



Etude des flux de matières organiques de la Ferme du Bec Hellouin en 2016



Rédigé par Louise Géhin, novembre 2017
avec la supervision scientifique de François Léger
et la contribution de Margaux Villebrun et Luc Devaux



Remerciements

Merci à François Léger, directeur du programme de recherche, pour son accompagnement rigoureux et bienveillant.

Merci à Charles et Perrine Hervé-Gruyer d'ouvrir leur ferme et d'accepter les contraintes, parfois fortes, exigées par les protocoles d'étude.

Merci aux maraîchers, notamment à Teddy Perez, Jean-Claude et Jean-Pierre Bellencontre, pour leur disponibilité et leur assiduité lors du relevé des données.

Merci tout particulièrement au chef de culture, Teddy Perez, pour le travail minutieux d'encodage et pour ses remarques pertinentes et bienveillantes.

Merci à Antoine Milliard pour son aide précieuse lors de l'analyse des données.

Merci à Jean-Paul, Edith et Cécile pour leurs relectures minutieuses et bienveillantes.

Remerciements aux partenaires de l'Institut Sylva

Partenaires financiers :

- Fondation de France
- Fondation Iris
- Fondation Lemarchand pour l'Equilibre entre les Hommes et la Terre
- Fondation Lunt
- Fondation Picard
- Fondation Terra Symbiosis
- Mairie de Paris
- Mécénat BALT-NEWCO
- Mécénat Charlotte de Mévius
- Mécénat Gilles Ghesquière
- Ecole de Permaculture du Bec Hellouin

Partenariats scientifiques et techniques :

- Unité SAD-APT - INRA AgroParisTech
- Ferme biologique du Bec Hellouin
- Laboratoire d'Analyses Microbiologiques des Sols (LAMS)
- Université Libre de Bruxelles (ULB)
- Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO)
- Carbone 4
- Université de Gembloux
- Pur Projet
- Ecocert
- Groupe de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB)
- Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie (CRAN)
- Association Française d'Agroforesterie (AFA)
- Agroforestry Research Trust
- Actes Sud

Merci infiniment pour leur soutien et leur contribution au programme de recherches de l'Institut Sylva.

Sommaire

Remerciements	2
Introduction.....	5
1. Pourquoi s'intéresser à la fertilité des sols ?	7
2. La permaculture	9
3. Le maraîchage bio-intensif.....	10
4. La Ferme biologique du Bec Hellouin	12
1) Présentation générale	12
2) Le contexte pédoclimatique	13
3) Les zones permaculturelles de la Ferme du Bec Hellouin.....	13
4) Les pratiques culturales de la Ferme biologique du Bec Hellouin.....	15
5. Méthodologie de l'étude.....	17
1) Présentation de l'étude	17
2) Méthode de recueil et d'analyses des données	18
3) Fiche jardin.....	19
4) Choix des jardins étudiés	20
6. Présentation des principaux résultats	22
1) Présentation des différentes matières organiques utilisées dans les jardins étudiés en 2016	22
2) Schéma général des flux de matières	24
3) Différentes matières organiques, différents usages.....	25
4) Les flux de minéraux	26
5) Des apports massifs pour les jardins bio-intensifs.....	29
6) Des apports de matières organiques liés aux zones permaculturelles ?.....	30
7) Des flux de matières variant dans le temps	31
7. Discussion	32
Conclusion	36
Bibliographie.....	37
Glossaire	40
Annexes.....	44
ANNEXE 1 : Rôle et proportion des différents minéraux étudiés.....	45
pour les plantes (Source: Destain, 2014).....	45
ANNEXE 2 : Les systèmes de cultures de la Ferme du Bec Hellouin	46
ANNEXE 3 : Traitement des données.....	50
ANNEXE 4 : Rapport d'analyses d'eau	52
ANNEXE 5 : Regards croisés sur la gestion de la fertilité en maraîchage biologique	55
ANNEXE 6 : Forces et faiblesses du design des jardins étudiés en 2016	70

Introduction

L'Institut Sylva, la Ferme biologique du Bec Hellouin et l'INRA¹-AgroParisTech ont mené de 2011 à 2015 une première étude sur la performance économique du cœur intensif maraîcher de la microferme permaculturelle du Bec Hellouin.

Le reste de la ferme n'avait pas été étudié, alors que, dans une logique permaculturelle, cette zone intensément soignée et productive fait partie d'un ensemble agrosylvopastoral. Ce dernier comprend des cultures à cycle long, des fruitiers, des animaux, des zones pour le fourrage et la biomasse, des zones naturelles et des bâtiments nécessaires au bon fonctionnement écologique et économique de l'ensemble.

L'étude menée de 2015 à 2018 entendait donc aller plus loin, et s'intéresser à la durabilité de la microferme dans son ensemble, en se concentrant sur trois dimensions importantes :

1. Une meilleure description du fonctionnement global de la microferme permaculturelle², en particulier de ses zones permaculturelles, de la gestion de la fertilité de son sol et des flux de matières circulant entre les jardins.
2. L'étude de deux services écosystémiques : l'accueil de la biodiversité et la séquestration de carbone.
3. L'évaluation technico-économique de composantes plus extensives et diversifiées : les forêts-jardins.

Ce rapport présente l'étude des flux de matières réalisée dans le cadre du premier objectif de ce programme de recherche. Il complète le rapport sur les sols de la Ferme du Bec Hellouin produit par Claude et Lydia Bourguignon³.

Pourquoi s'intéresser à la fertilité du sol ?

La durabilité d'une ferme est donc conditionnée par sa rentabilité économique mais aussi par sa capacité à préserver son sol et les autres ressources naturelles. Le sol est en effet la base de la production agroécologique et le maintien et/ou l'amélioration de la fertilité du sol sont un enjeu majeur pour tout agriculteur.

¹ INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.

² Microferme permaculturelle : ferme de petite surface (généralement moins d'un hectare cultivé) aménagée selon les principes de la permaculture. Il s'agit généralement d'un système agrosylvopastoral, intégrant des espaces intensément cultivés de manière agroécologique et des espaces sauvages pour la biodiversité. Les cultures maraîchères sont réalisées avec un recours minimal aux énergies fossiles, essentiellement à la main, ce qui permet une densification élevée et une association des cultures permettant une production surfacique élevée.

³ Rapport disponible sur le site internet de l'Institut Sylva : www.fermedubec.com/la-recherche

Pourquoi les flux de matières organiques ?

Du fait des récoltes abondantes, le sol maraîcher connaît une forte exportation des matières organiques dans un système bio-intensif tel que celui de la Ferme du Bec Hellouin. Dans une perspective agroécologique, ces pertes doivent être compensées par des apports de matières organiques, afin de maintenir la fertilité du sol et un haut niveau de production. La durabilité et la reproductibilité des pratiques bio-intensives dépendent donc de la qualité, de la disponibilité et de l'accessibilité et de la matière organique, elles-mêmes conditionnées par la pertinence et la cohérence de la conception permaculturelle d'ensemble du site. L'étude conduite par l'Institut Sylva et la Ferme du Bec Hellouin en partenariat avec l'INRA-AgroParisTech visait ainsi à mesurer et évaluer l'efficacité de ces flux de matières. Elle s'appuie sur les observations réalisées pendant dix-huit mois, en 2015 et 2016 par les maraîchers de la Ferme du Bec Hellouin qui ont noté tous les apports et exports de matières organiques réalisés dans les jardins.

La première partie de ce rapport présente les concepts clés employés comme la fertilité, les matières organiques et la permaculture. La deuxième partie expose les spécificités culturelles de la Ferme du Bec Hellouin. Les résultats de l'étude sur les flux de matières organiques de la Ferme du Bec Hellouin en 2016 sont présentés en troisième partie, puis discutés en quatrième partie.

Précautions à l'attention des lecteurs, notamment des porteurs de projet

Cette étude n'a pas pour vocation de proposer des préconisations précises sur la gestion de la fertilité d'une microferme. Les données fournies ne sont pas des recommandations mais ont pour vocation de présenter et d'aider à comprendre les principes gouvernant cette gestion dans le cas forcément particulier de la Ferme du Bec Hellouin, principes qui peuvent inspirer ou aider à réfléchir d'autres maraîchers dans la conduite de leur propre ferme. De plus, les apports de matières organiques varient selon la disponibilité des ressources et peuvent donc varier d'une année à l'autre. Les chiffres présentés sont valables uniquement pour l'année 2016 et ne peuvent donc pas être considérés comme représentatifs d'un fonctionnement constant et immuable.

1. Pourquoi s'intéresser à la fertilité des sols ?

Pour se développer et fructifier, une plante a besoin d'eau, de lumière et d'éléments minéraux. Elle fabrique sa matière à partir de sels minéraux, d'eau et de gaz carbonique (CO₂) en exploitant l'énergie solaire : c'est le phénomène de la photosynthèse. La plante puise dans le sol les éléments minéraux et l'eau nécessaires à sa croissance. Les principaux éléments nutritifs dont elle a besoin pour sa croissance sont l'azote, le phosphore et la potasse. L'azote (N) et le phosphore (P) entrent dans la composition de très nombreuses molécules organiques d'importance biologique majeure (protéines, acides nucléiques, etc.). Si les plantes manquent d'azote, elles sont lentes à se développer. Si les plantes manquent de phosphore, la floraison est peu abondante et la maturation des fruits est longue. Le potassium (K) est utile à la circulation de la sève et à l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes. Il améliore leur résistance au gel, aux ravageurs et maladies, ainsi que la couleur et la qualité gustative des fruits. Les plantes ont également besoin d'un grand nombre d'autres éléments en plus petites quantités : calcium, magnésium, fer, sodium, soufre, etc.⁴

Le mot fertilité vient du latin *fertilis* signifiant « qui produit en abondance ». La fertilité d'un système agricole correspond à l'aptitude de ce dernier à répondre aux besoins de toute la chaîne alimentaire structurant l'agroécosystème, de la plante à l'homme en passant par les animaux et les micro-organismes (Gobat & al., 2010).

Le paradigme agronomique "moderne" a réduit la question de la fertilité par une vision analytique, cherchant à identifier et hiérarchiser les facteurs limitants la production, mesurés par la disponibilité de chaque nutriment nécessaire à la croissance et au développement des végétaux cultivés, afin de corriger ces limitations en apportant de façon ordonnée les éléments manquants (engrais) et en modifiant le sol pour augmenter les stocks disponibles (amendements).

En agriculture biologique, la fertilité est au contraire pensée de manière globale et intimement liée à l'idée de "bonne santé" du sol et de ses habitants. Ces derniers jouent un rôle fondamental dans la transformation des minéraux du sol et du sous-sol en éléments assimilables par les plantes. Les pratiques agroécologiques vont ainsi chercher à favoriser au maximum la vie du sol et du sous-sol, afin d'obtenir puis de maintenir la meilleure production possible de manière durable.

« Si nous voulons faire une agriculture durable, il nous faut donc changer complètement le concept désuet de la fertilisation chimique et développer un concept plus global de la fertilisation. Le paysan doit stimuler la fertilité de cet ensemble que constitue le sol, la faune et les microbes du sol et les plantes » (Bourguignon, 2008).

⁴ Pour plus d'informations, se reporter à l'Annexe 1 : Rôle et proportion des différents minéraux étudiés pour les plantes.

Des pertes de fertilité ont lieu du fait des récoltes, qui induisent l'exportation d'éléments nutritifs. Ces pertes doivent être compensées par une stratégie de gestion de la fertilité du sol, condition nécessaire à la pérennité et la durabilité de la ferme. En agriculture biologique, le principe de restitution est incontournable : « En plus des besoins de la culture, il faut connaître ses exportations, c'est-à-dire la quantité d'éléments que la culture va exporter du sol et qu'il faudra restituer sous une forme ou sous une autre. C'est ce que l'on appelle le principe de restitution » (Bourguignon, 2008).

La gestion de la matière organique des sols est la base de cette restitution. Du point de vue de l'agriculture biologique, l'agriculture peut même être interprétée comme un ensemble de techniques de valorisation et de renouvellement de la matière organique du sol.

Les matières organiques sont fabriquées par les êtres vivants, en particulier par les végétaux. Les produits de leur décomposition dans le sol, sous l'action d'une grande diversité d'organismes vivants, des arthropodes aux bactéries en passant par les champignons et les vers de terre, assurent de multiples fonctions. Ils en assurent la cohérence et la stabilité structurale. Ils déterminent la capacité de rétention d'eau et d'échange d'éléments nutritifs utilisés par les plantes, fourniture d'éléments minéraux nutritifs aux plantes, dans le sol.

Dans la nature, une partie conséquente des matières accumulées dans la végétation est restituée au sol par les excréments des herbivores de toute taille. Dans un agroécosystème, une manière éminemment classique de réintégrer dans les sols la matière exportée par les récoltes est d'y apporter les fumiers produits par les animaux domestiques. Cette restitution peut aussi se réaliser avec des matières végétales telles que les engrais verts, le Bois Raméal Fragmenté (BRF) ou les feuilles mortes. Le compostage préalable plus ou moins poussé de ces matières végétales permet d'en accélérer le recyclage, accroissant dans certaines situations l'efficacité des apports en augmentant la vitesse de mise à dispositions des éléments nutritifs minéraux, azote, phosphore, potassium etc. ⁵ En maraîchage bio-intensif, le paillage, outre l'apport régulier d'éléments nutritifs issus de sa décomposition, permet aussi de réduire l'entretien des cultures en limiter la concurrence des adventices et, surtout peut-être, de limiter l'évaporation et le lessivage du sol.

Il ne faut pas oublier en effet que "Les plantes prélèvent la plus grosse part de leur alimentation dans l'atmosphère et en particulier deux éléments : le carbone et l'oxygène, qui proviennent du gaz carbonique et qui fournissent à eux seuls 88 % de l'alimentation des végétaux (...). Cette observation nous permet de relativiser le rôle quantitatif des engrais dans la fertilisation des plantes et d'insister sur le rôle qualitatif qui est de loin le plus important » (Bourguignon, 2008).

⁵ Pour plus d'information, se reporter à l'Annexe 5 : Regards croisés sur la gestion de la fertilité en maraîchage biologique.

Dans beaucoup, sinon la plupart des situations, c'est l'eau qui constitue le facteur limitant de la production végétale. La matière organique des sols est une source de nutriments. Elle assure également une fonction physico-chimique essentielle : le niveau d'humus détermine le potentiel de rétention d'eau et d'éléments nutritifs par son association avec les argiles et les limons.

Les apports de matières organiques ont à la fois un "effet engrais" (apport d'éléments nutritifs) et un "effet structurant" (amélioration du potentiel de rétention et de libération d'eau et d'éléments minéraux). Les apports de matières organiques remplissent toujours ces deux fonctions, mais elles vont être remplies avec des efficacités différentes suivant les types de matières. La stratégie de gestion de la fertilité doit chercher à concilier ces deux fonctions sur le temps long au sein de l'écosystème que constitue le sol (Réseau GAB/FRAB, 2012). L'arbitrage auquel on doit aboutir dépend tout à la fois de la nature des sols et de la disponibilité en eau et en matières organiques de différents types. La connaissance de ce qui sort du système-sol permet de réaliser au mieux cet arbitrage et d'éviter les excès ainsi que les carences tout en respectant les capacités du sol et des plantes à digérer et assimiler les divers éléments apportés.

2. La permaculture

La permaculture cherche à concevoir des installations humaines harmonieuses, durables, résilientes, productives, économes en travail comme en énergie, à l'instar des écosystèmes naturels (Mollison & Holmgren, 1990). Deux principes permaculturels sont particulièrement repris dans le cadre de cette étude :

- Boucler les cycles biologiques : « *Les déchets des uns sont les ressources des autres* ». Ce premier principe nourrit l'objectif permaculturel d'autonomie alimentaire et énergétique. En effet, l'éthique permaculturelle se manifeste par cette conscience du caractère systémique, cyclique et non infini des ressources naturelles qui sous-tendent notre existence. L'idée est de boucler au maximum les cycles bio-géo-chimiques à l'échelle d'une exploitation, d'un village ou d'un territoire. C'est-à-dire : peu ou pas d'intrants, recyclage optimal, zéro déchet : par exemple, utilisation de compost issu de toilettes sèches dans l'amendement des sols en arboriculture.
- Créer le maximum de liens fonctionnels entre les différentes composantes du système : « *Chaque élément remplit plusieurs fonctions et chaque fonction est remplie par plusieurs éléments* ». Il s'agit de favoriser au maximum les interactions entre les constituants. La durabilité d'un système est renforcée par ces interrelations, puisque les fonctions essentielles sont garanties par plusieurs composantes du système.

Le design permaculturel correspond à l'agencement des éléments d'un système, afin que ce dernier soit adapté aux conditions écologiques locales, économe en énergie, faible en intrants et en déchets non valorisés, riche en habitats et en espèces en interaction.

À l'échelle d'une exploitation, le design se traduit par l'organisation des espaces selon des zones numérotées de 0 à 5. Les activités nécessitant les soins les plus intensifs sont placés à proximité des espaces les plus fréquentés (ex : habitation, bureau ou serre en zone 0). Les zones 1 et 2 sont visitées quotidiennement. Inversement, les activités nécessitant le moins de soins sont localisées dans les espaces moins visités (ex : prairie en zone 3 ou 4). Ceci permet de minimiser le temps investi dans le déplacement. Dans le gradient d'intensité des interventions humaines, la dernière zone (la cinquième), la moins visitée, est dédiée aux dynamiques spontanées de la biodiversité, dont les fonctions régulation biologique, accueil de la biodiversité et puits de carbone sont reconnues. Dans cette zone, la seule intervention humaine est la promenade et l'observation des processus biologiques spontanés : aucune ressource n'y est prélevée et aucune espèce n'y est introduite volontairement.

3. Le maraîchage bio-intensif

La micro-agriculture bio-intensive (ou méthode agricole *grow bio-intensive* développée par John Jeavons (2006) est un système agricole visant à produire une alimentation complète et durable sur une petite surface tout en enrichissant en humus le sol cultivé. Elle vise à obtenir des rendements élevés tout en respectant l'ensemble des organismes vivants. Elle s'inspire notamment de l'agriculture chinoise et grecque ancienne, de la biodynamie et des anciens jardiniers-maraîchers parisiens.

Pour garantir une pérennité de la fertilité du sol, John Jeavons réserve 60 % de sa surface cultivée à la « culture carbonée », afin de faire pousser suffisamment de végétaux pour réaliser le compost et pailler les cultures. Cela lui permet de tendre vers une autonomie en matière organique. L'un des principes fondamentaux de la micro-agriculture bio-intensive est le non-retournement des horizons⁶ du sol. Le travail du sol est principalement effectué à l'aide d'outils non motorisés et en général non-inversif (ne retournant pas les différents horizons du sol et n'enfouissant pas la litière).

S'inspirant entre autres de cette méthode, Eliot Coleman (2013), maraîcher installé sur la côte Nord-Est des USA, est l'un des pionniers de l'agriculture biologique en Amérique du Nord. Il est connu pour son inventivité (innovations sur des outils,

⁶ Horizons du sol : différentes strates (couches) du sol. Elles se distinguent l'une des autres par leur composition et leur épaisseur.

nouvelles techniques agricoles) et atteint une productivité très élevée sur petite surface presque sans mécanisation ni recours aux énergies fossiles, avec un travail manuel soigneusement planifié. Il a notamment développé un remarquable système de planches permanentes plates, pour lesquelles il a conçu un semoir manuel de précision à 6 rangs. Eliot Coleman s'est beaucoup inspiré des jardiniers-maraîchers parisiens du 19^{ème} siècle (Moreau & Daverne, 1845) qui cultivaient de façon très intensive sur couche chaude grâce au compostage du fumier des chevaux. A l'époque, les maraîchers d'Ile de France fournissaient la totalité des fruits et légumes consommés à Paris et sa périphérie.

