

PROGRAMMES
DE RECHERCHES
À LA FERME DU
BEC HELLOUIN
2022



SOMMAIRE

PARTENAIRES FINANCIERS.....	3
PARTENAIRES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES.....	3
COMITÉ SCIENTIFIQUE.....	4
PRÉFACE.....	5
INTRODUCTION.....	7

LA RÉSILIENCE D'UNE FERME EN QUESTION..... 8

CULTIVER LA PAIX	10
LA SÉCHERESSE DE L'ÉTÉ 2022	11
SÉCHERESSE, ÉLEVAGE, BOISFOURRAGE	13
LE PAYSAGE DE RÉSILIENCE	14
ON N'EST PAS RÉSILIENT TOUT SEUL	15

ÉTUDE DE LA MINI FORÊT-JARDIN 2022

L'ÉTUDE CONDUITE AU BEC HELLOUIN SUR LES FORÊTS-JARDINS	17
QU'EST-CE QU'UNE MINI FORÊT-JARDIN ?	18
« CRÉER UNE MINI FORÊT-JARDIN »	19
LES DONNÉES 2022	20
COMMENTAIRES SUR LES RÉSULTATS 2022	23
RÉSILIENCE DE LA FORÊT-JARDIN	24
UNE NOUVELLE FORME D'AGROFORESTERIE, RÉPONDANT AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, ÉCONOMIQUES ET SOCIAUX ?	24

PROJET « CÉRÉALES JARDINÉES »

L'AUTONOMIE À L'ÉCHELLE D'UNE MICRO-FERME

1 CONTEXTE.....	25
1.1 LES DIFFÉRENTES CRISES	25
1.2 INNOVER AUTREMENT.....	26
1.2.1 Biodiversité cultivée.....	27
1.2.2 Recherche participative.....	30
1.2.3 Des variétés pour le futur	30
1.3 LA FERME DU BEC HELLOUIN.....	31
1.3.1 Contraintes et pratiques locales ..	31
1.4 RÉFÉRENCES D'HIER.....	32
2 OBJECTIFS	33
2.1 OBJECTIF GLOBAL	33
2.2 OBJECTIFS SECONDAIRES ...	33
3 EXPÉRIMENTATIONS.....	34
3.1 VARIÉTÉS ET LOCALISATIONS	34
3.1.1 Saison 2019-2020.....	34
3.1.2 Proposition initiale pour 2020-2021.....	34
3.1.3 Saison 2020-2021.....	35
3.1.4 Saison Saison 2021-2022	36
3.1.5 Saison Saison 2022-2023	36
3.2 ITINÉRAIRES TECHNIQUES ..	37
3.2.1 Avant 2019.....	37
3.2.1 Saison 2019-2020.....	37
3.2.3 Proposition initiale	38
3.2.4 Saison 2020-2021	38
3.2.5 Saison 2021-2022.....	39
3.2.6 Saison 2022-2023	39

4 OBSERVATIONS	40
4.1 SAISON 2019-2020	40
4.2 PROPOSITION INITIALE.....	40
4.3 SAISON 2020-2021.....	40
4.3.1 16 mars 2021	40
4.3.2 15 et 16 juillet 2021.....	41
4.3.3 29 juillet 2021	41
4.4 SAISON 2021-2022	42
4.4.1 31 mai 2022	42
4.4.2 Récolte 2022	42
4.5 SAISON 2022-2023.....	42
4.5.1 15 mars 2023	42

5 RÉSULTATS.....	43
5.1 SAISON 2019-2020	43
5.2 SAISON 2020-2021.....	43
5.2.1 Blés tendres.....	43
5.2.2 Engrains	43
5.2.3 Seigles.....	43
5.2.4 Grand épeautre de plain champ	45
5.3 SAISON 2021-2022	45
5.3.1 Seigles	45

6 CONCLUSION.....	46
BIBLIOGRAPHIE.....	47

LES JARDINS DE BOIS . 48

LES PREMIERS JARDINS DE BOIS.....	50
LE JARDIN DE BOIS N°1.....	50
LE JARDIN DE BOIS N°2	50
DISTANCES DE PLANTATION	51
LES TROGNES.....	51
ENTRETIEN.....	51
2022 : TROISIÈME JARDIN DE BOIS.....	51
NOUVEAUX TALUS.....	52
LE POINT FIN 2022.....	52

RÉ-ENSAUVAGEMENT D'UNE PARCELLE.....53

ÉVOLUTION DE LA PARCELLE EN 2022	54
---	-----------

RELEVÉ FLORISTIQUE D'UNE PARCELLE DE 1 500 M².....55

ÉTUDE DE LA PETITE ÎLE-JARDIN

COMMENT CRÉER UNE ÎLE-JARDIN ?	63
---	-----------

TAUX DE RETOUR ÉNERGÉTIQUE ET IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DE CÉRÉALES DE PAYS JARDINÉES - COMPARAISON AUX CULTURES DE CÉRÉALE À PAILLE EN AGRICULTURE CONVENTIONNELLE ET BIOLOGIQUE.....73

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES .	110
----------------------------------	------------

PARTENAIRES FINANCIERS



Mécénat Gilles Ghesquière



PARTENAIRES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES



PILOTAGE DU PROJET



*Merci infiniment
pour votre soutien et votre contribution
aux programmes de l'Institut de la ferme du Bec Hellouin!*

COMITÉ SCIENTIFIQUE

François LEGER

SUPERVISION DU PROGRAMME

Coordinateur de l'étude
sur la microferme permaculturelle,
UMR SAD-APT* AgroParisTech.



François WARLOP

SUPERVISION DU PROGRAMME

Coordinateur de l'étude
sur la forêt-jardin,
GRAB.



Véronique CHABLE

Antoine MARIN

Alexandre JOANNON

SUPERVISION DU PROGRAMME

Coordinateurs de l'étude
sur le blé jardiné,
INRAE Rennes.



