

FiBL



Ferme bio
les **SAPINS**



Rapport des 10 ans du projet BioDiVerger

Contact: Flore Araldi flore.araldi@fibl.org

Lausanne, septembre 2024

Préambule

Commentaire personnel de Théo Grossenbacher, Ferme Bio Les Sapins

Nous, l'équipe de la ferme Bio Les Sapins, nous nous sommes lancés avec conviction dans le projet BioDiVerger car nous voulions voir ce qui est possible de créer en biodiversité dans un verger basse-tiges ! Le monde arboricole parlait beaucoup de biodiversité ; nous voulions apporter notre pierre à l'édifice ! Dès le départ on a compris qu'il fallait se contenter du « lieu particulier » et des moyens limités pour la réalisation. Nous y avons mis toute notre verve pour aboutir.

Combien de moments géniaux avons-nous vécu au milieu de ce verger pas comme les autres !

Ce rapport ci-après n'est pas en mesure de refléter la quantité de magnifiques impressions vécues durant les saisons passées. Des difficultés aussi, de toute évidence... (merci le déséquilibre des écosystèmes de notre monde occidental).

Et en dernier, nous avons pu payer notre travail avec les récoltes. Yes we can!

Grace au soutien à la mise en place de la part du canton de VD et la contribution du FiBL, le BioDiVerger a pu être lancé et va maintenant **continuer à exister** et être une part de l'approvisionnement en magnifiques productions biologiques, durables et biodiverses à notre ferme et pour le plaisir de notre aimable clientèle !

Colombier-sur-Morges, septembre 2024

Remerciements

Ce travail est le fruit d'un projet unique en Suisse qui a été porté et l'est encore par de nombreuses personnes. Que ce soit la Ferme bio Les Sapins qui est le véritable pilier du projet, la DGAV qui a soutenu le projet dès sa naissance, tous les collaborateurs du FiBL (et d'ailleurs) qui ont participé au recueil ou à la valorisation des données ou encore les visiteurs qui ont pu s'inspirer de cet endroit, chacun.e a contribué et a permis au BioDiVerger de rayonner jusqu'à ce jour et nous l'espérons encore pour longtemps.

L'écriture du présent rapport est un des jalons du projet et a mobilisé de nombreuses mains, que nous tenons à remercier sincèrement. Il nous a permis à tous.tes d'apprendre énormément, de remettre en question nos idées et nous vous souhaitons d'en faire autant.

Le projet ayant la chance d'être dynamique, nous prions nos lecteurs de ne pas hésiter à nous transmettre leurs retours.

Table des matières

Table des figures.....	5
Table des tableaux	7
Table de images	8
Introduction.....	9
1 Description du projet	10
1.1 Le BioDiVerger – définition du projet.....	10
1.2 Organisation et gestion du projet.....	11
1.3 Situation géographique	12
1.4 Situation pédoclimatique.....	13
1.4.1 Climat.....	13
1.4.2 Substrats géologiques et types de sols.....	15
1.5 Objectifs du projet	15
1.6 Conception et design.....	16
1.6.1 Agroforesterie.....	18
1.6.2 Verger-épicerie	19
1.7 Étapes de réalisation.....	21
1.8 Techniques culturales	22
2 Suivi pédologique.....	24
2.1 Comparatifs.....	25
2.2 Échantillonnage.....	26
2.3 Méthodes d’analyses de sols et tests appliqués	26
2.3.1 Méthodes d’analyses visuelles.....	27
2.3.2 Méthodes d’analyses en laboratoire.....	29
2.4 Résultats et discussion.....	32
2.4.1 Analyses visuelles.....	32
2.4.2 Analyses en laboratoire	38
2.5 Synthèse	50
3 Suivi phytosanitaire	52
3.1 Méthodologie.....	52
3.2 Résultats.....	53
3.2.1 Verger agroforestier.....	53
3.2.2 Verger permacole.....	59
3.3 Synthèse	62
4 Suivi de la biodiversité	63
4.1 Suivi des arthropodes auxiliaires.....	63

4.2	Travaux de master et étude.....	64
4.3	Avantages et limites du système.....	64
4.4	Synthèse	66
5	Analyse de durabilité environnementale.....	67
5.1	L'analyse SMART.....	67
5.2	Dimension Intégrité environnementale.....	67
5.3	Synthèse	69
6	Analyse économique	70
6.1	Relevé des données.....	70
6.2	Analyse de la rentabilité économique du verger agroforestier	70
6.2.1	Les coûts de production.....	71
6.2.2	Production, produits d'exploitation, marge brute et bénéfice	80
6.3	Analyse de la rentabilité économique du verger-épicerie.....	84
6.3.1	Les coûts de production.....	84
6.3.2	Production, produits d'exploitation, marge brute et bénéfice	88
6.4	Synthèse	91
7	Communication autour du BioDiVerger	93
	Conclusion.....	94
	Impressum.....	96
	Références	97
	Annexe 1	100
	Annexe 2.....	106
	Annexe 3.....	107
	Annexe 4.....	110
	Annexe 5.....	112
	Annexe 6.....	114
	Annexe 7.....	116
	Annexe 8.....	122

Table des figures

Figure 1 : Schéma des parties impliquées dans le projet du BioDiVerger	12
Figure 2 : Plan cadastral de la parcelle du BioDiVerger (Source : © DGAV, Mayor P.)	13
Figure 3 : Moyennes des précipitations [mm] et températures moyennes, minimales et maximales [C°] par année sur le site de Marcelin, de 2013 à 2022.....	14
Figure 4 : Moyennes mensuelles des années 2013 à 2022 des précipitations [mm] et températures moyennes, minimales et maximales [C°] sur le site de Marcelin.	14
Figure 5 : Carte géologique du site de Marcelin du projet BioDiVerger. (1) Verger conventionnel, (2) Verger bio classique, (3) Verger agroforesterie et (4) Verger épicerie (permaculture), tirée de Cartes de la Suisse - Confédération suisse - map.geo.admin.ch.....	15
Figure 6 : Schéma de la Fleur de Holmgren, Principes de la permaculture (Source : http://revolution-lente.coerrance.org/permaculture.php)	18
Figure 7 : Schéma représentatif des 7 étages de végétation proposé par Robert Hart 1996 (traduit de l'anglais au français par FiBL)	20
Figure 8 : Moyenne des scores VESS pour chaque parcelle. Les notes maximales et minimales sont représentées par les barres noires.	32
Figure 9 : Moyenne des scores VESS effectués dans les rangs et dans l'interrang pour les parcelles Agroforesterie (AF), verger épicerie, bio classique et conventionnel.....	33
Figure 10 : Moyennes des scores VESS obtenues entre 2020 et 2022	33
Figure 11 : Répartition du nombre d'individus pour chaque catégorie écologique par parcelle.....	34
Figure 12 : Répartition en biomasse pour chaque catégorie écologique par parcelle.....	35
Figure 13 : Comparaison des abondances de vers de terre entre 2020 et 2022	36
Figure 14 : Comparaison de biomasse de vers de terre entre 2020 et 2022.....	37
Figure 15 : Comparaison d'anéciques présents au m ² entre 2020 et 2022.....	37
Figure 16 : Comparaison de la biomasse au m ² d'anécique présents entre 2020 et 2022	38
Figure 17 : Triangle de texture représentant la classe texturale des parcelles (classification USDA). Les données utilisées datent de 2013, 2015 et 2022	39
Figure 18 : Teneur en matière organique des 5 parcelles en 2020. Les appréciations sont mentionnées au-dessus des valeurs.	39
Figure 19 : Évolution de la teneur en matière organique sur le BioDiVerger entre 2013 et 2020.....	40
Figure 20 : Teneur en matière organique (MO) sur chaque parcelle entre 2020 et 2022.....	40
Figure 21 : ratio MO/argiles [%] représentant les ratios de chaque parcelle. La droite linéaire correspond à un seuil de ratio 17.	41
Figure 22 : Éléments de réserve des 5 parcelles en 2020. L'appréciation de la concentration est indiquée au-dessus de l'histogramme. S = satisfaisant, R = riche, TR = très riche.	43
Figure 23 : Éléments solubles des 5 parcelles en 2020. L'appréciation de la concentration est indiquée au-dessus de l'histogramme. M = médiocre, S = satisfaisant, R = riche, TR = très riche.....	43
Figure 24 : Évolution de la concentration en éléments de réserve sur la partie arboriculture de verger agroforestier.....	44
Figure 25 : Évolution de la teneur en éléments réserve sur le verger épicerie	44
Figure 26 : Éléments solubles par parcelle, en 2022. M = Médiocre, S = Satisfaisant, R= Riche	45
Figure 27 : Éléments de réserve de chaque parcelle, en 2022. M = Médiocre, S = Satisfaisant, R = Riche	45
Figure 28 : Quantité d'ATP par parcelle en 2022. R = Riche, R-TR = Riche à très riche	48
Figure 29 : Quantité d'ATP par parcelle en 2020 et 2022	48
Figure 30 : Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2022. R = Riche, R-TR = Riche à très riche.....	49
Figure 31 : Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2020 et 2022.....	49
Figure 32 : Rapport de CO ₂ /ATP en 2022. M-S = Médiocre à suffisant, S = Satisfaisant.	50
Figure 33 : Evolution du rapport de CO ₂ /ATP entre 2020 et 2022.....	50

Figure 34 : Echelle d'évaluation SMART	67
Figure 35 : Résultats du BioDiVerger pour la dimension Intégrité environnementale.....	68
Figure 36 : Composition des coûts de production pour le verger agroforestier de 2013 à 2023.....	71
Figure 37 : Détail du coût des fournitures pour le verger agroforestier de 2013 à 2023.....	71
Figure 38 : Evolution de la quantité totale et du coût de main-d'œuvre (sans chef) du verger agroforestier de 2013 à 2023.....	73
Figure 39 : Evolution des heures de main-d'œuvre par tâche pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) de 2015 à 2023.....	74
Figure 40 : Moyennes annuelles des heures de main-d'œuvre par tâche du verger agroforestier (A) et de ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) lors de deuxième phase de 2018 à 2023.....	75
Figure 41 : Evolution du coût du machinisme par tâche pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) de 2017 à 2023.....	78
Figure 42 : Moyennes annuelles du coût du machinisme par tâche pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) lors de la deuxième phase de 2018 à 2023.	79
Figure 43 : Production, produits d'exploitation, coûts de production, marge brute et bénéfice pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) de 2016 à 2023.....	80
Figure 44 : Part des produits vendus en classe I (%) pour le verger agroforestier de 2015 à 2023.	81
Figure 45 : Répartition du produit d'exploitation du verger agroforestier par production maraîchère et arboricole de 2015 à 2023	82
Figure 46: Composition des coûts de production du verger-épicerie de 2013 à 2023.	84
Figure 47: Evolution du coût des fournitures du verger-épicerie de 2013 à 2023.....	85
Figure 48 : Evolution de la quantité totale et du coût de main-d'œuvre (sans chef) du verger-épicerie de 2013 à 2023.	86
Figure 49 : Evolution de la répartition des heures de main-d'œuvre par tâche dans le verger-épicerie de 2015 à 2023.	86
Figure 50 : Répartition moyenne annuelle des heures de main-d'œuvre par tâche dans le verger-épicerie lors de la deuxième phase de 2018 à 2023.....	87
Figure 51 : Evolution du coût du machinisme par tâche dans le verger-épicerie lors de la deuxième phase de 2018 à 2023.....	88
Figure 52 : Répartition moyenne des coûts de machinisme par tâche dans le verger-épicerie lors de la deuxième phase de 2018 à 2023.	88
Figure 53 : Produits d'exploitation, coûts de production (avec main-d'œuvre), marge brute et bénéfice pour le verger-épicerie de 2016 à 2023.	89
Figure 54 : Evolution de la production et des produits d'exploitation pour le verger-épicerie de 2016 à 2023.....	89
Figure 55 : Evolution de la part des produits vendus en classe I(%) pour le verger-épicerie de 2016 à 2023.....	90

Table des tableaux

Tableau 1 : Objectifs spécifiques à chaque partie du BioDiVerger (Source : FiBL, 2013)	16
Tableau 2 : Répartition des efforts entre un système agricole conventionnel et un système permacole (Source : © FiBL, Bougouin H.).....	17
Tableau 3 : Principales étapes du projet, avec respectivement les résultats attendus ainsi que leurs échéances.....	21
Tableau 4 : Principaux travaux des différentes surfaces. Les tâches ne sont pas réalisées uniformément sur les différentes parcelles.....	22
Tableau 5 : Analyses de sol et tests effectués sur le terrain BioDiVerger et les vergers adjacents depuis 2013. * Uniquement Af Arbo.** uniquement Verger épicerie	27
Tableau 6 : Abondances de lombriciens issues de l'extraction à la farine de moutarde (+ extraction manuelle). Moyennes des résultats obtenus sur chacune des parcelles avec les différentes proportions des catégories écologiques de vers de terre en [%]. Ind/m ² = Individu au m ²	34
Tableau 7 : Biomasses de lombriciens issues de l'extraction à la farine de moutarde (+ extraction manuelle). Moyennes des résultats obtenus sur chacune des parcelles avec les différentes proportions des catégories écologiques de vers de terre.....	35
Tableau 8 : Résumé des caractéristiques de sols échantillonnés. CEC : capacité d'échange cationique [%], pH, MO : matière organique [%], teneur en argiles, limons (silt) et sables (2022).....	38
Tableau 9 : Résultats des analyses de CEC obtenues pour chaque parcelle. La somme des éléments est représentée par le % de saturation (sat.), H = % hydrogène, K = % de potassium, Ca = % de calcium, Mg = % magnésium, Na = % de sodium.....	41
Tableau 10 : Valeurs cibles de taux de saturation des différents cations (gauche) ; Appréciation de la CEC (droite) tirée de Collaud et al.,(1990).....	42
Tableau 11 : Cuivre total en mg/kg. Les valeurs en rouge dépassent la valeur indicative de l'OSol (40 mg/kg).....	46
Tableau 12 : Résultats des battages d'auxiliaires de l'année 2023 sur des pommiers au verger agroforestier, verger-épicerie et au verger bio classique. Les fourmis ont également été comptées, car elles sont indicatrices de présence des pucerons.	63
Tableau 13 : Récapitulatif des coûts cumulés de mise en place du verger agroforestier (2013-2015).72	
Tableau 14 : Moyennes annuelles (2018-2023) des heures de main-d'œuvre du verger agroforestier, rapportées à l'hectare, comparées à celles d'une production de pommes de table bio et d'une micro-ferme maraîchère. La surface du verger agroforestier se compose comme suit : surfaces arboricole (2'096m ²) + maraîchère (410m ²) + biodiversité (1'894m ²) = 4'400 m ²	76
Tableau 15: Production, produits d'exploitation et marge brute annuels moyens de la seconde phase (2018-2023) du verger agroforestier et extrapolation à un hectare théorique.....	82
Tableau 16 : Comparaison des marges brutes moyennes de la seconde phase (2018-2023) avec les productions de référence : Pomme de table Bio (Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL) et Micro-ferme maraîchère (FiBL).....	83
Tableau 17 : Récapitulatif des coûts cumulés de mise en place du verger-épicerie (2013-2015) et extrapolation à l'hectare théorique	85
Tableau 18 : Moyenne annuelle des heures de main-d'œuvre du verger-épicerie, comparée à celle d'une production de pommes de table bio (Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL) de 2018 à 2023 ...	87
Tableau 19 : Production, produits d'exploitation et marge brute annuels moyens de la seconde phase (2018-2023) du verger épicerie et extrapolation à un hectare théorique.....	90

Table de images

Image 1 : Vue aérienne de la parcelle du BioDiVerger (Source : © DGVA, Mayor P.). En bleu : lignes fruitières ; en orange : planches maraîchères, en rose : haies composites ; en violet : fruitiers haute tige ; en rouge : alternance de lignes fruitières et de baies.....	11
Image 2 : Plantation modulaire de la partie Agroforesterie du BioDiVerger (Photo : © FiBL, Tschabold J-L.).....	19
Image 3 : Cucurbitacées et bourrache présentes au verger-épicerie (Source : © FiBL, de Robert Montal M.).....	20
Image 4 : Vue aérienne du BioDiVerger (en noir et en jaune), ainsi que des parcelles voisines ; le verger Bio classique (en vert) et le verger conventionnel (en rouge).....	25
Image 5 : Anécique prélevé dans le verger conventionnel faisant plus de 15 [cm] pour un poids de 4 [g]	38
Image 6 : Plan des couches géologiques présentes sur le site de Marcelin. Source : https://www.geo.vd.ch/	46
Image 7 : Situation de la zone d'étude (encadrée en rouge), en contrebas du coteau de vigne du domaine de Marcelin. Source: https://map.geo.admin.ch/	47
Image 8 : <i>Coccinella septempunctata</i> sur feuille de pommier (Photo : Robin Sonnard)	63
Image 9 : Bande fleurie entre deux lignes d'arbres (Photo : Robin Sonnard).....	65
Image 10 : Visite du BioDiVerger (Source : FiBL)	93

Introduction

Face aux défis posés par les circuits longs et les problèmes de rentabilité dans le domaine agricole, une tendance émergente se dessine : la volonté croissante de diversifier les productions au sein de l'exploitation et de favoriser les circuits courts. Un mouvement qui s'inscrit dans une perspective de palier à la prépondérance des circuits longs, tout en cherchant à accroître la rentabilité des productions agricoles.

Dans ce contexte, un engouement marqué se manifeste en faveur des techniques de production alternatives, orientées vers la réduction de l'emploi des produits phytosanitaires et le renforcement de la résilience des exploitations. Des intérêts notables émergent également pour des approches telles que la permaculture et l'agroforesterie, soulignant ainsi la nécessité de repenser les pratiques agricoles conventionnelles.

Les vergers biologiques actuels présentent peu de différences dans leur conception par rapport à ceux conduits en agriculture conventionnelle, notamment avec des caractéristiques telles que les cultures monovariétales et un espace limité pour la diversité écologique. C'est dans ce contexte que le projet initié en 2012 en Suisse romande prend tout son sens. Son objectif principal est la création d'un verger novateur, dont les principes fondateurs sont directement inspirés de la permaculture et de l'agroforesterie. La diversification des espèces et variétés cultivées constitue un axe majeur de cette initiative, tout comme l'augmentation des surfaces dédiées à la promotion de la biodiversité, contribuant ainsi à la création d'un écosystème agricole plus résilient et durable, permettant de diminuer le temps de travail.

I Description du projet

I.1 Le BioDiVerger – définition du projet

Le projet BioDiVerger est né du désir de créer une innovation au verger bio actuel, hérité des conceptions de la production conventionnelle. En effet la conception des vergers bio dits « intensifs » ne se différencie pas ou très peu de celle des vergers conventionnels dont ils ont repris le design. Ils abritent souvent une seule variété, et la part des surfaces écologiques nécessaire à leur équilibre est faible ou inexistante (Tschabold, 2013).

Le BioDiVerger intègre une grande diversité de produits cultivés ainsi que des éléments destinés à accueillir la biodiversité. Au total une centaine d'espèces végétales composent le verger. L'idée est de réduire les intrants et augmenter la biodiversité afin d'obtenir un écosystème résilient et diminuer au maximum le temps de travail. Le projet a également la volonté de rapprocher le consommateur de la production et des denrées agricoles (circuits courts).

Le BioDiVerger comprend deux parcelles distinctes :

- Le verger agroforestier. Réparti sur 4'400 m², ce verger présente une plantation modulaire où alternent des lignes d'arbres fruitiers, des cultures maraîchères et des surfaces écologiques constituées de haies, de bandes florales et de structures favorisant les auxiliaires et prédateurs (Sobkowiak, 2014). Les cultures maraîchères sont réparties en trois bandes d'un total de 500 m². Il répond à la définition d'agroforesterie qui est l'intégration délibérée sur une même parcelle de plantes ligneuses pérennes à des grandes cultures, des cultures horticoles ou des systèmes d'élevage. (Liniger, 2011).
- Le verger-épicerie. D'une surface de 900 m², ce verger est d'un genre très différent. Afin de suivre le principe de la permaculture, toutes les productions (baies, fruits, légumes) ainsi que les plantes sauvages cohabitent dans une distribution spatiale proche d'un écosystème forêt (Whitefield, 2011). La permaculture, qui vise à s'inspirer de la nature pour développer des systèmes agricoles en synergie, se base sur la diversité des cultures, leur résilience et leur productivité naturelle (Holmgren, 2013). Cette partie du verger est destinée à l'autocueillette.

L'Image I présente une vue aérienne du BioDiVerger, avec ses deux parties distinctes.

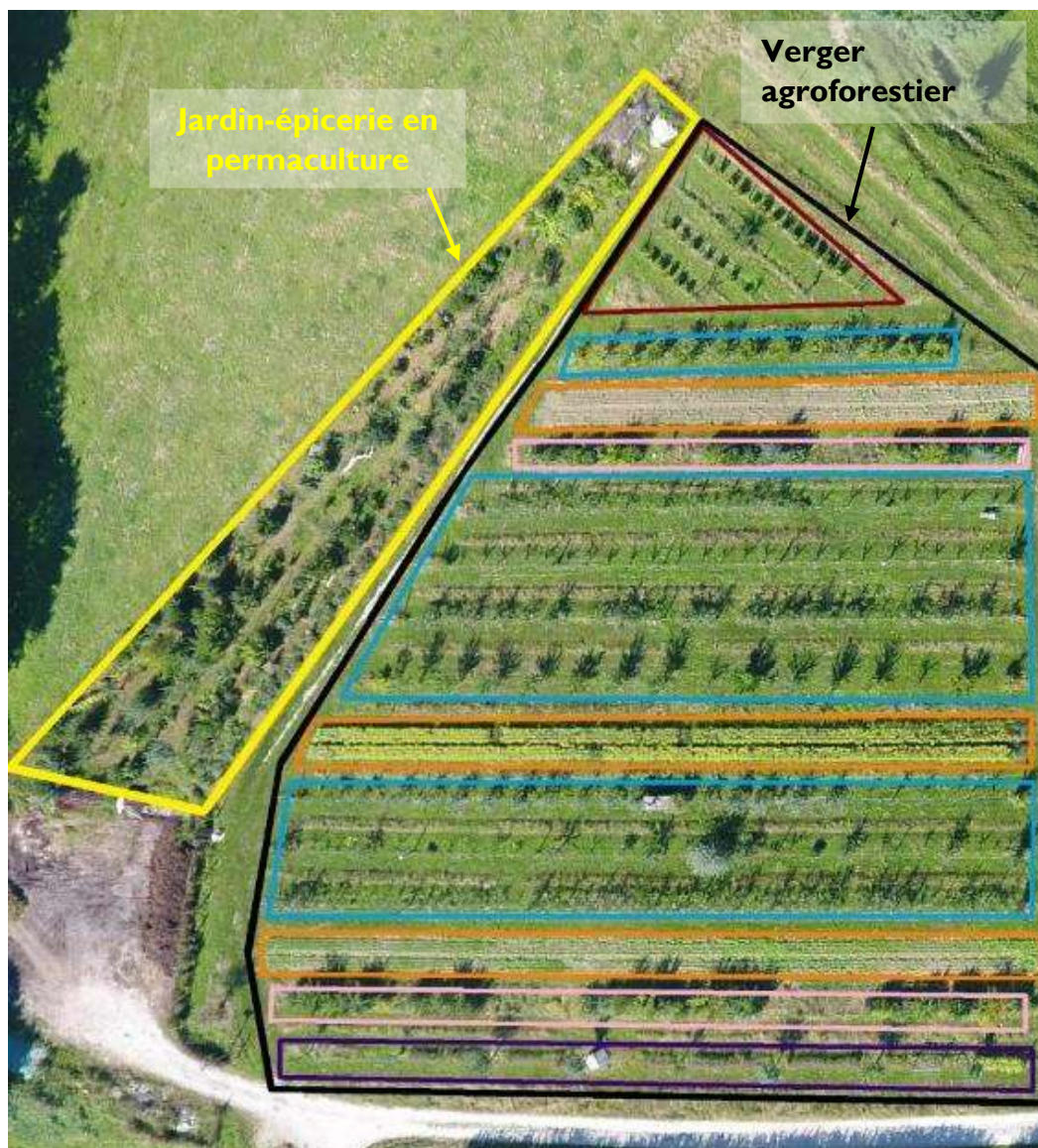


Image 1 : Vue aérienne de la parcelle du BioDiVerger (Source : © DGVA, Mayor P.). En bleu : lignes fruitières ; en orange : planches maraîchères, en rose : haies composites ; en violet : fruitiers haute tige ; en rouge : alternance de lignes fruitières et de baies.

Ce projet est mené conjointement par la Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires du Canton de Vaud (DGAV), par l'institut de recherche sur l'agriculture biologique (FiBL) et par la Ferme bio Les Sapins (située à 5km du site).

Ce projet a une vertu d'expérimentation qui servira de référence pour étendre tout ou partie des techniques développées aux producteurs professionnels à plus long terme. Toutefois, les informations mentionnées dans ce rapport sont empiriques, car les travaux de recherches scientifiques ont été vus comme impossibles à réaliser par un groupe de spécialistes.

1.2 Organisation et gestion du projet

Ce projet est dirigé par un COPIL (comité de pilotage) qui comprend, comme expliqué précédemment, la Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires du Canton de Vaud (DGAV), l'institut de Recherche de l'Agriculture Biologique (FiBL) et la Ferme biologique Les Sapins qui est située à Colombier/Morges. La Figure 1 indique, de manière schématisée, les parties prenantes du projet.

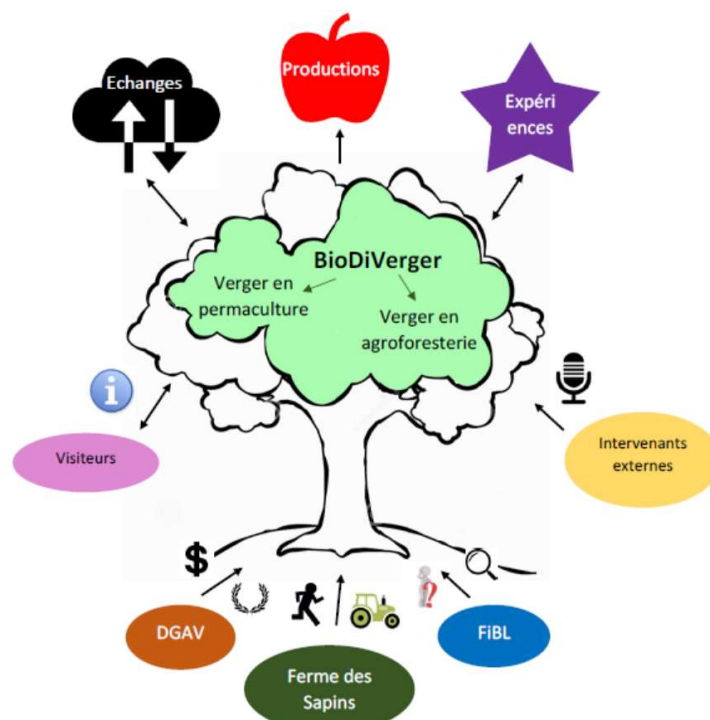


Figure 1 : Schéma des parties impliquées dans le projet du BioDiVerger

La DGAV assure la direction et le financement du projet.

Le FiBL amène son appui technique au niveau de la conception et du suivi du verger, ses connaissances au niveau de la permaculture et réalise le suivi économique.

La DGAV et le FiBL proposent régulièrement des visites du verger et l'utilisent à des fins pédagogiques comme support de cours.

La Ferme bio Les Sapins a pour rôle la plantation et l'entretien des cultures, les récoltes et la valorisation des produits.

Le COPIL se réunit deux fois par année de façon à suivre au mieux l'avancement du projet. Lors de ces réunions, un état des lieux est réalisé, les observations de chaque partie sont avancées et des idées sont amenées. Le COPIL est également à l'origine des grandes lignes directrices qui forment la trame de conduite du BioDiVerger.

Le COPIL est élargi selon les thèmes à traiter. Divers représentants des professions concernées (comme des membres de l'Union Fruitière Lémanique) peuvent être inclus dans les discussions.

1.3 Situation géographique

Le verger expérimental, dit BioDiVerger, a été mis en place en 2013 et est situé sur la commune de Morges, sur une parcelle appartenant à l'Etat de Vaud, au sein du site de l'école d'agriculture de Marcelin (Agrilogie). La parcelle, présentée par la Figure 2 est d'une surface d'environ 5300 m², divisée comme suit :

- Verger agroforestier : 4 400 m² ; dont 400 m² de maraîchage
- Verger-épicerie : 900 m²

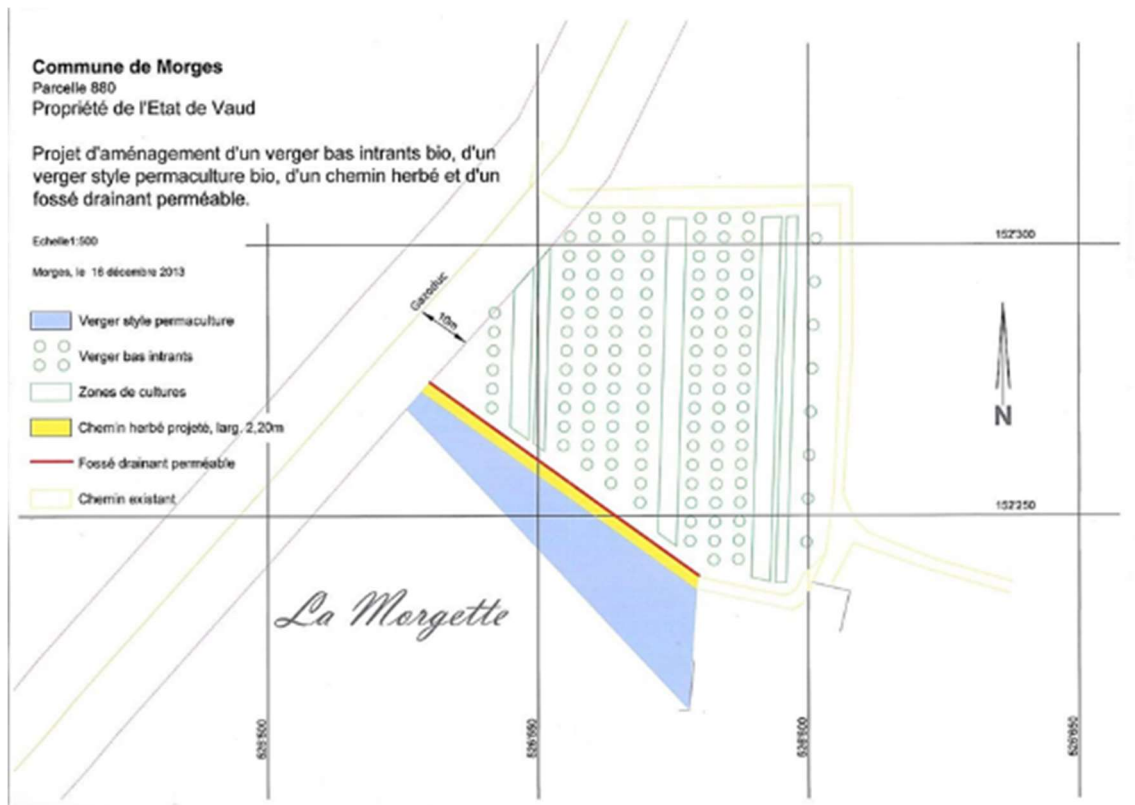


Figure 2 : Plan cadastral de la parcelle du BioDiVerger (Source : © DGAV, Mayor P.)

Le concept souhaite que le BioDiVerger ne bénéficie pas d'une alimentation directe en eau en dehors des pluies. Cependant, les conditions climatiques des dernières années ont impliqué des apports d'eau ponctuels et très limités afin d'assurer le démarrage des arbres fruitiers et des productions maraîchères.

I.4 Situation pédoclimatique

I.4.1 Climat

Le site de Marcelin, sur lequel le BioDiVerger a pris place, se situe à une altitude de 430 m. Les températures en hiver varient entre -5 et 5 C° en moyenne, et entre 15 et 35 C° en moyenne en été. Le mois le plus froid est en moyenne janvier, et le plus chaud en moyenne est juillet. Entre 2013 et 2022, la température minimale enregistrée a été de -10.4 C° (février 2018) et la température maximale de 37.3 C° (juillet 2019).

La pluviométrie annuelle moyenne entre 2013 et 2022 est d'environ 850 mm. Généralement, les mois les plus secs sont ceux de mars et septembre, avec des moyennes entre 2013 et 2022 de respectivement 62.53 et 64.60 mm, et les mois les plus pluvieux sont juin, décembre et mai, avec des moyennes entre 2013 et 2022 de 108.82, 101.08 et 100.9 mm.

La Figure 3 présente les précipitations et températures (moyennes, maximales et minimales) moyennes par année, de 2013 à 2022. La Figure 4 indique quant à elle les valeurs mensuelles moyennes (2013 à 2022).

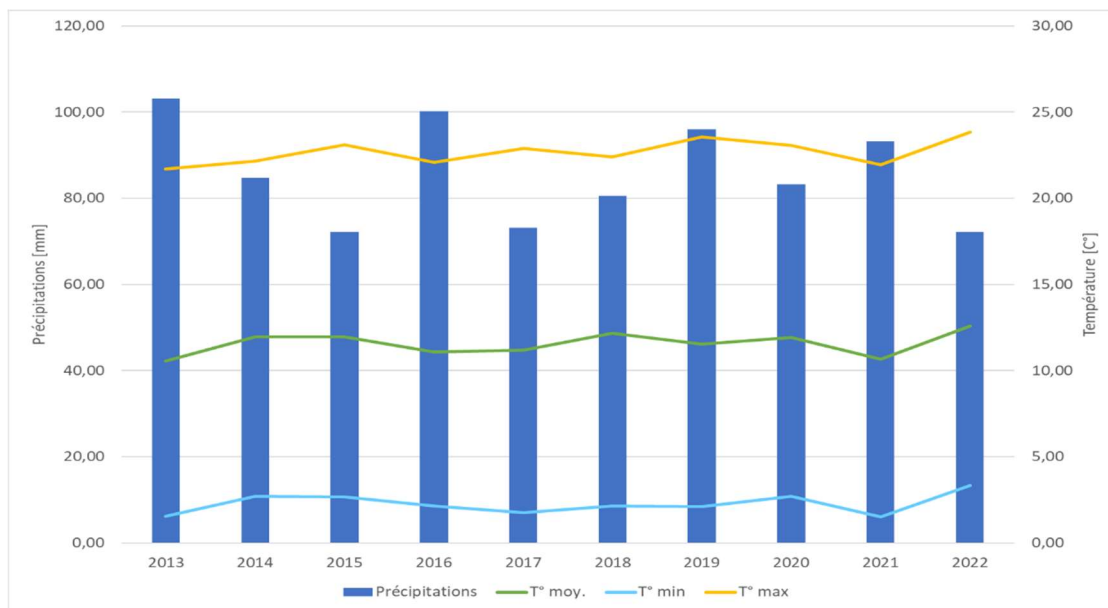


Figure 3 : Moyennes des précipitations [mm] et températures moyennes, minimales et maximales [C°] par année sur le site de Marcelin, de 2013 à 2022.

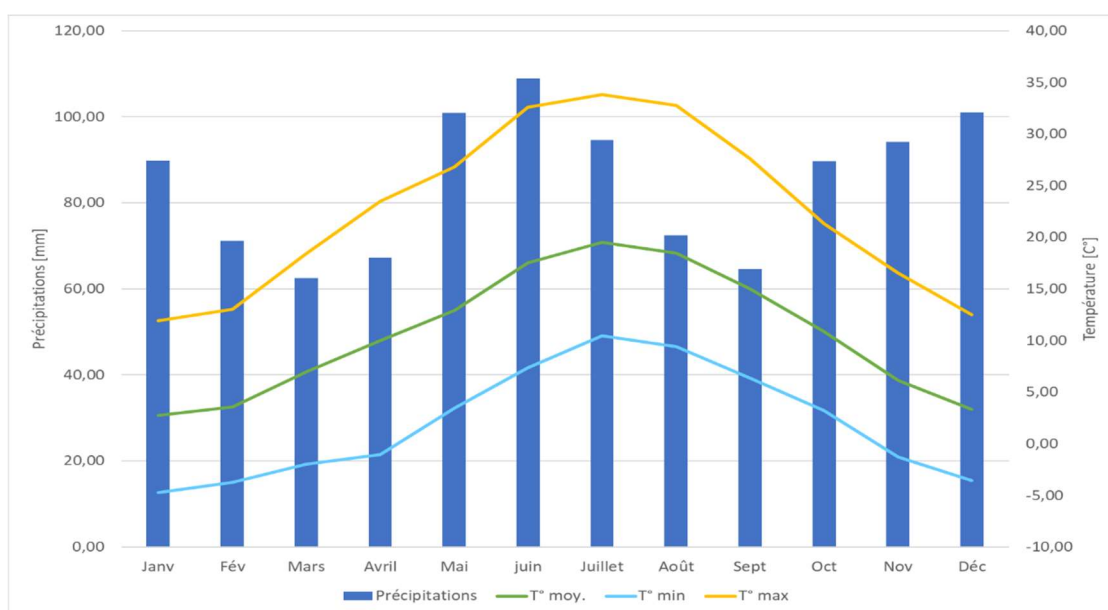


Figure 4 : Moyennes mensuelles des années 2013 à 2022 des précipitations [mm] et températures moyennes, minimales et maximales [C°] sur le site de Marcelin.

L'ensoleillement moyen du site de Marcelin est d'environ 2500 heures par an. Le mois ayant le plus d'ensoleillement journalier est juin, avec environ 10.3 heures, et le mois avec le moins d'heures d'ensoleillement est janvier, avec environ 3.7 heures de soleil par jour.

Deux types de vents principaux sont observés à Marcelin : le vent de direction Sud-Ouest au Nord-Est, qui est le plus dominant, avec une vitesse moyenne de moins de 19 km/h, et le vent inverse, Nord-Est au Sud-Ouest avec une vitesse moyenne inférieure à 12 km/h. Ce dernier, appelé la Bise, est un vent plutôt froid. Le premier vent peut parfois souffler plus violemment et s'accompagner d'orage. C'est le vent qui amène généralement les précipitations.

1.4.2 Substrats géologiques et types de sols

Les cartes géologiques du canton ont permis d'évaluer les substrats présents sur la zone de Marcelin. La zone est faite de substrats morainiques du quaternaire, de molasse du tertiaire, ainsi que des zones de colluvions à dépôts variables, comme l'indique la Figure 5. Ces informations ont permis de savoir que le lieu comprend un sol profond de type alcalin qui est généralement décarbonaté sur la surface.

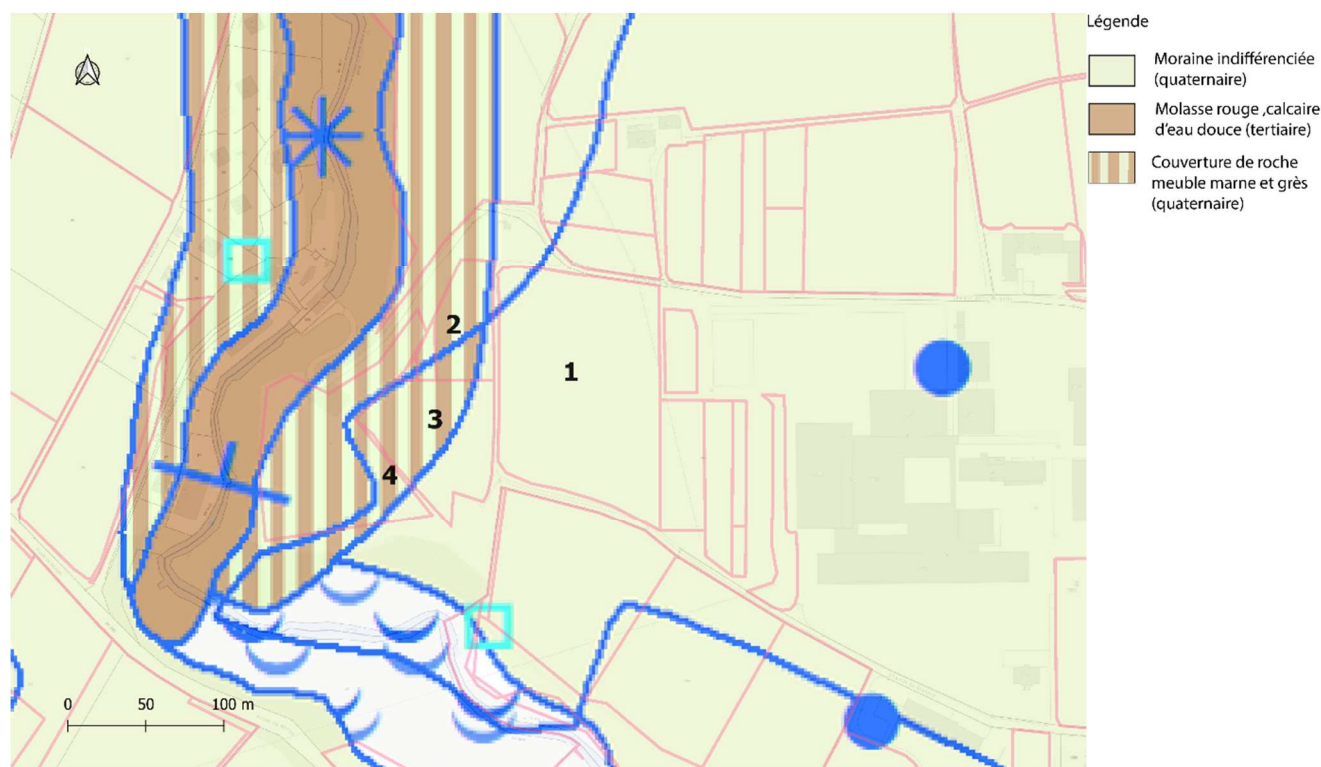


Figure 5 : Carte géologique du site de Marcelin du projet BioDiVerger. (1) Verger conventionnel, (2) Verger bio classique, (3) Verger agroforesterie et (4) Verger épicerie (permaculture), tirée de [Cartes de la Suisse - Confédération suisse - map.geo.admin.ch](https://www.geo.admin.ch)

De plus, les études de Johannes et al., (2016) & OFEV, (2017), ont montré que la zone du plateau suisse appartient à la fois au groupe des Cambisols et Luvisols selon le WRB (Food and Agriculture Organisation, 2014) et aux groupes des Brunisols, Néoluvisols et Luvisols du référentiel pédologique (Baize & Girard, 2009).

1.5 Objectifs du projet

Le BioDiVerger étant un projet expérimental, plusieurs objectifs globaux ont été fixés :

- **Créer un verger bas intrants** et riche en **biodiversité** selon les principes de la **permaculture** et l'**agroforesterie**. Les travaux d'entretien doivent être efficaces et le verger économiquement viable.
- **Comparer** sur une même parcelle l'**évolution** d'un verger en agroforesterie et d'un verger en permaculture et calculer la **rentabilité économique** de ces différents systèmes.
- **Démontrer** les **avantages et limites** de tels systèmes qui, de par leur grande biodiversité de plantes cultivées et sauvages, favorisent l'autorégulation des ravageurs et des maladies.

- Décrire dans des rapports les résultats quantitatifs et les expériences empiriques issus des suivis du verger. Ils contiennent également des **conclusions et des recommandations pratiques pour les producteurs**.
- **Contribuer au développement** de systèmes "BioDiVerger" auprès des producteurs et intermédiaires intéressés et créer une **plate-forme d'échanges** autour de ces thématiques.
- **Accueillir des visites** de professionnels de l'agriculture, écoles et consommateurs afin de disséminer les expériences. Ce verger de référence est un support pour l'éducation et la prise de conscience de l'interaction entre la nature et l'alimentation.

Le projet comprenant deux parties différentes, des objectifs spécifiques, présenté par le Tableau 1 à ces dernières ont été ajoutés aux objectifs globaux du projet.

Tableau 1 : Objectifs spécifiques à chaque partie du BioDiVerger (Source : FiBL, 2013)

Agroforesterie	Verger-épicerie
Créer un verger bas-intrants selon les principes de l'agroforesterie. Le mode d'entretien devra être efficace et économique	Créer un verger bas intrants selon les principes de la permaculture. Le mode d'entretien devra être efficace et économique
Produire des fruits dont 70% au moins en fruits de table	Produire des fruits et de légumes dont 70% au moins en fruits et légumes de table
Obtenir un rendement financier global inférieur à 20% au maximum par rapport aux chiffres Agridea-FiBL (Marges brutes)	Obtenir un rendement financier global inférieur à 30% au maximum par rapport aux chiffres Agridea-FiBL (Marges brutes)
Réduire le temps de travail de 30% par rapport aux cultures bio (réf Agridea-FiBL) après 4 ans	Réduire le temps de travail de 70% par rapport aux cultures bio (réf. Agridea-FiBL) après 6 ans

1.6 Conception et design

Dans le cadre du BioDiVerger, deux modèles distincts ont été réfléchis pour la mise en place de chacun des vergers.

