La reconnexion verger-élevage. Etude de la fertilisation organique.

Sylvie Colleu, Pascale Guillermin, Drouin Eva, Soudet Thomas, Chafik Yassine, Epaminondas Marie

▶ **To cite this version:**

Sylvie Colleu, Pascale Guillermin, Drouin Eva, Soudet Thomas, Chafik Yassine, et al.. La reconnexion verger-élevage. Etude de la fertilisation organique.: Rapport de projet étudiant.. [Contrat] INRAE. 2021, 50 p. hal-03191914

HAL Id: hal-03191914
https://hal.inrae.fr/hal-03191914

Submitted on 20 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La reconnexion verger-élevage

Etude de la fertilisation organique

Thomas Soudet, Marie Epaminondas, Yassine Chafik

Rapport de projet étudiant

Comité de pilotage :

Pascale Guillermin (L'Institut Agro - Agrocampus Ouest)
Sylvie Colleu (INRAE)
Eva Drouin (INRAE-ACTA)

Action portée par le GIS Fruits dans le cadre du projet REVE et projet commandité par L'Institut Agro - Agrocampus Ouest.

Mars 2021

Pour citer ce document :

Soudet T., Chafik Y., Epaminondas M., Guillermin P., Drouin E., Colleu S., *La reconnexion verger-élevage,* 2021, GIS Fruits-INRAE-L'InstitutAgro, Rapport de projet étudiant, 50 pages.

HAL : https://hal.inrae.fr/hal-03191914

DOI : 10.15454/9bww-wg14

Licence CC : BY NC ND

Photo : Pascale Guillermin

Document disponible sur : https://www.gis-fruits.org/Groupes-thematiques/Approche-systeme/Projet-REVE-Reconnexion-elevage-et-vegetal-2020-2021

Remerciements

Nous remercions les commanditaires du projet, Sylvie Colleu INRAE, animatrice du GIS Fruits et Eva Drouin, ingénieur chargé de missions du projet REVE pour leur disponibilité et leurs conseils dans la réalisation de ce projet.

Nous remercions également Pascale Guillermin, tutrice du projet commandité et enseignant chercheur à l'Agrocampus Ouest de nous avoir encadrés et conseillés dans la rédaction de ce rapport.

Merci également aux producteurs qui ont répondu à l'enquête, pour le temps accordé à ce projet, le partage de leur savoir et de leur expérience sans lesquels cette étude n'aurait pas été aussi intéressante.

Table des matières

Résumé……5

I. Contexte : de fortes attentes autour d'une ambition prometteuse 6

II. Le projet REVE : objectifs et démarche 9

III. Résultats et discussion 10

A. Caractérisation de l'échantillon enquêté 10

1) Profils des producteurs enquêtés 10

2) Typologie et description des couplages réalisés 12

Les espèces végétales cultivées 12

La nature du couplage 12

Le choix de l'espèce animale 14

3) Objectifs du couplage et valorisation des produits 16

Les objectifs du couplage verger-élevage 16

La valorisation des produits du couplage 16

4) Perception du système par les agriculteurs enquêtés 16

B. Les avantages et les inconvénients du couplage 18

1) La gestion de l'enherbement 19

2) La santé des animaux 20

3) La gestion des ravageurs 21

4) Les risques sanitaires sur les produits récoltés 24

5) La biodiversité au sein de la parcelle 24

6) Organisation du temps de travail, performance économique, agronomique et environnementale 26

C. La fertilisation organique animale au sein du couplage 28

1) Les types d'apport 28

2) Les techniques mobilisées dans les systèmes couplés lors des différents apports 30

Le pâturage 30

L'épandage direct de matière organique animale 31

Le compostage 31

3) Le suivi de la qualité des sols 32

Le suivi de la fertilisation 34

Pratiques d'évaluation des propriétés physico-chimiques du sol 36

IV- Conclusion et perspectives 37

Bibliographie……39

Table des sigles et des abréviations……43

Annexes……44

Résumé

Dans un contexte de transition vers l'agroécologie, la conception de nouveaux systèmes de production conduit dans certains cas à renforcer le couplage végétal-animal et dans le cas des productions fruitières, à reconnecter l'arboriculture et l'élevage. Cette pratique pourtant ancienne a été fragilisée au fil des ans par une spécialisation croissante des ateliers de productions et une perte progressive de connaissances et savoir-faire des producteurs en la matière. C'est dans ce contexte, que le projet REVE (Reconnexion Verger Elevage) a été mis en place. Soutenu par les GIS fruits et Avenir-élevage, ce projet vise à réaliser un état des lieux des pratiques existantes en France à partir d'une enquête destinée aux arboriculteurs pratiquants le couplage verger-élevage.

Cette enquête est basée sur un questionnaire comprenant 5 rubriques dont l'une spécifiquement axée sur la fertilisation organique. Elle a permis de recueillir 24 témoignages qui ont été confronté aux données bibliographiques existantes. Les résultats ont permis de proposer une typologie des couplages existants et d'identifier les objectifs visés par les pratiquants et leur perception des systèmes couplés.

Le couplage offre de nombreux avantages. Les agriculteurs mettent en avant une gestion de l'enherbement améliorée, une meilleure prophylaxie, et une baisse de l'impact environnemental. Le bien-être animal est également amélioré. En revanche, cette pratique aboutit à une complexification importante de l'organisation du travail, souvent difficile à gérer.

L'approfondissement de l'analyse concernant les effets du couplage sur le raisonnement et les pratiques de fertilisation en verger met également en avant différents intérêts potentiels de ces pratiques. Néanmoins, elle pointe également les nombreuses interrogations à lever pour bien maitriser ces pratiques et en particulier l'évolution de ces matières organiques animales restituées au sol. D'autres études et moyens doivent être apportés afin de consolider le couplage verger-élevage.

Mots clés : agroécologie ; couplage verger-élevage ; arboriculture fruitière ; enherbement ; fertilisation organique animale ; pâturage.

I. Contexte : de fortes attentes autour d'une ambition prometteuse

La spécialisation de l'agriculture a favorisé la séparation de l'élevage et de la culture végétale. Cette séparation est majoritairement géographique, les productions animales étant prépondérantes dans certaines régions : Bretagne, Pays de la Loire, Grand Ouest et les régions montagneuses (Jouven et *al*., 2018). Cette répartition inégale des productions animales sur le territoire pose le problème de l'autonomie de certaines régions, soit pour assurer l'alimentation de leurs animaux, soit pour avoir un débouché pour les déjections animales, (Colleu, 2020). Les espaces fourragers disponibles peuvent correspondre à des zones pâturées de façon permanente ou temporaire, ou à des zones fourragères récoltées. Les sécheresses estivales aggravent cette situation, le manque d'eau diminuant fortement la croissance végétale. De manière plus générale, des prospectives récentes visant à analyser les conditions d'une meilleure intégration de l'élevage dans l'économie circulaire et l'agroécologie ont également mis en avant l'intérêt de la reconnexion culture-élevage (Caquet et *al*.,2020). L'hypothèse de base pose qu'une déspécialisation des territoires et une diversification des productions à différentes échelles conduisent à des systèmes de production et d'alimentation plus résilients et donc plus durables.

Les animaux ont aussi de nombreux avantages à apporter aux cultures végétales. Les rejets d'élevage sont des sources importantes d'apport en azote, carbone et phosphore. Leur utilisation au sein des parcelles permettrait de boucler le cycle de ces minéraux et de favoriser le cycle biologique du sol (Figure 2) (Pellerin, 2020). Ces éléments minéraux sont essentiels au bon développement des cultures afin d'assurer des rendements optimaux. L'utilisation des déjections animales permettrait de fournir en totalité ou partiellement aux cultures la part nécessaire en ces éléments minéraux. Cette biomasse favorise également la vie biologique du sol tout en étant source de microorganismes. La matière organique va également modifier les propriétés physiques et chimiques du sol. L'animal joue également un rôle dans la gestion de l'entretien des parcelles notamment en gérant l'enherbement et en favorisant la prophylaxie par l'ingestion des résidus de culture, pouvant être source d'organismes pathogènes et de ravageurs (Berger, 2018). En lien avec le développement de l'agroécologie, l'introduction d'animaux dans les parcelles cultivées pourrait aboutir à une diminution significative de l'utilisation de produits phytosanitaires accompagnée d'une diminution des coûts de production, et surtout d'une diminution de l'exposition des agriculteurs et consommateurs à des produits potentiellement toxiques et de l'accumulation dans les sols et cours d'eau de produits de synthèse non souhaités.

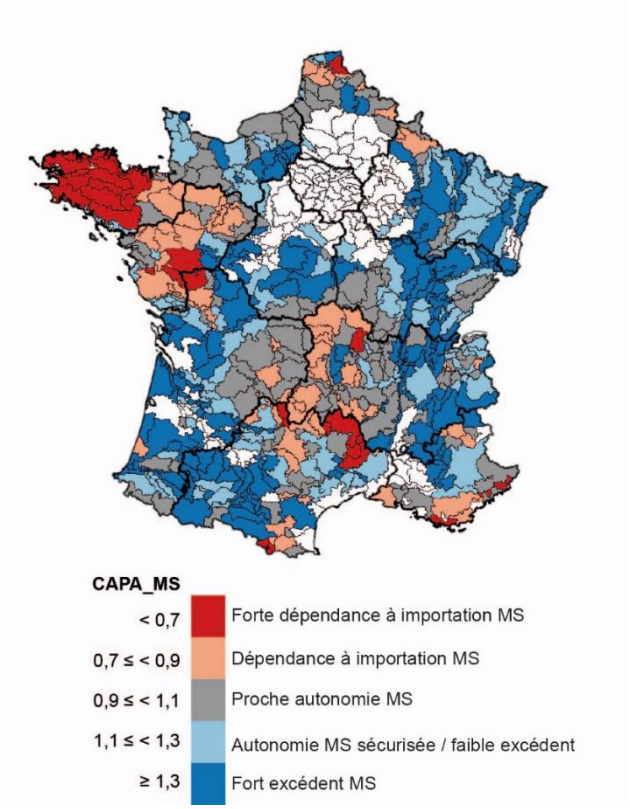


Figure 1. Répartition spatiale de la capacité à nourrir la population animale, exprimée en matière sèche (Jouven et *al*., 2018)

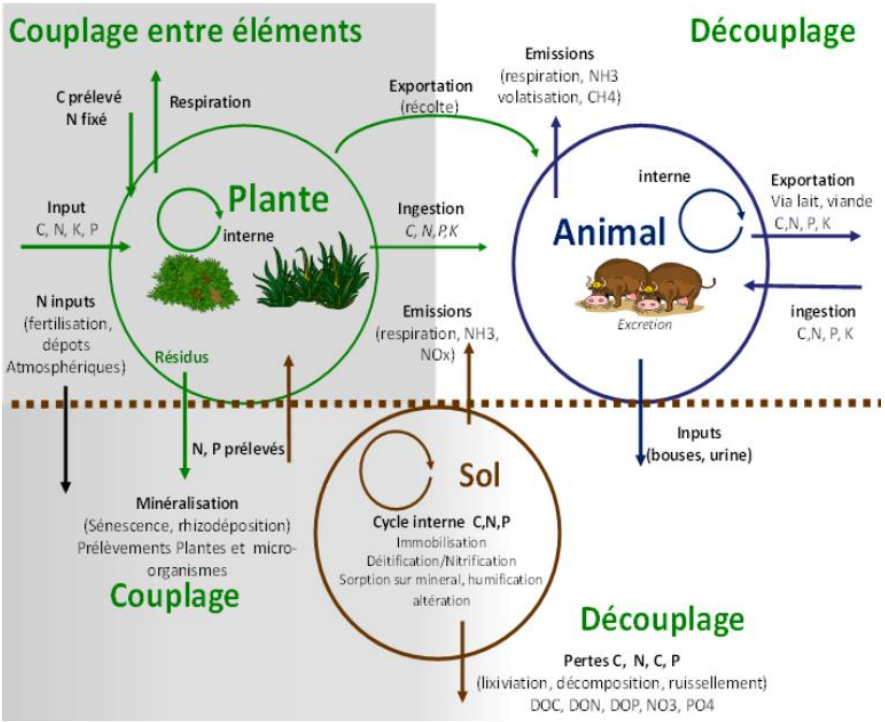


Figure 2. L'élevage est nécessaire pour boucler les cycles du carbone (C), de l'azote (N), et du phosphore (P) dans les agrosystèmes (Pellerin, 2020)

Les exploitations utilisant ce couplage sont peu importantes en France. Malgré ces présupposés positifs, le nombre d'exploitations couplant culture et élevage ne se développe pas. Ce résultat est principalement dû à une baisse drastique du nombre d'exploitations de polyculture/élevage classiquement associées à cette pratique du couplage. En 2016, près de 36000 exploitations de moyennes et grandes tailles étaient recensées en culture/polyculture-élevage, en baisse d'environ 35% depuis 2000 [1].

De nouveaux systèmes de production, comme les systèmes agroforestiers peuvent néanmoins se montrer intéressants dans cette optique de reconnexion culture-élevage. D'après le Centre Mondial de l'Agroforesterie (CMA), l'agroforesterie se définit comme "un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques, qui intègre des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural, et permet ainsi de diversifier et maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre". Ces systèmes entrent donc dans le cadre de la transition écologique, visant à réduire l'impact de l'agriculture sur l'environnement et la santé humaine, en se basant sur des services écosystémiques. L'introduction d'arbres sur des parcelles cultivées offre divers avantages. Ils améliorent la remontée des éléments minéraux en les captant en profondeur, ce qui limite les risques de lessivage et de lixiviation des nitrates. Ces éléments sont ensuite restitués au sol par la chute de leurs feuilles ce qui améliore le sol en l'enrichissant en matière organique. Les arbres améliorent également la biodiversité et ils sont sources de revenus par l'exploitation du bois, ou de leurs fruits [2]. Plus spécifiquement pour les cultures fourragères, l'impact des arbres sur le rendement dépend de la densité de plantation (Berne, 2016). Pour les prairies pâturées, les arbres sont une source d'alimentation supplémentaire par leurs résidus de culture. Certains feuillus peuvent être utilisés comme fourrage (orme, frêne, érable). En prairie agroforestière ou en verger, les arbres modifient également localement le climat, en protégeant les animaux du vent, de la pluie mais surtout des fortes chaleurs durant la période estivale améliorant le cadre de vie des animaux, et la qualité nutritive de l'enherbement (Beral et *al.*, 2018).

Un des freins majeurs de cette transition agroécologique par la reconnexion animal – végétal est le manque de ressources et de connaissances sur les pratiques : le nombre de sources bibliographiques et techniques traitant du couplage verger-élevage reste faible.

Les études disponibles visent à caractériser les bénéfices mais aussi les contraintes qu'impose la réunion des pratiques (Pellerin, 2020). Elles montrent que de multiples facteurs sont à prendre en compte, qu'ils soient agronomiques, spatiaux, socio-économiques, environnementaux, ou juridiques. En parallèle de l'approche bibliographique, l'ensemble des initiatives existantes représente autant d'expériences différentes qu'il est important de caractériser afin de pouvoir identifier la diversité des itinéraires culturaux envisageables. L'amélioration de l'encadrement technique des producteurs souhaitant développer un couplage accru culture-élevage nécessite un renforcement des connaissances scientifiques sur différents points prioritaires comme la fertilisation des sols, la gestion de l'enherbement, la gestion des problèmes phytosanitaires, la technicité demandée ainsi que les aspects socio-économiques.

II. Le projet REVE : objectifs et démarche

Dans ce contexte de réorganisation fonctionnelle et de transition agroécologique de l'agriculture française, le Projet REVE (Reconnexion Elevage-Végétal) a été initié et est piloté par l'association de plusieurs GIS : GIS Avenir Elevage, GIS Grandes Cultures, GIS Fruits et GIS PICLeg. Les GIS sont des Groupements d'Intérêt Scientifique qui contribuent, par la production de connaissances scientifiques et opérationnelles, à l'accompagnement des filières pour répondre aux attentes sociétales tout en améliorant leurs performances technico-économiques (Ruetsch, 2012). Ce projet REVE vise à faire un état des lieux de l'association culture-élevage en France afin de rassembler l'ensemble des informations déjà établies sur le sujet. Il s'intéresse aux différentes initiatives d'agriculteurs qui ont décidé de se lancer en culture/polyculture-élevage. Dans ce cadre, le GIS Fruits associé au GIS Avenir Elevage ont souhaité recenser plus spécifiquement les actions de couplage verger-élevage, et en particulier la diversité des pratiques de couplage, leurs intérêts et leurs limites pour gérer les apports fertilisants et la fertilité du sol en verger.