Claude & Lydia BOURGUIGNON, microbiologistes des sols, LAMS

Gauthier CHAPELLE, biomiméticien, GREENLOOP

Jean-Thomas CORNÉLIS, pédologue et biogéochimiste, **Valentin SOHY**, Université Gembloux
Agro-Bio Tech

Martin CRAWFORD, expert des forêts-jardins en climat tempéré, Agroforestry Research Trust

Philippe DESBROSSES, agroécologue, Ferme de Sainte Marthe

Marc DUFUMIER, UFR Agriculture comparée et développement agricole, AgroParisTech

Charles HERVÉ-GRUYER, Ferme du Bec Hellouin

Perrine HERVÉ-GRUYER, Institut de la Ferme du Bec Hellouin

Kevin MOREL, agronome, AgroParisTech

Isabelle POIRETTE, mouvement Graines de Vie

Pablo SERVIGNE, chercheur, écrivain

Serge VALET, agronome

Nicolas VEREECKEN, écologue, **Margaux VILLEBRUN & Luc DEVAUX**, Université Libre de
Bruxelles, Laboratoire d'Ecologie du Paysage & Systèmes de Production Végétale

Pierre LARROUTUROU, économiste, député européen

*Unité Mixte de Recherche Sciences Action Développement Activités
Produits Territoires de l'Institut National de Recherche Agronomique

Antoine MARIN

Chercheur à l'INRAE, il supervise
le programme « Céréales jardinées »
avec Véronique CHABLE et Alexandre JOANNON



PRÉFACE

Qu'il est difficile de sortir des sentiers battus!

On a déjà tant écrit sur la ferme du Bec Hellouin. Que dire de plus? Peut-être remettre quelques éléments dans la balance entre le positif et le négatif. Entre le Yin et le Yang. Entre l'espoir et le désespoir. Il me semble que notre humanité ne prend tout son sens que dans la complétude de nos joies avec nos peurs, de nos bonheurs avec nos échecs, de nos pardons avec nos tristesses, de nos douceurs avec nos violences, etc.

À la ferme du Bec Hellouin, au delà des apparences, les difficultés et les joies ont construit le lieu et continuent leur lent travail de création. Tant d'échecs pour des cultures réussies, tant de difficultés dans les relations pour quelques moments de plénitudes.

Il n'y aura pas de sauveur suprême. Personne ne sauvera le monde en tant qu'individu, ni en tant que ferme ou que « modèle ». Nous ne « sauverons le monde » que dans les relations que nous tissons lentement tou.te.s ensemble - vivants et non-vivants, comme le dit si bien Philippe Descola - pour aller vers où cette intelligence sauvage (qui nous dépasse) nous guide: une limitation de nos besoins par une prise de conscience de nos peurs et de nos angoisses qui nous font consommer de manière irresponsable. Un changement de point de vue, car pour bien des peuples que nous avons exterminés - nous les occidentaux



« démocrates » - l'effondrement a déjà eu lieu. Sortir de notre condition de domination est bien difficile. Accueillir cet enfant blessé - au fond de nous - qui veut se rassurer en contrôlant et en accumulant toujours plus. Que faire pour se rassurer des incertitudes fondamentales de la vie: solitudes, accidents, maladies, morts, etc., sinon être pleinement vivant dans le quotidien d'une vie simple, pour que les autres puissent simplement vivre?

Alors oui, à la ferme du Bec Hellouin - et comme souvent ailleurs - on navigue à vue, avec les aléas de la vie et des cultures, avec la joie de laisser à nos enfants une terre un peu plus fertile et diversifiée que ce qu'elle était quand nous l'avons trouvée. Ce chemin unique ne peut prétendre à l'universalité, mais il est une inspiration parmi tant d'autres aujourd'hui, qui fleurissent dans le monde entier, souvent dans le silence du travail des paysans et des artisans (anciens et nouveaux), créant de leurs mains des beautés éphémères et parfois millénaires comme ces semences que nous avons hérité de nos ancêtres ou ces statues et peintures rupestres datant de plusieurs dizaines de milliers d'années qu'ils nous ont léguées comme des boussoles énigmatiques dans ce monde toujours en quête de sens.

Antoine MARIN



Lone Pollet et l'équipe de la ferme au travail sur la petite île-jardin, un projet décrit en page 61 de ce dossier.

INTRODUCTION

Ce rapport présente le bilan des différents programmes de recherches conduits à la ferme du Bec Hellouin en 2021. Il nous a semblé pertinent de rassembler toutes les études en un seul dossier.

Ces programmes de recherches s'articulent autour de la notion de résilience. Les questions qui les sous-tendent sont: comment élaborer une agriculture susceptible de s'adapter aux changements climatiques? Comment continuer à nourrir la communauté locale en temps de crise (économique, financière, énergétique, géopolitique, conflit armé...)? L'actualité récente, marquée par la guerre en Ukraine, les menaces sur la sécurité alimentaire mondiale et le dernier rapport du GIEC, ne font que renforcer la pertinence de ces questions.

Ces études peuvent être regroupées en 5 programmes faisant chacun l'objet d'un chapitre dans ce rapport.

- **Résilience de la Ferme du Bec Hellouin:** survol des différentes mesures prises en faveur de l'autonomie et de la résilience de la ferme.
- **Etude de la mini forêt-jardin:** synthèse des données recueillies depuis 2016.
- **Etude sur le blé jardiné:** le point sur les travaux conduits sur le «blé sans pétrole», jardiné ou en traction animale.
- **Les jardins de bois:** description d'un nouveau programme visant à produire le bois-énergie sur la ferme.
- **Ré-ensauvagement d'une parcelle:** inventaire botanique d'un herbage laissé en libre évolution.

LES PROGRAMMES DE RECHERCHES EN 2022

LA RÉSILIENCE D'UNE FERME EN QUESTION

Charles HERVE-GRUYER

La thématique de la résilience est au cœur des travaux conduits au Bec Hellouin. La question est: comment imaginer une ferme capable de rester productive, même en cas de crise grave (climatique, énergétique, économique, sociale...)?