Le plan du verger agroforestier a été conçu par la Ferme bio Les Sapins, discuté avec les autres partenaires de la DGAV et du FiBL. En agroforesterie, l'idée est de mélanger des arbres fruitiers de différentes espèces et variétés, des arbustes, des baies et des herbacées - le tout en promouvant la biodiversité fonctionnelle, en valorisant la complémentarité des espèces et en sollicitant une majorité de l'espace disponible. Le système agroforestier choisi pour le BioDiVerger est un système de verger maraicher (Image 1). Il est composé de 3 planches maraichères, deux rangées d'arbustes de haie, une ligne d'arbres haute-tige (pomme, poire, pruneau et noix), six lignes d'arbres fruitiers basse-tige à pépins, deux lignes de fruitiers basse-tige à noyau, un triangle de petits fruits. La liste des espèces présentes au BioDiVerger est disponible en Annexe I.

Pour l'élaboration du verger-épicerie en permaculture, une attention toute particulière est donnée au design de la future parcelle d'exploitation. Le design (anglicisme pouvant être traduit par « conception ») est tout d'abord « une démarche d'observation et de réflexion pour positionner correctement les éléments du système les uns par rapport aux autres, de manière à ce qu'ils puissent interagir » (Schlup, 2012). Celui-ci a été fait par Laurent Schlup, permaculteur suisse.

Le Tableau 2 donne un aperçu des efforts nécessaires pour un système classique et un système permacole.

Tableau 2 : Répartition des efforts entre un système agricole conventionnel et un système permacole (Source : © FiBL, Bougouin H.)

	Système classique	Permaculture
Design + Mise en place du système (année N à N+5)	20% de l'effort	80% de l'effort
Maintenance "exploitation" (année N+5 et au-delà)	80% de l'effort	20% de l'effort

L'objectif d'un système permacole est de répartir l'effort plus en amont, sur la conceptualisation du projet, afin de le réduire en aval, en période d'exploitation.

Les principes généraux de la permaculture sont rappelés ici (Holmgren, 2013) :

- Observer et interagir
- Collecter et stocker l'énergie
- Être plus autonome et productif
- Appliquer l'autorégulation et accepter la rétroaction
- Utiliser et valoriser les services et les ressources renouvelables
- Ne pas produire de déchets
- Partir des structures d'ensemble pour arriver au détail
- Intégrer plutôt que séparer
- Utiliser des solutions à petite échelle et avec patience
- Utiliser et valoriser la diversité
- Utiliser les interfaces et valoriser les éléments en bordure
- Utiliser le changement et y réagir, de manière créative

La Figure 6 schématise les principes de la permaculture et leurs applications dans de nombreux domaines, conçue par David Holmgren.

Dans le but de faciliter et de rationaliser les travaux, les espèces fruitières ont néanmoins été réparties par genre : deux lignes de fruitiers à noyau basse-tige, six de fruitiers à pépins basse-tige, un triangle de petits fruits et les trois planches maraichères. Les arbres fruitiers haute tige ont été planté sur une même rangée et sont conduits en gobelet, alors que les arbres fruitiers basse-tiges sont conduits en axe de manière à mécaniser les travaux. Un espacement suffisant a toujours été laissé de manière à pouvoir circuler de manière adéquate entre les rangs.

Sur une ligne concernée, la modularité réside dans la mise en place d'un trio de plantation comprenant une espèce fixatrice d'azote en association avec un pommier et un poirier. Cette architecture paysagère est nommée par Stefan Sobkowiak « Système NAP ». Le « N » pour un arbre fixateur d'azote, le « A » pour un pommier (apple tree en anglais) et le P pour un arbre tel qu'un prunier, poirier, pêcher (P-trees en anglais).



Image 2 : Plantation modulaire de la partie Agroforesterie du BioDiVerger (Photo : © FiBL, Tschabold J-L.)

Pour la partie maraîchère du verger agroforestier, à côté de très nombreuses cultures légumières, des plantes porte-graines ont également été choisies pour des raisons de globalité ; cela a pour conséquence une occupation du terrain plus longue (moins de chiffre d'affaires) et un facteur « biodiversité-cultures fleuries » plus important.

Les intérêts principaux d'une telle diversité de plantation sont les suivants :

- Limitation des intrants et, par conséquent, des coûts
- Réduction de la pression des ravageurs
- Alternance de la production (les lignes d'arbres sont plantées selon la saisonnalité des récoltes)
- Nombreuses strates de cultures
- Multifonctionnalité
- Services écosystémiques
- Résilience du système
- Interactions intra et inter-espèces, voire symbioses

1.6.2 Verger-épicerie

Le verger-épicerie, inspiré du jardin-forêt nourricier, est une application emblématique de la permaculture. Très répandu en climat tropical et subtropical, il ne demande qu'à trouver sa place sous nos climats tempérés-froids (Nicaise, 2013). Comme montré par la Figure 7, ce type de verger se

singularise par la présence d'étages de végétation (Hart, 1996) et l'adaptabilité des espèces et des techniques à notre climat (Whitefield, 2002).

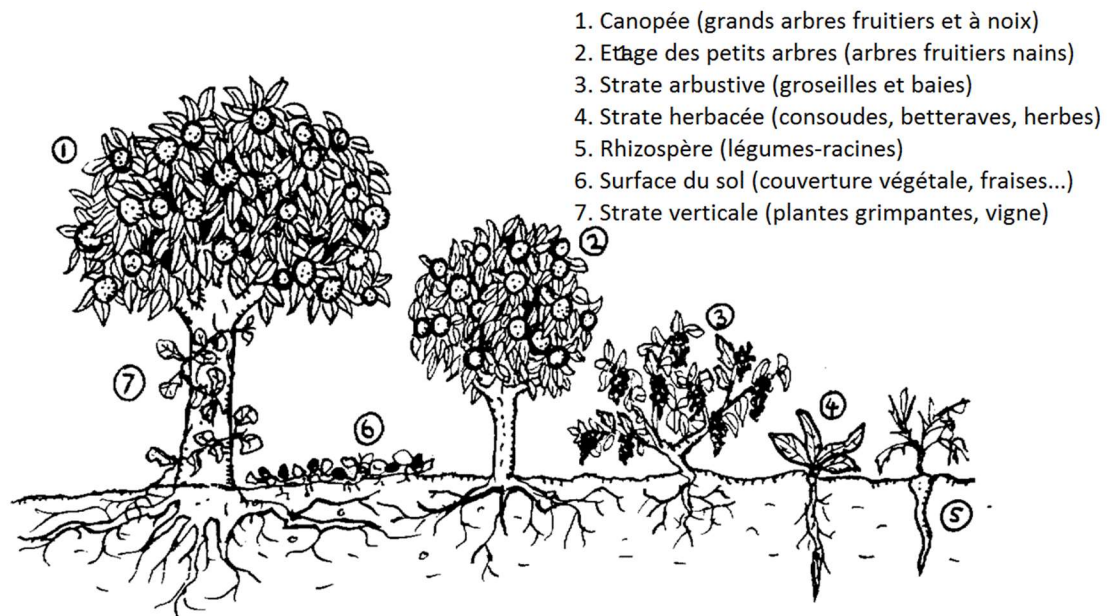


Figure 7 : Schéma représentatif des 7 étages de végétation proposé par Robert Hart 1996 (traduit de l'anglais au français par FiBL)

On s'approche également des principes de l'agriculture du « non-agir », conceptualisée dans les années 1970 et qui défend l'observation et l'écoute du système avant toute prétention interventionniste (Fukuoka, 2005). Selon Fukuoka, une seule directive prévaut : la complexité du système.

Également d'après lui, il ne faut pas abandonner tout travail et ne manger que des plantes sauvages que l'on trouverait occasionnellement, quitte à perdre les espèces sélectionnées depuis plusieurs années (telles que les céréales, fruits, légumes, etc.). Le mieux serait de favoriser certaines espèces sans trop les assister. Il faut ainsi laisser faire la Nature tout en essayant de l'orienter un minimum.

L'Image 3 montre certaines espèces présentes au sein du verger-épicerie.

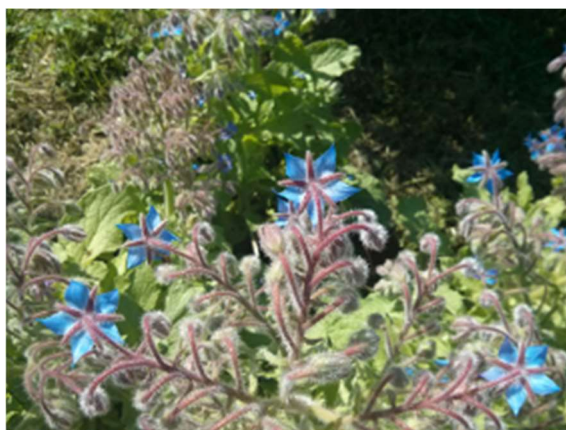


Image 3 : Cucurbitacées et bourrache présentes au verger-épicerie (Source : © FiBL, de Robert Montal M.)

Inspirée par les jardins de la Fraternité ouvrière, par la Food-Forest de Martin Crowford et plus récemment par la forêt-jardin de Christophe Köppel², cette zone du verger souhaite rendre compte de la possibilité de produire une grande diversité de produits comestibles sur une surface réduite et ne nécessitant que très peu d'interventions. On limite notamment l'arrosage, l'entretien, le désherbage, les amendements, etc.

Les recommandations de Robert Hart, qui ont été suivies, en vue de la mise en place d'un verger-forêt sont les suivantes :

- Planter les fruitiers à 6 m les uns des autres
- Mettre les arbres nains entre chacun des arbres fruitiers
- Installer les arbustes à baies (groseilliers, cassis, raisinets, etc..) entre tous les arbres
- Planter les herbes et légumes pérennes au niveau du sol
- Aucune structure monoculturale

Le travail consiste ensuite à maintenir une bonne entente entre toutes les strates végétales en empêchant que les unes empiètent sur les autres. Selon Robert Hart, cela nécessite de couper tous les jours en périodes de croissance et de mulcher au maximum le sol. La technique du "chop and drop" de Geoff Lawton consiste à utiliser des débris de taille ou des feuilles mortes d'arbres extérieurs comme amendement et facilitateur de l'entretien. Tout cela est fait afin de garantir un maximum de bénéfices pour un minimum d'effort³.

1.7 Étapes de réalisation

La réalisation du projet est planifiée en étapes principales étalées sur plusieurs années. Ces étapes sont présentées par le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Principales étapes du projet, avec respectivement les résultats attendus ainsi que leurs échéances

Étapes	Résultat	Échéances
Mise en place du projet et retours de la première phase du projet BioDiVerger (2012-2017)	- Rédaction et validation du rapport des itinéraires culturels du BioDiVerger des années 2012 à 2017	01.2018
	- Fiche technique à destination des agriculteurs reprenant les bonnes et mauvaises expériences issues des premières années d'implémentation du BioDiVerger	05.2018
Saison 2018	- Entretien et renouvellement des cultures - Suivi phytosanitaire du verger - Diverses visites - COPIL	12.2018

² <http://fraternitesouvieres.over-blog.com>, <https://www.agroforestry.co.uk>, <http://www.nationalgeographic.fr/25074-cop21-a-strasbourg-une-foret-jardin-sort-de-terre/#>

³ <https://www.youtube.com/watch?v=aCYiixwOv5k>

Étapes	Résultat	Échéances
	<ul style="list-style-type: none"> - Installation du point d'eau - Implémentation des bandes florales 	05.2018
Saisons 2019-2023	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien et renouvellement des cultures - Suivi phytosanitaire du verger - Suivi des qualités des sols (2020 & 2022) - Suivi biodiversité (2023) - Analyse SMART (2021) - Diverses visites - COFIL - Adaptations selon décisions du COFIL 	12.2023
Rapport 10 ans du projet, rapport public, sous une forme aisément accessible	Restitution du rapport 10 ans du projet du projet et de sa fiche technique	09.2024

I.8 Techniques culturales

Les techniques culturales appliquées au BioDiVerger sont diverses. Chaque année, l'exploitant réunit les différents travaux faits sur la parcelle dans un tableur Excel (un par année).

Initialement des lignes directrices pour les deux parties du verger ont été instaurées (Annexe 3). Elles ont permis de garder un certain cadre mais ont parfois dû être rediscutées avec le COFIL et légèrement adaptées selon l'évolution du verger et dans son intérêt.

Pour avoir une vision globale des travaux faits au BioDiVerger, une partie des pratiques culturales, notamment celles ayant le plus d'influence sur le sol, sont regroupées dans le Tableau 4. Dans ce tableau sont également mentionnées les pratiques appliquées aux deux vergers voisins au BioDiVerger : un verger bio « classique », entretenu par le même exploitant que le BioDiVerger, et un verger conventionnel, entretenu par l'Union Fruitière Lémanique (UFL). Ceci permet de comparer les techniques culturales appliquées au BioDiVerger avec celles utilisées classiquement dans les vergers biologiques et conventionnels.

Tableau 4 : Principaux travaux des différentes surfaces. Les tâches ne sont pas réalisées uniformément sur les différentes parcelles.

Parcelle	Travail du sol/désherbage	Fertilisation/compost	Limitation du cuivre
AF Arbo	Mulcheuse à fils (GreenMaster) ~5x par an.	Voile de compost mûr : 1x par an (en automne/hiver). Lisier aéré : selon les conditions de l'année et la santé des arbres.	1 application à 300-400 g de Cu/ha/an

	Machine tractante ⁴ : environ 3 tonnes.		uniquement en 2021 et 2022
AF Maraîchage	Motoculteur mono-axe (manuel) ~2-3x par planche par an (après chaque culture). Influence sur 5 cm du sol. ~140 kg. Sarcluse et Mulcheuse à fils manuelle Broyeuse et Chisel selon l'ancienne culture et la prochaine. Influence sur 15 cm du sol.	Intégration des résidus de culture. Voile de compost-fumier si besoin au printemps.	Aucun
Verger épicerie	Mulcheuse à fils manuelle ~4x par an. Sélectif : surtout chemins et graminées	Apports ponctuels de mulch de feuilles, BRF. Dépendant des années.	Aucun
Bio	Mulcheuse à fils (GreenMaster) : ~5x par an. Machine tractante ¹ : environ 3 tonnes.	Voile de compost mûr : 1x par an en automne/hiver. Lisier aéré : selon les conditions de l'année et la santé des arbres.	2 applications soit 700 à 800 g de cuivre métal
Conventionnel	Roue déracineuse (XSA) 2x par an (en début et fin de saison). Influence sur 4 cm du sol. Bras : 150kg. Machine tractante ⁵ : environ 2.7 tonnes. Mulcheuse à fils manuelle en cours de saison.	Compost : 1 apport à l'automne ou au début de printemps. Pas chaque année. Ferti-irrigation : urée perlée 46%, pas plus de 40-60 unités au total par an.	Aucun

Le verger bio « classique » et le BioDiVerger AF sont gérés par la Ferme bio Les Sapins. Les techniques de désherbage et d'apport en matière organique sont identiques pour le verger bio et la partie AF arbo. Une couche de compost est appliquée au courant de l'automne et intégrée à la litière de feuilles pour la décomposition. Le lisier complet aéré bovins-poules provient également de la Ferme bio Les Sapins et l'épandage varie chaque année en fonction des conditions. Pour ces deux parcelles, la pratique du mulch est préférée à celle du sarclage, car cette dernière devient inappropriée lorsque les arbres atteignent 3-4 ans. Les principales différences dans l'exploitation de ces deux parties résident dans : l'irrigation qui est réduite à de ponctuels arrosages en AF contrairement au verger bio où un système de micro-aspersion est installé ; les pratiques phytosanitaires réduites en AF ; le sarclage inexistant en AF.

Les planches maraîchères accueillent différents types de légumes selon la saison et 2 à 3 cultures par an peuvent être envisagées. Sur les planches maraîchères, les pratiques culturales indiquées dans le tableau dépendent surtout du type de culture en place et ne s'appliquent pas forcément sur l'ensemble des planches au même moment. Elles comprennent aussi des rampes d'arrosage. En comparaison aux autres parcelles, cette partie comprend le travail de sol le plus important (sarclage, mulcheuse à fils et chisel – mais pas de labour ni de bêchage, pratiqués dans la plupart des exploitations maraichères bio).

Dans le verger-épicerie, le désherbage est mené de manière sélective à l'aide d'une mulcheuse à fils manuelle, essentiellement pour l'entretien des chemins et réduire la propagation des graminées, des orties et des jeunes drageons. Cette tâche est effectuée uniquement en matinée, en épargnant les bordures des abris à faune et les fleurs et en préservant une hauteur supérieure à 5 cm. Sur cette

⁴ Modèle : Fendt 205, https://de.wikibooks.org/wiki/Traktorenlexikon:_Fendt_Farmer_205_P/PA

⁵ Modèle : Fendt Vario 209 V, https://de.wikibooks.org/wiki/Traktorenlexikon:_Fendt_209_V/F/P

partie, le sarclage ne s'opère pas. De plus, aucun système d'irrigation n'est disponible et l'apport en eau est censé être assuré par le swale mis en place pour que les eaux s'infiltrent par capillarité.

Les pratiques culturales du verger conventionnel, géré par un autre exploitant, sont très différentes : deux passages à la roue déracineuse sont effectués, le premier en début de saison et un deuxième en fin. Le désherbage est réalisé à la mulcheuse à fils manuelle sur les rangs des jeunes arbres. Tandis que sur les rangs des arbres plus anciens, une machine à fils tractée est employée 3 à 4 fois par saison. Sur cette parcelle, l'application du cuivre est limitée à certains essais, mais différents produits phytosanitaires de synthèse sont employés selon les principes de la production intégrée. Sont appliqués également des fongicides bio, ainsi que quelques insecticides autorisés en lutte biologique tels que la carpovirusine et le *Bacillus thuringiensis*.

Des traitements phytosanitaires spécifiques ont été appliqués sur certaines parcelles :

- SluXX antilimace (phosphate ferrique) dans la zone maraîchage + traitement à bactérie EM (Effective Microorganism) avec ou sans mélange dans la bouillie bordelaise pour les parcelles agroforesterie et bio classique.
- Poudre de basalte (magnésie) dans les parties agroforesterie, maraîchage et bio classique

2 Suivi pédologique

Du point de vue de l'agriculture biologique, un sol de bonne qualité est riche en biodiversité et fournit des nombreuses prestations qui sont précieuses aux praticiens. Il joue notamment le rôle de support pour les plantes et les autres organismes vivants, il stocke et rend les éléments nutritifs disponibles, il retient l'eau et la filtre (FiBL & Bio Suisse, 2013). Son rôle de production est donc très important, fournissant l'eau et les nutriments nécessaires à la croissance des plantes (Flisch et al., 2017).

De nombreuses caractéristiques du sol sont inhérentes aux facteurs et processus naturels initiaux qui ont influencés sa formation (Gobat et al., 2010). D'autres cependant résultent des activités humaines. Par une mauvaise gestion, le sol peut être dégradé jusqu'à diminuer ou même perdre sa capacité de production (FiBL & Bio Suisse, 2013). Il faut donc gérer le sol de manière durable afin de maintenir sa fertilité au long terme. Une partie des pratiques culturales appliquées au BioDiVerger sont mentionnées dans le chapitre Techniques culturales, et l'ensemble des pratiques sont disponibles sur demande aux responsables de projet.

Le suivi des propriétés du sol est important dans la réalisation du projet BioDiVerger. En effet, en tant que verger bas intrants, une importance particulière est vouée à tendre vers une autosuffisance du système. La résilience du sol est donc primordiale pour garantir d'une part un bon apport en nutriments car très peu de substances externes sont amenées et, d'autre part, une bonne implémentation et une résistance des plantes aux aléas biotiques et abiotiques.

Le verger est implanté depuis 10 ans et certaines propriétés du sol ont déjà pu évoluer. Il est donc important d'étudier la nature de cette évolution. Pour ce faire, ce suivi se base sur trois des buts du projet :

- Favoriser la biodiversité pour une meilleure résilience du système.
- Assurer une production rentable.
- Servir de référence pour les producteurs souhaitant adopter ce mode de production.

L'objectif est donc d'étudier les propriétés biologiques du sol, ainsi que les propriétés chimiques et physiques qui donnent des informations sur la fertilité du sol. Le but est d'une part de comparer l'évolution de ces propriétés au sein du BioDiVerger, avec les données récoltées par le passé. D'autre

part, le projet BioDiVerger étant issu d'une volonté de se distinguer des systèmes d'exploitation classiques (autant conventionnels que biologiques), ses propriétés du sol sont également comparées à celles de vergers exploités différemment. Pour pouvoir servir de référence, ces propriétés doivent être issues d'analyses faciles à mettre en place, bon marché et représentatives.

Les hypothèses sont que les valeurs des propriétés biologiques, chimiques et physiques du sol du BioDiVerger devraient être égales ou meilleures en comparaison aux valeurs de parcelles bio « classiques » et conventionnelles. De la même manière, elles devraient être égales ou meilleures en comparaison aux valeurs du BioDiVerger des années précédentes.

2.1 Comparatifs

Afin d'analyser les différentes valeurs de qualité du sol mentionnées ci-dessus et de les comparer à des systèmes bio « classique » et conventionnelles, les sols de deux parcelles adjacentes au BioDiVerger ont été analysées. L'Image 4 indique la disposition des 3 parcelles différentes (BioDiVerger, bio « classique » et conventionnelle) sur le site de Marcelin.

Les quatre vergers sont soumis aux mêmes conditions météorologiques et potentiellement aux mêmes processus pédogénétiques initiaux, étant donné leur proximité géographique, mais leurs caractéristiques respectives varient, étant donné qu'ils ne sont pas conduits de la même manière.

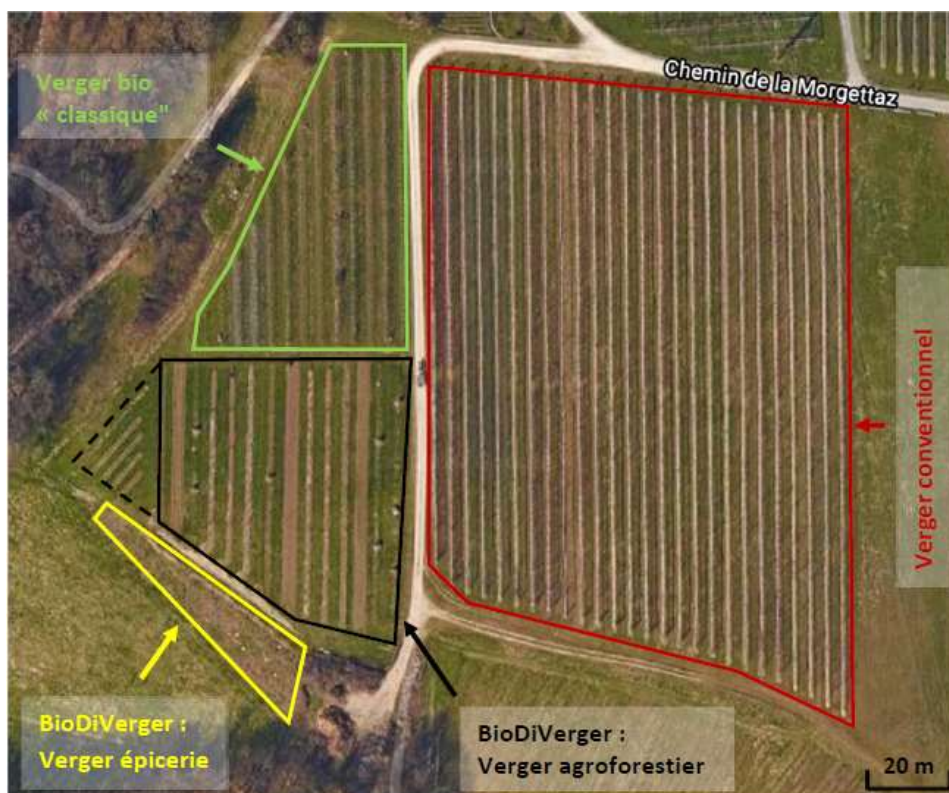


Image 4 : Vue aérienne du BioDiVerger (en noir et en jaune), ainsi que des parcelles voisines ; le verger Bio classique (en vert) et le verger conventionnel (en rouge).

Les caractéristiques des 4 vergers sont les suivantes :

- Verger agroforestier du BioDiVerger. Comme mentionné précédemment, cette parcelle alterne rangs d'arbres et planches maraîchères. Ces deux parties sont distinguées, nommées « AF Arbo » et « AF Maraîchage » par la suite. Pour rappel, AF Arbo est constituée de rangs de fruitiers basse-tige (pommiers, poiriers, pruniers, pêchers), d'un rang de fruitiers haute-tige, de deux haies composites et d'une partie regroupant des petits fruits. Tous les arbres ont été

plantés entre 2013 et 2014, à l'exception des quelques arbres remplacés. Les rangs de petits fruits (entourés de tirets sur l'Image 4) et les haies composites n'ont pas été intégrés dans l'échantillonnage.

- Verger épicerie du BioDiVerger. Il intègre fruitiers, légumes et plantes support de production. Leur répartition se fait par strate et non par rang. A l'exception de quelques arbres remplacés, ils ont tous été plantés en 2014.
- Verger bio « classique ». Ce verger comporte différentes espèces de fruitiers, chaque ligne étant une variété différente. Il comprend notamment des plaqueminières, des pommiers et des poiriers. Les arbres sont d'âge variable, les plus anciens datant de 1999 et les plus récents de 2019. Cette parcelle a fait l'objet d'un remblai avant 1999 (Théo Grossenbacher, communication personnelle).
- Verger conventionnel. Il correspond au verger conduit en Production Intégrée Pl. Il ne comprend que des pommiers, d'espèces et d'âge différents. Deux parties se distinguent, une avec des arbres plus vieux et l'autre avec des arbres plus jeunes. C'est sur cette dernière qu'ont été effectués les prélèvements de sol et les tests. La majorité des arbres de cette partie datent de 2018-2019, mais il y a une grande variabilité. Cette parcelle a aussi fait l'objet de remblais et certains secteurs auraient également été comblés avec de la terre provenant des vignes (Jonathan Schuler, communication personnelle).

2.2 Échantillonnage

L'échantillonnage s'est déroulé selon la méthodologie du laboratoire d'analyses Sol Conseil (Sol-Conseil, 2020a). Les prélèvements de sol ont été réalisés à la tarière. 12 sur les planches maraîchères et le verger épicerie, et 20 sur les autres parcelles. Les prélèvements d'une parcelle ont été bien homogénéisés dans un seau avant d'en prendre une partie destinée aux analyses. La terre a été prélevée entre 2 et 25 cm de profondeur (la partie supérieure a été grattée pour ne pas prélever de matière organique fraîche). Les analyses de terre ont ensuite été réalisées par le laboratoire Sol-Conseil à Gland.

Afin de déterminer l'influence du mode de gestion au sein du verger agroforestier, la partie en arboriculture et la partie en maraîchage ont été échantillonnées séparément. Pour AF Arbo, la parcelle bio et la parcelle conventionnelle, les prélèvements ont été réalisés le long des deux diagonales, sur les rangs. En ce qui concerne les planches maraîchères, leur largeur étant limitée, la terre a été prélevée uniquement le long d'une ligne (sur chaque planche). Enfin, le verger épicerie n'étant pas formé de rangs, les échantillons ont été prélevés en s'efforçant de respecter une distance égale entre les sites de prélèvement et de suivre les diagonales.

2.3 Méthodes d'analyses de sols et tests appliqués

Les indicateurs ont été choisis de manière à pouvoir faire état de la biomasse et de l'activité biologique et pour pouvoir permettre d'évaluer les qualités chimiques et physiques du sol.

Afin de fournir des résultats reproductibles et représentatifs aux yeux des éventuels producteurs intéressés, les analyses ont principalement été choisies dans la gamme des tests proposés par un laboratoire de référence.

De plus, comme l'étude de l'évolution des propriétés est également un objectif de ce suivi, les analyses déjà réalisées par le passé ont influencé le choix des analyses suivantes. Deux profils de sol, un sur chaque partie du BioDiVerger, avaient été réalisés en 2013 avant l'implantation du verger. Des analyses des sol avaient été réalisées sur chaque horizon identifiés. Dans ce travail le premier horizon de chaque profil (0-10cm) sera considéré pour effectuer des comparaisons. Des analyses avaient également été faites en 2015, sur la première couche du sol, de 2 à 20 ou 25 cm, sur des échantillons prélevés fin octobre.

Le Tableau 5 regroupe les analyses de sol et tests de terrain réalisés en 2013, 2015, 2020 et 2022.

Tableau 5 : Analyses de sol et tests effectués sur le terrain BioDiVerger et les vergers adjacents depuis 2013. * Uniquement Af Arbo.** uniquement Verger épicerie

Année	Analyses	Parcelles étudiées	Partie du sol
2013 (Avant la plantation)	Granulométrie, calcaire total, pH H ₂ O, matière organique. Éléments de réserve (AAE10) : P, K, Mg.	Agroforesterie Verger épicerie	Profils de sol ; Analyses dans chaque horizon.
2015	Graviers et taux d'argile (test visuel et tactile resp.), calcaire total, pH H ₂ O, matière organique. Éléments de réserve (AAE10) : P, K, Ca*, Mg. « AnaBio »**.	AF Arbo Verger épicerie	De 2 à 25 cm et de 2 à 20cm
2020	Graviers et taux d'argile (test visuel et tactile resp.), calcaire total, pH H ₂ O, matière organique. Éléments de réserve (AAE10) et éléments solubles (H ₂ O10) : P, K, Ca, Mg. Cuivre total selon OSol. « AnaBio ». Test à la bêche (VESS) et extraction des vers de terre	AF Arbo AF Maraichage Verger épicerie Verger bio classique Verger conventionnel	De 2 à 25 cm
2022	Granulométrie, CEC, calcaire total, pH H ₂ O, matière organique. Éléments de réserve (AAE10) et éléments solubles (H ₂ O10) : P, K, Ca, Mg « AnaBio ». Test à la bêche (VESS) et extraction des vers de terre à la farine de moutarde	AF Arbo AF Maraichage Verger épicerie Verger bio classique Verger conventionnel	De 2 à 25 cm

2.3.1 Méthodes d'analyses visuelles

Les méthodes d'analyses visuelles comportent un enjeu économique et durable. Les méthodes utilisées ont pour point commun d'être facilement accessibles et donc reproductibles par les agriculteurs.

Les campagnes de terrain ont été faites entre le 25.11.2020 et le 03.12.2020, ainsi que le 11 avril 2022 et entre le 4 et 5 octobre 2022. Cette méthode d'analyses visuelles a été choisie, car elles sont peu coûteuses et accessibles à tous avec un minimum d'expérience.

Les méthodes qui ont été pratiquées sont les suivantes :

➤ **VESS (Visual Evaluation of Soil Structure)**

VESS comporte 5 classes de qualité structurale différente. Le score de 1 est un bon état des sols alors que le score 5 est un mauvais état des sols (qualité mauvaise ou sans structure) Annexe 4 Annexe 4 .

La notation se fait à l'aide d'un tableau contenant des illustrations et des descriptions basées sur 5 critères différents :

- 1) Sq1 : friable : structure arrondie, porosité interagrégat visible. Motte bien aérée.
- 2) Sq2 : intact : agrégats arrondis, pas de mottes fermées, porosité modérée, motte poreuse composée de plus petits agrégats.
- 3) Sq3 : ferme : mélange d'agrégats arrondis de différentes tailles, porosité faible, ouverture des mottes révèlent des faces rugueuses.
- 4) Sq4 : compact : Structure subangulaire avec bord anguleux, fragment difficile à extraire, motte non poreuse et fermée
- 5) Sq5 : très compacte : dense, fragment dur à extraire, porosité restreinte avec quelques macrospores et fissures, trace d'hydromorphie visible, mottes fermées et anguleuses.

La qualité structurale du sol conditionne notamment la porosité et la circulation de l'eau et de l'air, ainsi que la colonisation du sol par les racines et les organismes vivants (Gobat et al., 2010). Contrairement à la texture, ce paramètre varie à court terme. Il est donc important de favoriser ou de maintenir une structure favorable à la fertilité du sol pour garantir une production durable. Pour évaluer la structure du sol, des tests à la bêche ont été effectués selon le protocole de l'Agroscope (2020). Un bloc d'environ 25 cm de profondeur doit être extrait, chaque couche du bloc présentant une structure différente doit être observée. Une note est attribuée à chaque couche, puis la note finale est calculée en pondérant les notes des couches par l'épaisseur de celles-ci.

➤ **Extraction de vers de terre à la farine de moutarde**

Les vers de terre influencent la structure du sol. En creusant des galeries, ils agissent sur la porosité et la perméabilité du sol (Gobat et al., 2010). De plus ils incorporent la matière organique à la matière minérale (complexe argilo-humique), formant les agrégats arrondis et stables mentionnés précédemment. Ils sont souvent classés en trois catégories écologiques qui contribuent de façon différentes et complémentaires au bon fonctionnement du sol (Fischer, 2019) :

- Les **épigés** vivent et se nourrissent en surface, dans la litière, et ne consomment que rarement des particules de sol (Le Bayon et al., 2017). Ils augmentent la rugosité du sol en produisant des turricules (Sharma et al., 2017).
- Les **anéciques** creusent des galeries verticales et profondes (jusqu'à 3-4m de profondeur) (Pfiffner, 2013). Ils y passent leur vie et elles sont donc permanentes (Le Bayon et al., 2017). Leur réseau de galeries facilite l'écoulement de l'eau, la croissance des racines et la dispersion des microorganismes (Le Bayon et al., 2017). Ils se nourrissent de débris de plantes présents en surface et qu'ils emportent en profondeur, dans leurs galeries (Pfiffner et al., 2013). Ils étendent en profondeur la couche organo-minérale du sol (Sharma et al., 2017).
- Les **endogés** creusent majoritairement des galeries horizontales, dans la couche supérieure du sol (5-40cm), améliorant le drainage et la connectivité du réseau général de galeries (Le Bayon et al., 2017 ; Pfiffner, 2013). Ils se nourrissent de matière organique à différents stades de décomposition, présente dans le sol et mélangée à ce dernier.

Le nombre de vers de terre présents dans le sol, ainsi que leur répartition dans les différentes catégories écologiques, fournit un complément d'information à l'observation de la structure, permettant de mieux comprendre la dynamique du sol.

Les vers de terre ont été comptés selon la méthode du prélèvement utilisée par Fisher (2019) dans son travail de master et résumée dans la fiche technique en Annexe 5. Une fois dilué, le jus a été versé

sur des placettes de 30x30 cm, en 2 applications espacées d'environ 10 minutes (le temps que tous les vers de terre sortent). Le total des vers de terre a été compté et pesé.

Les catégories écologiques (épigés, endogés et anéciques) ont également été déterminées, selon la clé de l'OPVT (2015), fournie en Annexe 6. Les vers des trois catégories ont été comptés et pesés. Cependant, les juvéniles n'ont pas été identifiés comme une catégorie en tant que telle, compromettant la fiabilité de l'identification des catégories. A l'avenir il sera important de bien faire cette distinction pour plus de fiabilité. De plus, la balance utilisée ici manquait de précision comme il y avait parfois beaucoup de vers de petite taille. Il faudra à l'avenir utiliser une balance d'une précision minimale de 1 décimale, et si possible favoriser une balance à 2 décimales.

L'abondance et la biomasse des vers de terre ont été mesurées sur chaque parcelle en combinant deux méthodes : (1) l'extraction à la farine de moutarde et (2) une technique de tri manuel.

- 1) Pour chaque mesure, la farine est mélangée avec de l'eau à température ambiante (12 g/L) (Lawrence et Bowers (2002)). 6 L de mélange a été appliqué sur des placettes de 30x30 cm, à raison de deux fois 3 L à 5 - 10 minutes d'intervalle. La dilution de la solution de farine de moutarde s'est faite sur place juste avant l'arrosage de la zone à échantillonner en faisant attention à bien diluer les grumeaux de farine dans l'arrosoir.
- 2) L'extraction à la farine de moutarde a été complétée d'une extraction manuelle. À la suite de l'étape réalisée en (1), une motte de terre (20x20x20 cm) a été prélevée au même endroit puis délitée afin d'en extraire et compter les vers de terre encore présents.

Afin de déterminer la biomasse au mètre carré, tous les vers de terre prélevés durant l'extraction des deux méthodes ont été pesés sur place à l'aide d'une balance de terrain (précision au 1g).

La diversité des communautés a été mesurée en déterminant les catégories écologiques présentes à l'aide de la charte de terrain (OPVT, 2015) (Annexe 6). Comme préciser plus haut, les juvéniles n'ont pas été différenciés. L'objectif étant de tester des outils applicables pour un public non initié, les espèces de vers de terre n'ont pas été déterminées dans cette étude.

Les campagnes de terrain ont été réalisées durant les automnes 2020 et 2022. Les périodes d'automne sont connues pour être une phase où l'activité des vers de terre est à son apogée.

Sur chacune des parcelles, 3 échantillons ont été prélevés entre les rangs et les interrangs. Selon (Pérès et al., 2012), un minimum de 3 échantillons par parcelle est nécessaire afin de représenter l'homogénéité d'une parcelle. Au total, 24 échantillons ont été prélevés sur les 4 parcelles.

Sur AF Arbo, sur le verger bio classique et sur le verger conventionnel, 6 tests (de chaque méthode) ont été réalisés : trois sur les rangs et trois sur les interrangs. Ils ont été effectués en diagonale. Sur le verger épicerie, 3 tests ont été réalisés sur une diagonale, et 3 tests aussi sur les planches maraîchères du verger agroforestier.

2.3.2 Méthodes d'analyses en laboratoire

La collecte d'échantillons est réalisée à l'aide d'une tarière, selon le protocole d'échantillonnage du laboratoire d'analyses Sol-Conseil (Sol-Conseil, 2020a ; Sol-Conseil 2020b ; Sol-Conseil 2020c). Pour chaque type de parcelle, six prélèvements composites ont été effectués en suivant deux diagonales, trois entre les rangs et trois sur les rangs, et ensuite homogénéisés dans un seau avant d'en retirer une partie destinée aux analyses. La profondeur d'échantillonnage est comprise entre 2 et 25 cm, en ôtant la partie superficielle pour éviter de prélever de la matière organique fraîche. Les éléments du verger épicerie ne sont pas disposés en rangs, l'échantillonnage a donc été fait en s'efforçant de garder une distance égale entre les sites de prélèvement et de suivre des diagonales. L'ensemble des analyses de

terre ont été réalisées par le laboratoire Sol-Conseil à Gland et les données brutes 2022 sont disponibles dans l'Annexe 7.

Les méthodes qui ont été utilisées sont les suivantes :

➤ **Granulométrie laser**

La texture du sol influence le drainage, la rétention d'eau et la disponibilité des ions. La teneur en argile est donc un élément essentiel dans la structuration et la stabilité d'un sol. L'analyse de la texture permet de mesurer la distribution des tailles de particules de terre fine (< 2 mm) dans un échantillon de sol. La granulométrie de la terre fine se divise en argile (< 2 µm), limon (2 - 50 µm) et sable (50 - 2000 µm).

➤ **Capacité d'échange cationique (CEC)**

La détermination de la capacité d'échange cationique (CEC) par les méthodes d'échange compulsif est compliquée par le fait que la charge de surface des particules du sol varie avec le pH, la force ionique et la composition de la solution (Rhoades, 1982). En outre, il a été signalé que les phases minérales réactives à charge variable éliminent à la fois les cations et les anions des solutions concentrées. Dans ce processus, appelé absorption apparente de sel (Wada, 1984), les sites d'échange de cations et d'anions peuvent être créés par le transfert stœchiométrique d'un proton de la surface - SiOH à - AlOH.

Alternativement, la capacité effective d'échange cationique du sol peut être approximée en calculant la somme des ions échangeables déplacés par une solution saline concentrée. La somme des bases échangeables (Ca, Mg, K et Na) fournit une bonne estimation de la capacité effective d'échange cationique dans la plupart des sols.

En résumé, la CEC décrit le volume du « réservoir » dans le sol qui peut retenir les nutriments sous forme de cations. Elle varie en fonction du type de sol, du pH et de la teneur en MO.

➤ **Éléments nutritifs**

Les éléments nutritifs sont essentiels au développement des plantes en agriculture. Les éléments solubles sont directement disponibles pour les plantes alors que les éléments de réserve sont minéralisés. Ils peuvent être mobilisés via l'exsudat produit par les plantes. Les éléments de réserve ne peuvent pas être modifiés et sont déterminés par le substrat du sol, tandis que les éléments solubles peuvent être complétés par des apports externes de matière organique (ou autres produits dérivés). Des apports trop importants ne sont pas utiles, car ils se font lessiver et drainer par les précipitations. Tandis que des apports trop faibles risquent d'impacter la croissance et production des plantes. (Kuster et al., 2017)

La capacité des plantes à s'appropriier les éléments nutritifs varie d'une espèce à l'autre. Elle dépend aussi du système racinaire. Un système racinaire vaste et fin à une bonne capacité d'absorption des éléments nutritifs (p. ex. betteraves, céréales d'automne et graminées). A contrario, les espèces avec un faible développement racinaire (p. ex. patate et certains légumes) ont besoin d'une plus forte concentration dans la solution du sol. (Flisch et al., 2017)

Les éléments nutritifs ont été mesurés de deux manières, fournissant deux indications :

- Les éléments solubles, extraits à l'eau (méthode « H₂O 10 »). Ils correspondent aux éléments immédiatement disponibles pour les plantes, et les valeurs obtenues sont considérées comme proches de celles de la solution du sol (Flisch et al., 2017).
- Les éléments de réserve (extraits à l'acétate d'ammonium + EDTA, méthode «AAE10»). Ceux-ci correspondent aux éléments qui, pouvant passer à tout moment en solution, sont susceptibles d'être disponibles pour les plantes (Flisch et al., 2017).

➤ pH

Le pH du sol est un facteur crucial influençant la santé et la productivité des écosystèmes terrestres. Il mesure l'acidité ou la basicité du sol sur une échelle allant de 0 à 14, où 7 est neutre, en dessous de 7 est acide, et au-dessus de 7 est basique. La variation du pH influe sur la disponibilité des nutriments essentiels pour les plantes, affectant ainsi leur croissance et leur développement. Un pH optimal permet une absorption efficace des nutriments par les racines des plantes, tandis qu'un pH inadéquat peut entraîner des carences nutritionnelles ou des toxicités. De plus, le pH du sol influence l'activité des microorganismes qui décomposent la matière organique, jouant ainsi un rôle dans les processus de décomposition et de formation d'humus (Gobat et al., 2010).

Le pH du sol influence également le maintien de la stabilité structurale d'un sol. La structure du sol se réfère à l'arrangement des particules du sol en agrégats, ce qui affecte la perméabilité, la rétention d'eau et la circulation de l'air. Un pH équilibré favorise l'agrégation du sol, facilitant la formation d'agrégats stables. Cela est essentiel pour prévenir l'érosion du sol, améliorer la rétention d'eau et favoriser une meilleure aération des racines des plantes. En ajustant le pH du sol, on peut influencer la disponibilité des ions nécessaires à la liaison des particules du sol en agrégats robustes (Gobat et al., 2010). Ainsi, maintenir un pH adéquat contribue non seulement à la santé des plantes, mais aussi à la résilience et à la stabilité à long terme de la structure du sol, préservant ainsi sa productivité et sa fonction écologique.

En 2020, toutes les parcelles ont été échantillonnées pour la valeur pH. En revanche, ces valeurs n'avaient été mesurées que sur la parcelle en agroforesterie et le verger épicerie en 2013. L'analyse de l'évolution du pH ne peut donc être faite que sur ces deux parcelles. A noter toutefois que les méthodes d'échantillonnage n'étaient pas les mêmes car, en 2013, le pH avait été mesuré dans des échantillons de sol prélevés dans chaque couche (horizon) suite à la creuse de profils de sol alors que, en 2020, la méthode d'échantillonnage consistait en plusieurs prélèvements de sol à la tarière à une profondeur de 2-25 cm. De plus, la localisation exacte des profils de sol effectués par la station agricole cantonale de Marcelin en 2013 n'est pas connue.

➤ Cuivre

Une faible quantité de cuivre est nécessaire au métabolisme et donc à la bonne croissance des plantes (Gobat et al., 2010). Il devient cependant toxique au-delà d'une certaine concentration. En arboriculture, le cuivre est généralement utilisé dans les traitements phytosanitaires et a tendance à s'accumuler dans les sols (Kuster et al., 2017). A haute concentration, il a des effets nocifs sur la croissance des plantes, sur les micro-organismes et la faune du sol (Andrivon et al., 2018 ; Gobat et al., 2010).