Pour répondre à cette problématique, un questionnaire a été élaboré afin de recenser et de caractériser les couplages verger-élevage en cours aujourd'hui. Cette enquête s'adresse aux arboriculteurs déjà engagés dans cette démarche ou souhaitant le faire. Le questionnaire a été élaboré à partir de connaissances personnelles et de premières recherches bibliographiques. Après une première partie de description générale de la démarche du producteur et des avantages et inconvénients perçus, le but est de mettre l'accent sur son intérêt pour la fertilisation des cultures. L'enquête a été mise en ligne sur le site du GIS Fruits le 1er décembre 2020: https://www.gis-fruits.org . La diffusion a ensuite été relayée à travers un réseau d'acteurs engagés. Les témoignages ont été récoltés jusqu'au 16 janvier 2021, soit pendant sept semaines. Une annonce a été diffusée par mail à 1100 destinataires inscrits sur la liste de diffusion du GIS Fruits. Cette liste

de diffusion du GIS s'adresse à toutes les personnes intéressées par la filière fruits et les activités du GIS Fruits. Elle couvre un large public : recherche, recherche-développement, enseignement, étudiants, instituts techniques et chambres d'agriculture, conseillers, professionnels, arboriculteurs… Plusieurs relances de l'annonce par mail ont été faites afin d'augmenter le nombre de témoignages et d'améliorer la représentativité de l'échantillonnage. Les témoignages récoltés ont été confrontés aux données bibliographiques existantes afin de compléter et affiner les connaissances déjà disponibles. Ce rapport sera diffusé prioritairement aux personnes ayant répondu à l'enquête et disponible sur le site web du GIS Fruits.

III. Résultats et discussion

Le nombre de répondants reste faible au regard du nombre de personnes contactées. Au 17 février 2021, on comptabilise 338 visiteurs sur la page web du GIS Fruits et 24 réponses à l'enquête. Ce fort différentiel entre visiteurs et répondants semble montrer un réel intérêt pour la thématique mais un engagement ou une volonté d'engagement dans la pratique de couplage verger-élevage qui restent limités et qui pourraient expliquer le faible taux de réponses.

A. Caractérisation de l'échantillon enquêté

1) Profils des producteurs enquêtés

Les arboriculteurs enquêtés pratiquant le couplage verger-élevage se répartissent sur toute la France, avec néanmoins un sureffectif pour les producteurs du Sud de la France, avec 16 producteurs installés dans cette région (Figure 3). Les 24 exploitations agricoles ont en moyenne une surface de 12 ha dédiée à ce couplage et sont principalement engagées dans de bonnes pratiques environnementales : 'raisonnées' (PFI) ou sous cahier des charges 'agriculture biologique'. L'engagement dans cette pratique est globalement récente : 5 ans ou moins pour 50 % d'entre eux. Seulement 17 % ont toujours pratiqué cette association (Figure 4). Les motivations qui ont poussé les arboriculteurs à se lancer dans ce couplage sont nombreuses et reposent autant sur des objectifs techniques (gestion de l'enherbement, des ravageurs, valorisation des effluents d'élevage), que sur des aspects plus idéologiques.

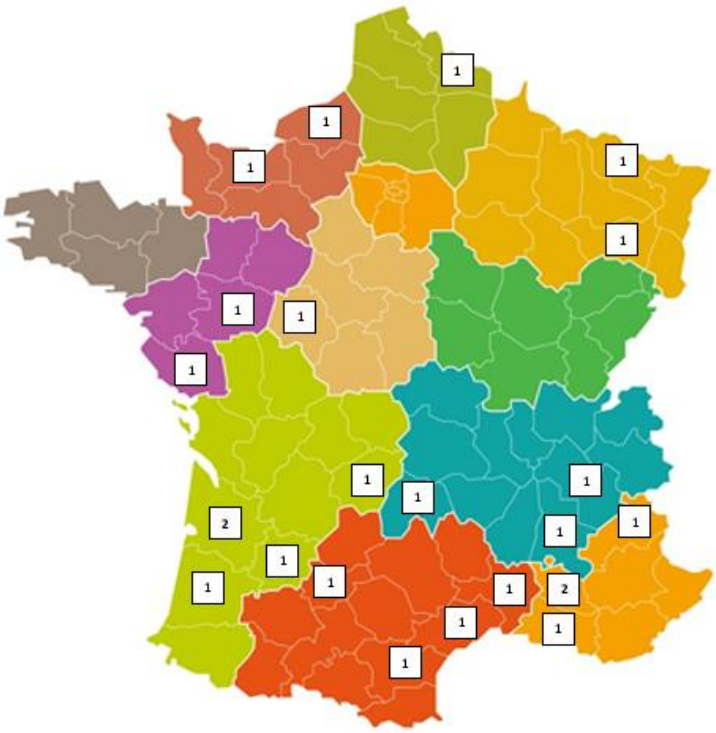


Figure 3. Localisation des 24 témoignages en France par région

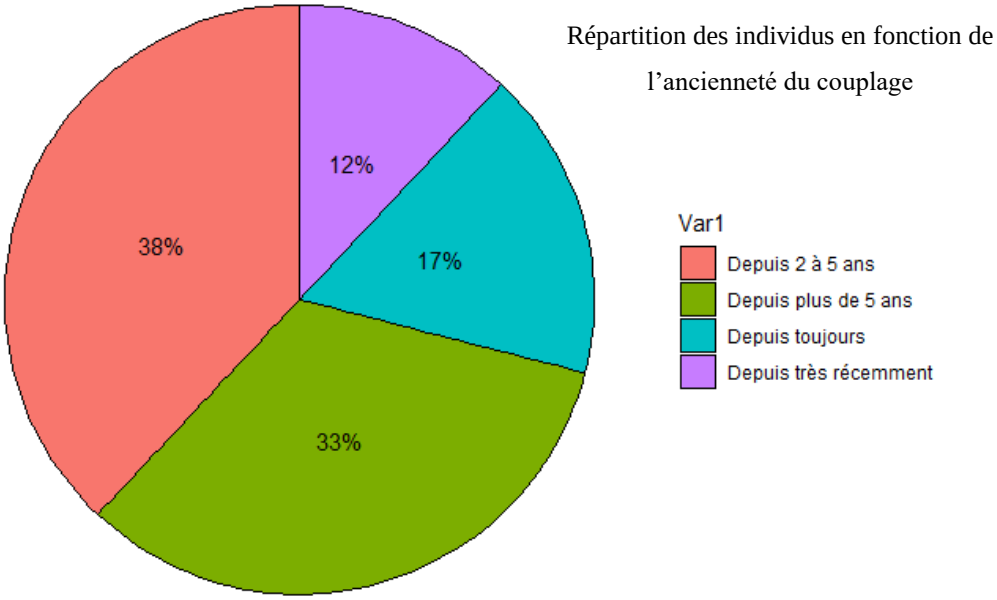


Figure 4. La moitié des agriculteurs pratiquent le couplage verger-élevage depuis moins de 5 ans (24 réponses)

Ainsi, de nombreux agriculteurs se sont engagés dès leur installation ou par la suite afin de revenir vers un système plus proche de leurs valeurs écologiques et recréer des écosystèmes fonctionnels. Un témoignage intéressant met en avant l'envie de recoupler agriculture et élevage dans l'optique de créer "*une économie circulaire"* au sein de l'exploitation. L'idée est de valoriser au mieux tout ce qui est produit au sein de l'exploitation dans le but de limiter les besoins en intrants extérieurs.

2) Typologie et description des couplages réalisés

Les espèces végétales cultivées

Au sein des vergers, cinq espèces sont majoritaires : pommiers, noyers, pêchers, cerisiers et pruniers représentent 78 % des espèces fruitières associées à des couplages. En ajoutant les poiriers et les vignes, on atteint près de 92 % des espèces représentées (Figure 7). D'autres espèces végétales sont très souvent cultivées sur l'exploitation : cultures céréalières, betteraves, engrais verts, et haies fruitières multi-espèces.

La nature du couplage

La majorité des producteurs interrogés (77 %) déclarent laisser leurs animaux pâturer directement sur la parcelle (Figure 8). Le pâturage peut être soit pratiqué toute l'année, excepté en période de récolte (pâturage permanent), soit de façon temporaire, en général pendant le repos hivernal, c'est-à-dire de la récolte des fruits au débourrement des arbres (pâturage temporaire). Dans ce cas (pâturage direct), l'arboriculteur peut être le propriétaire du troupeau ou avoir conclu un accord avec un éleveur. Les animaux rendent alors des services directs comme la gestion de l'enherbement et la fertilisation des parcelles par leurs déjections. Chez d'autres agriculteurs (14%), les animaux sont présents dans l'exploitation et une partie des effluents est utilisée pour fertiliser le verger. Il s'agit donc d'un couplage à l'échelle de l'exploitation. Enfin, pour 9% des cas (2 producteurs) des produits d'origine animale, non originaire de l'exploitation sont importés, soit issus d'échanges entre voisins à courte distance, mais ils peuvent aussi se faire à longue distance et dans ce cas le produit échangé peut parcourir jusqu'à 400 km. L'un de ces producteurs possède un contrat éleveur-agriculture. Il s'agit d'une convention passée avec un lycée agricole voisin fournissant du fumier de bovin en échange d'une estive sur les prairies de l'unité expérimentale du lycée.

Ces premières observations sont conformes aux résultats de Pellerin (2020) qui met en évidence le faible développement des échanges d'effluents entre régions spécialisées en élevage ou en culture végétale, et donc le faible développement des échanges sur de longues distances. Cet auteur suggère que la gestion du stockage et de la collecte des effluents sont des freins majeurs à la mise en place de ces échanges inter - régions.

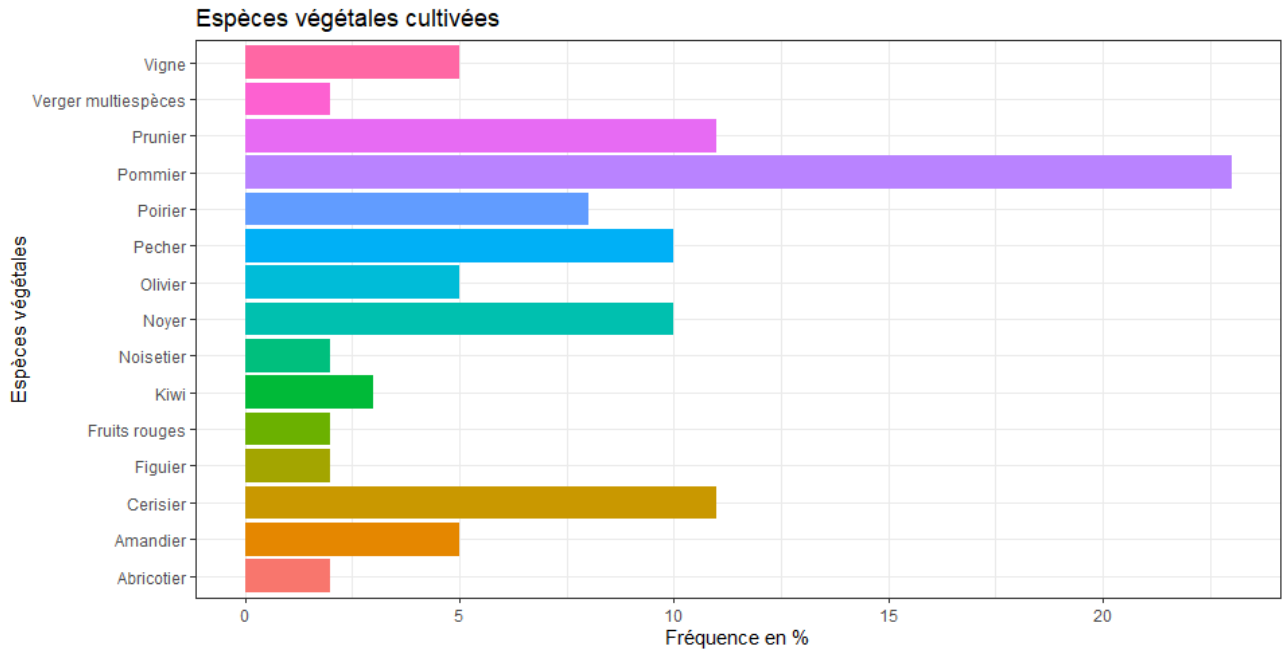


Figure 7. Pommiers, pruniers, pêchers, noyers et cerisiers sont les cinq espèces majoritaires utilisées dans le couplage verger-élevage (24 réponses)

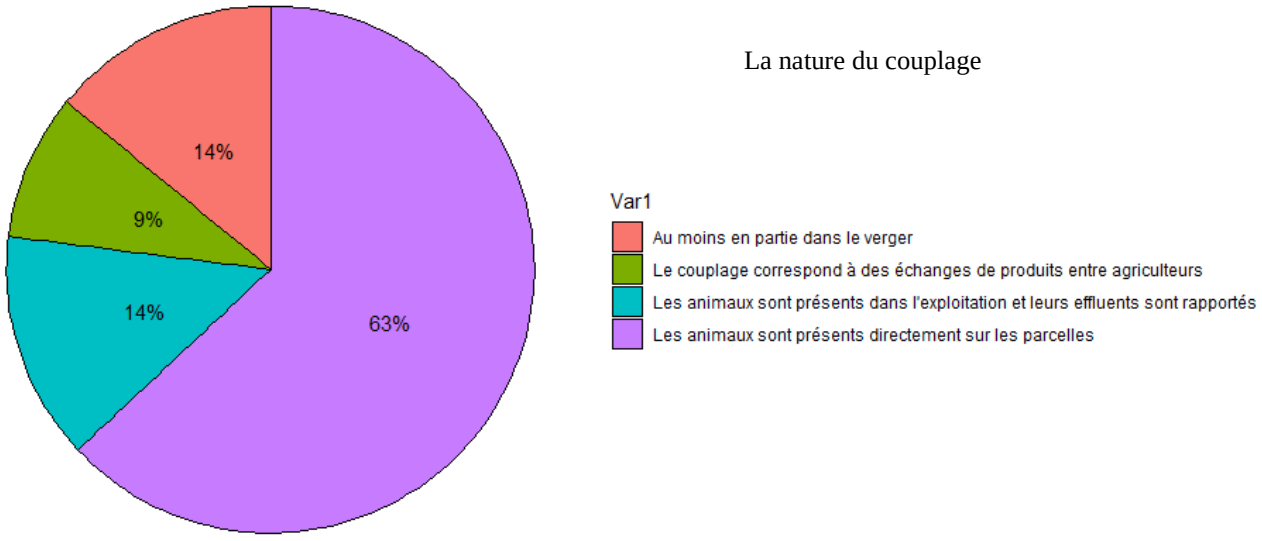


Figure 8. Pour 63 % des agriculteurs, les animaux sont directement présents dans la parcelle (24 réponses)

Le choix de l'espèce animale

L'enquête montre que les ovins, bovins, volailles et équins représentent environ 94 % des animaux présents sur les exploitations pratiquant le couplage (Figure 5). Dans certains cas, plusieurs espèces animales sont présentes sur l'exploitation. Les couples les plus observés sont ovins/volailles, bovins/ovins et bovins/équins. Lorsqu'une seule espèce est présente sur l'exploitation se sont majoritairement des bovins et des ovins. A l'échelle des exploitations enquêtées, la diversité des modes d'utilisation de ces animaux (viande, lait, autres …) rend difficile la comparaison du nombre d'animaux présents sur les exploitations 'en couplage' avec les chiffres des exploitations spécialisées en élevage. D'une manière générale, ce nombre d'animaux reste faible.

L'enquête n'a pas permis d'identifier précisément les races animales majoritairement utilisées. Deux races ont néanmoins été citées au cours de l'enquête. Un des arboriculteurs utilise la race de poney Galloway. Ce sont de petits animaux de 1m40 au garrot, capables de se déplacer avec facilité entre et sous les arbres. Pour les ovins, la race de mouton Shropshire est citée à trois reprises dans l'enquête. Elle est connue pour son utilisation au sein des plantations d'arbres car elle ne s'attaque pas aux troncs et ne se nourrit que d'espèces herbacées contrairement à d'autres races telles que la race Solognote (Jammes, s.d. ; Meyer et Lagriffoul, 2016). Pour les volailles, aucun aspect négatif n'a été relevé par les arboriculteurs. Aucun témoignage n'a été obtenu sur l'utilisation de caprin en couplage. En effet, les caprins ne sont pas forcément adaptés à cette pratique du fait de leur facilité à s'appuyer et manger les écorces des arbres.