Dans le rapport portant sur l'année 2021, j'avais traité de cette question de la résilience sous différents aspects: complexité de l'agroécosystème, biodiversité, sols, matières organiques, semences, énergies, outils, eau, compétences... J'ai tardé (mille excuses, la surcharge de travail est intense), à rédiger le rapport de l'année 2022, et je débute son écriture en octobre 2023, en plein conflit entre Israël et la Palestine. Bouleversé comme chacun de vous par ces drames, je ne peux m'empêcher de faire le lien avec les visites à la ferme de plusieurs experts de l'OTAN en 2012 et 2013, visites que j'ai déjà évoquées dans le rapport précédent. J'y reviens, parce que la pertinence de leurs prévisions est frappante! Ces experts militaires prévoyaient pour 2025 des crises autour de l'énergie et de l'alimentation, partant des anciennes républiques soviétiques, du Proche-Orient et du Maghreb. Alors que la guerre en Ukraine s'annonce longue et terriblement meurtrière, voilà qu'aujourd'hui la situation au Proche Orient est plus explosive que jamais. Visionnaires, ces militaires qui venaient apprendre à cultiver leur potager pour nourrir leur famille en cas de crise?





Le paysage de résilience, un système agro-sylvo-pastoral qui multiplie les échanges bénéfiques entre les plantes et les animaux.

Les drames humains vécus par les populations concernées sont atroces... Ils nous invitent paradoxalement à prendre conscience de la vulnérabilité de l'alimentation, dans les pays démunis mais aussi au sein de nos pays nantis d'Europe occidentale et d'ailleurs, car nos destins sont liés. Nos économies se sont plutôt bien adaptées à la raréfaction du gaz et du pétrole russe et à l'arrêt quasi total des exportations de blé, suite à l'invasion de l'Ukraine, mais qu'en serait-il si un embrasement des pays du Proche Orient tarissait aussi nos approvisionnements en pétrole issu de ces régions, premières productrices mondiales ? Ne nous voilons pas la face: nos économies, et notre agriculture notamment, pourraient être bouleversés en quelques semaines ou mois. Chez nous, sans pétrole tout s'arrête ! Les travaux de Pablo Servigne et des autres collapsologues nous rappellent que nos sociétés mondialisées sont comme des châteaux de cartes: si l'on enlève quelques cartes dans un secteur donné (les approvisionnements en énergies fossiles en l'occurrence), ceci peut entraîner un effondrement de l'ensemble du système.

Voilà pourquoi je m'accroche aux travaux conduits à la ferme avec la ténacité d'une bernique sur son rocher: nos petites forêts-jardins, les parcelles de céréales jardinées, les jardins de bois sont minuscules et dérisoires face aux tourments de l'humanité, pourtant, s'ils se généralisaient demain dans un monde en crise, ils pourraient constituer des solutions autonomes, low tech et simples à mettre en œuvre pour nourrir et chauffer les communautés locales.



CULTIVER LA PAIX

Nous sommes abreuvés d'informations d'une violence inouïe. Le paysan que je suis a été bouleversé par les attaques commises contre les familles de bédouins de Cisjordanie: leurs vergers d'oliviers et d'amandiers sont rasés au bulldozer et les familles jetées sur les routes avec les vêtements qu'elles ont sur le dos et leurs chèvres... La violence qui s'exerce contre les humains ravage également notre terre commune. La paix pourrait s'étendre elle aussi à tous les vivants! Chacun de nous peut y contribuer, en suivant par exemple le conseil d'Alan Chadwick, cet horticulteur anglais qui fut à l'origine du mouvement de la micro-agriculture bio-intensive en Californie: «Le meilleur moyen de mettre la paix dans le monde est de cultiver son jardin».

Je remercie du fond du cœur celles et ceux qui ont contribué aux travaux rassemblés dans ce dossier: salariés et bénévoles de la ferme, étudiants et chercheurs, administrateurs et mécènes de l'Institut de la Ferme du Bec Hellouin. Un merci tout particulier à Antoine Marin, chercheur à l'INRAE, pour avoir préfacé ce rapport avec tant de poésie! Dans le contexte actuel, nos travaux communs prennent encore plus de sens.





Le paysage de résilience : 3,5 hectares, 5 000 arbres et buissons plantés, photographiés en août 2022.

LA SÉCHERESSE DE L'ÉTÉ 2022

Nous travaillons toujours, point par point, à la résilience de la ferme. Dans ce rapport, je voudrais simplement revenir sur l'événement climatique marquant de l'année 2022 : la sécheresse estivale qui fut particulièrement sévère plusieurs mois durant, provoquant de nombreux dégâts dans le secteur agricole.

Certains programmes décrits dans le présent rapport font l'objet d'analyses quantitatives. La question de la résilience globale de la ferme face aux aléas climatiques relève plutôt d'observations qualitatives. L'une des questions que nous nous posons est de savoir si un système dominé par les arbres permet l'établissement d'un microclimat suffisamment affirmé pour tempérer les effets d'aléas climatiques marqués et durables ? Si oui, à partir de quelle surface arborée l'effet devient-il significatif ? Bien évidemment cette question est liée à beaucoup d'autres : la teneur en humus des sols, la captation de l'eau dans les paysages, l'environnement



La mini forêt-jardin fait l'objet d'un rapport proposé en page 17 de ce dossier.

de la ferme, qui n'est pas un isolat et ne peut être étudiée seule... Difficile d'apporter une réponse simple à une question complexe et systémique! Voilà pourquoi nos observations ne peuvent être que partielles et subjectives.

Porter un regard global et large sur la ferme est évidemment plus facile depuis les airs puisque les photos aériennes nous montrent également les parcelles voisines (je remercie Fénoua, ma quatrième fille, opératrice du drone!). Sur les photos prises en août 2022, après plusieurs mois de sécheresse, on peut noter que l'herbe est chez nous à peu près aussi grillée que chez nos voisins. Nos arbres et nos haies par contre restent verts, tandis qu'eux n'en ont pas dans leurs prés. Les forêts-jardins sont luxuriantes, pas du tout affectées! Les seuls dégâts sur les arbres, observés quelques mois plus tard, sont une mortalité élevée des jeunes arbres plantés l'année précédente, dans un jardin de bois qui n'avait pas été paillé. Celui qui avait été paillé s'en est très bien sorti, ce qui montre une fois de plus l'importance des paillis lors des plantations d'arbres!



Les îles-jardins, en arrière-plan la ceinture verte de la première forêt-jardin, qui marque la lisière avec les herbages nus de nos voisins.