La Ferme du Bec Hellouin a réalisée une synthèse de ces approches. La prochaine partie de ce rapport décrit les pratiques culturales de cette ferme biologique normande.

4. La Ferme biologique du Bec Hellouin

1) Présentation générale

La Ferme biologique du Bec Hellouin est une ferme expérimentale située en Normandie. Sa finalité est de produire des ressources alimentaires en abondance mais aussi des connaissances, dans le respect de l'environnement.

Historique

- 2004 : création d'une ferme familiale par Charles et Perrine Hervé-Gruyer.
- 2006 : obtention du label « Agriculture biologique ».
- 2008 : installation des serres et de la forêt-jardin initiale.
- De 2004 à 2014 : plantation des parcelles agroforestières.
- 2016 : implantation de la mini forêt-jardin.
- 2017 : implantation de la forêt comestible⁷.

Surfaces : *les surfaces renseignées ci-dessous sont les surfaces totales en 2016 (allées comprises), sauf mention spéciale.*

- 1,13 ha de microferme dont :
 - o 1 050 m² environ sont cultivés en maraîchage bio-intensif (hors allées), dont 339 m² de serre.
 - o Le reste est destiné à l'agroforesterie et à l'élevage de poules.
- 3,54 ha d'herbage, dont une parcelle de 1 500 m² destinée à la culture de blés anciens et de légumes de garde.
- 2,3 ha de pré-verger (près du village).
- 11,7 ha de bois (près du village).

Productions principales : légumes, fruits, petits fruits, produits transformés.

Commercialisation : en vente directe (paniers hebdomadaires), à des magasins spécialisés et à des restaurants.

Moyens humains : 3 équivalents temps plein.

Parc matériel : les outils utilisés sont principalement manuels (Campagnole, semoir, grelinette, râteau, binette, hache-paille, brouette de récolte, etc.).

⁷ Le rapport d'implantation de la forêt comestible est disponible sur le site internet : www.fermedubec.com/la-recherche

2) Le contexte pédoclimatique

La Ferme biologique du Bec Hellouin bénéficie d'un climat océanique dégradé (par année, 30 à 50 jours de gel, 700 à 900 mm de pluie). Elle est située en fond de vallée, sur un ancien lit de rivière, engendrant la présence de nombreux cailloux, une faible profondeur de sol (entre 10 et 40 cm) et un microclimat froid et humide. La nappe phréatique est proche de la surface (entre 50 et 80 cm de profondeur).

L'analyse de sol réalisée par Claude et Lydia Bourguignon en 2016 a montré que la vocation initiale de ce limon sableux non calcaire est celle d'un sol de prairie et non de cultures maraîchères.

Ce contexte particulier a été le point de départ d'une stratégie d'aggradation continue du sol. Pour plus d'informations sur les sols de la ferme, se reporter au rapport « Analyses des sols de la Ferme biologique du Bec Hellouin » par Claude et Lydia Bourguignon, disponible sur le site internet de l'Institut Sylva⁸.

3) Les zones permaculturelles de la Ferme du Bec Hellouin

La Ferme biologique du Bec Hellouin est composée de différents jardins, appartenant chacun aux zones permaculturelles suivantes :

- Zone 0 : la « serre atelier ». A l'entrée de la petite serre, cet espace sert à réaliser les réunions journalières, à planifier les activités de la semaine, à ranger les outils, à préparer les semis, à rassembler et peser les récoltes.
- Zone 1 : les jardins maraîchers « intensément soignés », situés à proximité de la zone 0, à savoir : la grande serre, le verger-maraîcher dit « Pommier » et l'île-jardin.
- Zone 2 : le jardin mandala et la mini forêt-jardin.
- Zone 3 : la forêt-jardin initiale, les prés-vergers, l'herbage et sa parcelle de blés anciens et de légumes de garde.
- Zone 4 : les jardins du terrain du haut, dont le jardin clairière, les prairies et forêts adjacentes.
- Zone 5 : plusieurs petits espaces, où on n'intervient pas ou peu à l'intérieur de la ferme comme par exemple le fond de la forêt-jardin initiale, peuvent avoir cependant des fonctions importantes : coupe-vent, régulation du microclimat, abris pour la biodiversité.

⁸ Rapport disponible sur : www.fermedubec.com/la-recherche

4) Les pratiques culturelles de la Ferme biologique du Bec Hellouin

La Ferme du Bec Hellouin se caractérise par une grande diversité de jardins. La finalité est d'obtenir un système agrosylvopastoral harmonieux, productif et durable. Ainsi, on trouve principalement des zones de :

- Maraîchage : intensément soignée (cœur bio-intensif) ou plus extensive (parcelle de légumes de garde en traction animale).
- Forêts-jardins et prés-vergers (cf. définitions dans le glossaire).
- Cultures destinées à pailler les zones maraîchères.
- Biodiversité (mares, haies, etc.).

Différents systèmes de cultures dans le cœur maraîcher bio-intensif sont employés : la planche plate, la butte ronde et la couche chaude. Cf. présentation en Annexe 2.

L'objet de ce rapport est d'étudier l'activité maraîchère de la Ferme biologique du Bec Hellouin. Les principes suivants y sont appliqués :

- Forte densification et association des cultures.
- Travail du sol le plus doux possible : non motorisé et non-inversif et ne retournant pas les différents horizons du sol et n'enfouissant pas la litière. Pour ce faire, un important travail de perfectionnement des outils a été réalisé à la ferme⁹.
- Dynamisation de la vie du sol par le paillage du sol et des préparations de micro-organismes efficaces (EM) ou de thés de compost.
- Création de microclimats et de refuges pour la biodiversité.

La densification des cultures

Le fait de cultiver à la main permet de densifier fortement les cultures (jusqu'à 1 rang tous les 6,5 cm) tout en limitant l'érosion du sol et la pousse d'adventices. Cette densification s'exprime par la coexistence de différentes espèces de plantes au sein d'un même espace cultivé.

Les associations de culture sont quasi-généralisées dans le cœur intensif de la Ferme du Bec Hellouin : 2 à 4 légumes sont cultivés simultanément. Par année, un espace cultivé accueille entre 3 et 8 légumes différents. Le contre plantage, permettant d'implanter une culture sur une surface où un autre légume est déjà en place, est également pratiqué.

Le paillage du sol

Le paillage consiste à apporter une couche de matière organique (fumier, Bois Raméal Fragmenté, consoude, etc.) au pied des cultures. Les paillages sont réalisés

⁹ Pour aller plus loin, consultez la rubrique « Nos outils » sur www.fermedubec.com/outils.aspx.

pour plusieurs raisons : fertilisation, protection du sol, diminution des adventices, amélioration de la rétention d'eau dans le sol. La diversité des matériaux utilisés permet d'apporter à l'humus une diversité de nutriments. Le paillage est pratiqué toute l'année, sauf au printemps, car la terre se réchauffe plus vite sans *mulch* et les limaces sont moins présentes sans cet abri.

La fertilisation

La plupart des jardins de la ferme ont reçu, à leur création, des quantités importantes de fumier de cheval décomposé, afin notamment d'augmenter la profondeur de sol. Les jardins bio-intensifs ont également reçu des apports d'engrais biologiques tels que le Patentkali, le Guanofort, les cornes de bovins broyées ou le vermicompost.

En 2016, l'apport de matières dans le sol des espaces cultivés a pris principalement la forme de fumier, de compost et de résidus de culture. Ces apports seront présentés en détail dans la quatrième partie de ce document.

En 2017, suite notamment à la venue de Claude et Lydia Bourguignon dans le cadre du programme de recherche, la gestion de la fertilité a changé. Selon eux, si la gestion de la fertilité réalisée à la ferme est largement suffisante et efficace pour ce qui concerne la matière organique et le carbone, elle ne suffit pas pour les éléments minéraux. Ils proposent donc d'amender le sol en apportant de l'argile (bentonite, argile à surface interne importante), de l'humus (compost de bonne qualité ou matière organique fraîche) et du calcium (calcaire broyé). Selon eux, une fois cette première étape réalisée (restauration physique), la fertilité chimique et l'activité biologique des sols s'amélioreront progressivement d'elles-mêmes. Les maraîchers de la Ferme du Bec Hellouin ont donc réalisé des essais d'amélioration de leur compost en y incorporant notamment de l'argile et du calcium. Ils ont également lancé une étude sur l'utilisation de compost de déchets verts.

5. Méthodologie de l'étude

1) Présentation de l'étude

Comment un jardin-maraîcher aussi petit peut-il soutenir durablement un tel niveau de production ? Tel est le point de départ du programme de recherche-action 2015-2018 mené par l'Institut Sylva, la Ferme biologique du Bec Hellouin et l'INRA-AgroParisTech. Cette présente étude s'inscrit dans le premier volet du programme intitulé : « Modéliser la microferme permaculturelle et envisager les conditions de sa durabilité ».

Finalités de ce premier volet

- Décrire le fonctionnement des différentes zones permaculturelles.
- Etudier les flux de matières organiques au sein de la microferme (fumier, copeaux de bois, récoltes...) entre les différents jardins, d'une part et entre la ferme et son territoire, d'autre part.
- Envisager les conditions de la durabilité de la gestion de la fertilité au sein de la microferme permaculturelle.

Finalités de l'étude sur les flux de matières organiques

Cette étude s'articule autour de **deux objectifs spécifiques** :

- Modéliser l'organisation des flux de matières organiques au sein de la Ferme du Bec Hellouin, et entre la ferme et son territoire, durant l'année 2016.
- Envisager la durabilité d'une telle gestion des matières organiques et de la fertilité des sols.



Schéma illustrant les questions de recherche

2) Méthode de recueil et d'analyses des données

La méthodologie de recueil et d'analyses des flux de matières a été proposée en 2015 par Clara Carrayrou lors de son stage de fin d'études (AgroParisTech). Avec son aide, a été mise au point une feuille simplifiée de relevés ou « fiche jardin ». Cette « fiche jardin », présentée page suivante, répertorie pour chaque matière organique utilisée :

- La provenance de chaque mouvement externe de cette matière (les flux de matières organiques au sein d'un même jardin ne sont donc pas étudiés).
- La quantité (en brouette, seau ou poignée).
- Le type (fumier, compost, etc.).
- Le lieu de dépôt (buttes ou allées).

Le recueil de ces données a été réalisé de juillet 2015 à décembre 2016 par les maraîchers de la Ferme du Bec Hellouin. Les six premiers mois ont permis de tester la méthode et d'affiner le protocole de recueil des données.

Les moyens humains et financiers ne permettaient pas d'étudier l'ensemble des jardins sur plusieurs années. L'étude a été réalisée sur un an (janvier à décembre 2016) en utilisant le nouveau protocole stabilisé en décembre 2015. Plusieurs jardins ont été sélectionnés, appartenant à différentes zones permaculturelles. Cf. ci-dessous la présentation des huit jardins étudiés.

Le travail d'encodage et d'analyse des données a été réalisé de juillet 2016 à mars 2017 grâce à l'aide de deux étudiants ingénieurs en stage de fin d'études, Margaux Villebrun et Luc Devaux. Un travail d'homogénéisation des données recueillies a été réalisé. Pour plus d'information, se reporter à l'Annexe 3.

Les exports de minéraux via les récoltes ont été quantifiés pour chaque jardin étudié, en croisant les données enregistrées par les maraîchers avec des tables existantes de composition minérale. Cependant, les tables existantes ne fournissent pas de valeurs pour de nombreux légumes cultivés à la ferme et pour le maraîchage bio-intensif. Les données fournies par ce travail comportent des biais et doivent être analysées avec prudence. L'Annexe 3 détaille la démarche suivie lors de cette étude pour le traitement des données.

4) Choix des jardins étudiés

Pour comprendre le fonctionnement systémique de la Ferme biologique du Bec Hellouin, il est nécessaire de prendre en compte d'étudier non seulement le cœur maraîcher intensif de la ferme mais d'autres jardins appartenant à différentes zones permaculturelles :

- **La grande serre** : espace intensément soigné, d'une productivité élevée (zone permaculturelle n°1). La plupart des cultures estivales à hautes valeurs ajoutées y sont réalisées. Systèmes de culture utilisés : planches plates surélevées et couches chaudes¹⁰.
- **Le verger maraîcher « Pommiers »** : jardin également intensément soigné, entouré de pommiers (zone permaculturelle n°1). Systèmes de culture utilisés : planches plates et couches chaudes.
- **La grande île-jardin** : intensément soigné et entouré d'eau, ce jardin a été conçu pour tirer sa fertilité principalement de sa proximité avec la forêt-jardin et les mares (zone permaculturelle n°1). Système de culture utilisé : buttes rondes.
- **La mini forêt-jardin** : modèle « intensément soigné » de forêt-jardin (zone permaculturelle n°2). Ce modèle de forêt-jardin est un dispositif expérimental visant à produire un maximum de fruits, petits fruits et plantes vivaces sur un petit espace. Système de culture utilisé : buttes rondes recouvertes de bâches biodégradables.
- **Le jardin-mandala** : jardin circulaire, composé de plantes vivaces et annuelles (zone permaculturelle n°2). Système de culture utilisé : buttes rondes.
- **La parcelle de blés anciens et de légumes de garde** située sur un ancien herbage mitoyen du cœur bio-intensif (zone permaculturelle n°3). Système de culture utilisé : billons¹¹ conduits en traction animale.
- **La forêt-jardin initiale** : modèle plus extensif de forêt-jardin que la mini forêt-jardin, elle joue un rôle de brise-vent, accueille la biodiversité et produit du paillage pour les jardins maraîchers. Objet de peu de soins, elle produit

¹⁰ Couche chaude : technique culturale développée par les maraîchers parisiens du 19^{ème} siècle. Ce sont des épaisses couches de fumier qui dégagent de la chaleur en se décomposant. La Ferme du Bec Hellouin s'inscrit dans une agriculture post-pétrole, en expérimentant des techniques nécessitant le moins d'énergie fossile possible. La couche chaude en est un exemple. Ce système cultural permet d'allonger la période de production des légumes et, une fois le fumier des couches chaudes décomposé, d'avoir du terreau pour les semis et le compost.

¹¹La culture sur billons est une technique agricole utilisée pour limiter les effets d'une humidité ou pluviométrie importante ou pour permettre les cultures sur les sols trop argileux.

quelques fruits et petits-fruits qui complètent l'offre maraîchère de la ferme (zone permaculturelle n°3).

- **Un jardin clairière** : loin du cœur intensif de la ferme et des autres jardins étudiés, situé sur un versant de colline proche du village du Bec Hellouin, ce jardin plus « sauvage » est cultivé de manière très extensive (zone permaculturelle n°4). Certaines matières y sont prélevées pour pailler le cœur intensif de la ferme (feuilles, fougères, etc.) mais ces prélèvements sont plutôt rares du fait de l'éloignement. Système de culture utilisé : buttes rondes avec des plantes aromatiques et des légumes à cycle long nécessitant peu de soin.

La **zone de compostage**, qui joue un rôle important dans le recyclage des matières a été également étudiée. Cette dernière est une zone virtuelle regroupant les différents espaces de compostage, à savoir :

- Le compost situé dans le poulailler de la grande serre.
- Le fumier des animaux de la ferme issu des différents paddocks.
- Le compost situé dans le jardin « Pommiers », en face de la grande serre, qui est un mélange de résidus de culture, d'adventices, de plantes fauchées et de déchets ménagers.
- Le compost issu du fumier des couches-chaudes de l'année précédente.

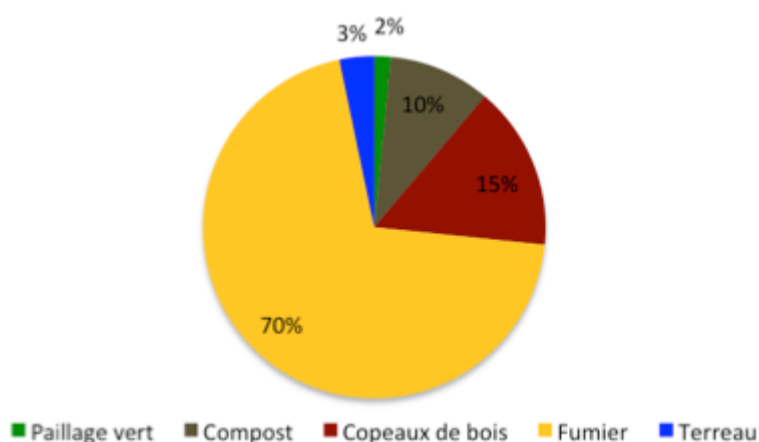
Un diagnostic des forces et des faiblesses du design de ces jardins est présenté en Annexe 6.

6. Présentation des principaux résultats

L'étude rend compte des flux de matières entre les jardins étudiés et entre la ferme et son territoire en 2016. Les flux internes au sein d'un même jardin ne sont donc pas étudiés. Les apports de matières dépendent de la disponibilité des ressources qui varie fortement d'une année à l'autre, les données présentées sont donc à prendre comme des valeurs indicatives. La présentation des résultats se veut la plus synthétique possible tout en restant fidèle aux données brutes.

1) Présentation des différentes matières organiques utilisées dans les jardins étudiés en 2016

- **Bois fragmentés très ligneux** : fournis par différents chantiers d'entretien d'espaces verts des communes voisines du Bec-Hellouin, ce sont essentiellement des branches de résineux broyées, ci-après nommé « Copeaux de bois » dans cette étude.
- **Fumier d'écurie, souvent très pailleux**, provenant du centre équestre voisin. Il est utilisé comme paillage des allées, directement sur les cultures le tolérant (choux, etc.) ou pour réaliser les couches chaudes.
- **Terreau** (certifié Agriculture Biologique) : mélange de tourbe noire (majoritaire), tourbe blonde et compost végétal enrichi d'une fertilisation bio. Il est utilisé pour les premières phases de plantation (mini-mottes, mottes, semis, etc.). Il est ensuite transplanté avec les plants. La tourbe provient de différents pays européens, la provenance des autres composants est inconnue.
- **Paillage vert** : adventices, ortie, consoude, gazon, résidus de cultures, provenant de la ferme.
- **Compost** : exclusivement produit à la ferme en 2016, il est réalisé à partir du fumier de l'écurie du village (préalablement composté via le système de couches chaudes de l'année précédente) et de matières issues de la ferme (adventices, résidus de cultures, fumiers des animaux de la ferme).



Proportions des matières utilisées dans les jardins étudiés en 2016 de la Ferme du Bec Hellouin

Le bouclage des cycles de matières est bien réalisé à l'échelle du territoire et pas seulement au sein de la ferme. La durabilité du système dépend donc de la qualité de l'ancrage territorial, qui permet de sécuriser ces flux externes.

Le tableau ci-dessous montre l'extrême variabilité des apports dans les différents jardins. L'intensité des flux est logiquement dépendante du degré d'intensification recherché, c'est-à-dire de l'importance de la production exportable attendue par unité de surface.

	Paillage vert	Compost	Copeaux de bois	Fumier	Terreau	Total matières
Grande serre	1 096	3 929	2 945	7 428	1 264	16 662
Pommiers	123	3 815	4 866	4 182	1 000	13 986
Ile-jardin	306	1 185	4 172	9 093	1 000	15 756
Mini forêt-jardin	9	675	2 503	2 730	0	5 917
Jardin mandala	0	0	0	4 900	0	4 900
Forêt-jardin initiale	0	0	960	3 010	0	3 970
Jardin clairière	0	0	0	0	0	0
Herbage	0	0	0	38 600	0	38 600
Total jardins étudiés (kg matières fraîches)	1 534	9 604	15 446	69 943	3 264	99 791

Quantité de matière organique apportée en kg de matières fraîches dans les jardins étudiés de la Ferme biologique du Bec Hellouin en 2016

2) Schéma général des flux de matières

Les flux de matières sont modélisés dans le schéma ci-dessous qui met en évidence :

- L'importance de la zone de compostage, comme plaque tournante des matières : les matières arrivent à la zone de compostage soit pour être compostées, soit pour être stockées en attendant d'être hachées ou utilisées.
- Un gradient d'intensité des flux : de la grande serre au jardin clairière.