La teneur totale en cuivre a été mesurée en 2020 selon la méthode recommandée par l'OSol (extraction à l'acide nitrique HNO₃ 2M, (Sol-Conseil, 2020c)). Cette analyse n'avait cependant pas encore été effectuée sur le BioDiVerger. Elle permettra à l'avenir de réaliser un suivi pour garantir une haute biodiversité et une production au long terme.

➤ Analyses de l'activité biologique des sols

L'activité biologique dans les sols joue un rôle essentiel dans l'écosystème (Gobat et al., 2010). Les analyses biologiques fournissent des informations complémentaires précieuses sur la fertilité des sols. Un sol fertile se caractérise par une faune et une flore diversifiée et biologiquement active. Un système innovant développé par Nicolas Maire dans les années 80 offre une méthode de mesure complète.

Ce système permet de quantifier plusieurs paramètres : (1) la biomasse microbienne, évaluée par la quantification de l'ATP [ngATP/g], représentant la quantité de microorganismes vivants dans le sol, (2) le dégagement de CO₂ [μCO₂/g/h], reflétant la respiration des microorganismes sur 4, 9 et 15 jours, (3) la minéralisation du carbone organique (minCorg en [μgMO/g]), estimant la quantité de matière

organique minéralisée par les microorganismes, et (4) le rapport CO_2/ATP , qui indique l'activité spécifique moyenne de la biomasse.

Pour évaluer la biomasse du sol et l'activité biologique, des analyses biologiques, regroupées sous le nom "AnaBio", ont été réalisées par le laboratoire Sol-Conseil. Cette méthode estime la masse d'organismes vivants dans le sol en quantifiant l'ATP, une molécule présente dans toutes les cellules vivantes. L'activité biologique est évaluée par la mesure du CO_2 dégagé par la respiration des microorganismes aux jours 4, 9 et 15 d'incubation, tandis que la minéralisation du carbone organique est fournie sous forme de min. Corg après 15 jours.

Le rapport CO_2/ATP , calculé sur la base de la somme du CO_2 dégagé après 9 jours, complète les informations obtenues. Des références basées sur des études de terres assolées et de prairies permanentes dans le canton de Fribourg ont été utilisées pour interpréter les résultats. L'appréciation des valeurs se fait en fonction du taux d'argiles pour l'ATP, du taux de matière organique pour le CO_2 et le Min Corg, et du pH pour le rapport CO_2/ATP . Cette analyse, déjà réalisée en 2015 sur le verger épicerie mais pas sur AF Arbo, permettra une comparaison temporelle sur cette partie du BioDiVerger. Bien que cette méthode évalue la masse et l'activité des organismes vivants, elle ne fournit pas d'information sur leur diversité, une donnée cruciale pour évaluer la résilience du système.

2.4 Résultats et discussion

L'entier des résultats n'a pas été fourni dans ce document. Ils sont cependant consultables sur demande. Les différentes pratiques agricoles des parcelles influencent directement la qualité structurale, ainsi que la biodiversité présente dans les sols. Cette partie se concentre sur la texture et la structure du sol, la qualité structurale et l'abondance de vers de terre.

2.4.1 Analyses visuelles

2.4.1.1 Qualité structurale des sols

La Figure 8 indique les résultats de la qualité structurale des sols, qui présentent des qualités plutôt bonnes, avec des scores répartis entre Score = 1 ; Score = 3.

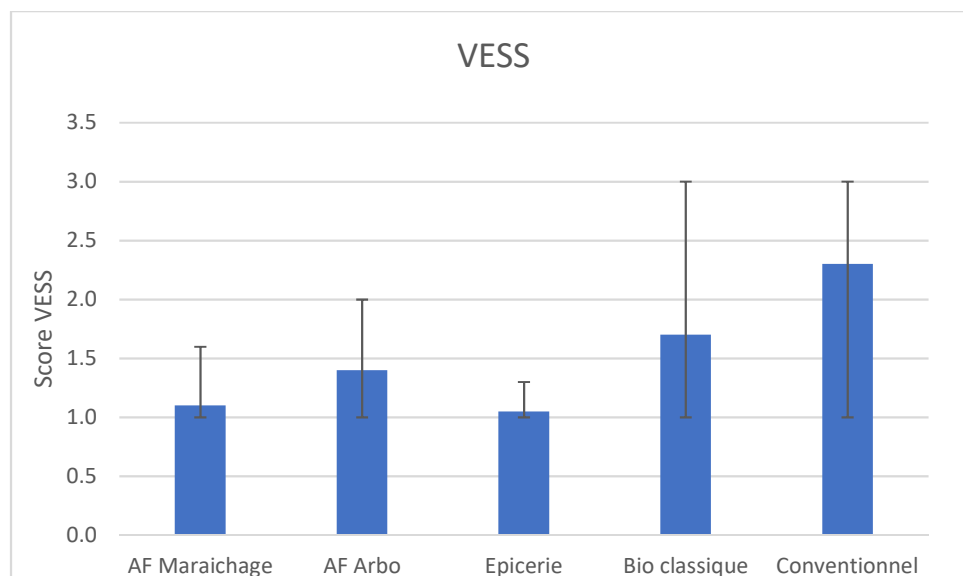


Figure 8 : Moyenne des scores VESS pour chaque parcelle. Les notes maximales et minimales sont représentées par les barres noires.

La Figure 9 démontre l'influence des passages de roues dans la partie conventionnelle avec une moyenne de score VESS plus importante traduisant une légère compaction dans les zones interrangs que dans les rangs de fruitiers. La partie bio classique est moins touchée par cette influence, étant donné qu'il n'y a pas le même travail mécanique.

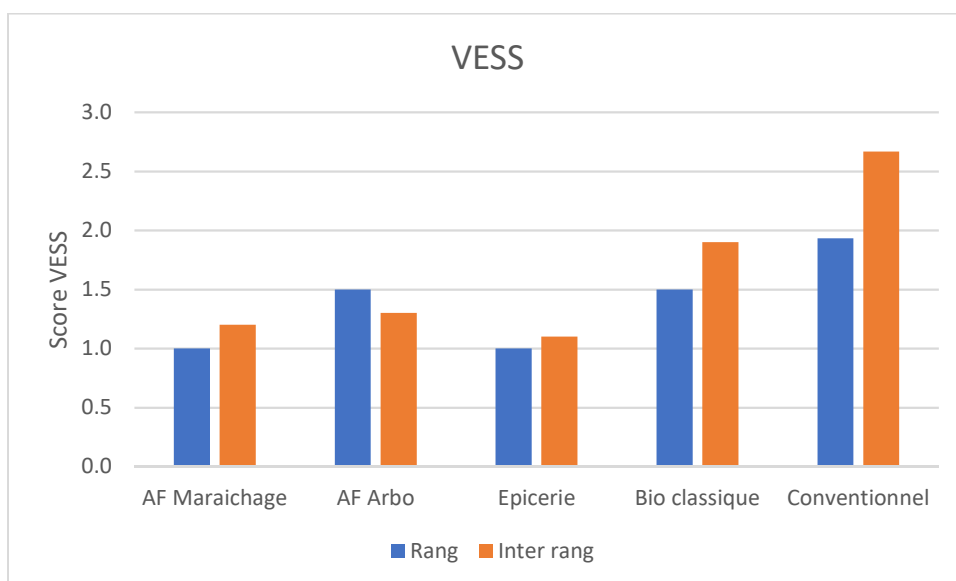


Figure 9 : Moyenne des scores VESS effectués dans les rangs et dans l'interrang pour les parcelles Agroforesterie (AF), verger épicerie, bio classique et conventionnel.

La Figure 10 indique que la tendance est la même entre 2020 et 2022 pour les différentes zones. Une évolution positive de la qualité structurale pour l'ensemble du verger semblerait se dessiner, mais une telle évolution sur seulement 2 ans n'est généralement pas observable. Toutefois, cette évolution pourrait être en partie due à un travail de sol limité pour chaque parcelle, y compris la parcelle conventionnelle.

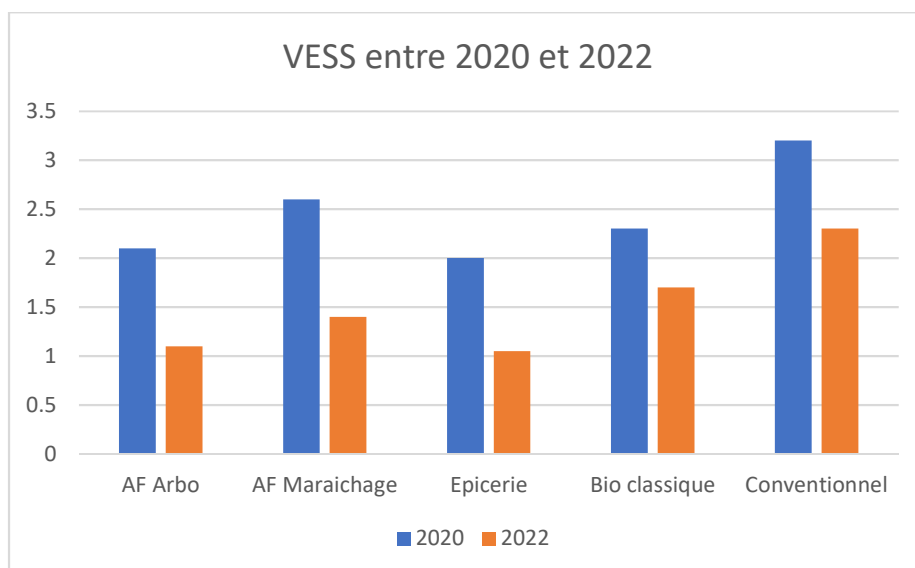


Figure 10 : Moyennes des scores VESS obtenues entre 2020 et 2022

2.4.1.2 Analyse de la population de lombriciens

Les résultats des mesures de vers de terre sur l'ensemble des parcelles du BioDiVerger ont été résumés dans les tableaux ci-dessous, les juvéniles n'ont pas été considérés dans l'abondance et la biomasse totale des parcelles. Le travail de Fischer et al. (2019), a permis de fixer un seuil à 120 individus/m². Au-delà de ce seuil, on considère que la parcelle a une bonne abondance de lombriciens traduisant une bonne fertilité du sol. Les résultats de l'ensemble des parcelles contiennent plus de 120 individus/m² avec une diversité écologique des communautés dominée par les anéciques et les endogés, ces catégories écologiques sont responsables du plus grand travail de structuration du sol. La présence d'épigée est plus disparate (Tableau 6 et Figure 11). L'importante présence de vers de terre dans le site de Marcelin est en partie liée au travail de sol réduit pour chaque système (Jossi et al., (2011)). Des résultats plus faibles sont relevés dans les bandes maraîchères, qui elles, subissent des passages au chisel pour la préparation des semis et plantations.

Tableau 6 : Abondances de lombriciens issues de l'extraction à la farine de moutarde (+ extraction manuelle). Moyennes des résultats obtenus sur chacune des parcelles avec les différentes proportions des catégories écologiques de vers de terre en [%]. Ind/m² = Individu au m²

Parcelle	Abondance	Anéciques	Endogés	Epigés
	Ind/m ²	[%]	[%]	[%]
AF Arbo	329,67	31,85	62,59	5,56
AF Maraichage	228,67	31,78	60,93	7,29
Verger épicerie	437,00	51,56	41,88	6,56
Bio classique	288,33	49,42	46,76	3,82
Conventionnel	321,83	48,27	46,87	4,87

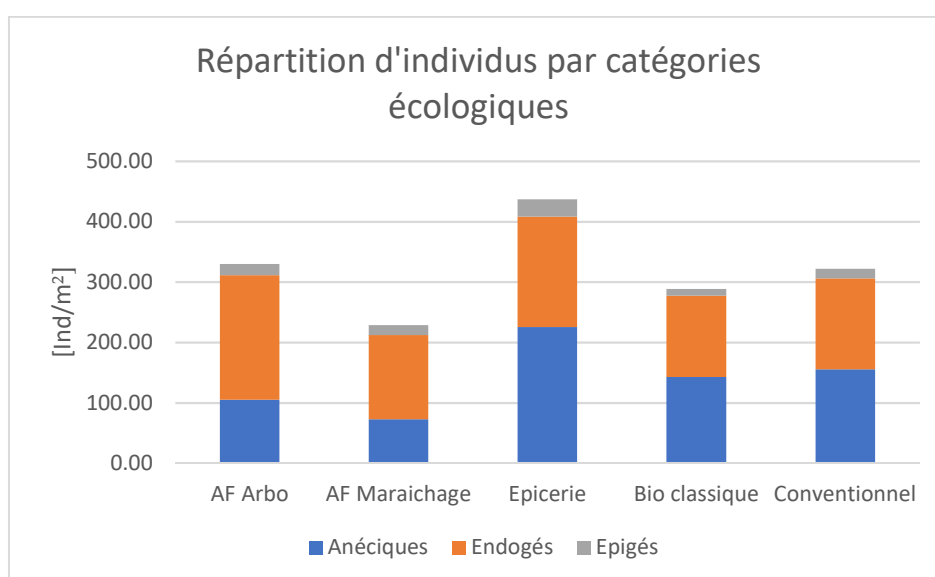


Figure 11 : Répartition du nombre d'individus pour chaque catégorie écologique par parcelle

Le Tableau 7 présente la biomasse de lombriciens total par parcelle avec le pourcentage de chaque communauté. Les valeurs obtenues pour les anéciques montrent que les parcelles sont largement dominées par cette catégorie écologique (Figure 12).

Tableau 7 : Biomasses de lombriciens issues de l'extraction à la farine de moutarde (+ extraction manuelle). Moyennes des résultats obtenus sur chacune des parcelles avec les différentes proportions des catégories écologiques de vers de terre.

Parcelle	Biomasse	Anéciques	Endogés	Epigés
	g/m ²	[%]	[%]	[%]
AF Arbo	362,50	80,18	18,30	1,52
AF Maraichage	154,67	63,58	31,03	5,39
Vergers épicerie	401,33	90,12	9,88	0,00
Bio classique	388,83	85,04	14,49	0,47
Conventionnel	378,67	70,86	27,55	1,58

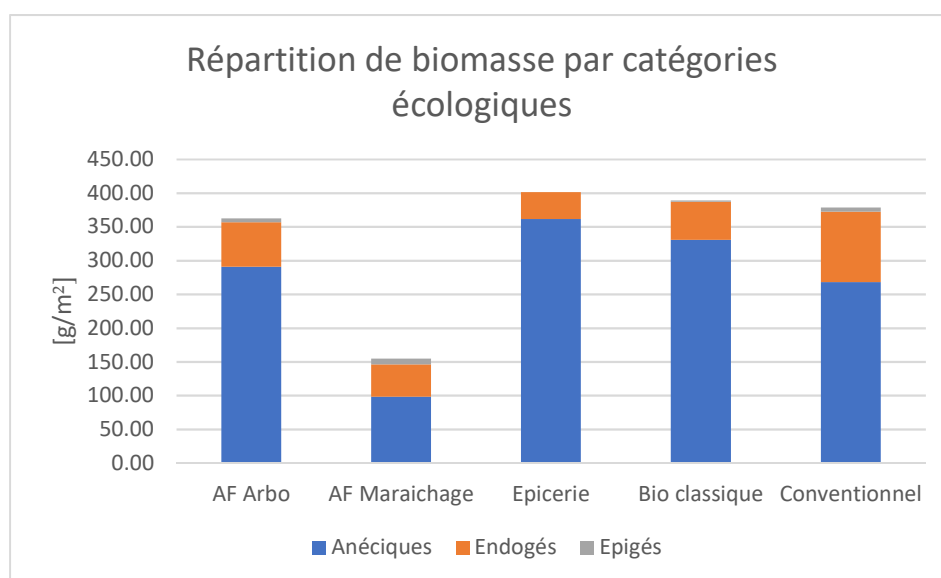


Figure 12 : Répartition en biomasse pour chaque catégorie écologique par parcelle

➤ Évolution des lombriciens entre 2020 et 2022

Les valeurs obtenues entre 2020 et 2022 indiquent que les pratiques agricoles appliquées dans le BioDiVergers sont favorables à la prolifération de vers de terre et donc à la fertilité des sols. (Fischer et al.,(2019))

Les résultats obtenus en 2022 sont légèrement plus faibles pour les parcelles Agroforesterie (AF Arbo), Épicerie et Bio classique. Les résultats de la parcelle conventionnelle ont montré une hausse importante par rapport à 2020. (Figure 13). Les résultats obtenus pour la parcelle conventionnelle démontrent que le travail réduit et l'application raisonnée de produits phytosanitaires ont permis une prolifération importante des vers de terre.

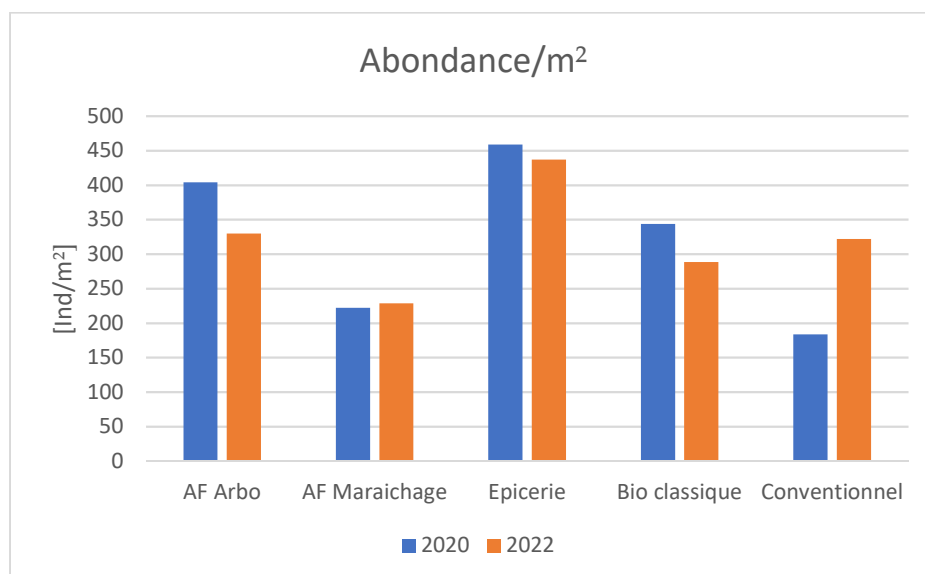


Figure 13 : Comparaison des abondances de vers de terre entre 2020 et 2022

La Figure 14 montre des résultats d'augmentation importante sur la biomasse des lombriciens. Les résultats ont plus que doublé dans les analyses de 2022. En observant les données du Tableau 7, on constate que l'augmentation drastique de la biomasse est principalement due aux anéciques (63 à 90% de la biomasse totale). D'une part, il paraît tout à fait normal que la plus grande proportion de la biomasse touche la catégorie écologique des anéciques étant donné qu'ils présentent la plus grande biomasse en comparaison aux deux autres catégories. D'autre part, il paraît surprenant d'avoir une différence de biomasse aussi importante entre 2020 et 2022. Selon les données de 2020, la majorité des lombriciens était de plus petites tailles (jeunes adultes). La seule exception concerne la parcelle maraîchage dans l'agroforesterie, qui est principalement due au travail de sol engendrant aussi une limitation de la matière organique disponible.

Finalement, les résultats montrent que le milieu est propice à la croissance des vers de terre. D'ailleurs, selon Satchell et al.,(1980), les stratégies d'allocation de l'énergie varient entre les types « r et k ». Les endogés et les anéciques privilégient la stratégie « k » ciblée sur la survie et la croissance plutôt que la reproduction. On peut donc supposer que les faibles précipitations depuis le début de l'année 2022 ont engendré une réaction de survie dans la majorité des lombriciens qui a permis une croissance d'autant plus importante. (Curry et al.,(2004))

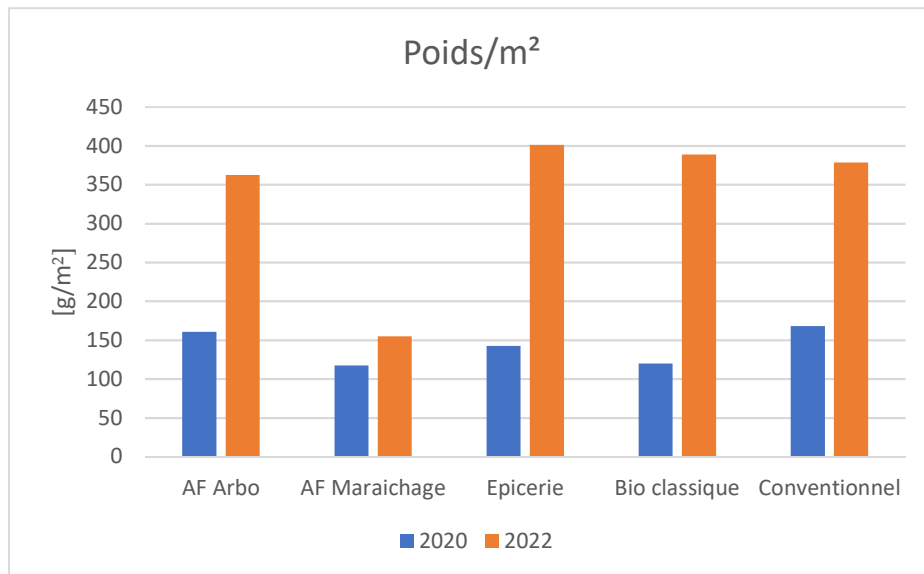


Figure 14 : Comparaison de biomasse de vers de terre entre 2020 et 2022

La Figure 15 et la Figure 16 montrent les résultats par individu/m² et la biomasse en g/m² pour les anéciques. La majorité des anéciques trouvés dans toutes les parcelles étaient de grande taille avec une biomasse plus importante en comparaison aux deux autres catégories écologiques (Image 5).

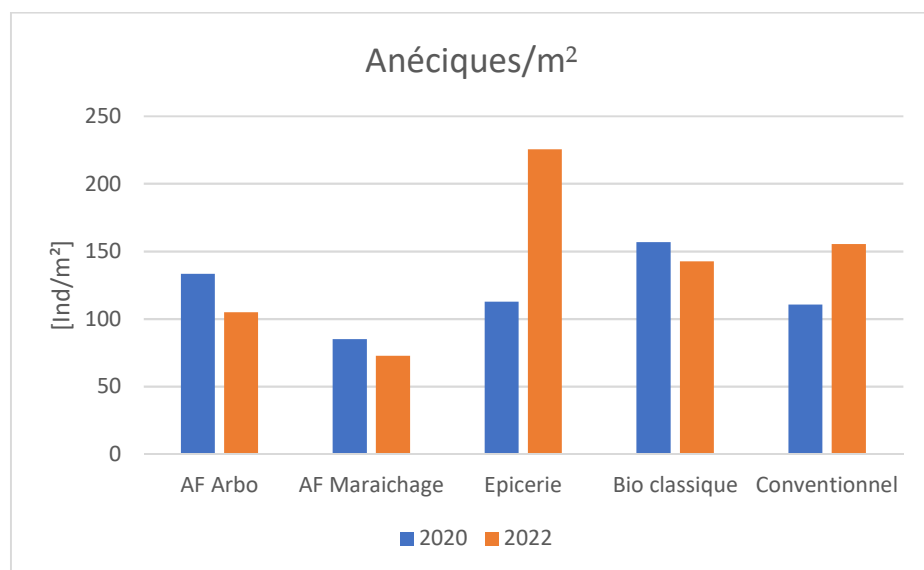


Figure 15 : Comparaison d'anéciques présents au m² entre 2020 et 2022

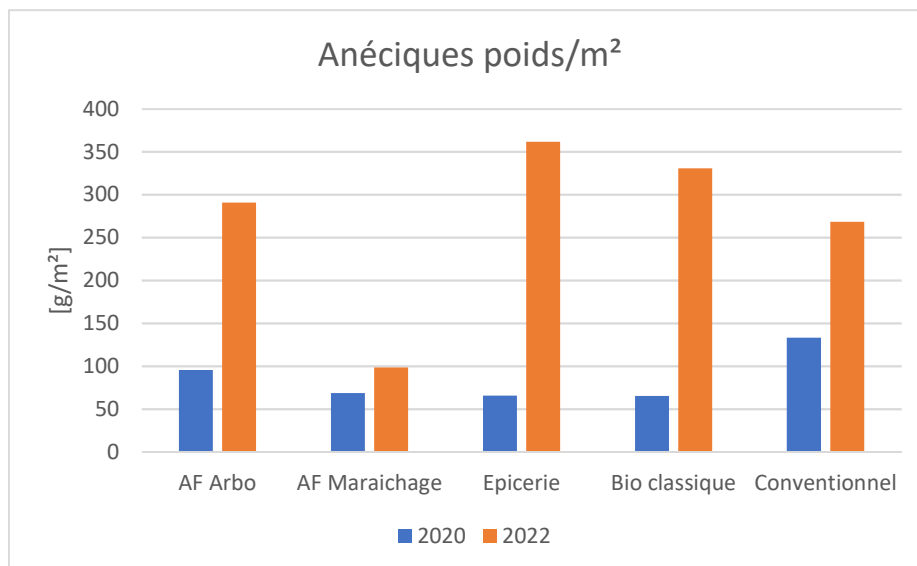


Figure 16 : Comparaison de la biomasse au m² d'anécique présents entre 2020 et 2022



Image 5 : Anécique prélevé dans le verger conventionnel faisant plus de 15 [cm] pour un poids de 4 [g]

2.4.2 Analyses en laboratoire

2.4.2.1 Texture des sols

Les paramètres des sols de chaque parcelle, issus de la dernière campagne d'analyses de 2022, ont été résumés dans le Tableau 8 ci-dessous :

Tableau 8 : Résumé des caractéristiques de sols échantillonnés. CEC : capacité d'échange cationique [%], pH, MO : matière organique [%], teneur en argiles, limons (silt) et sables (2022)

Parcelle	%CEC sat	pH	MO [%]	MO/argiles	Argiles [%]	Silt [%]	Sable [%]
AF arbo	95.6	7.6	4.1	16.7	24.5	36.8	38.6
AF Maraichage	71.3	7.1	4.1	16.5	24.9	29.8	45.4
Épicerie	87.6	7	4.1	17.9	22.9	36.6	40.5
Bio classique	74	7	6.1	24.3	25.1	35.3	39.6
Conventionnel	80	7.3	4	16.7	24	37.6	38.5

La plupart des parcelles se situent dans la classe de texturale des limons (Figure 17). La variation de textures est faible ce qui s'explique aisément étant donné que les parcelles sont juxtaposées. Seuls 2 échantillons situés dans la parcelle agroforesterie présentent une teneur en sable plus faible (23%)

(éch : Agrof PF 13C) située dans la classe des limons fins (SIL), ainsi qu'un autre échantillon avec une teneur plus forte en argile (30,7%) (éch : Agrof PF 13A) située dans la classe limon argileux (CL).

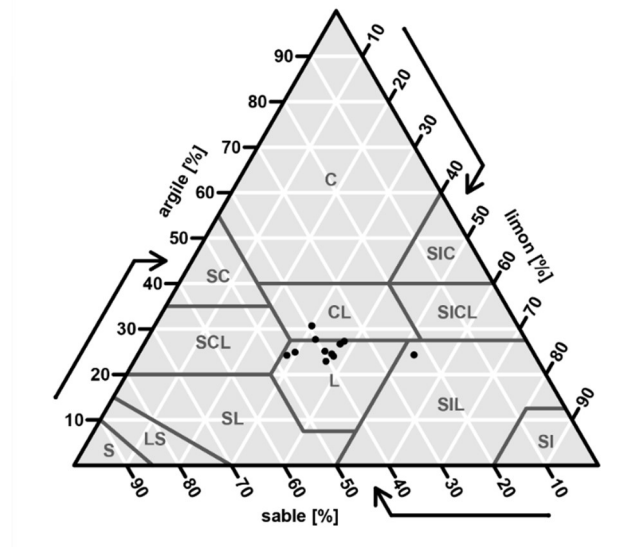


Figure 17 : Triangle de texture représentant la classe texturale des parcelles (classification USDA). Les données utilisées datent de 2013, 2015 et 2022

2.4.2.2 Matière organique

La teneur en matière organique varie peu d'une parcelle à l'autre. Seul le verger conventionnel se distingue quelque peu mais reste satisfaisant, comme l'indique la Figure 18.

La partie en maraîchage présente le taux le plus élevé de matière organique. Celle-ci est apportée par les résidus de culture et par du compost. Il est cependant possible que le résultat soit influencé par les presse-mottes (plantons) dans lesquels sont plantés les plants annuels. Une partie de cette matière a pu être intégrée aux échantillons, augmentant légèrement le taux de matière organique du sol.

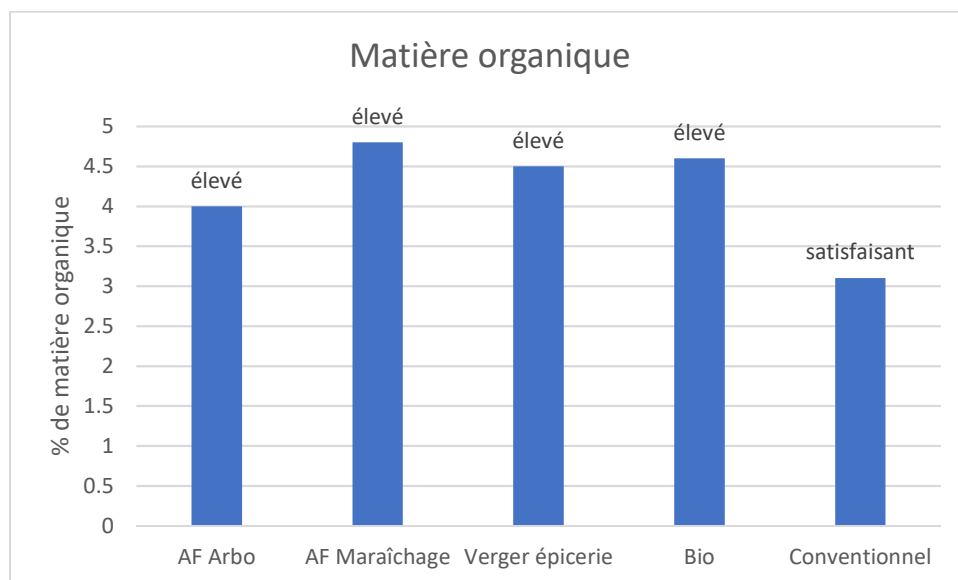


Figure 18 : Teneur en matière organique des 5 parcelles en 2020. Les appréciations sont mentionnées au-dessus des valeurs.

Depuis 2013, la teneur en matière organique a augmenté (Figure 19), signe d'un approvisionnement suffisant. Elle a cependant moins augmenté sur le verger agroforestier (partie arboricole) que sur le

verger épicerie. Ce dernier, toujours enherbé, dispose d'un apport constant en matière organique. De plus, au cours de l'installation du verger (en 2014), 45m³ de bois raméal fragmenté (BRF) ont été répartis sur l'ensemble du verger épicerie (Bougouin et al., 2018).

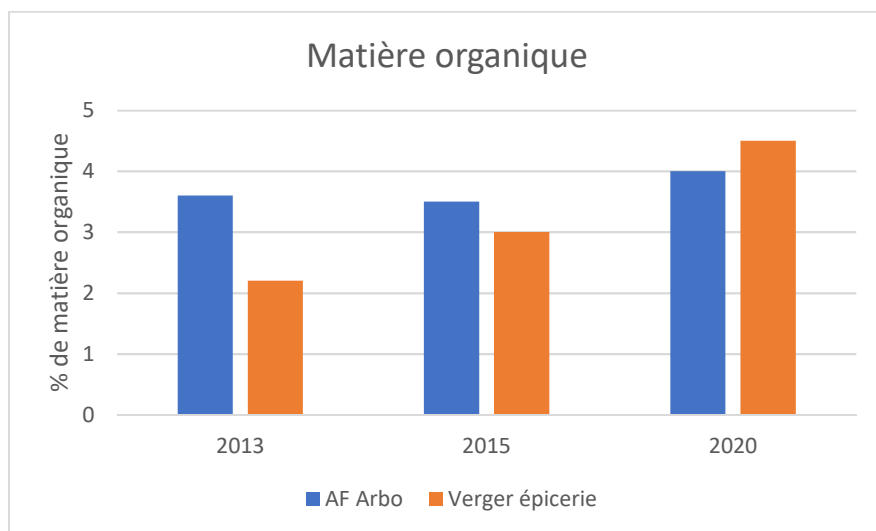


Figure 19 : Évolution de la teneur en matière organique sur le BioDiVerger entre 2013 et 2020.

En comparaison aux résultats obtenus en 2020, les teneurs sont équivalentes ou en augmentation en 2022. La Figure 20 permet de comparer les résultats obtenus entre 2020 et 2022.



Figure 20 : Teneur en matière organique (MO) sur chaque parcelle entre 2020 et 2022.

2.4.2.3 Ratio MO/Argiles

Le ratio entre la matière organique et l'argile (Tableau 8) est corrélé avec la vulnérabilité de la structure du sol. Selon les études de A. Johannes et al., (2017), un rapport > 17% concerne des sols avec une bonne qualité structurale (seuil minimal de qualité structurale). De plus, le ratio est aussi corrélé aux observations des tests VESS (Figure 21).

Les résultats obtenus en 2022 pour ces parcelles ont tous obtenu des scores VESS > 2, indiquant une bonne qualité structurale des sols.

L'ensemble des ratios des parcelles se situent proche ou au-dessus de la limite du rapport de 17% représentant une bonne qualité structurale. La parcelle bio classique indique un seuil (>24%) de qualité optimale en termes de fonctionnalité à long terme en comparaison à chaque parcelle. Ces résultats indiquent une bonne résistance et résilience du sol au travers d'une porosité structurale et plasmique suffisante pour l'ensemble du verger.

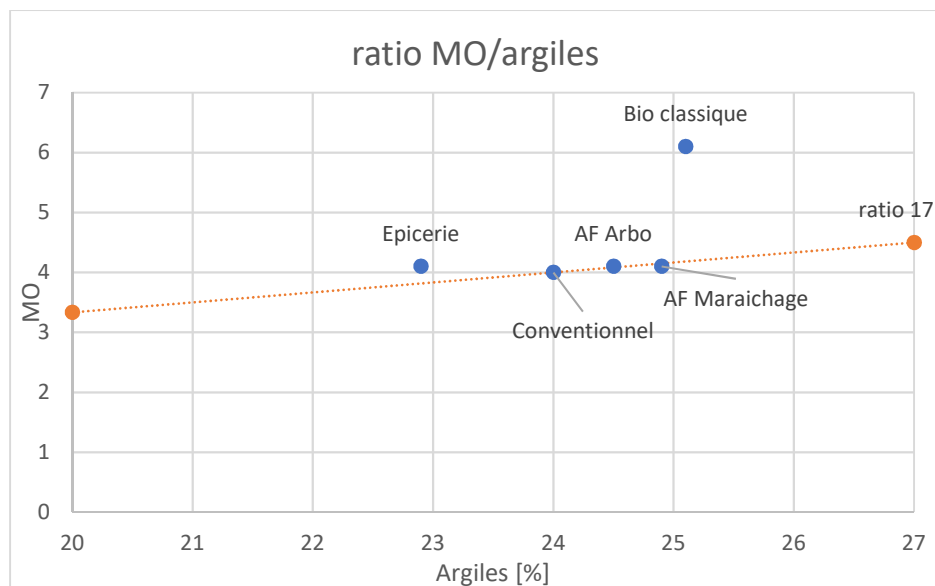


Figure 21 : ratio MO/argiles [%] représentant les ratios de chaque parcelle. La droite linéaire correspond à un seuil de ratio 17.

2.4.2.4 Capacité d'échange cationique (CEC)

Les analyses de CEC déterminent la quantité maximale de cations de toutes sortes qu'un poids déterminé de sol est capable de retenir, elle est donc un paramètre important qui permet d'évaluer « les réservoirs en éléments » du sol. Elle comporte une relation étroite entre CEC et teneur en argiles du sol. Le tableau 6 prend en compte les fractions d'argiles par parcelle.

Les résultats de CEC obtenus pour les exploitations du BioDiVerger sont résumés dans le Tableau 9 :

Tableau 9 : Résultats des analyses de CEC obtenues pour chaque parcelle. La somme des éléments est représentée par le % de saturation (sat.), H = % hydrogène, K = % de potassium, Ca = % de calcium, Mg = % magnésium, Na = % de sodium.

Parcelle	CEC [meq./100g]	sat. [%]	H [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Na [%]
AF Arbo	15.2	95.6	4.4	2.7	85.3	6.9	0.6
AF Maraichage	16.8	71.3	28.7	3.1	57.5	10	0.7
Épicerie	16.4	87.6	12.4	1.5	78.5	7	0.5
Bio classique	20.3	74	26	2.1	64.2	7.3	0.5
Conventiennnel	16.9	80	20	2.3	70.1	7.4	0.2

Les résultats de CEC sont satisfaisants pour chaque parcelle. La CEC [meq. /100g] situé entre 15 et 20 [meq/100g] indiquent des sols riches en éléments nutritifs. Ces résultats sont fonction du type de sol (Moyen à lourd et riche en MO) (Collaud et al.,(1990)).

Le taux de saturation (sat.%) représente le taux de « remplissage » du réservoir de ces éléments qui est satisfaisant aussi (bon réservoir = 75%) (Collaud et al.,(1990))

Les valeurs cibles de taux de saturation pour les différents cations sont présentées dans le Tableau 10 :

Tableau 10 : Valeurs cibles de taux de saturation des différents cations (gauche) ; Appréciation de la CEC (droite) tirée de Collaud et al.,(1990)

Taux de saturation		CEC (méq/100g)	Appréciation de la CEC	Type de sol
Ca ²⁺	60-85%			
Mg ²⁺	10-15%	0 – 12	Faible	léger
K ⁺	3-5%	12 – 20	Moyen	moyen
Na ⁺	0-3%	> 20	Fort	lourd
H ⁺	0-25%			

Les analyses CEC ont été faites pour la première en fois en 2022. De ce fait, chaque résultat va être expliqué, de manière détaillée, pour chaque parcelle selon (PRIF 2017) :

- 1) **AF Arbo** : Les taux de saturation des cations pour cette parcelle sont bien équilibrés mis à part un appauvrissement pour les cations de Mg (6,9%) et K (2,7%) et un léger excès en Ca (85,3%)
- 2) **AF Maraichage** : excès en H (28,7%). Le reste des éléments est bien équilibré avec un léger appauvrissement en Ca (57,5%).
- 3) **Épicerie** : équilibré hormis un léger appauvrissement en Mg (7%)
- 4) **Bio classique** : légers excès en H (26%), un faible appauvrissement de K (2,1% et Mg (7,4%)
- 5) **Conventionnel** : léger appauvrissement en K (2,3%) et Mg (7,4%)

Les excès en H pour les parcelles Agroforesterie maraîchage et Bio classique indiquent des sites « libres » dans le « réservoir du sol » qui ne sont pas occupés par des cations. Les ions hydrogènes prennent leur place à défaut d'être utiles pour les plantes. (Hérody Y., (2015))

Les appauvrissements en Mg et K concernent la majorité des parcelles.

Pour finir, l'augmentation du réservoir de la CEC est uniquement possible via un apport en MO. Elle peut donc être augmentée via des pratiques culturales (apport de compost). Ces apports peuvent provoquer des réactions d'oxydation de molécules aromatique augmentant le nombre de groupe fonctionnel (carboxyliques et phénoliques) et donc augmenter le volume de CEC.

2.4.2.5 Éléments nutritifs

Selon les analyses effectuées en 2020, les 5 parcelles ne présentent pas ou peu de différences entre les éléments de réserve (Figure 22) et les éléments solubles (Figure 23).

AF Arbo se distingue par sa forte teneur en K de réserve et soluble. Elle est potentiellement due à l'apport régulier en mulch et lisier complet. Le verger bio classique, dont le désherbage/mulching est conduit de la même manière que sur AF Arbo, présente d'ailleurs les deuxièmes valeurs les plus élevées en K (jugées riche et très riche). Selon Bertschinger et al. (2003) « le dépôt de mulch à base d'herbe sur la ligne d'arbres correspond à un apport de potassium (K₂O) pouvant aller jusqu'à 100 kg par année et par hectare de surface mulchée ».

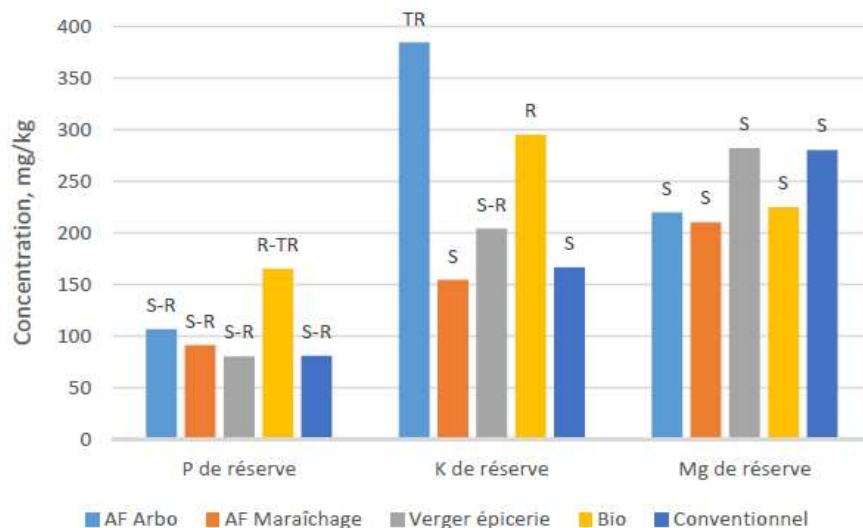


Figure 22 : Éléments de réserve des 5 parcelles en 2020. L'appréciation de la concentration est indiquée au-dessus de l'histogramme. S = satisfaisant, R = riche, TR = très riche.

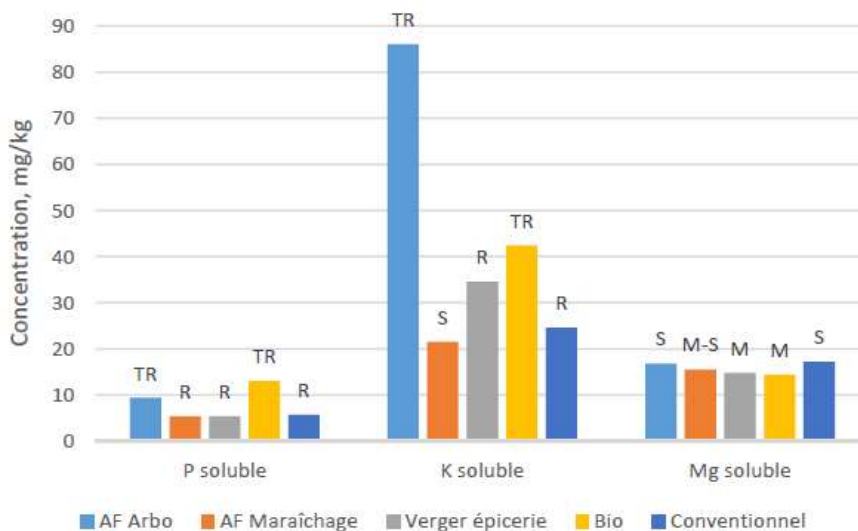


Figure 23 : Éléments solubles des 5 parcelles en 2020. L'appréciation de la concentration est indiquée au-dessus de l'histogramme. M = médiocre, S = satisfaisant, R = riche, TR = très riche.

Le Mg soluble quant à lui est jugé insuffisant, en 2020, sur le verger épicerie et le verger bio. Il est possible que cela soit dû à la forte teneur en K, comme ces deux éléments sont antagonistes. En effet, tous deux sont de charge positive. Si leur concentration est disproportionnée, l'élément très abondant peut alors empêcher l'absorption de l'autre, même si ce dernier est présent en quantité suffisante pour la plante (Bertschinger et al., 2003). Il convient de surveiller les plantes pour s'assurer qu'il n'y ait pas de perte précoce des feuilles ni de zones claires ou brunes entre les nervures des feuilles, signes d'une carence en Mg (Bertschinger et al., 2003 ; Häseli et al., 2016).

La teneur en Mg soluble est cependant proche entre les différentes parcelles, et il faut donc prendre du recul par rapport aux appréciations qui jugent les sols par rapport à des limites précises. Il est d'ailleurs intéressant de constater que sur AF Arbo, qui contient particulièrement beaucoup de K, la teneur en Mg est jugée suffisante.

Dans l'ensemble, la gestion du BioDiVerger consistant à limiter les intrants ne semble donc pas compromettre le réapprovisionnement en nutriments assimilables. Au contraire, leur concentration est un peu élevée selon les principes de fertilisation des sols agricoles de Suisse.

Sur le BioDiVerger, les éléments de réserve semblent avoir augmenté depuis 2013 (Figure 24 et Figure 25). Seule la teneur en Mg du verger épicerie est restée constante. La tendance est à l'enrichissement. Sur le verger épicerie, la forte augmentation en éléments nutritifs entre 2013 et 2015 résulte peut-être de l'apport en BRF mentionné précédemment.