SÉCHERESSE, ÉLEVAGE, BOIS-FOURRAGE

En août, les prés des éleveurs voisins sont déserts, ils ne peuvent pas nourrir le bétail qui, je suppose, a été rentré dans les étables et est nourri au foin. C'est un problème de devoir puiser dès l'été dans les stocks de foin de l'hiver. Nos animaux (et c'est le cas depuis 15 ans lors des épisodes de sécheresse), sont nourris au «bois-fourrage»: une quarantaine de moutons, le cheval de trait et l'âne sont exclusivement alimentés par les rameaux provenant de la coupe quotidienne de quelques mètres linéaires de haies champêtres. Ils raffolent de ce bois-fourrage qui est, paraît-il, bénéfique à leur santé de part les nombreux principes actifs contenus dans les feuilles et les écorces des arbres.



*Le « chemin creux » qui traverse le paysage de résilience.
Il est bordé de talus plantés d'une double haie fruitière.*

LE PAYSAGE DE RÉSILIENCE

La ferme occupe deux sites, celui de la vallée mesure 5 hectares et comprend le bâti et le «cœur intensif» (1,2 hectares de jardins, serres, forêts-jardins, prés-vergers...), ainsi que le «paysage de résilience», une surface expérimentale. Ce «paysage de résilience» est jeune encore: les 3,5 hectares qui le constituent ont été plantés il y a 5 ans environ de plus de 5 000 arbres et buissons. A terme, ma vision de la ferme est qu'elle soit quasiment couverte d'une canopée d'arbres fruitiers et champêtres. Toutes les formes d'agroforesterie, ou presque, y sont représentées.

Le paysage de résilience a été divisé en 11 parcelles, presque toutes sont entourées d'un talus planté d'une haie (fruitière ou fourragère, qui sert également de corridor de biodiversité). La plupart de ces petits prés et champs sont arborés (pré-vergers, jardins de bois ou forêt-jardin, champs bordés de fruitiers). Chaque parcelle comporte une mare.

Il est relativement logique d'espérer que la résilience de ce paysage augmente au fil des ans, à condition que les changements climatiques ne soient pas suffisamment violents pour le mettre à mal. La teneur en humus, et donc la capacité des sols à stocker l'eau, s'améliore grâce aux arbres et aux animaux. Le vent est atténué par les haies et les talus, sols et plantes s'assèchent moins. L'herbe est ombragée par les frondaisons.



ON N'EST PAS RÉSILIENT TOUT SEUL

Il y a toutefois une limite à ce système : on n'est pas résilient tout seul ! 5 hectares boisés sont certes plus résilients qu'une prairie nue, mais si tous nos voisins se mettaient à replanter, enrichir les sols en humus et capter l'eau, nous serions certes plus protégés collectivement. On touche là à la nécessité de l'essaimage, qui peut faire évoluer les mentalités. En la matière, je crois au pouvoir de conviction d'un exemple qui fonctionne bien, plutôt qu'aux grands discours !

En conclusion, un système agro-sylvo-pastoral complexe, dominé par les arbres, est plus résilient face aux extrêmes climatiques... jusqu'à un certain point, qu'il est impossible de définir ! Toutefois, en cas de crise énergétique, notre paysage de résilience est conçu pour produire des aliments diversifiés (fruits à coque, fruits, petits fruits, légumes, céréales, produits animaux...) et pourrait fonctionner sans pétrole, entièrement géré à la main et en traction animale.



UNE « NÉO-JUNGLE » EN NORMANDIE ?

Derrière ces recherches de terrain, il y a une vision que je porte en moi depuis plusieurs décennies. J'ai dans ma jeunesse arpenté la forêt amazonienne en compagnie des Amérindiens, fasciné par la générosité de la Terre Mère et leur aisance à tirer parti des ressources disponibles. Il ne vous échappe pas que chez nous le contexte est bien différent: nous sommes très nombreux à vivre sur une terre artificialisée, où la forêt primaire n'est plus qu'un très lointain souvenir (sauf dans l'imaginaire de Francis Hallé, merci Francis, nous espérons que ton rêve de replanter une forêt primaire en Europe verra bientôt le jour!).

Ma vision est que nous puissions nous entourer de cocons denses de nature nourricière: des «néo-jungles», où nous pourrions inventer de nouvelles manières de vivre reliés à la nature. La permaculture nous offre de merveilleux outils conceptuels pour imaginer ces espaces à la fois réensauvagés et nourriciers. On s'y sent tellement bien! Et si ce rêve devenait celui de millions d'autres êtres humains, nous changerions ensemble nos paysages, notre agriculture, notre alimentation, et même la face du monde! Car le meilleur moyen de cultiver la paix est de prendre soin de son jardin, n'est-ce pas?

Charles HERVE-GRUYER
Relecture: François WARLOP (GRAB)

ÉTUDE DE LA MINI FORÊT-JARDIN 2022



Certains éléments contextuels tirés des précédents rapports sont à nouveau proposés en ouverture de ce compte-rendu de l'année 2022, afin de permettre à nos lecteurs.trices de se familiariser avec cette étude. Ceux qui désirent lire les résultats chiffrés de l'année 2022 peuvent aller directement à la fin de ces pages.

L'ÉTUDE CONDUITE AU BEC HELLOUIN SUR LES FORÊTS-JARDINS

Les trois forêts-jardins de la ferme sont étudiées. Le suivi s'est vite concentré sur la mini forêt-jardin, la plus intéressante en termes de productivité et de viabilité économique, un sujet central de notre recherche (les deux autres forêts sont plus extensives et ne reçoivent presque pas de soins). Cette mini forêt jardinée a été implantée début 2016. Elle fait l'objet d'un suivi technico-économique depuis sa conception. Les rapports annuels décrivant cette étude, ses protocoles et les données recueillies sont en ligne sur le site www.fermedubec.com. Nous invitons les lecteurs à s'y reporter.



QU'EST-CE QU'UNE MINI FORÊT-JARDIN ?