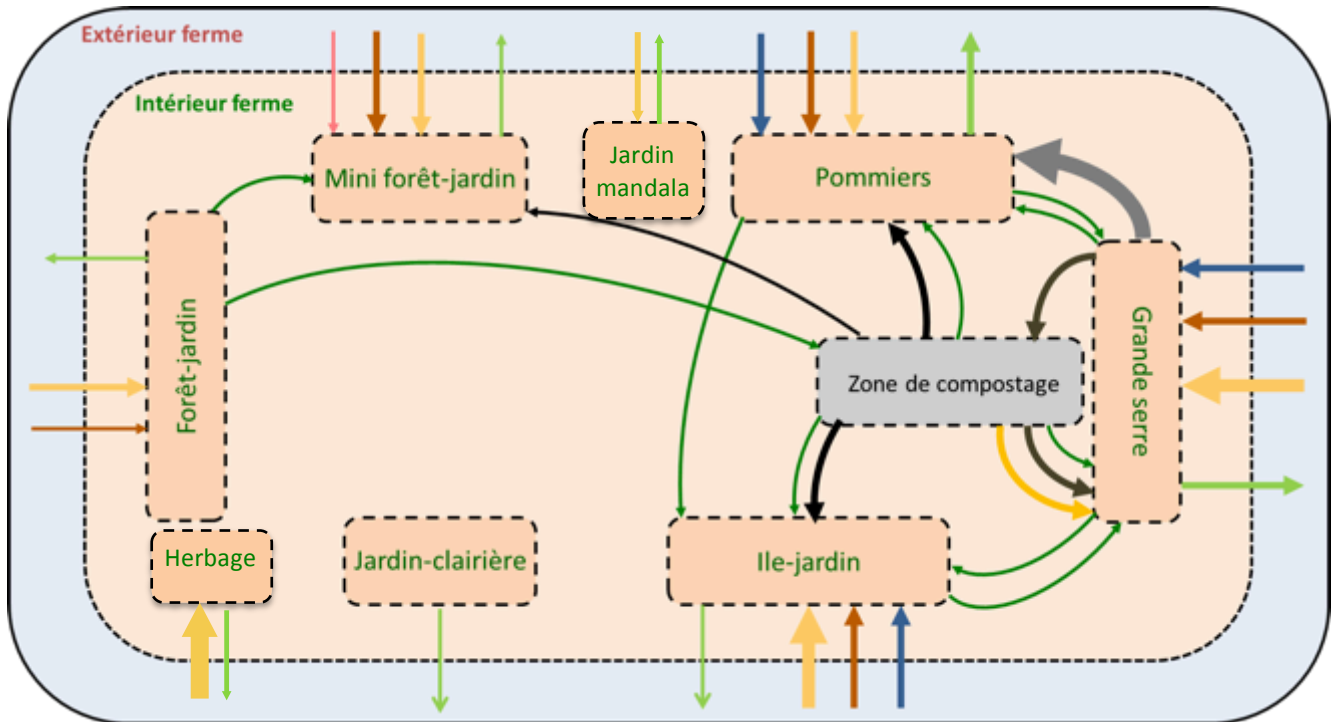
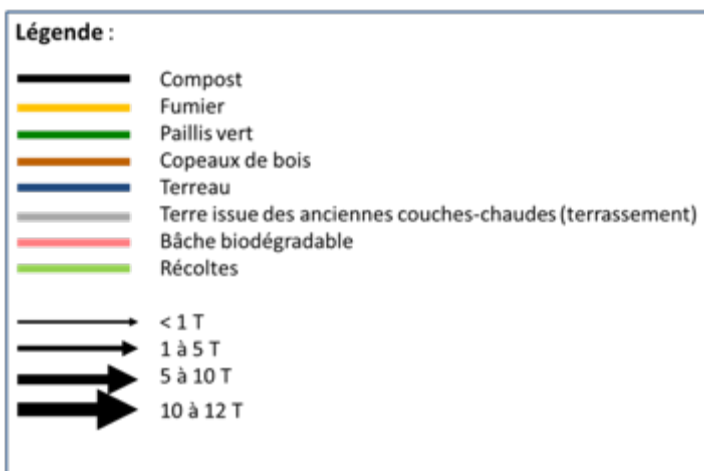


Schéma des flux de matières de la Ferme du Bec Hellouin en 2016



3) Différentes matières organiques, différents usages

À la Ferme du Bec Hellouin, l'apport de matières organiques est réalisé pour trois principales raisons : la fertilisation, le paillage des cultures et le paillage des allées.

Le paillage des allées

Afin d'assurer le confort des maraîchers en hiver, augmenter l'esthétique du lieu et limiter le temps de travail, les copeaux de bois (matières très abondantes en 2016) ont servi au paillage des allées de la grande serre, de la grande île-jardin, du jardin « Pommiers » et de la mini forêt-jardin. En 2016, dans les jardins bio-intensifs, **30 à 40 % de la matière est déposée sur les allées.**

	Type de matières	Apport de matières par m ² sur les zones cultivées (kg / m ²)	Apport de matières par m ² dans les allées (kg / m ²)
Grande serre	Compost	11,6	0
	Fumier	Sur planches plates : 17 Pour couches chaudes : 64	0
	Paillage vert	3,2	0
	Copeaux de bois	0	9,6
Île-jardin	Compost	6,1	0
	Fumier	38,7	4,1
	Paillage vert	1,6	0
	Copeaux de bois	0	11
Pommiers	Compost	32,9	0
	Fumier	16,3	8,2
	Paillage vert	1	0
	Copeaux de bois	0	17,4

Détails des apports de matières organiques des jardins bio-intensifs

La fertilisation et le paillage des cultures

Le fumier et le compost servent principalement à la fertilisation des zones cultivées des trois jardins maraîchers bio-intensifs. Il est à noter qu'une partie du fumier utilisé dans la grande serre est destiné à la conception des couches-chaudes (30 %).

Les déchets verts (ortie, consoude, résidus de culture) sont broyés au hache-paille puis déposés au pied des cultures pour limiter la poussée d'adventices et l'évaporation. Ils jouent également un rôle de dynamisation de la vie dans le sol et de fertilisation. Cette ressource étant disponible en moins grande quantité et nécessitant du temps de travail, elle est utilisée en priorité dans la grande serre (notamment aux pieds des tomates).

Petite précision pour les résidus de cultures : si la prochaine culture est repiquée, les racines de l'ancienne culture sont laissées en terre et le reste est broyé et déposé aux pieds de cultures qui ont en besoin. Si la prochaine culture est semée, les restes des collets sont enlevés.

Des engrais verts (orge, seigle, moutarde) ont été implantés sur l'ancienne parcelle agroforestière (en face de la petite île). Ils ont servi au paillage d'une partie des zones cultivées de la grande île-jardin. Ces engrais verts sont un moyen efficace d'améliorer les sols. Toutefois, selon les maraîchers de la Ferme du Bec Hellouin, leur mise en place, et surtout leur destruction et leur incorporation, seraient plus difficiles à réaliser sur des buttes de cultures permanentes (cultivées avec des outils manuels) que sur des surfaces cultivées avec mécanisation.

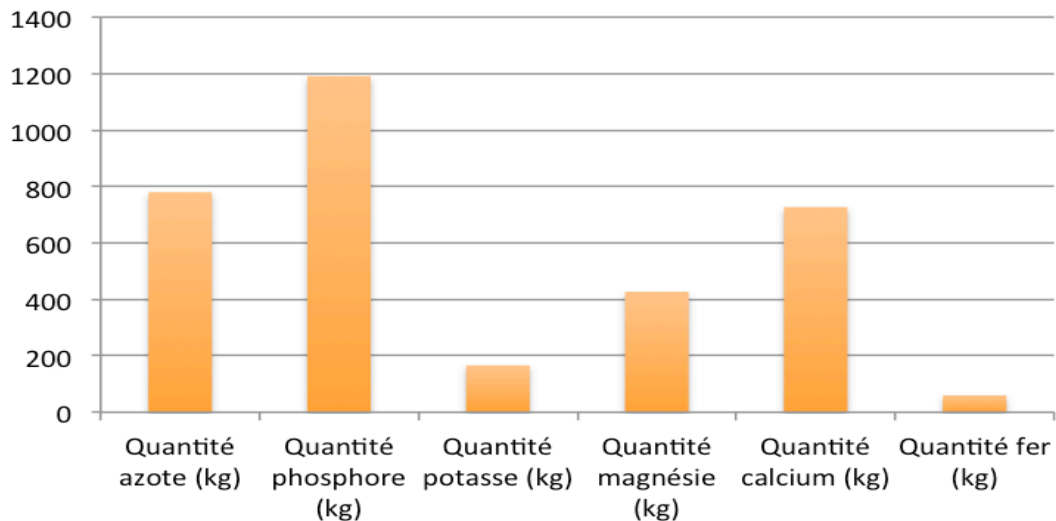
4) Les flux de minéraux

Les teneurs en minéraux des matières organiques utilisées à la Ferme du Bec Hellouin ont été mesurées. Les teneurs en minéraux du compost, du fumier et des copeaux de bois ont été analysées en 2016 par l'ASBL Centre de Michamps. Pour estimer les teneurs des résidus de cultures, une moyenne de l'ensemble des teneurs en minéraux des légumes récoltés à la Ferme du Bec Hellouin a été effectuée. La teneur en minéraux a été obtenue via les sites de l'Aprifel (<http://www.aprifel.com/>) et de l'Anses (<https://pro.anses.fr/tableciqual/>).

Minéraux (g/kg de matière fraîche) Matières	Azote total (N)	Phosphore (P ₂ O ₅)	Potasse (K ₂ O)	Magnésie (MgO)	Calcium (CaO)	Fer (Fe)
Compost	4.70	4.43	1.88	4.65	17.90	2.67
Fumier	10.50	16.42	2.11	5.47	7.94	0.49
Copeaux de bois	3.10	2.94	1.10	1.02	6.11	0.28
Résidus de culture	9.68	6.63	8.17	1.60	3.97	0.030

Teneur en minéraux des principales matières utilisées en 2016 dans les jardins étudiés de la Ferme du Bec Hellouin

Ces chiffres permettent de calculer les apports de minéraux dans les différents jardins.



Quantité des différents minéraux apportés par le compost et le fumier dans les jardins étudiés de la Ferme du Bec Hellouin en 2016

Les quantités apportées en azote, phosphore et calcium sont élevées. Des apports importants en phosphore soluble et en azote peuvent limiter le développement des mycorhizes dans le sol (Cf. Définition en Glossaire). Ces associations bénéfiques entre certains champignons et les racines de certaines plantes jouent un rôle important dans la nutrition et la santé des plantes. Une étude sur le développement des mycorhizes dans les sols bénéficiant d'apports importants de matières organiques serait intéressante à réaliser afin de vérifier que ces apports n'impactent pas le développement de ces dernières.

Les flux d'azote

En 2016, **780 kg d'azote** ont été apportés via le fumier et le compost dans les jardins étudiés sur une surface agricole utilisée de 4,67 hectares¹², ce qui revient à environ 167 kg d'azote par hectare de surface agricole utilisée. Cette valeur est élevée mais légèrement inférieure au sein légal fixé par la Directive Nitrates : 170 kg d'azote par hectare de surface agricole utilisée¹³.

¹² La surface agricole utilisée prise en compte est de 4,67 hectares, soit 1,13 ha de microferme où sont situés les jardins bio-intensifs et 3,54 ha d'herbage où sont cultivées les blés anciens et les légumes de garde.

¹³ En Agriculture Biologique, la directive Nitrates s'applique dans toutes les fermes : « L'exploitation agricole ne peut dépasser 170 kg d'azote par an/hectare de surface agricole utilisée. Cette limite s'applique uniquement à l'utilisation de fumier, de fumier séché et de fiente de volaille déshydratée, de compost d'excréments d'animaux solides, y compris de fiente de volaille, de fumier composté et d'excréments d'animaux liquides » (ECHO-MO, 2012). Pour la Ferme du Bec Hellouin, en 2016, ce

	Compost	Fumier	Total matières
Grande serre (kg matières fraîches)	3 929	7 428	16 662
Pommiers (kg matières fraîches)	3 815	4 182	13 986
Ile-jardin (kg matières fraîches)	1 185	9 093	15 756
Mini forêt-jardin (kg matières fraîches)	675	2 730	5 917
Jardin mandala (kg matières fraîches)	0	4 900	4 900
Forêt-jardin initiale (kg matières fraîches)	0	3 010	3 970
Jardin clairière (kg matières fraîches)	0	0	0
Herbage (kg matières fraîches)	0	38 600	38 600
Total jardins étudiés (kg matières fraîches)	9 604	69 943	99 791
Total azote jardins étudiés (kg N)	45	734	780
Azote apporté par ha utilisé (kg N/ha)	10	157	167

Teneur d'azote apporté via le fumier et le compost en 2016 dans les jardins étudiés de la Ferme biologique du Bec Hellouin

Il y a-t-il un risque de pollution des nappes ?

Ces apports massifs, de fumier notamment, entraînent un risque de lessivage et de pollution des nappes¹⁴.

D'après Claude et Lydia Bourguignon, ce dernier est faible étant donné la densité élevée du couvert végétal et les associations culturales.

Trois prélèvements d'eau ont été réalisés en juillet 2017 : dans la rivière en amont de la ferme, à l'entrée de la mare attenante à l'île-jardin (qui devrait logiquement récupérer les éventuelles fuites) et dans cette mare.

sont donc le fumier du cheval et le compost (issu de fumier de cheval) qui sont concernés par cette directive.

¹⁴ Lessivage : transport de particules des couches supérieures du sol par l'eau de pluie en direction de la nappe phréatique. Voir définition complète dans le glossaire. Source : Wikipedia.

	Eau rivière en amont de la ferme	Eau de rivière juste avant la mare de l'île-jardin	Eau de la mare de l'île-jardin
Nitrates (mg/L) ¹⁵	34,8	34,8	31,6
Orthophosphates (mg/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15

Résultats des analyses d'eaux prélevées le 30 juin 2017 et réalisées par LABEO Eure

D'après ces analyses, il n'y a pas de différence significative entre l'eau de rivière et l'eau de la mare, comme l'illustre le tableau ci-dessus (Cf. le rapport d'analyses d'eau du laboratoire en Annexe 4). Cependant, l'eau de la mare étant très régulièrement renouvelée, il est compréhensible que les valeurs soient proches.

Une analyse plus précise des lixiviats permettrait d'affiner ces premiers résultats.

5) Des apports massifs pour les jardins bio-intensifs

Les jardins recevant le plus de matière organique sont les trois jardins bio-intensifs. Dans la grande serre, la balance des matières est quasi équilibrée. Les bacs des anciennes couches-chaudes ont été entièrement décaissés pour réalimenter le jardin « Pommiers ». En outre, la présence du poulailler¹⁶ avec compost intégré joue un rôle important dans le recyclage des matières.

Dans les autres jardins, les apports de matières organiques sont nettement supérieurs aux exports (sauf dans le jardin-clairière). Une partie de ces apports est destinée à l'entretien des allées et des passe-pieds.

En 2016, le jardin « Pommiers » est celui qui a reçu le plus de matière. Ce jardin a en effet reçu un apport exceptionnel de matières en 2016 : les planches plates permanentes s'affaissaient et ont dû être remodelées. Pour cela, les bacs des anciennes couches-chaudes de la grande-serre ont été décaissés et le terreau déposé dans le jardin « Pommiers ».

¹⁵ D'après France Nature Environnement, il y a un risque d'eutrophisation¹⁵ à partir de 1 mg/L de nitrates (ce qui est très bas comparé au seuil de potabilisation de 50 mg/L). Les eaux de la rivière et de la mare ont des teneurs en nitrate bien supérieures (plus de 30 fois plus élevées que le seuil recommandé par France Nature Environnement), mais en dessous du seuil de potabilisation.

¹⁶ A l'intérieur de la serre, un poulailler a été construit afin de notamment composter les adventices retirées des zones de cultures : les poules se nourrissent du compost d'adventices situé dans le poulailler et enrichissent le compost restant de leur fumier et de leur plume.

6) Des apports de matières organiques liés aux zones permaculturelles ?

Selon la logique permaculturelle, les jardins les plus intensément soignés situés en zone 1 seraient ceux qui importent et exportent le plus de matières organiques. Logiquement consommateurs de matières organiques, ils pourraient être considérés comme « jardins puits ». Inversement les jardins des zones permaculturelles 3 et 4 devraient présenter des flux plus petits, être producteurs de matières et donc considérés comme « jardins sources ». L'étude confirme en partie cette logique. En 2016, les jardins étudiés situés en zone permaculturelle n°1 sont ceux qui importent et exportent le plus de matières. A l'opposé, les jardins des zones permaculturelles 2, 3 et 4 importent et exportent moins de matières. Le jardin clairière (zone permaculturelle n°4) n'a pas reçu de matières en 2016. Il a simplement exporté des récoltes (ail, chou et plantes aromatiques). Certaines actions d'implantation et d'entretien (paillage des allées et des cultures) ont été réalisées en 2015 et n'ont donc pas été enregistrées.

Les jardins des zones permaculturelles 3 et 4 sont faiblement producteurs de matières en 2016. Bien que la forêt-jardin initiale produise du paillage pour les cultures du cœur intensif, les ressources internes de la ferme ont été relativement peu utilisées en 2016. En effet, une grande quantité de matières très peu chères et très faciles d'accès (fumier et copeaux de bois acheminés par tracteur ou camionnette) était disponible en 2016. Or, l'utilisation des ressources internes est gourmande en temps humain car les plantes, produites au sein de la ferme pour le paillage, sont fauchées puis broyées au hache-paille avant d'être disposées sur les cultures. En été, au pic de charge de la saison, il peut être judicieux de s'économiser. Les maraîchers ont trouvé cohérent de privilégier une ressource abondante et facile d'accès. L'économie d'énergie est au centre des préoccupations permaculturelles. L'option « ressources externes » économise l'énergie des maraîchers et recycle des déchets. L'option « ressources internes » économise l'énergie fossile, également au cœur des enjeux sociétaux. Faire des choix de ce type n'est pas anodin. Parfois il apparaît vital de prendre soin de la zone permaculturelle 00 (l'humain, le jardin intérieur) : « c'est la plus fréquentée et la plus importante du projet » (Nathié, 2015).

Les forêts-jardins, qui devraient être des « jardins sources », se révèlent être en 2016 des « jardins puits ». La mini forêt-jardin a été implantée au printemps et a reçu des apports de copeaux de bois et du fumier dans les allées. Par ailleurs, la forêt-jardin initiale a été réhabilitée. Du fumier a été déposé pour amender les petits-fruits et augmenter la récolte. Aucun apport n'avait été réalisé depuis les apports massifs de fumier lors de l'implantation de cette forêt-jardin en 2008. Ces résultats ne sont donc pas révélateurs d'une gestion de la fertilité des forêts-jardins adultes¹⁷.

¹⁷ La finalité est d'intervenir le moins possible dans une forêt-jardin. Un espace prévu pour la production de paillage (consoude, ortie, BRF, etc.) et des fixateurs d'azote permettent de réduire au

7) Des flux de matières variant dans le temps

Différentes périodes d'apport de matières

A la Ferme biologique du Bec Hellouin, en 2016, l'apport de compost est réalisé à chaque préparation de planche, en moyenne, une à deux fois par an.