A nouveau, on constate que le mode de gestion du BioDiVerger assure le renouvellement des éléments nutritifs. Peut-être même trop - attention à ne pas en apporter en trop grande quantité pour éviter des répercussions sur l'écosystème et d'éventuelles relations antagonistes.

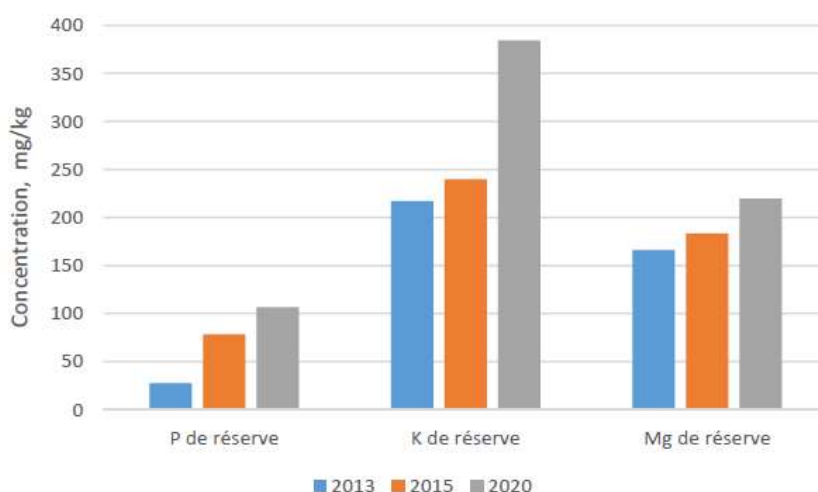


Figure 24 : Évolution de la concentration en éléments de réserve sur la partie arboriculture de verger agroforestier

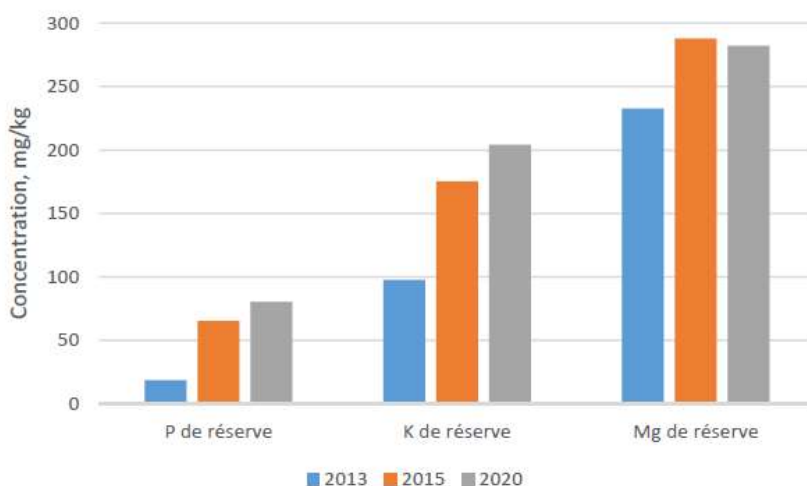


Figure 25 : Évolution de la teneur en éléments réserve sur le verger épicerie

Les résultats des analyses de 2022 montrent que le phosphore soluble est insuffisant pour toutes les parcelles hormis la zone de maraîchage et bio classique, comme le montre la Figure 26. Il est possible qu'une certaine compétition soit présente entre les plantes et les microorganismes. L'avantage serait donc du côté des microorganismes.

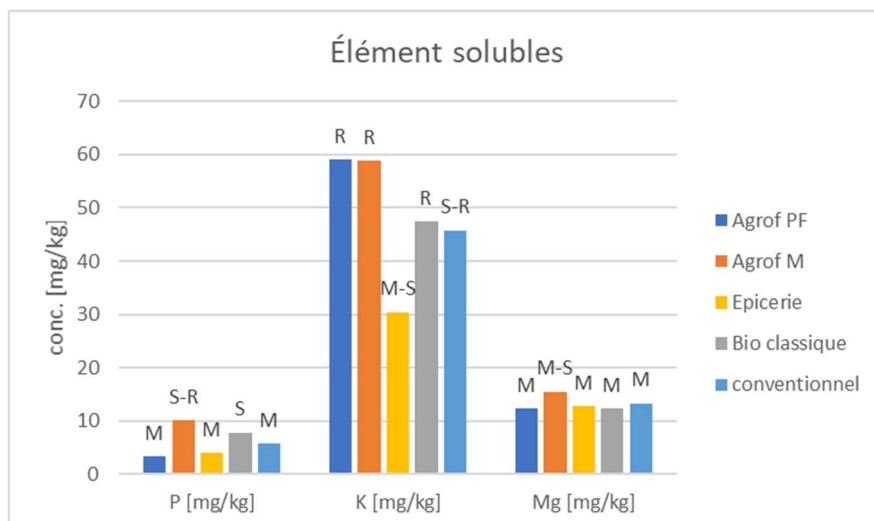


Figure 26 : Éléments solubles par parcelle, en 2022. M = Médiocre, S = Satisfaisant, R= Riche

Les teneurs en éléments de réserve en 2022 étaient majoritairement satisfaisantes (Figure 27). Ces éléments ne sont pas directement disponibles, mais permettent de savoir qu'ils le sont sur le long terme pour les différentes cultures du BioDiVerger.

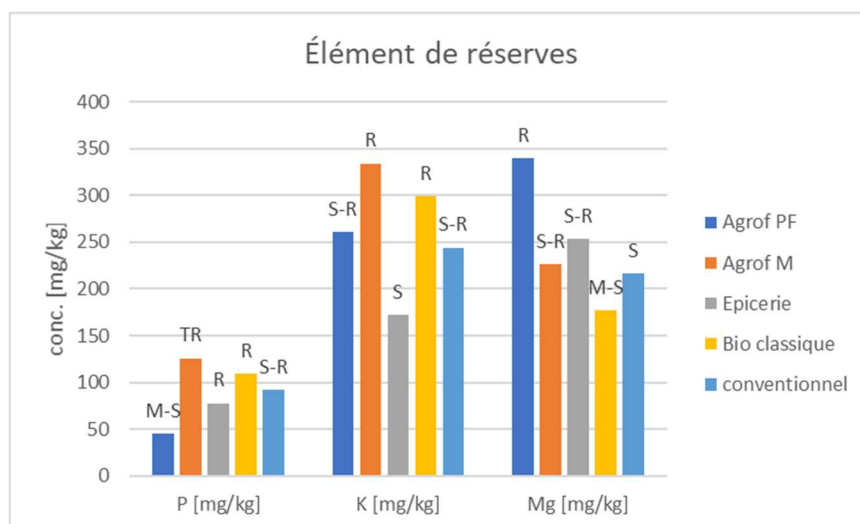


Figure 27 : Éléments de réserve de chaque parcelle, en 2022. M = Médiocre, S = Satisfaisant, R = Riche

À noter que le niveau des nutriments dans le sol pour une croissance optimale des plantes n'est pas identique pour toutes les cultures (Frossard et al., 2004).

2.4.2.6 pH

Entre 2013 et 2020, le pH de la parcelle en agroforesterie est passé de 6.9 à 7.6 et celui du verger épicerie de 8.2 à 7.7. Le constat est que tous deux ont atteint le même niveau mais une parcelle s'est acidifiée alors que l'autre s'est alcalinisée. L'acidification du sol du verger épicerie pourrait être due à l'apport conséquent de BRF en 2014 et l'alcalinisation du verger agroforestier à l'apport régulier de compost (ayant généralement un pH de 7,5-8,5). Il est intéressant de relever que, en 2013, le pH du sol en profondeur (60 cm) était de 8.7 dans la parcelle en agroforesterie et de 8.4 dans le verger épicerie.

Néanmoins et compte tenu de ce qui a été cité précédemment, de nombreuses caractéristiques du sol sont inhérentes aux facteurs et processus naturels initiaux qui ont influencés sa formation (Gobat et al., 2010) et d'autres résultent des activités humaines. Ainsi, en observant les différentes couches

géologiques présentes sur le site de Marcelin (Figure 11), il apparaît que seule la parcelle conventionnelle se situe sur une seule et même couche, à savoir des moraines de fond alors que les autres parcelles se trouvent à cheval sur deux types de couche géologique : des moraines de fond (MF) et des marnes avec quelques grès (MGR).



Image 6 : Plan des couches géologiques présentes sur le site de Marcelin. Source : <https://www.geo.vd.ch/>

Au-delà des couches profondes du sol, des remblais auraient été effectués lors de la création du gymnase entre 2000 et 2002 (Théo Grossenbacher et Jonathan Schuler, communications personnelles) ; cela pouvant grandement influencer les caractéristiques du sol dont le pH.

2.4.2.7 Cuivre

La teneur en cuivre du verger épicerie et du verger bio dépasse la valeur indicative de l'OSol (Ordonnance sur les atteintes portées aux sols) fixée à 40 mg/kg (Tableau 7). C'est-à-dire que, selon cette ordonnance, la fertilité du sol au long terme n'est pas garantie, mais qu'il n'y a pas de risque d'utilisation pour les hommes, les plantes ou les animaux (OFEFP, 1998).

Tableau 11 : Cuivre total en mg/kg. Les valeurs en rouge dépassent la valeur indicative de l'OSol (40 mg/kg).

AF Arboriculture	AF Maraîchage	Verger épicerie	Bio	Conventionnel
35.8	34.8	42	43.7	38.7

Cependant, toutes les parcelles présentent des taux relativement proches. La teneur en cuivre ne semble donc pas entraînée par le mode d'exploitation. Il semble surprenant que le verger épicerie présente un taux si élevé. En effet, avant la création du verger en 2013, il s'agissait d'une prairie. Il n'y a pas eu d'application de cuivre sur les parcelles du BioDiVerger entre 2013 et 2020. En 2021 et 2022, seules des applications sporadiques ont été réalisées sur les infections primaires de tavelure (2 interventions) sur AF Arbo. Il est donc impossible que le mode de gestion ait engendré une telle concentration de cuivre dans le sol.

Il est possible que cette concentration élevée en cuivre provienne de la proximité des vignes. En effet, la présence de vignes sur le site de Marcelin remonte à plusieurs siècles (Canton de Vaud, 2020). Les vergers se situent en contrebas du coteau (Figure 12), à environ 100 m du verger le plus proche (verger conventionnel). Une autre parcelle de vigne se situe en-dessous du verger conventionnel, à l'est du verger épicerie. Or l'utilisation du cuivre en viticulture remonte en Suisse aux années 1880 (Speiser et al., 2015). Si, actuellement, la quantité moyenne de cuivre pur autorisée est de 6 kg/ha/an (4 kg/ha/an en bio), la quantité appliquée a parfois atteint jusqu'à 50 kg/ha/an entre 1920 et 1960 (Speiser et al., 2015). Une étude réalisée en Alsace (Imfeld et al., 2019) a cependant mesuré un export de cuivre par ruissellement (principalement sous forme particulière, par l'érosion du sol) variant de 0,02-1,6 % selon les événements pluvieux et le mode de gestion. La grande majorité du cuivre appliqué reste dans le sol.

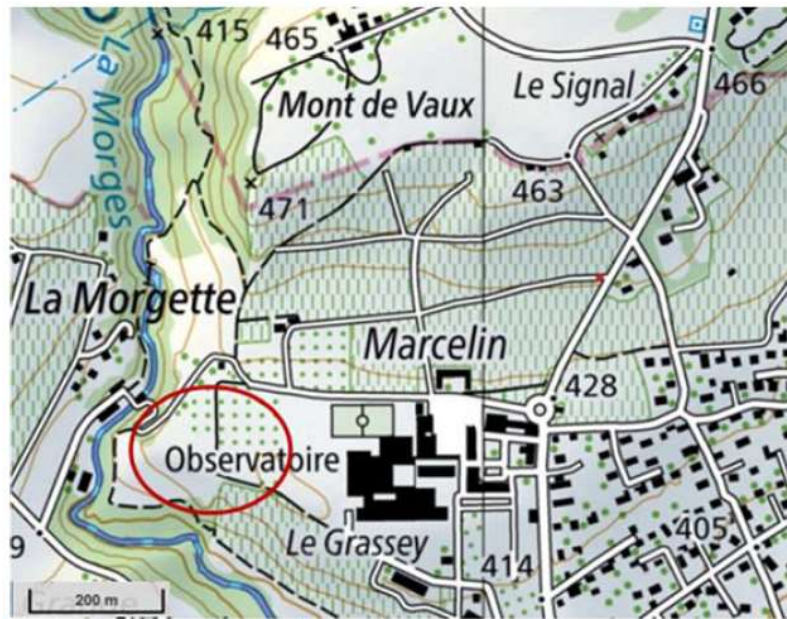


Image 7 : Situation de la zone d'étude (encerclée en rouge), en contrebas du coteau de vigne du domaine de Marcelin. Source: <https://map.geo.admin.ch/>

Une autre explication à la teneur en cuivre, pourrait être dû à l'apport de remblais.

Bien que ces valeurs soient préoccupantes, elles ne menacent pas la croissance des plantes. Selon Österreich et Aisher (1992, dans Kuster et al., 2017) le cuivre a un effet négatif sur les racines lorsqu'il dépasse 200 mg/kg. Elles peuvent cependant avoir un effet sur les organismes du sol. Selon certaines sources, une concentration de 87 mg/kg pourrait avoir des effets sur les populations de vers de terre (Gobat et al., 2010).

2.4.2.8 Biomasse et activité biologique

La quantité d'ATP représente la biomasse des microorganismes vivants dans les sols. Elles montrent des valeurs élevées pour toutes les parcelles en 2022 (Figure 28).

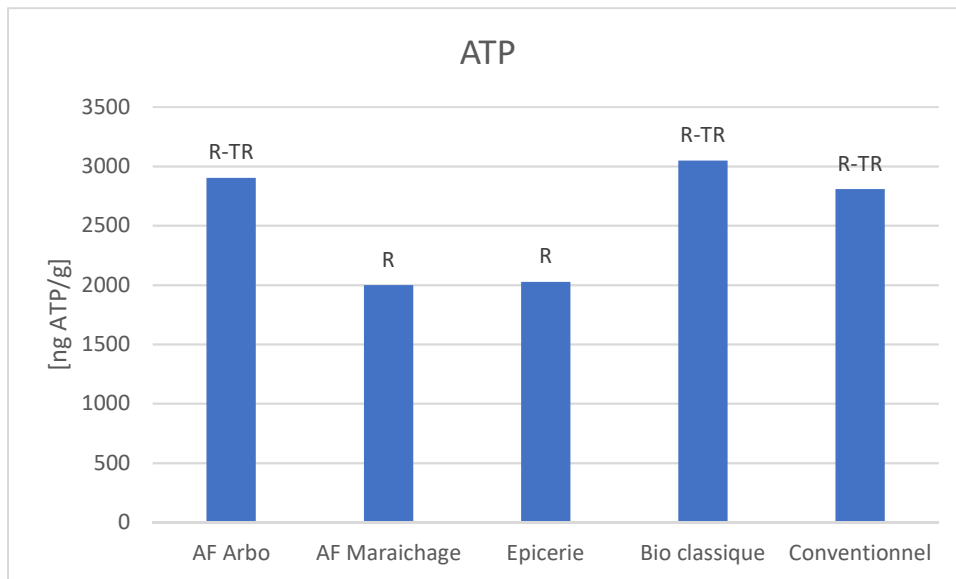


Figure 28 : Quantité d'ATP par parcelle en 2022. R = Riche, R-TR = Riche à très riche

En comparaison aux résultats obtenus en 2020 (figure 17). La hausse de biomasse est relativement importante ce qui indique une bonne fertilité du sol et une capacité importante à la préserver grâce à la présence de ces microorganismes. Le pic d'abondance pour les parcelles Agrof PF, bio classique et Conventionnel indiquent que ces zones comportent une forte activité des microorganismes dans la décomposition de la MO. Seule la parcelle épicerie comprend une baisse en comparaison à 2020. Cela est probablement dû aux apports en MO affaiblis sur cette parcelle et à l'extensification de cette parcelle.

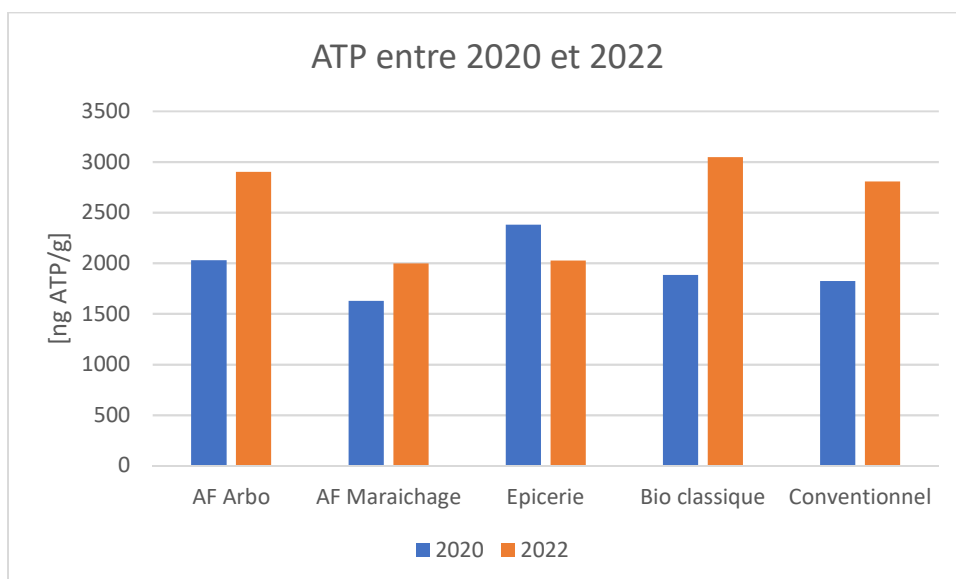


Figure 29 : Quantité d'ATP par parcelle en 2020 et 2022

La Figure 30 présente les résultats de minéralisation de carbone organique (min Corg), qui sont à nouveau importants. Elle concorde aux résultats de biomasse obtenus et présentés par la Figure 28 et la Figure 29. Les fortes activités exprimées par la somme de CO₂ libéré en 15 jours démontrent une minéralisation du carbone organique élevé. De ce fait, on peut conclure que les fonctions du sol sont assumées de manière aisée.

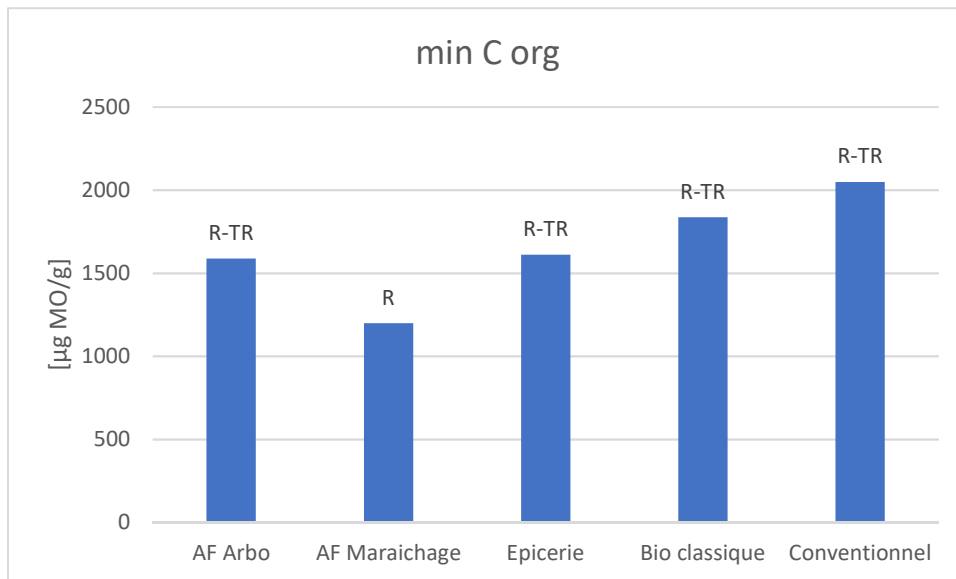


Figure 30 : Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2022. R = Riche, R-TR = Riche à très riche

La Figure 31 démontre une hausse relativement importante pour Agrof PF, bio classique et la parcelle conventionnelle. Les résultats montrent que la minéralisation de carbone est plus importante pour ces parcelles, alors que les parcelles AF Maraichage et Épicerie sont légèrement à la hausse sans pour autant indiquer une activité de minéralisation plus importante en comparaison à 2020. L'influence pour le maraîchage serait due au travail de sol plus important. Tandis que la zone de permaculture serait influencée par l'apport en MO limité couplé à la sécheresse de 2021 et 2022 et au fait qu'il n'y a pas d'arrosage, engendrant une activité moindre sur la décomposition et la minéralisation de carbone organique.

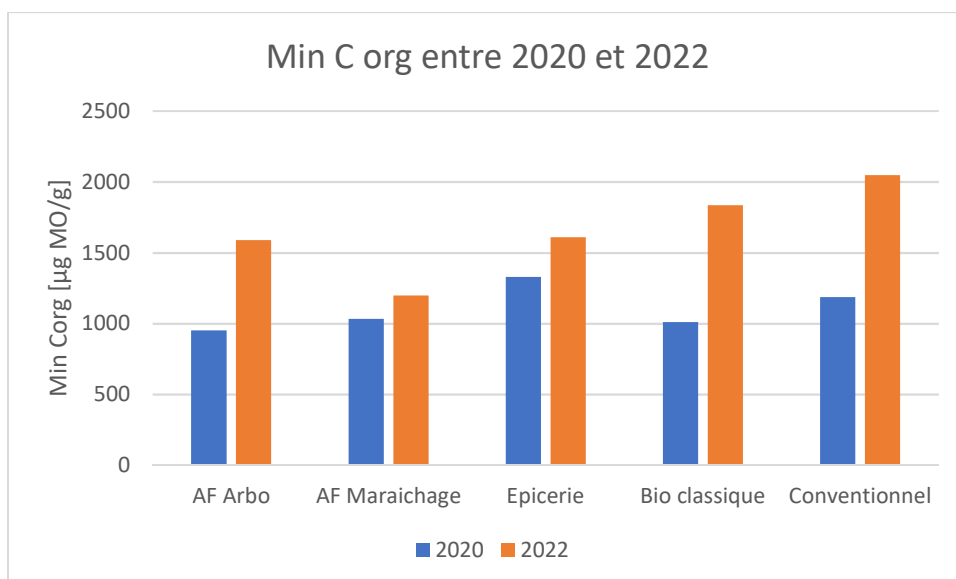


Figure 31 : Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2020 et 2022

Le rapport entre CO_2/ATP est satisfaisant (Figure 32). Les résultats de cette relation sont liés à la disponibilité en nutriments, ainsi qu'au degré de maturité de la MO. Les résultats obtenus pour AF Arbo montrent une minéralisation de la MO légèrement plus faible que les autres parcelles qui ont obtenu de bons résultats.

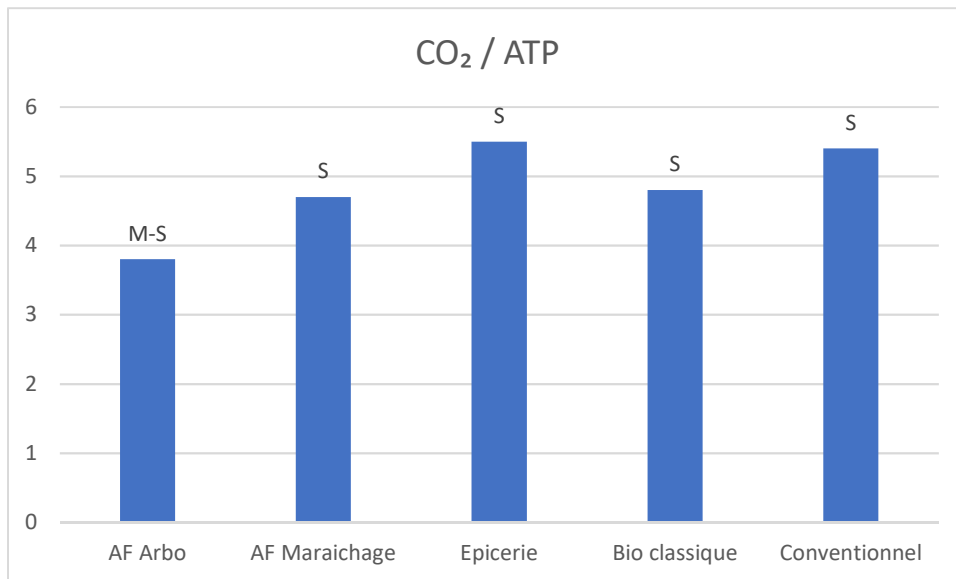


Figure 32 : Rapport de CO₂/ATP en 2022. M-S = Médiocre à suffisant, S = Satisfaisant.

La Figure 33 montre une légère augmentation du rapport CO₂/ATP en 2022 en comparaison à 2020. Les résultats corrélient avec la hausse générale d'abondance en microorganismes de 2022 (Figure 29).

Un résultat reste curieux : la parcelle Épicerie montre un rapport en augmentation indiquant une bonne minéralisation du Corg alors que l'abondance de microorganismes a été vue à la baisse par rapport à 2020. Il serait intéressant de savoir quel type de microorganismes est présent dans les sols. On peut supposer que l'abondance plus faible de microorganismes indique que leur activité de « travail au sein des sols » est plus importante que dans les autres parcelles qui auraient plus de microorganismes présents avec une activité plus faible.

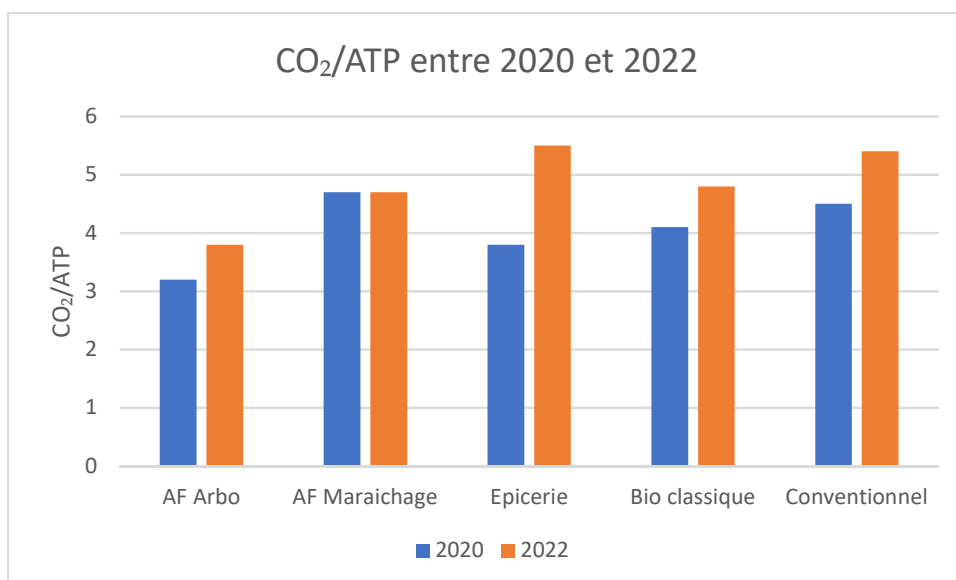


Figure 33 : Evolution du rapport de CO₂/ATP entre 2020 et 2022

2.5 Synthèse

En comparant les propriétés des sols à d'autres types de vergers, peu de différences ont été observées. Si, de manière générale, les autres vergers diffèrent du BioDiVerger de par leur design, ils ne s'en différencient pas forcément radicalement dans leur mode de gestion du sol.

Globalement, chaque partie atteint de bons résultats et des évolutions positives sont constatées depuis la mise en place du projet en 2013. Au niveau de la qualité structurale, la partie conventionnelle est plus compactée que les autres parcelles, car elle subit de nombreux passages en raison des différents essais réalisés par l'UFL. Malgré cela, les résultats obtenus sur le verger restent de bonnes qualités en comparaison aux sols travaillés sur le plateau suisse.

Malgré les faibles intrants, un bon réapprovisionnement en matière organique et en éléments nutritifs de réserve est assuré. L'activité biologique s'est aussi améliorée sur l'ensemble des parcelles.

Les limitations du travail mécanique de l'ensemble des parcelles impactent positivement la fertilité et biologie du sol. Les faibles perturbations (désherbage sélectif à la mulcheuse à fils manuelle et absence d'autres machines) et enherbements constants semblent être particulièrement propices aux organismes du sol et à l'établissement d'une structure grumeleuse et donc au bon fonctionnement du sol.

Une certaine autorégulation par les microorganismes et la biodiversité sont en place sur l'ensemble du verger. Les résultats montrent donc une bonne résistance et résilience du sol et des systèmes mise en place par l'UFL et la Ferme bio Les Sapins.

3 Suivi phytosanitaire

Le suivi phytosanitaire du BioDiVerger a pour but de faire un état des lieux de la pression des ravageurs et des maladies sur les différentes espèces de la parcelle. La régulation des ennemis des plantes par la faune auxiliaire est également prise en compte.

Ces observations servent de base aux discussions lors du COPIL, afin d'ajuster les mesures de lutte directe et indirecte et d'assurer la santé des végétaux ainsi que des productions qui correspondent aux objectifs du verger.

3.1 Méthodologie

Des évaluations de l'état sanitaire de chaque variété fruitière cultivée au BioDiVerger ont été faites à partir d'octobre 2017 à raison de deux fois par année, soit plus ou moins une première en juin (post-floraison) et une seconde en septembre (pré-récolte). Les paramètres évalués sont :

- La vigueur
- Les ravageurs spécifiques à l'espèce
- Les maladies spécifiques à l'espèce
- La présence d'auxiliaires (observation)

La méthode consiste en une évaluation visuelle en faisant le tour de l'arbre et en observant de près les feuilles, l'écorce et les fruits. Une notation de 0 à 5 est attribuée, 5 représentant la plus forte intensité de dégâts liés aux différentes maladies et ravageurs, et 0 l'absence de dégâts.

Pour chaque partie du verger (agroforesterie et verger épicerie), ces notes sont compilées dans un tableau Excel qui classe les espèces par feuille. Ainsi, on peut facilement mettre en évidence les points forts et les points faibles de chacune des espèces implantées sur le verger.

Remarques :

- Jusqu'en 2020 compris, la notation de la vigueur allait de 1 à 3 ; il en est de même pour certains ravageurs et maladies. Pour des raisons d'harmonisation et de compréhension, le résumé est exprimé en toutes lettres (faible → fort).
- Une vigueur moyenne correspond à une croissance équilibrée de la plante, donc bonne.
- Lorsqu'une maladie ou un ravageur n'a été observé qu'une seule année, il n'est pas mentionné dans le tableau de résumé de l'état sanitaire à moins d'un intérêt particulièrement pertinent.

Légendes des tableaux :

- Vigueur : comme précisé ci-dessus, une vigueur moyenne correspond à une croissance équilibrée de la plante, ce qui est recherché ; c'est pourquoi elle est écrite en **vert**. Une vigueur faible-moyenne ou moyenne-forte n'est pas mauvaise mais ne représente pas l'idéal, raison pour laquelle elle est indiquée en **orange**. Enfin, une vigueur faible ou forte répétée sur plusieurs années n'est pas souhaitable ; elle est par conséquent marquée en **rouge**.
- Maladies et ravageurs : une faible pression est qualifiée de contrôlée ou raisonnable et est donc écrite en **bleu**. Une pression moyenne est considérée comme néfaste mais pas critique ; elle est donc indiquée en **orange**. Enfin, une pression forte est jugée mauvaise ou critique, raison pour laquelle elle est marquée en **rouge**.

3.2 Résultats

Depuis le début du projet, des suivis phytosanitaires ont été réalisés à la cadence imposée. Ils ont permis de mettre en évidence la bonne régulation des insectes nuisibles par la faune auxiliaire au sein du verger.

De manière générale, la vigueur et la charge des arbres sont en augmentation. Des chiffres plus précis en termes de rendements sont repris dans le chapitre Analyse économique.

Des décisions quant à la lutte contre les maladies, notamment la cloque du pêcher et la tavelure du pommier, ont été prises. Dès 2020, afin de limiter le risque de contournement de résistance de certaines variétés au gène Vf qui présentaient des symptômes de tavelure, certaines périodes à risque de forte infection du champignon ont été couvertes avec du cuivre, alors qu'auparavant le cuivre avait été banni de la parcelle. En 2021, des essais avec de l'hydroxyde de chaux à 5 kg/ha ont été entrepris sur les pêchers afin de tenter d'enrayer les infections de cloque. Ils ont été renouvelés en 2022 à une dose de 50 kg/ha, conformément aux recommandations, mais l'effet n'a pas été concluant.

L'évaluation du comportement des différentes espèces et variétés sert également de base pour le choix des replantations afin de répondre aux objectifs du BioDiVerger.

Les tableaux qui suivent représentent une moyenne des saisons 2017 à 2023.

Remarques :

- L'année 2021 ayant été très pluvieuse et humide et donc particulièrement propice aux maladies fongiques, elle fait l'objet d'un contexte particulier concernant ces maladies lorsqu'elles divergent des autres années.
- En 2022, la sécheresse estivale n'a eu que peu d'effet sur la vigueur qui était équilibrée dans l'ensemble même si le feuillage semblait plus impacté par ces conditions. Contrairement à 2021, les attaques de maladies fongiques sont restées faibles hormis quelques symptômes de maladie criblée d'intensité parfois moyenne sur les arbres fruitiers à noyau. Les attaques de ravageurs demeuraient plutôt faibles grâce à une bonne régulation par les auxiliaires. L'année 2023 a également été marquée par une sécheresse estivale mais légèrement moins forte qu'en 2022. Des symptômes d'oïdium (faibles à moyens) ont été observés surtout en fin de saison. Les attaques de carpocapse et d'hoplocampe ont été plus fréquentes que les années précédentes, mais sont restées toutefois à un niveau faible.
- En 2023, la récolte des pommes de la variété Rusticana (sur porte-greffe M7) s'est faite entre 3 et 4 semaines plus tard que le verger conventionnel voisin. Les arbres se sont comme « bloqués », probablement à cause du manque d'eau (pas d'arrosage des fruitiers).

3.2.1 Verger agroforestier

Fruitiers haute-tige

Remo (pommier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Équilibrée- forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
Maladies	Oïdium	Faible	
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison
	Tavelure sur feuilles	Faible	Seulement en fin de saison
	Tavelure sur fruits	Faible	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Coccinelles 2018-2021

Fellenberg (prunier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Équilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron	Faible-moyenne	
	Cheimatobie	Faible	
Maladies	Maladie criblée	Faible-forte	Variable selon les années
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison
	Maladie criblée	Moyenne-forte	

Boskoop (pommier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
	Puceron des galles rouges	Faible	
Maladies	Oïdium	Moyenne	Faible en 2021
Contexte 2021	Tavelure sur feuilles	Faible	Seulement en fin de saison
	Tavelure sur fruits	Faible	Seulement en fin de saison

Harrow Sweet (poirier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Faible-équilibrée	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible-moyenne	
Maladies	Rouille	Faible	
	Tavelure sur feuilles	Faible	
Contexte 2021	Tavelure sur fruits	Faible	
	Auxiliaires		Coccinelles 2019 et 2021

Schneider (pommier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Forte	
Maladies	Oïdium	Faible	
Contexte 2021	Tavelure sur feuilles	Faible-moyenne	Seulement en fin de saison
	Tavelure sur fruits	Faible-moyenne	Seulement en fin de saison
	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison

Chézarid (prunier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Forte	
Maladies	Maladie criblée	Moyenne-forte	
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison

Reinette VD (pommier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible	
	Oïdium	Faible	Rien en 2021
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison
	Tavelure sur fruits	Faible	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Coccinelles 2020 et 2022

Noyer

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée-forte	

Pêchers (mi-tige sur porte-greffe Myrobolan ou St-Julien)

Mireille

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Faible-équilibrée	1 mort en 2020
Ravageurs	Puceron cigarier	Faible	
Maladies	Maladie criblée	Faible-moyenne	
	Cloque	Moyenne	
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison
	Bactériose	Moyenne	
	Auxiliaires		Coccinelles 2019-2022

Dugelay

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée	
Ravageurs	Puceron cigarier	Faible-moyenne	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible-moyenne	
	Cloque	Faible-moyenne	Forte en juin 2021
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison
	Bactériose	Faible-moyenne	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Coccinelles 2018-2022

Mayflower

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée	1 mort en 2020
Ravageurs	Puceron cigarier	Faible-moyenne	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible-moyenne	
	Cloque	Faible-moyenne	Variable selon les années

Contexte 2021	Bactériose	Faible-moyenne	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Coccinelles 2018-2022

Poiriers (basse-tige sur porte-greffe Pyriam ou BA29)

Novembra (Xénia)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Faible-équilibrée	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible-moyenne	
	Eriophyide	Faible-moyenne	
Maladies	Rouille grillagée	Faible-forte	Variable selon les années

Fred

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Équilibrée	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	Régulé
	Eriophyide	Faible-moyenne	
Maladies	Rouille grillagée	Faible	
Contexte 2021	Tavelure sur feuilles	Faible	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Forficules et larves de coccinelles 2019-2021

Packham's

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Faible	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
	Eriophyide	Faible	
Maladies	Rouille grillagée	Faible	
Contexte 2021	Tavelure sur feuilles	Faible	Seulement en fin de saison
	Tavelure sur fruits	Faible	Seulement en fin de saison

Pruniers (mi-tige)

Fellenberg précoce

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Équilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron	Faible-moyenne	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible-moyenne	
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Larves de coccinelles 2019-2022

Ersinger

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron	Faible-moyenne	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible-moyenne	Forte en fin de saison 2021
Contexte 2021	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Larves de coccinelles 2019-2022

Kirkès

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Faible-équilibrée	
Ravageurs	Puceron	Faible	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible	
	Auxiliaires		Larves de coccinelles 2019-2022

Pommiers (basse-tige)*Ladina M7*

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
	Puceron des galles rouges	Faible	
Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible	
	Marssonina	Faible	
	Roussissure	Faible	
	Auxiliaires		Araignées 2019-2021

Ladina M9

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
	Puceron des galles rouges	Faible	
Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible	
	Oïdium	Faible	
	Roussissure	Faible	

Rubinola

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	

Dalinette

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	

Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible	
	Moniliose	Faible-moyenne	
Contexte 2021	Tavelure sur fruits	Faible-moyenne	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Larves de syrphes 2019-2020

Rusticana

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible-moyenne	
Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible	Moyenne en fin de saison 2021
	Tavelure sur fruits	Faible	Moyenne en fin de saison 2021
	Moniliose	Faible	
	Roussissure	Faible	

Rusticana jeunes (2017-2018) : vigueur et charge un peu plus faibles et plus de puceron cendré mais peu de roussissure et pas de tavelure sur feuilles et sur fruits.

ACW 14955

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible	
	Tavelure sur fruits	Faible	
	Moniliose	Faible	
	Roussissure	Faible	

Marquage par la grêle en septembre 2018.

Akane M7

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
	Puceron des galles rouges	Faible	
Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible-moyenne	
	Tavelure sur fruits	Faible-moyenne	
Contexte 2021	Oïdium	Faible	Seulement en juin
	Marssonina	Faible	Seulement en fin de saison
	Roussissure	Faible	Seulement en juin

Akane M9

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	
	Auxiliaires		Syrphes 2020-2022

Petits fruits

Raisinnet (*Rodneus*)

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée-forte	

Cassis (*Titania*)

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée	

3.2.2 Verger permacole

Pêchers

Tous les arbres sont mal en point ; principalement dû à la cloque du pêcher, au puceron et à la bactériose. Un arbre de la variété « Belle des croix rouges » planté en 2019 résistait relativement jusqu'à présent mais restait très atteint en 2022 et 2023 malgré une faible pression des maladies.

Figuier

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée-forte	

Sureau noir

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible-moyenne	
	Auxiliaires		Larves de coccinelles 2019-2022

Godji

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Faible	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	

Jamais récolté, très sensible à l'oïdium.

Noisette Aveline

	Intensité	Remarques
Vigueur	Forte	

Noyer (Chandler)

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée	

Fruits à noyau

Chévard (prunier)

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée- forte	
Ravageurs	Puceron	Faible	
Maladies	Maladie criblée	Faible	

Mirabelle

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée- forte	
Ravageurs	Puceron	Faible	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible	
Contexte 2021	Maladie criblée	Moyenne	Seulement en fin de saison
	Moniliose	Faible	Seulement en fin de saison

Cerisier

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée- forte	
Ravageurs	Puceron	Faible	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible-moyenne	
Contexte 2021	Maladie criblée	Moyenne	
	Auxiliaires		Larves de coccinelles 2020-2021

Fellenberg

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Forte	
Ravageurs	Puceron	Faible-moyenne	
Maladies	Maladie criblée	Faible	

Prunier HT 1

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée	
Ravageurs	Puceron	Faible	Régulé
Maladies	Maladie criblée	Faible	
Contexte 2021	Maladie criblée	Moyenne	Seulement en fin de saison
	Auxiliaires		Larves de coccinelles 2019-2020

Fruits à pépins

Boskoop

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Forte	
Maladies	Oïdium	Faible-moyenne	
Contexte 2021	Tavelure sur feuilles	Faible	Seulement en fin de saison
	Tavelure sur fruits	Faible	Seulement en fin de saison
	Oïdium	Moyenne	Seulement en juin

Pommiers de semis

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée-forte	
Maladies	Tavelure sur feuilles	Faible	Variable selon les années, rien en 2021
Contexte 2021	Oïdium	Faible	Seulement en juin
	Auxiliaires		Larves de coccinelles 2019-2021

Rubinola

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée-forte	

Nashi

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Forte	
Ravageurs	Puceron cendré	Faible	Régulé
	Auxiliaires		Coccinelles 2021-2022

Kaki Vanilia

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée-forte	

Petits fruits

Mûrier noir

		Intensité	Remarques
	Vigueur	Equilibrée	
Contexte 2021	Tavelure sur feuilles	Faible-moyenne	Seulement en fin de saison

Mûrier blanc

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée-forte	

Cassis

	Intensité	Remarques
Vigueur	Forte	

Raisinets

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée-forte	

Casseillier Josta

	Intensité	Remarques
Vigueur	Equilibrée	

3.3 Synthèse

Les maladies des fruits à pépins sont maintenues à un degré acceptable avec des intensités d'infection plutôt faibles dans l'ensemble. L'idée de se passer entièrement de cuivre semble, pour le moment, illusoire en culture biologique. Comme expliqué plus haut, effectuer un ou deux traitements au cuivre lors de certaines périodes à risque de forte infection du champignon permet d'éviter les contournements de résistance de certaines variétés. Néanmoins, même pour une année comme 2021 avec de fortes précipitations et des risques élevés d'infection, seul un traitement au cuivre a été réalisé à une dose de 400 g/ha de cuivre métal. Les relevés de tavelure indiquent une intensité faible d'infection pour la plupart des variétés et moyenne pour la variété Rusticana, pourtant résistante à la tavelure (gène Vf). La protection a été assurée en appliquant des produits à base de bicarbonate de potassium, de chaux soufrée et d'argile sulfurée avec des extraits de prêles.

Pour les fruits à noyau, majoritairement des pruniers, la maladie criblée demeure la principale maladie et atteint régulièrement une intensité moyenne. Ceci est en partie dû à la faible cadence de traitements au soufre et qui ne peuvent être effectués que par un côté du rang d'arbres en raison d'un problème d'accès.

Les pêcheurs n'ont jamais donné les résultats escomptés. Années après années, ils sont atteints par la cloque du pêcher, la maladie criblée et la bactériose à un niveau d'infection moyen. Ceci montre que, même en sélectionnant les variétés les plus adaptées à la situation de la parcelle, il est vraisemblablement inconcevable de parvenir à une culture viable sans protection contre les intempéries.

Concernant les ravageurs, la lutte contre les pucerons est plutôt extensive avec une huile de paraffine appliquée systématiquement en début de saison. De plus, l'utilisation d'un savon (ou de Neem en dernier recours) à raison d'une ou deux interventions au maximum par année en fonction de la pression, peut être engagée. La régulation des pucerons par les auxiliaires s'avère efficace lors des relevés effectués. Une forte présence du ravageur peut parfois être observée en début de saison mais elle ne dure généralement longtemps car rapidement les auxiliaires entrent en action et seuls les cadavres de pucerons demeurent dans les feuilles parfois encore enroulées. L'impact sur la récolte est, par conséquent, quasi nul. Les aménagements mis en place comme les bandes fleuries par exemple, ainsi que le faible nombre d'interventions avec des insecticides, permettent de maintenir un certain équilibre entre les ravageurs et les auxiliaires. Enfin, les attaques de carpocapses et d'hoplodactylus sont fréquentes mais l'intensité se maintient à un niveau faible. La confusion sexuelle et le piégeage sont satisfaisants d'une manière générale. La protection est complétée par un à deux (voire trois en cas de très forte pression) traitements avec le virus de la granulose contre le carpocapse alors qu'aucun Quassan (insecticide à base d'un extrait végétal) n'est appliqué contre l'hoplodactylus.