Il s'agit d'une forêt jardinée de très petite taille, intensément soignée, dont la conception (en particulier le choix des végétaux) a pour objectif de favoriser une productivité élevée. La question qui sous-tend cette recherche est : peut-on bien vivre du métier de sylvanier, ou sylvanière (un vocable que nous avons forgé signifiant « jardinier.ère de la forêt ») ?

La mini forêt-jardin est un concept proposé par la Ferme du Bec Hellouin. Nous avons pu observer que, pour qu'une nouvelle forme d'agriculture naturelle se développe et essaime, il était pertinent, si ce n'est indispensable, de démontrer sa viabilité économique et les conditions de cette viabilité. L'étude se concentre donc sur le relevé de données technico-économiques : heures travaillées, production récoltée, valorisation de cette production, valeur créée par heure de travail dans la forêt-jardin... Cela peut sembler un peu « performatif », et ne dit rien des nombreux services écologiques et sociétaux rendus par cette nouvelle forme d'agroforesterie : séquestration de carbone, abri pour la biodiversité, création d'un microclimat, production de nourriture bio et locale sans recours aux énergies fossiles, sans arrosage, sans machinisme, qualité de vie pour les sylvanières et sylvaniers, production de connaissances... La viabilité économique reste néanmoins une condition *sine qua non* pour déployer ce type de système de culture dans le milieu professionnel.

Il est toutefois bien clair que la performance économique dépend de la performance écologique. Même si ce n'est pas décrit dans les rapports de l'étude, tout au long de l'année, nous observons cette mini forêt, les végétaux qui y apparaissent ou disparaissent, ses réponses aux aléas climatiques...



LES DONNÉES 2022

Voici maintenant le rapport 2022 ; il se concentre sur les données technico-économiques obtenues durant l'année et propose une synthèse des résultats sur 7 ans.

LES RÉSULTATS 2022

Valeur des récoltes par strate

Strate herbacée	3 778,09 €
Petits fruits	1 165,7 €
Fruits	577,98 €
Valeur totale des récoltes	5 521,78 €

Charge de travail par strate

Strate herbacée	13,65 h
Petits fruits	21,70 h
Fruits	4,87 h
Charge de travail totale	62,22 h

Temps de travail

Temps de travail par mètre carré (pour 220 m ² plantés hors allées)	17 minutes
---	------------

Productivité au m² et par heure de travail

Productivité au mètre carré	25,09 €/m ²
Productivité horaire	88,75 €/h

CRÉATION DE LA MINI FORÊT-JARDIN 2015-2016

Nombre de végétaux par strate

STRATES	NOMBRE DE VÉGÉTAUX
Canopée	32
Strate arbustive	146
Strate couvre-sol	568
Strate verticale	8
Total des végétaux	754

Implantation : Temps de travail

TRAVAUX	TEMPS DE TRAVAIL
Design et commandes des plants	4 jours
Préparation du sol, plantation et tuteurage des fruitiers	32 jours
Implantation de la strate herbacée et couvre-sol	6 jours

Budget d'implantation (en euros)

STRATES	CANOPÉE	STRATE ARBUSTIVE	STRATE COUVRE-SOL	STRATE VERTICALE	TOTAL
Prix des végétaux	950	2 219	1 340	80	4 589
Prix des tuteurs	396	721	0	0	1 117
Prix des bâches	724				
Main d'oeuvre	4 386				
Coût total	10 816				

Les valeurs sont données en euros TTC.

DONNÉES RECUEILLIES 2016-2022

Productivité annuelle par strate

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Valeur totale des récoltes	3 494	2 966	5 831	4 398	5 584	4 858	5 521,78
STRATE HERBACÉE							
Valeur des récoltes	3 075	2 907	3 674	3 628	4 084	4 443	3 778,09
PETITS FRUITS							
Valeur des récoltes	419	59	2 157	770	862	401	1 165,7
FRUITS							
Valeur des récoltes	—	—	—	—	638	14	577,98

Temps de travail

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Temps de travail en minutes par m ² cultivé	26	21	27	30	17	14	17
Charge de travail annuelle en heures	95	78	101	110	65	53	62,22

Productivité au m² et par heure de travail (en euros)

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Productivité/m ²	15,9	13,5	26,5	20	25,3	22	25,09
Productivité horaire(€/h)	36,8	38	57,7	39,9	85,9	90,6	88,75



VALEURS MOYENNES SUR 7 ANS

VALEUR RÉCOLTÉE PAR ANNÉE	4 664 €
<i>Strate herbacée</i>	3 655 €
<i>Petits fruits</i>	833 €
<i>Fruits</i>	176 €
PRODUCTIVITÉ (POUR 220 m ² PLANTÉS HORS ALLÉES)	21,15 €/m ²
CHARGE DE TRAVAIL (EN HEURES)	80,88 h
PRODUCTIVITÉ HORAIRE	58,80 €/h
TEMPS DE TRAVAIL/M ² CULTIVÉ	22 minutes/m ²

Il convient de souligner que la valeur des récoltes est un chiffre d'affaire, calculé sur une valeur moyenne des produits bio récoltés (données tarifaires provenant d'internet). Il s'agit d'un chiffre d'affaire théorique car la production n'est plus commercialisée à l'extérieur de la ferme. Attention à ne pas confondre chiffre d'affaire et revenu !

Les heures de travail correspondent au temps passé à travailler dans la forêt-jardin. A ces heures il conviendrait d'ajouter 50 % d'heures supplémentaires (environ) pour réaliser toutes les tâches connexes : commercialisation, communication, gestion, entretien général de la ferme...



Cécilia taille les hélicryses d'Italie, en hiver.

COMMENTAIRES SUR LES RÉSULTATS 2022

Année après année, nous pouvons constater une cohérence globale des données, « qui se tiennent » malgré les différences de météo et de moyens humains. Ceci conforte la fiabilité de cette étude. Bien qu'elle ne porte que sur un seul site, implanté dans un endroit plutôt défavorable à l'arboriculture (froid et humide), la régularité des productions est au rendez-vous.

Les temps de travail varient peu, pourtant les tâches nécessaires à l'entretien et aux récoltes sont réalisées chaque année par des personnes différentes et non professionnelles (sous ma supervision) : jeunes en service civique, stagiaires en formation... Il est probable que si l'ensemble des tâches était réalisé par un sylvainier professionnel et responsable de sa propre forêt-jardin, l'efficacité serait plus grande.