Les critères de choix des espèces et races animales seraient à approfondir. Des premiers travaux [3] montrent que ce choix se fait principalement en fonction du comportement de l'animal, de la culture mise en place et des effets recherchés (Figure 6). Des animaux dociles, qui n'abîment pas les arbres et dont le gabarit est en adéquation avec la ou les cultures associées sont recommandés : les animaux ne doivent pas avoir accès aux fruits et branches de l'arbre. Dans cette optique, les bovins et équins adultes ne sont pas adaptés aux vergers où les branches et les fruits sont proches du sol. En cas d'utilisation, il est conseillé de supprimer les branches basses ou de cultiver des vergers haute tige (Hardy, 2019). Il est ainsi important d'adapter soit l'animal à la culture, soit la culture à l'animal

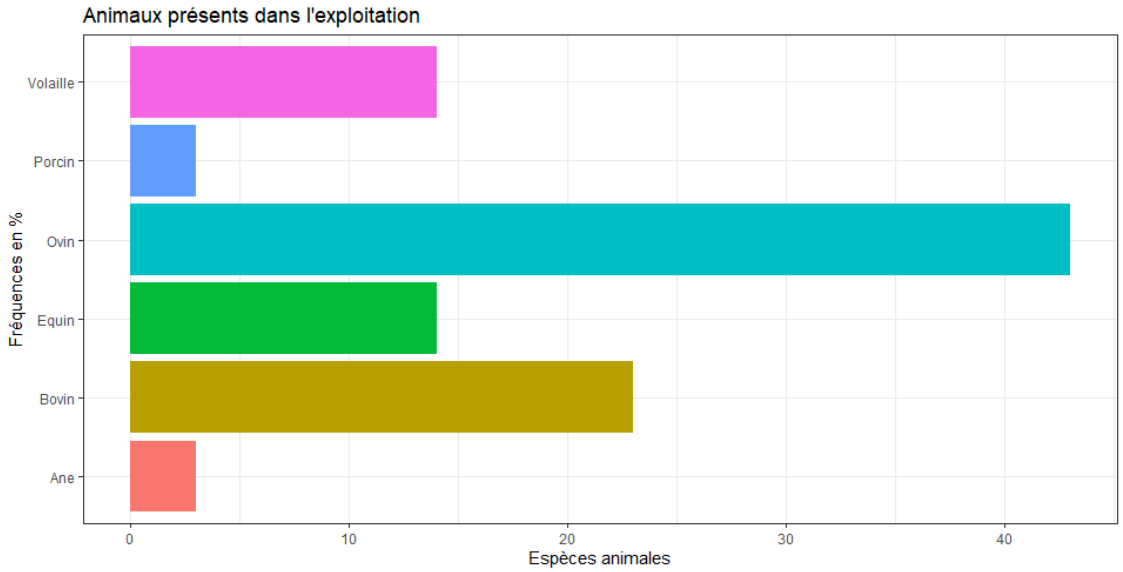


Figure 5. Ovins, bovins, équins et volailles représentent la majorité des animaux utilisés en couplage verger-élevage (24 réponses)

Pré-verger	Bovins adulte	Jeunes bovins	Ovins	Equins	Caprins	Volailles
Pommier	arbres > 25 ans	Oui	Oui	NON	A EVITER	Oui
Poirier	arbres > 25 ans	Oui	Oui	NON	A EVITER	Oui
Prunier	NON	A EVITER	Oui	NON	NON	Oui
Cerisier	Oui	Oui	Oui	NON	NON	Oui

Figure 6. Compatibilité d'espèces d'animaux avec quatre cultures fruitières en pré-verger (osez-agroécologie.org) [3]

3) *Objectifs du couplage et valorisation des produits*

Les objectifs du couplage verger-élevage

Les objectifs ayant poussé les agriculteurs à s'engager ou à renforcer le couplage végétal-animal sont principalement environnementaux (22 %) et agronomiques (21 %), suivis par des objectifs économiques (12 %), d'autonomie (12 %) et de résilience (9 %) (Figure 9). Plus précisément, il ressort des différents témoignages deux importants effets attendus : la diminution du coût et de la gestion du désherbage, et l'action prophylactique des animaux au sein des cultures dans le but de diminuer les pertes et coûts en traitements phytosanitaires. La diminution des coûts de carburant et de la pollution atmosphérique est également citée.

La valorisation des produits du couplage

Les fruits issus des cultures couplées sont majoritairement dédiés à la consommation directe (55 %) et dans une moindre mesure, à la transformation : cidre, calvados, (39 %). Certains témoignages correspondent à des projets de recherche, et dans ce cadre, les fruits sont réservés à l'expérimentation (6 %) (Figure 10). Dans ces systèmes couplés, la valorisation du produit semble être une dimension importante aux yeux des producteurs**.**

Les animaux présents dans les exploitations et notamment les ovins sont élevés principalement pour leur viande. Les produits animaux (viande, fromage, …) sont souvent mis en avant à travers des labels notamment (IGP, AB, AOP, AOC). La valorisation n'est pas uniquement alimentaire, elle peut également concerner la reproduction ou des services rendus par l'animal : traction animale ou encore promenades. La plupart des agriculteurs enquêtés font de la vente de proximité : AMAP, vente directe ou encore autoconsommation.

4) *Perception du système par les agriculteurs enquêtés*

Pour 62% des agriculteurs témoignant, ce système de production n'est pas perçu comme une innovation. C'est ce qui apparaît aussi dans ces commentaires libres : "*Les vergers pâturés ne datent pas d'hier*" ou bien " *il s'agit de pratiques anciennes qui sont encore largement la règle dans les agricultures des pays en voie de développement*". Ce système est majoritairement perçu comme un retour aux sources, vers des pratiques plus anciennes et en accord avec le respect de l'environnement. Cette vision est cohérente avec le fort pourcentage d'agriculteurs (92 %), qui pensent que leur système végétal-élevage est durable comme le résume cette citation : "*Une pratique avec des atouts écologiques, économiques, sociaux, sanitaires est la définition de la durabilité dans le temps*".

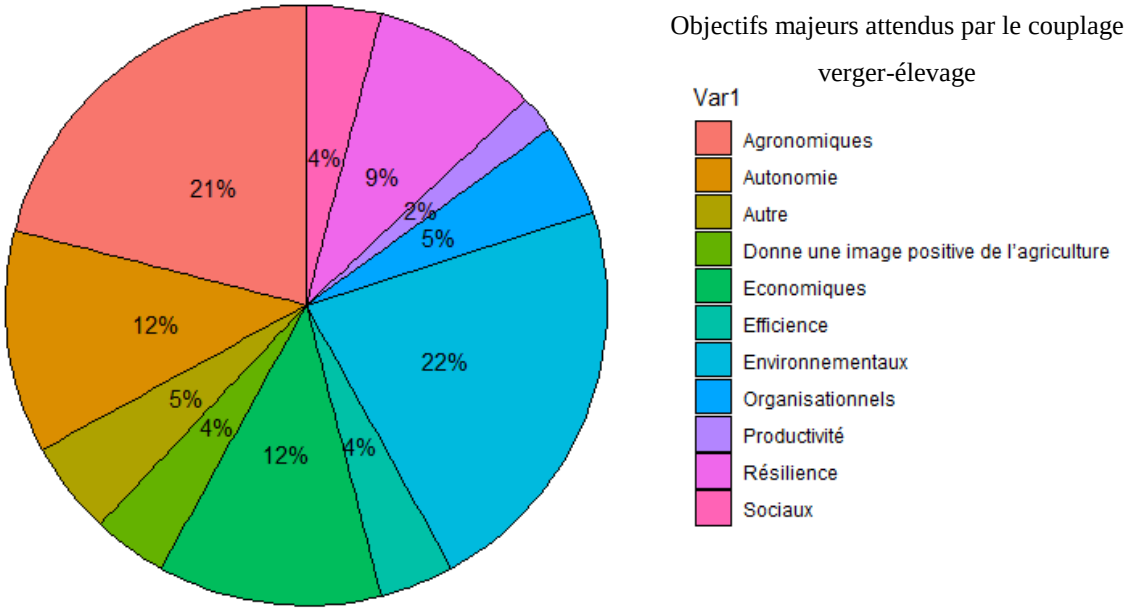


Figure 9. Les quatre objectifs majeurs attendus sont environnementaux, agronomiques, l'autonomie et économiques (24 réponses)

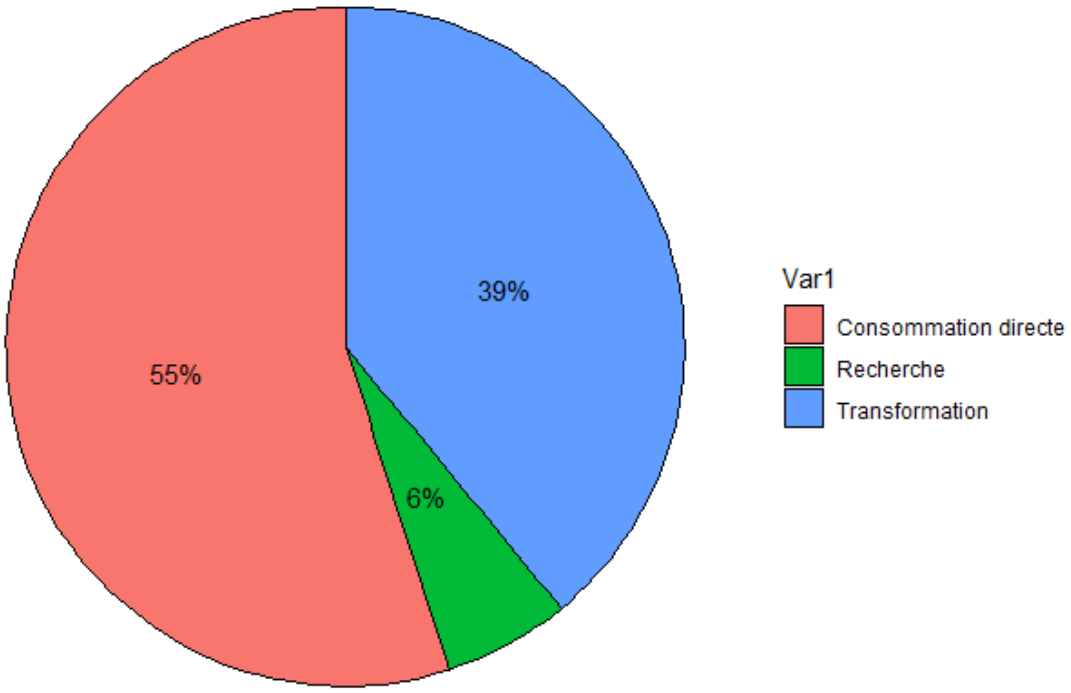


Figure 10. Les fruits sont principalement destinés à la consommation directe (23 réponses)

Même si la viabilité se fait souvent sur le long terme du fait des difficultés d'optimisation souvent rencontrées, surtout les premières années, 96 % des agriculteurs ayant répondu sont favorables à la poursuite de leur activité en verger-élevage. Pour beaucoup d'entre eux, cette pratique est en lien avec leur état d'esprit et leur conception de ce que devrait être l'agriculture.

Les objectifs visés lors de la mise en place des systèmes sont globalement atteints. Du point de vue social, ils sont bien perçus (bien-être animal, ...) et renforcent le lien entre les agriculteurs. D'un point de vue environnemental, le couplage tend vers une diminution des rejets liés aux véhicules, ainsi qu'une diminution du recours aux pesticides et à la fertilisation minérale. Un certain manque de recul et d'informations sont néanmoins souvent mis en avant lorsqu'il s'agit d'évaluer un peu précisément ces systèmes. Ainsi par exemple, l'optimisation des quantités d'apports fertilisants suite au couplage reste difficile à quantifier. Au final, environ 90 % des agriculteurs donnent une note supérieure ou égale à 7/10 à leur système.

B. Les avantages et les inconvénients du couplage

Les avantages et les inconvénients majeurs rencontrés sont présentés dans le tableau I

Avantages majeurs	Inconvénients majeurs
Meilleure gestion de l'enherbement (24 %)	Augmente la complexité dans l'organisation du travail (32 %)
Autonomie en fertilisation (17 %)	Manque de références et de conseil (21 %)
Bien-être animal (15 %)	Augmente l'UTH (18 %)
Prophylaxie vis-à-vis des maladies et ravageurs des vergers (14 %)	

Tableau I. Avantages et inconvénients majeurs perçus par les agriculteurs enquêtés (24 réponses) (Pour plus de détails voire Figures 11 et 12).

Six grands thèmes ressortent de ces témoignages.

1) La gestion de l'enherbement

L'avantage premier du couplage verger-élevage ressenti par les arboriculteurs est la meilleure gestion de l'enherbement (24 %) (Figure 11), résultant d'une pâture libre des animaux sur la parcelle pour la plupart des arboriculteurs. Ce pâturage permet la diminution du nombre de passages en désherbage chimique et du nombre de broyage/fauchage (Corroyer, 2017 ; Hardy, 2019 ; Jammes, s.d.). L'utilisation de moutons Shropshire a déjà fait ses preuves dans la gestion de l'enherbement en viticulture (Furet, 2020). Corroyer (2017) indique qu'une densité de 4 brebis/ha serait optimale afin de conserver une hauteur d'herbe adéquate pour ces animaux (de 3 à 8 cm) (Sagot et Pottier, 2008) et permettrait de diminuer par deux le nombre de passages de coupe mécanique. D'après Hardy (2019), le pâturage pourrait remplacer un à trois passages de gyrobroyeur. Le rôle des volailles dans le contrôle biologique des adventices dans les vergers a été étudié par Lavigne et *al*. (2012). Une densité d'environ 910 poulets/ha permet de lutter de façon efficace contre certaines adventices.

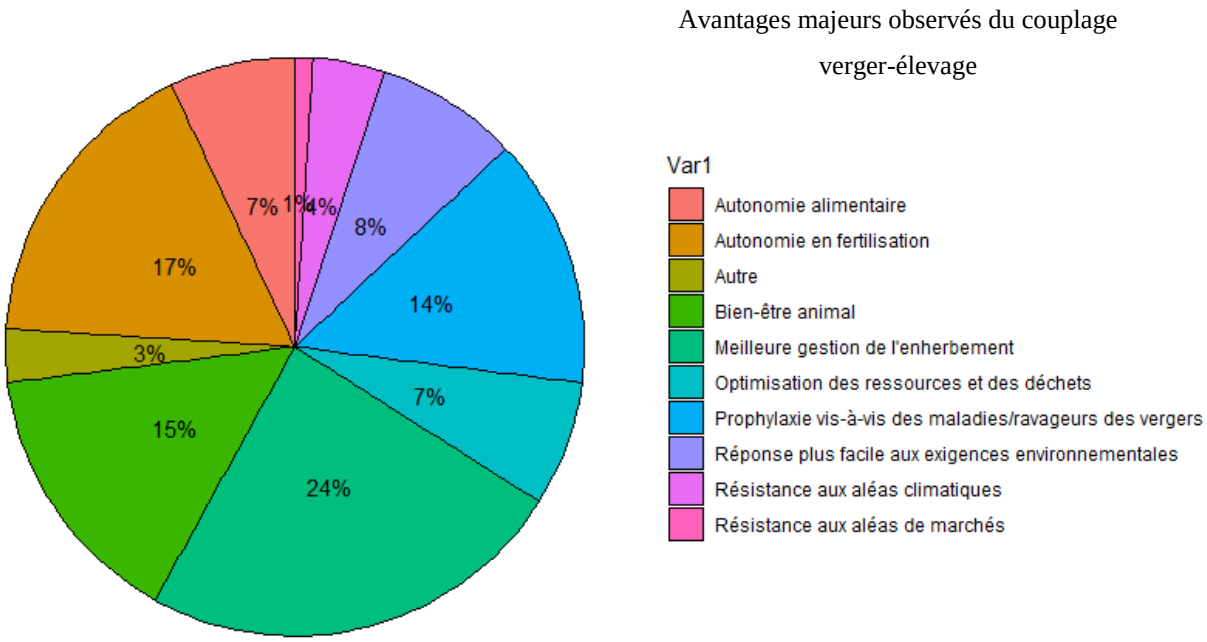


Figure 11. Les avantages majeurs attendus du couplage sont une meilleure gestion de l'enherbement, le bien-être animal, l'autonomie pour la fertilisation et la prophylaxie (24 réponses)

Si la charge de poulets est trop faible, il est préférable de les remplacer par les oies, plus efficaces car totalement herbivores. En effet, un poulet consomme environ 60 g d'herbe/jour contre 1 kg pour une oie (Lavigne et *al*, 2013). Cependant, les oies se montrent davantage sélectives vis-à-vis des espèces végétales consommées. Ainsi mélanger les deux espèces de Gallinacés peut s'avérer intéressant, les poules/poulets allant dans des zones non pâturées par les oies. Pour ces dernières, une densité allant de 50 à 100 oies/ha est recommandée (Lavigne et *al*, 2013). Les canards sont moyennement sélectifs mais moins efficaces que les oies (200 g d'herbe/jour) et peuvent être introduits entre 400 et 500/ha (Lavigne et *al*, 2013). Concernant le comportement des ruminants, Beral et *al.* (2018) ont mis en évidence l'importance de la recherche d'ombre par ces animaux pendant les périodes de forte chaleur. Quand ils sont à l'ombre, les animaux privilégient les activités de repos et de rumination et inversement pour l'activité de pâturage. Quelle que soit l'espèce introduite, la gestion de la quantité d'herbe et de la charge animale restent des points cruciaux à maitriser. Par une bonne gestion des animaux dans la parcelle, il est nécessaire de trouver un compromis entre une ration suffisante pour les animaux et la présence d'un couvert qui ne concurrence pas les arbres (Hardy, 2019).

2) La santé des animaux

Les agriculteurs indiquent également que le pâturage participe au bien-être animal (15 %) (Figure 11). D'une part, les animaux sont élevés en plein air, élément apprécié des consommateurs, notamment pour les volailles (Moerman et Rondia, 2019). D'autre part, le système verger crée un microclimat favorable pour la protection des animaux en période de haute température. Une baisse de température allant jusqu'à 6°C peut être observée en période estivale sous les arbres, ce qui améliore la thermorégulation des animaux. Les arbres permettent aussi de protéger les animaux de la pluie et du vent (Moreau, 2018). L'étude de Beral et *al.* (2018) montre par ailleurs que la quantité et la qualité de la biomasse herbacée agissent sur la santé des animaux. Les prairies arborées seraient plus riches en azote, donc plus nourrissantes pour une biomasse inférieure. Au niveau du parasitisme animal, aucune conclusion n'a pu être tirée de l'effet de la présence d'arbres (Beral et *al.*, 2018).