4 Suivi de la biodiversité



Image 8 : *Coccinella septempunctata* sur feuille de pommier (Photo : Robin Sonnard)

4.1 Suivi des arthropodes auxiliaires

La biodiversité fonctionnelle fait référence à toutes les espèces qui participent à la fourniture de services écosystémiques au sein d'un système agricole. En d'autres termes, c'est la biodiversité bénéfique aux agriculteurs. Parmi cette biodiversité fonctionnelle se retrouvent les auxiliaires. Ces derniers peuvent autant être des arthropodes (p.ex. les coccinelles) que des mammifères (p.ex. l'hermine), des reptiles (p.ex l'orvet) ou des oiseaux (p.ex. faucon pèlerin).

Afin de se rendre compte de la qualité et la quantité d'arthropodes auxiliaires présents au sein du BioDiVerger, des battages de pommiers ont été instaurés en 2023. Etant donné que seul 1 an de résultats a pu être produit, il est trop tôt pour tirer des conclusions quant à la qualité et la quantité d'auxiliaires. De plus, un comparatif avec le verger bio classique à proximité du BioDiVerger a pu être effectué afin de discuter les résultats du BioDiVerger. – à placer plus tard dans la discussion : verger bio classique mais pluri-espèces et variétal, garnis de nombreuses structures qui promeuvent la biodiversité (bandes fleuries, divers abris, ...).

Toutefois, les résultats 2023 des battages sont présentés par le Tableau 12. De plus, des observations de la présence de certains auxiliaires durant le suivi phytosanitaire des années précédentes ont été faites et sont indiqués dans le chapitre Suivi phytosanitaire.

Tableau 12 : Résultats des battages d'auxiliaires de l'années 2023 sur des pommiers au verger agroforestier, verger-épicerie et au verger bio classique. Les fourmis ont également été comptées, car elles sont indicatrices de présence des pucerons.

		Coccinelle (larve)	Coccinelle (adulte)	Chrysope (larve)	Chrysope (adulte)	Syrphe (larve)	Syrphe (adulte)	Forficule	Miride	Anthocoride	Araignée	Opilion	Hyménoptère parasitoïde	Total auxiliaire	Fourmi
mai.23	agroforesterie	24				1		2				11	3	41	30
	verger-épicerie							10				8	2	10	20
	verger bio classique									2		6		18	44
juin.23	agroforesterie						1	8			1	1		11	10
	verger-épicerie		2						2			6	2	12	
	verger bio classique		4		1			4				4		13	1
juil.23	agroforesterie				2			1		1		8	2	15	
	verger-épicerie			2								4	1	7	1
	verger bio classique							1				1		2	
sept.23	agroforesterie					1						8	1	10	
	verger-épicerie											7		7	1
	verger bio classique							3				3	1	7	1

Il serait intéressant de poursuivre les battages les prochaines années afin de pouvoir sortir des conclusions intéressantes, notamment pour observer si les mesures de promotion de la biodiversité au sein du BioDiVerger sont utiles.

4.2 Travaux de master et étude

En 2016 et 2017, Loïc Bulliard et Antoine Giovannini ont effectué leurs travaux de Master (respectivement en pédologie et en entomologie) à l'Université de Neuchâtel. Ils ont échantillonné et comparé des populations de microfaune du sol et d'auxiliaires (vers de terre, araignées et carabes) dans une quinzaine de vergers de Suisse romande. Le BioDiVerger (partie permaculture et partie agroforesterie) a fait partie de cette étude. La présentation de leurs résultats a été réalisée auprès du COPIL à la fin 2017. Le résultat le plus marquant est que les vergers étudiés peuvent être regroupés en trois catégories : (1.) les vergers intensifs (dont les vergers bio classiques et conventionnels), (2.) les vergers alternatifs (dont les deux parcelles du BioDiVerger) et (3.) les vergers anciens. Les systèmes bios classiques et PER se retrouvent donc ensemble du point de vue des indicateurs utilisés, alors que les deux modèles présents au BioDiVerger se distinguent réellement.

En 2022, Maud Liégeois a effectué un travail d'étude sur le « Recensement des arthropodes en arboriculture fruitière parmi 4 typologies de verger : Permaculture, Agroforesterie, Biologique et Conventionnel ». L'étude a démarré en avril, lorsque les populations ont émergé. Une approche systématique a été utilisée, c'est-à-dire incluant le tri, la détermination et l'analyse des différentes strates, notamment la couverture herbacée et la composition du sol. La principale conclusion du travail est que les parcelles contenant des Surfaces de Promotion de la Biodiversité (SPB) ont présenté une diversité biologique plus prononcée, tout comme les parcelles conduites sans utilisation de produits phytosanitaires de synthèse. En effet, la richesse spécifique (nombre de familles d'insectes) répertoriée suite aux battages, est 15 à 30% supérieure dans les parcelles du BioDiVerger par rapport à la parcelle conventionnelle. L'abondance des espèces relevées (nombre d'individus) y est de 140 à 200% plus élevée. Afin de consolider ces résultats, il serait intéressant de reproduire les échantillonnages sur plusieurs années. En outre, si les conditions le permettent, un échantillonnage automnal pourrait être ajouté pour obtenir une perspective saisonnière complète. Cette approche méthodique vise à fournir des données robustes et à dégager des tendances significatives pour orienter les décisions futures en matière de gestion agricole. La présentation de ce travail se situe sur la page internet dédiée au projet sur www.bioactualités.ch.

4.3 Avantages et limites du système

Le BioDiVerger met l'accent sur la promotion de la biodiversité, en laissant une grande part de la surface à cette dernière et en comptant divers éléments pour la favoriser. De ce fait, l'efficacité de ces mesures ainsi que le rapport coûts/bénéfices doivent être mesurés.

En effet, si cette stratégie a présenté beaucoup d'opportunités, toutes les installations n'ont pas été une réussite, ou en tout cas pas du premier coup.

L'exemple de l'installation de bandes fleuries est parfait ; des essais d'implantation de bandes fleuries ont été entrepris depuis le début du projet, avec beaucoup d'échecs. C'est seulement depuis 3 à 4 ans que de bons résultats ont été obtenus. Certaines d'entre elles sont par ailleurs encore en place. Une fois bien installée, une bande fleurie montre des résultats visuels impressionnants, bien que non chiffrés, quant à la très large population d'arthropodes auxiliaires qu'elle attire et abrite. Il s'agit là d'une mesure particulièrement efficace, mais sa mise en place n'est pas évidente. De plus, le travail pour son installation demande du temps et un certain coût, notamment pour la préparation du sol et pour l'achat des semences.



Image 9 : Bande fleurie entre deux lignes d'arbres (Photo : Robin Sonnard)

Au démarrage du projet, des essais de luzerne cultivée sous le rang des fruitiers ont été faits, mais des résultats décevants en ont été tirés. En effet, la luzerne cultivée étant vivace et très compétitive pour l'eau, une concurrence avec la jeune culture a été observée. Malgré son intérêt pour la fixation d'azote, la luzerne cultivée n'est pas adaptée pour ce genre de système, d'autant plus qu'elle attire fortement les campagnols. Aussi, des arbustes légumineux avaient été plantés entre certains fruitiers afin d'offrir aux auxiliaires de quoi se nourrir durant certaines périodes peu fournies en fleurs. Malheureusement beaucoup sont morts car mal adaptés aux conditions pédoclimatiques du BioDiVerger, comme les coronilles et les baguenaudiers par exemple. Ici encore, le choix des espèces doit se faire en fonction du site et, dans le cas présent, de la pression des campagnols. D'autres essences non légumineuses mais également fixatrices d'azote pourraient être intéressantes, comme l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) ou l'argousier (*Hippophae ramnoides*) qui est présent au BioDiVerger.

Les haies sans ourlets sont également des installations très intéressantes pour la biodiversité fonctionnelle, car elles attirent et hébergent une grande quantité d'oiseaux et d'insectes auxiliaires. Toutefois, les oiseaux qui y prennent refuge ne sont pas que des auxiliaires ; beaucoup d'oiseaux néfastes aux cultures, comme les étourneaux, ont été observés à de nombreuses reprises dans ces haies. Il en est de même pour les nichoirs : bien que le choix de ces nichoirs ait été fait de façon à ce qu'ils soient spécifiques à une espèce en particulier, notamment des espèces de rapaces, d'autres espèces y ont été observées. Cependant, la mise en place de ce genre d'installations permet de mettre toutes les chances de son côté pour accueillir les espèces voulues.

Des abris pour hermines, alliées efficaces contre les campagnols, avaient été installés dans le verger au début et au cours du projet avec l'aide de biologistes spécialisés. Malheureusement, aucune occupation n'a été observée jusqu'à présent. Il serait intéressant de mener une enquête à l'échelle du territoire de l'hermine (plus d'un km) afin de comprendre pourquoi les hermines ne s'installent pas au verger. La piste la plus probable est celle de la perturbation par les promeneurs et animaux domestiques en bordure, voire à l'intérieur du BioDiVerger.

Les campagnols représentent le plus gros problème au BioDiVerger. En effet, les différentes structures de promotion de la biodiversité ne favorisent pas que la « bonne » biodiversité mais également celle qui est indésirée. De plus, il est difficile de quantifier la régulation naturelle de leur population, comme l'effet des nombreuses structures de promotion des animaux prédateurs (nichoirs, abris,...) ne peut être directement mesuré. La gestion de ce ravageur se fait via la pose de TopCat (pièges) qui sont efficaces mais qui demandent passablement de main d'œuvre (temps de travail estimé pour la pose-

contrôle-dépose d'un piège à 4 minutes – Source : Ferme bio des Sapins). Les différentes surfaces naturelles installées, comme les bandes fleuries ou les haies, doivent être gérées de manière à ne pas favoriser la prolifération du rongeur, sans pour autant nuire aux espèces favorables. Un équilibre doit être trouvé.

La problématique des limaces est délicate au BioDiVerger, particulièrement dans le verger-épicerie, car ce dernier est très humide et dense en végétation. De ce fait, et également à cause des campagnols, la production maraîchère n'y est pas adaptée. En revanche la production maraîchère dans le verger en agroforesterie est moins attaquée par les limaces. Le maraîchage paraît bien adapté au système agroforestier, et des pratiques de préservation du sol, comme le non labour, sont appliquées. Cependant, dans un système agroforestier, il faut être vigilant quant aux dérives des traitements arboricoles sur les productions légumières, du fait de la proximité des cultures. L'homologation de certains produits est différente en arboriculture et en maraîchage. Attention donc aux produits utilisés (phytotoxicité) ainsi qu'aux périodes d'application.

Le choix de ne pas installer de système d'arrosage au sein du BioDiVerger, hormis pour les productions maraîchères, avait été fait afin de réduire les coûts d'arrosage et la consommation d'eau. Ce choix force également les arbres à développer leur système racinaire et aller chercher l'eau en profondeur, les rendant plus résistants et autonomes. Cette démarche s'inscrit dans une logique d'adaptation aux conditions actuelles et futures de périodes de sécheresse. Toutefois, des conséquences sur la production fruitière ont été remarquées : certains arbres ont vécu des épisodes de blocage de leur croissance, ce qui a affecté les rendements et la qualité des récoltes (alternance, calibre, gerçures), comme expliqué dans le chapitre Suivi phytosanitaire concernant la variété *Rusticana*. Il pourrait être intéressant à l'avenir d'amener de l'eau plus régulièrement aux arbres, surtout aux plus jeunes. Il a été remarqué que c'est l'accumulation des périodes de sécheresse chaque année qui affaiblit les arbres plutôt qu'une forte sécheresse ponctuelle.

Favoriser la biodiversité au sein d'un verger semble aujourd'hui évident. Toutefois, en plus de la réflexion nécessaire quant aux installations à mettre en place (quoi, comment, quelles espèces,...), le lieu d'implantation du verger est tout aussi important. En effet, l'environnement du BioDiVerger - forêt et rivière - a un impact indéniable sur les cultures : les corneilles, geais des chênes, étourneaux, lièvres, sangliers amènent des dégâts réguliers. De plus, le BioDiVerger est installé sur un lieu de passage de promeneurs : des vols de fruits et des dégâts causés par des chiens ont été observés à de nombreuses reprises. Le passif de la parcelle est aussi à prendre en compte ; le BioDiVerger se trouve sur un ancien pâturage qui comptait de nombreuses galeries de campagnols, ce qui explique l'origine de la pression élevée du rongeur.

Beaucoup d'éléments de promotion de la biodiversité sont efficaces et envisageables dans un verger, mais il est nécessaire de prendre le temps de réfléchir à tout le système afin de faire les bons choix lors de la mise en place. Le chapitre Analyse économique aborde les questions des heures de main d'œuvre qui ont été nécessaires pour l'installation et l'entretien des surfaces de biodiversité, en comparaison aux heures dédiées à la production.

La liste des abris installés pour la biodiversité est disponible en Annexe . De plus, la Fiche Technique, disponible sur le site www.bioactualités.ch, développée sur la base de ce rapport comprend les aspects plus techniques pour la mise en place et le suivi de ces différentes mesures de promotion de la biodiversité.

4.4 Synthèse

Le BioDiVerger, en plus d'être conçu de manière à promouvoir un maximum de biodiversité (système permacole et agroforestier), accueille de nombreuses installations de promotion de la faune et la flore auxiliaire, avec des succès et des échecs. Chacune des expériences permet de tirer des apprentissages afin d'améliorer les pratiques et les choix. Favoriser la biodiversité est extrêmement utile pour la

production, mais cela vient avec des inconvénients inévitables. Il est compliqué de chiffrer les bénéfices rendus par la biodiversité fonctionnelle, mais les coûts pour l'installation des différentes mesures semblent compensés. Le temps de travail pour la mise en place et l'entretien ne sont pas négligeables, mais les nombreux services fournis par la biodiversité permettent non seulement de réduire certains coûts mais également certaines tâches (traitements contre pucerons remplacé par la régulation naturelle p.ex.). Le but ici est de s'efforcer à trouver l'équilibre le plus naturel possible entre production alimentaire et biodiversité.

5 Analyse de durabilité environnementale

5.1 L'analyse SMART

Développé par l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), SMART (Sustainability Monitoring and Assessment RouTine) est une méthode d'évaluation de la durabilité des entreprises et exploitations agricoles. Elle se base sur les lignes directrices du guide SAFA (Sustainability-Guidelines - Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) publié en décembre 2013. Ces lignes directrices impliquent une décomposition de la durabilité en 58 sous-thèmes pour chacune des quatre dimensions que sont la bonne gouvernance, l'intégrité environnementale, la résilience économique et le bien-être social.

SMART permet d'évaluer la durabilité à l'échelle de la ferme mais prend également en compte l'ensemble de sa sphère d'influence : les processus en amont (par exemple l'achat d'intrants) et les processus en aval (jusqu'au consommateur).

Pour les résultats de l'évaluation SMART, chacun des 58 sous-thèmes de la durabilité est mesuré en pourcentages, montrant ainsi dans quelle mesure l'exploitation agricole remplit les objectifs de durabilité. L'atteinte des objectifs est évaluée sur une échelle de cinq niveaux allant de 0 (inacceptable) à 4 (excellent) (figure 1). Cette échelle est utilisée pour la représentation des résultats de l'évaluation dans les cartes radar et les sous-thèmes respectifs.

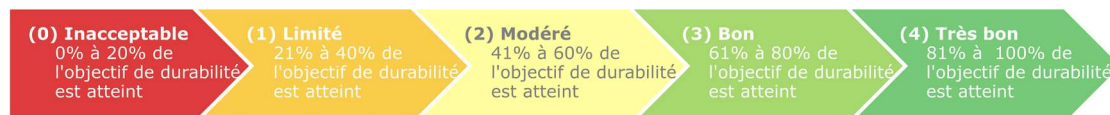


Figure 34 : Echelle d'évaluation SMART

Dans le cadre de ce rapport, seuls les résultats de la dimension de l'intégrité environnementale sont présentés, car durant l'analyse SMART, la totalité de la Ferme bio Les Sapins a été considérée et non uniquement le BioDiVerger. Les résultats ne sont donc pas représentatifs de ce dernier, à l'exception de la dimension de l'intégrité environnementale, pour laquelle les résultats sont caractéristiques. Les points forts et points faibles qui ressortent de cette analyse sont explicités, et les points négatifs sont, pour ceux qui ne concerne pas que le BioDiVerger, justifiés.

5.2 Dimension Intégrité environnementale

Les résultats pour cette dimension sont globalement bons. L'aspect « bien-être animal » n'a pas été évalué car le BioDiVerger n'élève pas d'animaux.

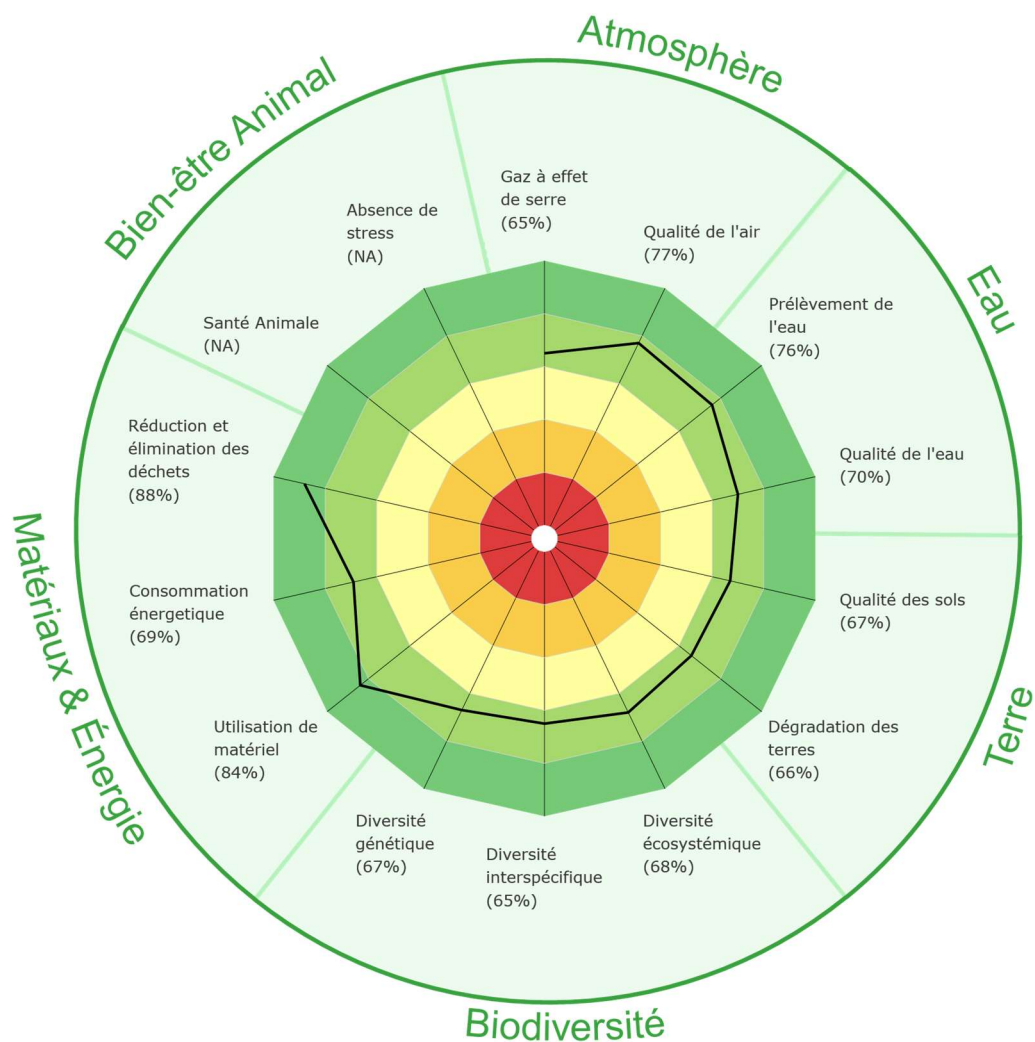


Figure 35 : Résultats du BioDiVerger pour la dimension Intégrité environnementale

Points négatifs :

- Utilisation accrue de pesticides dangereux (toxicité si inhalé et persistance dans le sol)
Ceci est expliqué par l'utilisation du cuivre pour le traitement des arbres fruitiers. Il n'existe pas d'alternative connue à ce jour, notamment pour les fruitiers à noyau. Des tentatives de suppression totale de cette matière active ont été entreprises de 2013 à 2018 mais cela a entraîné une mise en péril de la vitalité et de la santé des fruitiers à pépins. Ces variétés, sélectionnées car tolérantes à la tavelure, ont subi des contournements de résistance en l'absence d'utilisation du cuivre.
- Peu de zones boisées
Dans le cas de cette analyse, il y a un biais car seule la parcelle du BioDiVerger a été prise en compte et non son environnement. Si la parcelle est replacée dans sa situation géographique, des surfaces boisées sont présentes tout autour du BioDiVerger et des haies à l'intérieur de celui-ci. De plus, le BioDiVerger reste un verger dont les arbres sont la principale composante.
- Travail réduit du sol
Dans la partie agroforesterie, il est nécessaire d'effectuer un travail du sol pour l'entretien des cultures légumières, toutefois ce travail est limité le plus possible et le non labour est employé. D'autre part seul du mulching est effectué sous les fruitiers pour contrôler les populations de campagnols, qui peuvent causer de lourds dégâts et mettre en péril la survie

des arbres. Aucun sarclage n'est effectué pour l'entretien des fruitiers et des baies. Aucun travail du sol n'est effectué dans le verger-épicerie.

- Aucun bilan humique n'a été réalisé
Des analyses notamment du taux de matière organique ont été faites en 2013, 2015, 2020 et 2022 (voir chapitre Suivi pédologique).
- Gestion de l'eau peu précise (mesure pluviométrie, stockage)
- Prairie permanente convertie
En effet, une prairie permanente précédait le verger. Cependant, l'échelle de la parcelle biaise ici le résultat. Si la ferme est analysée dans sa globalité, la présence de prairies permanentes donnerait moins de poids à ce point négatif.
- Pas de mesure prise en cas d'utilisation de machines lourdes
- Pas d'analyse métaux lourds
Une analyse a été faite en 2020 pour le cuivre (voir chapitre 2.4.2.7 Cuivre).

Points positifs :

- Conduite biologique (pas d'intrants de synthèse)
- Mesures en faveur de la biodiversité
- Utilisation d'énergies renouvelables
- Bonne gestion des matériaux et des déchets
- Présence de cultures pérennes et couverts végétaux
- Bonne gestion des eaux usées

5.3 Synthèse

L'analyse SMART effectuée au sein de la Ferme bio Les Sapins, qui inclut le BioDiVerger, présente des résultats très bon pour tous les domaines de la durabilité environnementale. Globalement, le BioDiVerger est donc très bien conçu et réfléchi pour toutes les dimensions environnementales. Il peut même être précisé que le résultat est particulièrement excellent en matière d'économie de matériaux et d'énergie. La consommation de matériaux et la consommation énergétique sont effectivement minimisées, et les taux de réutilisation, de recyclage et de récupération, ainsi que l'utilisation d'énergies renouvelables sont maximisés. La production de déchets est aussi évitée et les pertes de nourriture/déchets sont minimisées.

6 Analyse économique

6.1 Relevé des données

La Ferme bio Les Sapins qui, pour rappel, assume la gérance du verger dans le cadre de ce projet, tient un journal des activités effectuées au sein du BioDiVerger. La saisie et la valorisation des données se font sur un tableur Excel (un par année – disponible sur demande aux responsables de projet), selon les trois entités suivantes : le jardin épicerie, la partie arboricole et la partie maraîchère du verger en agroforesterie. Les deux parties en agroforesterie sont séparées pour l'enregistrement de manière à faciliter l'entrée des données, mais sont ensuite mises en commun. Les données retranscrites sont les suivantes :

- Les heures de main-d'œuvre.

Les coûts horaire sont normalisés afin de permettre la comparaison avec les références publiées par Agridea ou le FiBL. Les salaires "bruts" utilisés sont les suivants :

- Chef d'exploitation : CHF 34.35 (*à titre indicatif, les heures du chef sont prises en compte mais pas leur coût*)
- Main-d'œuvre qualifiée : CHF 24.00
- Main-d'œuvre non qualifiée, temporaire, apprenti, stagiaire : CHF 20.30

Ces salaires comprennent l'ensemble des charges sociales salariales et patronales.

Est aussi compris dans les heures de main-d'œuvre le temps accordé à la saisie des données sur le tableur (frais administratifs). Par ailleurs, afin de permettre la comparaison avec d'autres systèmes et de coller au mieux à la réalité des exploitations, les heures que le chef d'exploitaiton Théo Grossenbacher consacre au COPIL ne sont pas prises en considération.

- Les heures de machines (machinisme) dont le coût est calculé sur la base des tarifs édités par Agroscope Transfer (« Catalogue des coûts », anciennement « Rapport Coût-Machines » publié annuellement en septembre).
- Les fournitures (quantités et coûts) : sont compris les produits phytosanitaires, les engrais, les coûts des semences, plants et plantes, le matériel (piquets, fils de fer, etc) ainsi que le matériel de biodiversité (nichoirs, abris). Ont été pris en considération les prix effectifs (et donc les rabais éventuels).
- Les récoltes en kilogrammes ou pièces, selon les denrées, ainsi que leur prix de vente qui correspond au prix perçu lors de la vente directe à la Ferme Bio les Sapins (marché déjà bien implanté au démarrage du projet) ou dans les petites épiceries locales. En effet, tous les produits issus du BioDiverger sont valorisés via des circuits courts.
- Quant aux coûts de commercialisation, ils sont fixés de manière forfaitaire à 20 % du produit d'exploitation, c'est-à-dire du produit des ventes.

6.2 Analyse de la rentabilité économique du verger agroforestier

Pour cette analyse qui s'étend de 2013 à 2023, une distinction sera faite entre la phase d'installation entre 2013 et 2017 et entre 2018-2023 : en effet cette seconde phase correspond à des années de production plus standards et est représentative des années avec un rythme de « croisière ».

6.2.1 Les coûts de production

La Figure 36 montre que les coûts de production ont augmenté progressivement jusqu'en 2020, pour baisser et se stabiliser ensuite autour des 8'500 chf/an suite à essentiellement une réduction du coût des fournitures et des machines. Quant aux coûts de main-d'œuvre (sans chef), ils ont augmenté progressivement jusqu'en 2019 pour se stabiliser ensuite.

A partir de 2016, l'amortissement de l'actif plante est pris en compte dans les charges du BioDiVerger, conformément à la décision prise par le comité de rentabiliser le verger sur 18 ans.

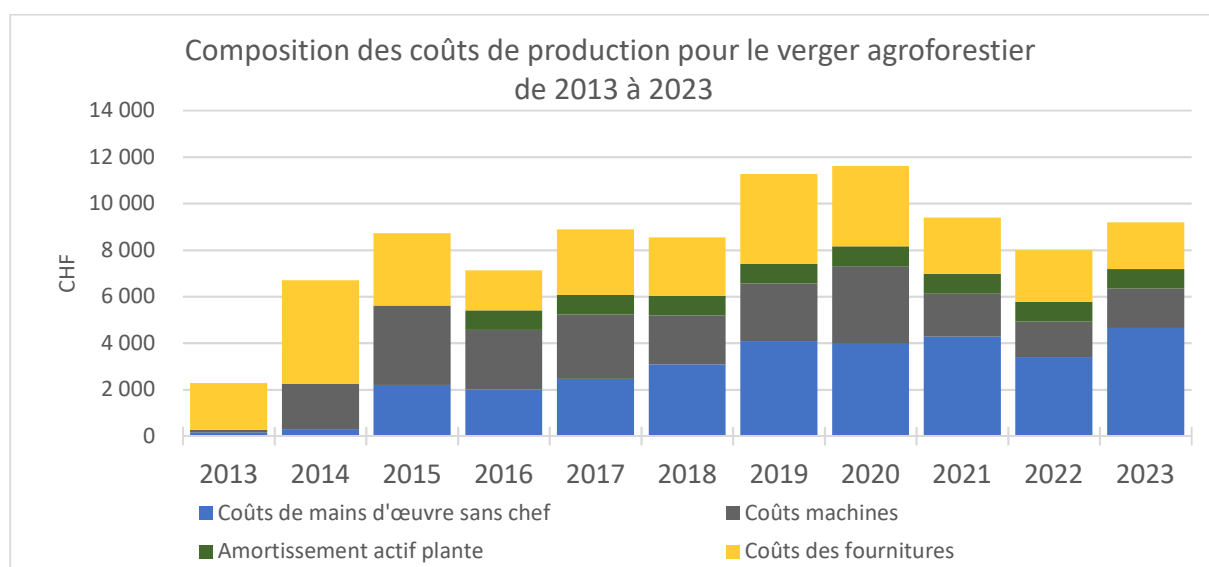


Figure 36 : Composition des coûts de production pour le verger agroforestier de 2013 à 2023.

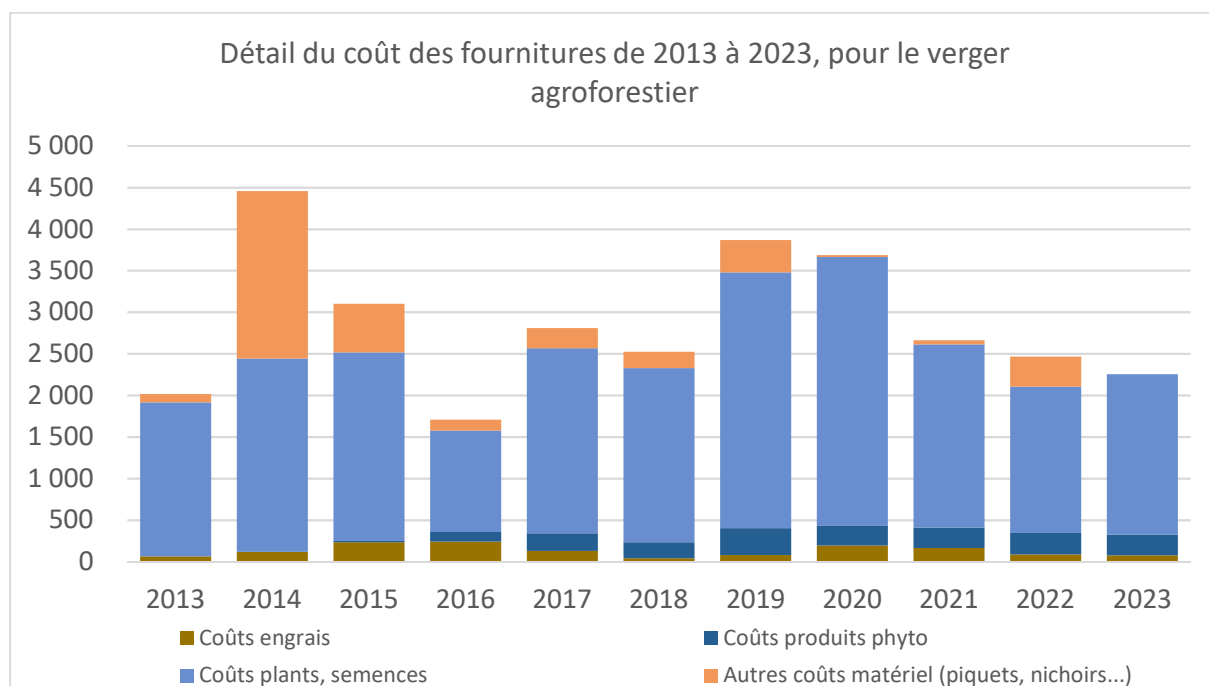


Figure 37 : Détail du coût des fournitures pour le verger agroforestier de 2013 à 2023.

Pour rappel, pendant la phase de mise en place, le coût des plantes, du matériel (piquets, fils de fer, etc.) et des éléments de biodiversité (nichoirs, abris, etc.) représentaient la plupart des coûts de fourniture et de machinisme. Il y a eu un pic d'achats de fournitures en 2014 correspondant aux plants et matériels implémentés l'année suivante. La mise en place de la partie maraîchage en 2015 amène les

coûts des plantes annuelles qui remplacent les coûts des plants d'arbres. Ainsi, on constate que l'achat de plants et de plantes annuelles représente la plus grande dépense du verger agroforestier. Par ailleurs, en 2019 et 2020, quelques renouvellements d'arbres et arbustes (Caragana, Berbéris,...) sont effectués, expliquant une dépense plus élevée pour ces deux années.

Les coûts liés aux traitements phytosanitaires ont augmenté progressivement jusqu'à 2019 pour se stabiliser ensuite. Ces traitements sont principalement destinés à lutter contre différents types de maladies fongiques telles que la tavelure, la moniliose, ou encore la cloque du pêcher. Quoiqu'il en soit, même durant la première phase du projet, les coûts engendrés par les produits phytosanitaires restent faibles par rapport aux coûts engendrés par l'achat des plantes et semences annuelles.

6.2.1.1 La main-d'œuvre

Concernant les coûts de main-d'œuvre, la rémunération du chef d'exploitation n'a pas été prise en compte, car elle dépend plus des revenus de l'exploitation plutôt que d'un salaire fixé par défaut. En effet, les chefs d'exploitation se rémunèrent en fonction des bénéfices de l'entreprise. Les coûts de main-d'œuvre comprennent donc les autres types de main-d'œuvre (qualifiée, non-qualifiée, en apprentissage) tandis que les services tiers sont intégrés avec les coûts d'utilisation des machines. Néanmoins la rémunération du chef est prise en compte au bilan : le chef d'exploitation se rémunère en fonction du bénéfice.

Pour rappel, les années 2013 à 2015 représentent la phase de mise en place du verger. C'est durant cette période que la grande majorité du travail de préparation de la parcelle et de plantation des arbres fruitiers a été réalisée. Le démarrage des cultures maraîchères a eu lieu en 2015, mais les recettes ne provenaient que de la vente de semences. L'année 2016 est donc considérée comme l'année d'entrée en production. Les coûts de production générés durant les années 2013 à 2015 sont considérés comme constituant la valeur du capital plantes (aussi bien pour le verger agroforestier que pour le verger épicerie). L'actif plante représente quant à lui le coût des plants seuls. Les heures de main-d'œuvre et les coûts de mise en place du verger agroforestier sont regroupés dans le Tableau 13 ci-dessous. Les heures de main-d'œuvre incluent cette fois le travail du chef d'exploitation, quant aux coûts de production, ils excluent sa rémunération. En effet, il s'agit d'avoir une vue d'ensemble des coûts du verger du point de vue du chef qui souhaite savoir combien d'heures au total il va falloir effectuer et combien cela va lui coûter, sachant qu'il ne prend pas en compte sa propre rémunération.

Tableau 13 : Récapitulatif des coûts cumulés de mise en place du verger agroforestier (2013-2015).

	Main-d'œuvre (heures)		Coûts (CHF)	
	Pour la parcelle (4'400m ²)	Par hectare	Pour la parcelle (4'400m ²)	Par hectare
Total heures (heures d'aménagement)	412	936		
Total coûts de production (capital plantes)			17 608	40 018
Part de l'actif plantes			6 446	14 650

Comme on peut le constater sur la Figure 38 ci-dessous, les heures de main-d'œuvre ont augmenté de façon progressive au fur des années, avec une forte augmentation en 2015 et un pic en 2019. En effet, 2015 a été particulièrement demandeuse en énergie due à une période importante de plantation des

arbres fruitiers, impliquant leur installation (piquets, etc...) ainsi qu'au démarrage de la partie maraîchage. Quant à 2019, cela a été une année très pluvieuse qui a engendré une quantité exceptionnelle de travail : plus de traitements et plus de fauche.

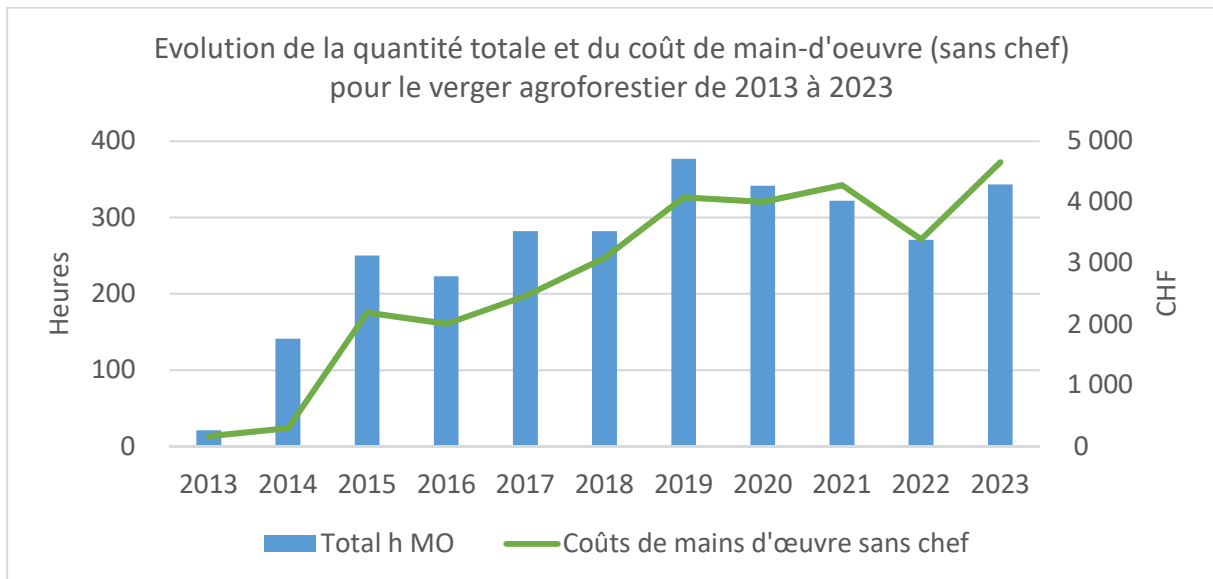


Figure 38 : Evolution de la quantité totale et du coût de main-d'œuvre (sans chef) du verger agroforestier de 2013 à 2023.

La Figure 39 permet d'observer l'évolution de la main-d'œuvre du verger en agroforesterie à l'échelle globale et à celle des modules (maraîchage et arboriculture). Durant cette période, c'est le soin au sol et les travaux de protection des cultures qui consomment le plus de main-d'œuvre. Par la suite, ces travaux deviennent moins importants au profit d'autres, comme la récolte et les soins au verger.

Pour le module maraîchage (Figure 39B), dès 2017, l'essentiel de la main-d'œuvre est utilisé pour la récolte. Jusqu'en 2023, c'est la tâche la plus chronophage de tout le verger agroforestier. Elle a diminué à partir de 2020, car les replantages étaient plus intensifs et le type de légumes « moins compliqués ». En 2022, cette tâche s'est particulièrement réduite, car les volumes produits étaient faibles en raison des mauvaises conditions climatiques.

Pour le module arboricole (Figure 39C), les soins au verger sont importants et augmentent au fil des années, de la même manière que le temps consacré à la récolte. Ici encore, l'année 2022 fait exception en raison des conditions météorologiques défavorables qui ont impacté la récolte.

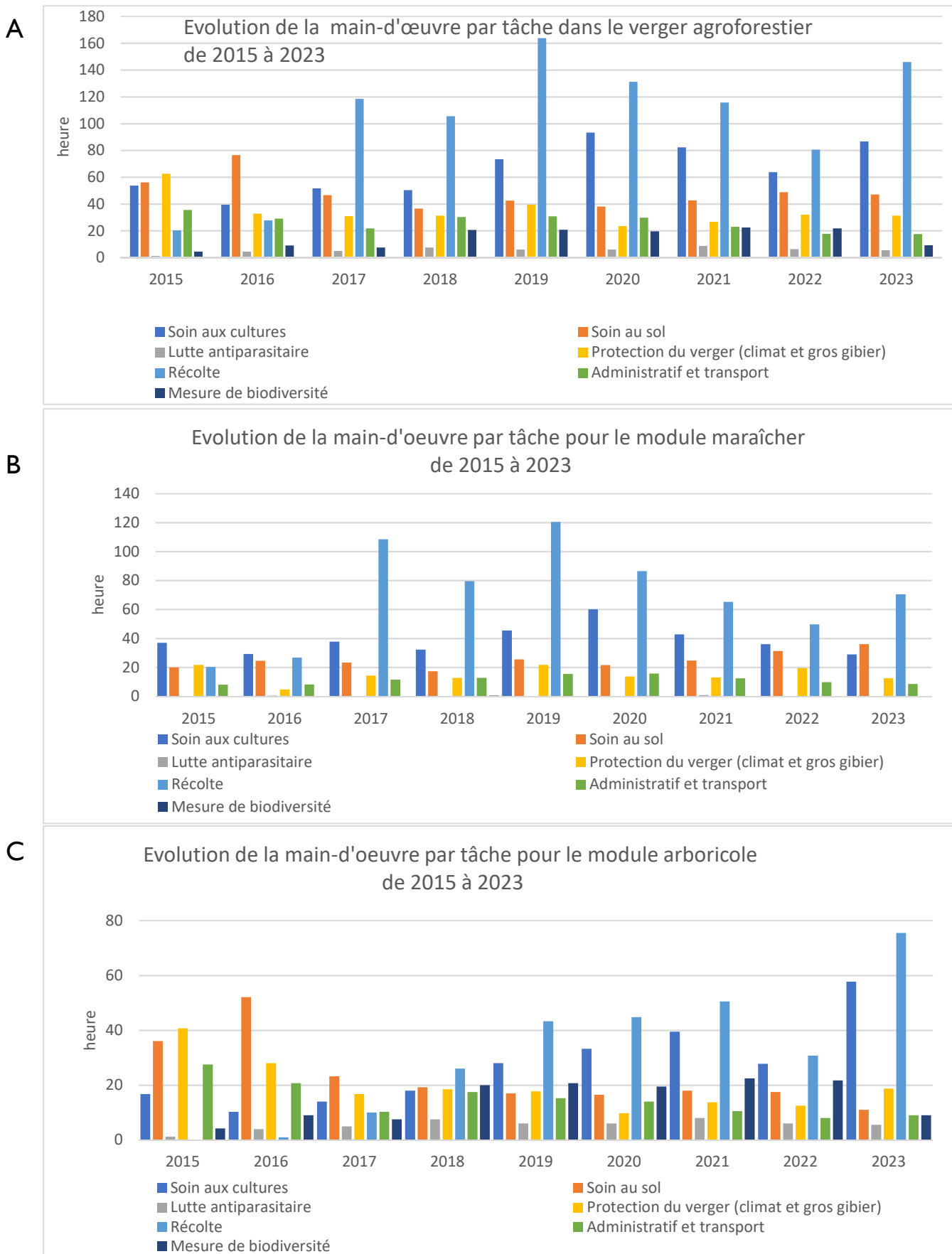


Figure 39 : Evolution des heures de main-d'œuvre par tâche pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) de 2015 à 2023.

