

# Rapport sur la qualité des sols du BioDiVerger



Guil Sara  
30/11/2022

## Table des matières

1.	Introduction.....	4
1.1	Présentation du projet BioDiVerger .....	4
1.2	Objectif du rapport.....	4
2.	Méthodes .....	5
2.1	Site d'étude .....	5
2.1.1	Substrats géologiques et types de sols .....	7
2.2	Pratiques culturales.....	8
2.3	Méthodes d'analyses de sols et tests appliqués .....	10
2.3.1	Méthodes d'analyses visuelles .....	10
2.3.1.1	VESS (Visual Evaluation of Soil Structure) .....	10
2.3.1.2	Extraction des vers de terre à la farine de moutarde .....	11
2.3.1.3	Période et méthode d'échantillonnage des vers de terre .....	11
2.3.2	Méthodes analytiques de laboratoire .....	12
2.3.2.1	Granulométrie laser .....	12
2.3.2.2	Capacité d'échange cationique (CEC).....	12
2.3.2.3	Analyses de l'activité biologique des sols.....	13
2.3.2.4	Éléments nutritifs .....	13
3.	Résultats et discussion .....	14
3.1	Données de terrain.....	14
3.1.1	Texture des sols.....	14
3.1.2	VESS (Visual Evaluation of Soil Structure) .....	14
3.1.2.1	Évolution des notes VESS entre 2020 et 2022 .....	16
3.1.3	Vers de terre 2022.....	16
3.1.3.1	Évolution des lombriciens entre 2020 et 2022 .....	18
3.2	Résultats des analyses de laboratoire .....	21
3.2.1	Teneur en matière organique (MO) .....	21
3.2.2	Ratio MO/argiles .....	21
3.2.3	Biomasse et activité biologique.....	22
3.2.4	Éléments nutritifs .....	25
3.2.5	Capacité d'échange cationique (CEC).....	26
4.	Conclusion .....	28
5.	Bibliographie.....	29
6.	Annexe.....	31

## Table des figures

Figure 1 Parcelles d'étude .....	5
Figure 2 Carte géologique du site de Marcelin du projet Biodiverger.....	7
Figure 3 donnée météorologique des 8 jours précédant les prélèvements.....	12
Figure 4 Triangle de texture représentant la classe texturale des parcelles (classification USDA).....	14
Figure 5 : Moyenne des scores VESS pour chaque parcelle.....	15
Figure 6 : Moyenne des scores VESS effectués dans les rangs et dans l'interrang.....	15
Figure 7: Moyennes des scores VESS obtenues entre 2020 et 2022.....	16
Figure 8 : Répartition du nombre d'individus pour chaque catégorie écologique par parcelle.....	17
Figure 9 : Répartition en biomasse pour chaque catégorie écologique par parcelle .....	18
Figure 10 : Comparaison des abondances de vers de terre entre 2020 et 2022.....	18
Figure 11 : Comparaison de biomasse de ver de terre entre 2020 et 2022 .....	19
Figure 12 : Comparaison d'anéciques présents au m <sup>2</sup> entre 2020 et 2022.....	20
Figure 13 : Comparaison de la biomasse au m <sup>2</sup> d'anécique présents entre 2020 et 2022.....	20
Figure 14 : Teneur en matière organique (MO) sur chaque parcelle entre 2020 et 2022.....	21
Figure 15 : ratio MO/argiles [%] représentant les ratios de chaque parcelle .....	22
Figure 16 : Quantité d'ATP par parcelle en 2022.....	22
Figure 17 : Quantité d'ATP par parcelle en 2020 et 2022 .....	23
Figure 18 Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2022 .....	23
Figure 19 : Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2020 et 2022.....	24
Figure 20 : Rapport de CO <sub>2</sub> /ATP en 2022.....	24
Figure 21 : Rapport de CO <sub>2</sub> /ATP en 2020 et 2022.....	25
Figure 22 : Éléments solubles par parcelle.....	25
Figure 23 : Éléments de réserve pour chaque parcelle.....	26

## Table des tableaux

Tableau 1 : Pratiques principales des différentes surfaces .....	8
Tableau 2 Analyses de sol et tests effectués sur le terrain BioDiVerger .....	10
Tableau 3 abondances de lombriciens issues de l'extraction à la farine de moutarde.....	17
Tableau 4 biomasses de lombriciens issues de l'extraction à la farine de moutarde .....	17
Tableau 5 : Résumé des caractéristiques de sols échantillonnés .....	21
Tableau 6 : Résultats des analyses de CEC obtenues pour chaque parcelles.....	26
Tableau 7 : Valeurs cibles de taux de saturation des différents cations .....	27
Photo 1 : Anécique prélevé sur le verger conventionnel .....	20

## I. Introduction

### I.1 Présentation du projet BioDiVerger

Le projet BioDiVerger prend forme en 2013 suite à l'envie d'apporter une innovation au verger bio en place hérité des principes de la production conventionnelle. En effet, la conception des vergers bio dits « intensifs » varie très peu par rapport à celle des vergers conventionnels dont ils ont repris le design. Ils sont monovariétaux et la part des surfaces écologiques nécessaires à leur équilibre est faible ou absente (Tschabold, 2013).

Les principes fondateurs du BioDiVerger sont issus des courants de la permaculture et de l'agroforesterie. L'objectif est d'intégrer un maximum de produits cultivés et d'éléments destinés à accueillir la biodiversité, avec la volonté d'accroître la résilience de l'écosystème, ainsi que de réduire le temps de travail et l'utilisation d'intrants. L'un des buts de ce projet est également celui rapprocher les consommateurs des producteurs. L'approche du BioDiVerger répond aux besoins des producteurs cultivant une gamme de produits très variés sur des surfaces réduites avec un accès en vente directe (circuits courts). En effet, la production d'arbres fruitiers peut-être associés à des cultures complémentaires tels que des petits fruits, des plantes aromatiques ou médicinales et différentes espèces de légumes.

Plusieurs acteurs mènent de manière conjointe la gestion du BioDiVerger : la Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires du canton de Vaud (DGAV), l'institut de recherche en agriculture biologique (FiBL) et la ferme des Sapins (à 5 km du site). La DGAV a pour mission de garantir la direction et le financement du projet. Le FiBL effectue le suivi technique, scientifique et économique, mais assure également la communication ainsi que l'organisation des cours et des visites sur le site. La ferme des Sapins se charge quant à elle de l'entretien, de la récolte et de la valorisation des produits.

L'aménagement du BioDiVerger a été réalisé en 2013 sur le site de l'école d'agriculture de Marcelin, dans la commune de Morges. En 2015 il a obtenu le label « Bio Bourgeon » de la part de Bio Suisse. Deux autres vergers entourent le BioDiVerger (Figure 1). Le premier est un verger biologique dit « classique » et également géré par la ferme des Sapins. Le deuxième est un verger conventionnel exploité par l'Union fruitière lémanique (UFL). La gestion de ce dernier se fait en Production Intégrée (PI), en limitant l'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse et en appliquant un désherbage mécanique. Le BioDiVerger s'étend sur une surface totale de 5'300 m<sup>2</sup> et il comprend deux types de vergers organisés en deux espaces distincts :

1. **Le verger agroforestier.** Avec une surface de 4'400 m<sup>2</sup>, il présente une plantation modulaire alternante 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 les prédateurs. Les cultures maraîchères sont réparties sur trois bandes pour un total de 500 m<sup>2</sup>.
2. **Le verger-épicerie.** Avec une surface de 900 m<sup>2</sup>, c'est un type verger très différent. Basé sur les principes de la permaculture, l'ensemble de la production (baies, fruits, légumes) ainsi que les plantes sauvages cohabitent dans une organisation spatiale inspirée par l'écosystème forêt.

### I.2 Objectif du rapport

Une bonne qualité du sol est un facteur primordial dans la production en agricole biologique et se traduit par une biodiversité élevée et de nombreux services écosystémiques utiles au développement des cultures. Le sol est le support pour les plantes et une multitude d'organismes vivants, il constitue le réservoir d'éléments nutritifs et régule le régime hydrique. Le rôle du sol est donc crucial, en fournissant l'eau et les nutriments nécessaires à croissance des plantes. Les propriétés d'un sol sont issues des processus naturels qui conduisent à son développement, mais les pratiques culturelles

influencent également l'évolution des propriétés d'un sol. Une mauvaise gestion du sol peut donc entraîner une dégradation ou même la perte de la capacité productive. La gestion durable des sols est donc une prérogative pour le maintien de la fertilité au long terme.

Depuis l'implantation du verger il y a 9 ans un certain nombre de propriétés du sol pourraient avoir évolué, il est donc important d'identifier la nature de ces modifications. Dans cette perspective, le premier objectif de ce rapport sur la qualité des sols du BioDiVerger est d'élaborer le suivi de l'évolution des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols des différentes typologies de verger et de les comparer. Le deuxième but consiste également à comparer les données et les indicateurs sélectionnés avec celles des rapports précédents. L'évolution des résultats va se concentrer sur les résultats obtenus en 2020 et 2022.

## 2. Méthodes

### 2.1 Site d'étude

Les échantillons ont été prélevés sur les 4 types de vergers présents sur le site de Marcelin, soient le verger agroforestier (BioDiVerger), le verger épicerie (BioDiVerger), le verger bio classique et le verger conventionnel (PI). Comme le démontre la figure 1, ces parcelles sont situées côte à côte. Elles sont donc soumises aux mêmes conditions météorologiques et potentiellement aux mêmes processus pédogénétiques initiaux.