Le pâturage des animaux améliore aussi leur autonomie alimentaire comme mentionné par 7% des répondants (Figure 11). En plus de l'herbe, les animaux se nourrissent également des déchets de culture. Sur ce point, néanmoins, l'ingestion par les animaux de fruits pourris peut s'avérer dommageable pour leur santé comme rapporté pour les ovins (Beral et *al.*, 2018). Les fruits pourris peuvent abriter des organismes fongiques comme Aspergillus, Penicillium et Fusarium (Cinq-Mars et *al*, 2003 ; Asher, 2015). Ces organismes peuvent produire des mycotoxines qui sont des métabolites secondaires pouvant être néfastes pour la santé des animaux.

Les bovins sont relativement résistants à ce genre de toxine. Cependant, l'ingestion de fruits contaminés en grande quantité peut provoquer une suraccumulation de ces toxines dans les organismes. Cela peut entraîner une diminution de la digestibilité des fibres, un arrêt total d'alimentation, une diminution de l'immunité et des répercussions sur la reproduction, pouvant mener à des avortements. Des observations similaires ont été observées chez les ovins (Cinq-Mars, 2003 ; Asher, 2015). Il est tout de même important de noter qu'aucun agriculteur enquêté n'a rencontré ou partagé de tels problèmes.

Le surpâturage peut également être nocif pour la santé des animaux. En effet, il peut favoriser le développement parasitaire avec la présence de strongles (parasites intestinaux) ou de myiases (développement de larves de diptères sur la peau ou dans divers organes) (Jammes, s.d.). Les larves de strongles se concentrent sur le bas de l'herbe et atteignent plus facilement les animaux en situation de surpâturage [4]. Il semblerait que les bousiers, favorisés par la présence des déjections animales, assurent le transport d'acariens prédateurs *Macrochelidae* qui, en se nourrissant des larves de strongles peuvent diviser par quatre leur prévalence (Bloor et *al*., 2012). Enfin, le sol, moins protégé par la couverture végétale, est plus sensible aux souillures, or elles sont des facteurs favorisant les myiases [5].

3) La gestion des ravageurs

Dans cette enquête, la prophylaxie vis-à-vis des maladies/ravageurs des vergers est également citée comme un avantage majeur attendu du couplage (14 %) (Figure 11). Cependant, dans les réponses des changements effectivement observés, seulement 6 % d'entre elles indiquent une diminution des problèmes phytosanitaires (Figure 13). Il est difficile d'évaluer si les diminutions observées sont le fruit du couplage indiquent certains arboriculteurs. Deux témoignages mentionnent cependant une diminution de carpocapses, et de la tavelure. Ils sont en accord avec les réponses de l'enquête menée par Hardy (2019). Les travaux menés sur cette question (Jammes, s.d. ; Corroyer, 2017 ; Hardy, 2019) suggèrent que cet effet bénéfique sur la régulation des pathogènes/ravageurs est principalement du à l'ingestion, par les animaux, des déchets de culture (fruits, feuilles, branches) entraînant une diminution de la pression de certains des organismes contenus dans les débris de culture (effet prophylactique). A titre d'exemple, Wenneker et *al*. (2018), ont travaillé sur la présence, dans les vergers de pommiers, de deux pathogènes sur les fruits tombés au sol, mais également dans la litière de feuilles et herbes mortes.

Ces deux pathogènes : *Neofabraea spp*. et *Cadophora spp*, sont responsables de maladies post récolte sur pommes et poires. Toujours concernant les maladies fongiques, il est bien connu que les feuilles infectées par la tavelure en fin d'été et conservées sur le sol durant l'hiver seront des sources d'infestation des jeunes pousses et des fruits au printemps suivant [6]. Corroyer, 2017, a observé qu'après deux années de pâturage, il y avait moins d'inoculum de la tavelure dans les vergers pâturés comparés aux vergers non pâturés. Les résidus de culture peuvent également abriter des insectes ravageurs (Ecophytopic, 2018). Le *Carpocapse*, dont la première génération apparaît entre fin avril et fin mai, pond ses œufs au printemps dans les feuilles, fruits, et rameaux. Après l'éclosion, les larves entrent dans les fruits afin de s'en nourrir. Il est donc nécessaire d'agir en amont afin de limiter les risques de maladies et dégâts causés par les ravageurs sur les fruits commercialisés. Des témoignages de l'étude de Jammes (s.d,) indiquent une diminution de la pression de carpocapses suite à l'introduction de cochons et de poules, avec une densité idéale d'environ 200 à 300 poules/ha. La même observation a été faite suite à l'introduction d'ovins. D'une manière générale, le nettoyage, par les animaux, des résidus de branches, fruits, feuilles et herbes, accompagné par la taille des branches basses pour faciliter le passage des animaux, améliore l'aération du verger et diminue l'humidité souvent propice au développement des pathogènes. Elles limitent également les risques de contamination des feuilles basses de l'arbre par des éclaboussures venant du sol et chargées d'agents contaminants.

Dans un autre registre, l'augmentation de la matière organique liée aux apports animaux peut également impacter le développement des organismes pathogènes du sol en favorisant la diversité des microorganismes (Vida et *al*. ,2020). C'est l'effet dit suppressif de la matière organique, qui serait également présent dans le compost. Ainsi, la diversité et l'activité des organismes microbiens présents dans le compost peuvent prévenir la germination des spores fongiques et la multiplication de souches microbiennes pathogènes. Cependant, cet effet suppressif ne s'applique pas à tous les pathogènes et peut, dans certains cas, s'avérer inefficace (Hoitink et Grebus 1997). Un compost trop stabilisé par exemple perdra son effet suppressif.

Une diminution de la pression des campagnols a également été observée par les agriculteurs. Le piétinement du sol par les animaux crée certainement une gêne pour les rongeurs qui préfèrent quitter la parcelle (Jammes, s.d). Corroyer (2017) parle d'une diminution d'un facteur deux du nombre de terriers avec la présence d'ovins dans les vergers. De la prédation a également été observée suite à l'introduction de cochons dans les parcelles notamment de jeunes et de femelles en gestation (Jammes, s.d.).

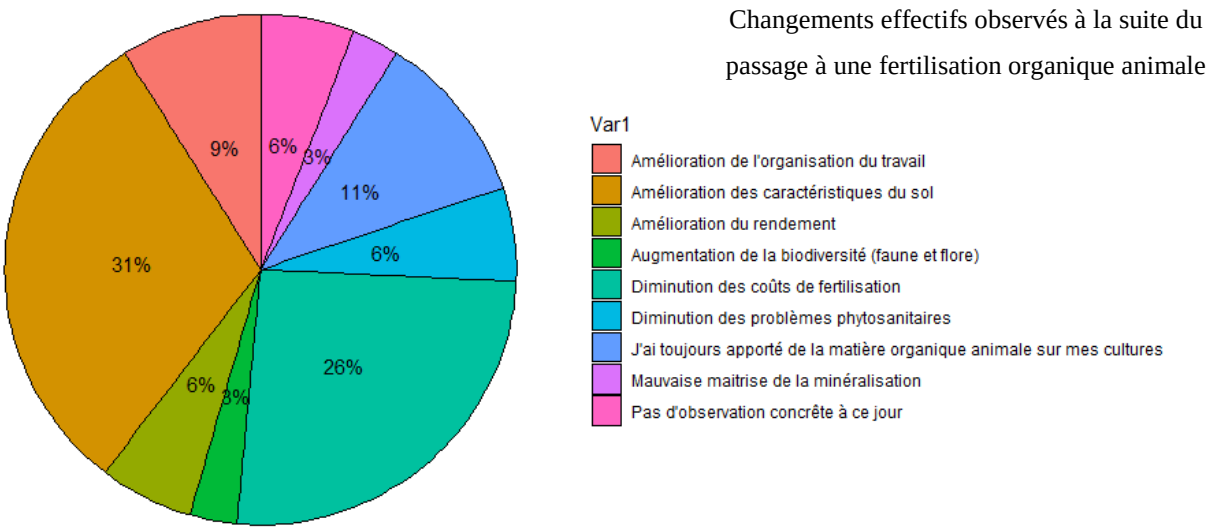


Figure 13. Les deux principaux changements observés sont l'amélioration des caractéristiques du sol, et une diminution du coût de fertilisation (17 réponses)

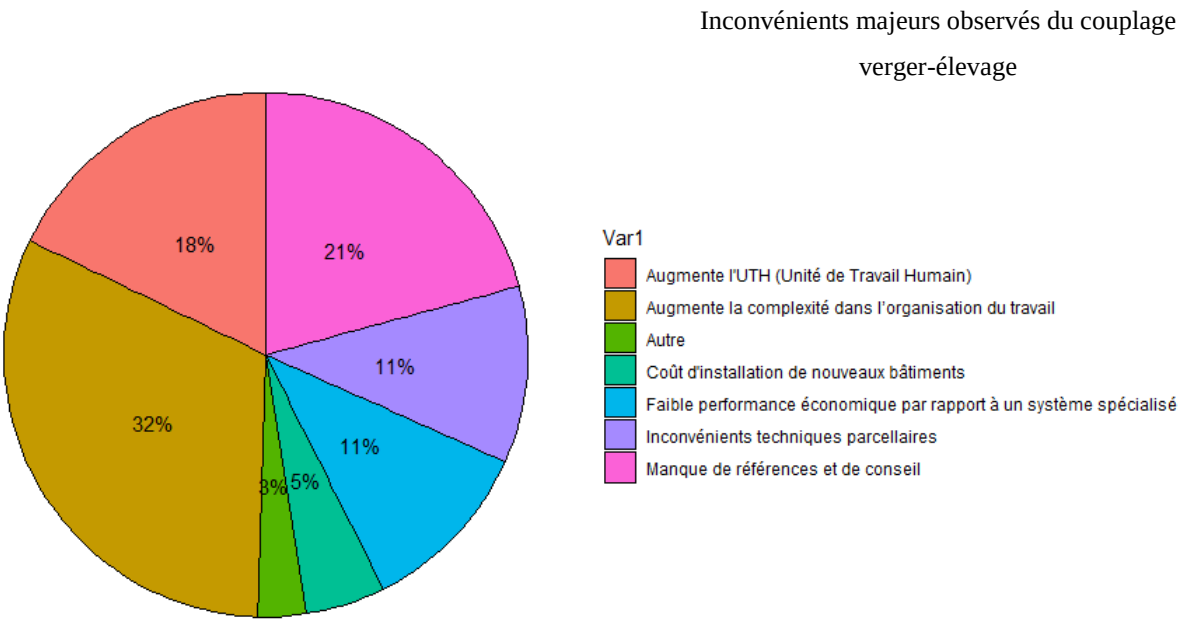


Figure 12. Les principaux inconvénients du couplage semblent être la complexification organisationnelle, le manque de références et l'augmentation de l'UTH (24 réponses)

4) Les risques sanitaires sur les produits récoltés

Les réponses au questionnaire ne permettent pas de mettre en évidence des problèmes sanitaires dus aux bactéries potentiellement présentes dans les déjections animales. Dans le cadre de produits destinés à la consommation directe, surtout si ceux-ci sont ramassés au sol, cet aspect doit néanmoins rester comme un point de vigilance notamment pour la présence d'*Escherichia coli* et de *Salmonella*. *E.coli* est présumée ne pas être omniprésente dans l'environnement, par contre les Salmonelles sont connues pour survivre de longues périodes à l'extérieur de leur hôte, entre autre dans la matière organique. Dans leur étude, Hruby et *al*. (2018) ont montré qu'il était possible de retrouver la présence de bactéries fécales un an après l'incorporation de déjections dans le sol.

5) La biodiversité au sein de la parcelle

Le couplage semble s'accompagner souvent d'une modification de la biodiversité au sein des parcelles : en réponse à la question des effets positifs sur l'environnement, l'amélioration de la biodiversité est en première place avec 29 % des réponses (Figure 14). De façon plus précise, 76 % des réponses indiquent une amélioration constatée de l'abondance et/ou de la diversité en macro/microorganismes (Figure 15). Certains auteurs (Bloor et *al*., 2012) montrent cependant que cette modification de l'environnement induite par le couplage est complexe et hétérogène.

Dans certains cas, la présence d'animaux va favoriser l'établissement et le développement de nouveaux organismes dans les vergers. En ce qui concerne la végétation, les déjections animales apportant humidité et nutriments favorisent la germination de certaines espèces végétales, en particulier des graminées qui se développent au détriment des légumineuses (Berne, 2016). A l'échelle de la parcelle, la forte hétérogénéité de structure du couvert, générée par un pâturage équin semble améliorer la diversité végétale comparativement à un pâturage bovin. Les ovins quant à eux délaissent davantage les zones rases favorisant les zones d'herbe hautes. Ils limitent ainsi le développement des espèces fortement compétitives (Bloor et *al*., 2012). Cet impact de la présence animale sera différent en fonction de la pression exercée sur le milieu : la pratique de rotations permet une reconstruction de la flore ce qui est moins le cas si les animaux sont continuellement présents. En ce qui concerne la diversité animale, il a été montré que les déjections animales peuvent attirer les insectes coprophages et leurs prédateurs tels que des hyménoptères parasitoïdes, nématodes, acariens, coléoptères également présents dans les déjections (Bloor et *al*., 2012). Les îlots de végétations sont aussi des sites d'hivernages pour certaines espèces d'insectes tels que des coléoptères et des araignées (Bloor et *al*., 2012).

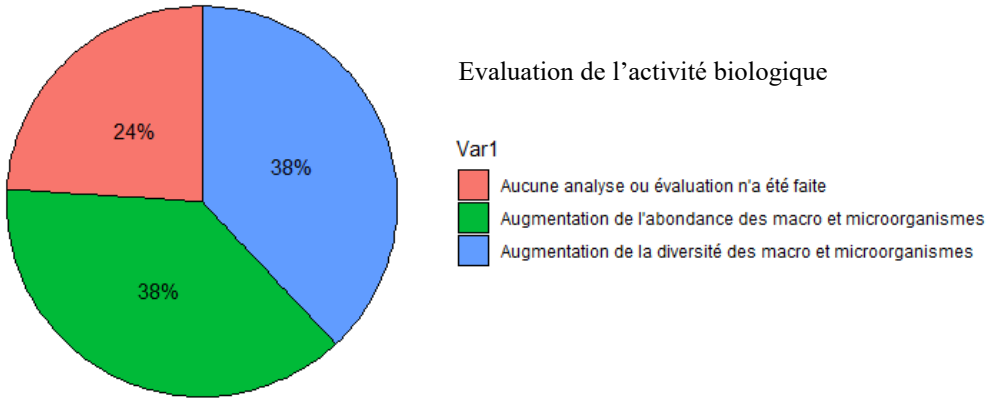


Figure 15. 76 % des réponses indiquent une amélioration de la biodiversité en macro et microorganismes (16 réponses).

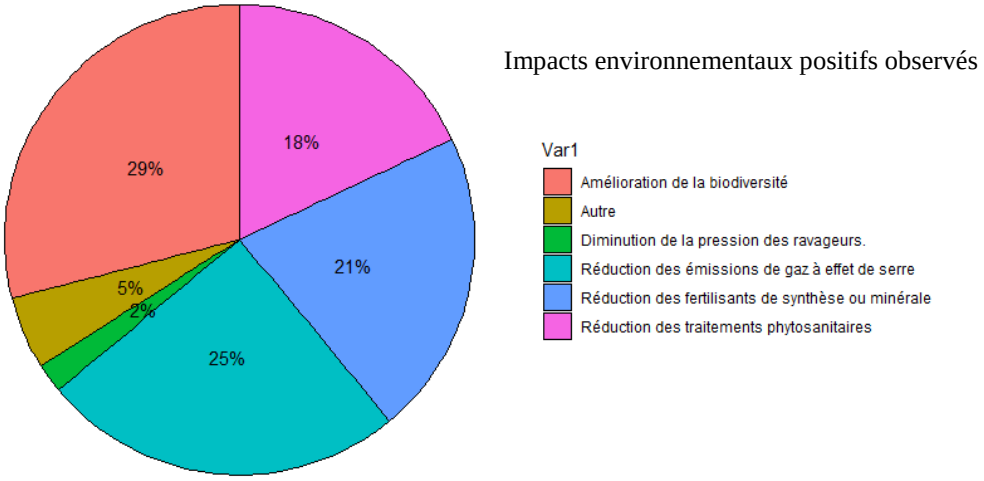


Figure 14. Les principaux effets positifs sur l'environnement sont l'amélioration de la biodiversité, la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la réduction des fertilisants de synthèse (24 réponses)

D’autres observations citées par les auteurs relatent également la présence de cloportes, bousiers, scarabées, cétoines, et papillons. Dans le cadre de l’enquête, un agriculteur a mentionné une augmentation importante des populations d’insectes et notamment les populations de criquets bleus, rouges et grillons. Ces observations ont été faites une dizaine d’années après l'arrêt des traitements insecticides et l’introduction des animaux.