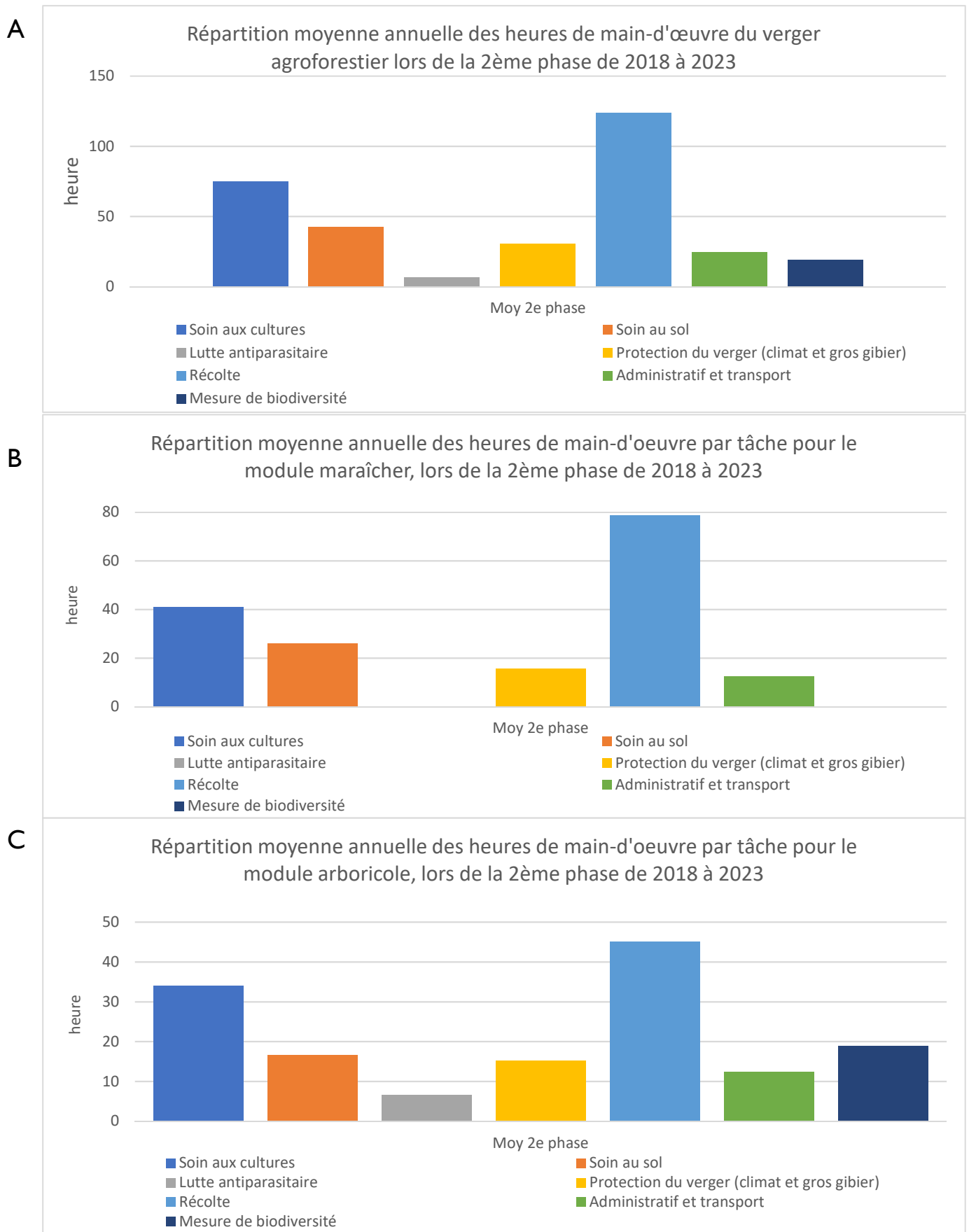


Figure 40 : Moyennes annuelles des heures de main-d'œuvre par tâche du verger agroforestier (A) et de ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) lors de deuxième phase de 2018 à 2023.

Comme on peut le constater sur la Figure 40B, les deux types d'activités les plus chronophages du module maraîcher sont la récolte (effectuée manuellement) avec 79 heures (180 h/ha) par an, ainsi que le soin aux cultures (plantation des plants annuels) avec 41 heures (93h/ha) par an. La récolte représente 24% des heures de main-d'œuvre de tout le verger agroforestier.

Pour le module arboricole, le temps passé à protéger le verger, effectuer les soins du sol et le travail administratif/transport est équivalent au module maraîcher (Figure 40C). Il y a cependant une différence notable dans la lutte antiparasitaire et les mesures de biodiversité : le module arboricole est plus chronophage pour ces tâches-là. Enfin, la récolte est aussi l'activité de ce module qui requiert le plus de temps, même si elle représente 43% d'heures en moins que pour le module maraîcher avec une moyenne de 45 heures (102 h/ha) de travail par an. Ce chiffre devrait se stabiliser, car les arbres tendent à atteindre leur capacité maximale de production. Les heures de main-d'œuvre de la partie arboricole sont réparties de façon plus homogène sur les différentes activités : il est donc plus difficile de cibler une activité pour réduire le temps de main-d'œuvre.

Le Tableau 14 rassemble les moyennes des heures de main-d'œuvre de la seconde phase (2018-2023) du verger agroforestier et de ses modules arboricole et maraîcher, ainsi que des valeurs de référence. Pour ces dernières, il a été choisi les heures de main-d'œuvre pour une monoculture de pommes de table bio telles que mentionnées dans le Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL ainsi que celles des micro-fermes maraîchères bio relevées par le FiBL. En effet, à titre informatif, il est intéressant de comparer le système dans sa globalité à une autre production, cependant, en comparant aussi chaque module séparément on obtient une vision plus proche de la réalité. Il faut toutefois noter que cette dernière méthode reste imparfaite pour diverses raisons : un module comprend plusieurs espèces avec des performances différentes alors qu'une monoculture ne comprend par définition qu'une seule espèce ; les modules du BioDiVerger bénéficient des services écosystémiques des éléments de biodiversité. La surface du BioDiVerger est petite, et donc, extrapoler ses résultats de manière proportionnelle n'est pas toujours représentatif.

Tableau 14 : Moyennes annuelles (2018-2023) des heures de main-d'œuvre du verger agroforestier, rapportées à l'hectare, comparées à celles d'une production de pommes de table bio et d'une micro-ferme maraîchère. La surface du verger agroforestier se compose comme suit : surfaces arboricole (2'096m²) + maraîchère (410m²) + biodiversité (1'894m²) = 4'400 m²

Type de production	Verger agroforestier 4'400 m ²	Module arboricole 2'096 m ²	Pomme de Table Bio (Agridea-FiBL)	Module maraîchage 410 m ²	Micro-ferme (FiBL)
Référence surface	h/ha	h/ha	h/ha	h/m ²	h/m ²
Heures	733	709	724	0,42	1,37
h/sem.	14	13,6	13,9	0,01	0,03

Ainsi, sur les six dernières années de production, le verger agroforestier dans sa globalité se situe en moyenne à 323 heures (733 h/ha) de main-d'œuvre par année, similaire aux heures d'une monoculture de pommes de table bio (+1%).

Si l'on considère uniquement la partie arboricole, on constate une moyenne de 149 heures (709 h/ha) par an, soit une très légère baisse de 2% par rapport à une production de pommes de table bio. L'objectif du BioDiVerger visant une diminution du temps de travail de 30% en quatre ans pour ce module n'est donc malheureusement pas atteint. Cependant, il est difficile de choisir une tâche à optimiser, car comme mentionné plus haut, l'ensemble des activités de ce module sont bien réparties.

La partie maraîchère, quant à elle, représente une diminution de près de 70% des heures par rapport aux micro-fermes maraîchères de référence. La culture de portes-graines qui restent en place plus

longtemps sur une surface donnée permettent d'expliquer en partie cette réduction. De plus, bien qu'il faille relativiser ce résultat au vu de la faible taille du module et des services écosystémiques rendus par tous les éléments de biodiversité, cette différence est importante et témoigne d'un effet positif du système BioDiVerger sur cette production.

6.2.1.2 Le machinisme

Le coût d'utilisation des machines s'est stabilisé à partir de 2020 (Figure 41A). Le soin au sol demeure de loin la tâche la plus coûteuse à l'échelle du BioDiVerger et ce depuis 2017. La répartition des coûts est assez équilibrée entre les deux modules : 1'032 CHF pour le module arboriculture et 826 CHF pour le maraîchage. Pour ce dernier, les soins aux cultures représentent une part conséquente des coûts de machinisme (Figure 42B), représentant plus de 75% des coûts à partir de 2020, tandis que pour le module arboricole, ils se situent entre 30% et 65% (Figure 42C).

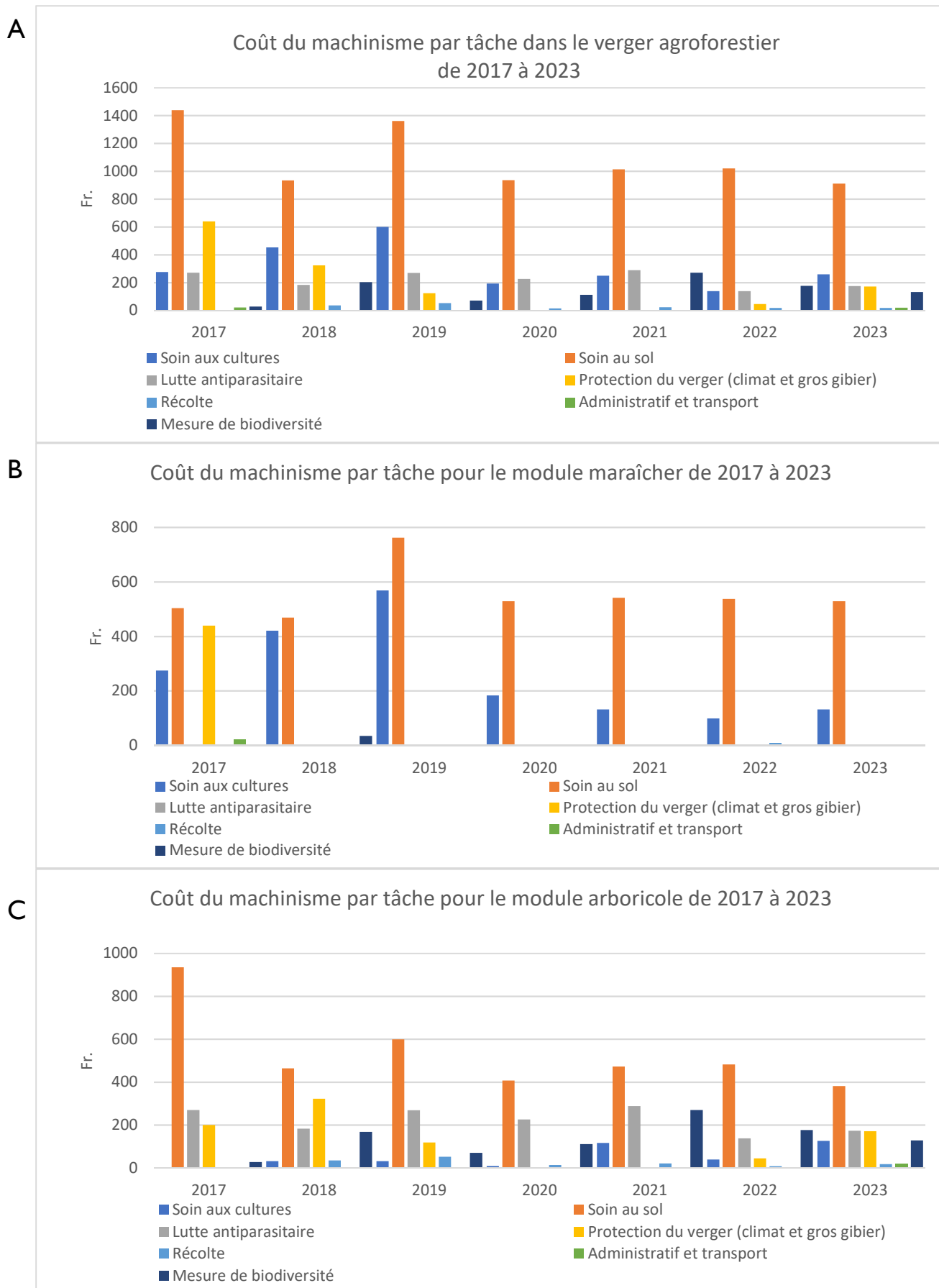


Figure 4I : Evolution du coût du machinisme par tâche pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) de 2017 à 2023.

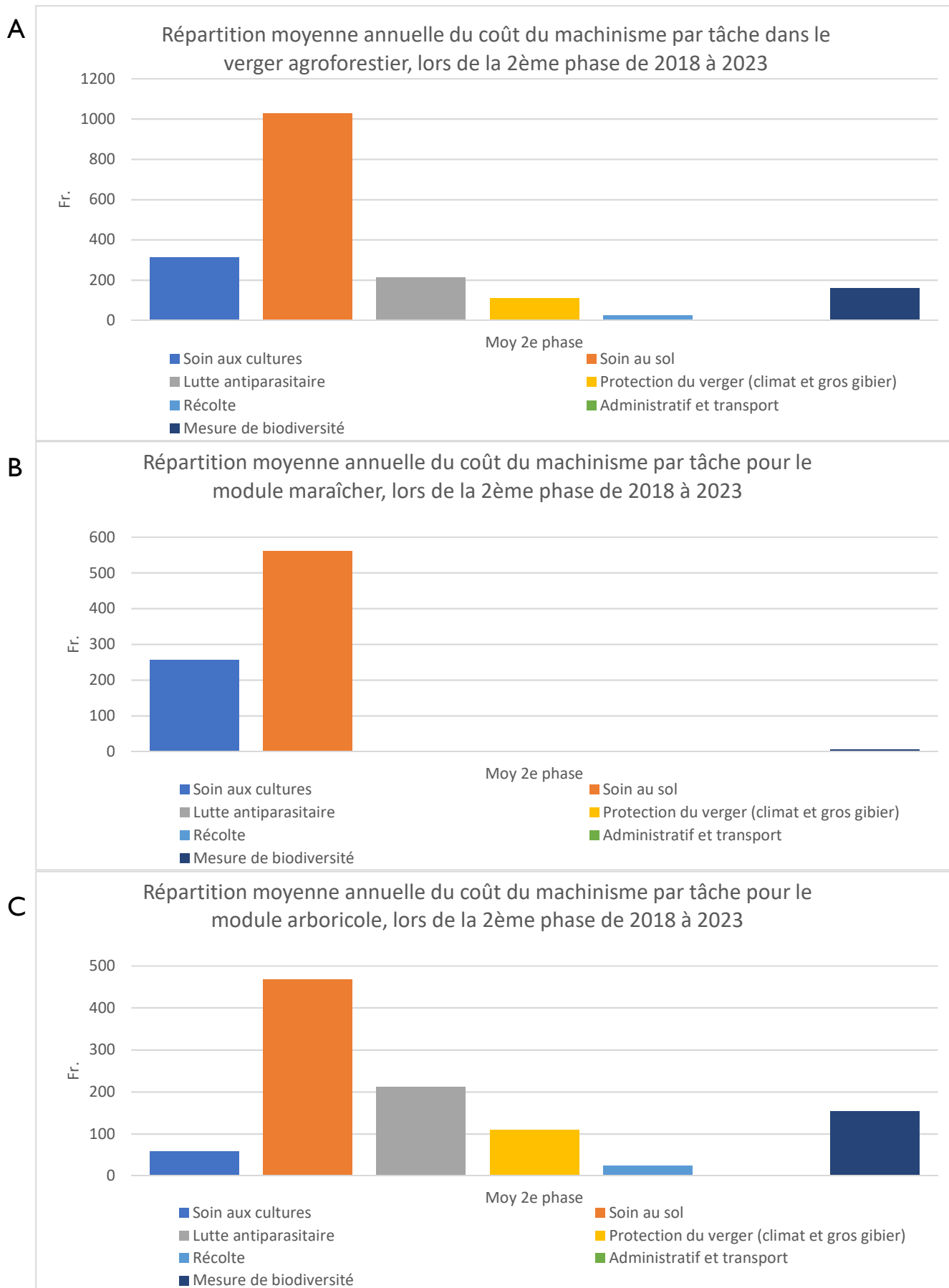


Figure 42 : Moyennes annuelles du coût du machinisme par tâche pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) lors de la deuxième phase de 2018 à 2023.

6.2.2 Production, produits d'exploitation, marge brute et bénéfice

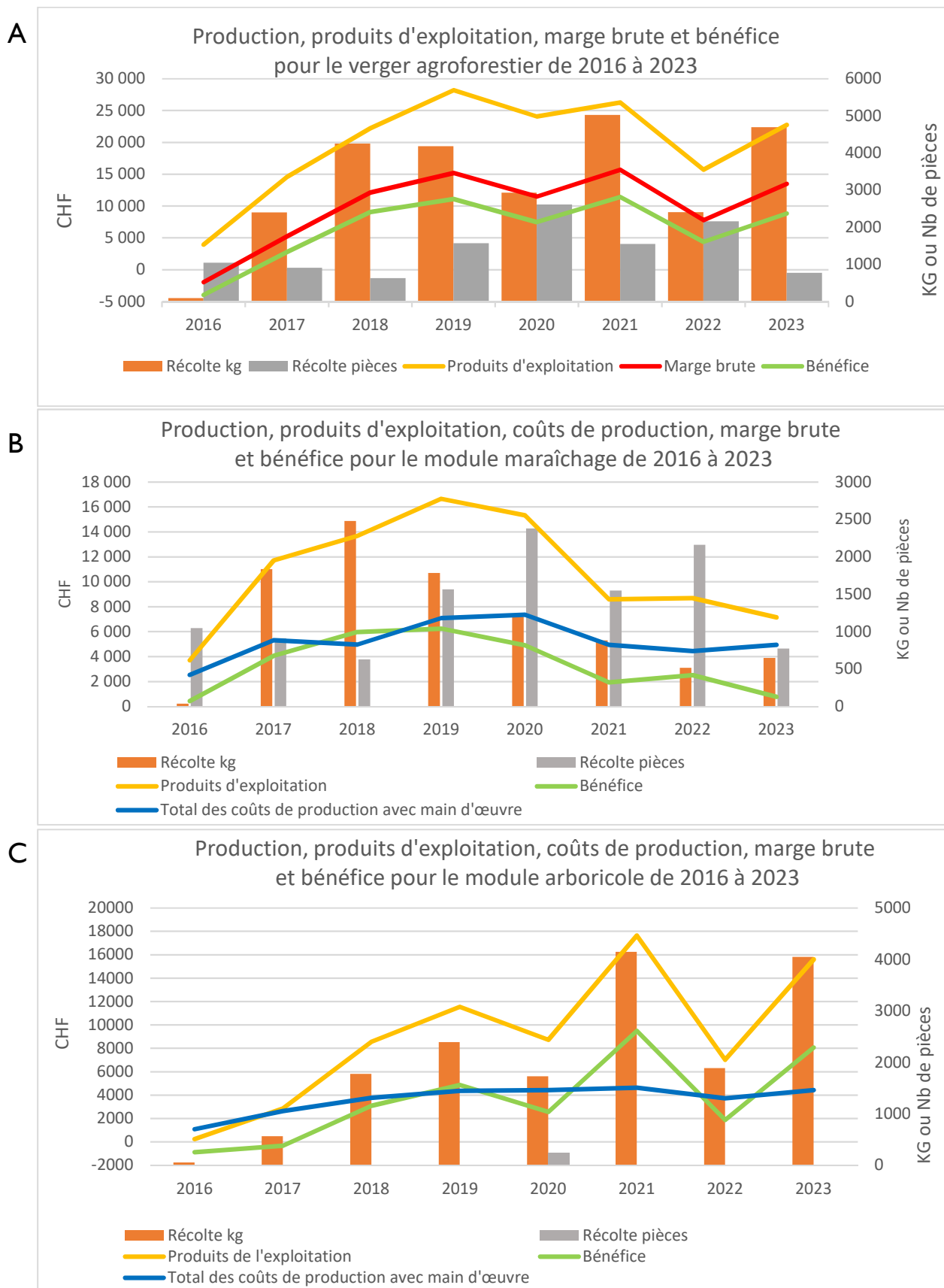


Figure 43 : Production, produits d'exploitation, coûts de production, marge brute et bénéfice pour le verger agroforestier (A) et ses modules maraîcher (B) et arboricole (C) de 2016 à 2023.

Le produit d'exploitation a progressivement augmenté jusqu'en 2019 (Figure 43) ce qui est très encourageant étant donné le court laps de temps écoulé, car un verger intensif met entre 5 et 10 ans avant d'être pleinement productif. 2019 est une année record où le produit d'exploitation se monte à 28'198 CHF soit 26% de plus que l'année précédente. La production au kg est légèrement plus faible qu'en 2018, mais elle est composée de beaucoup plus de produits à haute valorisation comme le cresson, le pourpier ou les épinards. Quant à la production à la pièce, elle est 2.5 fois plus élevée et compte pour un tiers de cette augmentation. Par la suite, le produit d'exploitation fluctue avec les niveaux de production au kg et à la pièce : dès 2020, la production maraîchère au kg diminue considérablement et ce sont les productions à la pièce et fruitières qui vont maintenir le produit d'exploitation au-dessus d'un certain seuil. En effet, les années 2020 et 2022 enregistrent des quantités record de pièces (respectivement 2'610 et de 2159 pièces) qui bien qu'elles ne soient pas suffisantes pour compenser la diminution de la production au kg des deux modules, évitent une chute plus importante du produit d'exploitation. 2021 et 2023 ont été en revanche d'excellentes années pour ce dernier.

Quant à la marge brute, elle entre en territoire positif grâce à la contribution de la partie maraîchère déjà à partir de 2017 : 5'242 CHF vs -1'956 CHF en 2016 (Figure 43A). En effet, la production s'est considérablement accrue alors que les coûts variables de production n'ont que peu augmenté. C'est aussi à partir de cette année-là qu'un bénéfice est réalisé (2'776 CHF) et que le chef d'exploitation peut dégager les 34.35 CHF de l'heure pris pour cible plus tôt dans ce rapport (il faut toutefois noter que la perte de l'année précédente n'a pas été reportée dans les chiffres de 2017).

Le module maraîcher a connu son plus grand produit d'exploitation (et bénéfice) en 2019, tandis que pour le module arboricole, il s'agit de 2021. Pour ce dernier, s'ensuivent trois années irrégulières en raison de l'alternance de la production fruitière.

Il faut à nouveau mentionner que ces résultats économiques présentent un biais positif dû au fait que, par rapport à une exploitation standard de référence, tout ce qui a été produit a pu être vendu : ceci n'aurait pas été possible sans un circuit de vente directe déjà opérationnel (réseau de consommateurs et revendeurs locaux).

Par rapport aux objectifs du BioDiVerger explicités dans le chapitre « Objectifs du projet », les fruits doivent être vendus au moins à 70 % en fruits de table. Entre 2018 et 2023, en moyenne, 86% des fruits ont été vendus en classe I (plus de 92% de 2015 à 2018 et plus de 83% de 2019 à 2023) (Figure 44). Cet objectif est donc largement dépassé. C'est un point de vigilance important, car en plus d'être un objectif du projet, ce facteur a un impact important sur la valorisation de la récolte et donc sur la rentabilité économique du verger.

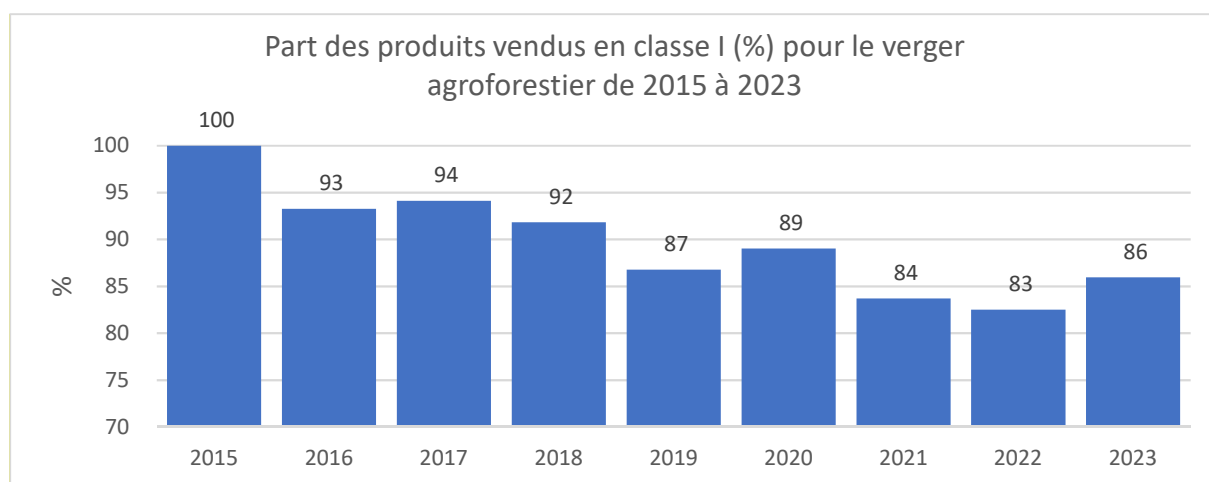


Figure 44 : Part des produits vendus en classe I (%) pour le verger agroforestier de 2015 à 2023.

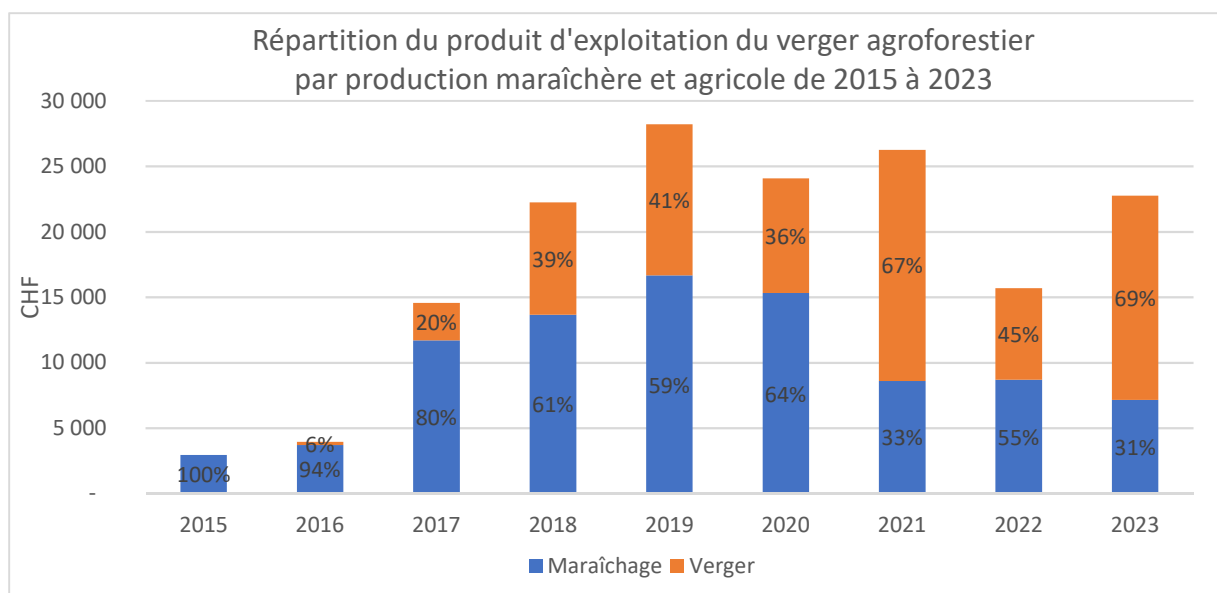


Figure 45 : Répartition du produit d'exploitation du verger agroforestier par production maraîchère et arboricole de 2015 à 2023

Sur la Figure 45, on observe que le produit d'exploitation a d'abord été principalement généré par la production du module maraîcher, et ce jusqu'en 2020. Le rapport s'est ensuite inversé en 2021 lorsque la production maraîchère a légèrement reculé, tandis que celle arboricole a fortement augmenté pour atteindre une quantité record. En 2023, c'est également la part arboricole qui domine : lorsque l'on observe les années 2021, 2022 et 2023 on y reconnaît le phénomène d'alternance de la production fruitière. Dans ce cas, la production maraîchère a un rôle d'autant plus important lorsqu'elle doit « prendre le relais ».

Le Tableau 15, ci-dessous, donne une vision globale des chiffres clés durant la seconde phase du projet. La marge brute d'une exploitation de pomme de table bio est en moyenne de 28'016 CHF par hectare par an (Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL 2018-2023). Le verger agroforestier, quant à lui, présente pour la seconde phase une marge brute moyenne de 28'707 CHF par hectare, soit un résultat légèrement supérieur de 2%. L'objectif du projet de ne pas dépasser une diminution de 20% est donc largement atteint et va même au-delà des attentes. Ce remarquable résultat a notamment pu être possible grâce à l'excellente valorisation des produits vendus à la ferme qui ont pu bénéficier d'un prix de 2 à 2.5 fois plus élevé que celui des pommes de table bio prises pour référence dans le catalogue des marges brutes et vendues hors circuits courts.

Ce tableau renseigne également sur la rémunération maximale que pourrait s'attribuer un producteur. Ce chiffre, obtenu en divisant le bénéfice annuel par la moyenne annuelle des heures de travail du chef d'exploitation (143.5 heures) donne une idée du potentiel de rémunération de ce verger. Il faut toutefois relativiser ce résultat, car les frais généraux ne sont pas pris en compte, ni d'autres frais comme la capacité de commercialisation ou d'autres activités qui n'ont pas été relevées (limite de la retranscription des données) : en effet, certaines tâches sont sous-évaluées ou non répertoriées comme la gestion de personnel ou la préparation du matériel.

Tableau 15: Production, produits d'exploitation et marge brute annuels moyens de la seconde phase (2018-2023) du verger agroforestier et extrapolation à un hectare théorique.

	Sur la parcelle (4'400m ²)	Par hectare théorique
Production (kg)	3 913	8 893

Production (pièces)	1 547	3 516
Produits d'exploitation (CHF)	23 200	52 727
Marge brute (CHF)	12 631	28 707
Bénéfice (CHF)	8 714	19 805
Affectation du bénéfice aux 143.5 heures de travail du chef (CHF/heure)	60.72	

Tableau 16 : Comparaison des marges brutes moyennes de la seconde phase (2018-2023) avec les productions de référence : Pomme de table Bio (Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL) et Micro-ferme maraîchère (FiBL)

Type de production	Verger Agroforestier 4'400 m2	Module arboricole 2'096 m2	Pomme de Table Bio (Agridea-FiBL) 1 ha	Module maraîchage 410 m2	Micro-ferme (FiBL)
Type référence surface	Fr./ha	Fr./ha	Fr./ha	Fr./m ² prod	Fr./m ²
Marge brute	28 707	31 352	28 016	15	16

Le Tableau 16 compare la marge brute moyenne de la deuxième phase (2018-2023) du verger agroforestier et de ses deux modules par rapport à une production de pommes de table bio. On constate ainsi que l'ensemble du BioDiVerger est légèrement plus rentable (+2.5%) qu'un tel verger, ce qui est un résultat remarquable. En effet, cela montre que les éléments de production marchande (les arbres fruitiers et les cultures annuelles) sont tout à fait performants en comparaison avec un verger de monoculture. On aurait pu croire que les éléments de biodiversité auraient fait chuter la rentabilité économique, mais il s'avère qu'ils ont joué un rôle important dans la réduction des coûts de production (lutte antiparasitaire notamment).

On observe aussi que le module arboricole est 12% plus rentable que la production de pommes de table bio: ceci est très encourageant, car malgré des choix de production forts (arrêt des insecticides, faible usage du cuivre), l'impact sur la rentabilité économique est positif. Cependant et comme mentionné plus haut, il faut rappeler que la vente en circuit court a permis une valorisation des produits qui ont bénéficié de prix de ventes 2 à 2.5 fois plus élevés que le prix de la pomme de table pris comme référence dans le Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL.

Enfin, pour le module maraîcher, la performance au mètre carré est excellente et se rapproche de la rentabilité d'une micro-ferme (-6%). Cet excellent résultat est à relativiser au vu de la faible taille du module maraîcher et des services écosystémiques rendus par tous les éléments de biodiversité. Néanmoins, cela montre tout de même que la rentabilité de ce module est très intéressante.

6.3 Analyse de la rentabilité économique du verger-épicerie

Pour cette analyse, et de la même manière que pour le verger agroforestier, une distinction sera faite par la suite entre la phase d'installation du verger-épicerie de 2013 à 2017 et la deuxième phase du projet qui s'étend de 2018 à 2023 et qui relève d'un rythme de production de « croisière ».

6.3.1 Les coûts de production

Le verger épicerie a toujours eu des coûts de production particulièrement faibles, hormis en 2014 (Figure 46). Durant cette année, l'élaboration du design et la préparation du terrain ont engendré de nombreuses heures de main-d'œuvre et d'utilisation des machines. Plus particulièrement, l'installation du swale par une entreprise tierce a constitué une grande partie des coûts. Cette installation est destinée à capter les eaux de surface et souterraines venant de l'amont du verger épicerie afin de réinfiltrer ces eaux dans son sous-sol. Par la suite, les coûts de production ont globalement diminué pour ensuite se stabiliser dès 2017. Le coût de main-d'œuvre et l'amortissement de l'actif plantes représentent les postes les plus importants des coûts de production des dernières années.

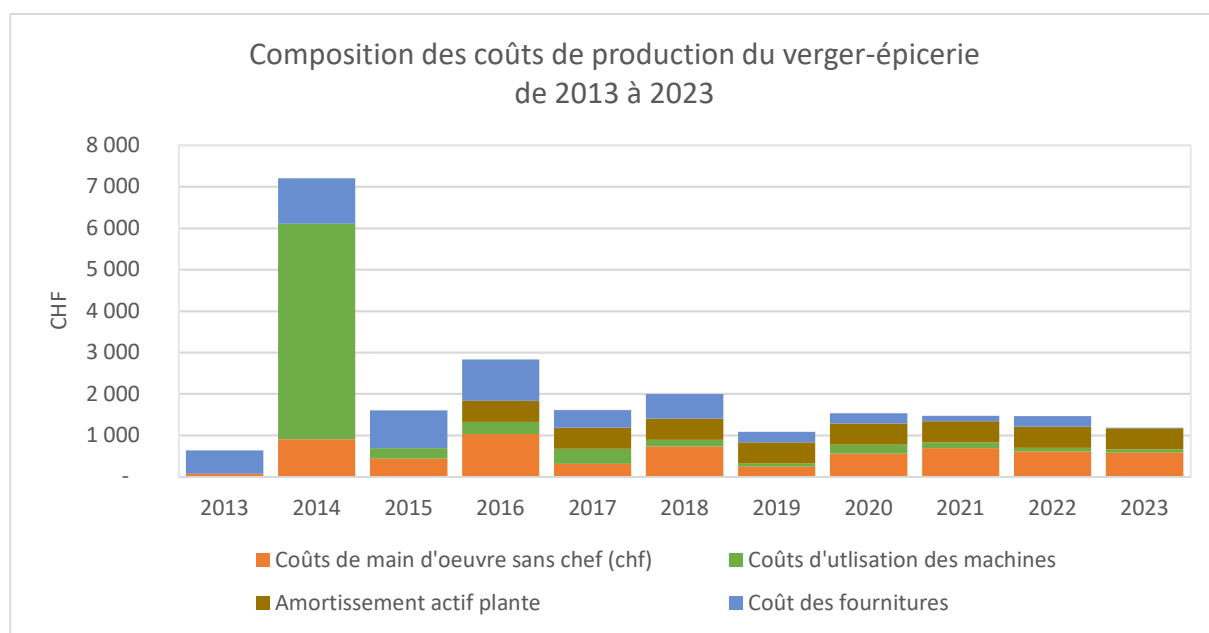


Figure 46: Composition des coûts de production du verger-épicerie de 2013 à 2023.

Le coût des fournitures (Figure 47) est dominé par le coût des plantes annuelles. Les années de la phase d'installation ont aussi une part importante du coût « matériel » (piquets, nichoirs...) caractéristique d'une phase d'installation de verger. Ensuite, à partir de 2017, le coût des fournitures se réduit fortement, mais reste majoritairement constitué du coût des plantes annuelles.

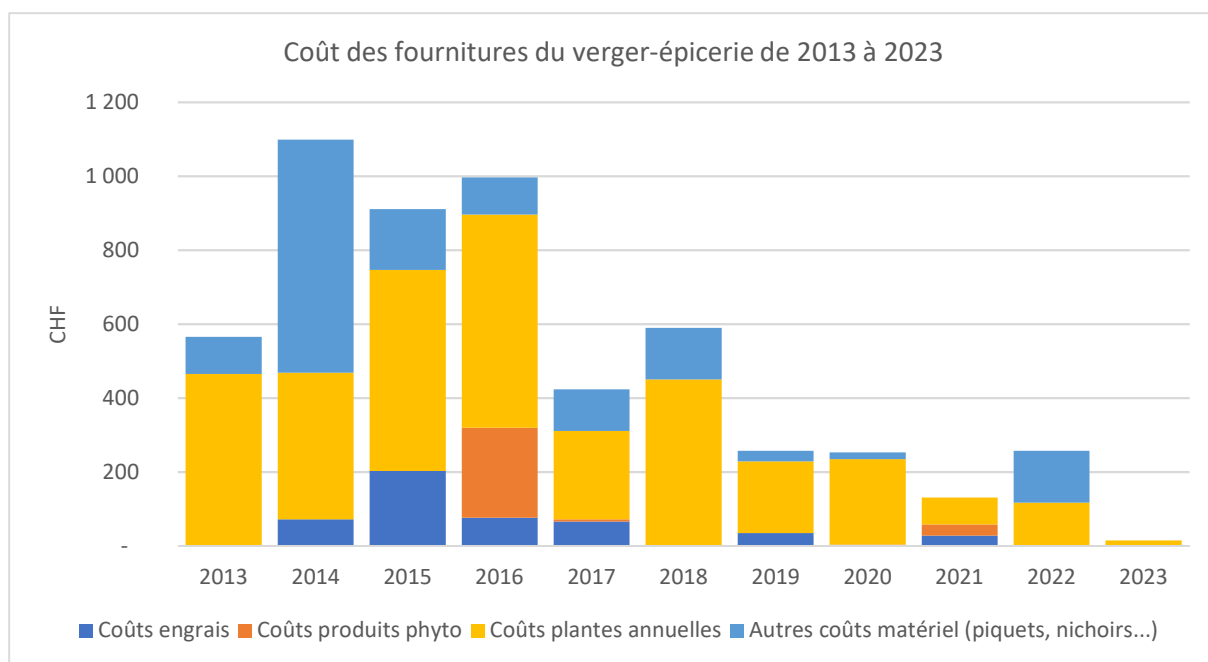


Figure 47: Evolution du coût des fournitures du verger-épicerie de 2013 à 2023.

6.3.1.1 La main-d'œuvre

Le Tableau 17, ci-dessous, regroupe les heures de main-d'œuvre (chef d'exploitation inclus) et les coûts de production cumulés (sans la rémunération du chef) durant la période de mise en place du verger-épicerie (2013-2015).

Tableau 17 : Récapitulatif des coûts cumulés de mise en place du verger-épicerie (2013-2015) et extrapolation à l'hectare théorique

	Main-d'œuvre (heures)		Coûts (CHF)	
	Sur la parcelle (900m ²)	Par hectare théorique	Sur la parcelle (900m ²)	Par hectare théorique
Total heures (heures d'aménagement)	175	1 945		
Total coûts de production (capital plantes)			9 512	105 689
Valeur de l'actif plantes			1 405	15 609

La Figure 48 permet d'observer deux phases différentes pour l'utilisation de la main-d'œuvre dans le verger épicerie. Une première phase, de 2013 à 2017, avec une très forte variation de la quantité de main-d'œuvre et une deuxième de 2018 à 2023 durant laquelle elle se stabilise.

Sur la Figure 50, on constate que durant la première phase, il y a une utilisation de la main-d'œuvre principalement orientée vers les travaux de soins du sol et des cultures, alors que durant la seconde, sa répartition change, avec la réduction de ces dernières et l'arrivée de l'activité de récolte.

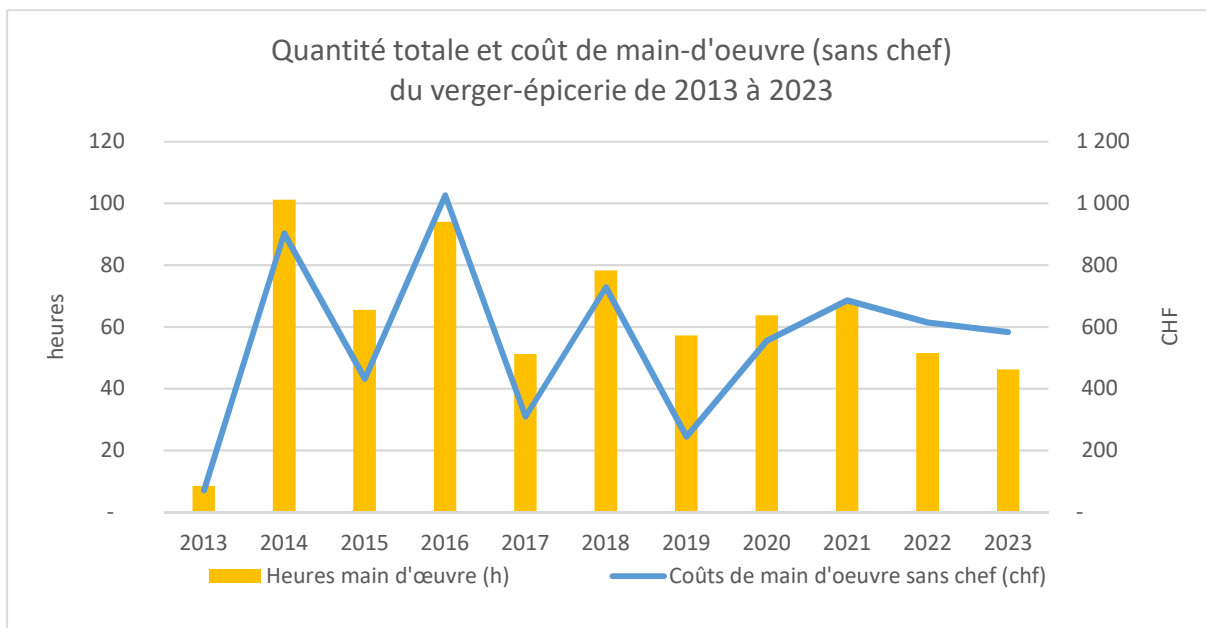


Figure 48 : Evolution de la quantité totale et du coût de main-d'oeuvre (sans chef) du verger-épicerie de 2013 à 2023.

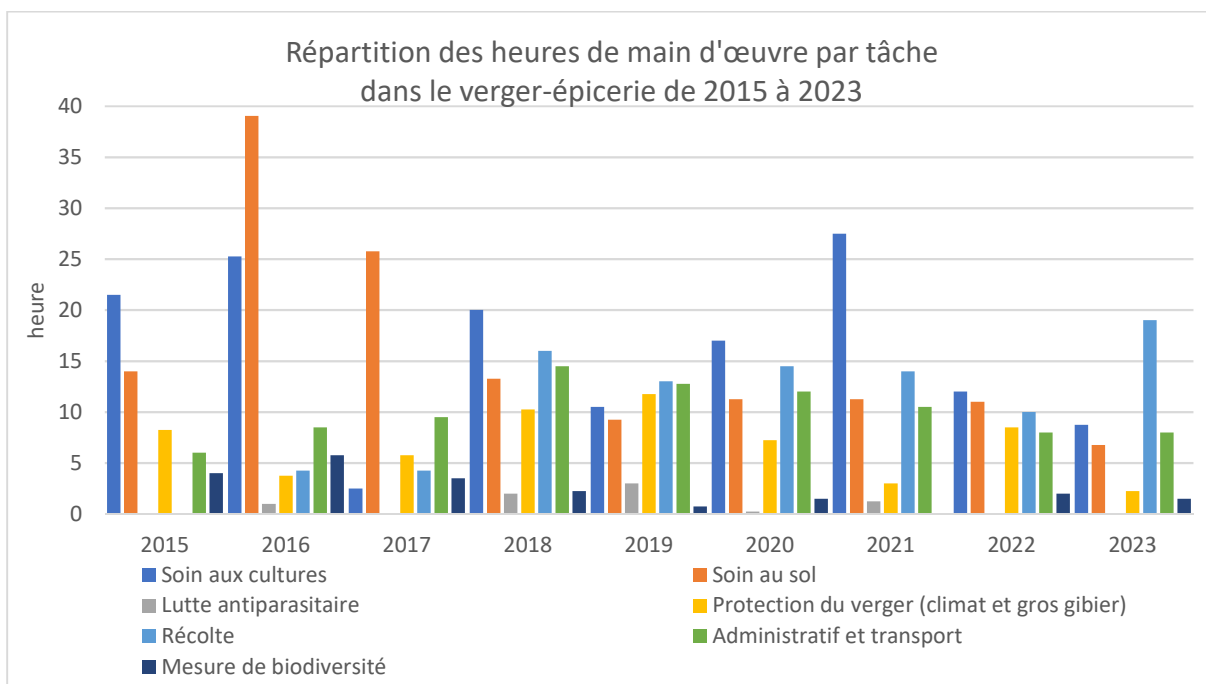


Figure 49 : Evolution de la répartition des heures de main-d'oeuvre par tâche dans le verger-épicerie de 2015 à 2023.