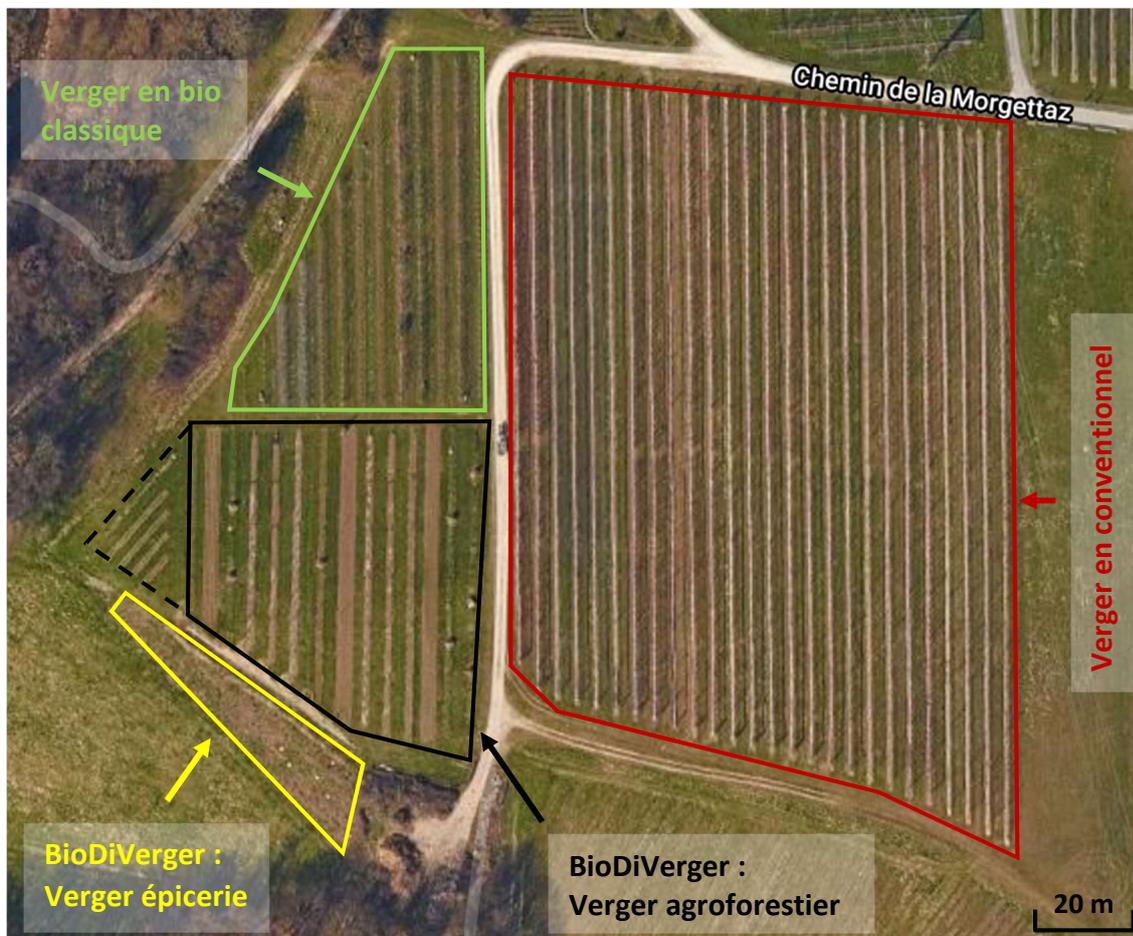


Figure 1 Parcelles d'études. La zone noire délimitée par des tirets fait partie du verger agroforestier, mais n'a pas été échantillonnée.

Les caractéristiques des 4 vergers sont les suivantes :

- **BioDiVerger : Verger agroforestier.** Comme mentionné précédemment, cette parcelle alterne rangs d'arbres et planches maraîchères. Ces deux parties sont distinguées dans ce rapport, nommées respectivement « Agrof PF » et « Agrof M » par la suite. Agrof PF 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 la figure 1) et les haies composites n'ont pas été intégrés dans l'échantillonnage.
- **BioDiVerger : Verger épicerie.** Il intègre fruitiers, légumes et plantes support de production. Leur répartition se fait par strate et non par rang. À l'exception des quelques arbres remplacés, ils ont tous été plantés en 2014.
- **Verger en bio classique.** Ce verger comporte différentes espèces de fruitiers, chaque ligne une variété différente. Il comprend notamment des plaqueminières, des pommiers et des poiriers. Les arbres sont d'âges variables, les plus anciens datant de 1999 et les plus récents de 2019. Cette parcelle a fait l'objet d'un remblai lors de la construction du gymnase entre 2000 et 2002 (Théo Grossenbacher, communication personnelle).
- **Verger en conventionnel.** Il correspond au verger conduit en PI. Il ne comprend que des pommiers, d'espèces et d'âges 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 d'un remblai lors de la construction du gymnase entre 2000 et 2002. Certains trous auraient également été comblés avec de la terre provenant des vignes (Jonathan Schuler, communication personnelle).

## 2.1.1 Substrats géologiques et types de sols

Les cartes géologiques du canton ont permis d'évaluer les substrats présents sur la zone de Marcellin. La zone est faite de substrats morainiques du quaternaire, de molasse du tertiaire, ainsi que des zones de colluvions à dépôts variables (figure 2). Ces informations ont permis de savoir que le lieu comprend un sol profond de type alcalin qui est généralement décarbonaté sur la surface.

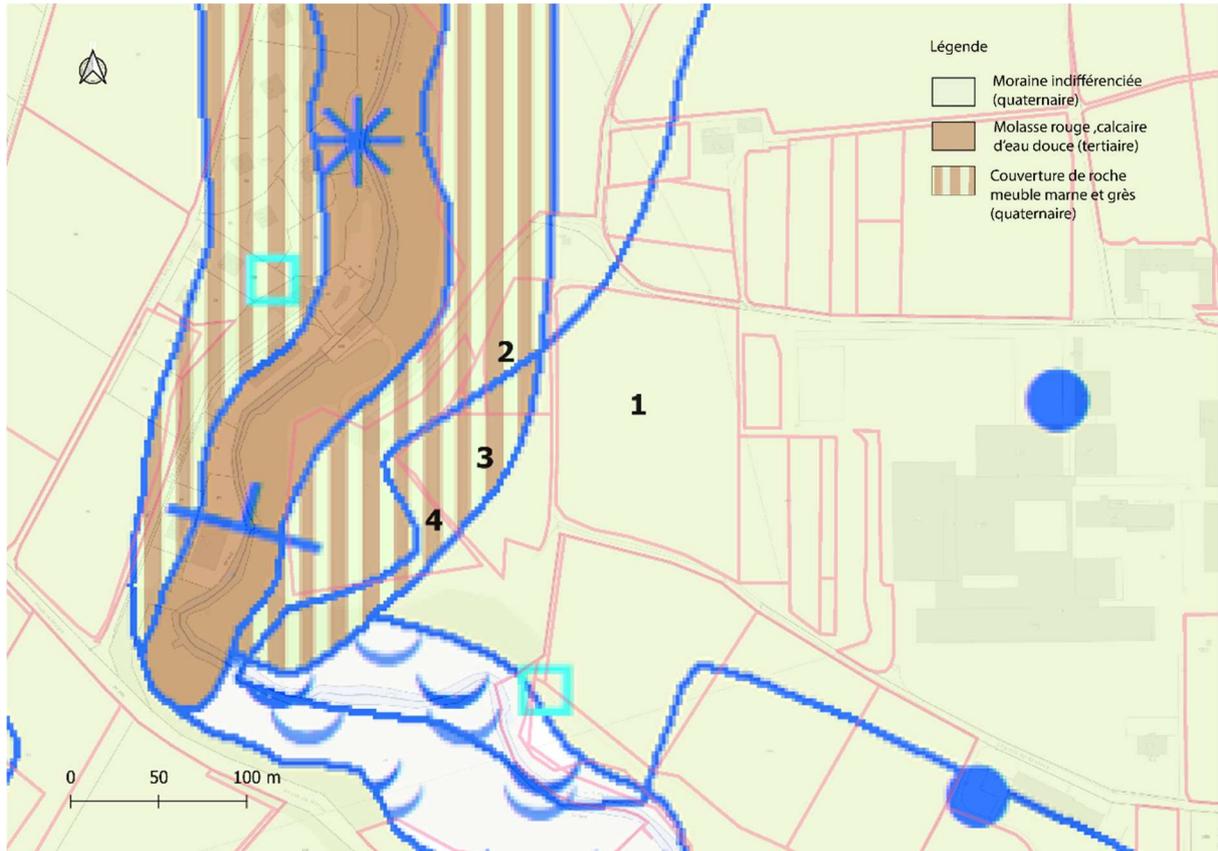


Figure 2 Carte géologique du site de Marcellin du projet BioDiVerger. (1) verger conventionnel, (2) verger bio, (3) verger agroforesterie et maraîchage, (4) verger épicerie (permaculture), tirée de [Cartes de la Suisse - Confédération suisse - map.geo.admin.ch](http://Cartes.de.la.Suisse-Confédération.suisse-map.geo.admin.ch)

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).

## 2.2 Pratiques culturales

Le tableau 1 présente les pratiques culturales des parcelles étudiées. Elles ont été déterminées sur la base des données technico-économiques du BioDiVerger.

Parcelle	Désherbage	Fertilisation/compost	Cuivre
AF Arbo	Mulcheuse à fils (GreenMaster). ~5x par an. Machine tractante <sup>1</sup> : ~2.6t.	Voile de compost mûr : 1x par an (en automne/hivers).  Lisier aéré : dépend de l'année et des conditions, etc..	1 application en 2021 et 2022  (Oxycuivre)
AF Maraîchage	Motoculteur Ghepard. ~2-3x par planche par an (après chaque culture). Influence sur 5 cm du sol. ~140 kg.  Sarcluse et Mulcheuse à fils Nylon  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.	Application de bactérie EM (microorganismes efficaces)
Vergers épiceries	Débroussailleuse à fils. ~4x par an. Sélectif : surtout chemins et graminées	Apports ponctuels de mulch de feuilles, BRF. Dépendent des années.	Aucun
Bio	Mulcheuse à fils (GreenMaster) : ~5x par an. Machine tractante <sup>1</sup> : 2-3t.	Voile de composte mûr : 1x par an en automne/hivers.  Lisier aéré : dépend de l'année et des conditions, etc..	Application de bactérie EM dans bouillie bordelaise : 300-400 g de Cu/ha/an
Conventionnel	Roue déracineuse (XSA). 2x par an (en début et fin de saison). Influence sur 4 cm du sol. Bras : 150kg. Machine tractante <sup>2</sup> : ~2.7t.  Débroussailleuse 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

Tableau 1 : Pratiques principales des différentes surfaces. Chaque tâche n'est pas réalisée uniformément au sein des différentes exploitations.

Comme il a été susmentionné, le verger bio « classique » et le BioDiVerger sont gérés par la ferme des Sapins. Les techniques de désherbage et d'apport en matière organique sont identiques pour le verger bio et Agrof PF. Une couche de compost est appliquée au courant de l'automne et intégrée à la litière de feuilles pour la décomposition. Le lisier aéré provient également de la ferme des Sapins et

<sup>1</sup> Modèle : Fendt 205, [https://de.wikibooks.org/wiki/Traktorenlexikon:\\_Fendt\\_Farmer\\_205\\_P/PA](https://de.wikibooks.org/wiki/Traktorenlexikon:_Fendt_Farmer_205_P/PA)

<sup>2</sup> Modèle : Fendt Vario 209 V, [https://de.wikibooks.org/wiki/Traktorenlexikon:\\_Fendt\\_209\\_V/F/P](https://de.wikibooks.org/wiki/Traktorenlexikon:_Fendt_209_V/F/P)

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 d'âge. La différence dans l'exploitation de ces deux parties du verger réside dans l'irrigation, car l'arrosage n'est pas pratiqué dans le verger agroforestier.

Les planches maraîchères accueillent différents types de culture selon la saison et 2 à 3 cultures par an peuvent être envisagées. Sur les planches maraîchères, les pratiques culturales indiquées dans le tableau I 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 fils à Nylon et chisel).

Dans le verger épicerie, le désherbage est mené de manière sélective à l'aide d'une débroussailleuse, essentiellement pour l'entretien des chemins et réduire la propagation des graminées. Cette tâche est effectuée uniquement le matin en épargnant les bordures des abris à faune et les fleurs. Sur cette partie, le sarclage ne s'opère pas.

