Un trou d'environ 15 cm de profondeur est creusé dans le sens de la longueur à l'aide d'une bêche ou d'une pelle, de manière à pouvoir placer deux slips côte à côte. Ceux-ci doivent être enterrés de manière à ce que leur bordure ne dépasse que d'un centimètre environ (ce qui permet de retrouver les sous-vêtements). Les slips doivent être légèrement espacés l'un de l'autre afin de pouvoir les déterrer individuellement. Il est préférable de marquer l'endroit avec un bâton ou de noter l'emplacement.

Au bout d'un mois, le premier slip est déterré, débarrassé de la terre (p. ex. lavé dans un tamis) et, si possible, séché pendant 48 heures à 70 °C dans une

étuve. Il est également possible de faire sécher le slip à l'air libre et à l'abri, par exemple sur un radiateur. Ensuite, le slip est pesé et son poids est noté.

Un mois plus tard, soit deux mois après que les slips ont été enterrés, le deuxième slip est déterré, débarrassé de la terre, séché et pesé.

Il est possible de calculer la différence de poids avant et après que les slips aient été enterrés/déterrés et de montrer combien de masse a été décomposée. En principe, plus le slip a été décomposé, plus l'activité biologique du sol est importante. La décomposition après deux mois peut être grossièrement divisée en trois catégories (Tableau 3).

Tableau 3: Signification de la décomposition après deux mois

Décomposition	Signification
< 20 %	Les organismes vivant dans le sol n'étaient pas très actifs.
20-60 %	Les organismes vivant dans le sol étaient moyennement actifs
> 60 %	Les organismes vivant dans le sol étaient très actifs.

Le pourcentage de décomposition se calcule comme suit à partir du poids initial et du poids final:

$$Décomposition\% = \frac{P_I - P_{II}}{P_I} \times 100$$

avec

P_I = Poids des slips lorsqu'ils sont enterrés

P_{II} = Poids des slips lorsqu'ils sont déterrés



Figure 14: Slips après séchage.

7.2.2 Test du sachet de thé

Le test des sachets de thé est effectué avec deux sortes de thé, du rooibos et du thé vert. Au moins un sachet de rooibos et un sachet de thé vert sont enterrés sur chaque surface d'étude pendant la même période.

Avant d'enterrer les sachets de thé, il faut les peser avec une balance de précision et noter leurs poids (de préférence dans le document Excel TeaTime4Science, voir ci-dessous).

Comme le thé est évalué par variété, il est recommandé de faire deux trous (un pour chaque variété) et de marquer les emplacements. Un trou d'environ 8 cm de profondeur est suffisant.

Après trois mois, tous les sachets de thé sont déterrés, séchés et pesés. Plus les sachets ont perdu de poids au cours des trois mois, plus l'activité biologique du sol est grande. La formule du test du slip est également valable pour le test du sachet de thé. Le Tableau 3 peut aussi être utilisé pour l'interprétation des résultats.

7.2.3 Échantillons de sol

Les échantillons de sol sont prélevés dans les rangées d'arbres, à proximité des slips et des sachets de thé enterrés (voir le protocole à l'annexe IV).

Comme pour les analyses de sol dans le cadre des prestations écologiques requises (PER), les échantillons de sol peuvent être envoyés à un laboratoire environnemental agréé qui analysera la granulométrie, le pH, le carbone organique du sol et les teneurs en phosphore, potassium et magnésium disponibles.

Recommandations pour la pratique:

Slips

- Pour l'interprétation et pour plus d'informations sur les organismes vivant dans le sol, nous vous recommandons le document suivant: https://www.beweisstueck-unter-hose.ch/images/Downloads/Was_bedeutet_die_Werte_final_FR.pdf

Sachet de thé

- Une description détaillée de la méthode est disponible à l'adresse suivante: www.teatime4science.org/method/stepwise-protocol (en anglais uniquement).
- Un document Excel est également disponible sur le site, dans lequel les résultats du test peuvent être notés et téléchargés afin de soutenir le projet avec vos propres données.

Analyse de sol

- Le lien suivant permet d'accéder à une liste actualisée des laboratoires accrédités: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/fr/home/themes/environnement-resources/monitoring-analyse/umweltanalytik/bo-denuntersuchung-laborzulassung.html>

8 Qualité de l'habitat

8.1 Objectif

Les systèmes agroforestiers offrent un habitat à un grand nombre d'espèces. Cependant, leur qualité et leur adéquation peuvent varier considérablement en fonction du système agroforestier, du site et de son environnement.