Cependant, dans d’autres situations la présence d’une forte concentration ponctuelle en excréments, va au contraire impacter négativement la biodiversité en favorisant le développement très spécifique de certaines espèces aussi bien végétales (plantes nitrophiles) qu’au niveau de l'entomofaune (Bloor et *al*., 2012). Un piétinement important de certaines zones de passages favorise les développement d’espèces résistantes telles que le ray-grass anglais ou le pâturin des prés (Berne, 2016). Le surpâturage, durant lequel les animaux broutent à ras les espèces végétales qui ne peuvent se régénérer, peut provoquer la disparition de certaines espèces. Ainsi Berne (2016) a observé, dans une situation de surpâturage, le développement de ray-grass et de trèfle blanc et une diminution de dactyle et du trèfle violet.

La biodiversité du sol est également impactée. La matière organique animale apportée est une source de vie biologique très importante aussi bien en macroorganismes qu'en microorganismes, et en termes de masse et de diversité (Figure 13). Les organismes fongiques saprophytes sont favorisés et produisent des substrats organiques permettant la formation de micro-agrégats (Beare et *al*., 1992). Ce phénomène est également observé sous l’action de la biomasse microbienne (Boyle et *al*, 1989). Petitjean (2018) a montré que l’ajout supplémentaire d’azote minéral à la matière organique animale induit une amélioration plus importante de cette activité ce qui est concordant avec les résultats de Mohammadi (2011)**.** L’un des arboriculteurs enquêtés a également observé une présence plus importante de vers de terre, facilement identifiables par les turricules qu’ils laissent au sol.

6) Organisation du temps de travail, performance économique, agronomique et environnementale

L’inconvénient majoritairement perçu par les arboriculteurs est l’augmentation de la complexité organisationnelle du travail citée dans 32 % des réponses (Figure 12). Beaucoup d’agriculteurs doivent revoir leur façon de faire et leur gestion du temps avec la présence des animaux dans leur culture. En effet, il est nécessaire de surveiller et d’adapter les rotations du troupeau en fonction des traitements, du stade des arbres, des récoltes si les fruits sont ramassés au sol et de la quantité d’herbe présente dans les vergers. Outre la gestion des animaux, celle de

leurs effluents est également citée, notamment le compostage qui demande beaucoup de temps et d'attention. Cependant, ce constat ne fait pas l'unanimité car certaines réponses (9 %) indiquent une amélioration de l'organisation du travail en passant à une fertilisation organique animale (Figure 13). Il en est de même en ce qui concerne le temps de travail. Ainsi, 18 % des réponses indiquent que le couplage entraîne une augmentation du temps de travail (Figure 12), alors que d'autres producteurs témoignent plutôt du contraire. Ils indiquent que le temps de travail dédié aux animaux peut être compensé par une baisse du temps consacré aux traitements et à la tonte.

Le manque de références et de conseils sont également des difficultés récurrentes, rencontrées et citées par 21% des producteurs interviewés (Figure 12). "*Des formations sont indispensables pour que tout se passe bien*" indique un des agriculteurs.

La moindre performance économique par rapport à l'arboriculture dite "classique" représente 11 % des réponses (Figure 12). Cependant, peu d'informations complémentaires ont été recueillies à ce sujet. Un témoignage indique que le système en place couplant vaches et pommiers n'est pas très productif, en comparaison à un verger intensif. Des coûts supplémentaires pouvant être importants ont aussi été évoqués pour l'installation de nouveaux ateliers ou bâtiments d'élevage (5 %) (Figure 12). Inversement, une réduction des coûts de fertilisation est énoncée par les arboriculteurs (26 %) (Figure 13).

En ce qui concerne la performance agronomique, peu d'agriculteurs (6 %) ont fait part d'une amélioration de leur rendement (Figure 13). Quelques réponses indiquent qu'il est difficile, à l'heure actuelle, de quantifier et surtout de connaître la source des améliorations du rendement du fait du manque de recul. Cependant, plusieurs sources indiquent une amélioration de celui-ci. Dubois et *al*. (2008), ont étudié les répercussions des déjections d'oies sur les performances des noyers. Ainsi, un passage accru des oies au niveau des noyers a significativement amélioré le diamètre des troncs, et les rendements en fruits. De plus, dans une enquête menée par l'AREFE, 71 % des producteurs affirment que leur rendement est identique voire meilleur que quand ils ne faisaient pas pâturer les vergers (Marceau, 2018).

Enfin en termes de performances environnementales, cette pratique a globalement des impacts plutôt positifs sur l'environnement. Il est indiqué une diminution du nombre de traitements phytosanitaires grâce aux effets prophylactiques des animaux et la tonte naturelle de l'herbe (18 %), et une diminution de l'utilisation d'engrais de synthèse ou minéraux grâce aux déjections animales (21 %). Concernant la diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires, les résultats de la littérature scientifique sont encore ambigus. Marceau (2018) a évalué l'évolution du nombre de traitements dans des situations avec couplage toute l'année ou sans couplage. En moyenne,

l'utilisation de traitements phytosanitaires semblait moindre avec couplage, mais ces résultats n'étaient pas significatifs rejoignant ceux de Jammes (s.d.). Une baisse des émissions de gaz à effet de serre (GES) qui s'explique par une diminution de l'utilisation de véhicules pour les traitements phytosanitaires, la fertilisation et la tonte est également indiquée (25 %) (Figure 15). La diminution des GES, ressort également dans une étude similaire, ou les gains d'énergie théoriques ont été quantifiés (Jammes, s.d.). L'utilisation d'animaux aurait permis un gain allant de 3 % à 11 % de la consommation totale selon les exploitations avec, en moyenne, une production de GES/ha plus faible que dans les systèmes sans animaux.

C. La fertilisation organique animale au sein du couplage

Dans ce chapitre nous étudierons plus spécifiquement l'impact du couplage sur la fertilité des sols de vergers et les pratiques de fertilisation associées, en rappelant que le deuxième avantage du couplage, perçu par 17% des répondants, est l'autonomie pour la fertilisation des parcelles (Figure 13). Cependant, l'un des témoignages nuance un peu cet avantage : "*On ne peut pas parler d'autonomie en fertilisation car les apports de composts sur ces parcelles ne couvrent pas les besoins nutritifs des arbres (pour diverses raisons). On est plutôt sur un rôle d'amendement et d'amélioration des sols"* indique cet arboriculteur. Ce point a été soulevé par différents auteurs. Bloor et *al*. (2012) ont tenté de caractériser la répartition des déjections dans l'espace. Il en ressort qu'en pâturage bovin et ovin, une grande partie des déjections se trouvent autour de points d'attraction et dans des zones de rassemblement au sein de la parcelle : près de points d'eau, à l'abri sous les arbres, à l'entrée de la parcelle, en zone plate ou sur les crêtes des parcelles en pente. Cette hétérogénéité est d'autant plus forte que la densité d'animaux est faible (Bloor et *al*., 2012). Elle provoque donc des apports en azote importants de manière très localisée, ne pouvant couvrir, de façon homogène, les besoins des cultures, besoins de plus variables selon les espèces végétales. Ces résultats montrent qu'il est peu probable d'obtenir une fertilisation suffisante et donc d'être totalement autonome si on se base seulement sur le pâturage pour fertiliser les parcelles. Marceau (2018) a observé lors du projet ARBEL, que les producteurs qui pratiquent le pré-verger apportent moins d'azote à leurs cultures. Cependant, la différence était minime avec les producteurs n'utilisant pas d'animaux.

1) Les types d'apport

Près de 80 % des agriculteurs ayant répondu à l'enquête utilisent une fertilisation animale organique et les cinq personnes ayant répondu "non" à la question de l'utilisation de la fertilisation organique animale, laissent leurs animaux pâturer le verger, signalant une mauvaise interprétation de la question. Ce constat laisse à penser que ces producteurs (20%) ne voient pas le pâturage comme une source d'apport de matière organique animale. Il est cohérent avec une réponse

obtenue chez 31% des arboriculteurs, qui considèrent que l'amélioration des caractéristiques du sol est le principal changement observé à la suite du passage à une fertilisation organique animale (Figure 13). On peut supposer qu'ils évoquent alors majoritairement les caractéristiques physiques du sol.

L'apport direct de matière organique animale via le pâturage dans 77% des cas (Figure 8) semble souvent complété par des apports supplémentaires permettant d'assurer une fertilisation adéquate. Ces principaux apports complémentaires sont les apports de fumier (16 %) et d'engrais organiques à base de produits animaux (16 %). Certains utilisent également des composts de matière animale (11 %) ou des composts mixtes (matière animale + végétale) (11 %). Un des agriculteurs utilise son bois de taille comme litière, enrichi en lisier et fumier composté (Figure 16).

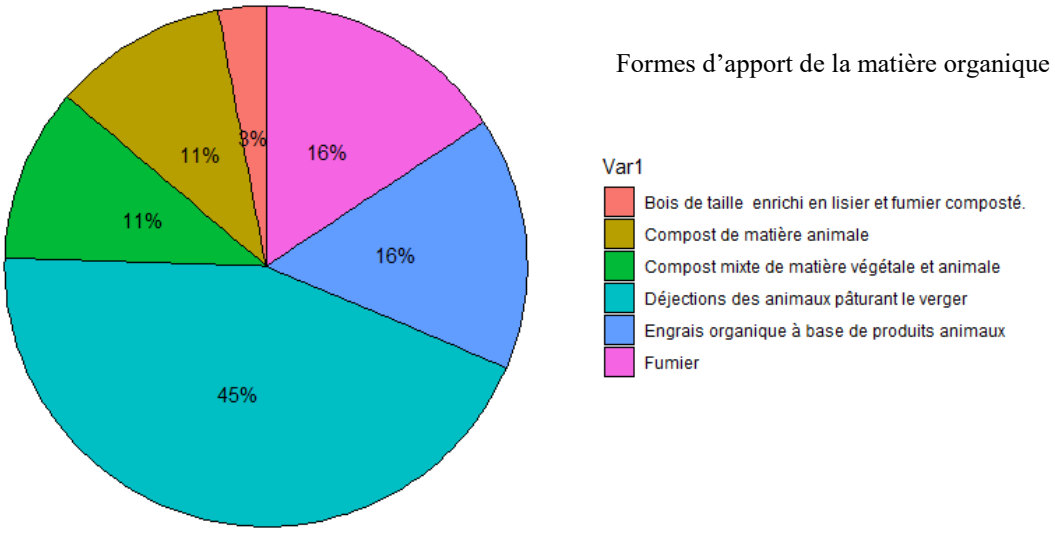


Figure 16. Le pâturage, le fumier et les engrais organiques sont les principales formes de fertilisation des parcelles (19 réponses)

Ces différentes matières présentent des caractéristiques différentes telles que le rapport C/N et le taux de masse sèche (MS), abordées dans l'annexe 1 qui vont correspondre à des propriétés différentes. D'une manière générale, les fientes séchées fournissent de l'azote. Leur stabilité est bonne, ainsi elles participent à la structuration du sol. Les différents types de lisier ont des valeurs de minéralisation plus variables que celles des fientes séchées. Le lisier aura également tendance à être plus rapidement dégradé, il est donc moins humigène.

Concernant le fumier, la minéralisation du fumier de volaille est généralement plus importante que pour le fumier de bovin dont certaines formes peuvent au contraire capter l'azote du sol favorisant les faims d'azote (Figure 17).

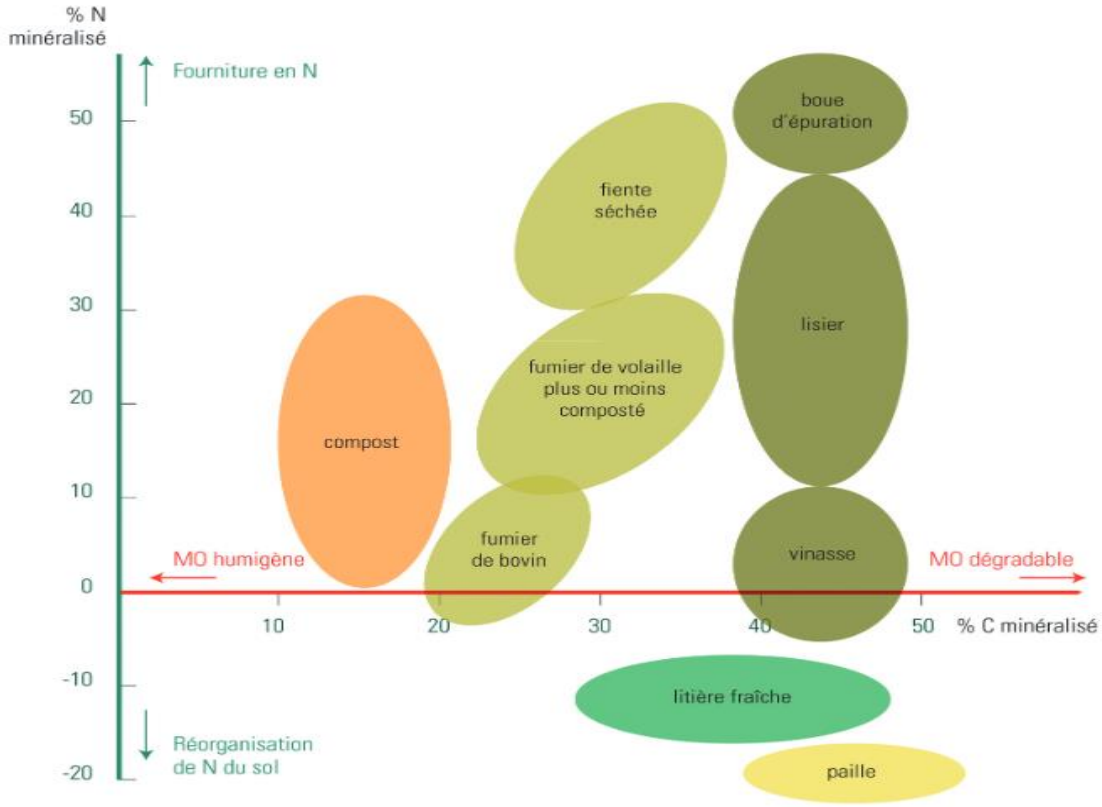


Figure 17. Le compost possède le pouvoir humigène le plus important. Les fientes sèches, le fumier de volaille composté et le fumier de bovin sont plus équilibrés. Le lisier minéralise beaucoup et donne peu d'humus (Giva, 2011)

2) Les techniques mobilisées dans les systèmes couplés lors des différents apports

Le pâturage

Le pâturage est la principale pratique employée pour fertiliser les parcelles. Les agriculteurs enquêtés font du pâturage temporaire et du pâturage permanent. La littérature évoque des changements de pratiques à la fois techniques et de gestion liés au pâturage (Dufils et *al.*, 2017). Les changements les plus importants ont généralement lieu au niveau de la conduite du verger (taille, traitement, récolte) qui ne doit pas gêner le pâturage des animaux et protéger les arbres. "*Il faut protéger les arbres car les vaches mangent les bourgeons ou les fruits bas et tirent les branches chargées, celles-ci cassent*". Ainsi, Beral *et al.* (2018) a observé qu'un manque de

minéraux peut conduire les ovins à s'attaquer volontairement aux arbres. Il est donc indispensable de les protéger, par exemple avec des corsets métalliques autour des troncs et en s'assurant que les branches ne soient pas atteignables par les animaux. Le pâturage permanent demande donc de rehausser le niveau des arbres, et surtout la zone de fructification. Les distances de plantation doivent être augmentées pour laisser de la place aux animaux. Le clôturage et le système d'irrigation sont également des éléments à prendre en compte (Dufils et *al*., 2017).

L'épandage direct de matière organique animale

Quand ils utilisent de la matière organique animale issue de l'exploitation, les arboriculteurs enquêtés épandent principalement avec un épandeur à fumier. Il permet d'épandre des matières organiques dont le taux de matière sèche dépasse les 20 %. En présence de fumier compact, un broyeur peut être utilisé (Busson et *al*., 2011). Afin de réaliser correctement son épandage, quelques règles sont à respecter :

- Rouler à vitesse constante, afin de répandre la matière organique de manière homogène.
- Utiliser du matériel bien réglé et adapté au produit et à la quantité à épandre. Le type d'épandeur utilisé doit dépendre du type de matière (solide ou liquide) et du pourcentage de matière sèche, impactant sur sa viscosité.
- Respecter les distances réglementaires d'épandage, afin d'éviter les risques de pollution (réglementation ICPE) (Busson et *al*., 2011).

Il est possible de calculer la dose épandue par la formule suivante : **D = (d * 600) / (l * V)**

Avec **D** = dose (t/ha),

d = débit de vidange de l'épandeur (t/min) : d = poids du produit épandu (t) / temps de vidange (min),

l = largeur utile d'épandage (m) (distance entre deux axes de passages consécutifs),

v = vitesse d'avancement du tracteur (km/h),

600 = facteur d'échelle permettant d'exprimer le débit en t/ha (Busson et *al*., 2011).