Les pratiques culturales du verger conventionnel sont très différentes, deux passages à la roue déracineuse sont effectués, le premier en début de saison et un deuxième à la fin. Un désherbage est réalisé à la débroussailleuse sur les rangs des jeunes arbres. Tandis que sur les rangs des arbres plus anciens, la technique utilisée est celle du désherbage à la machine à fils, menée 3-4 fois par saison. Sur cette parcelle, l'épandage du cuivre ne s'opère pas, est appliqué uniquement des fongicides bio, ainsi que des insecticides autorisés en lutte biologique tels que la carpovirusine et le *Bacillus thuringiensis*.

Des traitements phytosanitaires ont été appliqués sur certaines parcelles :

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

## 2.3 Méthodes d'analyses de sols et tests appliqués

Le tableau 2 regroupe les analyses de sol et tests de terrain réalisés en 2013, 2015, 2020 et 2022.

Année	Analyses	Parcelles étudiées	Partie du sol
2013 (Avant la plantation)	Granulométrie, calcaire total, pH H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> O, matière organique. Éléments de réserve (AAE10) : P, K, Ca*, Mg. « AnaBio »**.	Agrof PF 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 <sub>2</sub> O, matière organique. Éléments de réserve (AAE10) et éléments solubles (H <sub>2</sub> O10) : P, K, Ca, Mg. Cuivre total selon OSol. « AnaBio ». Test à la bêche (VESS) et extraction des vers de terre au jus d'oignon.	Agrof PF Agrof M Verger épicerie Verger bio classique Verger conventionnel	De 2 à 25 cm
2022	Granulométrie, CEC, calcaire total, pH H <sub>2</sub> O, matière organique. Éléments de réserve (AAE10) et éléments solubles (H <sub>2</sub> O10) : P, K, Ca, Mg « AnaBio ». Test à la bêche (VESS) et extraction des vers de terre à la farine de moutarde	Agrof PF Agrof M Verger épicerie Verger bio classique Verger conventionnel	De 2 à 25 cm

Tableau 2 Analyses de sol et tests effectués sur le terrain BioDiVerger et les vergers adjacents depuis 2013.

\* Uniquement Af Arbo.\*\* uniquement Verger épicerie

### 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.

#### 2.3.1.1 VESS (Visual Evaluation of Soil Structure)

La campagne de terrain a été faite le 11 avril 2022. Cette méthode d'analyses visuelles a été choisie, car elles sont peu coûteuses et accessibles à tous avec un minimum d'expérience.

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 I)

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.

### 2.3.1.2 Extraction des vers de terre à la farine de moutarde

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. (Annexe II).

- 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 d'une charte de terrain (OPVT, 2015 et Annexe III). Comme précisé 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.

### 2.3.1.3 Période et méthode d'échantillonnage des vers de terre

La campagne de terrain a été réalisée le 4 et 5 octobre 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 de Biodiverger.

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.

Les données météorologiques des 8 jours avant les prélèvements sont résumées dans la figure 3 :

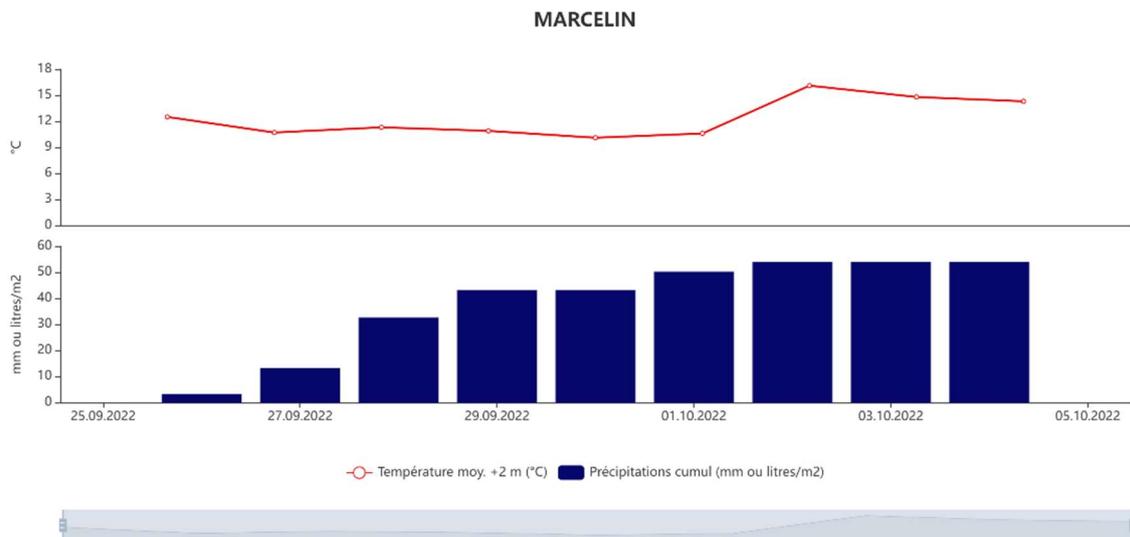


Figure 3 donnée météorologique des 8 jours précédant les prélèvements. (Données agrométéo de la station Marcelin située à proximité de la zone échantillonnée (<https://agrometeo.ch/>))

## 2.3.2 Méthodes analytiques de laboratoire

La collecte d'échantillons a été réalisée le 11 avril 2022 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 sont disponibles dans l'annexe IV.

### 2.3.2.1 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).

### 2.3.2.2 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 stoechiométrique 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.

### 2.3.2.3 Analyses de l'activité biologique des sols

L'activité biologique dans les sols est une composante clé de l'écosystème (Gobat et al., (2010)). D'ailleurs, les analyses biologiques offrent un complément d'information utile sur la fertilité des sols. Un sol fertile se caractérise par une faune et une flore variée et biologiquement active. Un système original a été développé par Nicolas Maire dans les années 80.

Il permet de mesurer (1) la biomasse microbienne en quantifiant l'ATP [ngATP/g] ; elle correspond à la quantité de microorganismes vivants et présents dans le sol. (2) Le dégagement de CO<sub>2</sub> [μCO<sub>2</sub>/g/h] ; il représente la respiration des microorganismes et leur activité sur 4, 9 et 15 jours (3) la minéralisation du carbone organique (minCorg en [μgMO/g]) ; elle estime la quantité de MO minéralisée par les microorganismes (4) le rapport CO<sub>2</sub>/ATP qui correspond à l'activité spécifique moyenne de la biomasse. Il est calculé à partir de la somme de CO<sub>2</sub> dégagée sur 9 jours par unité de biomasse d'ATP. Dans cette étude les points (1), (3) et (4) vont être discutés dans la partie résultat et discussion.

Cette méthode permet donc d'analyser la masse de microorganismes ainsi que leur activité. Par contre, elle ne donne aucune information sur la diversité des microorganismes présents dans le sol. Les analyses ont été faites par Sol- Conseil selon le protocole appelé « AnaBio »)

### 2.3.2.4 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 réserves 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 « H<sub>2</sub>O10 »). 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 (Fisch et al., 2017).

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1 Données de terrain

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.

##### 3.1.1 Texture des sols

La plupart des parcelles se situent dans la classe de texturale des limons (figure 4). 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).

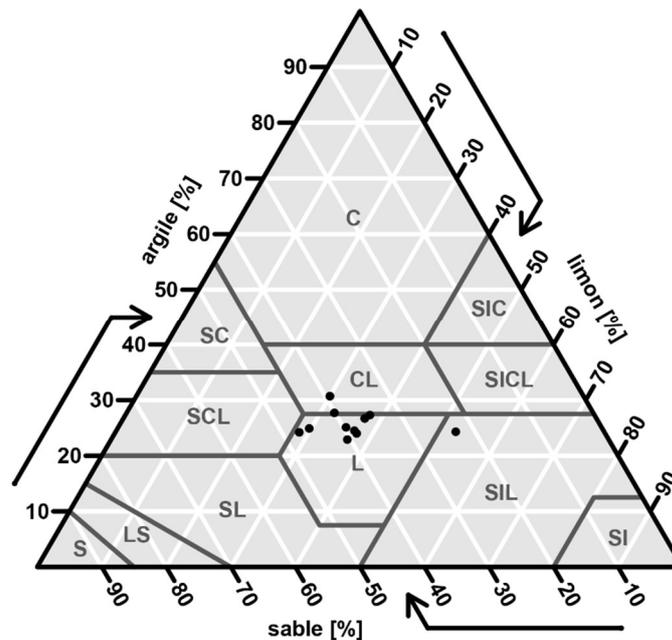


Figure 4 Triangle de texture représentant la classe texturale des parcelles (classification USDA). Les données utilisées datent de 2013, 2015 et 2022.

##### 3.1.2 VESS (Visual Evaluation of Soil Structure)

La figure 5 montre les résultats de sol avec de bonnes structures et des scores répartis entre  $S_q = 1$  ;  $S_q = 3$ . L'évaluation visuelle de la structure d'un sol est représentée dans le graphique ci-dessous :

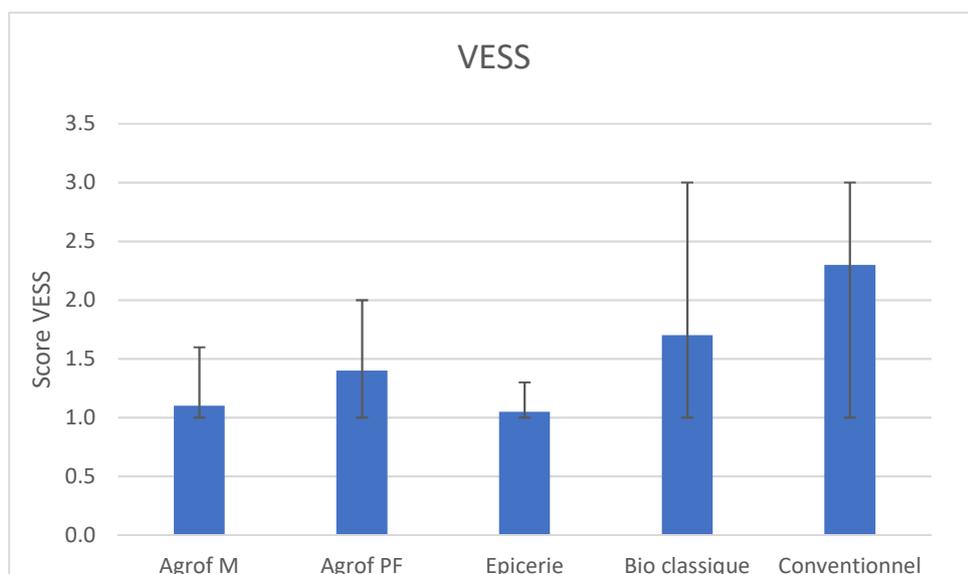


Figure 5 : Moyenne des scores VESS pour chaque parcelle. Les notes maximales et minimales sont représentées par les barres noires.

La figure 6 démontre l'influence des passages de deux 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. Elle comporte uniquement des passages pour la cueillette des fruits, l'influence est donc amoindrie.