L'objectif est d'évaluer le plus objectivement possible la qualité des habitats agroforestiers et de suivre leur évolution au fil des ans. Il faut tenir compte du fait que les différentes espèces ou groupes d'espèces (p. ex. oiseaux, papillons, poissons) privilégient différents habitats. La méthode suivante est donc axée sur la qualité de l'habitat des systèmes agroforestiers pour les oiseaux.

8.2 Méthode

La qualité de l'habitat pour les oiseaux est estimée sur la base de la clé d'évaluation du potentiel des systèmes agroforestiers à protéger la nature (Kaeser *et al.*, 2010), plus précisément pour les oiseaux des espèces cibles et des espèces emblématiques de la région ou de la sous-région qui sont touchées par la diminution des arbres fruitiers haute-tige, des haies et des arbres isolés (OFEV & OFAG, 2008).

La clé d'évaluation apprécie un système agroforestier selon trois catégories: «site et état actuel», «mise en place du système agroforestier» et «utilisation du système agroforestier». Des critères ont été définis pour chaque catégorie et des points ont été attribués en fonction de la qualité (Kaeser 2009).

Tous les critères sont définis et évalués pour une zone tampon de 500 m autour des parcelles agroforestières (fig. 15). L'analyse requiert donc de bonnes connaissances de la surface et de ses environs. Des photos aériennes peuvent également être utilisées.

Site et état actuel

Il s'agit ici d'évaluer le site ou l'environnement du système agroforestier, autrement dit d'évaluer le site en termes d'exposition, d'utilisation antérieure, de structure paysagère, de taille et de forme de la parcelle. Pour l'évaluation de l'environnement, une check-list de la présence d'habitats spécifiques doit être remplie. Ces habitats comprennent les parcs et jardins, les vergers haute-tige, les vignobles, les terres assolées, les arbres hors forêt, les buissons, les lisières de forêt, les haies, les jachères florales, les surfaces rudérales et la forêt.

Le nombre maximum de points possible est de 18. Un nombre de points élevé signifie que la qualité de l'habitat dans les environs offre de bonnes conditions aux oiseaux. L'annexe V présente un exemple avec des explications (tabl. 4 et 5).



Figure 15: Vue aérienne d'une parcelle type.

Mise en place du système agroforestier

Dans cette catégorie, l'accent est mis sur la planification et la mise en place du système agroforestier. Il s'agit d'évaluer l'adéquation des essences par rapport au site, la disposition des arbres et leur densité par parcelle.

Plus le nombre de points obtenus est élevé, plus le système agroforestier prévu est adapté à la promotion des espèces d'oiseaux. Le nombre maximum de points est de 3 (voir annexe V, tabl. 6).

Utilisation du système agroforestier

La dernière catégorie évalue l'impact de l'utilisation actuelle et future du système agroforestier sur la qualité de l'habitat. Des points sont attribués pour l'exploitation agricole, l'entretien des arbres, l'utilisation des rangées d'arbres, l'intensité de l'exploitation et les mesures supplémentaires d'entretien et de protection de la nature. Le nombre maximum de points est de 15 (annexe IV, tabl. 7).

Évaluation

L'évaluation consiste à faire la somme des points des trois catégories «site et état actuel», «installation du système agroforestier» et «utilisation du système agroforestier». Les scores peuvent être utilisés pour comparer différents systèmes agroforestiers sur différents sites du point de vue de la qualité de l'habitat pour les oiseaux.

Recommandations pour la pratique:

- Des informations détaillées sur l'utilisation agricole sont en partie disponibles auprès des cantons. Les personnes ayant de bonnes connaissances des parcelles situées autour du système agroforestier ou qui font une visite sur le terrain peuvent aussi se passer des données d'utilisation détaillées en remplissant la check-list.
- Il est également possible de tracer un cercle de 500 m autour de la parcelle sur www.map.geo.admin.ch (sous «Dessiner & Mesurer sur la carte» > «Mesurer»). La taille de la parcelle doit être prise en compte en agrandissant le cercle de 500 m de la moitié de la longueur ou de la largeur de la parcelle.
- Des informations complémentaires sur les Objectifs environnementaux pour l'agriculture (OEA) sont disponibles auprès de l'OFEV et d'Agroscope:
- <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/biodiversite/publications/publications-biodiversite/objectifs-environnementaux-agriculture.html>
- www.especesOEA.ch