Pour les cultures estivales, l'apport de compost est complété une fois par mois afin de maintenir la fertilité et limiter les pertes, à raison d'un seau par m².

Un important paillage des cultures est généralement réalisé en fin d'automne sur les zones cultivées pour les protéger en hiver.

Un autre paillage a lieu en milieu ou fin de printemps (et non pas en début de printemps pour ne pas attirer trop les limaces et laisser les terres se réchauffer). D'autres paillages, moins importants sont effectués au cours de l'été, afin d'entretenir la couche de paillage.

Les allées sont paillées en hiver et entretenues si nécessaire le reste de la saison.

Des apports de matières évoluant fortement d'une année à l'autre

Cette étude réalisée sur un an ne rend pas compte de la gestion pluriannuelle des matières réalisées à la Ferme du Bec Hellouin.

Par exemple, le paillage des allées n'est pas systématiquement assuré toutes les années. Les maraîchers réalisent parfois un paillage très important qui servira pendant plusieurs années. Les années suivantes, ils ne réaliseront pas forcément de paillage de cette zone (ou alors très peu). C'est le cas par exemple de la grande île-jardin qui a été plus légèrement paillée en 2017.

Dans le jardin « Pommiers », un apport considérable de terreau (issu des anciennes couches chaudes) a été réalisé en 2016 et ne sera sans doute jamais plus répété.

maximum les interventions extérieures. Des apports peuvent être envisagés lors des premières années d'une forêt-jardin afin de favoriser une bonne reprise des végétaux.

7. Discussion

L'enjeu de cette étude est de présenter les flux de matières organiques au sein de la Ferme du Bec Hellouin, et entre la ferme et son territoire. La réalisation de cette étude s'est adaptée aux contraintes d'une ferme en fonctionnement, et notamment à la disponibilité des maraîchers. À ce sujet, il faut noter qu'il est rare et précieux qu'une ferme professionnelle accueille un tel programme de recherche et en accepte les contraintes, parfois lourdes en pleine saison.

Les apports de matières organiques variant selon la disponibilité des ressources et pouvant évoluer d'une année à l'autre, les données présentées sont à prendre comme des valeurs indicatives, pas forcément représentatives du fonctionnement d'une microferme en rythme de croisière. Ces données sont valables uniquement pour la Ferme biologique du Bec Hellouin en 2016. Pour obtenir des résultats consolidés, plusieurs années d'étude auraient été nécessaires, afin d'analyser les variations interannuelles.

Les apports, notamment de fumier, réalisés par l'équipe de la Ferme du Bec Hellouin pendant de nombreuses années, semblent avoir répondu aux attentes des maraîchers. En effet, ces derniers constatent l'amélioration de la texture du sol, induisant une diminution du travail du sol et rendant désormais possible l'utilisation d'outils de travail du sol doux, comme la Campagnole. En outre, la couverture du sol quasi-permanente, engendrée par la matière organique déposée en surface, réduit le temps de désherbage.

Par ailleurs, le bois ligneux broyé déposé dans les allées permet d'améliorer le confort des maraîchers en hiver (les chemins ne sont plus boueux) et de diminuer le travail d'entretien. Cette matière faiblement azotée n'engendre pas de lessivage et se dégrade lentement.

En partant de l'expérience pilote de la Ferme biologique du Bec Hellouin, cette étude permet de poser un certain nombre de questions et ouvre la réflexion sur une gestion globale de la fertilité des sols en croisant différentes approches.

Quelles quantités de matières organiques apporter ?

Connaître la « bonne » dose de matières organiques à apporter au sol n'est pas si simple.

A la ferme biologique du Bec Hellouin, des quantités importantes de fumier notamment sont apportés sur les zones cultivées des jardins bio-intensifs. Etant donné les résultats de cette étude, on peut s'interroger sur la nécessité de poursuivre de tels apports et suggérer de réduire ces derniers par la suite. En effet, en 2016, la Ferme du Bec Hellouin a presque atteint le seuil maximal d'accueil de matières selon les normes fixées par la Directive Nitrates.

Cependant on peut s'interroger sur l'adaptation de cette Directive au maraîchage bio-intensif. Ce dernier, réalisé sur de très petites surfaces, offrant une couverture du

sol quasi-permanente, exportant beaucoup de récoltes au m², associant et densifiant fortement les cultures, apportant majoritairement des amendements organiques, doit-il être assujéti aux mêmes normes ? Ces dernières ne devraient-elles pas non plus être adaptées à la nature des sols ? Cette question, soulevée par l'étude, mériterait d'être approfondie.

Pendant combien de temps doit-on apporter de la matière organique ?

A la création d'un jardin, un apport important de fumier bien décomposé ou de compost peut être tout à fait justifié. Par la suite, une gestion plus qualitative est vivement recommandée.

On peut différencier deux étapes dans la gestion de la fertilité des sols maraîchers : l'aggradation du sol (ou phase curative) et la phase d'entretien.

La première étape est dédiée à l'aggradation du sol afin d'optimiser la production maraîchère. Pendant plusieurs années, le paysan va s'attacher à augmenter la teneur en matière organique, améliorer la structure, combler les manques éventuels en éléments nutritifs, dynamiser la vie, etc.

Dans un second temps, lorsque les observations et les analyses le confirment, on rentre dans une phase d'entretien. Il convient alors de réduire les doses et de s'engager dans une démarche plus qualitative.

Quelles matières utiliser ?

La Ferme biologique du Bec Hellouin utilise majoritairement du fumier. Cette matière, dans le contexte de la ferme, présente de nombreux avantages :

- Matière abondante et facilement accessible.
- Insertion territoriale : l'utilisation du fumier permet de créer des liens sociaux entre la ferme et son territoire.
- Recyclage des déchets : avant que la ferme utilise ce fumier, il était stocké dans un endroit peu sûr, présentant des risques de pollution des nappes.
- Confection des couches chaudes : ces couches de fumier en décomposition permettent d'augmenter la température de la serre en hiver, d'avoir du terreau pour les semis et de faire du compost. Les couches chaudes étant principalement réalisées sous serre, le risque de lessivage est fortement réduit.

Cependant, le fumier présente également certains inconvénients :

- Du fait des apports massifs, cela nécessite beaucoup de temps pour apporter cette matière sur les cultures. Il est indispensable de trouver la meilleure façon de l'apporter.
- La qualité du fumier n'est pas toujours maîtrisable (il est souvent composé de pailles cultivées de manière conventionnelle).
- Une fertilisation basée uniquement sur les composts et les fumiers peut engendrer des quantités de phosphore apportées au sol trop élevées par

rapport aux besoins des légumes et pouvant réduire la vie du sol (Equiterre, 2009).

- Une dose trop importante d'azote apportée dans le sol peut augmenter le risque de maladie et d'attaque de ravageurs (Jeavons, 2006).
- Les sols qui n'ont pas développé de complexe organo-minéral sont sensibles au lessivage. Pour ces derniers, de petits apports annuels en début de saison végétative sont préférables (Réseau GAB/FRAB, 2012).
- D'autres techniques, en complément, existent pour améliorer l'état du sol et obtenir une productivité élevée tout en limitant le risque de lessivage, comme la mise en place de précédents à base de légumineuses, de cultures intermédiaires d'engrais verts¹⁸ ou l'apport de Bois Raméal Fragmenté (RMT DévAB, 2009).

Une grande diversité de pratiques culturales et de courants au sein de l'agriculture biologique existe. Chaque paysan choisit celle qui lui semble la plus adaptée en fonction de son contexte pédoclimatique, de ses besoins, ses compétences et de ses aspirations. Cependant, certaines recommandations générales ressortent de ce travail.

Autonomie ne veut pas dire autarcie

En permaculture, dans une perspective de décroissance énergétique, il s'agit de recycler au maximum les nutriments à l'intérieur du système. Si ce n'est pas suffisant, et c'est souvent le cas, on peut importer la fertilité de l'extérieur, notamment pendant la période d'implantation. Avec une bonne gestion des nutriments, on pourra procéder à la réduction des apports extérieurs au fil des années.

Adopter une gestion qualitative de la fertilité

Il s'agit notamment de :

- Moduler les apports de matières organiques en fonction de la nature du sol et des cultures. La lecture des plantes bioindicatrices (Ducerf, 2010), les itinéraires techniques et les analyses de sol permettent notamment de réaliser une gestion plus qualitative de la fertilité. Certains agriculteurs mettent en place un plan de fertilisation adapté au maraîchage bio-intensif (Fortier, 2015). Un tel plan, adapté aux associations et aux rotations, serait très complexe mais vivement intéressant à développer.
- Bien connaître la qualité des matières apportées : le choix des matières utilisées est délicat et réalisé par le maraîcher en fonction de ses possibilités du moment, de son contexte et de ses convictions. Cet arbitrage complexe peut évoluer dans le temps.

¹⁸ Pour plus d'information, se reporter à l'Annexe 5, 3. Les engrais verts, un bon complément du compost et du fumier.

- Apporter, en complément de la matière organique, de la matière minérale afin d'augmenter la capacité de rétention du sol (Bourguignon, 2008).
- Exporter le moins possible de matières et restituer au maximum (l'apport de compost des toilettes sèches peut être réalisé au pied des haies par exemple).
- Pour le paillage des cultures, il pourrait être intéressant d'utiliser des matières moins riches en azote, comme par exemple le Bois Raméal Fragmenté, en association avec des légumineuses, ce qui permet de s'affranchir d'éventuels problèmes de faim d'azote¹⁹ (vous pouvez vous reporter au paragraphe sur le Bois Raméal Fragmenté, en Annexe 5).
- Des zones de biomasse (telles que des haies) en périphérie des espaces cultivés permettent d'optimiser l'utilisation de la matière produite à la ferme. Il serait intéressant de trouver un moyen simple et efficace de couper la biomasse et de la déposer sur les cultures.
- Il est également envisageable, comme le pratique John Jeavons, d'implanter des cultures alimentaires qui produisent également de la biomasse, comme par exemple : maïs, orge, avoine, épeautre, blé, tournesol, sorgho, fève (si laissée au stade de grains secs), vigne, noisette à gros fruits.

Intégrer la fertilité dans une gestion globale

La gestion de la fertilité des sols ne dépendant pas d'un seul paramètre, il est nécessaire d'adopter une approche globale. Il s'agit notamment de :

- Recréer au maximum un système agro-sylvo-pastoral : maraichage, culture de céréales, de luzernes, trèfle et sainfoins, élevage, arboriculture, etc.
- Intégrer la fertilité au sein du planning général des cultures, avec les autres exigences culturales (irrigation, ensoleillement, protection, etc.).
- Dynamiser et maintenir la vie du sol, par notamment la couverture permanente du sol et l'alternance de cultures à faible et à fort enracinement. Ceci est notamment favorisé par les associations et la forte densification des cultures pratiquées entre autre à la Ferme du Bec Hellouin.
- Travailler le sol le moins possible et en surface.
- Sélectionner des variétés locales et adaptées aux conditions agroécologiques.

¹⁹ Certaines matières organiques riches en carbone (ayant un rapport C/N supérieur à 25, comme la paille ou les copeaux de bois) peuvent créer des « faims d'azote ». Ces matières ne libèrent pas suffisamment d'azote minéral pour répondre à la demande métabolique des micro-organismes du sol. Ceux-ci puisent donc l'azote minéral présent dans le sol pour réaliser leur métabolisme. La teneur en azote minéral du sol diminue, les plantes subissent un phénomène transitoire de faim d'azote. Pour aller plus loin, vous pouvez lire le paragraphe « Des apports équilibrés en carbone et en azote », en Annexe 5, p.66).

Conclusion

Ce rapport visait à présenter les flux de matières organiques au sein de la Ferme biologique du Bec Hellouin, et entre la ferme et son territoire. Afin de s'adapter aux contraintes d'une ferme professionnelle et à la disponibilité des maraîchers, cette étude a été réalisée durant l'année 2016 et concernait huit jardins. Les apports de matières organiques varient selon la disponibilité des ressources et pouvant évoluer d'une année à l'autre, les données présentées ne sont pas forcément représentatives du fonctionnement normal de la ferme. Idéalement, pour obtenir des résultats véritablement consolidés, plusieurs années d'étude auraient été nécessaires (afin notamment d'analyser les variations interannuelles).

L'apport de matières organiques au sein d'une ferme maraîchère présente de nombreux intérêts. A la Ferme du Bec Hellouin, l'apport de matière organiques est réalisé pour trois principales raisons : la fertilisation, le paillage des cultures et le paillage des allées. Le paillage des allées, avec des matières ligneuses, permet de réduire l'entretien des allées tout en apportant un confort aux maraîchers en hiver. L'apport de matières organiques, réalisé par l'équipe de la Ferme du Bec pendant presque dix ans sur les zones cultivées, a permis de réduire le travail du sol et rend désormais possible l'utilisation d'outils plus doux.

En 2016, la Ferme du Bec Hellouin a quasiment atteint le seuil maximal d'accueil de matières. Aujourd'hui, on peut s'interroger sur la nécessité de poursuivre de tels apports et suggérer de réduire ces derniers. Une gestion plus qualitative est vivement recommandée. Les premiers résultats de l'étude menée par Valentin Sohy et encadrée par Jean-Thomas Cornelis de l'Université de Gembloux met en évidence que les pratiques de la Ferme du Bec Hellouin induisent une augmentation significative des stocks de carbone organique du sol (ce qui jouerait un rôle dans la régulation du climat). Elle questionne cependant l'intérêt de tels apports sur la durée et mettrait en évidence que les apports de matières organiques au-delà d'un certain seuil pourraient, en plus de ne plus augmenter les stocks en carbone organique du sol, être contre-productifs au niveau de la stabilisation de la matière organique du sol. Le sol ferait-il une indigestion au-delà d'une certaine dose de matière organique ? Ce phénomène n'est pas encore bien connu et expliqué. Cette étude, débutée en 2017, va se poursuivre en 2018, afin notamment d'éclaircir ce point. Une publication des premiers résultats est prévue en 2018.

Ainsi, le sol reste encore un domaine tout aussi mystérieux que passionnant. Nombreuses questions restent en suspens. D'autres études, notamment sur les mycorhizes, les lixiviats et les éventuels risques de pollution des eaux, seraient à réaliser.

Enfin, cette étude invite à aller plus loin sur la mise au point de plans de fertilisation adaptés au maraîchage bio-intensif, ainsi qu'à l'adaptation d'outils agroécologiques à ce type d'agriculture principalement manuelle.

Bibliographie

ANSES, 2016. Composition nutritionnelle des aliments. Téléchargeable sur : <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm>

APRIFEL, 2017. Les fiches nutritionnelles par produits. Téléchargeable sur : <http://www.aprifel.com/listing-fiches-nutri-par-produits.php>

ASSELIN, O., FORTIER, J.-M., 2016. DVD Le Kit du Jardinier-Maraîcher.ed

BLOOM, BOEHNLEIN, 2015. La permaculture en pratique. ed

BOURGUIGNON C. & L., 2008. Le sol, la terre et les champs. Editions Sang de la Terre, 2^{ème} édition.

CHABALIER, P.F., VAN DE KERCHOVE, V., SAINT MACARY, H., 2006, Guide de la fertilisation organique à la Réunion. CIRAD-Chambre d'Agriculture Réunion.

COLEMAN, E., 2013. Des légumes en hiver, produire en abondance, même sous la neige. Actes Sud.

DOLIGEZ P., LEVEAU JM., 2007. Guide pratique, Le compostage de fumier de cheval en élevage, réalisé par Les Haras nationaux et la Chambre d'Agriculture de l'Orne. Téléchargeable sur <http://www.filierechevalpaca.com/pdf/7.pdf>

DUCERF, G., 2010. L'encyclopédie des plantes bioindicatrices alimentaires et médicinales. Guide de diagnostic des sols. Tomes 1, 2, 3. Edition Pronature.

Echo-MO, 2012. Rappels réglementaires sur l'utilisation des engrais et amendements organiques en agriculture biologique. Document de 4 pages réalisé par l'ITAB disponible sur : <http://www.maraibio.fr/medias/files/14.rappel-reglementaire-produits-organiques.pdf>

EQUITERRE, 2009. Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée, par Anne Weill et Jean Duval. Téléchargeable sur : http://www.equiterre.org/sites/fichiers/marai_table_des_materies_0.pdf

FORTIER, J.-M., 2015. Le jardinier-maraîcher. Manuel d'agriculture biologique sur petite surface. Edition Ecosociété.

FRANCE NATURE ENVIRONNEMENT. Les Nitrates dans les milieux aquatiques et leurs conséquences » de France Nature Environnement. Brochure téléchargée sur : https://ged.fne.asso.fr/silverpeas/services/sharing/attachments/kmelia192/16cd3e46-66d4-4189-a49a-9b446d64eefd/74e5a106-2ac9-4acc-ab3c-b551ba373150/C_fiche_6_nitratesmilieuaquatiques.pdf

GAFSI, M., FAVREAU, J.-L., 2014. Diversité des logiques de fonctionnement et durabilité des exploitations en agriculture biologique. Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires.

GOBAT, J.-M., ARAGNO, M., MATHEY, W., Collectif, Bally, R., 2010. Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols, 3^{ème} édition revue et augmentée.

HOLMGREN, D., 2014. Permaculture : Principes et pistes d'action pour un mode de vie soutenable. Rue Echiquier, Paris.

HUBER, G., SCHAUB, C., 2011. La fertilité des sols : l'importance de la matière organique. Chambre d'Agriculture Bas-Rhin.

ITAB, 2001. Guide des matières organiques, tome 2.

ITAB / ARVALIS, 2010. Compte-rendu Journée Technique Grandes Cultures biologiques.

JEAVONS, J., 2006. How to Grow More Vegetables (and Fruits, Nuts, Berries, Grains, and Other Crops) Than You Ever Thought Possible on Less Land Than You Can Imagine. Ed. Ten Speed Press, Berkeley.

KLASSMANN & DEILMANN, 2014. Faits et chiffres. Téléchargé sur http://klasmann-deilmann.com/redirects/pdf-files/allgemein_fr/faits_et_chiffres_2014.pdf

MOLLISON, B., 1988. Permaculture : A Designers' Manual. Australia Tagari Publications.

MOLLISON, B., HOLGREM, D., 1990. Permaculture One : A Perennial Agricultural System for Human Settlements. Edition Tagari Publications, Tyalgum, NSW.

MOREAU, J.G., DAVERNE, J.-J., 1845. Manuel pratique de la culture maraîchère de Paris.

MUNDLER, P., 2011. Viabilité et pérennité des « petites fermes ».

NATHIE F., 2015. Guide pour la conception en permaculture.

REEVES, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Edition Soil and Tillage Research.

RESEAU GAB/FRAB, 2012. Les fiches techniques du réseau GAB/FRAB. Grandes cultures et Agronomie. Fiche n°11. Le compost assaini. Téléchargé sur http://www.agrobio-bretagne.org/wp-content/uploads/2012/04/fiche_compost.pdf

RMT DévAB, 2009. Fiche n° 6 : La fertilisation organique en AB.

SCHREIBER K., 2011. Produire sans Polluer, IAD.

SOLTNER D., 2014. Les bases de la production végétale, tome 1 : Le sol et son amélioration. Collections Sciences et Techniques Agricoles, 26^{ème} édition.

THUN M., 1995. Pratiquer la bio-dynamie au jardin.