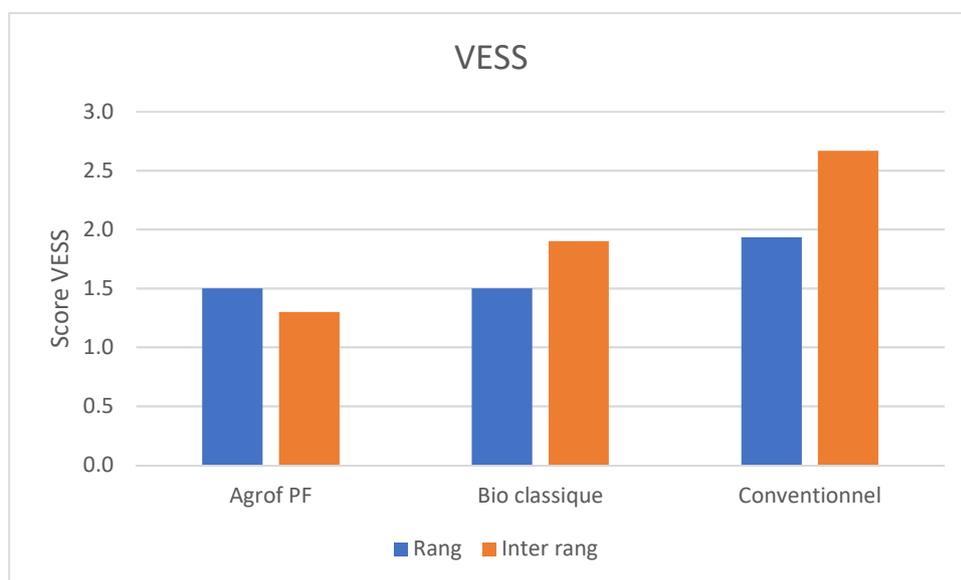


Figure 6 : Moyenne des scores VESS effectués dans les rangs et dans l'interrang pour les parcelles Agroforesterie (Agrof PF), bio classique et conventionnel.

### 3.1.2.1 Évolution des notes VESS entre 2020 et 2022

La figure 7 montre une évolution positive de la qualité structurale pour l'ensemble du verger. Cette évolution peut être en partie due à un travail de sol limité pour chaque parcelle, y compris la parcelle conventionnelle.

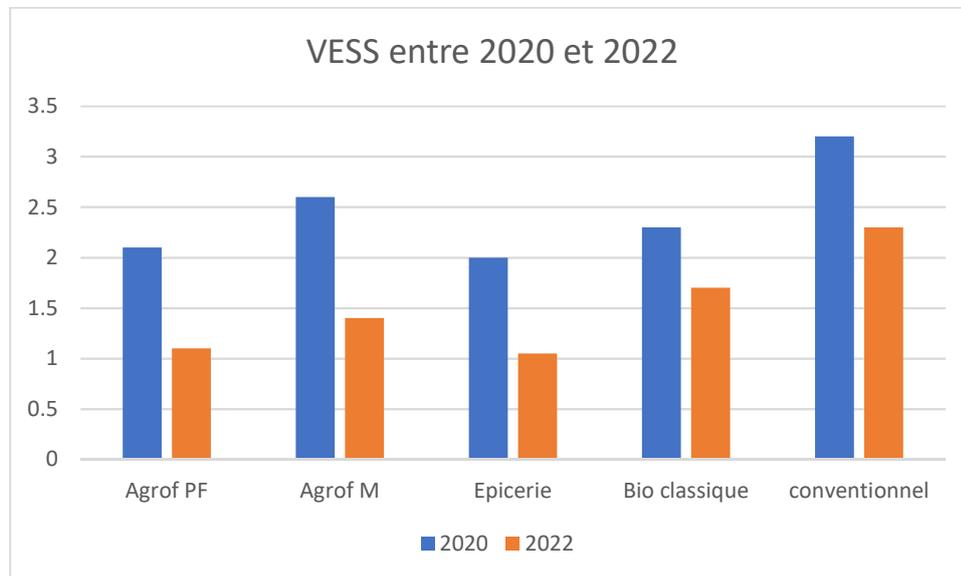


Figure 7: Moyennes des scores VESS obtenues entre 2020 et 2022

### 3.1.3 Vers de terre 2022

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/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup> avec une diversité écologique des communautés dominée par les anéciques et les endogés, ces catégories écologiques sont responsable du plus grand travail de structuration du sol. La présence d'épigée est plus disparate. (Tableau 3 et figure 8). 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.

Parcelle	Abondance	Anéciques	Endogés	Epigés
	Ind/m <sup>2</sup>	[%]	[%]	[%]
Agrof PF	329,67	31,85	62,59	5,56
Agrof M	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

Tableau 3 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<sup>2</sup> = Individu au m<sup>2</sup>

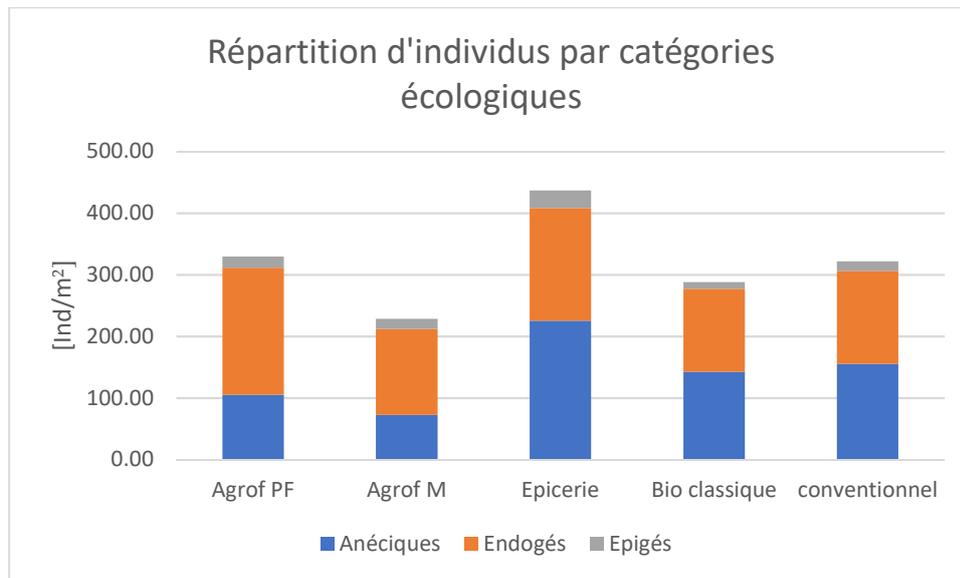


Figure 8 : Répartition du nombre d'individus pour chaque catégorie écologique par parcelle

Le tableau 4 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 9)

Parcelle	Biomasse	Anéciques	Endogés	Epigés
	g/m <sup>2</sup>	[%]	[%]	[%]
Agrof PF	362,50	80,18	18,30	1,52
Agrof M	154,67	63,58	31,03	5,39
Verges 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

Tableau 4 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.

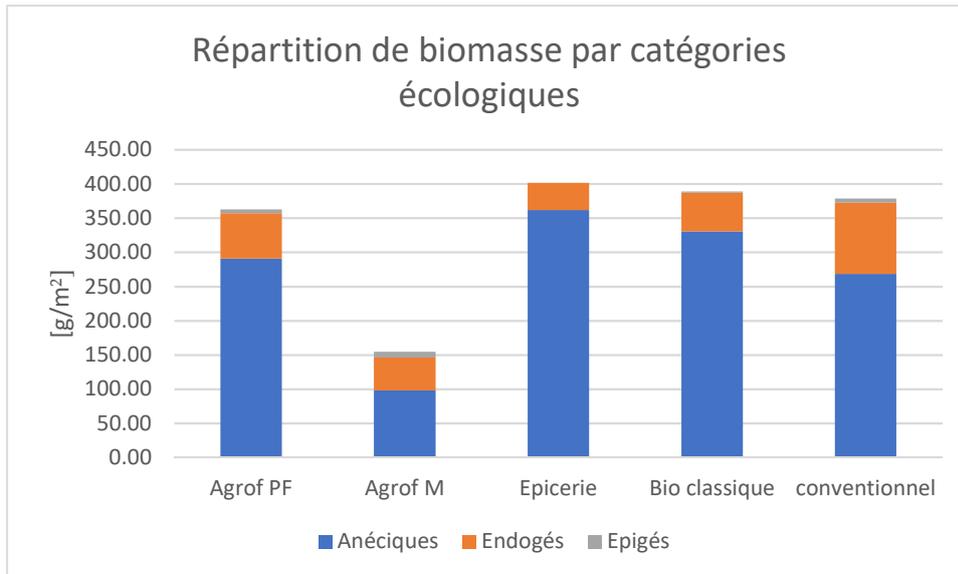


Figure 9 : Répartition en biomasse pour chaque catégorie écologique par parcelle

### 3.1.3.1 Évolution des lombriciens entre 2020 et 2022

Les valeurs obtenues entre 2020 et 2022 indiquent que les pratiques agricoles appliquées dans le BioDiVerger 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 (Agrof PF), Épicerie et Bio classique. Les résultats de la parcelle conventionnels ont montré une hausse importante par rapport à 2020. (Figure 9). Les résultats obtenus pour la parcelle conventionnelle démontrent que le travail réduit et l'apport réduit en produits phytosanitaires ont permis une prolifération importante des vers de terre. (IP suisse)

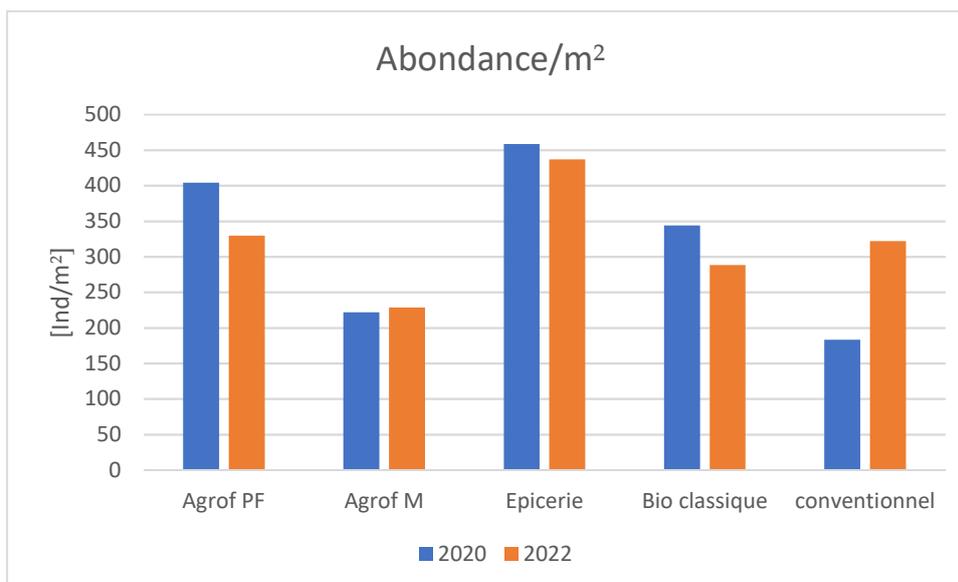


Figure 10 : Comparaison des abondances de vers de terre entre 2020 et 2022.