9 Bibliographie

- Agroscope, Université de Zurich. *La preuve par le slip*. <https://www.beweisstueck-unterhose.ch/fr/>
- Académie suisse des sciences naturelles (2014): *Bienen im Fokus von Wissenschaft und Politik. Bericht über das Symposium der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz vom 26. November 2014*. Publ. par l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT). Berne.
- Boinot, S., Fried, G., Storkey, J., Metcalfe, H., Barkaoui, K., Lauri, P.-É., & Mézière, D. (2019). *Alley cropping agroforestry systems: Reservoirs for weeds or refugia for plant diversity?* Agriculture, Ecosystems and Environment 284 (pp. 1-13).
- Chevalier M., Russell, J.C., Knape, J. (2019). *New measures for evaluation of environmental perturbations using Before-After-Control-Impact analyses*. Ecological Applications 29(2), e01838
- Eggenberg, S., Bornand, C., Juillerat P., Jutzi M., Möhl A., Nyffeler, R., & Santiago, H. (2018). *Flora Helvetica – Exkursionsführer / Guide d'excursions*. Édition Haupt, Berne
- Eggenberg, S., Möhl, A. (2013). *Flora Vegetativa. Un guide pour déterminer les plantes de Suisse à l'état végétatif*. Haupt, Berne
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ (2019): *Tagfalter-Monitoring: www.ufz.de/tagfalter-monitoring*
- Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL (2016): *Arboriculture fruitière biologique haute-tige. Réussir à combiner la production et la biodiversité*. Frick.
- Jäger, M. (2017): *Systèmes agroforestiers. Associer les arbres fruitiers haute-tige cultivés ou sauvages et les arbres feuillus avec des cultures agricoles*. AGRIDEA (éd.)
- Kaesler, A. (2009). *Agroforstwirtschaft zur Förderung der Artenvielfalt: Erarbeitung eines Schlüssels zur Bewertung des Naturschutzpotenzials und Anwendung an drei Fallbeispielen im Schweizer Mittelland* (Thèse de master, École polytechnique fédérale de Zurich, Département des sciences environnementales). <https://doi.org/10.3929/ethz-a-006050249>
- Kaesler, A., Palma, J., Sereke F., Herzog F. (2010). *Prestations environnementales de l'agroforesterie: Importance des arbres dans l'agriculture pour la protection des eaux et des sols, du climat, de la biodiversité et pour l'esthétique du paysage*. Rapport ART, 736, 2010, 1-12. <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/25675>
- Kahl, S., Wood, C.M., Eibl, M., & Klinck, H. (2021). *BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring*. Ecological Informatics (61).
- Keuskamp, J. A. et al. (2013). *Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems*. doi: 10.1111/2041-210X.12097
- Lauber K., Wagner G., & Gygax A. (2018). *Flora Helvetica – Illustrierte Flora der Schweiz / Flore illustrée de Suisse*. Édition Haupt, Berne
- Obrist, M.K., Boesch, R. (2018). *BatScope manages acoustic recordings, analyses calls, and classifies bat species automatically*. Can. J. Zool. (96): 939-954. doi: 10.1139/cjz-2017-0103. www.batscope.ch.
- Office fédéral de l'environnement (s.d.): *Monitoring de la biodiversité en Suisse: <https://www.biodiversitymonitoring.ch/>*
- Paesel, H. K., Schmitz, A., & Isselstein, J. (2019). *Heterogeneity and diversity of orchard grassland vegetation in Central Germany: role of tree stock, soil parameters and site management*. Agroforest Syst 93 (pp. 825–836).
- Settele, J. et al. (2014). *Tagfalter-Monitoring Deutschland*, GfS – Gesellschaft für Schmetterlingsschutz e.V. (Hrsg.), Oedippus Volume 27 (2014), Halle.
- Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN) (2020): *Handlungskonzept Streuobst Thüringen. Fachliche Standards zur Pflanzung und Pflege für die Eingriffsregelung und Förderung*. Erfurt.
- Westrich, P. (2015): *Wildbienen. Die anderen Bienen*. Munich
- Wiesbauer, H. (2020): *Wilde Bienen. Biologie, Lebensraumdynamik und Gefährdung*. 2^e édition élargie. Stuttgart