En 2022, on peut constater une augmentation des récoltes de fruits, qui peut s'expliquer par deux facteurs : la mise à fruits des arbres fruitiers - qui arrive normalement au bout de 7 années environ -, et les importantes opérations de taille réalisées en 2021.



Tom et Cécilia déterrent des buissons de baies de mai qui n'ont jamais rien produit.



RÉSILIENCE DE LA FORÊT-JARDIN

L'été 2022 a été marqué par de fortes chaleurs et une sécheresse qui a duré plusieurs mois. Nous avons pu constater l'excellente résilience de la forêt-jardin face à ces conditions : elle est restée luxuriante même au plus fort de l'été, constituant même l'endroit le plus « vert » de la ferme. Précisons qu'elle n'a pas reçu le moindre arrosage depuis l'année de sa plantation.

UNE NOUVELLE FORME D'AGROFORESTERIE, RÉPONDANT AUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX, ÉCONOMIQUES ET SOCIAUX ?

La viabilité économique d'une mini forêt-jardin se confirme donc chaque année davantage. Nous recevons des informations comme quoi de nombreuses forêts-jardins sont plantées en France, y compris dans une perspective professionnelle. Nous ne pouvons qu'espérer que les données technico-économiques portant sur ce modèle innovant seront chaque année plus nombreuses et contribueront ainsi à son amélioration et à sa diffusion.



Antoine MARIN et Alexandre JOANNON (INRAE)

PROJET « CÉRÉALES JARDINÉES »

L'AUTONOMIE À L'ÉCHELLE D'UNE MICRO-FERME

SOMMAIRE

1 CONTEXTE 25

1.1 LES DIFFÉRENTES CRISES 25

1.2 INNOVER AUTREMENT 26

1.2.1 Biodiversité cultivée..... 27

1.2.2 Recherche participative..... 30

1.2.3 Des variétés pour le futur 30

1.3 LA FERME

DU BEC HELLOUIN..... 31

1.3.1 Contraintes et pratiques locales .. 31

1.4 RÉFÉRENCES D'HIER..... 32

2 OBJECTIFS 33

2.1 OBJECTIF GLOBAL 33

2.2 OBJECTIFS SECONDAIRES... 33

3 EXPÉRIMENTATIONS 34

3.1 VARIÉTÉS

ET LOCALISATIONS 34

3.1.1 Saison 2019-2020 34

3.1.2 Proposition initiale pour 2020-2021..... 34

3.1.3 Saison 2020-2021 35

3.1.4 Saison Saison 2021-2022 36

3.1.5 Saison Saison 2022-2023 36

3.2 ITINÉRAIRES TECHNIQUES .. 37

3.2.1 Avant 2019 37

3.2.1 Saison 2019-2020..... 37

3.2.3 Proposition initiale 38

3.2.4 Saison 2020-2021 38

3.2.5 Saison 2021-2022..... 39

3.2.6 Saison 2022-2023 39

4 OBSERVATIONS 40

4.1 SAISON 2019-2020 40

4.2 PROPOSITION INITIALE 40

4.3 SAISON 2020-2021 40

4.3.1 16 mars 2021 40

4.3.2 15 et 16 juillet 2021..... 41

4.3.3 29 juillet 2021 41

4.4 SAISON 2021-2022 42

4.4.1 31 mai 2022 42

4.4.2 Récolte 2022 42

4.5 SAISON 2022-2023 42

4.5.1 15 mars 2023 42

5 RÉSULTATS 43

5.1 SAISON 2019-2020 43

5.2 SAISON 2020-2021 43

5.2.1 Blés tendres 43

5.2.2 Engrains 43

5.2.3 Seigles 43

5.2.4 Grand épeautre de plain champ 45

5.3 SAISON 2021-2022 45

5.3.1 Seigles 45

6 CONCLUSION..... 46

BIBLIOGRAPHIE..... 47

1. CONTEXTE

1.1 LES DIFFÉRENTES CRISES

Aujourd'hui « La biodiversité – la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes – s'appauvrit plus rapidement que jamais dans l'histoire de l'humanité » (Rapport de l'IPEBES 2019 [28] et *The Sixth Mass Extinction : fact, fiction or speculation?* [5]) et « Le changement climatique risque de pousser un tiers de la production alimentaire mondiale en dehors de l'espace climatique de sécurité » selon Kummu *et al* [16]. Ce qui est rarement dit est que cette situation est directement liée à l'industrialisation en général dont celle de l'agriculture. Les principales conséquences sont : pollutions généralisées (eau, air, sol), disparition des écosystèmes, conditions de travail inhumaines (y compris celle des enfants). Cette « crise » est une crise de la modernité, une crise de la matière et de l'énergie puisque la mécanisation entraîne inéluctablement une consommation d'énergies fossiles non renouvelables et accélère également l'extraction concomitante de métaux, de minéraux (comme les terres rares) et d'eau pour la fabrication des machines. Il est donc important – sinon vital – de changer notre mode de vie industriel dont l'agriculture « moderne » fait partie, comme le mettent en évidence les conclusions d'un récent rapport de la FAO : pour l'agriculture, le scénario *business as usual* n'est plus soutenable et des changements fondamentaux doivent être mis en place, ceci en utilisant le moins de ressources possibles [10]. « L'agriculture du monde est composée de 30 millions de paysans équipés de tracteurs et recourant à la chimie (2%), de 300 autres millions utilisant le cheval et le fumier (20%) et de 1,2 milliard (78%) - soit la grande majorité - travaillant à la houe. » (Claude Gruffat : L'agriculture biologique au coeur du combat d'un eurodéputé).



Dans le monde entier, la production de céréales (quelles qu'elles soient) fait partie de la base de l'alimentation. Ce que nous appelons aujourd'hui, dans notre pays, une « microferme », est en fait le cas de la plupart des fermes dans le monde, et devrait pouvoir être autonome en céréales (et peut-être aussi en protéagineux et oléagineux comme nous le verrons plus loin) pour ne pas dépendre des fluctuations mondiales et de tous les risques associés que nous pouvons sentir de plus en plus dans nos sociétés « modernes » très fragiles.