La figure 11 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 4, 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 font partie de la catégorie écologique avec 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 selon donnée de Carine Cudré). 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))

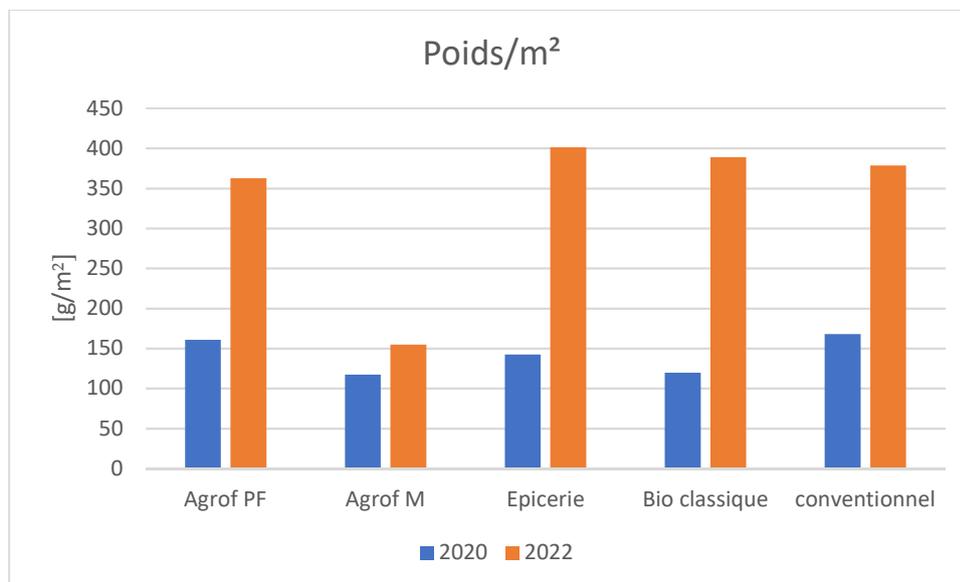


Figure 11 : Comparaison de biomasse de vers de terre entre 2020 et 2022

Les figures 12 et 13 montrent les résultats par individu/m<sup>2</sup> et la biomasse en g/m<sup>2</sup> 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. (photo 1).

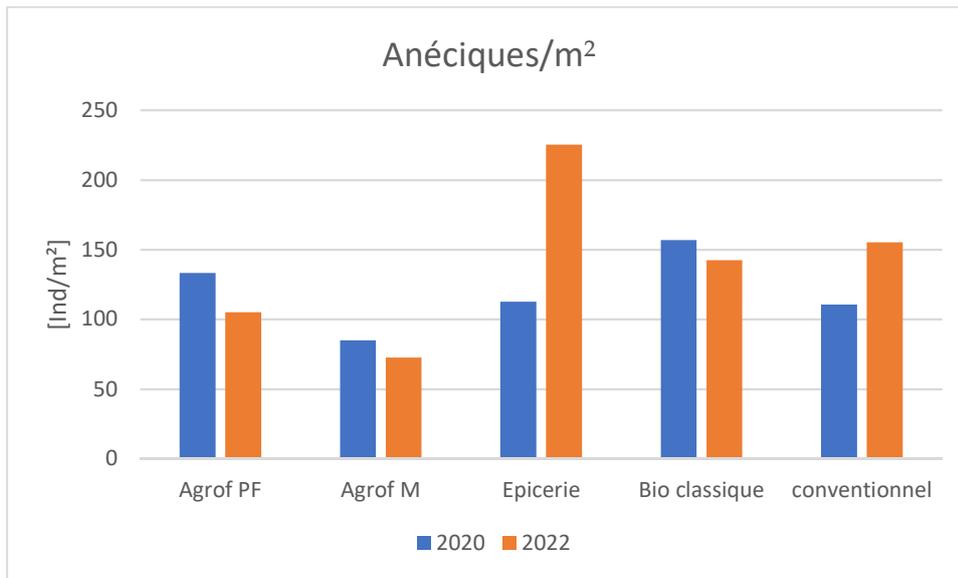


Figure 12 : Comparaison d'anéciques présents au m<sup>2</sup> entre 2020 et 2022

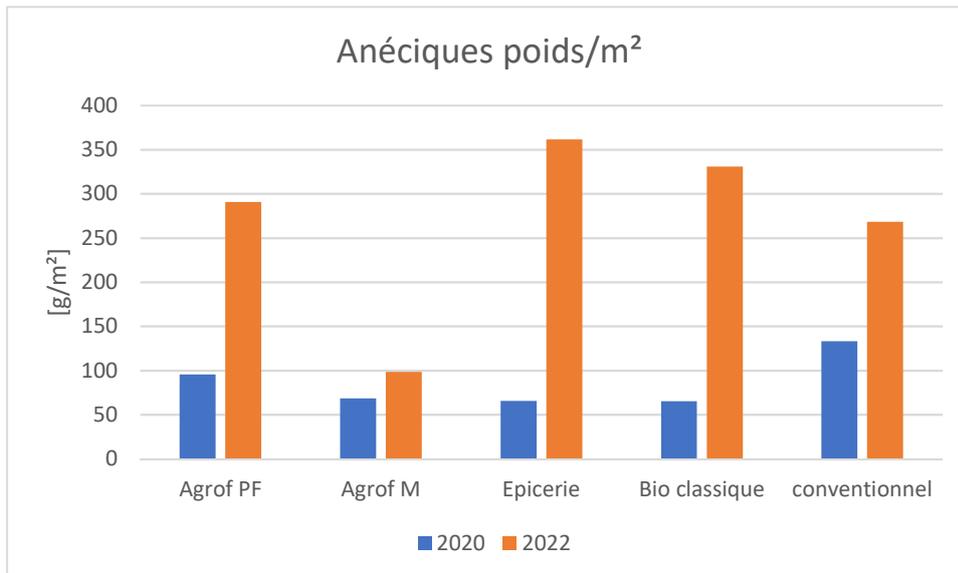


Figure 13 : Comparaison de la biomasse au m<sup>2</sup> d'anécique présents entre 2020 et 2022



Photo 1 : Anécique prélevé sur le verger conventionnel faisant plus de 15 [cm] pour un poids de 4 [g].

### 3.2 Résultats des analyses de laboratoire

Les paramètres des sols analysés pour chaque parcelle ont été résumés dans le tableau 5 ci-dessous :

Parcelle	%CEC sat	pH	MO [%]	MO/argiles	Argiles [%]	Silt [%]	Sable [%]
Agrof PF	95.6	7.6	4.1	16.7	24.5	36.8	38.6
Agrof M	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

Tableau 5 : Résumé des caractéristiques de sols échantillonnés. CEC : capacité d'échange cationique [%], pH, MO : matière organique [%], teneur en argiles, limons (silt) et sables

#### 3.2.1 Teneur en matière organique (MO)

Les teneurs en MO sont relativement importantes sur l'ensemble des zones et dépassent largement les seuils des 3 % (tableau 5). Ces résultats sont, en partie, liés aux apports de fumure 1 à 2 mois avant les prélèvements de sol. La teneur est d'ailleurs plus importante pour la parcelle bio classique.

En comparaison aux résultats obtenus en 2020, les teneurs sont équivalentes ou en augmentation par rapport à 2020. La Figure 14 permet de comparer les résultats obtenus entre 2020 et 2022.

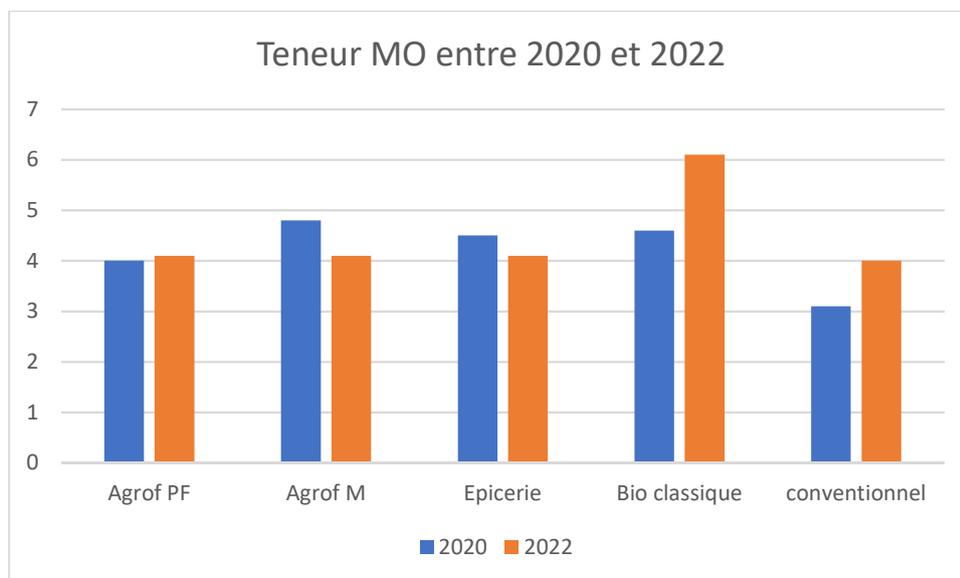


Figure 14 : Teneur en matière organique (MO) sur chaque parcelle entre 2020 et 2022.

#### 3.2.2 Ratio MO/argiles

Le ratio entre la matière organique et l'argile (tableau 5) 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).

De plus, le ratio est aussi corrélé aux observations des tests VESS (figure 15). Les résultats obtenus pour ces parcelles ont tous obtenu des scores VESS > 2, indiquant une bonne qualité structurale des sols du verger.

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.

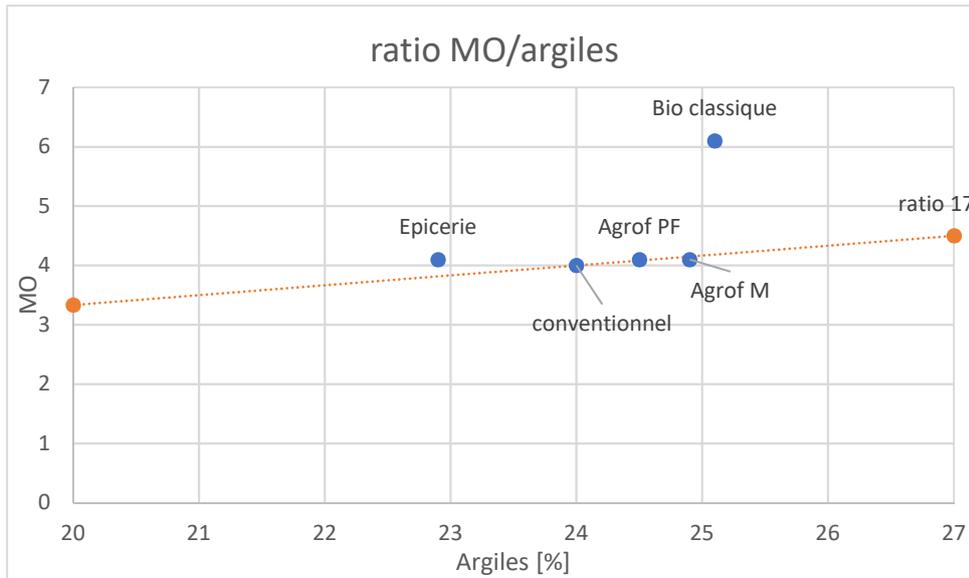


Figure 15 : ratio MO/argiles [%] représentant les ratios de chaque parcelle. La droite linéaire correspond à un seuil de ratio 17.