II. Protocole et fiches de relevés de végétation et de mauvaises herbes

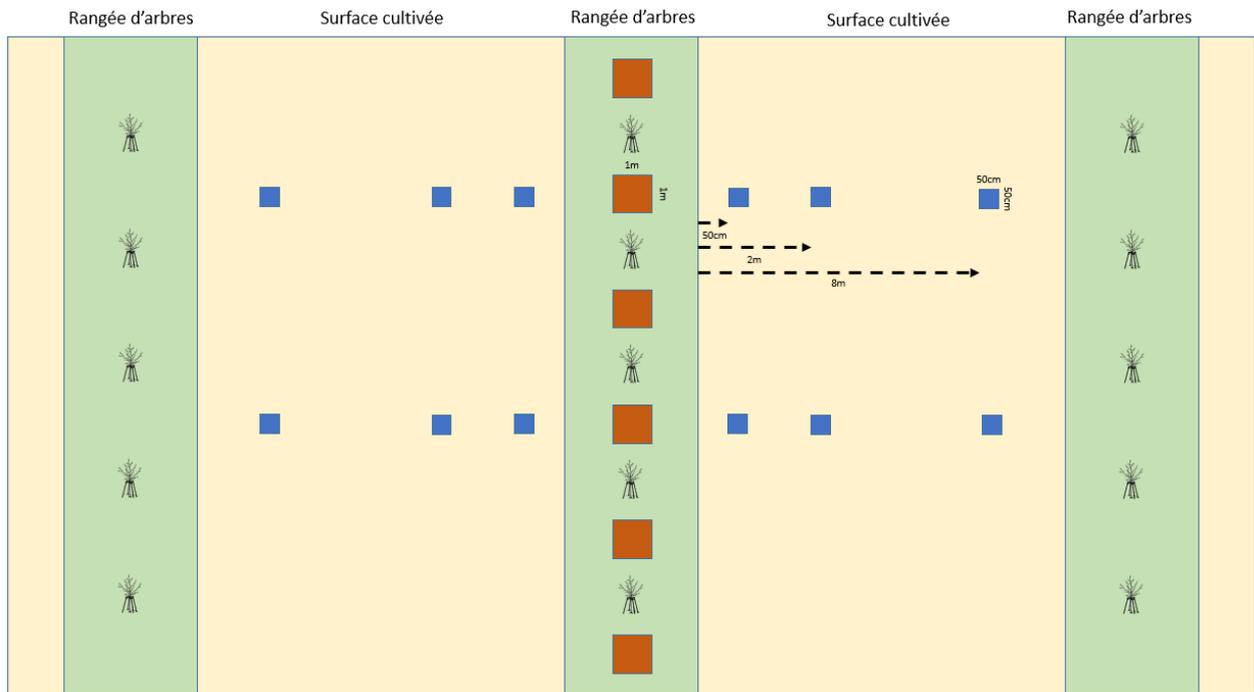
Relevés de végétation dans les rangées d'arbres

- Six relevés de 1 m x 1 m (carrés bruns sur la figure):
 - Mesure de la hauteur de végétation (moyenne de 4 mesures);
 - Détermination de toutes les espèces;
 - Estimation de la couverture¹ de chaque espèce en %:
 - 0,1 % = l'espèce n'est présente qu'une fois
 - 0,5 % = l'espèce est présente plusieurs fois, mais la couverture est négligeable
 - A partir de 1 %: valeurs continues;
 - Couverture totale;
 - Estimation en % de:
 - surfaces à litière
 - terres ouvertes.
- Si un système comporte trois rangées d'arbres, les six relevés sont effectués dans la rangée centrale. Si le système comporte plus de trois rangées d'arbres, les six relevés sont répartis sur plusieurs rangées, mais jamais sur les rangées extérieures.
- Dans les systèmes (sylvopastoraux) avec haies fourragères, les six relevés sont effectués en bordure de la haie, à une distance de 1 m de celle-ci.
- Les autres espèces observées en dehors des six zones de relevés sont ajoutées à la liste globale des espèces du système.

Relevés des mauvaises herbes

- Uniquement dans les systèmes sylvoarables
- Quatre transects avec trois plots de 50 cm x 50 cm à 0,5, 2 et 8 m du bord de la parcelle, 12 plots au total (cf. figure, carrés bleus)
- Pour chaque surface de relevés
 - Le degré de couverture des plantes cultivées est estimé (%);
 - Le recouvrement total par les adventices est estimé (%);
 - Chaque espèce d'adventice est déterminée et son taux de recouvrement est estimé (%) (comme pour les relevés de végétation) (%).
- Dans les champs semés de trèfle, de luzerne ou de mélanges pour prairies temporaires, les relevés d'adventices ne sont pas effectués.

¹ La somme des couvertures individuelles peut être supérieure à 100%, car les individus des différentes espèces peuvent se superposer.