Glossaire

Agroécologie : il y a plusieurs définitions de l'agroécologie. Selon le paysan-philosophe Pierre Rabhi et l'association Terre & Humanisme : « L'agroécologie considère le respect de la terre nourricière et la souveraineté alimentaire des populations sur leurs territoires comme les bases essentielles à toute société équilibrée et durable. Elle est un ensemble de pratiques, une science et un art réconciliant l'écologie et l'agronomie, l'humanité et toute forme de vie. Son objet ne consiste pas uniquement à prendre soin du sol, de la plante, de l'animal ou de l'être humain, mais aussi de considérer l'ensemble des éléments de l'écosystème et des systèmes sociaux et de veiller à la qualité de leurs interrelations ». Selon le biologiste Miguel Altieri (1995), « les pratiques agroécologiques se fondent sur l'association de cinq principes : le renouvellement de la biomasse et l'entretien de la fertilité des sols ; la minimisation des pertes en énergie solaire, en air et en eau ; la diversification génétique dans le temps et l'espace ; la valorisation des interactions biologiques ; la lutte contre les ennemis des cultures (maladies, ravageurs et adventices). En appliquant ces principes, l'objectif est d'atteindre un équilibre (dynamique) de l'agroécosystème ».

Agroécosystème : écosystème construit par l'homme pour la production d'aliments, de matériaux ou d'énergie.

Amendement : substance qui a pour effet d'améliorer les propriétés physiques des sols auxquels on l'incorpore et peut en modifier les propriétés chimiques et biologiques (Larousse). Les amendements nourrissent le sol et ses différents constituants (physique, chimique et biologique) tandis que les engrais fertilisent directement les plantes. Le marnage et le compostage sont des amendements (amendement minéral pour la marne et organique pour le compost) : ils enrichissent le sol en éléments minéraux (argiles) et organiques (humus) non assimilables par les plantes. Ces éléments nourrissent la vie du sol. Un bon compost peut également permettre d'ensemencer un sol en organismes utiles (faune et microflore).

Balance : sous-entendue « **balance nutritive** » : différence entre les entrées (apports) de matières et les sorties (exports) de matières, dans un lieu donné.

Capacité d'échange cationique (CEC) : quantité de cations que le sol peut retenir sur son complexe adsorbant à un pH donné. Plus le sol est riche en argile et matière organique, plus sa CEC est importante. La CEC est fortement liée au rapport C/N et au pH du sol.

Compostage : processus biologique aérobie de valorisation des matières organiques (fumier, biomasse, déchets ménagers organiques, etc.) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques, le compost.

Couche chaude : technique culturale développée par les maraîchers parisiens du 19^{ème} siècle. Ce sont des épaisses couches de fumier qui dégagent de la chaleur en se décomposant. Elles sont conçues pour apporter de la chaleur à des légumes implantés précocement lorsque les conditions météorologiques saisonnières ne permettent pas encore une croissance optimale de ces légumes. Et ce, sans recours aux énergies fossiles. Cela a une utilité particulière en fin d'hiver et en début de printemps pour cultiver des légumes primeurs. Les couches chaudes implantées dans une serre contribuent aussi à réchauffer celle-ci de quelques degrés. Enfin, une fois le fumier des couches chaudes décomposé, il est réutilisé comme compost.

Ecosystème : ensemble dynamique d'organismes vivants (plantes, animaux et micro-organismes) qui interagissent entre eux et avec le milieu (sol, climat, eau, lumière) dans lequel ils vivent (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Engrais : produit organique ou minéral incorporé à la terre pour en maintenir ou en accroître la fertilité (Larousse). Contrairement aux amendements, les engrais sont des formes directement assimilables par les plantes (engrais minéraux solubles, comme le Guanofort fort, le Patentkali, etc.).

Fertilité : du latin fertilis signifiant « qui produit en abondance ». La fertilité d'un système agricole correspond à l'aptitude de ce dernier à répondre aux besoins de toute la chaîne alimentaire allant de la plante à l'homme, en passant par les animaux et les micro-organismes (Gobat et al., 2010, Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols).

Flux de matières : ensemble des entrées et des sorties de matière organo-minérale dans un système donné.

Forêt-jardin (de l'anglais « forest garden », également appelé « jardin-forêt ») : système agroforestier, né dans les zones tropicales et s'inspirant du fonctionnement des forêts naturelles, qui comporte différents étages de végétation comme des arbres fruitiers, des arbustes comestibles, des plantes herbacées (légumes vivaces, plantes aromatiques et médicinales), des plantes grimpantes et des champignons.

Lessivage : transport de particules des couches supérieures du sol par l'eau de pluie en direction de la nappe phréatique. Cela peut avoir un impact sur la qualité des eaux souterraines et des cours d'eau, et sur la qualité des sols. Le lessivage concerne uniquement les particules solides non solubles. La lixiviation concerne uniquement les éléments solubles puisqu'ils sont entraînés par l'infiltration des eaux après avoir été dissous (exemple : on parle de lessivage des argiles mais de lixiviation des nitrates) (Source : Wikipedia). Le lessivage de l'azote est sous la dépendance de l'activité biologique : la dénitrification des sols se produit en présence de carbone consommé par l'activité biologique pour produire la matière organique des sols et l'humus stable. Pour limiter le lessivage, il s'agit de protéger le sol par une diminution ou suppression du travail du sol et de nourrir les habitants du sol avec des produits riches en carbone. Un sol riche en activité biologique doit manger des produits riches en carbone pour éviter le lessivage de l'azote. Ces

réactions biologiques ne sont pas opérationnelles dans les sols morts soumis à un travail intensif, que les pratiques soient biologiques ou conventionnelles (Source : Schreiber K., 2011, Produire sans Polluer, IAD).

Matière organique (MO) : matière fabriquée par les êtres vivants. La matière organique se distingue du reste de la matière, minérale, à plusieurs titres : une faible proportion dans l'univers, le rôle central joué par le carbone, une évolution rapide au sein de cycles (notamment dans les écosystèmes où elle passe par des étapes de décomposition). Constituée majoritairement de carbone, cette matière organique représente un réservoir important de carbone à l'échelle planétaire (environ trois fois la quantité de carbone existant dans l'atmosphère sous forme de CO₂). Dans le sol, la matière organique assure de nombreuses fonctions : cohérence et stabilité des sols, rétention d'eau, fourniture d'éléments minéraux nutritifs aux plantes, nourriture d'une grande diversité d'organismes vivant dans le sol, etc. D'un certain point de vue, l'agriculture est un ensemble de techniques agroécologiques de valorisation et développement de la matière organique du sol. Ses rendements sont augmentés par l'incorporation de matière organique (Bois Raméal Fragmenté, compost, fumier, etc.). Les éléments chimiques, comme l'azote et le phosphore, présents dans la matière organique, sont lentement libérés au bénéfice de la culture lors de sa lente décomposition de cette matière préparée sous forme de et incorporés au sol comme fertilisants. Source : Wikipedia.

Micro-agriculture bio-intensive (ou méthode agricole GROW BIOINTENSIVE) est un système agricole visant à produire une alimentation complète et durable sur une petite surface tout en enrichissant en humus le sol cultivé. Elle vise à obtenir des rendements surfaciques élevés tout en respectant l'ensemble des organismes vivants.

Microferme permaculturelle : ferme de petite surface (généralement moins d'1 ha cultivé) aménagée selon les principes de la permaculture. Il s'agit généralement d'un système agrosylvopastoral, intégrant des espaces intensément cultivés de manière agroécologique et des espaces sauvages pour la biodiversité. Les cultures maraîchères sont réalisées avec un recours minimal aux énergies fossiles, essentiellement à la main, ce qui permet une densification élevée et une association des cultures permettant une production surfacique élevée.

Mycorhizes : associations symbiotiques entre certains champignons et les racines de certaines plantes. Elles jouent un rôle dans la nutrition des plantes en augmentant le volume de sol exploré. Elles peuvent aussi contribuer à protéger la plante et à garantir sa bonne santé. Facteurs limitants les mycorhizes : niveau élevé en phosphore soluble, tassement du sol, sur fertilisation azotée, usage de fongicides. Facteurs favorables aux mycorhizes : rééquilibrage de la fertilisation, diminution du travail du sol, mise en place d'engrais verts (ITAB, 2010).

Mulching (ou paillage) : couverture du sol avec des débris végétaux offrant de nombreuses fonctions : réservoir d'éléments nutritifs pour les plantes, rétention de l'eau, protection de la surface du sol et des racines des changements micro-climatiques rapides, réduction de la vulnérabilité des plantes à la maladie, etc. (Mollison 1978).

Permaculture : le concept de permaculture a été défini par Bill Mollison et David Holmgren comme étant « le design et l'entretien conscient d'écosystèmes cultivés productifs ayant la diversité, la stabilité et la résilience des écosystèmes naturels (...), intégrant harmonieusement le paysage et l'humain en leur fournissant nourriture, énergie, abri et d'autres besoins matériels et non- matériels » (Mollison & Holmgren, 1990).

Pré-verger (aussi appelé verger haute-tige ou écoverger) est un type de verger utilisé en agroforesterie. Il permet d'associer l'arbre fruitier de haute-tige et la prairie. Il était très répandu en Europe jusqu'au 19^{ème} siècle (Wikipedia).

Annexes

ANNEXE 1 : Rôle et proportion des différents minéraux étudiés **Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 2 : Les systèmes de cultures de la Ferme du Bec Hellouin **Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 3 : Traitement des données.....**Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 4 : Rapport d'analyses d'eau**Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 5 : Regards croisés sur la gestion de la fertilité en maraîchage biologique. **Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 6 : Forces et faiblesses du design des jardins étudiés en 2016 **Erreur ! Signet non défini.**

ANNEXE 1 : Rôle et proportion des différents minéraux étudiés pour les plantes (Source: Destain, 2014)

Elément	Rôle pour les plantes	Composition moyenne d'un végétal (% de matière sèche)
Carbone (C)	Constitutif de la matière organique et intervenant dans la photosynthèse.	42
Hydrogène (H)	Constitutif de la MO – photosynthèse (H ₂ O).	6
Oxygène (O)	Constitutif de la MO - photosynthèse – respiration (O ₂).	44
Azote (N)	Constitutif des acides aminés et des protéines.	2
Phosphore (P)	Constitutif du noyau des cellules – division cellulaire - protéines enzymatiques.	0,4
Potassium (K)	Pression osmotique – transfert des sucres – synthèse protéique.	2,5
Calcium (Ca)	Protéines enzymatiques - paroi cellulaire – division cellulaire et pression osmotique	1,3
Magnésium (Mg)	Constituant de la chlorophylle – protéines enzymatiques – pression osmotique	0,4
Sodium (Na)		Na : < 1 ppm
Fer (Fe)	Multiplés fonctions enzymatiques (photosynthèse, assimilation de l'azote et formation des protéines)	Fe : 250 ppm

ANNEXE 2 : Les systèmes de cultures de la Ferme du Bec Hellouin

A la Ferme biologique du Bec Hellouin, il y a quatre systèmes de cultures différents : les planches plates, les buttes rondes, les couches chaudes et les billons. Les trois premiers sont employés dans le cœur maraîcher bio-intensif.

a) Les planches plates

Les planches plates sont des espaces de culture, dont la surface est plane et légèrement surélevée par rapport aux allées adjacentes.

Dans les jardins de la Ferme du Bec Hellouin, elles mesurent 80 cm de large et 18 m de long.

Elles sont adaptées au semoir multi-rangs de précision. Le semoir permet de semer douze rangs de petits légumes (éventuellement 24 dans le cas de cultures associées, carottes et radis par exemple).

La planche plate est le système qui nécessite le plus d'interventions : passage à la grelinette ou décompactage de surface entre chaque culture et apport de compost. Elles sont généralement peu ou pas mulchées.

Le semis direct est privilégié au repiquage sur les planches plates. Le semoir de précision est utilisé préférentiellement pour semer les carottes, les navets primeurs, les radis et les mescluns. D'autres légumes sont implantés en association avec ces derniers.



Planches plates du jardin « Pommiers » et le semoir multi-rang de précision

b) Les buttes rondes

Les buttes rondes permettent d'augmenter de près de 30 % la surface cultivée par rapport à une surface plane.

De plus, elles ont un effet drainant par leur forme en dôme, ce qui est intéressant dans le cas de sol humide ou de faible profondeur, à proximité d'une mare ou d'une nappe phréatique et lorsque le climat est trop pluvieux pour certaines cultures. Toutes ces conditions sont remplies à la ferme !

Les buttes sont généralement paillées et le compostage en place des mulchs, à condition qu'ils soient diversifiés et équilibrés, peut constituer une fertilisation suffisante. Cependant, Claude et Lydia Bourguignon recommandent tout de même l'apport de compost enrichi en minéraux.

Ces buttes arrondies servent le plus souvent aux repiquages de jeunes plants démarrés sous abri.

L'ergonomie du travail est améliorée par la légère surélévation des cultures.

Elles ne permettent en revanche pas l'utilisation du semoir multi-rang de précision.



Butte ronde de l'île-jardin

c) Les couches chaudes

Les couches chaudes ont été mises en place par les maraichers parisiens du 19^{ème} siècle. Ce sont des épaisse couches de fumier qui dégagent de la chaleur sur laquelle sont cultivés des légumes.

Elles sont conçues pour apporter de la chaleur à des légumes implantés précocement lorsque les conditions météorologiques saisonnières ne permettent pas encore une croissance optimale de ces légumes. Et ce, sans recours aux énergies fossiles. Cela a une utilité particulière en fin d'hiver et en début de printemps pour cultiver des légumes primeurs. Les couches chaudes implantées dans une serre contribuent aussi à réchauffer celle-ci de quelques degrés.

Enfin, une fois le fumier des couches chaudes décomposé, il est réutilisé comme compost.

Les légumes primeurs sont préférentiellement implantés sur les couches chaudes, comme les carottes, les radis, les navets ou les betteraves. Les aubergines ou les poivrons sont implantés ensuite, lorsque la couche chaude a fini de chauffer (plusieurs mois après).



Culture de salade sur une couche chaude implantée 6 mois auparavant (verger maraîcher).

d) Les billons

La culture sur billons est une technique agricole utilisée pour limiter les effets d'une humidité ou pluviométrie importante ou pour permettre les cultures sur les sols trop argileux. Elle consiste à cultiver en rangées de petites buttes préparées la saison précédente.

A la Ferme du Bec Hellouin, les billons sont effectués en traction animale. Ce degré de mécanisation supplémentaire permet d'effectuer des rangs de cultures plus longs, plus resserrés et plus étroits que les buttes rondes, ce qui permet d'optimiser la surface de production tout en ayant certains avantages des buttes rondes.



Quatre billons cultivées en traction animale (jardin du terrain du haut)

NB : ce système n'est pas étudié dans le cadre de cette étude.

ANNEXE 3 : Traitement des données

La base de données de cette étude s'organise autour de deux tables : la table des amendements et la table des récoltes. Chacune des deux tables répertorie les mêmes informations, à savoir : la date du mouvement de matière, le type de matière, la quantité en kg, les différentes quantités de minéraux en kg (azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, fer et sodium) ainsi que la provenance et la destination du flux.

Homogénéisation des unités d'amendements

La première table répertorie l'ensemble des amendements qui ont été encodés d'après les « fiches-jardin ». Dans la fiche-jardin, les maraîchers notent le nombre de seaux ou brouettes apportées. Afin d'additionner les différents apports, les différentes données ont été converties en kilogramme (kg). Une pesée unitaire de seau et de brouette a été effectuée pour chaque type de matières amendées (fumier, compost, copeaux de bois, résidus de culture).

Matières (kg) \ Unité	Fumier	Compost	Copeaux	Résidus de culture (choux)	Paillage vert (orties, adventices)
Brouette bombée	37,5	60	25.5	15	7.5
Brouette à ras	22,5	45	15.3	9	6
Seau (11 L)	7.5	12	5.7	3	1.5

Tableau de conversion des unités de matières organiques

Estimation des teneurs en minéraux

La teneur en minéraux des différents fruits et légumes a été obtenue via les sites de l'Aprifel²⁰ et de l'Anses²¹. La composition minérale de certains amendements et végétaux n'étant pas répertoriée dans la littérature, des simplifications ont été effectuées. Certaines teneurs en minéraux de légumes similaires, selon leur classification botanique ou selon leur mode de culture, ont été regroupées. Par exemple, les teneurs en minéraux des concombres ont été extrapolées aux mélothries (cucamelons), dont les teneurs sont introuvables dans la littérature grise.

²⁰ Source : <http://www.aprifel.com/>

²¹ Source : <https://pro.anses.fr/tableciqua/>

Les différents types de choux ont aussi été regroupés sous le nom « chou », de même pour d'autres fruits et légumes. Il est à noter, ces références sont pour des produits non issus de l'agriculture biologique, en l'absence de référence en agriculture biologique à notre connaissance.

Les teneurs en minéraux (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Na) et en matières sèches des amendements et des fruits et légumes récoltés sont exprimées en kg par kg de matière fraîche.

Les quantités de légumes récoltées ont été répertoriées sous différentes formes (botte, pièce, boîte ou kilogramme), il a donc été nécessaire de convertir toutes ces données en kilogramme. Pour cela, une moyenne sur 10 unités a été calculée afin d'attribuer un poids unitaire moyen à chaque unité de récolte.

Le calcul de la teneur en azote total des fruits et légumes est estimé à partir de leur teneur en protéines. Pour une teneur donnée de protéine pour 100 g de matière sèche, le calcul est le suivant :

$$\begin{aligned} \%P &= \%N * 6.25 \\ \%N &= \frac{\%N}{6.25} \Leftrightarrow tN = \frac{\%N}{100} \end{aligned}$$

Avec,

%P : pourcentage de protéines, %N : pourcentage d'azote, tN : teneur en azote

ANNEXE 4 : Rapport d'analyses d'eau



Evreux, le 11 Juillet 2017

RAPPORT D'ANALYSES n°10608



**MONSIEUR CHARLES HERVE-HELLOUIN
FERME DU BEC-HELLOUIN
1 SENTE DU MOULIN AU CAT**

Dossier EX-17-7117 / Echantillon EX17-59173

27800 LE BEC HELOUIN

Code tiers PRHERVEH

Page 1 / 1

Prélevé le 30/06/2017 par Le client *	Lieu de prélèvement Eau rivière amont
Date de début d'analyses 30/06/2017 11:40	
Type d'eau Eau superficielle (mare, rivière, étang, ...)	Origine/Traitement: Mare

PARAMETRE	Limite de quantification	METHODE	RESULTAT	UNITE	VALEUR LIMITE
Paramètres physico-chimiques					
Orthophosphates	<0.3 mg de PO4	NF EN ISO 10304-1	<0,15	mg de PO4/l	
Substances indésirables					
Nitrates	<0.5 mg/l	NF EN ISO 10304-1	34,8	mg/l	50.0

Destinataire(s) : CHARLES HERVE-HELLOUIN, FERME DU BEC-HELLOUIN, 27800 LE BEC HELOUIN

Le responsable hydrologie,
Thierry Desdormes

La technicienne chimie,
Viviane Le Guern

Le rapport d'analyses ne concerne que les échantillons soumis à analyse, sa reproduction n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral. Les incertitudes de mesures sont tenues à votre disposition au laboratoire. L'approbation de la section essais du COFRAC atteste de la compétence technique du laboratoire pour les essais de ce rapport, hormis ceux portant une astérisque (*).