De plus, cette industrialisation de l'agriculture (avec l'emploi massif de pesticides à l'échelle internationale) nous met devant l'évidence que l'air, l'eau et les sols sont pollués de manière généralisée et ont un impact négatif sur la santé humaine et l'ensemble du monde vivant. Le monde « non vivant » étant, lui, exploité sans état d'âme.

Toutes ces crises sont liées et nous devons trouver des chemins pour nous permettre d'en sortir. Nous proposons ici un embryon de chemin parmi d'autres possibles : reprendre en main une partie de notre agriculture et de notre autonomie, participer à une résilience mondiale défendue par les peuples autochtones du monde entier.

1.2 INNOVER AUTREMENT

L'innovation – aujourd'hui –, mot devenu obligatoire pour obtenir toute subvention, en agriculture comme ailleurs, repose essentiellement sur le développement de technologies dites « *high tech* » (*big data*, agriculture de précision, connectée, drones, ultra-machinisme, ordinateurs, intelligence artificielle, OGM, etc.). Or, nous savons que toutes ces hautes technologies sont de grandes consommatrices de matières et d'énergies et qu'elles rejettent de nombreux polluants de synthèse dans l'environnement. Nous proposons de prendre un chemin plus raisonnable issu d'un double mouvement, celui des *low tech* [1] d'une part : utilisation de l'énergie humaine et outils en matériaux renouvelables et réutilisables facilement (bois, fer), et celui des *slow-sciences* d'autre part, ou « La lenteur et la régularité font gagner la course » (*Slow and Steady wins the race* [11]).



*Antoine Marin et Alexandre Joannon sarclant
le seigle : une vraie recherche participative !*

Notre objectif étant de concevoir des systèmes de culture minimisant leur impact sur l'environnement, nous souhaitons nous-même minimiser celui de notre activité de recherche. Selon Jean-Marc Jancovici [14] : entre 2000 et 2018 la consommation énergétique mondiale a augmenté de 800 Mtep (Millions de tonnes équivalent pétrole) pour la part des énergies renouvelables, et de 3 600 Mtep pour les énergies fossiles. Les énergies renouvelables (si le rythme de renouvellement est respecté) sont donc loin de pouvoir remplacer les énergies fossiles, ces dernières représentant environ 70% des énergies utilisées aujourd'hui. Il nous paraît donc intéressant de raisonner en terme de quantité d'énergie – en cherchant à la minimiser – car, d'une manière générale, réduire la consommation d'énergie c'est réduire les transformations que l'homme effectue sur son environnement, et donc réduire les divers impacts liés à ces transformations.

1.2.1 Biodiversité cultivée

Que recouvre la notion de diversité cultivée ?

Pour l'agriculteur, elle est attachée à la diversité des espèces rentrant dans les assolements et rotations, d'une part, et au nombre et à la structure des variétés, d'autre part. Pour le blé – et de nombreuses autres espèces aujourd'hui – les variétés disponibles sont essentiellement des lignées pures sélectionnées depuis plus d'un siècle pour intensifier l'agriculture à l'aide d'intrants de synthèse (agriculture conventionnelle de plus en plus industrialisée). Ces variétés, appelées « modernes », répondant aux critères de stabilité et d'homogénéité (critères DHS¹) nécessaires à leur inscription au catalogue officiel des variétés et à leur commercialisation, sont-elles adaptées à l'agriculture biologique ? L'agriculture biologique met en valeur son environnement par des pratiques adaptées et répond à des principes écologiques et éthiques reconnus sur le plan international (IFOAM²) et différents cahiers de charges (AB, Nature & Progrès, Demeter, Bio Cohérence, etc.). Elle se traduit par l'absence de l'usage d'intrants de synthèse et présente des contextes

1. Distinction, Homogénéité, Stabilité.

2. International Federation of Organic Agriculture Movements.



Jeunes plants de blé prêts à être repiqués.

de cultures beaucoup moins normalisés que ceux de l'agriculture conventionnelle. Cette diversité de contextes nécessite une diversité de variétés et des variétés adaptables. Quel genre de diversité génétique trouve-t-on encore dans des lignées pures pour permettre cette adaptation ?

La résilience des systèmes fondés sur la diversité n'est plus à démontrer [12, 13, 15, 23, 29], c'est pourquoi nous proposons de travailler essentiellement avec des variétés de pays qui ne sont pas (ou plutôt n'étaient pas, voir plus bas dans le texte) des lignées pures, mais des populations possédant une variabilité génétique relativement importante comparée aux lignées pures [2, 22]. Ces variétés sont maintenant très souvent conservées dans des banques de semences (*ex situ*) et ont quitté progressivement les champs depuis la seconde guerre mondiale. Or, à l'origine, ces variétés possédaient une diversité génétique importante dans les champs des paysans (*in situ*). Ces plantes, rustiques, étaient capables de pousser dans des contextes variables, dans des conditions « difficiles » et plus à même d'utiliser les ressources naturelles du sol, en dehors des engrais de synthèse, que les variétés modernes [9, 19, 20, 25]. La conservation de ces variétés dans les banques de semences se fait via un processus de sélection conservatrice inhérent à la gestion de milliers de variétés (culture sur de petites surfaces, typiquement 1 à 2 m² puis sélection de quelques individus) et, bien souvent, dans les conditions de culture de l'agriculture conventionnelle (engrais de synthèse, pesticides et itinéraires techniques adaptés aux variétés modernes). La conservation *ex situ* implique également une congélation de la semence pendant plusieurs années (parfois plus de 10 ans). Tout cela a largement participé à l'appauvrissement de la diversité génétique des variétés de pays et aussi à une sélection orientée vers des systèmes de culture adaptés aux variétés modernes.

Remettre en culture ces variétés dans les champs des paysans ne peut donc se faire qu'après un long processus (au moins 3 ans) de remise en culture et d'observations, sans compter la faible quantité de semences disponibles dans les échantillons issus des banques de semences. Cela n'exclut pas bien sûr la création variétale qui peut avoir lieu spontanément dans les champs ou de manière plus contrôlée par la sélection et le croisement de parents pour les agriculteurs désireux d'orienter la sélection vers des caractères plus spécifiques



La moisson, dans le champ cultivé en traction animale.