III. Mode d'emploi AudioMoth

1 Matériel

Pour les mesures avec l'AudioMoth, il est nécessaire d'avoir le matériel suivant:

- Enregistreur AudioMoth
- Étui étanche IPX7 AudioMoth
- 3 piles (par ex. 3*AA 1,2V)
- Carte SD (adapter la capacité de mémoire à la durée d'enregistrement)
- Câble USB pour l'étalonnage
- Adaptateur Micro SD pour gérer les enregistrements audio

2 Configuration

Avant d'être utilisés sur le terrain, les appareils AudioMoth doivent être étalonnés.

1. Étape 1: Télécharger les applis AudioMoth

- Appli AudioMoth Flash
- Appli AudioMoth Time
- Appli AudioMoth Configuration

2. Étape 2: Introduire les piles et la carte SD dans l'appareil AudioMoth

Pour la configuration de l'appareil AudioMoth, les piles et la carte SD sont nécessaires. Une fois l'appareil étalonné, les piles ne doivent plus être retirées, car l'appareil ne possède pas de batterie interne pour sauvegarder les réglages.

3. Étape 3: Connecter l'AudioMoth au PC

Placer l'interrupteur de l'appareil AudioMoth sur USB/OFF. L'appareil peut ensuite être configuré. Attention! L'interrupteur est très fragile.

4. Étape 4: Mettre à jour le logiciel de l'AudioMoth

Utiliser l'application AudioMoth Flash pour télécharger la dernière version du logiciel sur l'appareil.

5. Étape 5: Configurer le temps

Dans l'application AudioMoth Time, l'heure peut être définie via «Set time». Dans l'application Configuration, sous le registre «File», l'option «Local Time» peut être sélectionnée et le fuseau horaire peut ainsi être adapté à l'endroit où l'appareil est utilisé.

6. Étape 6: Choisir les paramètres de mesure

L'application AudioMoth Configuration a trois registres: «Recording Settings», «Schedule» et «Advanced Settings» dans lesquels les réglages peuvent être opérés.

Recording Settings:

- Sample rate (kHz): La fréquence doit être adaptée aux espèces à enregistrer (par ex. oiseaux 48 kHz, chauves-souris 192 kHz).
- Gain: Adapter les mesures à l'environnement. En cas d'environnement bruyant, régler sur «Low». En forêt par exemple, l'option «Med» est recommandée. (<https://www.openacousticdevices.info/support/search/gain>).
- Enable sleep/record cyclic recording: réduit la taille des fichiers d'enregistrement
- Sleep duration: temps entre deux enregistrements. Selon le fabricant, il devrait être d'au moins 5 s pour que le fichier d'enregistrement se ferme correctement avant qu'un nouvel enregistrement ne commence.
- Recording duration: durée d'enregistrement

Schedule:

- Les réglages des périodes d'enregistrement sont adaptés aux espèces. Par exemple, les oiseaux sont enregistrés à partir du lever du soleil pendant 5 heures maximum. (Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916301426?via%3Dihub>)
- - La date de début et de fin des enregistrements peut être définie via «First/Last recording date».

Advanced Settings:

- Filtres: réglage des fréquences adaptées aux espèces cibles.
- Valeur limite pour l'amplitude: réduit les interférences pour empêcher l'enregistrement de bruits parasites. L'espace mémoire nécessaire par enregistrement peut être réduit. Une valeur de 512 est recommandée pour filtrer les bruits de fond. (Source: https://github.com/OpenAcousticDevices/Application-Notes/blob/master/Using_AudioMoth_with_Filtering_and_Amplitude_Threshold_Recording.pdf)
- Acoustic chime: Activation de l'AudioMoth uniquement après le signal «Chime» (via l'application)
- Utilisez la gamme de tension NiMH/LiPo pour l'indication du niveau de la batterie: état des piles.

En cliquant sur «Configure AudioMoth», les réglages sont enregistrés sur l'appareil. Si plusieurs appareils sont étalonnés, les réglages peuvent être enregistrés sous le registre «File» «Save Configurations» et retrouvés ultérieurement.

7. Étape 7: Répéter les étapes 2-6 pour tous les appareils

(L'étape 6 peut être raccourcie en reprenant la configuration enregistrée pour le premier appareil)

8. Étape 8: Démarrer les mesures

Une fois configurés, les appareils AudioMoth peuvent être installés sur le terrain. Pour cela, l'interrupteur doit être placé sur CUSTOM. L'appareil est alors prêt à l'emploi (ne pas oublier «Acoustic chime» si activé). Les appareils AudioMoth sont placés dans les boîtiers étanches AudioMoth IPX7. Veillez à ce que le microphone coïncide avec l'ouverture prévue.