Le compostage

L'enquête a montré qu'un tiers des agriculteurs transforment leur matière organique animale par compostage (Figure 18). Le compostage est un processus de transformation de la matière organique réalisé par l'activité aérobie des bactéries présentes. Il se déroule en plusieurs étapes et aboutit à une diminution du volume, une augmentation puis une diminution de la température quand le compost atteint un stade relativement stable, une modification de la composition chimique et biochimique, un assainissement au niveau des pathogènes, des graines d'adventices, et de certains résidus (Figure 19). La durée du compostage va déterminer ses

propriétés dont la stabilité, et le taux de matière organique (Lesourd, 2020). La présence de matière végétale difficilement dégradable (matière ligneuse) va impacter la vitesse de dégradation de la matière organique (Houot et *al*., 2002). La stabilisation du compost résulte du processus d'humification. L'humification, consiste en la dégradation de la matière organique en molécules plus simples par une multitude d'organismes : insectes, lombrics, champignons. Les molécules issues de cette dégradation servent de précurseurs à la formation de molécules d'humus : acide humique, acide fulvique et humine (Semenov et *al*., 2013). Les molécules rejetées par les microorganismes interagissent avec ces molécules d'humus pour les stabiliser (Semenov et *al*., 2013). Pour en savoir plus sur le compostage, voir l'annexe 2.

Au regard de l'épandage direct, l'intérêt de passer par une phase de compostage est lié à ce processus d'humification. Lors du compostage, il va se réaliser de manière intensive sur un court laps de temps en comparaison à la durée de ce processus dans la nature qui peut prendre de nombreuses années (Dores-Silva et *al.*, 2018). En apportant d'avantage d'humus au sol, la restitution du carbone et de l'azote par la matière compostée sera plus lente et améliorera la structure du sol (Houot et *al*., 2002).

Néanmoins, lorsque le compostage est mal réalisé, une baisse de 50 % du carbone, de 50 à 70 % de l'azote et 50 % de la potasse peut être observée. Un bon compostage doit avoir les caractéristiques suivantes : un C/N d'au moins 25 et un taux d'humidité situé entre 50 et 70 % (Weil et Duval, 2009). Les pertes en azote dépendent entre autres de la quantité d'éléments facilement minéralisables comme l'acide urique et l'ammoniaque qui augmentent ces pertes (Dias et *al*, 2010). Par ailleurs, une fois au sol, la libération des différents éléments minéraux ne se fait pas à la même vitesse au sein du compost. En moyenne 5 à 10 % de l'azote organique des composts est libéré durant la première année, tandis que 100 % du potassium et 50 % du phosphore le sont (Weil et Duval, 2009). Les calculs de bilan de fertilisation et bilan azoté doivent donc se faire en prenant en compte le fait que tout l'azote n'est pas restitué sur l'année à chaque ajout de compost, ce qui n'est pas le cas du potassium.

3) Le suivi de la qualité des sols

Pour mieux maitriser ces différentes techniques mises en œuvre dans les systèmes couplés, il est souhaitable de bien suivre l'évolution de la qualité du sol au cours du temps : de sa fertilité et de ses propriétés physico-chimiques.

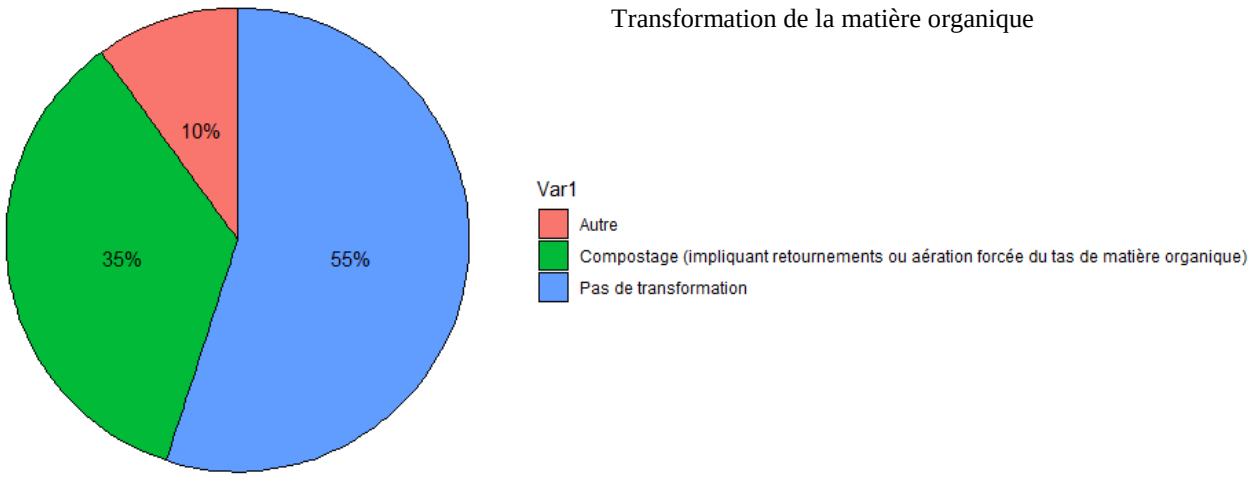


Figure 18. 55 % des réponses indiquent que la matière organique animale n'est pas transformée, 35 % la compostent (19 réponses)

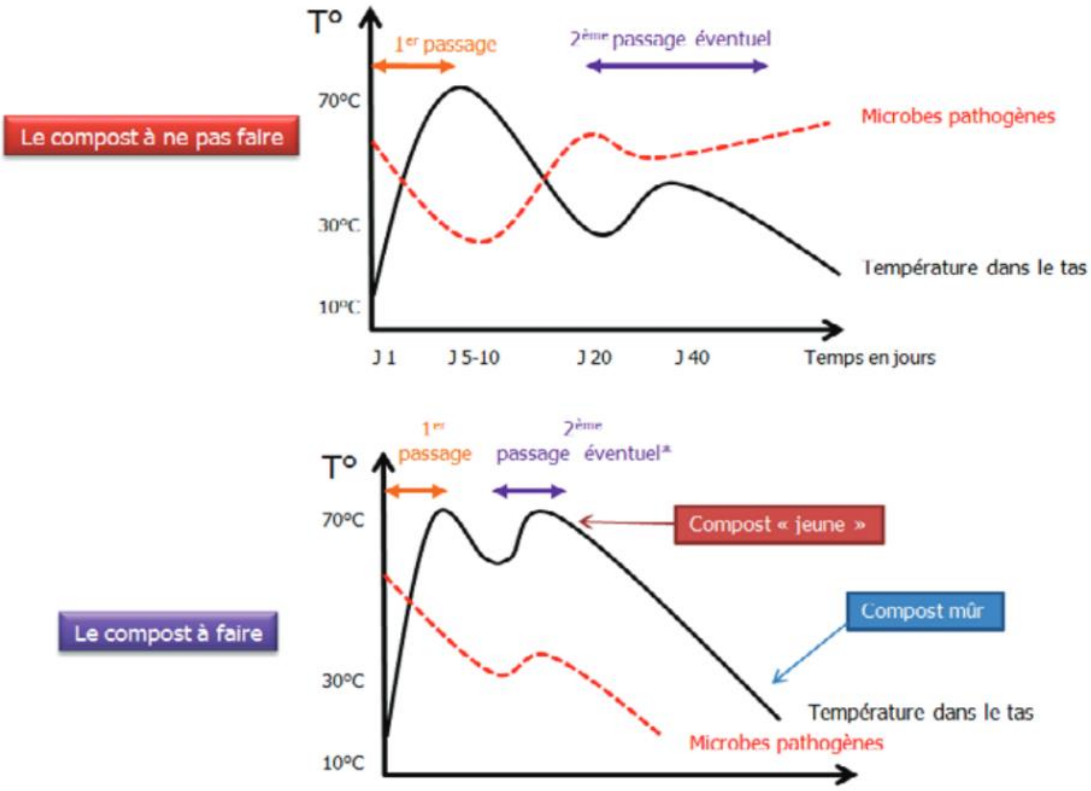


Figure 19. Influence de la technique de compostage sur l'évolution du nombre de microorganismes pathogènes (Gab44, 2015)

Le suivi de la fertilisation

L'enquête a montré que ce suivi est assez variable : 27 % des producteurs déclarent ne faire aucun suivi (Figure 20). Pour les autres, les principales méthodes utilisées pour le suivi de la fertilisation sont la mesure ou l'estimation de la vigueur des arbres (23 %), l'analyse de sol au laboratoire (19 %), le rendement (15 %) et l'analyse de feuilles ou de rameaux (8 %). Le bilan de fertilisation théorique et le test à la bêche ont été aussi évoqués (Figure 20).

Pour les mesures directes, l'analyse de sol est la plus classique (détail en annexe 3). L'analyse de feuilles doit se faire chaque année afin de diagnostiquer d'éventuelles carences et d'établir des prévisions pour les années suivantes. L'inconvénient majeure de cette méthode réside dans la forte variabilité des mesures : la composition de la feuille, organe central de passages et d'échanges, varie en permanence en fonction de son emplacement et de son âge, d'où l'extrême importance de mettre en œuvre des bonnes pratiques de prélèvement des feuilles (annexe 4). De plus, cette méthode ne permet pas d'identifier facilement la source d'une éventuelle anomalie (Larrieu, 2019).

Pour les mesures indirectes, la mesure de la vigueur des arbres reste encore très empirique et la profession ne dispose pas encore de référentiels éprouvés comme il en existe en grandes cultures [7]. La mesure des rendements et sa prise en compte pour l'estimation des apports nécessaires, se fait classiquement en comparant les rendements de l'année par rapport au rendement maximal possible de la parcelle. Un producteur interviewé précise que son calcul se base sur le poids des fruits récoltés mais aussi sur l'estimation de la biomasse des bois de taille. Cette prise en compte du bois de taille, fréquente en viticulture, mériterait probablement d'être développée en arboriculture fruitière, où elle semble peu développée.

Enfin, on note une très faible utilisation des méthodes de bilan annuel de fertilisation chez les producteurs interviewés (Figure 20). Ce constat résulte peut-être du nombre important de facteurs à prendre en compte, dans une culture pérenne, pour évaluer d'une part les besoins des cultures en place et d'autre part les capacités du sol à stocker, restituer ou immobiliser les éléments minéraux.

Les besoins des cultures dépendent de la variété, du porte-greffe, de l'âge, de la vigueur des arbres et de la densité de plantation du verger. De plus, ils évoluent de façon importante durant toute l'année. Les besoins augmentent fortement durant les périodes de floraison et de croissance des fruits, néanmoins, l'arbre utilisant ses réserves en début de printemps, le pic d'absorption minérale survient seulement en mai et juin (Figure 21).

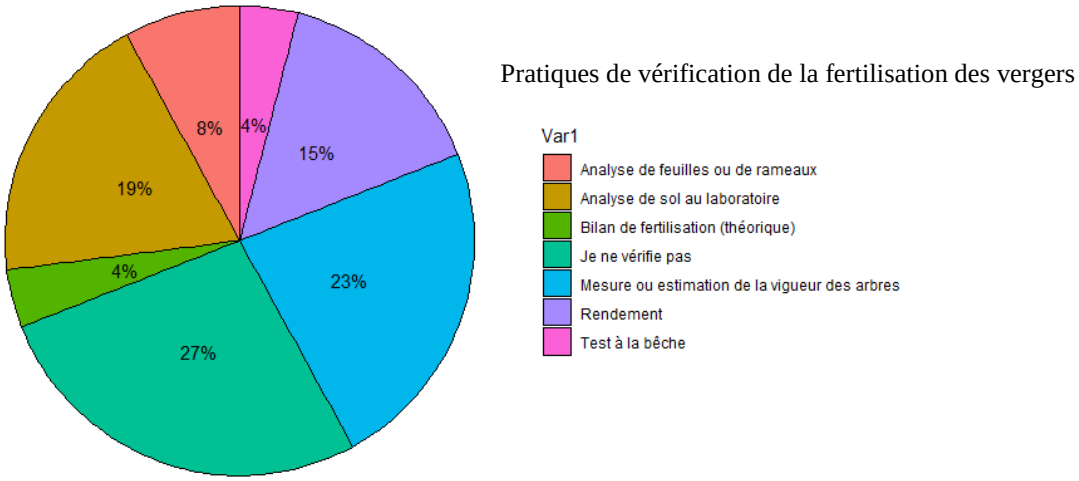


Figure 20. Près d'¼ des agriculteurs ne vérifient pas la fertilisation de leur sol. L'estimation de la vigueur, l'analyse de sol au laboratoire et le rendement sont les principales méthodes utilisées (19 rép.)

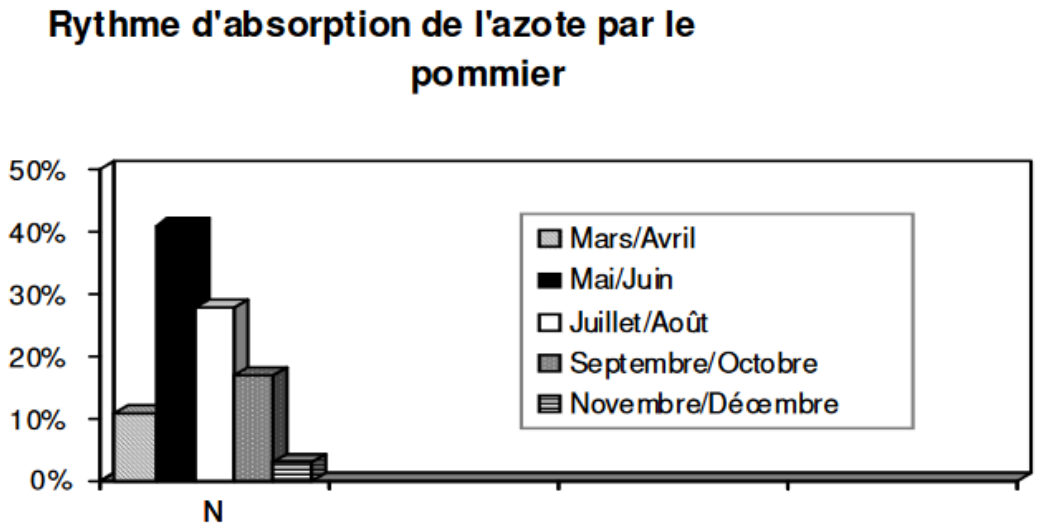


Figure 21. Les pommiers absorbent la majorité de leur besoin en azote sur l'année de Mai à Août (Larrieu, 2019).

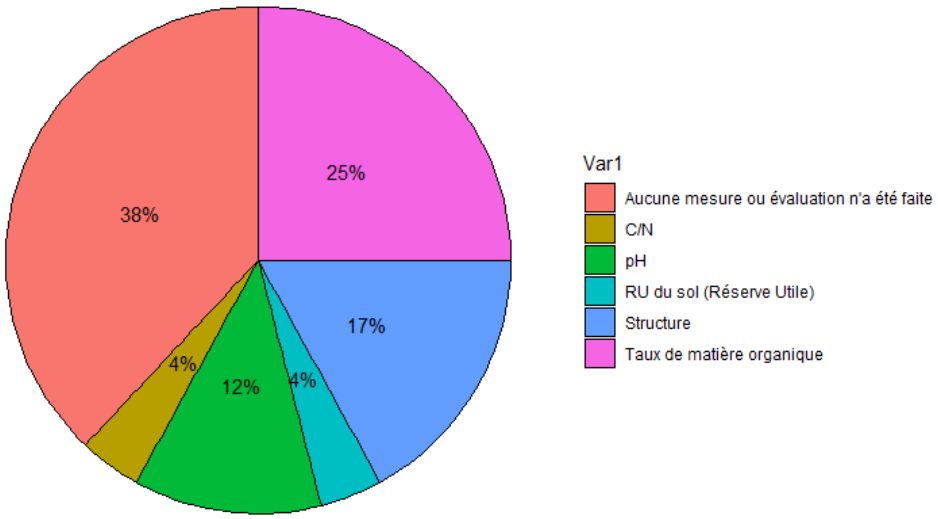


Figure 22. 38 % des agriculteurs ne font pas de vérification des propriétés de leur sol. Les principales mesures réalisées sont le taux de matière organique, la structure et le pH. (16 réponses)

Durant cette période l'arbre peut absorber près de 40% de ces besoins, soit jusqu'à 50 à 60 unités d'azotes pour un arbre adulte (Larrieu, 2019). L'évaluation approximative de ces besoins doit prendre en compte les prélèvements, les restitutions et les exportations. Dans le cas de l'azote, les prélèvements totaux annuels correspondent aux minéraux incorporés par les fruits, feuilles, bois et racines, auxquels s'ajoute les prélèvements par l'enherbement, sauf dans le cas d'un enherbement de légumineuse apportant de l'azote. Les restitutions correspondent aux feuilles, fleurs et fruits tombées au sol, aux bois de tailles et à l'enherbement s'il est composé de légumineuses. Les exportations correspondent aux fruits emmenés hors de la parcelle, éventuellement le bois de taille et les feuilles exportés.