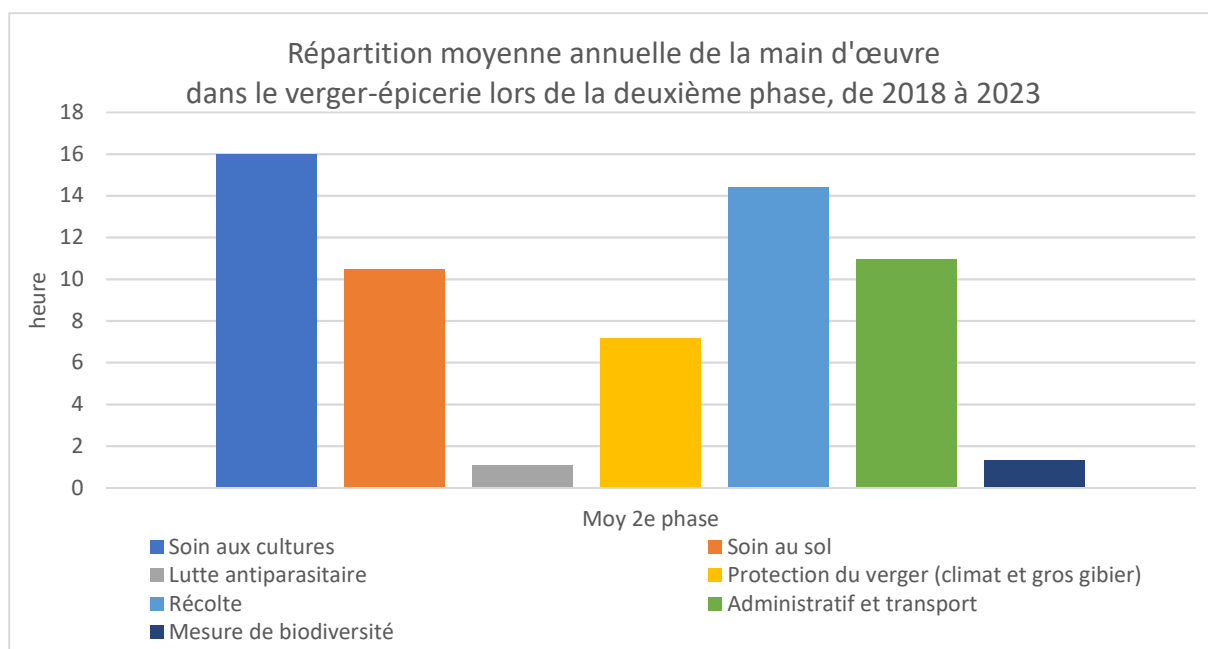


Figure 50 : Répartition moyenne annuelle des heures de main-d'œuvre par tâche dans le verger-épicerie lors de la deuxième phase de 2018 à 2023

La répartition moyenne de la main-d'œuvre dans la Figure 50 contraste avec la répartition de main-d'œuvre pour le verger agroforestier et ses modules vus plus haut (Figure 40). En effet, le temps passé à faire les soins au verger épicerie est plus important que la récolte. Ce constat met en évidence la faible productivité de ce système par rapport au temps consacré au soin des cultures et du sol. La catégorie soin aux cultures comprend les plantations, et en 2015 et 2016 ces tâches sont importantes avec l'installation du verger. Cependant, entre 2018 et 2023, de nouvelles plantations (notamment d'espèce pérennes) ont été faites et ont donc fait gonfler cette catégorie. La lutte antiparasitaire et les mesures de biodiversité prennent quant à elles très peu de temps durant la deuxième phase de ce verger.

Sur les six années de production de 2018 à 2023, la moyenne des heures de main-d'œuvre est de 61.4 heures par année, soit 682 heures par hectare par an (Tableau 18). Cela représente une diminution de 6%, par rapport à une production de pommes de table bio (724 heures) : l'objectif de diminution du temps de travail de 70% après 6 ans n'est donc pas encore atteint. Là encore, il s'agit d'interpréter prudemment les résultats compte tenu des types de production comparées et de la très petite surface du verger épicerie (900 m²). Par exemple, beaucoup de tâches sont mécanisées dans les vergers de pommiers, alors que dans le verger épicerie c'est rarement le cas.

Tableau 18 : Moyenne annuelle des heures de main-d'œuvre du verger-épicerie, comparée à celle d'une production de pommes de table bio (Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL) de 2018 à 2023

Pommes bio	Verger épicerie
724 h/ha	682 h/ha

6.3.1.2 Le machinisme

Le coût des machines est très faible pour ce verger (Figure 51) : il a un faible impact sur les coûts de production et ce dernier est à nouveau principalement dû au soin du sol (Figure 52). Durant les dernières années, les travaux de machines réguliers sont liés au mulch/ fauche, à l'arrosage et aux épandages. Les autres catégories ont représenté des travaux ponctuels. Lors de l'hiver 2021, par

exemple, un épandage de feuilles mortes issues de haies a été fait. L'objectif était d'améliorer la structure du sol et de s'approcher d'un sol forestier.

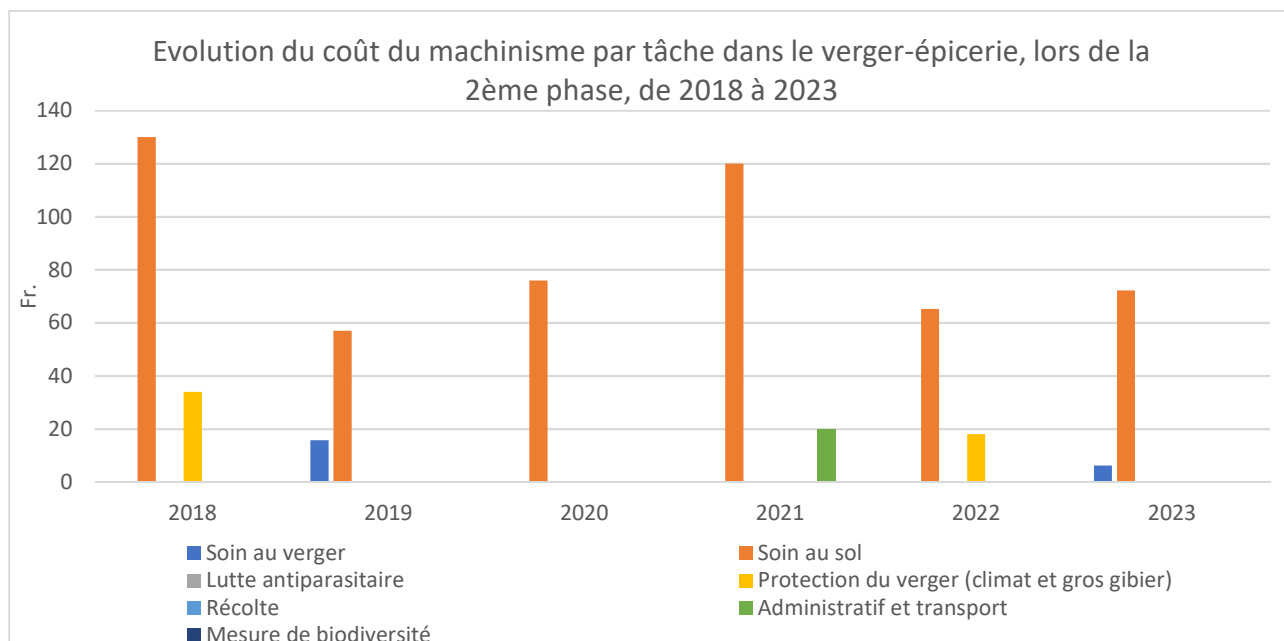


Figure 51 : Evolution du coût du machinisme par tâche dans le verger-épicerie lors de la deuxième phase de 2018 à 2023.

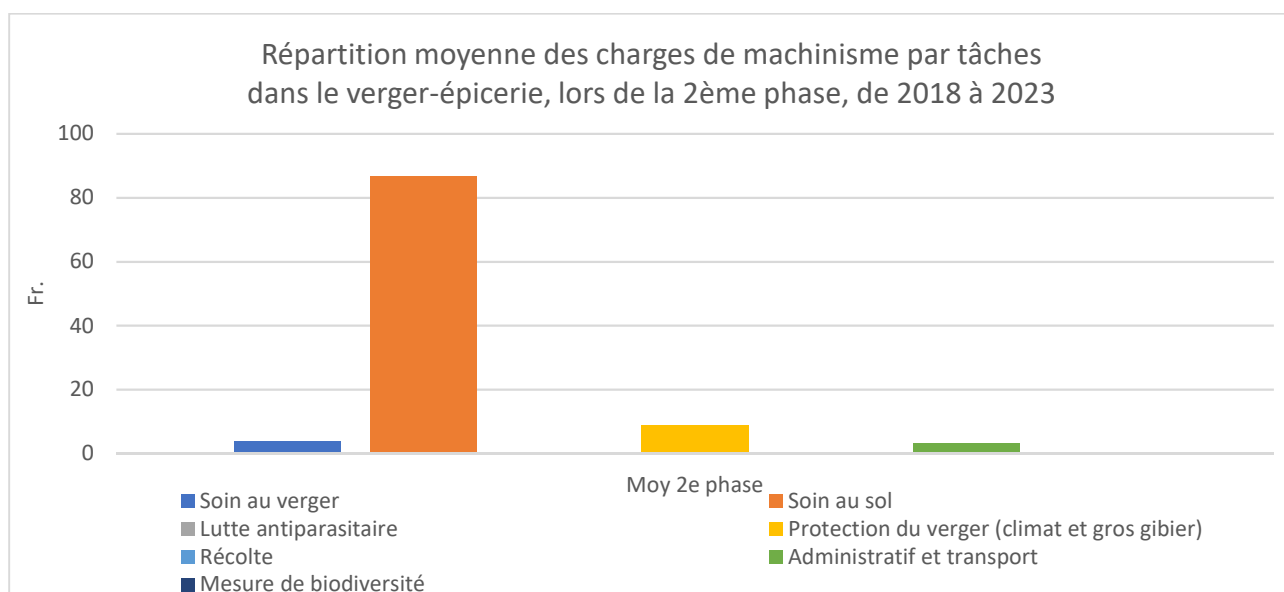


Figure 52 : Répartition moyenne des coûts de machinisme par tâche dans le verger-épicerie lors de la deuxième phase de 2018 à 2023.

6.3.2 Production, produits d'exploitation, marge brute et bénéfice

Sur la Figure 54, on constate que le produit d'exploitation a nettement augmenté en 2018 grâce à une forte croissance de la production au kg et à la pièce et il a ensuite fluctué avec les différents niveaux de production. De 2016 à 2018, la part des produits vendus en classe I s'est située entre 80% et 92% pour ensuite se situer autour de 65% durant deux années. Elle a atteint le très bon résultat de 90% en 2022 mais s'est effondrée en 2021 et 2023 à respectivement 35% et 44% (Figure 55). Cette situation montre une faible résistance du système, notamment aux aléas climatiques et aux dégâts causés par les

oiseaux de la forêt avoisinante du verger. Le verger épicerie répond tout de même au premier objectif mentionné au début du rapport dans le Tableau 4, car en moyenne 70% des produits ont été vendus en classe I.

Selon le chef d'exploitation, en moyenne environ 70% des fruits (fruitiers hautes-tiges et baies) sont piqués par les oiseaux et la majorité de ces fruits pourrissent. Chaque année, les volatiles ont été à l'affût et n'ont jamais permis de récolter une seule cerise ; ils ont consommé ou dégradé également d'autres fruits attractifs comme les figues, les nashis ou les jostas.

La marge brute du verger épicerie est passée en territoire positif à partir de 2018 et affiche une marge brute moyenne annuelle de 1'767 frs/ha, un résultat qui est par ailleurs inférieur de 94% par rapport à une production de pommes de table bio (28'016 CHF). Quant au bénéfice, il a vacillé dès lors entre le positif et le négatif. Ce dernier n'a jamais été assez important pour permettre de rémunérer le travail du chef à la hauteur du barème fixé (34.35 CHF) dans les bases du projet.

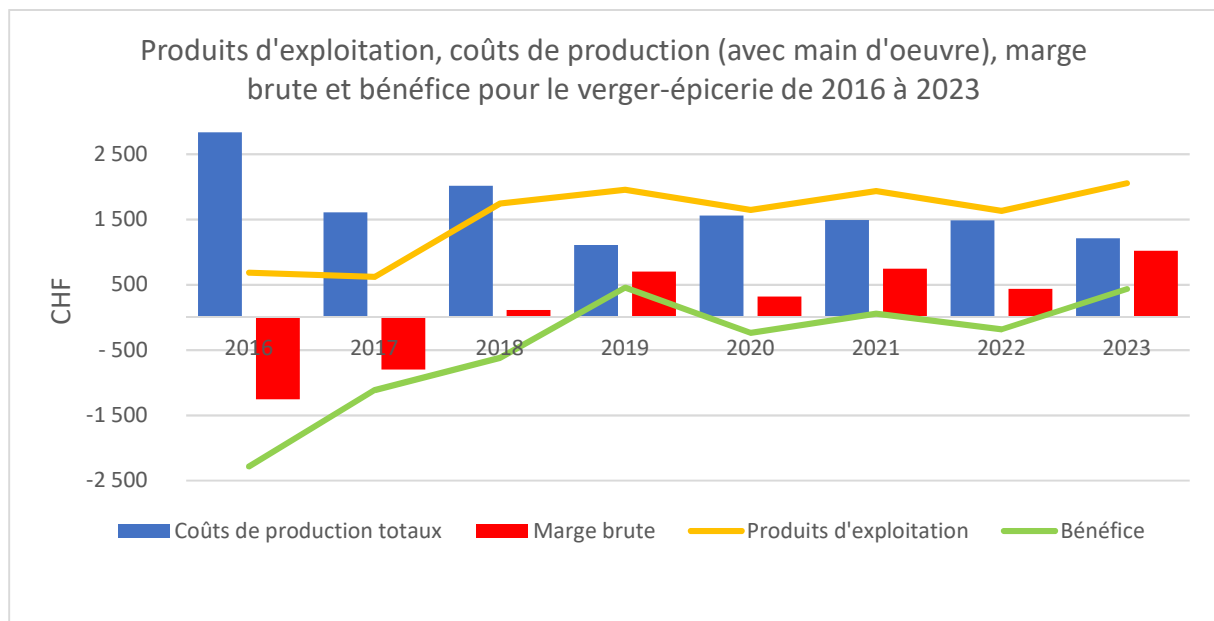


Figure 53 : Produits d'exploitation, coûts de production (avec main-d'œuvre), marge brute et bénéfice pour le verger-épicerie de 2016 à 2023.

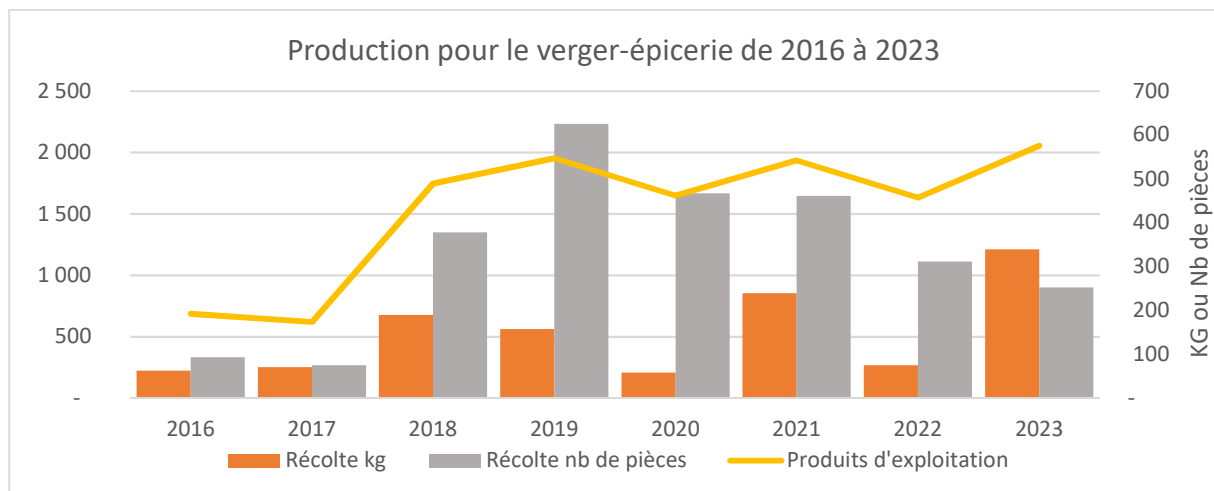


Figure 54 : Evolution de la production et des produits d'exploitation pour le verger-épicerie de 2016 à 2023.

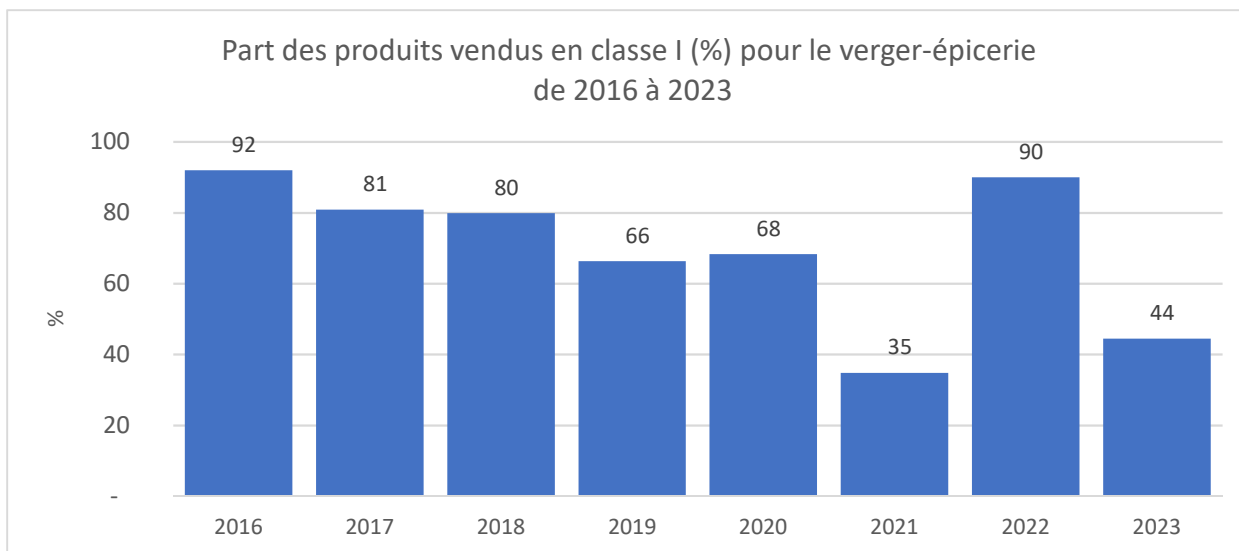


Figure 55 : Evolution de la part des produits vendus en classe I(%) pour le verger-épicerie de 2016 à 2023.

Le Tableau 19 donne une vision globale des chiffres clés durant la seconde phase du projet (2018-2023). Il y a une perte annuelle moyenne de 14 CHF (sans compter le paiement des frais généraux), ce qui n'a pas permis de rémunérer le travail du chef d'exploitation qui a travaillé 35 heures annuelles en moyenne. Cette situation est préoccupante et exige des changements importants.

Tableau 19 : Production, produits d'exploitation et marge brute annuels moyens de la seconde phase (2018-2023) du verger épicerie et extrapolation à un hectare théorique.

	Sur la parcelle (900m2)	Par hectare théorique
Production (kg)	176	1956
Production (pièces)	416	4 622
Produits d'exploitation (CHF)	1 829	20 322
Marge brute (CHF)	554	6 156
Perte (CHF)	-14	-156

De manière générale, la marge du verger-épicerie est très loin de pouvoir concurrencer la performance d'un verger de pomme bio en monoculture. Mais c'est également le cas d'un verger de type « forestier » qui met lui aussi plus de temps qu'un verger intensif pour devenir productif, jusqu'à 2 générations humaines. Néanmoins, au vu des performances observées, un changement dans l'aménagement et du design du verger serait impératif pour améliorer la production. Ce changement a déjà été amorcé ces dernières années : de nouvelles espèces pérennes ont été plantées, mais elles ne sont pas encore en production et le pourcentage de plantes non productives reste élevé. De plus, l'environnement de la parcelle reste contraignant et amène son lot de problématiques, notamment des dégâts liés à la faune sauvage). Quoi qu'il en soit, il paraît évident qu'il y a une très faible production au mètre carré ne permettant pas de couvrir les charges qui sont pourtant déjà très réduites et optimisées.

6.4 Synthèse

Cette analyse économique montre deux types de vergers avec des rentabilités économiques bien distinctes.

D'une part, le verger en agroforesterie est développé sur environ 4'400 m², avec 43% de cette surface dédiés à des éléments de biodiversité, 48% à des productions fruitières et 9% à des productions maraîchères. On souhaitait observer un impact positif des services écosystémiques et des éléments de biodiversité pour permettre de garder une production rentable tout en réduisant les intrants (et viser l'autorégulation). Cela a été chose faite : l'équilibre économique est arrivé à partir de 2017, soit la quatrième année après l'installation du verger, avec une marge brute et un bénéfice en territoire positif. Cette rentabilité a été rapidement atteinte, principalement grâce aux productions maraîchères qui ont des cycles de production rapides. Quant au module arboricole, la marge brute entre en territoire positif en 2017, mais c'est à partir de 2018 que le module dégagera un bénéfice. Durant les quatre dernières années, la production maraîchère a connu une certaine baisse dû à l'extensification des cultures en raison de changements structurels internes à la Ferme bio des Sapins. Cette diminution ne peut donc être imputée à une concurrence pour les ressources (lumière, eau et nutriments) entre les arbres et les plantes : il serait intéressant par ailleurs de poursuivre l'observation de ce système pour mieux appréhender les interactions positives et négatives entre ces végétaux. Le verger agroforestier répond à deux des trois objectifs mentionnés dans le Tableau 4 au début de ce rapport : a) « produire des fruits dont 70% au moins en fruits de table » – en moyenne, 86% (plus de 92% de 2015 à 2018 et plus de 83% de 2019 à 2023) des fruits ont été vendus en fruits de table (classe I) ; b) « obtenir un rendement financier global inférieur à 20% au maximum par rapport aux chiffres du Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL » – le verger agroforestier affiche une marge brute globale de +2.5% par rapport à une production de pommes de table bio; c) « réduire le temps de travail de 30% par rapport aux cultures bio (réf Agridea-FiBL) après 4 ans » – le verger agroforestier ne répond pas encore à ce défi avec 1% de temps de travail en plus que la culture de pommes de table bio.

D'autre part, il y a le verger-épicerie qui s'étend sur 900 m² avec une répartition des surfaces qui est à l'avantage des éléments de biodiversité. Là aussi, on souhaitait observer un système bas-intrants viable. Dans les faits, la rentabilité économique n'a malheureusement pas été au rendez-vous. En effet, les bénéfices (durant trois années seulement – 2019, 2021 et 2023) ont été maigres et n'ont jamais permis de rémunérer le temps de travail du chef d'exploitation, bien que les coûts de production aient pourtant bien été maîtrisés durant les dernières années. En effet, la cause de cette mince performance réside dans le faible niveau de production lié au nombre réduit d'éléments productifs présents sur la parcelle et dans des prix de vente revus à la baisse : la production a été passablement endommagée par la faune sauvage et n'a donc pas pu être valorisée comme souhaité. De plus, l'autocueillette qui était l'objectif de valorisation des denrées issues de cette partie du verger n'a jamais fonctionné faute de volonté d'organisation et d'étiquetage, ainsi que de périodicité de la production qui ne s'avérait suffisante qu'en été – période de vacances des citoyens. Ainsi, il paraît difficile d'arriver à un équilibre économique sans faire évoluer le système ou uniquement renouveler et remplacer les espèces qui ne sont pas adaptées. Le verger-épicerie ne permet de répondre qu'au premier des trois objectifs qui lui étaient assignés: a) « produire des fruits et des légumes dont 70% au moins en légumes et fruits de table » – en effet, malgré une production endommagée par la faune sauvage, en moyenne 70% des fruits et légumes ont tout de même été vendus en fruits de table (classe I) ; b) « obtenir un rendement financier global inférieur à 30% au maximum par rapport aux chiffres du Catalogue des marges brutes Agridea-FiBL » – le verger-épicerie affiche une marge brute moyenne annuelle de 1'767 frs/ha, soit un rendement inférieur de 94% par rapport à une production de pommes de table bio; c) « réduire le temps de travail de 30% par rapport aux cultures bio (réf Agridea-FiBL) après 6 ans » – le verger-épicerie ne répond non plus pas à ce défi avec 6% de temps de travail en moins que la culture de pommes de table bio.

Il faut cependant interpréter les résultats ci-dessus avec prudence et garder à l'esprit certains éléments : la taille du verger agroforestier et du verger-épicerie est relativement petite et par conséquent, l'extrapolation des résultats au niveau de l'hectare pour la comparaison avec une monoculture de pommes bio est limitée ; il y a eu de plus un biais positif par rapport à une exploitation standard de référence, car il n'y a pas eu de pertes, c'est-à-dire que tous les produits ont pu être vendus en circuit court avec une clientèle déjà fidèle et donc aussi à un prix supérieur au prix de référence utilisé pour le calcul des marges brutes. Par ailleurs, il faut mentionner que les coûts de main-d'œuvre mentionnés dans ce rapport ne prennent pas en compte la rémunération du chef d'exploitation qui peut jusqu'à faire doubler ces coûts lorsqu'elle est incluse : ignorer la rémunération du chef de culture dans le calcul des bénéfices est compréhensible, mais il est très important de ne pas oublier le travail qu'il déploie car la santé physique et morale de celui-ci conditionne directement la durabilité du système.

7 Communication autour du BioDiVerger

Le BioDiVerger accueille chaque année un large éventail de visiteurs, notamment des étudiants de l'UNIL ou de Hepia, des agriculteurs et des particuliers, comme illustré par l'Image 10. Des événements "portes-ouvertes" sont organisés pour permettre à tous les intéressés de visiter le verger. Des experts sont également sollicités pour évaluer le projet et fournir des conseils.

Par exemple, Stefan Sobkowiak a visité le BioDiVerger en 2014 et en novembre 2017, réalisant même une conférence lors de sa première visite. En 2015, Bernard Alonso a proposé une conférence sur la permaculture appliquée. En 2016, Beat Rölli, expert en permaculture, a apporté son expertise, clarifiant les axes de travail. Une conférence sur l'agroforesterie a eu lieu en 2016 avec Christian Dupraz, ingénieur forestier à l'INRA. En 2017, Matthieu Calame a abordé le sujet du changement agricole, attirant 80 auditeurs.

Sur place, le BioDiVerger propose également des cours couvrant diverses thématiques, dont la permaculture, les systèmes de cultures alternatifs, l'écologie, la biodiversité, la reconnaissance des auxiliaires et des ravageurs, l'élaboration de compost, ainsi que la lutte contre les campagnols.



Image 10 : Visite du BioDiVerger (Source : FiBL)

L'impact du BioDiVerger s'étend également aux médias, alimentant des journaux agricoles suisses tels que l'Agrihebdo, Terre & Nature et Bio Actualités. La présence en ligne du BioDiVerger est renforcée par la création d'une page internet dédiée à la permaculture sur le site bioactualites.ch depuis 2017, sous la rubrique Culture > Durabilité > Permaculture :

<https://www.bioactualites.ch/cultures/permaculture/sites-experimentaux>

Pour informer et guider les visiteurs, des supports de communication sont stratégiquement dispersés dans le BioDiVerger et à son entrée. Ces derniers renseignent sur le plan du BioDiVerger, des explications sur le concept, des définitions de l'agroforesterie et de la permaculture, sur les associations spécifiques et le maillage écologique des vergers, les intervenants du COPIL ainsi qu'une mise en garde sur la présence de fruits non comestibles. Un lien QR vers le site bioactualites.ch est également donné. Ces panneaux sont régulièrement mis à jour pour assurer la pertinence des informations fournies.

Les objectifs initiaux de dissémination des informations (plate-forme d'échange/visites/...) ont été pleinement atteints, avec une large diffusion des connaissances acquises à travers divers canaux.

Conclusion

Le modèle du BioDiVerger représente une approche novatrice visant à concilier production agricole, biodiversité et durabilité.

Le verger en agroforesterie, qui consacre 43% de sa surface aux éléments de biodiversité, 48% aux productions fruitières, et 9% aux productions maraîchères, offre une multitude d'avantages : en répartissant différentes espèces et variétés sur une même surface, elle favorise l'augmentation de la biodiversité, réduit les risques d'attaques et de propagation des maladies et ravageurs, et permet un échelonnement des récoltes, contribuant ainsi à une répartition du travail sur la saison et une offre variée de produits aux clients. L'intégration de surfaces dédiées à la promotion de la biodiversité, telles que des fruitiers hautes tiges, bandes fleuries, arbres indigènes et structures pour la faune permettent de favoriser au maximum la biodiversité fonctionnelle. L'équilibre économique a été atteint en 2017, quatre ans après l'installation du verger agroforestier. La rentabilité a été rapidement obtenue, notamment grâce aux productions légumières à cycles de production rapides, affichant une marge positive dès 2016. Les productions fruitières ont suivi avec une marge positive à partir de 2018. Cependant, les quatre dernières années ont connu une baisse préoccupante de la production maraîchère, attribuée aux aléas météorologiques et à une possible compétition pour la lumière, l'eau, ou les nutriments entre les fruitiers et les autres plantes. Malgré ces défis, le verger agroforestier répond à plusieurs objectifs, avec plus de 70% des produits vendus en catégorie I et une rentabilité économique proche d'un verger de pommes biologique selon AGRIDEA. Cependant, il reste encore à atteindre l'objectif de réduction du temps de travail de 30% par rapport à un verger de pommes biologique, un aspect qui mérite une observation continue pour mieux comprendre les interactions entre les différents végétaux.

Le concept novateur du verger-épicerie, conçu comme un système permacole visant à produire une large variété de denrées alimentaires de manière extensive, se distingue par une réduction significative des travaux au verger, entraînant une réduction du temps de travail. Cette approche se fonde sur la production d'une large variété de denrées alimentaires, en profitant au maximum de la biodiversité fonctionnelle, pour laquelle elle consacre le plus possible de sa surface. Cependant, la répartition des espaces en faveur des éléments de biodiversité, bien que prometteuse pour un système bas-intrants et novateur, se heurte à un défi économique majeur. Malgré une maîtrise des coûts de production, la rentabilité économique ne répond pas aux attentes. La marge commerciale a été positive uniquement en 2019, 2021 et 2023, et elle n'a pas suffi à couvrir le coût du temps investi par le chef de culture sur la parcelle. La principale cause de cette sous-performance réside dans la production, où le rendement peine à se développer en raison d'un nombre insuffisant d'éléments productifs sur la parcelle et l'échec des productions annuelles. De plus, la faune sauvage endommage considérablement la production, impactant directement les revenus en raison de prix moins attractifs pour les produits endommagés. En fin de compte, la faible production mal valorisée rend difficile l'atteinte d'un équilibre économique, soulignant la nécessité de faire évoluer le système pour garantir la viabilité économique du verger-épicerie. Par ailleurs, l'étude des qualités du sol du verger épicerie montre une amélioration significatives des paramètres étudiés et notamment en stockage de matière carbonée.

Le BioDiVerger se distingue par son design novateur par rapport à d'autres vergers, marquant une approche différenciée dans la gestion agricole, et notamment dans la gestion de son sol. En effet, le travail du sol est réduit au strict minimum, afin de ne pas perturber la qualité structurale du sol et la vie qu'elle contient. Malgré des intrants limités, le BioDiVerger réussit à assurer un réapprovisionnement constant en matière organique et en éléments nutritifs, contribuant à une amélioration globale de l'activité biologique sur l'ensemble des parcelles.

La réduction au maximum de l'impact mécanique se révèle être un élément clé favorisant la fertilité et la biologie du sol, promouvant une structure grumeleuse propice au bon fonctionnement du sol. L'observation révèle une autorégulation efficace orchestrée par les microorganismes et la biodiversité

présents dans l'ensemble du verger. Cette autorégulation témoigne de la résistance et de la résilience du sol du BioDiVerger.

Pour mieux connaître la base du sol, diverses analyses sont envisageables, mais certaines se sont révélées essentielles, notamment les analyses en laboratoire de granulométries, de matière organique (MO), et d'éléments nutritifs (EN). De plus, deux tests simples, le VESS et le comptage de vers de terre, émergent comme des outils pratiques et facilement réalisables pour évaluer la qualité structurale du sol, fournissant des indications cruciales pour optimiser la gestion du travail du sol.

Les stratégies de gestion des maladies et ravageurs ont montré des résultats encourageants, avec notamment des succès dans la régulation des pucerons par les auxiliaires, mais également des défis persistants pour les fruits à noyau, notamment les pêchers. Cependant, le recours limité au cuivre et l'utilisation d'alternatives biologiques reflètent l'engagement envers une approche respectueuse de l'environnement et semblent porter ses fruits.

Enfin, le BioDiVerger, malgré des coûts initiaux d'installation et d'entretien non négligeables, favorise la biodiversité fonctionnelle, réduisant certains autres coûts et tâches. Le modèle agroforestier semble mieux bénéficier de ces avantages que le verger-épicerie, soulignant la complexité des interactions entre agriculture et biodiversité. En termes de durabilité environnementale, le BioDiVerger se distingue positivement, particulièrement en matière d'économie des matériaux et d'énergie. En continuant d'observer et d'ajuster ces systèmes, des avancées significatives vers une agriculture plus durable et équilibrée pourraient être réalisées.

Les objectifs initiaux du projet visaient à créer des vergers bas intrants et riches en biodiversité, de calculer rentabilité économique des systèmes, d'en démontrer les avantages et les limites et de créer une plate-forme d'échange en accueillant divers visiteurs. Il peut donc être conclu que, globalement, les objectifs initiaux ont été atteints. En effet, les deux vergers nécessitent que peu d'intrants et sont très riches en biodiversité tant floristique que faunistique. Leur rentabilité économique a pu être calculée, et les résultats du verger en agroforesterie sont encourageants. Les avantages des systèmes sont principalement la forte biodiversité qu'ils regorgent, mais le verger en agroforesterie présente beaucoup de résultats techniques et économiques intéressants, qui incitent à reproduire le système. Les limites du verger-épicerie sont multiples, et montrent notamment que ce système a besoin d'être conceptualiser différemment, en dédiant plus de surface à la production. Les limites du verger en agroforesterie sont essentiellement techniques et pourraient être corrigées en réitérant les différents essais.

Le BioDiVerger accueille régulièrement différents groupes de visiteurs, permettant l'échange des informations et la transmission des échecs et des réussites. Le verger est également le support de différentes études. De plus, une fiche technique a été réalisée parallèlement à ce rapport, permettant la diffusion des recommandations aux producteurs intéressés par un tel système. Les objectifs de dissémination sont donc atteints.

Le projet est dans l'ensemble un succès, qui a permis de tirer de nombreux enseignements pour réaliser des vergers durables, qui s'intègrent dans une démarche d'agriculture résiliente et respectueuse de l'environnement dans son ensemble, tout en permettant d'en tirer une production rentable et conforme à la demande des consommateurs.

Impressum

Auteurs

Flore Araldi

Hélène Bougouin

Robin Sonnard

Rebecca Hévia

Cecilia Guggisberg

Sara Guil

Nathanaël Bousquet

Carine Cudré

Participation

Maud Liégeois

Loïc Bulliard

Antoine Giovannini

Collaboration

La Ferme bio Les Sapins - Théo Grossenbacher

DGAV

UFL

Rédaction

Flore Araldi

Cecilia Guggisberg

Références

- 30(1), 77-83. <https://doi.org/10.1080/00380768.1984.10434670>
- Agridea (2007). Favoriser la petite faune sur l'exploitation
AGRIDEA und FiBL : marges de contribution 2018.
agroforestier et d'une verger-forêt selon les principes de la permaculture (Projet BioDi-Verger).
Morges: FiBL.
- Agroscope. (2020) Agrométéo. Repéré à <https://www.agrometeo.ch/> (consulté le 16.10.2022)
- Agroscope. (2020). *Evaluation visuelle de la structure du sol (v04.06.2020)*. Zürich : Auteur. Repéré à :
- an Reaserch*. Chapitre 4. p. 129-177. New York : Nova Science Publishers.
- animales et végétales, Grangeneuve, 123 p.
Berne : Agroscope.
- Bertshinger, L. e. (2003). Données de base pour la fumure en arboriculture fruitière. Wädenswil:
Eidgenössische Forschungsanstalt.
- Bio Suisse & FiBL (2013). Les principes de la fertilité des sols. Frick: FiBL.
- Bispo, A., Gattin, I., Hedde, M., Bodin, J., Villenave, C., & Peres, G. (2012). Quels bioindicateurs pour la gestion durable des sols agricoles et forestiers. Compte rendu des journées de restitution du projet « Bioindicateur pour la caractérisation des sols », Paris, 16.
- Bougouin, H., Chiez, B., Lebleu, F. & Nicolet, M. (2018). Itinéraires techniques et cultureux du BioDiVerger de Marcelin de 2013 à 2017. FiBL.
- Calame, M. (2007). Une agriculture pour le XXIème siècle, manifeste pour une agriculture biologique. (C. L. Mayer, Éd.) Paris: Charles Léopold Mayer.
- Caractéristiques et analyses du sol. Dans Agroscope (éds), Principe de fertilisation des
- Cardon. (2016, mars 19). Cours greffes fruitiers au jardin des Fraternités ouvrières. (L. C. Gilbert Cardon, Intervieweur)
- Coleman, E. (2009). *The Winter Harvest Handbook*. Chelsea: Chelsea Green Publishing.
- Collaud G., Ryser J.-P., Schwarz J.-J., 1990. Capacité d'échange des cations. *Revue suisse Agric.* 22, 285-289.
- Cultures agricoles en Suisse (PRIF). Recherche agronomique suisse 8(6) : publication spéciale.
- Curry, J P. (2004). Factors affecting the abundance of earthworms in soils. In *Earthworm Ecology* (pp. 91–113). <https://doi.org/doi:10.1201/9781420039719.pt3>
- Dietiker, D., Hanhart, J., ravin, E. (2017). Wirtschaftlichkeit von Hebebühnen, SCHWEIZER ZEITSCHRIFT FÜR OBST- UND WEINBAU 1/17
- Durable des terres. Directives et bonnes pratiques en Afrique subsaharienne. TerrAfrica, Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)
- Earthworm as ecosystem ingeneer : a review. Dans Clayton G. Horton (éd), *Earthworm – Types, Roles*
- FiBL & Bio Suisse (2013). *Les principes de la fertilité du sol. Construire sa relation avec le sol*. Frick : FiBL.
- FiBL. (1998). La fumure des cultures maraîchères biologiques. Frick: FiBL.
- FiBL. (2002). Le contrôle des adventices en maraîchage biologique. Frick: FiBL.
- FiBL. (2002). Réalisation d'un verger basse-tige. Frick: FiBL.
- FiBL. (2016). Arboriculture fruitière biologique haute-tige. Frick: FiBL.
- FiBL. (2016). Guide pratique : La biodiversité sur l'exploitation agricole. Frick: FiBL.
- Fisher, A. (2019). *Évaluation des vers de terre en tant qu'indicateurs de la qualité des sols agricoles* : Flisch, R., Neuweiler, R., Kuster., T., Oberholzer, H., Huguenin-Elie, O., & Richner, W. (2017).

- Food and Agriculture Organisation. (2014). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. In World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. <https://doi.org/10.1017/S0014479706394902>
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A. & Sinaj S., 2004. Le phosphore dans les sols – État de la situation en Suisse. Cahier de l'environnement N° 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 174 p
- Fukuoka, M. (2005). La révolution d'un seul brin de paille. Paris: Guy Trédaniel.
- Gobat, J.-M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010). *Le sol vivant. Bases de pédologie - biologie des sols*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Groupe de coordination pour la protection des sols GCSol. (2019). *FRIBO – Réseau d'observation des*
- Guégan S. & Léger F. (2015). Etude « Maraîchage biologique permaculturel et performance économique ». Institut Sylva et UMR SADAPT (INRA AgroParisTech)
- Guichet cartographique cantonal. (s. d.). <https://www.geo.vd.ch/> ,(consulté le 09.10.2022)
- Hart, R. A. (1996). Forest Gardening: Rediscovering Nature and Community in a Post-industrial Age. Portland: Green Earth Books.
- Hart, R. A. (1996). Forest Gardening: Rediscovering Nature and Community in a Post-industrial Age. Portland: Green Earth Books.
- HEPIA (2012) Agroflash-agronomie - La « haie bircher »
- Hérody Y., 2015. Le chaulage – l'état calcique des sols cultivés. BRDA Editions, Collection « les fondamentaux de l'agriculture », 90 p.
- Hervé-Gruyer, P. e. (2014). Permaculture Guérir la terre Nourrir les Hommes. (D. d. possible, Éd.) Arles: Actes Sud.
- Holmgren, D. (2013, oct-nov-dec). Prendre soin de la terre, de l'humain et partager; éthique et principes de la permaculture. La revue Durable, pp. 27-31.
- Holzer, S. (2011) Sepp Holzer's Permaculture: A Practical Guide to Small-Scale, Integrative Farming and Gardening. Broché
<https://www.progres-sol.ch/outils/vess.html> (consulté le 15.10.2022)
<https://www.sol-conseil.ch/fr/Accueil/Documents/Fiches-techniques-de-prelevement.html>.
<https://www.sol-conseil.ch/fr/Laboratoire/Methodes/Resumes-de-methode.html>.
- impact des pratiques culturelles et perspective d'application pour les agriculteurs.* (mémoire de master Jäger, M. (2017). Systèmes agroforestiers. Agridea. Lindau: AGRIDEA.
- Jäger, M. (2017). Systèmes agroforestiers. Agridea. Lindau: AGRIDEA.
- Johannes, A., Matter, A., Schulin, R., Weisskopf, P., Baveye, P. C., & Boivin, P. (2017). Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma*, 302(April), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021>
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., & Boivin, P. (2016). To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? *Soil and Tillage Research*, 173, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.06.001>
- Jossi, W., Zihlmann, U., Anken, T., & Dorn, B. (2011). *Un travail du sol réduit protège les vers de terre*. 2(10), 432–439. Retrieved from <https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/lombrics-suisse.pdf>
- Kuster, T., Eicher, O., Leumann, L., Müller, U., Poulet., J. & Rustihauser., R. (2017). Fertilisation en arboriculture. Dans *Agroscope* (éds), Principe de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF). Recherche agronomique suisse 8(6) : publication spéciale. Berne : Agroscope.

- Lawrence AP & Bowers MA (2002) - A test of the 'hot' mustard extraction method of sampling earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 549-552
- Le Bayon, R.-C., Bullinger-Weber, G., Schomgurg, A., Turberg, P., Schlaepfer, R. & Guenat, C. (2017). Liniger, H.P., R. Mekdaschi Studer, C. Hauert and M. Gurtner (2011). La pratique de la gestion Möhring, A., Mack, G. & Willersin, C. (2012). Cultures maraîchères – modélisation de l'hétérogénéité et de l'intensité. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (7-8) : 382-389.
- Mollison B. (2006) *Perma-culture : Tome 1*. Broché.
- Mollison B. (2011) *Perma-culture : Tome 2*. Broché.
- Moreau, J.-G., & Daverne, J.-J. (1845). *Manuel pratique de la culture maraîchère à Paris*. Paris: V. Bouchard-Huzard.
- Nicaise, G. (2013, oct-nov-dec). Le jardin-Forêt, entre nature et culture. *La Revue Durable*, 32-33.
- Nicaise, G. (2013, oct-nov-dec). Le jardin-Forêt, entre nature et culture. *La Revue Durable*, 32-33. non publié). Université de Neuchâtel, Institut de biologie & Université de Lausanne, Institut des sciences OFEV. (2017). *Sols suisses. État et évolution*. Retrieved from https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop_mimes_bbl/8C/8CDCD4590EE41ED7B59DA42594B0BDFE.pdf
- OPVT. (2015). Clé d'identification de lombriciens en 4 groupes fonctionnels.
- Pérès, G., Cluzeau, D., Hotte, H., & Delaveau, N. (2012). Fiche indicateur : les vers de terre. Ademe, 4.
- Raintree, L. & (1982). *Sustained Agroforestry*. Nairobi: ICRAF.
- Raintree, L. & (1982). *Sustained Agroforestry*. Nairobi: ICRAF.
- Recherche Agronomique Suisse* 8, Publication spéciale, 276 p.
- Schlup, L. (2012). *Permaculture: introduction et guide pratique*. (Kangaroots-Permaculture, Éd.) unknown: Kangaroots-Permaculture.
- Sinaj S., Richner W., 2017. *Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse* (PRIF 2017).
- Singh J, Singh S, Bhat SA, Vig AP, Schädler M (2018) - Eco-friendly method for the extraction of earthworms: Comparative account of formalin, AITC and Allium cepa as extractant. *Applied Soil Ecology*, 124: 141-145.
- Sobkowiak, S. (2014) *Le Verger en permaculture sol agricoles 1987-2016*. Institut Agricole de l'État de Fribourg, Station cantonale des productions Sol-Conseil. (2020a). *Prélèvement d'échantillons de terre pour l'agriculture*. Gland : Auteur. Repéré à :
- Sol-Conseil. (2020c). *Terres – résumé de Méthode. OSol*. Gland : Auteur. Repéré à <https://www.sol-conseil.ch/fr/Laboratoire/Methodes/Resumes-de-methode.html>.
- Tschabold J-L., Mayor P., (2015). *Rapport projet BioDi-Verger 2013-14*
- Tschabold, J.-L. (2013). *Rapport : Développement et suivi agronomique et écologique d'un verger agroforestier et d'une verger-forêt selon les principes de la permaculture (Projet BioDi-Verger)*. Morges: FiBL.
- Wada, S. (1984). Mechanism of apparent salt absorption in ando soils. *Soil Science and Plant Nutrition*,
- Whitefield, P. (2002). *How to make a forest Garden*. Hampshire: Permanent Publications.
- Whitefield, P. (2011). *Créer un jardin-forêt*. Éditions Imagine Un Colibri
- Whitefield, P. (2016). *The Earth Care Manual*. Glasgow: Permanent Publications.
- Zihlmann, U., Weisskopf, P., Chervet, A., & Seitz, B. (2019). *Matière organique des sol cultivés – enrichir plutôt que consumer*. Lindau : AGRIDEA.