IV. Prélèvement d'échantillons de sol

Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope		
Volume 1	Code	AF-PN
Prélèvement d'échantillon pour déterminer les caractéristiques et le niveau de fertilité du sol	Secteur d'utilisation	Conseil de fumure: Grandes cultures et herbages Caractérisation du site
Page 1 de 1		

1. Principe

Le principe consiste à obtenir un échantillon représentatif d'une parcelle à analyser pour la détermination des caractéristiques physiques et du niveau de fertilité du sol (à l'exception de l'azote).

2. Exécution

Appareils et ustensiles:

- (A) Sonde à terre (Ø 2-4 cm).
- (B) Bidon en plastique, 10 l.
- (C) Cornet en plastique, 2-3 l.

Mode opératoire:

Le prélèvement d'échantillon est effectué après la récolte et en tous cas avant la fumure de la culture suivante. Si la parcelle est homogène, un seul échantillon représentatif suffit. Lorsque le mode d'exploitation ou la végétation laisse supposer qu'il y a des différences importantes ou que des piqûres de sol se différencient par leur couleur ou d'autres caractéristiques, il y a lieu de prélever un échantillon moyen représentatif de chaque secteur homogène.

Pour chaque parcelle exploitée de la même manière depuis plusieurs années (rotation, fumure), on prélève 20 piqûres verticales (A) réparties de manière représentatives.

Profondeur de prélèvement:

Les échantillons sont prélevés aux profondeurs suivantes:

Prairies naturelles et pâturages (avec résidus végétaux)	0-10 cm
Grandes cultures et prairies artificielles (couches labourées)	0-20 cm

Après le prélèvement, les différentes piqûres sont mélangées dans un récipient (B) ou sur un support propre. Environ 1 kg de l'échantillon mélangé est emballé dans un cornet plastique (C).

Il y a lieu de veiller à ce que ni l'échantillon ni le cornet plastique (C) entrent en contact avec des fertilisants.

3. Remarques

- Les résultats d'une analyse de terre ne peuvent être interprétés valablement que lorsque l'échantillon est bien représentatif de la surface à analyser.
- Lorsque le sol est hétérogène ou que la végétation montre des différences évidentes, il y a lieu de prélever plusieurs échantillons séparés.
- Il est très important de prélever soigneusement et d'étiqueter clairement les échantillons.

Méthode établie		Révisé		Contrôlé et approuvé		Situation de révision	
le	par	le	par	le	par	version	version remplacée
13.01.95	FAL / FI	14.11.95	FAL / FI	25.01.96	FAL, FAW, RAC	01.02.96	Jan. 95

V. Évaluation de la qualité de l'habitat des systèmes agroforestiers pour les oiseaux

L'évaluation de l'habitat qui suit a été réalisée sur la base d'une vue aérienne (coordonnées MN95 2'551'665, 1'174'404) (fig. 13). Dans le tableau 4, chaque critère rempli (marqué d'un astérisque) donne droit à 1 point. Le maximum de points possible est de 14. Le tableau 4 s'insère dans le tableau 5 sous «4. Structure du paysage»).

Tableau 4: Check-list des habitats pour les espèces d'oiseaux à promouvoir dans les surfaces agroforestières du Plateau suisse (selon Kaeser 2009).

Type d'habitat	Présent (≥ 1 % de la surface de l'image aérienne)	Points supplémentaires (pour la quantité et la qualité)	Explications
Parcs et jardins dans les agglomérations		Pas de points supplémentaires	Comme il n'y a pas de zone d'habitation dans la surface considérée, le nombre de points est de 0 ici.
Arbres (en dehors de la forêt)	★	Pas de points supplémentaires	Il y a quelques arbres isolés près de l'exploitation en bas à droite du cercle ainsi que plusieurs rangées d'arbres.
Verger d'arbres haute-tige	Compte double	Vieux arbres (comptent double)	Il y a peut-être quelques arbres fruitiers près de l'exploitation en bas à droite, mais on ne peut pas parler d'un verger.
Vignobles		Pas de points supplémentaires	Aucun visible.
Buissons, haies, lisières de forêt	★	★ Plusieurs haies ou une haie riche en espèces ≥ 50 m / lisière étagée	Entre l'exploitation en bas à droite et les rangées d'arbres, on distingue une haie si on zoome suffisamment. La mesure avec l'outil «Mesurer» indique environ 200 m. On peut donc attribuer ici 1 point, plus 1 point supplémentaire.
Forêt clairsemée de feuillus/forêt mixte, forêt alluviale	★	★ Forêt ≥ 5 % de la surface de l'image aérienne	On distingue à certains endroits une forêt clairsemée de feuillus, reconnaissable au sol bien visible: 1 point. La forêt représente clairement plus de 5 % de la surface dans un rayon de 500 m.
Terres assolées, jachères	★	Jachère florale ≥ 1 ha ou plusieurs jachères florales	Les terres assolées sont clairement reconnaissables en haut à droite: 1 point. Les jachères florales peuvent être difficiles à reconnaître sur la photo aérienne, il ne semble pas y en avoir ici, donc pas de point supplémentaire.
Surfaces rudérales (p. ex. gravière)		Pas de points supplémentaires	Aucune visible.
Somme des types d'habitats et de leur quantité/qualité		6 ★	XX points sur un maximum de 14 points. Si le score est ≥ 7, le paysage peut être considéré comme ayant «beaucoup d'éléments paysagers» dans le tableau 5.