En ce qui concerne les facteurs liés au fonctionnement du sol, ils font intervenir toutes les propriétés du sol. Les propriétés chimiques vont permettre d'évaluer la fertilité de base du sol. Les propriétés physiques, dont la texture du sol (argileux, limoneux, sableux) influent sur les risques de lessivage et de lixiviation des nitrates favorisant les pertes vers les eaux souterraines. Les sols poreux le favorisent également (Larrieu, 2019). Enfin l'analyse des propriétés biologiques du sol doit permettre d'évaluer les coefficients d'humification (k1) et de minéralisation (k2), importants pour évaluer la vitesse de développement de ces deux processus et donc les taux respectifs d'humus et d'azote soluble issu de la minéralisation. Enfin, le climat joue également un rôle important sur les risques de lessivage, lixiviation et sur l'activité biologique du sol. A nouveau, il impactera donc les processus d'humification, de minéralisation et de dénitrification.

Pratiques d'évaluation des propriétés physico-chimiques du sol

Au regard de ces considérations sur l'importance de l'évaluation des propriétés du sol, l'enquête montre que cette évaluation n'est pas systématique chez tous les producteurs : 38 % d'entre eux ne font pas d'analyse ou de façon très espacée (> 5 ans). Un seul producteur déclare faire une première évaluation des capacités biologiques de son sol à travers l'indicateur indirect du rapport C/N. L'amélioration des propriétés du sol observées par les producteurs enquêtés se concentre davantage sur l'amélioration du taux de matière organique, de la structure et du pH (Figure 22). Un agriculteur témoigne : *"l'amélioration de la structure des sols beaucoup plus souples et plus résilients face à l'érosion, grâce à la présence d'un enherbement, du moins à l'automne et en hiver"*. L'enquête ne permet pas de préciser vraiment les divers effets observés de cette augmentation de la matière organique. En effet, outre son rôle potentiel sur la fertilité du sol, l'augmentation de la matière organique dans le sol doit améliorer sa porosité et augmenter la capacité au champ, facilitant la gestion hydrique des cultures. De plus, la stabilité des agrégats, liée à la porosité du sol est améliorée par la matière organique, notamment par la formation de complexes argilo-humiques (Zarebanadkouki et *al*., 2010).

IV- Conclusion et perspectives

Pour conclure, cette enquête a permis d'identifier les forces et les faiblesses du couplage verger-élevage. Il serait cependant nécessaire de recueillir davantage de témoignages afin de consolider et de confirmer les ressentis des arboriculteurs enquêtés.

Forces	**Faiblesses**
Semble répondre aux enjeux environnementaux, sociétaux et économiques du développement durable.	Peu de partenariats entre arboriculteurs et éleveurs.
Meilleure gestion de l'enherbement avec le pâturage	Installation de nouvelles structures pour les animaux, les effluents = coûts supplémentaires.
Amélioration du bien-être animal et de la biodiversité macro et microscopique.	Faible performance économique par rapport à un système spécialisé.
Diminution des problèmes phytosanitaires : prophylaxie vis-à-vis des maladies et ravageurs.	Demande de solides connaissances en élevage et gestion des effluents d'élevage.
Amélioration des propriétés physico-chimiques du sol et plus grande autonomie pour la fertilisation des parcelles.	La gestion de l'ensemble du système semble plus compliquée et demande un investissement humain conséquent, et de l'anticipation.
Diminution des coûts de la fertilisation.	Manque de références techniques et de conseils : suivi de la fertilisation et structure du sol, …
Diminution de l'impact environnemental : réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires et de l'utilisation des engins agricoles.	Difficile de conclure sur les effets du couplage sur le rendement des cultures.
Système quasiment autonome (économie circulaire)	Des forces pas assez prouvées : prophylaxie, diminution des GES, autonomie en fertilisation
Image sociale positive	Pas de valorisation des produits issus de cette pratique auprès des consommateurs à ce jour
Offre des perspectives intéressantes, mais demande à être structuré.	

Perspectives

- Favoriser l'émergence de partenariats durables entre éleveurs et arboriculteurs (gestion facilité, partage des risques) : mise en place d'un « site de rencontre » pour faciliter les associations entre producteurs
- Développer des coopératives d'utilisation de matériel agricole (CUMA), pour faciliter l'accès au matériel et le développement de l'activité.
- Développer des aides pour l'installation d'infrastructures (étables, compostage, etc.) et l'achat de matériel (épandeur, etc.) afin de limiter les coûts de la conversion qui peuvent être élevés et un frein important pour l'investissement.
- Réaliser des évaluations socio-économiques de ces exploitations pour définir leur viabilité sur le long terme et les leviers d'actions afin de renforcer les connaissances sur les éventuelles limites de ces systèmes.
- Créer et promouvoir l'accès à des formations concrètes sur la gestion d'exploitation en couplage verger-élevage (MOOC, webinaire).
- Développer le conseil, créer des groupes d'agriculteurs (type DEPHY)
- Développer des projets d'expérimentation et de recensement des pratiques pour déterminer les modalités d'intégration des animaux aux vergers dans le but de maximiser les services rendus et limiter l'utilisation d'intrants :
    - Définir les couples verger-élevage les plus appropriés,
    - Définir la charge optimale d'une espèce animale pour une densité de culture du point de vue de la fertilisation des sols et de la gestion de l'enherbement,
    - Rechercher les interactions potentielles entre espèces animales à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation.
- Réaliser des études plus poussées sur l'impact de la présence d'arbres sur la santé des animaux (croissance, parasitisme, stress) et sur l'impact du choix de l'enherbement sur la valeur nutritive de la matière organique animale.
- Étudier la dynamique d'évolution des populations d'insectes auxiliaires et ravageurs et l'incidence des principales maladies touchant les cultures fruitières pour caractériser davantage l'effet du couplage sur la biodiversité.
- Imaginer de coupler l'utilisation des animaux avec d'autres leviers d'action (plantes de services, nichoirs, …) pour diminuer davantage la pression en ravageurs.
- Quantifier l'impact de la pratique sur l'environnement du point de vue de la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires et de l'émission des différents polluants (GES).
- Améliorer les méthodes de stockage et de transformation de la matière organique afin de conserver au maximum leur valeur nutritive tout en limitant les risques sanitaires.
- Créer de nouveaux labels pour valoriser la pratique agroécologique et les produits.
- Faciliter la vente directe pour aider à davantage mettre en avant la valeur des produits aux yeux des consommateurs, pour une plus grande proximité avec les producteurs. Entre dans le cadre du développement des circuits courts.

Bibliographie

Asher R, (2016). Alltech – Les effets des moisissures et des mycotoxines sur les bovins de boucherie. https://boeufquebecspeq.com/les-effets-des-moisissures-et-des-mycotoxines-sur-les-bovins-de-boucherie/ (Page consultée le 8 avril).

Beare M. H., Parmelee R. W., Hendrix P. F., Cheng W., Coleman D. C., Crossley D. A. (1992). Microbial and Faunal Interactions and Effects on Litter Nitrogen and Decomposition in Agroecosystems. *Ecological Monographs*, *62*(4), 569-591.

Beral C., Liagre F., Novak S.M., Emile J. C., Grandgirard, D. (2018). *PARASOL, Final Report*.

Berger F., Delval Ph. (2018). (Mis à jour le 08 février 2021). Levier PIC 'Pratiques culturales' : Gestion des résidus de cultures et des plantes hôtes.

Berne T. (2016). Etude de l'impact des dispositifs agroforestiers sur le potentiel de production printanier des prairies en régions ouest et nord de France. [Mémoire de master]. 83p.

Bloor J., Jay-Robert P., Morvan A., Fleurance G. (2012). Déjections des herbivores domestiques au pâturage : Caractéristiques et rôle dans le fonctionnement des prairies. *Productions Animales*, *25*, 45-56.

Boyle M., Frankenberger W.T., Stolzy L.H. (1989). The Influence of Organic Matter on Soil Aggregation and Water Infiltration. Journal of Production Agriculture, 2: 290-299.

Brinton W.F. (1983). A qualitative method for assessing humus condition. *in* Knorr, D. (éditeur). 1983. Sustainable food systems. AVI Publishing, Westport, Connecticut. 416 pages.

Bruno O. Dias, C., Silva A., Higashikawa F.S., Roig A., Sanchez-Monedero M.A. (2010). Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification, Bioresource Technology, Volume 101, Issue 4, Pages 1239-1246

Busson S., Chabalier P-F., Cottineau J-S., De Laburthe B., Fournier P., Leroux K., Van De Kerchove V., Salgado P. Amendements et engrais. Guide des bonnes pratiques agricoles à la Réunion. Chapitre 2, 64-115p.

Caquet T., Gascuel-Odoux C., Peyraud J.-L. (2020). Priorités de la recherche : les apports des Ateliers de Réflexion Prospective interdisciplinaire Agroécologie et Elevages pour demain d'INRAE. Innovations Agronomiques, 80, 1-12

Cinq-Mars D., Vachon M., Cameron J. (2003). Les mycotoxines chez les ovins…pour y voir un peu plus clair! https://www.agrireseau.net/bovinsboucherie/documents/MYCOTOXINEOVINS.pdf?fbclid=IwAR2w0XS_VGUR2fyIoD07vJJvI0kvcUzztY3BLCyA1cwSxd7nsOZc4cElWjc (Page consultée le 07 février 2021)

Cole M. (1992). Simple chemical test for compost maturity. Recherche effectuée à l'Université de l'Illinois. Cité dans Biocycle, mai 1992, page 26.

Colleu S. (2020), Reconnexion verger - élevage, dossier documentaire, INRAE. 2020, 11 pages. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03196032

Corroyer N. (2017). Pâturage de vergers de pommiers en France. https://www.agroforesterie.fr/actualites/2019/documents/Fiche-Agforward-Agroforesterie-innovation-traduction-AFAF-n23-paturage-de-vergers-de-pommiers-en-France-traduction-mars-2019-Association-Francaise-d-Agroforesterie.pdf (Page consultée le 23 Février 2021)

Dores-Silva P.R., Landgraf M.D., Rezende M.O.O. (2018) Humification process in different kinds of organic residue by composting and vermicomposting: have microbioreactors

really accelerated the process? Environ Sci Pollut Res Int. 2018 Jun; 25(18):17490-17498. doi: 10.1007/s11356-018-1908-3. Epub 2018 Apr 15. PMID: 29658065.

Dubois J.P., Bijja M., Auvergne A., Lavigne F., Fernandez X., Babilé R. (2008). Agroforesterie : comportement des oies sous un couvert de noyers et effets sur les performances du verger (2008) 8. Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à foie gras, Oct 2008, Arcachon, France.

Dufils A., Penvern S., Lécrivain E. (2017). *Associer élevage ovin et arboriculture—Trois types de pâturage en verger*. 2.

Eklind Y., Kirchmann H. (2000). Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover. Bioressource Technology, 74:115-124.

Furet, A. (2020). L'agropastoralisme en viticulture : une aide à la gestion de l'enherbement. La luciole, n°28, p.17-18.

GAB44, Linclau O., (2014). Améliorer les techniques de fertilisation & de conservation des sols des exploitations Bio, 35p.

Garcia I., (s.d.). L'interaction des nutriments. Site de CANNA. https://www.canna.ca/fr-ca/linteraction_des_nutriments (Page consultée le 16 février 2021)

Giva G. (2011). Les critères analytiques des produits organiques, chapitre 5 (63-74).123p.

Hardy A. (2019). Techniques alternatives au désherbage chimique en arboriculture fruitière. Mémoire étudiant. 2019. https://hal.inrae.fr/hal-02791702

Hirai M.F., Chanyasak V., Kubota H. (1984). A standard measurement for compost maturity. Biocycle, 24(6):54-56.

Hoitink H. A.J., Grebus, M.E. (1997). Composts and the Control of Plant Diseases. In M. H. B. Hayes & W. S. Wilson (Éds.), *Humic Substances, Peats and Sludges* (p. 359-366). Woodhead Publishing.

Houot S., Francou C., Lineres, M. (2002). *Gestion de la maturité des composts : Conséquence sur leur valeur amendante et la disponibilité de leur azote.* 2.

Hruby C.E., Soupir M.L., Moorman T.B., Pederson C., Kanwar R. (2018). Salmonella and Fecal Indicator Bacteria Survival in Soils Amended with Poultry Manure. *Water, Air, & Soil Pollution*, *229*(2), 32.

Jammes D. (s.d.). Livret de références de l'Inter-réseau Agriculture Énergie Environnement - Le pâturage en vergers. Agriculture, Énergie & Environnement, 25p.

Jouven M., Puillet L., Perrot C., Pomeon T., Dominguez J.P., Bonaudo T., Tichit M. (2018). Quels équilibres végétal/animal en France métropolitaine, aux échelles nationales et « petite région agricole » ?. INRAE Productions Animales, 31(4), 353–364.

Kirchmann H., Widen P (1994). Separately collected organic household wastes. Swedish J.agric. Res., 24:3- 12.

Larrieu J.F. (2019). Fertilisation raisonnée en arboriculture fruitière, Chambre d'Agriculture de Tarn-et-Garonne.

Lavigne A., Dumbardon-Martial E., Lavigne C. (2012). Les volailles pour un contrôle biologique des adventices dans les vergers. *Fruits*, *67*(5), 341-351.

Lavigne A., Lavigne C. (2013). Associer production fruitière et élevage des volailles. Une méthode innovante pour contrôler l'enherbement. 16p.

Leclerc B. (2001). Guide des matières organiques. (eds Guide Technique de l'ITAB)

Lesourd L. (2020). Place du compostage et du compost en arboriculture fruitière. [Mémoire de master]. 82p https://www.gis-fruits.org/Media/fichiers/Rapport-de-stage-Loic-Lesourd

Ligot O., Delval Ph. (2018). Le Carpocapse des pommes et des poires. https://ecophytopic.fr/pic/concevoir-son-systeme/le-carpocapse-des-pommes-et-des-poires?fbclid=IwAR1LVAJH_2UWmCq7e6_IkPTI2Ongxs7TxBB6DCHcJEEdqEJF95zbEm_XIXg (Page consultée le 02 février 2021).

Marceau J. (2018). Arbre et élevage : la pratique du pré-verger en Lorraine. Projet ARBELE L'Arbre dans les exploitations d'élevage herbivore : des fonctions et usages multiples, 17p.

Meyer E., Lagriffoul S. Le mouton Shropshire, la tondeuse écologique Bientôt reconnu en France. Bulletin de l'Alliance Pastorale N°864 - Mars 2016.

Moerman M., Rondia A. (2019). "L'élevage des volailles en agriculture biologique" Un outil au service d'un élevage performant.29p. CRAV-W, ISBN 978-2-87286-108-8 https://www.cra.wallonie.be/fr/content/download/69229

Mohammadi K., Heidari G., Khalesro S., Sohrabi Y. (2011). Soil management, microorganisms and organic matter interactions : A review. *African Journal of Biotechnology*, *10*, 19840-19849.

Moreau J.C. (2018). *L'arbre, un atout en termes de bien-être animal face aux épisodes extrêmes de plus en plus fréquents*. 15. https://agroforesteriesrmt-live-ba115cbbc9014d-b18975f.aldryn-media.com/filer_public/7f/e4/7fe41d9b-2828-48da-bca5-6ad5fc9b3e4a/15h20a_moreaujc_bienetreanimal.pdf

Pellerin S., (2020). L'association agriculture-élevage : une condition clé du bouclage des cycles ? Innovations Agronomiques, 80, 13-21

Petitjean C., Philibert A., Manneville V., Amiaud B., Perrin A. S., Charrier X., Gastal F., de Vliegher A., Willekens K., Montenach D., Houot S., Morvan T., Piutti S. (2018). *Systèmes de polyculture-élevage : Quels effets des pratiques agricoles sur les teneurs en matières organiques et le fonctionnement microbien du sol ?*. Fourrages 236 https://hal.inrae.fr/view/index/identifiant/hal-02627725

Ketterings Q., Reid S., Rao R. (2007) Cornell University Agronomy, Agronomy Fact Sheet Series, Fact Sheet #22, (2007). Cation Exchange Capacity (CEC).

Ruetsch, O. (2012). (Mis à jour en 2015). Le GIS Fruits : Présentation du GIS. https://www.gis-fruits.org/Presentation-du-GIS. (Page consultée le 30 janvier 2021)

Sagot L., Pottier E. (2008). Pâturer l'herbe d'hiver. pub 040839017. CIIRPO, Institut de l'Elevage, 2 pages.

Semenov V., Tulina A.S., Semenova N.A., Ivannikova L.A. (2013). Humification and Nonhumification Pathways of the Organic Matter Stabilization in Soil: A Review. Eurasian Soil Science. 46. 355-368. 10.1134/S106422931304011X.

Sidhu J., Gibbs R.A., Ho G.E., Unkovich I. (1999). Selection of Salmonella Typhimurium as an indicator for pathogen regrowth potential in composted biosolis. Letters in Applied Microbiology, 29:303-307.

Spohn E. (1978). Determination of compost maturity. Compost Science/ Land Utilization, may-june:26-27.

Stentiford E.I. (1996). Diversity of composting systeme. In Science and Engineering of Composting, de Bertoldi et al. ed. (Blackie Academic and Professionnal, Bologne).95

Vida C., Vicente A. de, Cazorla, F.M. (2020). The role of organic amendments to soil for crop protection : Induction of suppression of soilborne pathogens. *Annals of Applied Biology*, *176*(1), 1-15.