Annexe I

Liste des espèces cultivées au BioDiVerger (état fin 2020)

Zone du BioDiVerger		Espèces	Principaux intérêts
VE		Ail à tondre <i>Allium tuberosum</i> LILIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VA	Rangées de fruitiers	Alisier torminal <i>Sorbus torminalis</i> Rosaceae	Mellifère, fruits comestibles
VA	Haies	Alne glutineux <i>Alnus glutinosa</i> BETULACEAE	Fixateur d'azote
VA	Haies	Amélanchier commun <i>Amelanchia ovalis</i> ROSACEAE	Mellifère, baies comestibles très attractives pour les oiseaux
VE		Arbousier <i>Arbutus unedo</i> ERICACEAE	Mellifère, fruits comestibles
VA	Rangées de fruitiers	Arbre à miel <i>Tetradium daniellii</i> RUTACEAE	Espèce très mellifère, abondante et longue floraison
VA	Haies	Argousier <i>Hippophae ramnoides</i> ELAEAGNACEAE	Baies attractives pour la faune et comestibles, fixateur d'azote
VE		Asiminier <i>Asimina triloba</i> ANNONACEAE	Fruits comestibles, vertus médicinales
VA	Haies ; Rangées de fruitiers	Baguenaudier <i>Colutea arborescens</i> FABACEAE	Mellifère, fixateur d'azote
VE			
VA	Haies	Bourdaie <i>Rhamnus frangula / Frangula alnus</i> RHAMNACEAE	Mellifère
VE			

VA	Rangées de fruitiers	Caraganier de Sibérie <i>Caragana arborescens</i> FABACEAE	Mellifère, nidification et nourriture des oiseaux, fixateur d'azote
VE		Caseilier Josta <i>Ribes x nidigrolaria</i> GROSSULARIACEAE	Fruits comestibles
VE		Cassissier <i>Ribes nigrum</i> GROSSULARIACEAE	Fruits comestibles
VE		Cerisier <i>Prunus alvium</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VA	Rangées de fruitiers	Chalef <i>Elaeagnus Ebbingei</i> FABACEAE	Fixateur d'azote, coupe-vent, ombrageant
VA	Haies	Charmille <i>Carpinus betulus</i> BETULACEAE	Lieu de nidification, feuilles persistantes en hiver qui servent d'habitat aux insectes
VA	Haies	Chèvrefeuille à balais <i>Lonicera xylosteum</i> CAPRIFOLIACEAE	Mellifère
VE			
VA	Rangées de fruitiers	Cognassier <i>Cydonia oblonga</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VE			
VA	Haies	Cornouiller mâle <i>Cornus mas</i> CORNACEAE	Mellifère, floraison précoce, fruits comestibles
VE			
VA	Haies	Cornouiller sanguin <i>Cornus sanguinea</i> CORNACEAE	Mellifère, fruits non comestibles mais appréciés de la faune
VE			
VA	Haies ; Rangées de fruitiers	Coronille <i>Coronilla emerus</i> FABACEAE	Fixateur d'azote, mellifère

VA	Haies ; Rangées de fruitiers	Cytise commun <i>Laburnum anagyroides</i> FABACEAE	Fixateur d'azote, mellifère, floraison abondante
VE			
VA	Haies	Eglantier commun <i>Rosa canina</i> ROSACEAE	Mellifère, nourriture pour oiseaux
VE		Estragon <i>Artemisia dracunculus</i> ASTERACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VA	Haies	Fusain d'Europe <i>Euonymus europaeus</i> CELASTRACEAE	Mellifère, croissance rapide, fruits purgatifs
VE			
VE		Figuier <i>Ficus carica</i> MORACEAE	Fruits comestibles
VA	Haies	Genêt à balais <i>Cytisus scoparius</i> FABACEAE	Mellifère, fixateur d'azote
VA	Rangées de fruitiers	Genêt des teinturiers <i>Genista tinctoria</i> FABACEAE	Mellifère, fixateur d'azote
VE		Goji <i>Lycium Barbarum</i> SOLANACEAE	Fruits comestibles
VA	Rangées de fruitiers	Groseillier <i>Ribes rubrum</i> GROSSULARIACEAE	Fruits comestibles
VE			
VE		Kiwai <i>Actinidia arguta</i> ACTINIDIACEAE	Fruits comestibles
VE		Laurier sauce <i>Laurus nobilis</i> LAURACEAE	Feuilles aromatiques et thérapeutiques

VA	Haies	Laurier-tin <i>Viburnum tinus</i> ADOXACEAE	Feuillage persistant, attractif pour les acariens prédateurs et floraison hivernale
VE		Mélisse <i>Melissa officinalis</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VE		Menthe citronnée <i>Mentha aquatica</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VE		Menthe verte <i>Mentha spicata</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VE		Mûrier blanc <i>Morus alba</i> MORACEAE	Feuilles aromatiques et thérapeutiques, fruits comestibles
VE		Mûrier noir <i>Morus nigra</i> MORACEAE	Feuilles aromatiques et thérapeutiques, fruits comestibles
VE		Nashi <i>Pyrus pyrifolia</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VE		Néflier <i>Mespilus germanica</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VA	Haies	Nerprun purgatif <i>Rhamnus cathartica</i> RHAMNACEAE	Mellifère, lieu de nidification, nourriture pour les oiseaux
VE			
VA	Haies	Noisetier <i>Corylus avellana</i> BETULACEAE	Floraison très précoce, refuge et nourriture pour de nombreux auxiliaires
VE			
VA	Rangées de fruitiers	Noyer <i>Juglans regia</i> JUGLANDACEAE	Fruits comestibles
VE			

VE		Origan <i>Origanum vulgare</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VA	Rangées de fruitiers	Pêcher <i>Prunus persica</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VE			
VE		Plaqueminier <i>Diospyros kaki</i> EBENACEAE	Fruits comestibles
VA	Rangées de fruitiers	Pommier <i>Malus domestica</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VE			
VA	Rangées de fruitiers	Poirier <i>Pyrus communis</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VA	Haies	Potentille frutescente <i>Dasiphora fruticosa</i> ROSACEAE	Mellifère, longue floraison estivale
VA	Rangées de fruitiers	Prunier <i>Prunus domestica</i> ROSACEAE	Fruits comestibles
VE			
VE		Romarin <i>Salvia rosmarinus</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VE		Sauge <i>Salvia officinalis</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VA	Haies	Saule marsault <i>Salix caprea</i> SALICACEAE	Mellifère à floraison précoce
VE			

VA	Haies	Spirée du Japon <i>Spiraea japonica</i> ROSACEAE	Mellifère, floraison tardive
VA	Haies	Sureau noir <i>Sambucus nigra</i> ADOXACEAE	Floraison rapide et abondante, baies purgatives, nourriture pour la faune
VE			
VE		Thym citronné <i>Thymus citriodorus</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VA	Haies	Troène <i>Ligustrum vulgare</i> OLEACEAE	Croissance rapide, haute densité foliaire, refuge pour les oiseaux nicheurs
VE			
VE		Verveine <i>Verbena officinalis</i> LAMIACEAE	Plantes aromatiques et comestibles
VE		Vigne <i>Vitis vinifera</i> VITACEAE	Fruits comestibles
VA	Haies	Viorne obier <i>Viburnum opulus</i> ADOXACEAE	Mellifère, nourriture pour la faune
VE			
VA	Haies	Viorne lantane <i>Viburnum lantana</i> ADOXACEAE	Mellifère
VE			
VA	Haies	Viorne tin <i>Viburnum tinus</i> ADOXACEAE	Floraison précoce, feuillage persistant, feuilles domatiées qui abritent de nombreux acariens phytoseides
VE			

VA = Verger Agroforestier

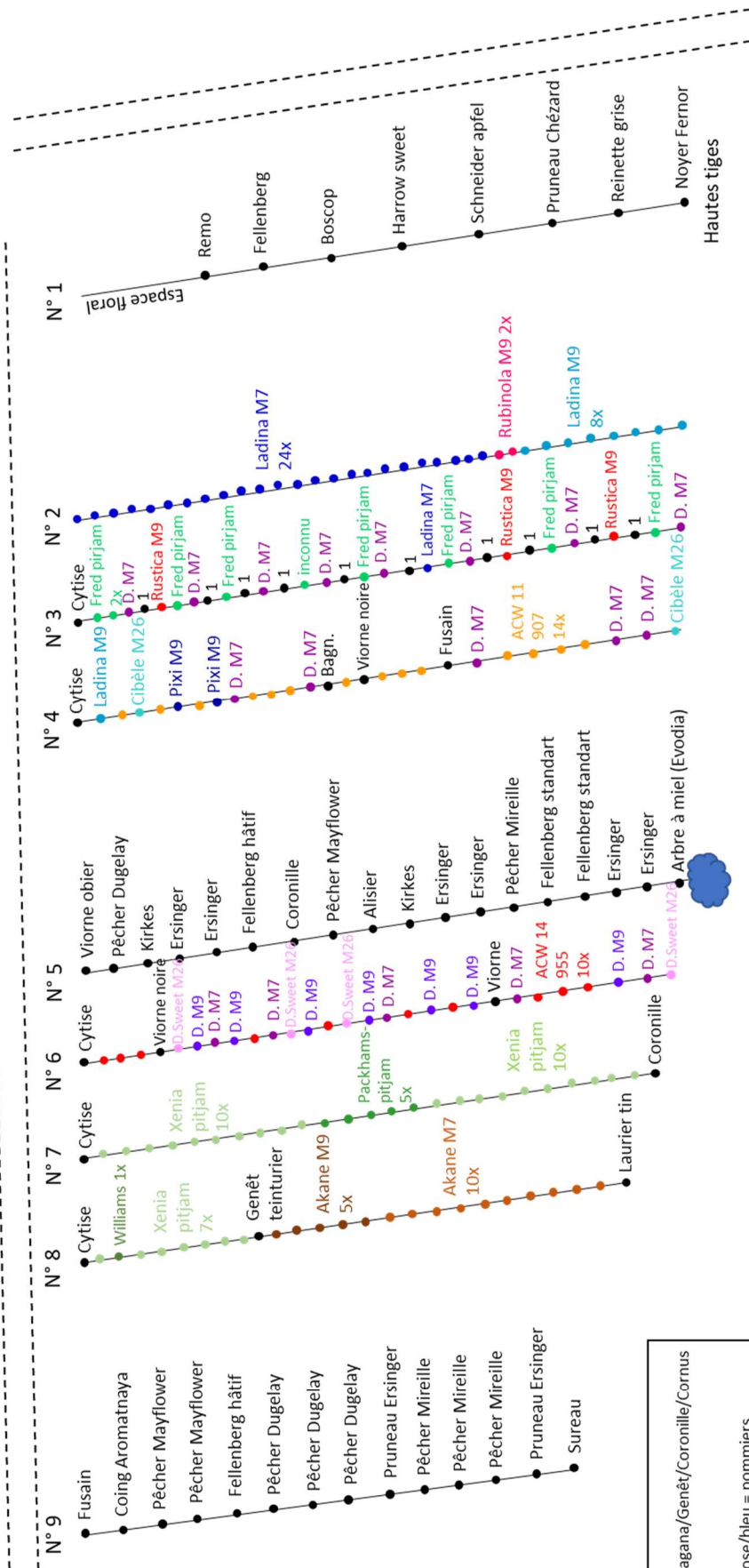
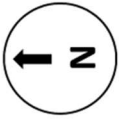
VE = Verger Epicerie

A cette liste, s'ajoutent d'une part les espèces cultivées bi-annuellement pour la production de semences, comme la ciboulette, la laitue, le panai ou le persil (variables selon les années). D'autre part, s'ajoutent également les espèces de légumes annuels (variables selon les années) : aneth, batavia, betterave rouge, brocoli, cerfeuil, chou de Chine, chou-fleur, ciboulette, coriandre, côte de bette, courgettes, épinard, fenouil, haricot nain, haricot à rame, oseille, navet, persils plat et frisé, pois mange tout, pourpier, radis, rampon, roquette, salades, tomates. Des semis de bandes florales de 32 espèces, spécialement sélectionnées pour la promotion des auxiliaires en verger, sont réalisés régulièrement

Annexe 2

Essences & Variétés / BioDiVerger Marcelin / Unité Agroforêt
 Etat : août 2022

Distance de plantation : 4,5 x 2,5 m (sauf surnuméraire sur M9 et poiriers)
 Fruits à noyaux : 3,5 m sur le rang



D. = Dainette
 1 = Cytise/Chalef/Caragana/Genêt/Coronille/Cornus mas/Troène
 Tons verts = poiriers
 Tons orange/rouge/rose/bleu = pommiers

Annexe 3

Lignes directrices initiales du BioDiVerger (2013)


Problématique	Objectif	Moyens à engager	Moyens à ne pas engager	Particularité
1) fumure-fertilisant	<ul style="list-style-type: none"> > vigueur/pousse moyenne, permettant un renouvellement constant > garantir le calibre et la coloration > éviter l'apparition de gourmands > Hauteur des basse-tiges max 4m 	<ul style="list-style-type: none"> > compost et BRF à la plantation, puis lisier complet aéré selon la vigueur durant les 2 premières années, max 40 uN/ha/année > tous les 4 arbres plantation d'une espèce fixatrice d'azote 	<ul style="list-style-type: none"> > Biorga ou autre fumure > luzerne sous le rang (campagnols) 	<ul style="list-style-type: none"> > engazonnement complet sous le rang dès que possible > tenir le gazon court autour des arbres et des coronilles
2) bandes florales	<ul style="list-style-type: none"> > augmenter l'échelonnage de la floraison et la présence d'auxiliaires près des fruitiers 	<ul style="list-style-type: none"> > semis de fleurs sauvages tous les 3 ans dans une bande de 40 cm milieu passage épargnée du mulchage > fauche 1 fois par an (en même temps que le broyage du bois taille) 	<ul style="list-style-type: none"> > Rolofaca 	<ul style="list-style-type: none"> > largeur de 20-30 cm, afin de limiter les cachettes campagnols
3) campagnols	<ul style="list-style-type: none"> > limiter leur présence > garantir moins de 10% de perte des plantes > ne pas infester les parcelles voisines 	<ul style="list-style-type: none"> > Topcat > autres moyens doux > favoriser les rapaces et les hermines > compenser la perte de vigueur 	<ul style="list-style-type: none"> > gaz à moteur (sauf "décision d'urgence") > rodenator > tout rotenticide 	<ul style="list-style-type: none"> > la mise en place de treillis à la plantation représente un gros effort et une entrave au sarclage. Vu sous l'aspect reproductibilité du présent verger, l'arboriculteur évitera cette mesure sauf pour les pommiers haute tige.
4) travail du sol et mulching	<ul style="list-style-type: none"> > garantir une bonne pousse en 	<ul style="list-style-type: none"> > sarclage 1-2 fois/année pendant 2 ans 	<ul style="list-style-type: none"> > girobroyeur à fléaux (sauf pour 	<ul style="list-style-type: none"> > limiter le mulching et préférer barre de coupe en alternance


	<p>phase d'installation (selon standard bio)</p> <ul style="list-style-type: none"> > limiter la prolifération de campagnols et des mauvaises herbes problématiques (lampée, chardon des champs, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> > mulching sous le rang et 3/4-du passage, (épargner la bande florale centrale) avec des machines à fil ou/et couteau > barre de coupe 	le broyage du bois de taille)	des deux types de fauche
5) tavelure-oidium	<ul style="list-style-type: none"> > lutte lors des infections primaires (selon RIMPRO) > contenir le champignon sur la durée de vie du verger, en vue de limiter les dégâts mais aussi le nombre interventions phyto 	<ul style="list-style-type: none"> > variétés adaptées et/ou résistantes > couronnes le plus aéré possible par taille et conduite > arcage, mais pas de taille longue > soufre et/ou mycosin > extrait de prêle, ciboulette etc. > bicarbonate de potassium > nouveaux moyens doux selon homologation 	<ul style="list-style-type: none"> > cuivre > poudrage soufre > bouillie sulfocalcique 	<ul style="list-style-type: none"> > mettre l'accent sur la précocité saisonnière pour optimiser les interventions phyto > limiter le bicarbonate
6) Maladie de la suie	<ul style="list-style-type: none"> > limiter l'apparition des tâches afin de garantir 70% de fruits commercialisables 	<ul style="list-style-type: none"> > aérer les couronnes le plus possible > bicarbonate de potassium > nouveaux moyens doux selon homologation > éclaircir les zones d'ombre 	<ul style="list-style-type: none"> > bouillie sulfocalcique 	<ul style="list-style-type: none"> > aération accrue variétés sensibles à la maladie de la suie
7) monilia/cloque	<ul style="list-style-type: none"> > limiter la prolifération afin de garantir 70% de fruits commercialisables avec délais de stock raisonnables 	<ul style="list-style-type: none"> > aération des couronnes, taille > suppression conséquente des momies > taille en vert > soufre/ argiles 	<ul style="list-style-type: none"> > cuivre 	<ul style="list-style-type: none"> > aération accrue variétés sensibles mon. > pas de momies > compost pour accélérer la décomposition des feuilles

		<ul style="list-style-type: none"> > décoction-infusion d'ail / raifort > bicarbonate de potassium > extraits d'agrumes etc > nouveaux moyens doux selon homologation 		
8) carpocapse	<ul style="list-style-type: none"> > limiter la prolifération > moins de 10% de pénétrations 	<ul style="list-style-type: none"> > confusion > virus de la granulose > étudier / favoriser parasitoïdes > nématodes > bandes piège tronc 	<ul style="list-style-type: none"> > virus de la granulose sur 2ème génération > Spinosad 	<ul style="list-style-type: none"> > Observation/suivi des parasitoïdes souhaité
9) pucerons (le plus dommageable de chaque essence)	<ul style="list-style-type: none"> > limiter la prolifération > garantir la formation des rameaux > éviter le miellat sur fruits 	<ul style="list-style-type: none"> > huile de neem (seuil 10 fondatrices sur 100) > savon potassique si besoin > purins de plantes (ortie etc.) > huile végétale 	<ul style="list-style-type: none"> > Spinosad > Pyrethrum > huile minérale 	<ul style="list-style-type: none"> > Observation/suivi des auxiliaires souhaités






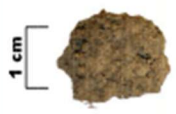








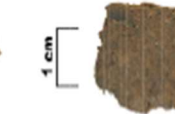
Annexe 4

Protocole de réalisation des tests à la bêche et d'attribution des notes





Evaluation Visuelle de la Structure des horizons de surface des sols cultivés (VESS)
 traduction de la clé visuelle développée par Guimarães, R.M.L., Baij, B.C., and Tomerna, C.A. (2011) adaptée de Bozarij, H. et al., in Bozarij, D. et al., (2013)

Qualité de la Structure	Apparence générale	Taille	Racines	Porosité Visible*	Apparence après extraction : même sol mais travail du sol différent	Traits distinctifs	Apparence des agrégats* ou fragments* de ≈ 1.5 cm de diamètre
Sq1 Friable Agrégats* se désagrègent très facilement avec les doigts	Pas de motte fermée*	La plupart des agrégats* < 0.6 cm.	Les racines colonisent l'ensemble du bloc : les racines sont bien présentes à l'intérieur et autour des agrégats*	La plupart des agrégats* sont TRES poreux		 Agrégats* très fins et poreux	 Agrégats* très poreux, composés de plus petits maintenus ensemble par les racines. Ils sont pour la plupart directement obtenus lors de l'extraction du bloc.
Sq2 Intact Agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	Pas de motte fermée*	Mélange d'agrégats* arrondis de 2mm à 7 cm		La plupart des agrégats* sont poreux.		 Forte porosité des agrégats*	 Agrégats* arrondis, fragiles, poreux qui se cassent facilement.
Sq3 Ferme La plupart des agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	Présence possible de mottes fermées*	Mélange d'agrégats* de 2 mm-10 cm. Moins de 30% <1cm.		Présence possible de pores grossiers visibles* et de fentes de retrait*		 Faible porosité des agrégats*	 Agrégats* avec peu de pores visibles et plutôt arrondis.
Sq4 Compact Assez difficile de briser les mottes fermées* avec une seule main	Principalement mottes fermées* sub-angulaires	moins de 30% des mottes sont de taille <7cm ; structure lamellaire possible.	Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments*. Les racines présentent sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers visibles »* et les fissures*	Peu de « pores grossiers visibles »* et peu de fissures*		 Racines dans les pores grossiers visibles*	 Ces fragments* de forme cubique à bords anguleux et fissures internes sont faciles à obtenir sur sol humide.
Sq5 Très Compact Très difficile de briser les mottes fermées* avec la main	Principalement mottes fermées* angulaires	mottes angulaires >10cm, très peu de taille <7cm.		Très peu de « pores grossiers »* et de fissures*. Anoxie* possible.		 Couleur gris-bleu possible	 Ces fragments* à bords anguleux peuvent être difficiles à obtenir même sur sol humide.

Annexe 5

Protocole d'extraction de vers de terre à la farine de moutarde adaptée par le Laboratoire écologie fonctionnel V4.0 (Claire Le Bayon).

EXTRACTION DE VERS DE TERRE Protocole adapté de Lawrence et Bowers (2002)

I - Conditions de prélèvement

L'activité des vers de terre varie au cours des saisons. Les moments optimaux pour un prélèvement se situent, sous nos latitudes et en plaine : i) au printemps : de fin mars jusque fin mai, ii) à l'automne : de septembre jusque fin octobre. L'idéal : température aux alentours de 15°C, humidité du sol (train de pluies quelques jours auparavant).

Sol: La collecte doit se faire sur sol dégelé et ressuyé, et de préférence le matin. En prairie, la végétation doit être coupée au sécateur pour voir plus aisément les vers de terre; en forêt, la litière doit être retirée (attention aux vers épigés qui s'y cachent et qu'il faut prélever).

Positionnement : surface plane distante de 10 m, au minimum, du bord de la parcelle.

Durée : environ 45 minutes à 1 heure par surface de prélèvement.

Note: des températures de sol basses et des conditions très sèches peuvent avoir une influence négative sur la quantité de vers de terre prélevés. Ces derniers peuvent en effet se réfugier en profondeur dans le sol. De plus, il est important que la surface de prélèvement n'ait pas subi de perturbations les jours précédents (passage de véhicules de toutes sortes, labour, sarclage, etc.).

II - Farine de moutarde

La farine de moutarde en poudre peut être achetée chez PAKOVIS AG, 5608 Stetten. <http://www.pacovis.ch/FR/.verkauf@pacovis.ch> Tél. +41 56 485 93 99

Désignation: 6045 Moutarde claire moulue; N° Art: 6045.1 (catalogue 2017-2018).

6045	Moutarde claire moulue GRAINES DE MOUTARDE claire. Dosage: selon les besoins	1 KG	6045.1
------	--	------	--------

Préparation de la solution

Dans l'idéal, la préparation de la farine de moutarde doit être la veille (conservation au réfrigérateur). Si ce n'est pas possible, attention à bien diluer les grumeaux de farine dans l'arrosoir.

Pour un arrosoir

La farine est mélangée avec de l'eau à température ambiante afin d'obtenir une solution de 60% de farine de moutarde (**120 g de moutarde/200 ml d'eau**). Cela forme une sorte de pâte, parfois peu pratique à utiliser, mais cela reste faisable.

La dilution de la solution de farine de moutarde à **0,6%** se fait directement dans l'arrosoir de 10L sur le terrain (200 mL dans 9,8 L).

Note: attention à garder un arrosoir « propre », sans farine, qui permettra de rincer la surface ensuite à l'eau claire pour diluer au maximum l'effet irritant de la moutarde sur la végétation, le sol et ses habitants.

Alternative : il est également possible d'utiliser de la moutarde forte en tant que condiment (type ©Maille ou ©Amora), à raison de 2 pots de 150 g par arrosoir de 10 L.

III - Protocole pour une étude de communautés de vers de terre

Le protocole présente une technique d'extraction pour une surface d'1m². Il combine une extraction à la moutarde et une technique de tri manuel, cette dernière permettant de collecter les individus qui seraient restés "coincés" dans le réseau racinaire des plantes par exemple.

Note: en fonction des conditions du milieu, il est parfois possible de réduire à surface pour assurer une homogénéité du milieu. Il faut par conséquent adapter les quantités de moutarde, plus ou moins proportionnellement. Ex : la surface la plus couramment utilisée dans ce cas est de 30 x 30 cm, soit la largeur d'une bêche. Le calcul ensuite est simplifié car la surface d'extraction et celle du tri manuel (30 x 30 x 30 cm) sont identiques.

Pour chaque placette, 2 récipients distincts permettent de discriminer les vers collectés avec l'une ou l'autre méthode. Ex.: pot à couvercle rouge pour la farine, à couvercle vert pour le tri manuel.

III.1 - Extraction à la farine de moutarde

- ✓ Délimitez la surface de 1 m² et coupez la végétation si nécessaire.
- ✓ Appliquez à 15 minutes d'intervalle 2 arrosages de moutarde diluée (ne pas hésiter à arroser plus large que le m²), de façon homogène sur toute la surface.
Soit un total de 20 L par placette.
- ✓ Prélevez les vers de terre à la surface : attention à bien attendre qu'ils soient totalement sortis! Un ver coupé est difficilement identifiable.

III.2 - Tri manuel

- ✓ Prélevez à la bêche un cube au centre de la surface jusque 25-30 cm de profondeur
- ✓ Triez la terre sur une bâche, à la main, afin de trouver les petits vers de terre entre les racines. La récolte de cocons peut également se faire si nécessaire, au tamis à 2 mm.

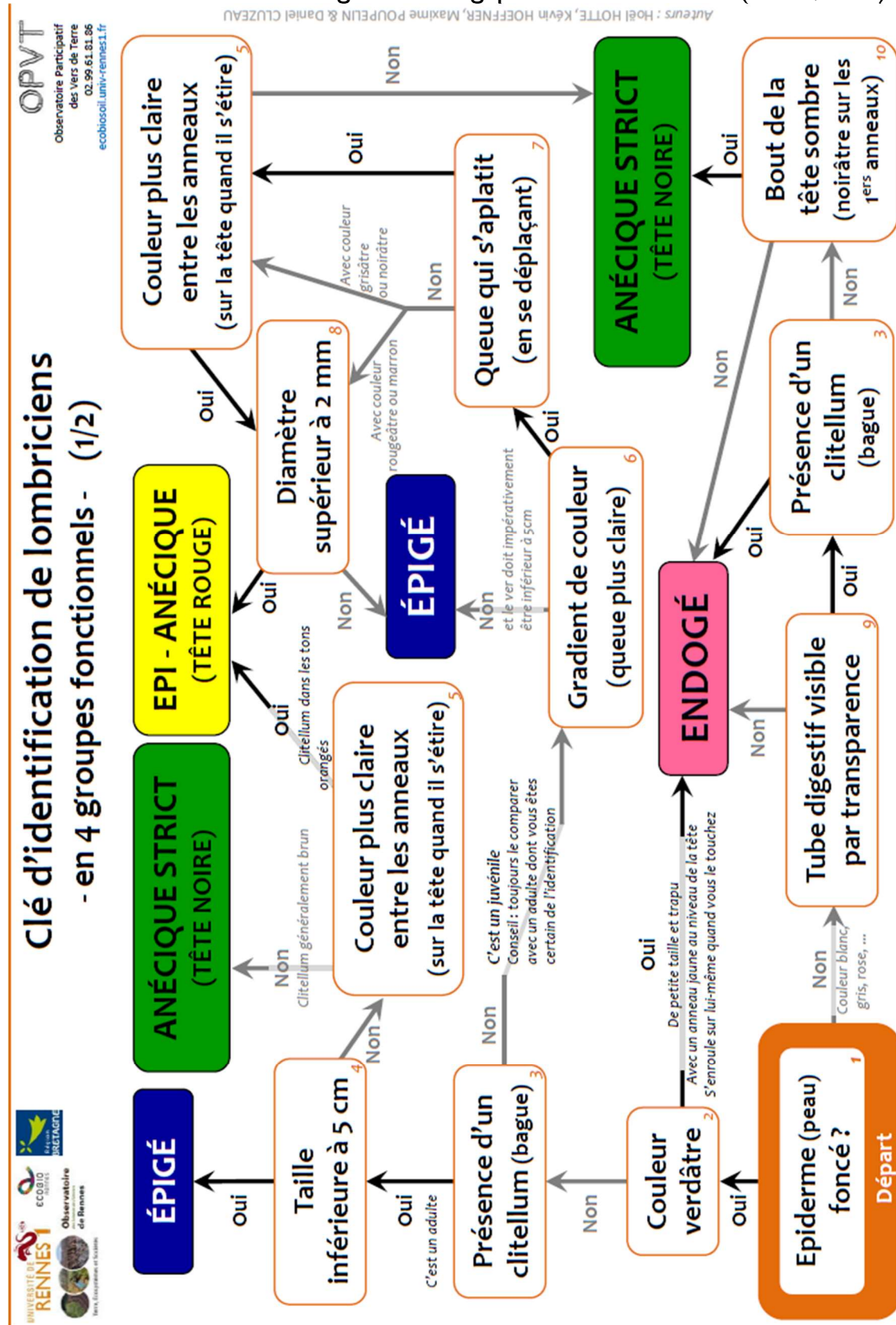
En fonction de la situation:

- ✓ **Si les vers de terre sont relâchés :** les placer dans des bassines d'eau et bien les rincer avant de les observer, les compter, les peser
- ✓ **Si les animaux doivent être sacrifiés,** ils doivent être mis :
 - soit dans de l'éthanol à 75%, avec un changement de l'éthanol 3 jours plus tard, puis une semaine plus tard. Conservation à surveiller régulièrement pour éviter les moisissures!
 - soit dans du formol à 4% (4 mL dans 100 mL), avec un changement du formol après une semaine. [Le formol](#) doit être recyclé dans des containers spéciaux !

IMPORTANT: au final, il est indispensable de rincer abondamment la surface de prélèvement avec de l'eau pour diluer l'effet de la farine de moutarde (irritante pour les animaux du sol). Au minimum 10 à 15 L d'eau claire par placette de prélèvement !

Annexe 6

Clé de détermination des catégories écologiques des vers de terre (OPVT, 2015)



Toute utilisation de ce document devra faire état de la référence suivante : OPVT, 2015 - Clé d'identification de lombriciens en 4 groupes fonctionnels. Université de Rennes 1/CNRS - OSUR - UMR Ecobio

Clé d'identification de lombriciens - en 4 groupes fonctionnels - (2/2)

Illustrations pour chaque critère de décision (1 à 10)

0 5 cm 10 cm

1 Epiderme (peau) foncé ?

Oui  Non 

- Faire attention que la couleur ne soit pas due à l'intérieur du ver (le mettre à la lumière)
- Regarder la pigmentation sur le premier tiers du ver

2 Couleur verdâtre



- Petit et trapu
- Plusieurs types de vert possibles
- S'enroule sur lui-même quand le ver est posé sur la main

3 Présence d'un clitellum (bague)




S'il est de même couleur sur l'épiderme, cela peut être due à un pincement

4 Taille inférieure à 5 cm




- Taille d'un individu au repos (ni étiré, ni contracté)
- Vous pouvez vous référer à l'échelle sur votre gauche

5 Couleur plus claire entre les anneaux



- Quand il est sur le ventre
- Couleur claire dans les tons orangés

6 Gradient de couleur (queue plus claire)



7 Queue qui s'aplatit (en se déplaçant)



- Taille d'un individu au repos (ni étiré, ni contracté)
- Vous pouvez vous référer à l'échelle sur votre gauche

8 Diamètre supérieur à 2 mm



9 Tube digestif visible par transparence

Oui  Non 

Vous pouvez le placer devant la lumière pour l'observer par transparence

10 Bout de la tête sombre (noirâtre sur les 1ers anneaux)



+ Anéciques
 Anécique strict
 Epi - Anécique



Auteurs : Hoël HOTTE, Kévin HOFFNER, Maxime POUPPELIN & Daniel CLUZEAU

Annexe 7

Donnée d'analyses physico-chimiques faites à Sol-Conseil pour l'ensemble des parcelles (2022)

N° échantillon: 22-00677-001
 Nom de l'échantillon: Parcelle Conv.
 Matériel: TERRES

CARTE DE VISITE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
Gravier ^{NA}	Estimation visuelle	0%		non graveleux
Argile	GRAN	24,0	%	
Silt	GRAN	37,6	%	limoneux
Sable	GRAN	38,5	%	
MO	Corg (COT)	4,7	%	bon
pH	pH H2O	7,3		peu alcalin
CaCO3 tot.	CaCO3	2,4	%	traces de calcaire

NA: analyse non accréditée

ELEMENTS SOLUBLES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.	
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche		
P	H2O10	5,7	mg/kg	■						1,2
K	H2O10	45,8	mg/kg	■						0,8
Ca	H2O10	194,0	mg/kg	■						0,6
Mg	H2O10	13,3	mg/kg	■						1,2

ELEMENTS RESERVE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.	
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche		
P	AAE10	81,8	mg/kg	■						0,8
K	AAE10	244,1	mg/kg	■						0,8
Ca	AAE10	12294,2	mg/kg	■						1,0
Mg	AAE10	216,6	mg/kg	■						1,0

N° échantillon: 22-00677-001
 Nom de l'échantillon: Parcelle Conv.
 Matériel: TERRES

CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
CEC	CEC KUK (I-II)	16,9	meq./100g	
%sat.	CEC KUK (I-II)	80,0	%	
K	CEC KUK (I-II)	2,3	%	
Ca	CEC KUK (I-II)	70,1	%	
Mg	CEC KUK (I-II)	7,4	%	
Na	CEC KUK (I-II)	0,2	%	
H	CEC KUK (I-II)	20,0	%	

AUTRES PARAMETRES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité
N tot.	N-tot.	0,30	%

ANALYSES BIOLOGIQUES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation				
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche
ATP ^{NA}	ATP/CO2	2808,6	ng ATP/g	[Bar chart showing ATP level in the 'satisfaisant' range]				
CO2 4 jours ^{NA}	ATP/CO2	16,0	µgCO2/g/h	[Bar chart showing CO2 production in the 'satisfaisant' range]				
CO2 9 jours ^{NA}	ATP/CO2	8,7	µgCO2/g/h	[Bar chart showing CO2 production in the 'satisfaisant' range]				
Min. C org. ^{NA}	ATP/CO2	2049,0	µg MO/g	[Bar chart showing organic carbon in the 'satisfaisant' range]				
CO2/ATP ^{NA}	ATP/CO2	5,4		[Bar chart showing CO2/ATP ratio in the 'pauvre' range]				

NA: analyse non accréditée

N° échantillon: 22-00677-002
 Nom de l'échantillon: Parcelle Bio
 Matériel: TERRES

CARTE DE VISITE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
Gravier ^{NA}	Estimation visuelle	0%		non graveleux
Argile	GRAN	25,1	%	
Silt	GRAN	35,3	%	limoneux
Sable	GRAN	39,6	%	
MO	Corg (COT)	6,1	%	bon
pH	pH H2O	7,0		neutre
CaCO3 tot.	CaCO3	0,0	%	non calcaire

NA: analyse non accréditée

ELEMENTS SOLUBLES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P	H2O10	7,8	mg/kg						1,0
K	H2O10	47,5	mg/kg						0,8
Ca	H2O10	122,9	mg/kg						1,0
Mg	H2O10	12,3	mg/kg						1,2

ELEMENTS RESERVE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P	AAE10	109,2	mg/kg						0,4
K	AAE10	288,9	mg/kg						0,6
Ca	AAE10	4923,4	mg/kg						1,0
Mg	AAE10	177,0	mg/kg						1,0

CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
CEC	CEC KUK (I-II)	20,3	meq./100g	
%sat.	CEC KUK (I-II)	74,0	%	
K	CEC KUK (I-II)	2,1	%	
Ca	CEC KUK (I-II)	64,2	%	
Mg	CEC KUK (I-II)	7,3	%	
Na	CEC KUK (I-II)	0,5	%	
H	CEC KUK (I-II)	26,0	%	

N° échantillon: 22-00677-002
 Nom de l'échantillon: Parcelle Bio
 Matériel: TERRES

AUTRES PARAMETRES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité
N tot.	N-tot.	0,37	%

ANALYSES BIOLOGIQUES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation				
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche
ATP ^{NA}	ATP/CO2	3048,5	ng ATP/g					
CO2 4 jours ^{NA}	ATP/CO2	15,3	µgCO2/g/h					
CO2 9 jours ^{NA}	ATP/CO2	7,2	µgCO2/g/h					
Min. C org. ^{NA}	ATP/CO2	1835,6	µg MO/g					
CO2/ATP ^{NA}	ATP/CO2	4,8						

NA: analyse non accréditée

N° échantillon: 22-00677-003
 Nom de l'échantillon: Agrof. M
 Matériel: TERRES

CARTE DE VISITE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
Gravier ^{NA}	Estimation visuelle	10-30%		moyennement graveleux
Argile	GRAN	24,8	%	
Silt	GRAN	29,8	%	limoneux
Sable	GRAN	45,4	%	
MO	Corg (COT)	4,1	%	bon
pH	pH H2O	7,1		neutre
CaCO3 tot.	CaCO3	0,0	%	non calcaire

NA: analyse non accréditée

ELEMENTS SOLUBLES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P	H2O10	10,1	mg/kg						0,6
K	H2O10	58,8	mg/kg						0,6
Ca	H2O10	119,0	mg/kg						1,0
Mg	H2O10	15,5	mg/kg						1,0

ELEMENTS RESERVE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P	AAE10	125,7	mg/kg						0,0
K	AAE10	334,1	mg/kg						0,4
Ca	AAE10	4161,2	mg/kg						1,0
Mg	AAE10	226,8	mg/kg						0,8

CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
CEC	CEC KUK (I-II)	16,8	meq./100g	
%sat.	CEC KUK (I-II)	71,3	%	
K	CEC KUK (I-II)	3,1	%	
Ca	CEC KUK (I-II)	57,5	%	
Mg	CEC KUK (I-II)	10,0	%	
Na	CEC KUK (I-II)	0,7	%	
H	CEC KUK (I-II)	28,7	%	

RAPPORT

N° échantillon: 22-00677-003
 Nom de l'échantillon: Agrof. M
 Matériel: TERRES

AUTRES PARAMETRES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité
N tot.	N-tot.	0,28	%

ANALYSES BIOLOGIQUES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation				
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche
ATP ^{NA}	ATP/CO2	1997,7	ng ATP/g					
CO2 4 jours ^{NA}	ATP/CO2	9,8	µgCO2/g/h					
CO2 9 jours ^{NA}	ATP/CO2	5,1	µgCO2/g/h					
Min. C org. ^{NA}	ATP/CO2	1198,3	µg MO/g					
CO2/ATP ^{NA}	ATP/CO2	4,7						

NA: analyse non accréditée

N° échantillon: 22-00677-004
 Nom de l'échantillon: Agrof. PF
 Matériel: TERRES

CARTE DE VISITE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
Gravier ^{NA}	Estimation visuelle	<10%		peu graveleux
Argile	GRAN	24,5	%	
Silt	GRAN	36,8	%	limoneux
Sable	GRAN	38,6	%	
MO	Corg (COT)	4,1	%	bon
pH	pH H2O	7,6		peu alcalin
CaCO3 tot.	CaCO3	9,4	%	peu calcaire

NA: analyse non accréditée

ELEMENTS SOLUBLES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.cor.	
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche		
P	H2O10	3,3	mg/kg							1,4
K	H2O10	59,0	mg/kg							0,6
Ca	H2O10	223,0	mg/kg							0,5
Mg	H2O10	12,4	mg/kg							1,2

ELEMENTS RESERVE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.cor.	
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche		
P	AAE10	45,1	mg/kg							1,0
K	AAE10	260,6	mg/kg							0,6
Ca	AAE10	40833,3	mg/kg							0,0
Mg	AAE10	339,3	mg/kg							0,6

CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
CEC	CEC KUK (I-II)	15,2	meq./100g	
%sat.	CEC KUK (I-II)	95,6	%	
K	CEC KUK (I-II)	2,7	%	
Ca	CEC KUK (I-II)	85,3	%	
Mg	CEC KUK (I-II)	6,9	%	
Na	CEC KUK (I-II)	0,6	%	
H	CEC KUK (I-II)	4,4	%	

N° échantillon: 22-00677-004
 Nom de l'échantillon: Agrof. PF
 Matériel: TERRES

AUTRES PARAMETRES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité
N tot.	N-tot.	0,29	%

ANALYSES BIOLOGIQUES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
ATP ^{NA}	ATP/CO2	2903,2	ng ATP/g						
CO2 4 jours ^{NA}	ATP/CO2	11,2	µgCO2/g/h						
CO2 9 jours ^{NA}	ATP/CO2	8,4	µgCO2/g/h						
Min. C org. ^{NA}	ATP/CO2	1588,6	µg MO/g						
CO2/ATP ^{NA}	ATP/CO2	3,8							

NA: analyse non accréditée

N° échantillon: 22-00677-005
 Nom de l'échantillon: Epicerie
 Matériel: TERRES

CARTE DE VISITE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
Gravier ^{NA}	Estimation visuelle	0%		non graveleux
Argile	GRAN	22,9	%	
Silt	GRAN	36,6	%	limoneux
Sable	GRAN	40,5	%	
MO	Corg (COT)	4,1	%	bon
pH	pH H2O	7,7		alcalin
CaCO3 tot.	CaCO3	5,3	%	peu calcaire

NA: analyse non accréditée

ELEMENTS SOLUBLES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P	H2O10	3,9	mg/kg						1,4
K	H2O10	30,4	mg/kg						1,0
Ca	H2O10	198,8	mg/kg						0,6
Mg	H2O10	12,7	mg/kg						1,2

ELEMENTS RESERVE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P	AAE10	77,7	mg/kg						0,8
K	AAE10	172,2	mg/kg						1,0
Ca	AAE10	23186,2	mg/kg						0,3
Mg	AAE10	253,9	mg/kg						0,8

CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
CEC	CEC KUK (I-II)	16,4	meq./100g	
%sat.	CEC KUK (I-II)	87,6	%	
K	CEC KUK (I-II)	1,5	%	
Ca	CEC KUK (I-II)	78,5	%	
Mg	CEC KUK (I-II)	7,0	%	
Na	CEC KUK (I-II)	0,5	%	
H	CEC KUK (I-II)	12,4	%	

RAPPORT

N° échantillon: 22-00677-005
 Nom de l'échantillon: Epicerie
 Matériel: TERRES

AUTRES PARAMETRES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité
N tot.	N-tot.	0,27	%

ANALYSES BIOLOGIQUES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation				
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche
ATP ^{NA}	ATP/CO2	2024,7	ng ATP/g					
CO2 4 jours ^{NA}	ATP/CO2	11,2	µgCO2/g/h					
CO2 9 jours ^{NA}	ATP/CO2	9,4	µgCO2/g/h					
Min. C org. ^{NA}	ATP/CO2	1610,2	µg MO/g					
CO2/ATP ^{NA}	ATP/CO2	5,5						

NA: analyse non accréditée

Annexe 8

Dans les haies composites et alentours :

- 4 pierriers à hermine, (avec ou sans cage)
- Cachettes à hérisson (caisses, branchages et foin)
- 1 nichoir à chouette chevêche
- 1 nichoir chouette effraie
- 3 cagettes chauve-souris
- Font également partie du maillage écologique : bandes herbeuses et florales

Agroforesterie :

- 4 Perchoirs à rapaces (2 vernes noir en rang fruitiers y servent aussi)
- 2 Nichoirs à crécerelles
- 3 Abris branchage dont 1 avec pierres
- 12 Nichoirs à mésanges, torcol, etc.
- 2 HLM à osmie et oiseaux nicheurs
- 1 stère à buches à osmie
- 1 étang 2,5m²

Verger-épicerie :

- 1 hôtel à insectes
- 4 nichoirs à mésanges, torcol etc.
- Env. 30 pots-abris à forficules
- 3 tas de branchages à abris divers
- 2 abris à hérisson
- 4 tôles à reptiles
- 1 tas de « foin-composte » couvert géotextile, pour orvets
- 1 pierrier hermine
- Perchoirs à rapaces (ont été ôtés en 2020 car structure naturelle est en place)