### 3.2.3 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 (figure 16).

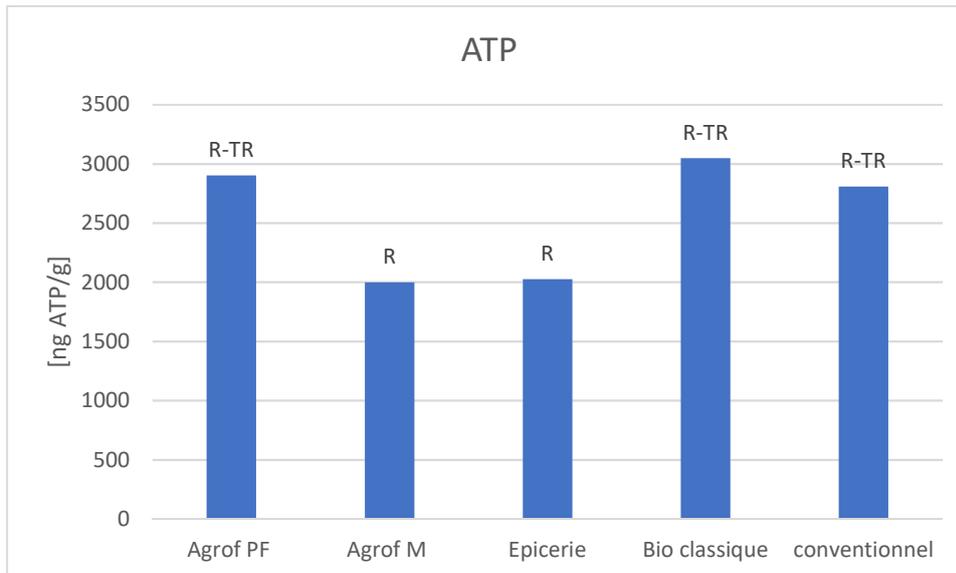


Figure 16 : Quantité d'ATP par parcelle en 2022. R = Riche, R-TR = Riche à très riche

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 Conventiennel 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 affaibli sur cette parcelle et à la diminution de travail des producteurs sur cette parcelle en vue des faibles rendements obtenus. De plus, des problèmes d'ensoleillement sur la zone empêchent une production minimale.

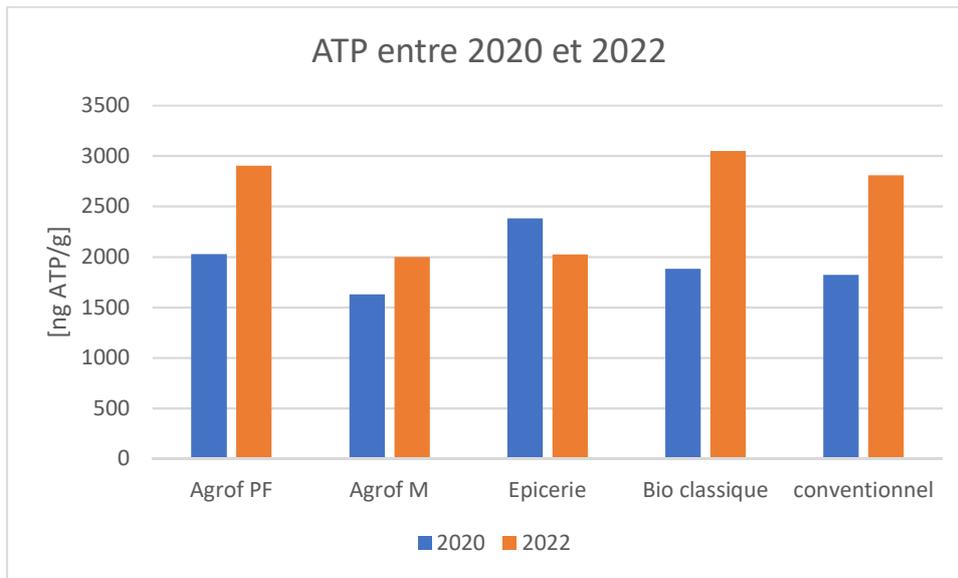


Figure 17 : Quantité d'ATP par parcelle en 2020 et 2022

La figure 18 présente les résultats de minéralisation de carbone organique (min C org), qui sont à nouveau importants. Elle concorde aux résultats de biomasse obtenus dans les figures 16 et 17. Les fortes activités exprimées par la somme de CO<sub>2</sub> 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.

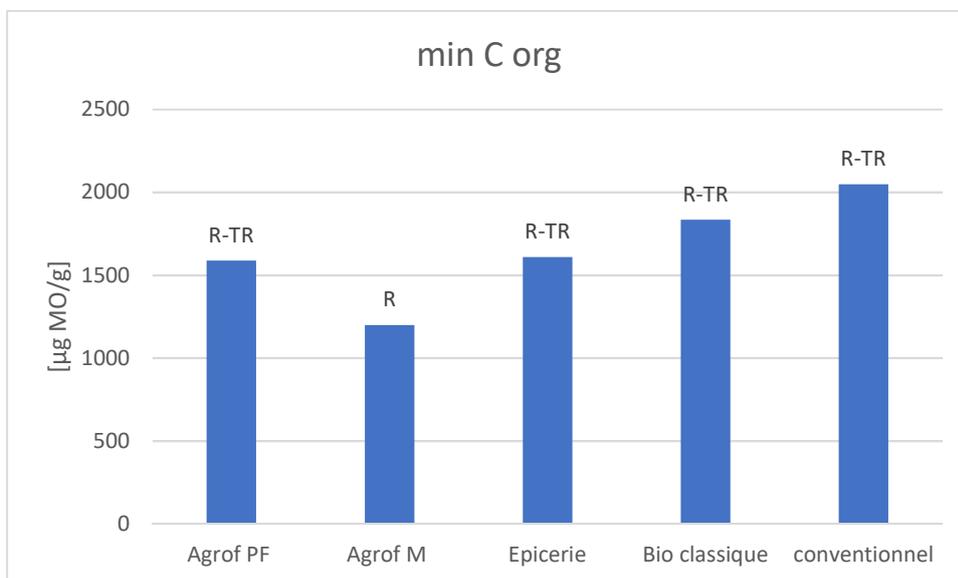


Figure 18 Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2022. R = Riche, R-TR = Riche à très riche

La figure 19 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 Agrof M 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 engendrant une activité moindre sur la décomposition et la minéralisation de carbone organique.



Figure 19 : Quantité de matière organique minéralisée en 15 jours en 2020 et 2022

Le rapport entre CO<sub>2</sub>/ATP est satisfaisant (figure 20). 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 Agrof PF montrent une minéralisation de la MO légèrement plus faible que les autres parcelles qui ont obtenu de bons résultats.

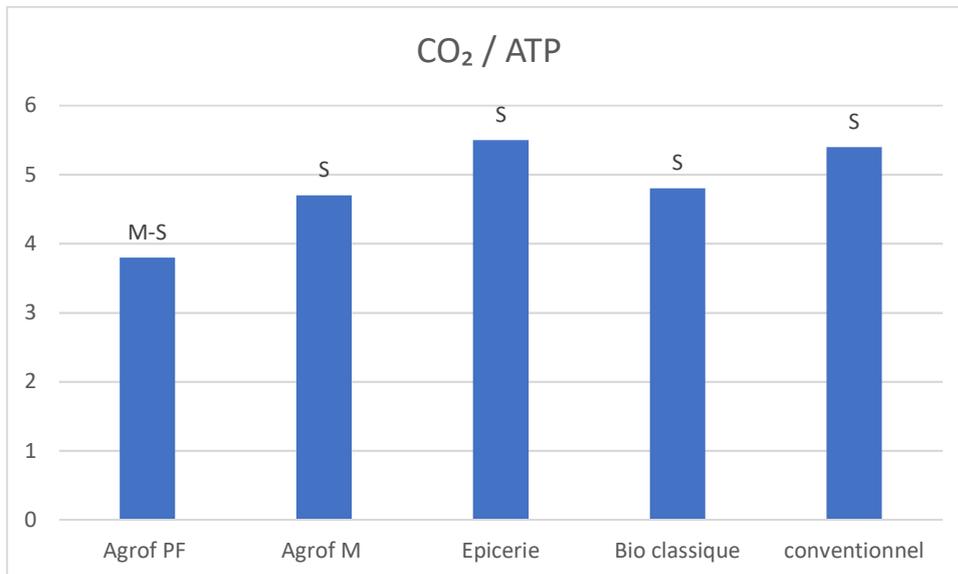


Figure 20 : Rapport de CO<sub>2</sub>/ATP en 2022. M-S = Médiocre à suffisant, S = Satisfaisant.

La figure 21 montre une légère augmentation du rapport CO<sub>2</sub>/ATP en 2022 en comparaison à 2020. Les résultats corrént avec la hausse générale d'abondance en microorganismes de 2022 (figure 17).

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.

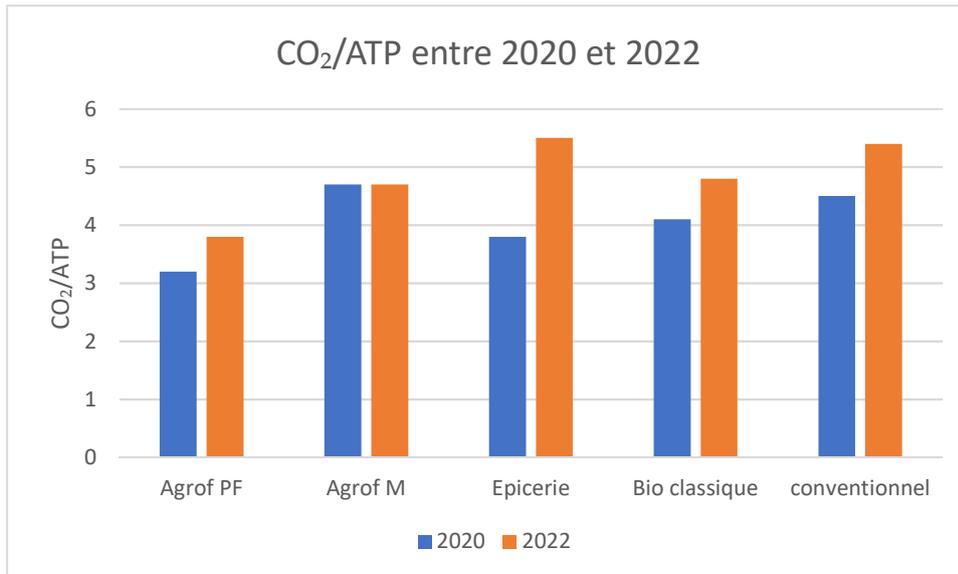


Figure 21 : Rapport de CO<sub>2</sub>/ATP en 2020 et 2022

### 3.2.4 Éléments nutritifs

Les éléments solubles représentent la fraction d'éléments nutritifs immédiatement disponibles pour les plantes tandis que les éléments de réserve représentent la fraction d'éléments potentiellement utilisable par les plantes. Cette fraction peut passer à tout moment en solution et être ainsi disponible. (Frossard et al.(2004))

Les teneurs en éléments solubles pour P et K sont jugées insuffisantes (à l'exception de la parcelle Agroforesterie Maraîchage (Agrof M)). Cela peut s'expliquer par la concentration plus importante de K lié à l'apport de mulch (apport de K<sub>2</sub>O) des parcelles qui peut saturer les liaisons disponibles du site. (Figure 22).