Tableau 5: Clé d'évaluation des espèces d'oiseaux à promouvoir dans les surfaces agroforestières, 1^{re} partie: «Site et état actuel» (selon Kaeser 2009).

Facteurs	Paramètres	Points possibles	Exemples de points	Explications
1. Climat local (relief)	Chaud / Ensoleillé (p. ex. pente exposée au sud)	1	0 ★	L'outil «Mesurer» permet de tracer une ligne de l'extrémité nord à l'extrémité sud de la parcelle. De plus, le champ de recherche permet de rechercher et de sélectionner la carte «Terrains en pente». S'il y a une pente de plus de 18 % vers le sud, un point peut être attribué. Comme ce n'est pas le cas ici, il y a donc 0 point. La carte «Terrains en pente» peut ensuite être désélectionnée via le menu «Cartes affichées» sur le côté gauche.
2. Type d'exploitation jusqu'ici	Fumure extensive, pesticides et coupe	1,5		Cette information n'est pas toujours claire à déceler sur la vue aérienne. Les sources possibles sont alors l'agricultrice/l'agriculteur exploitant ou les cartes d'utilisation cantonales. Dans ce cas, la photo aérienne indique une utilisation intensive (0 point) et la présence d'herbages (1,5 point).
	Fumure intensive, pesticides et coupe	0		
	Herbages en majorité	1,5	1,5 ★	
	Grandes cultures en majorité	0		
3. Exploitation et mise en réseau avec les surfaces environnantes	Surfaces extensives dans les environs (≥ 50 %)	1		La vue aérienne indique que plus de 50 % de la surface est utilisée de manière intensive pour les grandes cultures et les herbages (0 point). En revanche, les herbages et les forêts représentent plus de 50 % de la surface (1 point). Les terres assolées et les agglomérations représentent moins de 50 %. L'environnement peut être considéré comme interconnecté en raison des rangées d'arbres, des haies et de la structure de la forêt (1 point).
	Surfaces intensives dans les environs (> 50 %)	0		
	Herbages+forêt (≥ 50 %)	1	1 ★	
	Terres assolées+agglomération (> 50 %)	0		
	Mise en réseau (≥ 5 % arbres/haies/buissons)	1	1 ★	
	Pas de mise en réseau, surfaces plutôt isolées	0		
4. Structure du paysage	Beaucoup d'éléments paysagers (tabl. 4, plus haut)	3	3 ★	Sur la base du tableau 4 déjà rempli, 3 points peuvent être attribués ici. Si le total des points du tableau 4 est inférieur à 7, aucun point n'est attribué.
	Peu d'éléments paysagers	0		
5. Parcelle	Grande (≥ 10 ha) / autres surfaces agroforestières dans les 500 m	1,5		Si elle n'est pas connue, la surface peut être déterminée à l'aide de l'outil «Mesurer». Il s'agit d'une surface inférieure à 10 ha et il n'y a pas de surfaces agroforestières à proximité: 0 point. La surface est plutôt carrée qu'étroite et longue (0 point).
	Petite (< 10 ha) et pas d'autres surfaces agroforestières dans les 500 m	0	0 ★	
	Étroite et longue	1,5		
	Plutôt carrée	0	0 ★	
6. Pool d'espèces ²	Beaucoup d'espèces à promouvoir	1,5	1,5 ★	Si plus de cinq espèces d'oiseaux de la liste en annexe III sont présentes dans le canton où se trouve la surface, 1,5 point est attribué. Pour le canton de Vaud, c'est le cas.
	Peu d'espèces à promouvoir	0		
	2 espèces vulnérables ou fortement menacées / en danger d'extinction	1,5		La deuxième partie est axée sur le statut de menace des espèces d'oiseaux présentes dans ce canton. Cette information est disponible sur le site de la Station ornithologique. Aucune des espèces présentes dans le canton de Vaud ne figure sur la liste rouge, donc 0 point ici.
	Seulement 1 espèce vulnérable ou potentiellement menacée	0,5		
	Aucune espèce n'est sur la liste rouge	0		

² Données de la Station ornithologique suisse ou de personnes expertes en matière d'oiseaux sur place.