LABÉO EURE - 12, rue du Dr Baudoux - 27023 EVREUX Cedex Tél.: 02 32 38 26 70 Mail: eure@laboratoire-labeo.fr

STISSEAU/NDK

Evreux, le 11 Juillet 2017

RAPPORT D'ANALYSES n°10609

MONSIEUR CHARLES HERVE-HELLOUIN
FERME DU BEC-HELLOUIN
1 SENTE DU MOULIN AU CAT

Dossier EX-17-7117 / Echantillon EX17-59174

27800 LE BEC HELOUIN

Code tiers PRHERVEH

Page 1 / 1

Prélevé le 30/06/2017 par Le client * Lieu de prélèvement Eau avant mare
Date de début d'analyses 30/06/2017 11:40
Type d'eau Eau superficielle (mare, rivière, étang, ...) Origine/Traitement: Mare

PARAMETRE	Limite de quantification	METHODE	RESULTAT	UNITE	VALEUR LIMITE
Paramètres physico-chimiques					
Orthophosphates	<0.3 mg de PO4	NF EN ISO 10304-1	<0,15	mg de PO4/l	
Substances indésirables					
Nitrates	<0.5 mg/l	NF EN ISO 10304-1	34,8	mg/l	50.0

Le responsable hydrologie,
Thierry Desdoigts

La technicienne chimie,
Viviane Le Guern

Destinataire(s) : CHARLES HERVE-HELLOUIN, FERME DU BEC-HELLOUIN, 27800 LE BEC HELOUIN

Le rapport d'analyses ne concerne que les échantillons soumis à analyse, sa reproduction n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral. Les incertitudes de mesures sont tenues à votre disposition au laboratoire. L'accréditation de la Section essais du COFRAC atteste de la compétence technique du laboratoire pour les essais de ce rapport, hormis ceux portant une astérisque (*).

LABÉO EURE - 12, rue du Dr Baudoux - 27023 EVREUX Cedex Tél.: 02 32 38 26 70 Mail: eure@laboratoire-labeo.fr

STI000401002

Evreux, le 11 Juillet 2017

RAPPORT D'ANALYSES n°10610

MONSIEUR CHARLES HERVE-HELLOUIN
FERME DU BEC-HELLOUIN
1 SENTE DU MOULIN AU CAT

Dossier EX-17-7117 / Echantillon EX17-59175

27800 LE BEC HELOUIN

Page 1 / 1

Code tiers PRHERVEH

Prélevé le 30/06/2017 par Le client * Lieu de prélèvement Eau de la mare
Date de début d'analyses 30/06/2017 11:40
Type d'eau Eau superficielle (mare, rivière, étang, ...) Origine/Traitement: Mare

PARAMETRE	Limite de quantification	METHODE	RESULTAT	UNITE	VALEUR LIMITE
Paramètres physico-chimiques					
Orthophosphates	<0.3 mg de PO4	NF EN ISO 10304-1	<0,15	mg de PO4/l	
Substances indésirables					
Nitrates	<0.5 mg/l	NF EN ISO 10304-1	31,6	mg/l	50.0

Le responsable hydrologie,
Thierry Desloges

La technicienne chimie,
Viviane Le Guern

Destinataire(s) : CHARLES HERVE-HELLOUIN FERME DU BEC-HELLOUIN, 27800 LE BEC HELOUIN

Le rapport d'analyses ne concerne que les échantillons soumis à analyse, sa reproduction n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral. Les incertitudes de mesures sont tenues à votre disposition au laboratoire. L'accréditation de la Section essais du COFRAC atteste de la compétence technique du laboratoire pour les essais de ce rapport, hormis ceux portant une astérisque (*)

LABEO EURE - 12, rue du Dr Baudoux - 27023 EVREUX Cedex Tél.: 02 32 38 26 70 Mail: euro@laboratoire-labeo.fr

ST106EAU/002

ANNEXE 5 : Regards croisés sur la gestion de la fertilité en maraîchage biologique

Le principe général de l'agriculture biologique est de prendre soin du sol, qui à son tour prendra soin des plantes, ceci notamment en couvrant le sol au maximum et en restituant au sol ce qui a été exporté. Tous les praticiens ont cette vision globale, mais certains d'entre eux ont développé certains aspects particulièrement inspirants sur cette thématique. En voici ci-dessous une synthèse non exhaustive réalisée en juillet 2017.

• Penser globalement

« Si nous voulons faire une agriculture durable, il nous faut donc changer complètement le concept désuet de la fertilisation chimique et développer un concept plus global de la fertilisation. Le paysan doit stimuler la fertilité de cet ensemble que constitue le sol, la faune et les microbes du sol et les plantes » (Bourguignon, 2008).

Claude et Lydia Bourguignon proposent ainsi, après une analyse fine du sol, d'agir notamment²² :

- Sur la structure du sol (de la création de terrasse à l'amélioration fine de la texture du sol, par l'apport de minéraux, tels que l'argile ou le sable) et le *mulching* (couverture minérale ou organique du sol : pierre, paille, écorces, feuilles mortes, Bois Raméal Fragmenté (BRF), sciure).
- Sur la vie du sol (faune et microbes) par notamment la pratique du semis direct, l'alternance de cultures à faible et à fort enracinement, les cultures intercalaires comme les engrais verts (pour éviter l'érosion du sol en ayant un sol vivant et couvert toute l'année), l'apport de compost et de BRF, le marnage (apport de marne pour amender un sol).
- Sur la plante directement, en veillant à ce qu'elle dispose des 32 éléments nécessaires à un développement harmonieux et à l'obtention de fruits et légumes nourrissant (pas seulement beaux et remplis d'eau !). On peut agir notamment en irrigant au minimum, en sélectionnant des variétés locales et adaptées aux conditions agroécologiques, en compostant ses toilettes sèches, en cultivant des légumineuses, en réalisant de petits apports de matières organiques fractionnés en début de végétation (si les doses sont trop importantes, une grande partie de l'azote apporté n'est pas utilisée et se retrouve lessivée), en recréant au maximum un système agro-sylvo-pastoral (maraîchage, culture de céréales, de luzernes, trèfle et sainfoins, élevage, arboriculture, etc.).

²² Les différentes pratiques sont choisies en fonction de la nature du sol et la culture réalisée.

Il s'agit également de favoriser au maximum les mycorhizes. Les mycorhizes sont des associations symbiotiques entre certains champignons et les racines de certaines plantes. Elles jouent principalement un rôle dans la nutrition des plantes au niveau du phosphore (très peu mobile dans le sol) en augmentant le volume de sol exploré. Elles peuvent aussi contribuer à protéger la plante et à garantir sa bonne santé. Facteurs limitants les mycorhizes : niveau élevé en phosphore soluble, tassement du sol, sur fertilisation azotée, usage de fongicides. Facteurs favorables aux mycorhizes : rééquilibrage de la fertilisation, diminution du travail du sol, mise en place d'engrais verts (ITAB, 2010).

Dans le cadre d'une nouvelle ferme, le système de gestion des sols avec la ligne-clé permet de réhabiliter rapidement des sols improductifs et stériles. P.A. Yeomans et Geoff Wallace ont mis au point un système de gestion des sols à grande échelle, pour augmenter la productivité des sols : la ligne-clé²³ (key-line design). Le principe est de travailler le sol (très superficiellement) les premières années de manière à ce que l'eau s'infilte bien, puis d'implanter une diversité de cultures et d'arbres, ainsi que des aménagements paysagers (baissières, etc.) (Bloom et Boehnlein, 2015).

• **Connaître ses plantes et leurs besoins**

Cultiver une plante, c'est l'aider dans son développement. Pour cela, il est nécessaire de connaître ses exigences et ses besoins concernant, d'une part, son environnement (sol et climat de prédilection, végétation associée) et, d'autre part, sa nutrition (Bourguignon, 2008).

La plante est constituée d'eau, de carbone et de nombreux éléments minéraux : les macroéléments (N, P, K, Ca, Mg, S, SiO₂) et les oligoéléments (Fe, Zn, Br, Mn, Cu...). Macroéléments et oligo-éléments proviennent de l'atmosphère, du sol et des apports réalisés par l'agriculteur sous la forme d'engrais ou de matières organiques. C'est grâce à ses racines que la plante puise les éléments minéraux nutritifs dans le sol. L'agriculteur doit donc créer les conditions propices à un développement maximal des racines : bonne structure, ameublissement du sol... En cas de déséquilibre nutritionnel, la plante subit une carence (manque d'un élément) ou une toxicité (excès d'un élément) qui se répercute sur la croissance et sur la production. Les espèces végétales n'ont pas toutes les mêmes besoins en éléments minéraux nutritifs, d'où l'importance de choisir la culture en fonction des conditions de la parcelle (sol, climat). L'azote est l'élément essentiel de la croissance de la plante.

La quantité d'azote absorbée par la plante détermine le niveau d'absorption des autres éléments minéraux. L'agriculteur doit donc connaître les besoins totaux de la culture en azote afin de caler le plan de fertilisation pour les autres éléments essentiels (phosphore et potassium). Les besoins en éléments minéraux sont

²³ Plus d'information sur <http://www.paysages-fertiles.fr/www/index.php/ressources/articles> et page 149 du livre La permaculture en pratique, Bloom et Boehnlein 2015.

différents selon le stade de développement de la culture : la fertilisation (matières organiques complétées par les engrais minéraux) doit être apportée au bon moment et en quantité suffisante. Des apports trop élevés entraînent des risques d'accidents végétatifs et des pollutions de l'environnement (Chabalier et al., 2006).

- **Connaître son sol**

Milieu riche et complexe, le sol est un bien précieux :

- Le sol est une ressource peu renouvelable à l'échelle humaine.
- Le sol abrite une multitude d'êtres vivants. Cette vie souterraine est indispensable car elle assure la transformation des résidus végétaux et animaux en matière organique du sol et en éléments minéraux disponibles pour les cultures.
- La matière organique du sol s'associe aux argiles et aux silicates d'alumine pour former le complexe argilo-humique. Le complexe argilo-humique donne au sol ses caractéristiques de structure, de porosité, de stockage d'éléments minéraux nutritifs et de stockage de l'eau.
- Les pratiques agricoles inadaptées provoquent la dégradation rapide du sol cultivé. Cette dégradation est amplifiée par les pluies violentes et les pentes : érosion, perte de fertilité, tassement, pollution de l'environnement. Exemples : faibles apports organiques, fertilisation non raisonnée, travail du sol répété, absence de rotation, équipement inadéquat, excès de pesticides. Inversement, des pratiques adaptées permettent de maintenir et de restaurer la fertilité du sol.

L'activité biologique du sol est optimale lorsque le sol est :

- **Vivant** => *alternance de cultures à faible et à fort enracinement, cultures intercalaires et engrais verts, semis direct, apports fractionnés de compost équilibré et d'excellente qualité (compost végétal et animal à parts égales), en modérant les apports extérieurs, apport de Bois Raméal Fragmenté (BRF) et de marne (marnage).*
- **Structuré** => *mulching : couverture minérale ou organique du sol : pierre, paille, écorces, feuilles mortes, BRF, sciure ; selon certains auteurs, apport de minéraux (argile, sable, etc.).*
- **Aéré** (et non pas compacté) => *couvrir sol, décompacter le sol si nécessaire, attendre que le sol soit « ressuyé ».*
- **Le moins remué possible** => *minimiser le travail et si nécessaire, le travail du sol se fait en surface (maximum 20 cm de profondeur) et avec un outil non rotatif.*
- **Pas gorgé en eau** => *irriguer au minimum, couvrir le sol, choisir des variétés adaptées, « un binage vaut deux arrosages ».*

- **Couvert toute l'année** pour éviter l'érosion du sol => *cultures denses, culture intercalaires et engrais verts adaptés, paillage afin de maintenir une couche de matière organique en surface pour la vie du sol.*

- **Connaître ce qu'on apporte**

La vie du sol est riche, variée et complexe. Tous ces organismes vivants, qui participent à l'augmentation de la fertilité du sol, doivent se nourrir correctement. C'est dans le sol qu'ils trouvent les substrats nécessaires à leur alimentation. La qualité des apports (amendements, engrais) effectués est donc primordiale.

L'entretien de la fertilité du sol passe par la régularisation des flux de matières organiques. Certains apports de matières organiques vont avoir un effet engrais alors que d'autres auront un effet structurant. L'équilibre de fertilité doit concilier entretien d'un niveau d'humus stable (correspondant au potentiel de fixation permis par les argiles et les limons présents) et entretien de l'activité microbienne (en assurant un flux de substances organiques solubles obtenues par minéralisation) (Réseau GAB/FRAB).

Avec une fertilisation organique, on apporte le trio N-P-K (azote, phosphore et potassium), mais on apporte également du carbone organique. Suivant le type de produit apporté, c'est sans doute l'effet le plus important et le plus marquant à court, moyen et long termes sur le sol. L'apport de carbone a avant tout un rôle énergétique pour tous les êtres vivants du sol, des microorganismes (bactéries, champignons) à la macrofaune, dont le ver de terre est l'acteur le plus important pour le bon fonctionnement du sol (drainage, aération, remontée et concentration en éléments minéraux, etc.).

Pour certaines cultures exigeantes en azote, l'apport de fertilisant organique, même riche en azote comme certains engrais organiques, n'est pas la seule technique à mettre en œuvre, pour obtenir la production souhaitée. Ce sont surtout des précédents à base de légumineuses (luzernière, prairies temporaires de mélange, engrais verts, protéagineux) qui fournissent l'essentiel de l'azote. Les doses d'engrais organiques azotés à appliquer au printemps peuvent être calculées en tenant compte de l'analyse des reliquats d'azote à la sortie de l'hiver. Pour d'autres plantes (vigne, légumes sensibles à l'accumulation des nitrates), il faut veiller à ne pas fournir trop d'azote, même s'il est apporté sous forme organique (RMT DévAB, 2009).

Les matières organiques d'origine végétale sont très riches en carbone. A fortes doses et en cas de carence en azote et en potassium, la vie microbienne aérobie peut diminuer et être relayée par les bactéries anaérobies qui vont carboniser cette matière au lieu de la transformer en humus ou en nitrates. Elle va devenir « matière organique archaïque » et ne sera ni mobilisable, ni minéralisable, elle va devenir « fossile ». Les matières organiques d'origine animale sont plus riches, mais

attention à ne pas employer des fumiers industriels pollués aux pesticides, antibiotiques et métaux lourds²⁴.

Caractéristiques agronomiques de quelques amendements organiques²⁵

	Composts de déchets verts ⁽¹⁾	Fumier de bovin ⁽²⁾	Compost de fumier de bovin ⁽³⁾	Fumier d'ovins ⁽³⁾	Fumier de porcins ⁽⁴⁾	Fumier d'équins ⁽⁵⁾
Matières sèches (g/100 g MB)	59	22	33	30	33	54
Matières organiques (g/100 g MS)	46	81	64	77	-	76
Azote total (g/100 g MS)	1,4	2,6	2,4	2,2	2,2	1,5
Minéralisation de l'azote (en %)	2	30	10	-	30	-
Phosphore (P2O5) (g/100 g MS)	0,6	1	1,5	1,3	2,1	0,6
Potasse (K2O) (g/100 g MS)	1,4	4,3	4,2	4	3,1	1,7

(1) échantillon de 45 composts; min. de l'azote: moy. de l'échantillon, incubation à 28 °C sur 91 jours. (Marché ADEME n° 0306C0057).

(2) fumier très compact de litière accumulée (source: Institut de l'Élevage, 1993).

(3) source: Institut de l'Élevage et al., 2001.

(4) fumier de litière accumulée sur paille, minéralisation: il s'agit en fait d'une fourchette de coefficients d'équivalence azote engrais minéral, calculé sur différents cultures et climats (prairie, colza, blé) (source: ITP, 1997, in Institut de l'Élevage et al., 2001).

(5) source: Ziegler et Héduit, 1991.

- Des apports équilibrés en carbone et en azote

Le rapport C/N indique la teneur en azote de la matière organique et donc la capacité de cette dernière à être décomposée.

Si la matière organique apportée est riche en azote (rapport C/N bas, inférieur à 25), elle sera rapidement dégradée et minéralisée. Cas de la matière organique jeune, les engrais verts et les lisiers. Les micro-organismes puisent l'azote minéral issu de cette minéralisation pour réaliser leur métabolisme. L'azote minéralisé excédentaire (non prélevé par les bactéries) est disponible pour la nutrition des plantes.

Si la matière organique apportée est pauvre en azote (rapport C/N élevé, supérieur à 25) elle sera dégradée lentement. Cas de la matière sèche et âgée, de la paille et des copeaux de bois. La matière ne libère pas suffisamment d'azote minéral pour répondre à la demande métabolique des micro-organismes. Ceux-ci puisent donc l'azote minéral présent dans le sol pour réaliser leur métabolisme. La teneur en azote minéral du sol diminue, les plantes subissent un phénomène transitoire de faim d'azote. Cependant, il ne s'agit pas d'en conclure qu'il faut absolument privilégier les amendements à C/N bas. Le carbone est une source d'énergie essentielle et incontournable pour le développement de la vie du sol.

Pour en savoir, vous pouvez par exemple consulter le tableau présentant le rapport C/N de différentes matières réalisé par les guides composteurs²⁶.

Des pratiques peuvent être envisagées pour compenser, voire même anticiper, la faim d'azote. Lorsqu'une matière carbonée est apportée sur les zones cultivées, on

²⁴ Pour aller plus loin : l'encyclopédie des plantes bioindicatrices de Gérard Ducerf (3 tomes). En début de chacun des tomes, vous trouverez entre autre des recommandations de pratiques adaptées et d'utilisation des différents fumiers, etc.

²⁵ Tableau issu d'une fiche très intéressante téléchargeable sur <http://www.maraibio.fr/medias/files/fiche6-fertilisation-rmt-devab.pdf>

²⁶

<http://www.guidescomposteurs.com/UserFiles/medias/fichiers/tableau%20des%20rapports%20C%20sur%20N.pdf>

peut effectuer de manière concomitante un complément minéral azoté (azote rapidement assimilable par les plantes) pour éviter un retard de croissance des jeunes plantes. Il est également préférable de réserver, dans la mesure du possible, les matières organiques azotées aux amendements printaniers (avant les cultures) et les matières organiques carbonées aux amendements automnaux (après les cultures). Ces derniers permettent d'éviter le lessivage des nitrates par réorganisation microbienne (Equiterre, 2009).

Utilisé seul, ce critère de qualité présente des limites : deux produits ayant le même C/N peuvent avoir des actions différentes sur l'évolution de la teneur en MO du sol. Le C/N est donc considéré comme un indicateur partiel de qualité à compléter par d'autres informations (proportions des constituants, niveau de compostage...) (Huber et Schaub, 2011).

- **Chaque matière présente des intérêts particuliers qu'il convient de bien connaître pour faire le meilleur choix**

1. *Le compost, l'or du jardinier maraîcher ?*

La qualité d'un compost peut grandement varier en fonction de la méthode utilisée et l'origine de la matière organique employée (animale, végétale, etc.).

Le compost de déchets verts est un produit relativement mature. C'est une faible source d'azote (l'azote étant mis progressivement à la disposition de la plante par minéralisation). Il est surtout intéressant pour l'entretien des terres en matière organique stable et pour la vie biologique du sol (Chabalier et al., 2006).

Selon Gérard Ducerf, « Le compost est de loin supérieur et préférable au fumier et nous déconseillons très fortement les lisiers » (Ducerf, 2010).

Pour John Jeavons, le compost produit à la ferme est la façon la plus résiliente et durable d'amender ses cultures potagères. En effet, les engrais biologiques du commerce sont souvent des ressources limitées qui pourront un jour disparaître ou devenir chères. Il est ainsi plus résilient de ne pas trop dépendre de l'extérieur pour la gestion de la fertilité des cultures. Cela n'empêche pas d'utiliser des apports extérieurs au début, en cas de sol dégradé ou en cas de besoin (Jeavons, 2006).

Selon lui, 96 % des éléments nécessaires aux plantes sont fournis par l'eau et le soleil. Les 4 % restants sont apportés par le sol, le compost, l'os broyé, le fumier, les cendres de bois, l'azote contenue dans les légumes et dans certaines adventices.

John Jeavons porte une attention très importante au compost, car il remplit de nombreuses fonctions :

- Amélioration de la structure du sol.
- Rétention de l'humidité.
- Aération.
- Fertilisation (contient de l'azote, du phosphore, de la potasse, et surtout les oligo-éléments).
- Régulation de pH.