Weil A., Duval J. (2009). Module 7, Amendements et fertilisation – Chapitre 12, « Les amendements organiques : fumiers et composts », manuscrit du Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée.

Wenneker M., Köhl J., Haas L., Geijn G.V., Kastelein P., Plas C.H. Pinto F., Anbergen, R.H.N. (2018). Dynamics of post-harvest pathogens Neofabraea spp. and Cadophora spp. in plant residues in Dutch apple and pear orchards - 10.1111/ppa.12854 - Plant Pathology

Zarebanadkouki M., Majid A., Abbaspour, K. (2010). Effects of Biosolids Application on Temporal Variations in Soil Physical and Unsaturated Hydraulic Properties. *Journal of residuals science and technology*, *7*.

Sitographie

[1] (2016). Exploitation agricoles – Tableaux de l'économie française, Insee - Institut national de la statistique et des études économiques. https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277860?sommaire=4318291#consulter

[2] (s.d.). Qu'est-ce que l'agroforesterie ? INRAE de Montpellier. http://www1.montpellier.inra.fr/safe/french/agroforestry.php. (Page consultée le 16 février 2021)

[3] OSAE *OSez l'Agro Écologie : Mettre en place un pré-verger*. (2021, janvier 24). OSAE. https://osez-agroecologie.org/mettre-en-place-un-pre-verger (consulté le 2 avril 2021)

[4] (s.d.). Strongles gastro-intestinaux, Gérer les strongles, c'est gérer l'équilibre.http://www.gdscentre.fr/index.php/navbar-bovins-2/b-sanitaire/b-patho/parasitisme-interne/strongles-gastro-intestinaux#:~:text=GERER%20LES%20STRONGLES%20C'EST%20GERER%20L'EQUILIBRE&text=La%20bonne%20gestion%20globale%20des,traitements%20antiparasitaires%20dans%20l'%C3%A9levage (Page consultée le 02 février 2021).

[5] (s.d.). Pathologie des voies génitales : Myases. https://theses.vet-alfort.fr/Th_multimedia/repro_ovicap/male/htm/voies_genitales/myase/myase.htm (Page consultée le 08 février 2021)

[6] (s.d.). Lutte intégrée contre les ennemis du pommier. Publication 310F.http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/apscab.htm?fbclid=IwAR11ao1jpQ7Byfmj59nLdBvpsBdQkMSRih14Sd5cyMoIyeM-X7uDJPHj3C4 (Page consultée le 02 février 2021).

[7] (2013, mai). Calcul de la fertilisation azotée – Groupe Azote - Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales pour les cultures annuelles et les prairies. www.comifer.asso.fr (Page consultée le 30 janvier 2021)

Table des sigles et abréviations

AB : Agriculture Biologique

AMAP : Association pour le Maintien d'une Agriculture Paysanne

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

AOP : Appellation d'Origine Protégée

AREFE : Association régionale d'expérimentation fruitière de l'Est

C : Carbone

CMA : Centre Mondial de l'Agroforesterie

CMN : Coefficients de minéralisation de l'azote organique

Ct91 : Minéralisation potentielle du carbone à 91 jours

GIS : Groupement d'intérêt scientifique

IGP : Indication Géographique protégée

MO : Matière organique

MS : Matière sèche

N : Azote

P : Phosphore

pH : Potentiel hydrogène

REVE : Reconnexion élevage et végétal

UTH : Unité de Travailleur Humain

Annexe 1. Evaluation de la qualité de la matière organique

Le rapport C/N permet de déterminer la qualité des produits organiques (Giva, 2011). Ce rapport est un indicateur approximatif du taux de minéralisation du carbone et de l'azote.

Trois intervalles de valeurs sont définis :

- En dessous de 8 - 15, la minéralisation du carbone et de l'azote est rapide. L'azote et le carbone vont rapidement être restitués au sol. Ce type de produit n'a pas d'effet structurant sur le sol et peut alors être considéré comme un engrais.
- Autour de 8 - 15, la minéralisation du carbone de l'azote est plus lente, l'effet structurant sur le sol est davantage marqué.
- Au-dessus de 8 - 15, le taux de minéralisation est faible, ce type de produit se rapproche d'un amendement qui va principalement structurer le sol.

Cette valeur C/N reste assez grossière pour caractériser la matière organique. Elle peut être affinée par les valeurs suivantes : les coefficients de minéralisation de l'azote (CMN) et du carbone (Ct91). Le coefficient de minéralisation de l'azote sur le même principe que le rapport C/N, permet d'identifier si le produit aura tendance à restituer de l'azote ou au contraire, à l'immobiliser. De même, trois fourchettes de valeur définissent ce taux.

- Un coefficient négatif indique que le produit ne restitue pas l'azote pouvant mener à une faim d'azote.
- Un coefficient proche de zéro indique que l'azote est restitué en faible quantité, une faim d'azote est possible.
- Un coefficient positif indique que le produit fournit de l'azote aux cultures.

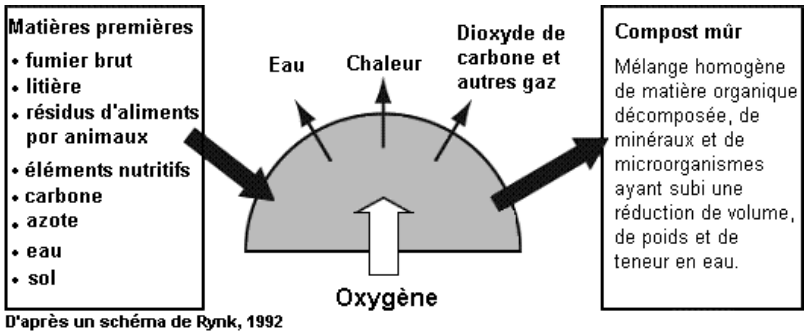
Pour le coefficient de minéralisation du carbone, le principe est le même.

- Un coefficient inférieur à 30 % indique que le produit est stable voir très stable et participe à la structuration du sol. Le carbone est faiblement restitué. Plus le coefficient sera proche de zéro, plus le produit sera humifère.
- Au-dessus de 30 %, le produit sera de moins en moins stable. Le carbone sera plus ou moins rapidement restitué au sol selon que la valeur du coefficient augmente. Il sera donc moins structurant mais stimulera davantage la vie biologique du sol.

La matière sèche permet également de donner des informations sur la qualité de la matière organique. Plus la matière sèche est élevée, plus le produit est riche en matière fertilisante.

Annexe 2. Le compostage

Qu'est-ce que le compostage ? Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une MO humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost.



Le processus du compostage

Pourquoi composter ?

- Le compostage permet de réduire les masses et les volumes d'environ 50% par rapport aux déchets initiaux. Ces réductions sont dues à la minéralisation des composés organiques, à la perte d'eau et à la modification de la porosité du milieu (Eklind et Kirchmann, 2000).
- La perte en MO entraîne une concentration des éléments minéraux au sein du compost (Kirchmann et Widen, 1994).
- L'augmentation de la température permet la destruction des agents pathogènes (Stentiford, 1996 ; Sidhu et *al*., 1999).
- L'action combinée de l'élévation de température et de la libération d'agents inhibiteurs permet la destruction de graines d'adventices (Leclerc, 2001).

Les différentes phases du compostage

Phase mésophile	Phase thermophile	Phase de refroidissement	Phase de maturation
- Présence de MO facilement biodégradables - Forte activité microbienne (bactéries et champignons) - Forte production de chaleur - Montée rapide de la température au cœur du compost	- La température atteint des valeurs de 60°C voire 75°C - Présence de micro-organismes thermorésistants (essentiellement des bactéries) - MO perdu sous forme de CO2 - Assèchement du compost lié à l'évaporation	- Diminution de la quantité de MO facilement dégradables - Ralentissement de l'activité microbienne - Chaleur de dégradation microbienne < pertes surfaciques et évaporation - Colonisation par des micro-organismes mésophiles	- Processus d'humification prédominant - Dégradation lente des composés résistants - Dure jusqu'à l'utilisation des composts

Deux procédés du compostage

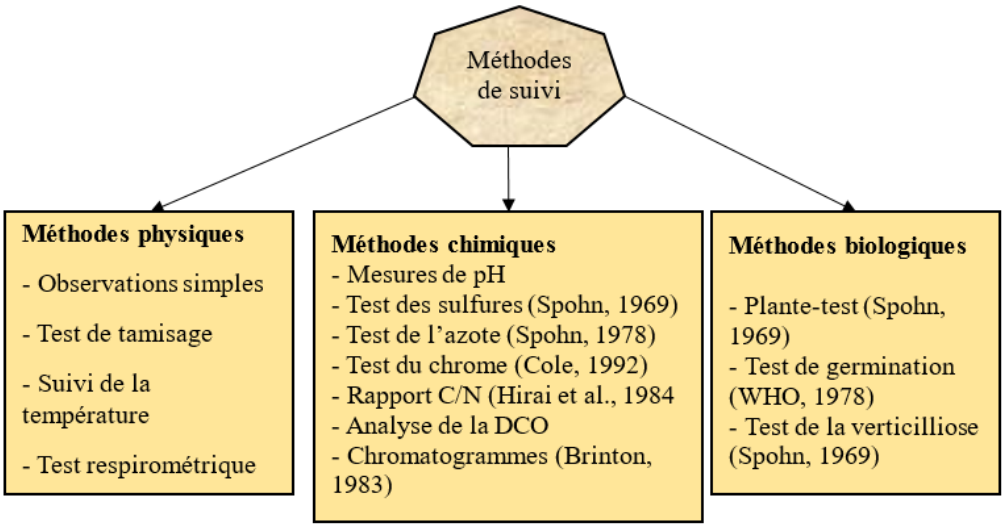
Procédés de compostage par retournement :

- 3 semaines de fermentation
- 3 retournements au minimum
- 3 jours entre chaque retournement
- 55 ° C au moins pendant 72 heures
- Assurer une humidité entre 50-60%
- Et un rapport C/N entre 25-30

Procédés de compostage par aération forcée :

- 2 semaines de fermentation
- 1 retournement au minimum
- 3 jours entre chaque retournement
- 55 ° C au moins pendant 72 heures
- Assurer une humidité entre 50-60%
- Et un rapport C/N entre 25-30

Les méthodes de suivi du compostage



Recommandations

- La réussite du compostage en andains dépend de la qualité du brassage et du maintien d'une température élevée.
- Il faut veiller à maintenir un taux d'humidité propice (50-60 %), un rapport carbone/azote (C/N) optimal (25/1-30/1) et une aération ou des retournements suffisants et réguliers.
- Après chaque utilisation, il faut nettoyer le matériel de retournement du compost afin d'éviter de réintroduire des organismes pathogènes dans le compost.
- Éviter le passage d'un compost jeune à un compost plus évolué sans avoir nettoyé le matériel → risque de réensemencer le compost qui est en voie de maturation.

Annexe 3. Analyse de sol

En arboriculture, l'analyse de sol se fait aux profondeurs suivantes : de 0 à 30 cm et de 30 à 60 cm avec pour chaque horizon, quatre prélèvements à effectuer. Le diagnostic du sol en laboratoire reprend les éléments suivants :

- Propriétés chimiques du sol : Teneurs en éléments minéraux (carbone, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, sodium), mesure de la capacité d'échange cationique (CEC), du potentiel hydrogène (pH).
- Pour aller plus loin : Il est également possible de demander les valeurs en oligoéléments (Bore et Zinc) et traces métalliques du sol (cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc) afin de repérer d'éventuelles pollutions du sol.

Ces éléments permettent de déterminer la teneur en MO du sol, le rapport carbone/azote (C/N), le pourcentage de potassium (K %) dans la CEC, le rapport magnésium/calcium (Mg/Ca) qui permet également d'évaluer la CEC du sol.

Le pH du sol est un élément majeur car sa valeur nous renseigne sur l'assimilabilité des éléments minéraux, l'activité biologique du sol (les bactéries préfèrent un sol neutre), la stabilité des agrégats et le taux de MO en influant sur l'activité des microorganismes qui la décompose. Deux méthodes d'évaluation du pH existent, le pH eau et le pH KCL. Le pH eau est le plus intéressant car mesure l'acidité de la solution du sol obtenue. Selon la teneur en argile du sol, les valeurs optimales sont les suivantes :

Valeurs optimales de pH du sol selon sa teneur en argile (%) (Larrieu, 2019)

Type de sol (argile en %)	pH eau
Moins de 15 %	6.2 à 6.4
De 15% à 25 %	6.5 à 6.8
Plus de 25 %	7.0 à 7.4

L'évolution du pH dépend de la CEC du sol, plus elle sera faible plus le pH diminue rapidement et inversement (Ketterings et *al*., 2007). Le pH de la MO incorporée et donc sa quantité est également à prendre en compte. Sa vitesse de dégradation va influer sa capacité à retenir les cations du sol (CEC) *via* la formation d'humus et donc de complexes argilo-humiques (Ketterings et *al*., 2007). Les gains et pertes en nitrate au sein de la parcelle tendent à acidifier le pH (Ketterings et *al*., 2007).

La CEC permet d'évaluer la fertilité d'un sol en nous renseignant sur sa capacité à fixer les cations K +, Mg++ et Ca++. Elle dépend du taux d'argiles et de MO du sol, formant notamment des complexes argilo-humiques stables ayant un fort pouvoir de rétention des cations.

Interprétation de la valeur de CEC du sol (Cmol/kg) (Larrieu, 2019)

	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
CEC Cmol/kg	5<	5 à 10	10 à 25	25 à 40	>40

Le calcium favorise l'aération du sol, alors que le magnésium favorise l'adhésion des particules du sol. Un rapport Ca/Mg faible, indique que le complexe d'échange cationique est occupé en majorité par les ions de Mg, rendant le sol moins perméable. Le rapport Ca/Mg doit toujours être supérieur à 1 (Garcia, s.d.).

D'autres éléments comme les ions H+ peuvent se fixer à la place de ces ions et acidifier le sol. Il est donc nécessaire de compléter cette valeur de CEC par la valeur de la somme des cations échangeables, afin de savoir si le sol retient suffisamment bien les cations K +, Mg++ et Ca++ et non pas les H+.

Interprétation de la valeur de la somme des cations et du taux de saturation de la CEC en Cmol/kg et en % respectivement (Larrieu, 2019)

	Très faible	Faible	Moyenne	Normale	Trop forte
Somme des cations (Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^{+}) cmol/kg	2<	2 à 5	5 à 10	10 à 15	>15
(Ca^{2+}+Mg^{2+}+K^{+})/CEC en %	<40	40 à 50	50 à 60	60 à 90	90 à 100

Les optimums à attendre pour les ions K+, Mg2+ et Ca2+ sont résumés dans le tableau suivant.

Interprétation des rapports K/CEC, Mg/CEC et Ca/CEC (Larrieu, 2019)

	Insuffisant	Normal à optimum	Trop fort
K/CEC	<2.5%	2.5% à 4 %	>4 %
Mg/CEC	<5%	5% à 8 %	>8%
CA/CEC	<65 %	65% A 80 %	>80 %

Du fait de l'évolution lente du sol, une analyse poussée peut être envisagée tous les 5 à 10 ans.

Annexe 4. Réalisation de l'analyse de feuilles

Protocole

- Sur le lieu de prélèvement
    - Choisir 20 ou 30 arbres sains et homogènes, représentatifs de la parcelle, prélever toujours sur les mêmes arbres aux cours des années
    - Toujours prélever à la même époque
        - 70 à 90 jours après la pleine floraison (stade F2) pour le pommier et le poirier.
        - 70 80 jours après le stade F2 pour le prunier
        - 105 jours après le stade F2 pour l'abricotier, l'amandier et le pêcher
        - 45 jours pour le cerisier
        - 90 jours après la floraison pour le Kiwi
- Choisir le rameau à bois de l'année le plus représentatif de la vigueur et croissance moyenne de l'arbre (veiller à éliminer les gourmands)
- Cueillir des feuilles situées au milieu du rameau avec leur pétiole (entre 100 et 200 feuilles) (Larrieu, 2019)

Analyse et interprétation des résultats

Seuils de références pour l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) (Larrieu, 2019)

	N (% MS)	P (% MS)	K (% MS)	Ca (% MS)	Mg (% MS)
Pommier :	2,2 à 2.4	0.22	1.13 à 1.75	1.25	0.22 à 0.3
Prunier	2,4 à 3	0.14 à 0.25	1.6 à 3.0	1.5 à 3.0	0.3 à 0.80
Pêcher:	3,5	0.25	2.71	2.28	0.45
Cerisier	2,2 à 2.6	0.14 à 0.25	1.6 à 3.0	1.4 à 2.4	0.3 à 0.80
Poirier	2,0 à 2.5	0.15 à 0.30	1.2 à 1.6	1.2 à 1.8	0.20 à 0.30
Raisin Chasselas	1,6 à 1,8	0,20	1,7 à 1,8	1,7	0,22
Raisin Muscat	1,8 à 2,0	0.18 à 0.19	1,5 à 1,7	1,8 à 2,0	0.22