7. Réserve naturelle ou autre surface de promotion (p. ex. site pauvre sur surface de gravier après érosion)	Situation dans/près (≤ 500 m) d'une réserve naturelle ≥ 1 ha ou de plusieurs ou d'une surface de promotion située à 500 m	2		Les réserves naturelles peuvent être recherchées et sélectionnées sur map.geo.admin.ch. Elles peuvent être affichées via «Pro Natura Réserves naturelles». Dans ce cas, aucune réserve naturelle ne se trouve dans un rayon de 500 m: 0 point.
	Situation dans/près (≤ 500 m) d'une seule réserve naturelle < 1 ha	1		
	Pas de réserve naturelle/surface de promotion à 500 m	0	0 ★	
Somme intermédiaire «Site et état actuel»			8 ★	
Nombre maximum de points possibles à titre de comparaison		18		

Tableau 6: Clé d'évaluation des espèces d'oiseaux à promouvoir dans les surfaces agroforestières, 2e partie: «Mise en place du système agroforestier» (selon Kaeser 2009).

Facteurs	Paramètres	Points possibles	Exemples de points
8. Espèces d'arbres	Espèces d'arbres indigènes, adaptées au site	1	1 ★
	Espèces d'arbres étrangères au site	0	
9. Disposition et densité des arbres	Espacés (≤ 50 arbres/ha)	1	1 ★
	Serrés (> 50 arbres/ha)	0	
	Orientation est-ouest des rangées	1	
	Orientation nord-sud des rangées	0	0 ★
Somme intermédiaire «Mise en place du système agroforestiers»			2 ★
Nombre maximum de points possibles à titre de comparaison		3	

Tableau 7: Clé d'évaluation des espèces d'oiseaux à promouvoir dans les surfaces agroforestières, 3e partie: «Exploitation du système agroforestier» (selon Kaeser 2009).

Facteurs	Paramètres	Points possibles	Exemples de points
10. Exploitation agricole (de la surface entre les arbres)	Herbages uniquement	2	
	Terres assolées et herbages (les bandes sous les arbres ne comptent pas)	2	
	Terres assolées uniquement (avec/sans bandes sous les arbres)	0	0 ★
	Pâturage/herbe fauchée/mulch	1	
	Surfaces herbagères coupées court / sol ouvert	1	
11. Entretien des arbres (ne cocher qu'une possibilité)	Arbres en majorité non ébranchés très haut, pas de bois d'œuvre	1	1 ★
	Arbres en majorité élagués très haut (bois d'œuvre), branches coupées en tas au sol	1	
	Arbres en majorité élagués très haut (bois d'œuvre), pas de branches coupées en tas au sol	0	
	Bandes herbacées avec arbustes	3	
	Bandes herbacées sans arbustes	0	0 ★

Ne remplir que si les terres assolées sont majoritaires: 12. Exploitation des bandes sous les arbres	Bandes larges (≥ 3 m)	1	
	Bandes étroites (< 3 m)	0	0 ★
Ne remplir que si les herbages sont majoritaires (ne cocher qu'une possibilité):	Herbages avec beaucoup d'arbustes	4	
	Herbages avec peu/pas d'arbustes	2	
13. Intensité d'exploitation	Pas de fumure/fumure extensive et pas de pesticides	3	
	Fumure intensive et/ou emploi de pesticides	0	0 ★
	Pâturage extensif ou prairie/bandes sous les arbres avec ≤ 2 coupes/an	1	
	Prairie/bandes sous les arbres avec plus de 2 coupes/an	0	
14. Protection de la nature et autres mesures d'entretien (concernent aussi les éléments déjà en place et les surfaces adjacentes)	Nichoirs ou vieux arbres pour les oiseaux qui s'abritent dans les trous d'arbres	1	1 ★
	Arbustes ou haies pour les oiseaux qui nichent dans les buissons	1	
	Jachère florale ou herbages extensifs	1	
	Végétation au sol lacunaire ou rase	1	
Somme intermédiaire «Exploitation de la surface»			2 ★
Nombre maximum de points possibles à titre de comparaison		15	