Un appauvrissement plus important est à noter entre les résultats de 2020 et 2022. D'ailleurs, aucun engrais naturel n'est ajouté dans les parcelles.

Le phosphore soluble est insuffisant pour toutes les parcelles hormis la zone de maraîchage et bio classique. Il est possible qu'une certaine compétition soit présente entre les plantes et les microorganismes. L'avantage serait donc du côté des microorganismes.

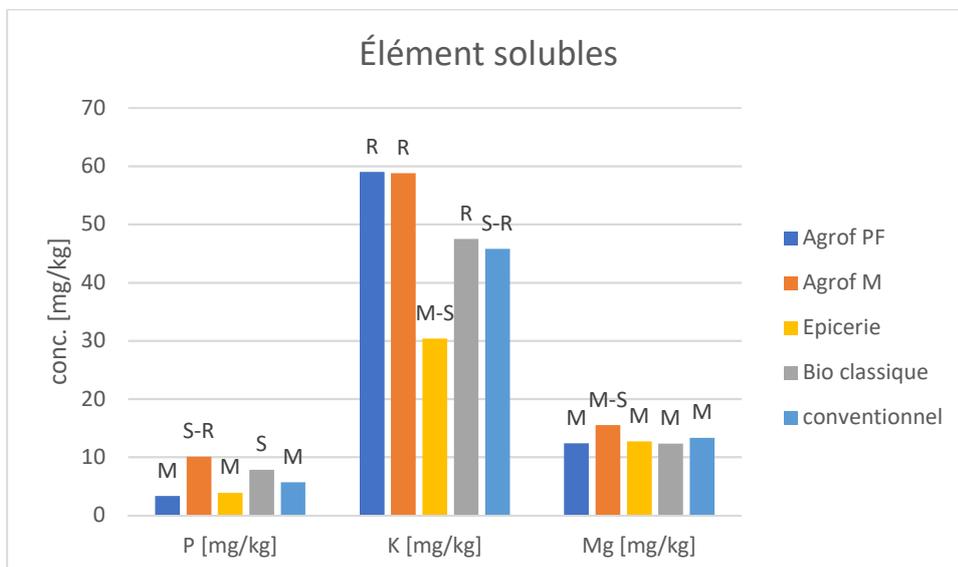


Figure 22 : Éléments solubles par parcelle. M = Médiocre, S = Satisfaisant, R= Riche

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

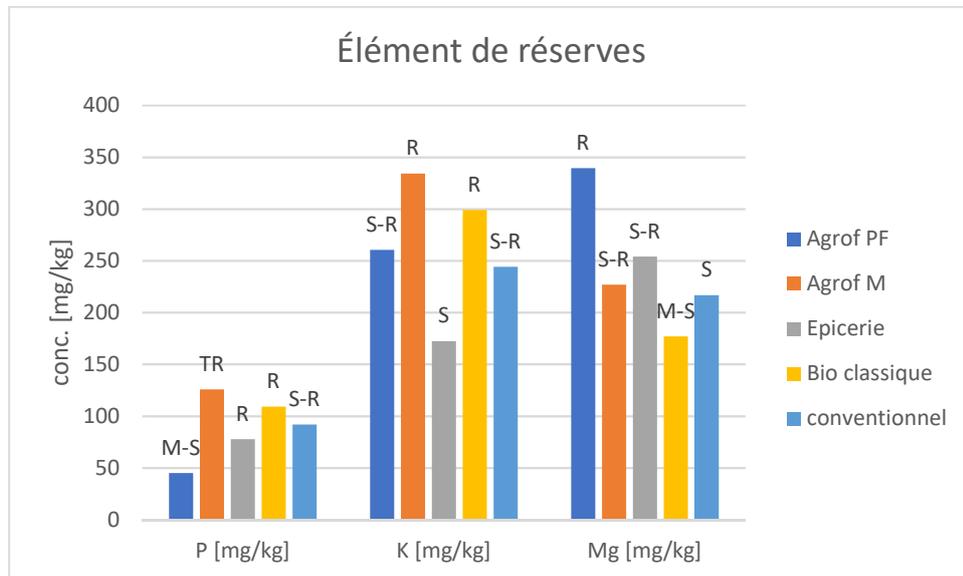


Figure 23 : Éléments de réserve pour chaque parcelle. M = Médiocre, S = Satisfaisant, R = Riche, TR = Très riche

Pour finir, il ne faut pas oublier 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))

### 3.2.5 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 parcelles.

Les résultats de CEC obtenus pour les exploitations du BioDiVerger sont résumés dans le tableau 6 :

Parcelle	CEC [meq./100g]	sat. [%]	H [%]	K [%]	Ca [%]	Mg [%]	Na [%]
Agrof PF	15.2	95.6	4.4	2.7	85.3	6.9	0.6
Agrof M	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
conventionnelle	16.9	80	20	2.3	70.1	7.4	0.2

Tableau 6 : 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.

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 7 :

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

Tableau 7 : Valeurs cibles de taux de saturation des différents cations (gauche) ; Appréciation de la CEC (droite) tirée de Collaud et al., (1990)

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) **Agrof PF** : Les taux de saturation des cations pour cette parcelle et 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) **Agrof M** : excès en H (28,7%), cela signifie que ... 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) **Conventionnelle** : 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 occupées 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 pour 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.

## 4. Conclusion

Le BioDiVerger est un verger novateur, limitant les intrants, visant à encourager la biodiversité pour simuler un écosystème naturel, favoriser l'autorégulation et garantir la production au long terme. Ces objectifs s'appliquent également au sol. En effet, l'amélioration de ses propriétés ou le maintien de ses qualités est crucial pour garantir une production sur le long terme.

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

C'était notamment le cas dans cette étude, atténuant l'influence des pratiques culturales sur la différenciation des propriétés du sol.

Globalement, chaque partie atteint de bons résultats et des évolutions positives sont constatées depuis les analyses de 2020, et d'autant plus, depuis la mise en place du projet en 2013. Au niveau des structures, 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. On constate un léger appauvrissement en élément soluble sans pour autant indiquer une forte carence.

Les limitations sur le travail mécanique de l'ensemble des parcelles impactent positivement la fertilité et biologie du sol. Les faibles perturbations (désherbage sélectif à la débroussailleuse 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 des Sapins.

Il est maintenant important de continuer à réaliser ces analyses afin de pouvoir effectuer un suivi au long terme. Le BioDiVerger pourra alors servir de référence dans l'étude des propriétés du sol de ce nouveau type de verger et fournir de précieuses indications quant à l'évolution de leur dynamique. Cela pourra également aider à une meilleure compréhension des caractéristiques des sols des vergers de manière générale et fournir des données utiles à d'autres études.

## 5. Bibliographie

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 : <https://www.progres-sol.ch/outils/vess.html> (consulté le 15.10.2022)

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.

Collaud G., Ryser J.-P., Schwarz J.-J., 1990. Capacité d'échange des cations. *Revue suisse Agric.* 22, 285-289.

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>

FiBL & Bio Suisse (2013). *Les principes de la fertilité du sol. Construire sa relation avec le sol*. Frick : FiBL.

Fisher, A. (2019). *Évaluation des vers de terre en tant qu'indicateurs de la qualité des sols agricoles : impact des pratiques culturales et perspective d'application pour les agriculteurs*. (mémoire de master non publié). Université de Neuchâtel, Institut de biologie & Université de Lausanne, Institut des sciences de la terre.

Fisch, R., Neuweiler, R., Kuster., T., Oberholzer, H., Huguenin-Elie, O., & Richner, W. (2017). Caractéristiques et analyses du sol. Dans Agroscope (éds), *Principe de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF)*. Recherche agronomique suisse 8(6) : publication spéciale. Berne : Agroscope.

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

Guichet cartographique cantonal. (s. d.). <https://www.geo.vd.ch/> ,( consulté le 09.10.2022)

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 sols agricoles 1987-2016*. Institut Agricole de l'État de Fribourg, Station cantonale des productions animales et végétales, Grangeneuve, 123 p.

Hérody Y., 2015. Le chaulage – l'état calcique des sols cultivés. BRDA Editions, Collection « les fondamentaux de l'agriculture », 90 p.

- 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). Earthworm as ecosystem engineer : a review. Dans Clayton G. Horton (éd), *Earthworm – Types, Roles an Reaserch*. Chapitre 4. p. 129-177. New York : Nova Science Publishers.
- OFEV. (2017). Sols suisses. État et évolution. Retrieved from [https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop\\_mimes\\_bbl/8C/8CD4590EE41ED7B59DA42594B0BDFE.pdf](https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop_mimes_bbl/8C/8CD4590EE41ED7B59DA42594B0BDFE.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.
- Sinaj S., Richner W., 2017. Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017). Recherche Agronomique Suisse 8, Publication spéciale, 276 p.
- 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.
- Sol-Conseil. (2020a). *Prélèvement d'échantillons de terre pour l'agriculture*. Gland : Auteur. Repéré à : <https://www.sol-conseil.ch/fr/Accueil/Documents/Fiches-techniques-de-prelevement.html>.
- Sol-Conseil (2020b). *Terres – résumé de Méthode. C. org/MO*. Gland : Auteur. Repéré à <https://www.sol-conseil.ch/fr/Laboratoire/Methodes/Resumes-de-methode.html>.
- 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. (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*, 30(1), 77-83. <https://doi.org/10.1080/00380768.1984.10434670>
- Zihlmann, U., Weisskopf, P., Chervet, A., & Seitz, B. (2019). *Matière organique des sol cultivés – enrichir plutôt que consumer*. Lindau : AGRIDEA.