- Neutralisation des toxines du sol.
- Libération des éléments fertilisants (les acides humiques présents dans le compost dissolvent les minéraux du sol et les rendent utilisables par les plantes).
- Nourriture pour la vie microbienne.

Pour garantir une pérennité de la fertilité des sols, il réserve :

- 60 % de sa surface cultivée aux cultures carbonées (afin de faire pousser suffisamment de matériel pour le compost et devenir autonome en matière organique).
- 30 % de sa surface cultivée aux cultures de calories font référence à l'énergie présente dans la nourriture (comme la pomme de terre, le panais, l'ail ou le poireau).
- 10 % aux autres cultures légumières aux valeurs nutritives complémentaires.

Selon John Jeavons, **1 m² cultivé de plantes à biomasse permettrait de réaliser du compost pour 1.4 m² de cultures.**

Les plantes carbonées (appelées également matériaux matures) sont utilisées pour réaliser le compost. Elles sont récoltées à maturité. Elles participent largement à l'entretien de la fertilité du sol.

En plus de cela, elles sont également la base de l'alimentation (orge, avoine, épeautre, blé, tournesol, maïs, sorgho, quinoa, mil, riz, etc.). Autres cultures carbonées utilisées dans son contexte : fève (si laissée au stade de grains secs), vigne, noisette à gros fruits. A chacun de trouver ses cultures carbonées les plus adaptées à son terroir !

Il cultive également de petites surfaces de luzerne pour produire le matériel immature (azoté) indispensable à un bon compost. En effet, dans sa méthode de compostage, il utilise la moitié de matériaux immatures et la moitié de matériaux matures.

Pour la constitution du compost, il recommande un apport équilibré d'azote, de phosphore et de potassium.

D'autres maraîchers (comme Jean-Martin Fortier) préfèrent acheter un compost de bonne qualité (car cela demande beaucoup de temps et de maîtrise technique pour réaliser un très bon compost).

Avantages

- Si le processus est maîtrisé : grande qualité du compost et ajustement des apports selon les besoins du sol et des légumes.
- Valorisation optimale des ressources locales.
- Autonomie et résilience de la ferme.

Inconvénients

- Demande du temps et des compétences.
- Nécessite de la surface pour la culture de matières premières indispensables au compost (sinon, il est possible d'en récupérer à l'extérieur de la ferme).

Forces et faiblesses du compost

2. Le fumier, une ressource intéressante à certaines conditions

Un apport de fumier, composté ou non, apporte au sol à la fois de l'azote, du soufre, du phosphore, du potassium, du magnésium, et des oligo-éléments.

Certains praticiens recommandent de composter le fumier avant de l'utiliser. Attention au fumier lessivé : si un tas de fumier est exposé aux pluies, il devient pauvre en éléments nutritifs.

Le fumier assaini (ou jeune compost) est un bon moyen de valoriser les matières organiques agricoles ou fermières. Son obtention demande de suivre certaines règles en matière de stockage, compostage et épandage. Les sols qui n'ont pas développé de complexe organo-minéral sont sensibles au lessivage et ont un besoin de structuration par l'activité microbienne. Il faut donc procéder à de petits apports annuels en début de saison végétative. Pour les sols qui fixent mieux les éléments, les épandages d'automne sont possibles, ainsi que les épandages de réserve. Mais le choix doit aussi intégrer les besoins en azote au début de la saison végétative. La période d'épandage du fumier dépend du climat²⁷.

²⁷ Pour plus d'information sur la manière d'utiliser les fumiers, les quantités et les périodes d'épandage, vous pouvez vous reporter à la fiche technique n°11 du réseau GAB/FRAB téléchargeable sur http://www.agrobio-bretagne.org/wp-content/uploads/2012/04/fiche_compost.pdf

Avantages	Inconvénients	Risques
<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût des intrants (si disponible localement). - Assure deux fonctions : paillage et fertilisation. - Recyclage et valorisation des déchets du territoire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion quasi-opportuniste de la fertilité (pas de projection à court terme). - Aucune maîtrise sur la quantité et la qualité des intrants (présence d'antibiotiques, de vermifuges, pesticides, fongicides et insecticides dans la paille, etc.). - Apports peu précis et ne répondant pas toujours aux besoins du sol et des plantes. - Manutention et espaces de stockage nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution des nappes (risque faible si le sol est couvert) - Dégradation de la fertilité du sol (carence de certains éléments) et déséquilibre de la vie du sol (si les apports sont trop importants).

Forces et faiblesses du fumier

3. Les engrais verts, un bon complément du compost et du fumier

Les engrais verts sont notamment un moyen efficace d'améliorer l'état du sol et d'apporter l'azote dans le système (éléments capitaux pour la production biologique).

Quelle que soit la taille de la ferme, l'utilisation d'engrais verts en maraîchage biologique est indispensable pour plusieurs raisons (Equiterre, 2009) :

- Il n'est pas possible de fournir à la plante tout l'azote nécessaire avec l'utilisation de compost ou de fumier sans apporter beaucoup trop de phosphore, ce qui est un problème sur le plan environnemental.
- Les engrais verts permettent de maintenir une bonne qualité de sol en favorisant l'activité biologique et la structuration du sol.
- Ils permettent de réduire l'incidence des mauvaises herbes.
- Lorsque le sol doit être décompacté après la récolte, les engrais verts permettent de stabiliser la structure du sol. Les racines des engrais verts permettent ainsi de continuer le travail d'ameublissement réalisé par le travail du sol.

Afin de bénéficier des éléments prélevés par les engrais verts/cultures intermédiaires pour la culture suivante, il faut enfouir les engrais verts (Huber et Schaub, 2011) :

- Lorsque l'activité biologique est présente, c'est-à-dire au début du printemps quand les micro-organismes reprennent leur activité, plutôt qu'en hiver car à ce moment 70 % des micro-organismes sont morts.
- A un jeune stade : ils doivent être détruits avant la floraison. S'ils sont détruits trop tardivement, ils se lignifient. Ils vont alors donner en se dégradant des matières organiques stables.

D'autre part, les conditions sont habituellement meilleures pour travailler le sol, avant l'implantation des engrais verts, plutôt qu'au moment de leur destruction.

Cette pratique est très peu utilisée à la Ferme du Bec Hellouin car leur mise en place (et surtout leur destruction et leur incorporation) est plus difficile à réaliser sur des buttes de cultures permanentes que sur des surfaces cultivées avec mécanisation.

Quant à Jean Martin Fortier et Maude-Hélène Desroches, ils cultivent les engrais verts sur des planches permanentes de cette façon (pour plus d'informations, vous pouvez visionner leur film : Le kit du jardinier-maraîcher, 2016) :

1. Les engrais verts et les résidus de cultures sont broyés par une tondeuse à fléau (en milieu d'été aux Jardins de la Grelinette au Québec).
2. Dépôt d'une bâche d'ensilage sur la planche durant 2 à 4 semaines selon les conditions climatiques (permettant d'étouffer et d'assainir les vieilles cultures).
3. Aération du sol par le passage d'une grelinette.
4. Les amendements sont ensuite épandus sur la planche, puis incorporés à l'aide d'une herse rotative réglée à 5 cm. La herse rotative est fixée à l'arrière d'un rouleau qui plombe et égalise la surface de la planche.

Pour optimiser le temps d'occupation des zones cultivées par les engrais verts (environ 6 à 12 semaines), ils sèment les engrais verts alors qu'une culture est déjà en place (exemple : seigle avec brocolis).

Selon John Jeavons, les engrais verts sont beaucoup plus efficaces compostés qu'enfouis directement dans le sol.

Avantages

- Améliore grandement la structure du sol (en favorisant l'activité biologique, le décompactage et la structuration du sol).
- Réduction de l'incidence des mauvaises herbes.

Inconvénients

- Nécessite des compétences et un peu de matériel.
- Les semences doivent être achetées à chaque fois (car les engrais verts sont broyés avant la floraison) ou bien il faut réserver un espace à la production de semences.

Forces et faiblesses des engrais verts

4. Le bois raméal fragmenté (BRF) en associations avec des légumineuses pour recréer des sols

Cette technique innovante permet de discuter une nouvelle approche agronomique. Elle consiste à enfouir superficiellement du broyat de jeunes rameaux. Elle vient du Québec et fait de plus en plus d'adeptes en Europe, notamment dans le milieu de l'agriculture biologique. Des essais ont lieu en grandes cultures en Belgique, en association avec des légumineuses, ce qui permet de s'affranchir d'éventuels problèmes de faim d'azote, qui pourrait apparaître en raison du faible C/N des matières ligneuses utilisées. Ce sont surtout des broyats de feuillus qui sont apportés (il est conseillé de limiter les résineux à 20 % maximum du volume total apporté), à raison d'environ 100 m³ par hectare tous les cinq ans.

En zone sèche, cette technique permet l'obtention de rendements corrects en l'absence d'irrigation, en raison d'un développement très important des champignons du sol qui dégradent la lignine, augmentant ainsi considérablement le réseau des filaments mycéliens très efficaces pour transporter l'eau vers les racines (en plus de l'effet mulch des broyats affleurant à la surface du sol). Le développement important des champignons pourrait également expliquer une moindre pression de certains champignons pathogènes du sol, ces derniers devenant minoritaires parmi la population fongique du sol (RMT DévAB, 2009).

Pour plus d'information sur les intérêts du BRF, les conditions d'épandage et la réglementation, vous pouvez consulter la fiche technique²⁸ « Le Bois Raméal Fragmenté, un outil pour doper les sols en matières organiques ».

Avantages

- Valorisation des "restes" d'élagage, branches très riches en minéraux et en azote.
- Amélioration de la structure et de la fertilité du sol.
- Réduction des besoins en eau (irrigation).
- Réduction de la présence de pathologies (notamment fongiques) et de ravageurs.
- Réduit le lessivage du sol et l'utilisation d'engrais en limitant l'érosion.
- Stockage de carbone.
- Maîtrise des adventices

Inconvénients

- Possible difficulté à se procurer des jeunes rameaux, nécessité de s'organiser pour le broyage (coût, durée etc.).
- Les BRF peuvent attirer les limaces et les sangliers
- Un sol hydromorphe peut bloquer les processus.
- Peut créer des « faims d'azote » si appliqué seul.

Forces et faiblesses du BRF

5. Engrais organiques du commerce utilisables en Agriculture Biologique :

Voici les caractéristiques agronomiques de quelques engrais organiques (ITAB, 2001)

	Guano	Farine de plumes	Fientes de volailles ⁽¹⁾	Farine d'os	Farine de viande	Tourteau de ricin
Matières sèches (g/100 g MB)	84	94	80	94	94	81
Matières organiques (g/100 g MS)	-	88	-	56	67	82
Azote organique (g/100 g MS)	16	10	4	7	8	5,7
Minéralisation de l'azote (en %/an) ⁽²⁾	93	82	-	66	70	66
Phosphore (P2O5) (g/100 g MS)	20	11	4	16	9	3
Potasse (K2O) (g/100 g MS)	3	2,7	2,8	-	0,6	2

(1) fientes séchées sous hangar (source: ITAVI, 1996, in Institut de l'Élevage et al., 2001) – (2) pourcentages obtenus en incubations sous climat méditerranéen (Leclerc, 1989)

Avantages

- Apports précis et adaptés aux besoins du sol et des légumes.
- Demande peu de temps.

Inconvénients

- A un coût.
- Pas toujours facile de trouver un produit local, de qualité et à un prix raisonnable.
- Est-ce durable ?

Forces et faiblesses des engrais biologiques du commerce

Ces fertilisants peuvent être particulièrement intéressants lors de la création de nouvelles zones cultivées.

Quelle quantité de matière apporter ?

- **Ne « plus fertiliser à l'aveuglette »**

Connaître la « bonne » dose de fertilisant ou d'amendement à apporter au sol n'est pas si simple.

Pour apporter le plus justement possible, J.M. Fortier élaborer un plan de fertilisation. Cela demande plusieurs années d'apprentissage et d'ajustement.

« Apprendre à bien fertiliser ses cultures n'est pas si évident »

(Fortier, 2015) :

- Utiliser les analyses de sol.
- Réaliser des calculs de fertilisation, de manière à ajuster la nature et la quantité de fertilisants en fonction des besoins spécifiques des cultures et du sol.
- Recourir à une rotation des cultures sans que ce soit compliqué.
- Optimiser les cultures d'engrais verts.

- **Apporter la quantité d'amendement ou de fertilisant approprié.**

Certains agriculteurs estiment pour chaque planche de culture la quantité d'amendement ou de fertilisant approprié (en prenant les besoins des légumes plus gourmands en cas d'association de cultures). Il est possible d'utiliser un tableau²⁹ renseignant les besoins en azote des principaux légumes de manière à apporter la dose d'amendement nécessaire (en vérifiant la teneur en azote de ce dernier avec une analyse physico-chimique).

- **Les analyses de sol doivent être régulières.**

Des analyses de sol effectuées tous les 4 à 7 ans permettent de suivre l'évolution de la fertilité et de réajuster les fertilisations organiques et minérales selon les besoins en éléments nutritifs de la culture en place (Réseau GAB/FRAB).

Le Guide de la fertilisation organique à la Réunion³⁰ détaille les différents types d'analyses de sol qui existent et comment les interpréter.

- **Vers une gestion globale de la fertilité du sol avec les plantes bioindicatrices.**

« Les « mauvaises herbes », dont on veut se débarrasser, sont en fait des indicatrices de l'évolution du sol et permettent de prévoir des dysfonctionnements avant qu'ils ne se manifestent et qu'il soit trop tard pour les réparer (...). Le sol constitue un énorme réservoir de graines (...). S'il pousse des chardons dans votre jardin, n'accusez pas votre voisin de vous avoir envoyé des graines, c'est la façon dont vous avez travaillé le sol qui les a fait germer ! » (Ducérf, 2010).

- **Que disent les maraîchers bio-intensif ?**

Pour le fumier :

Selon John Jeavons, une dose très élevée d'azote apportée dans le sol peut augmenter le risque de maladie et d'attaque de ravageurs (Jeavons, 2006).

John Jeavons recommande l'utilisation de fumier décomposé uniquement comme alternative au compost, si ce dernier n'est pas disponible.

Dans tous les cas, il recommande de ne pas dépasser la dose de 10 m³ de fumier vieux pour 100 m² cultivés. Un fumier contenant peu de paille peut modifier trop fortement le pH du sol, contenir un excès de sel et présenter un déséquilibre azote/phosphore/potassium. Un fumier âgé contient peu d'azote disponible, il est

²⁹ Un tableau donnant les exigences en éléments nutritifs des principales cultures maraîchères (réalisé par le CFPPA Coutances en 2015) est téléchargeable à l'adresse : <http://www.maraibio.fr/medias/files/13.classement-des-especes-en-fonction-de-leurs-exigences.pdf>

³⁰ Guide disponible sur : <http://www.mvad-reunion.org/spip.php?article95>

donc préférable de rajouter des apports riches en azote comme la farine de luzerne par exemple (Jeavons, 2006).

Selon John Jeavons, le seuil maximum à ne pas dépasser est donc de 75 kg de fumier vieux par m² cultivé³¹.

Les maraîchers parisiens du XIX^{ème} siècle apportaient d'ailleurs entre 25 à 100 kg/m² de fumier de cheval par an dans un jardin (Coleman, 2013).

Pour le compost :

Concernant le compost, John Jeavons apporte au maximum (en dose d'entretien et selon la nature du sol) 0,3 à 1,2 m³ de compost avant chaque culture pour 100 m² cultivés.

Avant chaque culture, Eliot Coleman apporte au sol de la farine de luzerne et une couche de compost bien mûr sur les premiers centimètres du sol (Coleman, 2013). Après la culture d'épinard et de la claytone, il rajoute à également du sang séché (forte teneur en azote).

Leur compost est réalisé à base de plantes fourragères fauchées à cet effet, auxquelles ils rajoutent des résidus de culture et de l'argile, ainsi que des algues (car ils sont à proximité de la mer) et les déjections de leurs bêtes.

Eliot Coleman apporte en moyenne 37,5 tonnes de compost bien mûr par hectare et par an, soit 3,75 kg/m² (Coleman, 2013).

Pendant combien de temps doit-on apporter de la matière ?

On différencie deux étapes : la création de sol (ou phase curative) et la phase d'entretien :

- **La première étape est dédiée à la « création » ou aggradation du sol.** Il est rarement d'emblée de qualité optimale. Pendant plusieurs années, le paysan va s'attacher à augmenter la teneur en matière organique, corriger le PH si nécessaire, améliorer la structure, combler les manques éventuels en éléments nutritifs, dynamiser la vie... L'un des moyens utilisés peut être un apport important de fumier bien décomposé ou de compost lors de la création des buttes, ce qui permet un vrai bond en avant. Ce processus de création du sol est rendu possible par l'espace

³¹ D'après l'Observatoire des déchets en Auvergne Rhône-Alpes, la masse volumique du fumier est de 750 kg/m³.

restreint et bien circonscrit des buttes. Les jardiniers-maraîchers parisiens du XIX^e siècle faisaient des apports importants de fumier, dédié en premier lieu à la création de couches chaudes et servant ensuite à fertiliser les cultures. Ils décrivent dans leurs traités la manière dont ils parvenaient au fil des ans à créer un sol exceptionnel pour leurs cultures maraîchères.

- Dans un second temps, lorsque les analyses et les observations confirment que le sol est fertile, équilibré et vivant, on rentre dans une **phase d'entretien**. La fertilisation est abordée différemment selon le système de culture. Selon John Jeavons, pour la fertilisation d'entretien, un très bon compost suffit (Jeavons, 2006).

Comment optimiser l'apport de matière ?

Les planches permanentes permettent de concentrer le soin du sol sur une petite surface et dans la durée.

« Utiliser le même système de planches et d'allées année après année permet de concentrer les amendements calciques là où ils sont nécessaires : sur les planches. Compte tenu des grandes quantités de fertilisants et de compost requises dans un système de maraichage bio-intensif, c'est la manière la plus économique de construire un sol ».

« Les planches permanentes constituent le fondement de notre système cultural intensif. Elles permettent une organisation optimale de l'espace et du travail et fournissent un environnement idéal pour la croissance des plantes. Le fait qu'elles soient permanentes est déterminant, car c'est ce qui permet de bâtir et d'entretenir le sol de la meilleure manière possible » (Fortier, 2015).

Avantages inhérents à la culture sur planches :

- Meilleur égouttement du sol.
- Réchauffement hâtif au printemps.
- Pas de compactage du sol.
- Bâtir un sol durable et de qualité.
- Pas besoin de tracteur.

Tous ces avantages sont autant de conditions favorables à la constitution d'un sol sain et vivant, et donc à l'obtention de meilleures récoltes.

Document non exhaustif, à amender au fil de la pratique, Louise Géhin, octobre 2017.

ANNEXE 6 : Forces et faiblesses du design de jardins étudiés en 2016

Dans cette annexe, il s'agit de présenter une vision plus globale du fonctionnement de la ferme en détaillant les designs initiaux de chaque jardin étudié, leurs évolutions et les principaux enseignements retirés. Ce retour d'expériences pourra être utile à des porteurs de projets ou à des personnes déjà installées.

Le design global n'a pas été réalisé à la création de la ferme. Charles et Perrine Hervé-Gruyer se sont installés avant de connaître la permaculture. La plupart des réalisations se sont faites au fil de l'eau, sans dessin d'ensemble. Avant 2016, la gestion de la ferme n'était pas optimale, avec plusieurs zones 1 éparpillées et un effort trop dilué sur de grands espaces.

En 2016, l'équipe de la Ferme du Bec Hellouin a décidé de repenser le design. Il s'agissait notamment de gagner en cohérence dans l'application du concept des zones. Par exemple, la zone 1 a été concentrée afin d'être d'avantage soignée, libérant ainsi de l'espace pour d'autres fonctions et simplifiant la gestion des autres zones.