## 6. Annexe

Annexes I : Protocole de réalisation des tests à la bêche et d'attribution des notes (Agroscope, 2020).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																
<b>Qualité de la Structure</b>	<b>Sq1 Friable</b> Agréats* se désagrègent très facilement avec les doigts	<b>Sq2 Intact</b> Agréats* se désagrègent facilement entre les doigts	<b>Sq3 Ferme</b> La plupart des agrégats* se désagrègent facilement entre les doigts	<b>Sq4 Compact</b> Assez difficile de briser les mottes fermées* avec une seule main	<b>Sq5 Très Compact</b> Très difficile de briser les mottes fermées* avec la main	<b>Apparence générale</b>	Pas de motte fermée*	Présence possible de mottes fermées*	Principalement mottes fermées* sub-angulaires	Principalement mottes fermées* angulaires	<b>Racines</b>	Les racines colonisent l'ensemble du bloc : les racines sont bien présentes à l'intérieur et autour des agrégats*	Pas ou peu de racines à l'intérieur des fragments* Les racines présentes sont concentrées autour des mottes fermées, dans les « pores grossiers » et les fissures*	<b>Porosité Visible*</b>	La plupart des agrégats* sont TRES poreux	La plupart des agrégats* sont poreux.	Présence possible de pores grossiers visibles* et de fentes de retrait*	Peu de « pores grossiers visibles »* et peu de fissures*	Très peu de « pores grossiers »* et de fissures*. Anoxie* possible.	<b>Apparence après extraction : même sol mais travail du sol différent</b>	<b>Traits distinctifs</b>	Agréats* très fins et poreux	Forte porosité des agrégats*	Faible porosité des agrégats*	Racines dans les pores grossiers visibles*	Couleur gris-bleu possible	<b>Apparence des agrégats* ou fragments* de ~1.5 cm de diamètre</b>	Agréats* très poreux, composés de plus petits maintenus ensemble par les racines. Ils sont pour la plupart directement obtenus lors de l'extraction du bloc.	Agréats* arrondis, fragiles, poreux qui se cassent facilement.	Agréats* avec peu de pores visibles et plutôt arrondis.	Ces fragments* de forme cubique à bords anguleux et fissures internes sont faciles à obtenir sur sol humide.	Ces fragments* à bords anguleux peuvent être difficiles à obtenir même sur sol humide.

## VESS<sub>2020</sub> Evaluation visuelle de la structure du sol (v.10.06.2020)

### Méthodologie sur le terrain

Equipement? Bêche, mètre, appareil photo, papier, crayon, bêche.

A quel moment? Eviter le sol trop sec (dur) ou trop humide (déformable)

Eviter un travail du sol récent. Privilégier un moment où les racines sont bien visibles.

Où et combien? 5 prélèvements sont nécessaires pour évaluer une parcelle homogène.

Comment procéder?

1. Extraire un bloc de sol avec la bêche de 25 à 35 cm de profondeur
  - **Ne pas piétiner ou compresser la zone qui va être évaluée avec la bêche.**
  - Il peut être utile d'effectuer un «pré-trou», afin de faciliter l'extraction d'un bloc.
  - Pour les sols labourés, le bloc doit comprendre la semelle de labour.
2. Ouvrir le bloc et manipuler avec précaution pour révéler des possibles couches compactes
  - Soit ouvrir comme un livre pour révéler la structure.
  - Soit en enlevant les traces de tassement causées par la bêche.
3. Identifier les couches
  - Observer s'il y a des changements dans la structure du sol (compacité, taille et forme des agrégats ou des mottes, comportement des racines) et identifier le nombre de couches avec des structures différentes.
  - Mesurer l'épaisseur de chaque couche.
  - Noter chaque couche individuellement à l'aide de la grille d'évaluation.
  - Si le bloc contient le sous-sol, évaluer le sous-sol séparément avec la fiche SubVESS<sub>2020</sub>
4. Observer et noter les agrégats et les mottes
  1. Commencer par observer les agrégats/mottes entiers pour évaluer leurs tailles et leurs formes générales (arrondis? anguleux?). Identifier à quelle note cela correspond dans la grille.
  2. Puis ouvrir (briser) ces agrégats/mottes pour révéler leurs structures internes (sont-ils composés de plus petits agrégats? Sont-ils poreux? Les racines passent-elles partout?). Confirmer (ou pas) la note choisie.



Video explicative de la méthode sur la chaîne Youtube Agroscopevideo

### Extraction d'un bloc de sol avec «pré-trou»

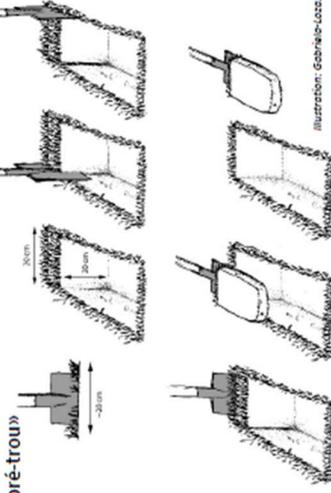


Illustration: gabriel@fzoe.com



**Adaptation aux sols remaniés.** Ces sols sont plus hétérogènes que des sols naturels. Les différentes qualités structurales ne sont pas distribuées uniquement verticalement en couches, mais également latéralement au sein d'une couche. Il faut donc noter pour chaque couche la proportion de chaque type de qualité structurale et faire une moyenne pondérée de ces notes pour la couche. La moyenne pondérée de la couche sera ensuite utilisée pour calculer la moyenne pondérée du bloc. Cette façon de faire permet également de garder une trace de l'hétérogénéité observée.

### Calcul de la note globale du bloc

Note du bloc = [(épaisseur couche\_1 x note couche\_1) + (épaisseur couche\_2 x note couche\_2) + (épaisseur couche\_n x note couche\_n)] / épaisseur totale du bloc

Exemple de calcul: Bloc de 27 cm qui comprend une couche de 9 cm d'épaisseur ayant une note de Sq2 et une couche de 18 cm d'épaisseur ayant une note de Sq3.

Score du bloc = [(9x2)+(18x3)]/27 = 2.7



**Application VESS**  
Une application pour smartphone et iPhone est disponible gratuitement



Adaptation de la fiche VESS (Ball et al., 2007; Guimarães et al., 2011) ([https://www.sruc.de.uk/info/120065/visual\\_evaluation\\_of\\_soil\\_structure](https://www.sruc.de.uk/info/120065/visual_evaluation_of_soil_structure))

effectuée dans le cadre du projet STRUDEL ([www.stru-del.org](http://www.stru-del.org))  
Contact: Alice Johannes, Agroscope ([Alice.Johannes@agroscope.admin.ch](mailto:Alice.Johannes@agroscope.admin.ch)), Gilles Johannes (@yahooc.com). En collaboration avec Peter Weiszkopf (Agroscope), Pascal Boivin (Hepia), Karine Gondret (Hepia), Saskia Leopold (Hepia), Frédéric Lamy (Changins), François Fullermann (DSE Vaud), Hubert Boizard (INRAE), Denis Boze (INRAE), Bruce Ball (SRUC), Joanna Clay (SRUC), Lars Munkholm (Aarhus University), Rachel Guimarães (UTPR)



Annexe II : 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](mailto: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'1m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup>), 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 !**



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

### Illustrations pour chaque critère de décision (1 à 10)

<p><b>1</b></p> <p>Epiderme (peau) foncé?</p> <p>Oui</p> <p>Non</p>	<p><b>7</b></p> <p>Queue qui s'aplatit (en se déplaçant)</p>	<p><b>8</b></p> <p>Diamètre supérieur à 2 mm</p>	<p><b>9</b></p> <p>Tube digestif visible par transparence</p> <p>Oui</p> <p>Non</p>	<p><b>10</b></p> <p>Bout de la tête sombre (noirâtre sur les 1<sup>ers</sup> anneaux)</p>
<p><b>2</b></p> <p>Couleur verdâtre</p>	<p><b>5</b></p> <p>Couleur plus claire entre les anneaux</p>	<p><b>3</b></p> <p>Présence d'un clitellum (bague)</p>	<p><b>6</b></p> <p>Gradient de couleur (queue plus claire)</p>	<p><b>+</b></p>

0 5 cm 10 cm

**Auteurs :** Hoël HOTTE, Kévin HOFFNER, Maxime POUPÉLIN & Daniel CLUZEAU

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

## Annexe IV : Donnée d'analyses physico-chimiques faites à Sol-Conseil pour l'ensemble des parcelles

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

### CARTE DE VISITE

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation
Gravier <sup>NA</sup>	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 <sup>NA</sup>	ATP/CO2	2808,6	ng ATP/g						
CO2 4 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	16,0	µgCO2/g/h						
CO2 9 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	8,7	µgCO2/g/h						
Min. C org. <sup>NA</sup>	ATP/CO2	2049,0	µg MO/g						
CO2/ATP <sup>NA</sup>	ATP/CO2	5,4							

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 <sup>NA</sup>	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 H <sub>2</sub> O	7,0		neutre
CaCO <sub>3</sub> tot.	CaCO <sub>3</sub>	0,0	%	non calcaire

NA: analyse non accréditée

### ELEMENTS SOLUBLES

Paramètre	Méthode	Résultat	Unité	Interprétation					F.corr.
				pauvre	médiocre	satisfaisant	riche	très riche	
P	H <sub>2</sub> O10	7,8	mg/kg						1,0
K	H <sub>2</sub> O10	47,5	mg/kg						0,8
Ca	H <sub>2</sub> O10	122,9	mg/kg						1,0
Mg	H <sub>2</sub> O10	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 <sup>NA</sup>	ATP/CO <sub>2</sub>	3048,5	ng ATP/g					
CO <sub>2</sub> 4 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO <sub>2</sub>	15,3	µgCO <sub>2</sub> /g/h					
CO <sub>2</sub> 9 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO <sub>2</sub>	7,2	µgCO <sub>2</sub> /g/h					
Min. C org. <sup>NA</sup>	ATP/CO <sub>2</sub>	1835,6	µg MO/g					
CO <sub>2</sub> /ATP <sup>NA</sup>	ATP/CO <sub>2</sub>	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 <sup>NA</sup>	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 <sup>NA</sup>	ATP/CO2	1997,7	ng ATP/g					
CO2 4 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	9,8	µgCO2/g/h					
CO2 9 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	5,1	µgCO2/g/h					
Min. C org. <sup>NA</sup>	ATP/CO2	1198,3	µg MO/g					
CO2/ATP <sup>NA</sup>	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 <sup>NA</sup>	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.corr.	
				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.corr.	
				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 <sup>NA</sup>	ATP/CO2	2903,2	ng ATP/g					
CO2 4 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	11,2	µgCO2/g/h					
CO2 9 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	8,4	µgCO2/g/h					
Min. C org. <sup>NA</sup>	ATP/CO2	1588,6	µg MO/g					
CO2/ATP <sup>NA</sup>	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 <sup>NA</sup>	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 <sup>NA</sup>	ATP/CO2	2024,7	ng ATP/g					
CO2 4 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	11,2	µgCO2/g/h					
CO2 9 jours <sup>NA</sup>	ATP/CO2	9,4	µgCO2/g/h					
Min. C org. <sup>NA</sup>	ATP/CO2	1610,2	µg MO/g					
CO2/ATP <sup>NA</sup>	ATP/CO2	5,5						

NA: analyse non accréditée