Principales forces du design global :

- Grande diversité des milieux favorables à la biodiversité et la création de microclimats.
- Les différents espaces sont fortement imbriqués, maximisant ainsi les lisières (zones d'échanges).
- Le lieu de stockage des outils est proche de la serre et des jardins de zone 1.
- Chaque jardin remplit plusieurs fonctions et la plupart des fonctions sont remplies par plusieurs éléments.
- La ferme est un lieu esthétique et à taille humaine.

Principales faiblesses du design global :

- L'entretien des lisières est très chronophage (elles sont trop grandes et dispersées).
- Présence de deux espaces de cultures maraîchères séparés géographiquement et éloignés de la zone 0 (perte de temps dans les déplacements).
- Un espace de vente et de stockage éloignés des cultures et en hauteur (ce qui ne facilite pas l'acheminement des légumes).
- Des champs de légumes (en traction animale) un peu trop éloignés de la zone 0.
- Les espaces de cultures en courbe sont esthétiques, mais pas toujours pratiques à entretenir.

- Les arbres sont un peu proches des cultures (les fruits tombent sur les parcelles maraîchères et peuvent faire trop d'ombrage).
- Le Parking ne permet d'accueillir tous les visiteurs..
- Pas de toilette sèche, d'électricité et d'eau potable près des jardins.
- Au début, pas de chemin de desserte des jardins accessible à un tracteur de taille moyenne (pour l'apport de fumier par exemple) et des chemins en terre qui devenaient impraticables en hiver.

Quelques pistes d'améliorations du design global :

- Optimiser les lisières (en réduisant encore le temps d'entretien).
- Lorsque que les surfaces et les formes des planches de culture sont plus uniformes, cela permet de simplifier la gestion des espaces cultivés et réduire les coûts liés à l'achat de matériel (uniformisation des voiles de forçage, etc.) : un savant dosage entre esthétique, biodiversité et économie n'est pas toujours facile à réaliser.
- Une connexion des différents espaces (notamment pour la biodiversité) pourrait être accentuée.
- En 2016, afin de fluidifier la circulation, plusieurs chemins ont été créés.
- Couvrir la station de lavage (pour optimiser le conditionnement des légumes récoltés).
- Mieux gérer le trop plein de l'île-jardin et lui trouver une utilité car pour l'instant les excès d'eau vont dans la prairie d'en face et inondent la forêt-jardin initiale.
- Idéalement, regrouper la zone 0 (boutique, outils, zones de culture intensément soigné, bureau) et la placer au cœur de la ferme.
- Idéalement, placer la pompe proche de la zone 1.
- Planter des cultures à biomasse proche des zones maraîchères pour faciliter le paillage des espaces cultivés.

1) Design de la grande-serre

Année de construction et de mise en culture : 2008.

Surface cultivée : 339 m²; surface totale : 646 m².

Exemples d'associations de cultures : mâche – pomme de terre – fève – salade romaine ; tomate – radis 18 j – romaine – échalote ; navet primeur – pomme de terre – fève, etc.

NB : attention, les légumes ne sont pas tous implantés en même temps : il s'agit d'une association de cultures dans le temps et l'espace (pour plus d'information, vous pourrez bientôt vous référer au manuel technique en cours d'écriture par Charles et Perrine Hervé-Gruyer).

La grande serre est l'espace de la ferme le plus intensément soigné et présente une productivité élevée.

Elle permet d'obtenir des légumes de façon précoce (carotte, fève, petit pois) et convient bien aux cultures exigeantes comme la tomate, l'aubergine et le concombre

Les cultures se situent soit sur des planches de 80 cm de large, soit dans des bacs de terre avec coffrage en bois de 80 cm de largeur.

La structure de la serre sert parfois de tuteurs pour des vignes. Ces vignes offrent une production complémentaire, de la biomasse et de l'ombrage partiel en été.

A l'intérieur de la serre, un poulailler a été construit en janvier 2014. Un tunnel sort de la serre pour permettre aux poules d'accéder à leur parcours extérieur.

Le poulailler dans la serre remplit plusieurs fonctions :

- Prédation des limaces.
- Compostage des adventices retirées des zones de cultures de la grande serre : les poules se nourrissent du compost d'adventices situé dans le poulailler et enrichissent le compost restant de leur fumier et de leur plume (riches en éléments fertilisants).
- Sensible augmentation de la chaleur de la serre.
- Production de CO₂ favorable aux cultures.
- Support de culture : les grillages des parois du poulailler qui empêchent les poules de circuler dans la serre, servent aussi de support pour des plantes grimpantes, ce qui permet d'optimiser la surface de captage de lumière dans la verticalité.
- Support pour le démarrage et le stockage des plants : une pépinière a été installée sur le toit du poulailler afin d'optimiser la surface sous serre et

utiliser le surplus de chaleur en hauteur.

- Apporte de la vie dans un milieu artificiel !

En 2017, une mare a été réalisée afin d'accueillir la biodiversité et créer un microclimat. Au début, elle s'évaporait très vite et les pentes étaient un peu abruptes pour accueillir la faune aquatique. Quelques mois après sa construction, elle a été refaite. Depuis, la mare accueille des grenouilles.

Forces du design de la grande serre :

- Utilisation de la verticalité.
- Création de microclimats par les mares, le poulailler et les vignes.
- Depuis 2016, implantation de planches réservée aux plantes pérennes mellifères pour attirer les pollinisateurs sauvages (et ainsi se passer des ruches à bourdons).
- En 2016, implantation d'une planche permanente pour la biomasse (trèfle blanc régulièrement fauché pour le paillage des cultures).
- La présence d'animaux bénéficie aux plantes (dégagement de CO₂ favorisant la croissance des végétaux).
- Accueil de la biodiversité utile (grenouille, serpent, etc.).

Faiblesses du design :

- Mauvaise aération (entraînant un risque élevé de développement des maladies cryptogamiques) : petite serre placée trop proche de la grande serre et de surcroît dans l'axe des vents dominants.
- Le poulailler crée de l'ombre et bloque un peu la circulation de l'air.
- Les zones de cultures en périphérie des serres ne sont pas faciles à entretenir et bénéficient moins de l'effet de serre. Des cultures vivaces pourraient être installées à ces endroits.
- Pas d'électricité pour gérer l'irrigation et la ventilation.

Pistes d'amélioration :

- Prévoir dès le départ un four à biochar (ou un autre système de chauffage écologique) pour réchauffer la serre en hiver.
- Installer un système de ventilation.
- Optimiser l'emplacement du poulailler et des vignes (de manière à limiter l'ombrage, permettre une bonne aération et faciliter les récoltes).
- Considérer les zones de cultures en périphérie des serres comme des zones pour l'accueil de la biodiversité (en y implantant par exemple des plantes pérennes basses).

- Le toit de la serre peut servir à approvisionner une citerne d'eau (qui permettrait d'arroser les plantes et d'abreuver les oiseaux avec l'eau de pluie récupérée).
- Prévoir des points d'observation et de contemplation ☺
- Créer une zone de biodiversité (plutôt au Nord).
- Installer un espace pour les récoltes et le rangement.
- Créer une zone 5 (sauvage).

2) Design du verger-maraîcher « Pommiers »

Mis en culture : 2011.

Surface cultivée : 121,6 m² ; surface totale : 395 m².

Exemples d'associations de cultures : radis – carotte – fève ; navet – panais – fève ; radis – carotte – maïs puis céleri ; ail – mâche ; carotte – poireau ; chou – salade ; navet – fève – échalote puis chou – salade.

NB : attention, les légumes ne sont pas tous implantés en même temps : il s'agit d'une association de cultures dans le temps et l'espace (pour plus d'information, vous pourrez bientôt vous référer au manuel technique en cours d'écriture par Charles et Perrine Hervé-Gruyer).

Le jardin est cultivé en planches plates depuis sa création (à l'exception d'une parcelle coffrée).

Les parcelles sont entourées d'arbres, principalement de pommiers (différentes variétés).

Une petite mare a été creusée pour créer un écosystème aquatique dans le jardin. Elle est localisée à l'endroit où l'eau s'accumulait naturellement lors des pluies. Cette mare permet à la fois de :

- Recueillir les eaux de pluie ruisselant sur la serre pour des usages futurs (irrigation des cultures et lavage des outils).
- Désengorger l'eau de surface du jardin et des allées qui deviennent rapidement extrêmement boueuses.
- Accueillir la faune et la flore aquatique.
- Servir de zone de pré-lavage des légumes et de lavage des outils.

Les allées semblent depuis cet aménagement mieux praticables, mais le sol reste très humide pour des fruitiers. En effet, à cet endroit, la nappe phréatique est environ à 40 cm de profondeur.

Notes : les pommiers sur porte-greffe M106 supportent mal l'asphyxie racinaire. Plusieurs d'entre eux sont déjà morts du phytophthora. Des porte-greffes moins sensibles à l'asphyxie racinaire seraient sans doute préférables.

Forces du design :

- Proche de la zone 0.
- Standardisation des surfaces de culture.
- Depuis 2017, présence de support fixe pour les cultures à rame sur toutes les planches.
- Bonne circulation.
- Bonne gestion de l'irrigation.
- La présence d'arbres fournit de nombreux avantages : amélioration de la production des parcelles en optimisant les ressources du milieu, diversification de la production des parcelles, restauration la fertilité du sol, préservation de la qualité et la quantité de l'eau, amélioration des niveaux de biodiversité et reconstitution d'une trame écologique, stockage du carbone pour atténuer les effets du dérèglement climatique, etc.).

Faiblesses du design :

- Les arbres sont un peu proches des cultures (selon le chef de culture).
- Pas assez de production de biomasse.

Pistes d'amélioration :

- Implanter des trognes pour le paillage des cultures.
- Si c'était à refaire, le chef de culture espacerait d'avantage les rangées d'arbres des cultures. En Normandie, une distance d'environ vingt mètres entre deux rangs d'arbres pourrait permettre un bon ensoleillement des cultures tout en permettant aux maraîchers de travailler aisément. L'espacement est notamment à ajuster en fonction du porte-greffe et de la variété du fruitier, du contexte pédoclimatique et du design global.
- Les arbres doivent être suffisamment éloignés des chemins de tracteurs ou des bâtiments. Si le développement de l'arbre à l'âge adulte n'est pas pris en compte dès le design, l'arbre devra être taillé trop sévèrement. Cela aura pour conséquence d'affaiblir l'arbre, induisant une augmentation des risques de maladies et une baisse de la production.
- Créer une zone sauvage, avec des plantes annuelles (se ressemant spontanément) et des plantes vivaces mellifères.

3) Design de la grande île-jardin

Création et mise en culture : 2009.

Surface cultivée : 194 m²; surface totale : 573 m².

Exemples d'associations : chou – fève – salade ; ail – mâche ; petit pois – mâche ; haricot – épinard.

NB : attention, les légumes ne sont pas tous implantés en même temps : il s'agit d'une association de cultures dans le temps et l'espace (pour plus d'information, vous pourrez bientôt vous référer au manuel technique en cours d'écriture par Charles et Perrine Hervé-Gruyer).

C'est une île artificielle réalisée à partir de la terre excavée pour creuser la mare adjacente.

La rivière « Le Bec » passe à l'intérieur de la ferme et approvisionne en continu les mares qui entourent les îles.

Deux passerelles permettent d'accéder à la grande île, l'une allant vers les autres jardins cultivés, l'autre vers la forêt-jardin adjacente.

L'île est cultivée sur des buttes rondes positionnées en arc de cercle autour d'une pierre centrale.

L'eau qui entoure l'île permet de refléter les rayons de soleil incidents, ce qui accroît le rayonnement arrivant aux feuilles et améliore ainsi la photosynthèse. Sans compter la plus-value esthétique et symbolique s'attachant à ce design.

Du fait de sa spécificité et de son positionnement à l'entrée de la ferme, l'île est le premier jardin présenté lors des visites. Il reflète en quelque sorte l'image de la ferme. Il est donc abondamment paillé.

Forces :

- Le jardin est un agroécosystème à part entière.
- La proximité de l'eau présente de nombreux avantages : réduction de l'irrigation, création d'un microclimat, augmentation de la biodiversité, accueil des canards coureurs indiens prédateurs de limaces, etc.
- Ce jardin est très esthétique.
- Présence de biomasse (pour le paillage des cultures).

Faiblesses :

- Hétérogénéité des zones de cultures.
- Circulation difficile en brouettes.
- Légèrement excentrée de la zone 0.
- La présence d'eau peut également engendrer certains inconvénients : elle limite la venue des auxiliaires de culture (comme c'est le cas des carabes prédateurs des limaces). Les berges peuvent être dégradées par des ragondins (très forte pression en 2015). Depuis, des pièges sont installés pour réguler la population. De même, les poules d'eau exerçaient une forte prédation des légumes en 2015. La forêt-jardin adjacente, très dense à l'époque, offrait, d'après les maraîchers, un gîte aux poules d'eau. Cette dernière a été taillée en 2016. Depuis, la prédation des poules d'eau est beaucoup moins forte.

Pistes d'amélioration :

- Capturer l'eau qui sort et qui inonde la forêt-jardin.
- Afin d'optimiser les coûts, une uniformisation des zones de culture peut-être envisagée selon le chef de culture.
- Réfléchir à une meilleure utilisation de la vase (par exemple, chemin en pierres pour récupérer la vase facilement).

4) Design de la mini forêt-jardin

Création et mise en culture : 2016.

Surface cultivée : 220 m² ; surface totale : 301 m².

La mini forêt-jardin est le modèle « intensément soigné » de forêt-jardin. C'est un dispositif expérimental développé dans le cadre de l'étude technico-économique « Peut-on vivre d'une forêt-jardin ? ». Pour plus d'information, vous pouvez vous reporter au document « **Création d'une forêt-jardin sur petite surface. Le cas de la mini forêt-jardin de la Ferme du Bec Hellouin** ³² ».

La finalité de cet espace est de produire un maximum de fruits, petits fruits et plantes aromatiques vivaces sur un petit espace. Les arbres sont plantés très serrés afin d'étudier jusqu'où il est possible de pousser la densification. Il faudra attendre plusieurs années de pleine production pour tirer des enseignements de cet essai.

³² Rapport téléchargeable sur : www.fermedubec.com/la-recherche

Forces :

- Esthétique.
- Pédagogique, avec un espace central pouvant accueillir un groupe de personnes.
- Facile d'entretien (peu de désherbage grâce aux bâches biodégradables).
- Des espaces périphériques réservés à la biodiversité.
- Bien située selon sa zone permaculturelle (n° 2) : ni trop près, ni trop loin, elle est facilement arrosable, récoltable et les outils sont à proximité.

Faiblesses :

- Un peu trop sinueuse : les allées courbées permettent d'aller à plus d'endroits mais font perdre du temps. Des courbes moins fortes pourraient être plus adaptées.
- L'entretien (et notamment la taille des arbres) n'est pas optimal : il serait plus économe en temps de réaliser des petits groupes de la même variété.

Pistes d'amélioration :

- Afin d'optimiser le temps de travail (et donc la productivité horaire), il serait intéressant de prévoir des rangées (mêmes courbes et pas très longues) de fruitiers, en regroupant 3 ou 4 arbres de la même variété. Pour faciliter la taille, il serait intéressant de regrouper également les fruits à noyaux et les fruits à pépins en petits îlots distincts (ils ne se taillent pas toujours en même temps).
- Les colonnaires, dans un petit espace, peuvent se justifier (même si à l'heure actuelle ils sont souvent élevés hors de France et que le choix de variétés reste très limité). Il serait intéressant d'essayer d'autres porte-greffes nanifiant plus classiques permettant de choisir des variétés vraiment adaptées aux conditions locales et agroécologiques.
- Bien tuteurer et former (taille de formation) les petits-fruits greffés sur tige et les fruitiers dès leur plantation.
- La disposition des framboises est à revoir, car la strate herbacée est piétinée (prévoir par exemple une circulation tout autour des rangs). Cela limitera en outre l'expansion des framboises.
- Palisser les framboises dès l'implantation.
- Placer les menthes en périphérie du jardin, afin de limiter les adventices.
- Délimiter plus précisément les espaces, par exemple : une zone de culture = une variété de menthe (pour éviter qu'elles se mélangent et optimiser ainsi la récolte).
- Prévoir d'avantage de passe-pieds pour ne pas écraser les aromatiques.
- Rajouter une strate aquatique.

5) La forêt-jardin initiale

Création et mise en culture : 2008.

Surface cultivée : 972 m² ; surface totale : 1230 m².

Ce modèle plus extensif de forêt-jardin a été conçu pour protéger les cultures maraîchères des vents dominants, accueillir la biodiversité et produire de la biomasse pour les jardins maraîchers.

Elle est conçue en forme de fer à cheval de manière à profiter au maximum de l'ensoleillement.

Forces :

- Zone de biodiversité.
- Biomasse intéressante.
- La forêt-jardin initiale est plus éloigné, ce qui correspond à sa zone permaculturelle (n° 3), tout en étant suffisamment proche des zones maraîchères pour leur offrir protection contre les vents, biomasse (pour le paillage) et biodiversité (pour la protection des cultures).

Faiblesses :

- Sol souvent inondé par les mares adjacentes.
- Les espaces de cultures sont trop grands : on ne peut pas récolter au centre !
- Beaucoup de zones non exploitées mais entretenues : mieux clarifier les zones permaculturelles à l'intérieur du jardin (pour réduire l'entretien).
- Beaucoup d'orties poussent et rendent parfois les récoltes périlleuses.
- Les outils sont un peu éloignés.

Pistes d'amélioration :

- Bien former les fruitiers (dès leur plantation puis régulièrement).
- Bien exposer les petits fruits (trop d'ombre réduit le goût des fruits) et les tailler régulièrement.
- Délimiter plus précisément les espaces (en fonction des besoins des espèces, notamment en lumière) et réfléchir dès le design à l'entretien et à la récolte.
- Prévoir des espaces périphériques sauvages (voir des zones sans intervention humaine), des espaces pour la faune sauvage, des zones de biomasse, etc.

6) Le jardin-clairière

Création et mise en culture : 2013.

Surface totale : 776 m².

Le jardin-clairière est situé sur un autre site, à environ 1 km du cœur intensif de la ferme et des trois jardins présentés précédemment.

Ce jardin est cultivé sur des terrasses depuis l'été 2013 sur un terrain en pente exposé au sud et entouré par une forêt. Sont plantés dans le jardin-clairière essentiellement les légumes à cycle long, car le suivi n'est pas aussi régulier en raison de l'éloignement du jardin. Les cultures peu appétantes pour les oiseaux (pigeons en particulier) et les lapins sont privilégiées. Sept cultures sont généralement plantées : pomme de terre, courge, poireau, chou, betterave, oignon et ail (ainsi que les herbes aromatiques, les fruits et les petits-fruits).

Deux mares ont été creusées aux extrémités de ce jardin afin de récupérer l'eau de pluie.

Les buttes cultivées ont été implantées à la perpendiculaire de la pente, de façon à limiter le lessivage et la perte de sol par les pluies. Des petits fruits bordent le jardin.

L'entretien des cultures de ce jardin est bien moins régulier en raison de son éloignement du centre de la ferme et de sa forte pente.

Forces :

- Bien exposé.
- Grande richesse écologique (entouré de forêts).

Faiblesses :

- Trop loin de la zone 0, des outils, de l'eau, de l'électricité, etc.
- Trop pentu.
- Beaucoup de prédation (lapins, campagnols, etc.).

Pistes d'amélioration :

- Adapter d'avantage les pratiques à la zone permaculturelle.
- Développer une activité plus extensive (comme l'apiculture par exemple).