(hauteur, rusticité, tallage, goût, etc.). Il a également été montré que les mélanges intra-spécifiques sont plus résistants aux divers aléas des cultures (maladies, ravageurs) et il est encore possible d'augmenter la diversité en travaillant avec des mélanges interspécifiques [4, 8, 17, 18, 26, 30]. Mais ces travaux restent marginaux, et portent sur des espèces et variétés très limitées.

De plus, la fertilité des sols – pour les variétés de pays – nécessite une teneur en humus élevée, nécessaire au développement des champignons du sol, en particulier les champignons mycorhiziens qui améliorent la productivité et la santé des plantes [21, 31], si tant est que les plantes peuvent utiliser ces symbioses, ce qui semble avoir largement diminué dans la sélection des variétés modernes. Comme l'a souligné Marc-André Selosse dans une intervention du 16 novembre 2017³ en parlant des variétés élites et de leurs interactions avec les champignons du sol : « Nous n'avons pas les bonnes variétés, pas les bons sols et pas les bons itinéraires techniques ».

Qui mieux que l'agriculteur lui-même peut évaluer, observer et choisir les variétés, les mélanges et les itinéraires techniques qui lui conviennent le mieux sur sa ferme ? Et qui mieux que le chercheur peut donner de son temps, de ses connaissances et un accès aux connaissances internationales pour l'agriculteur avec une vision large des phénomènes observés ?

C'est pour répondre à cette demande que ce travail a été initié et il nous semble que nous ne sommes qu'au début d'un changement important dans la manière de cultiver, de telle manière à augmenter la fertilité des sols en utilisant le moins possible de matières et d'énergies fossiles.

3. Formation sur les mycorhizes avec Ver de terre production (vidéo 8/10 à la 15^e minute).



1.2.2 Recherche participative

Comme le disent Véronique Chable et Estelle Serpolay[3] : « L'approche participative a été développée d'abord dans les sciences sociales pour l'éducation, la médecine puis étendue notamment à l'agronomie, tous les domaines où le changement des pratiques est un objectif prioritaire. Cependant, les formes de recherches participatives sont variées même si l'objectif commun est de mieux ancrer la démarche scientifique dans la réalité des pratiques et donc de produire des connaissances associées à l'action. Les recherches participatives se distinguent des recherches «conventionnelles» par une «délocalisation du pouvoir» dans tout le processus, mais elles se distinguent aussi entre elles par différents degrés d'implication des partenaires. L'approche participative commence par des changements dans les relations entre les chercheurs et les autres acteurs impliqués. »

Ce projet participatif résulte de la rencontre de Perrine et Charles Hervé-Gruyer avec Véronique Chable et Antoine Marin du groupe de recherche « Biodiversité Cultivée et Recherche Participative » (BCRP) de l'UMR BAGAP de l'INRAE. Il émane d'une demande de la ferme sur l'autonomie possible d'une microferme en céréale, qui n'est pas la seule à se poser cette question. Peu de temps après le début de la collaboration, Alexandre Joannon également chercheur dans l'UMR, rejoint le projet.

1.2.3 Des variétés pour le futur

Nous ne nions pas l'adaptation des variétés modernes aux conditions intensives d'une agriculture (appelée « conventionnelle ») basée sur la monoculture, le désherbage intensif (très souvent avec des produits de synthèse), l'apport d'engrais azotés solubles et de pesticides variés. Toutefois, ces conditions de cultures sont très éloignées de celles que l'on trouve sur une ferme comme celle du Bec Hellouin ainsi que de nombreuses petites fermes en agriculture biologique à travers le monde. Notre expérience, nos observations et nos entretiens avec les agriculteurs nous montrent que, bien que sous certains aspects les variétés de pays soient plus adaptées aux conditions de culture de l'agriculture biologique,



*La beauté du seigle presque à maturité.
Au premier plan, une culture de pommes de terre.*

elles souffrent de deux inconvénients majeurs : une sensibilité à la verse, surtout sur les terres riches, et une difficulté à obtenir de hauts rendements. Le contexte pédologique de la ferme est un sol peu profond sur silex et limons calcaires avec des apports importants de matières organiques au fil des années.

Devant ces constats, nous pensons intéressant d'introduire éventuellement des variétés modernes pour voir ce qu'elles peuvent donner dans de telles conditions et comment elles se comparent aux variétés de pays sur le long terme.

1.3 LA FERME DU BEC HELLOUIN

1.3.1 Contraintes et pratiques locales

Comme dans beaucoup de pratiques maraîchères, le repiquage est très utilisé sur la ferme et les céréales ont été implantées par repiquage par le passé sur la ferme, mais également à la volée ou en ligne selon les essais.

Comme il y a peu d'espace dans le jardin pour les rotations, nous envisageons – comme pour les légumes – de cultiver des mélanges de plusieurs espèces (interspécifiques) que l'on peut donc cultiver d'année en année sur les mêmes planches, sans rotation particulière, puisqu'il n'y a plus de monoculture.

La ferme dispose d'environ 800 m² pour jardiner des céréales. Le matériel dédié à ces cultures se compose d'outils à main pour le travail du sol (houes, campagnole, croc, râteau, etc.) comme pour la récolte (faux, faucilles), ainsi que la battage des épis (fléau, batteuse à bras) et le vannage des grains (tarare).

Une dizaine de variétés de blés tendres et plusieurs variétés de seigle sont déjà cultivées sur la ferme.

Les parcelles dédiées aux essais de céréales sont des vergers-maraîchers (parcelles Pommiers et Milpa) et un petit champ de 1 500 m² cultivé en traction animale.



Semis directs de blé, grain à grain, début septembre 2021.

1.4 RÉFÉRENCES D'HIER

« En plein champ, dans une bonne terre, mais dans les conditions ordinaires de la grande culture, nous avons ensemencé au semoir quatre parcelles semblables entre elles et d'égale étendue. Sur l'une d'elles qui servait de témoin, on a mis environ 180 litres de semence à l'hectare (144 kg/ha^4) ; les autres n'ont reçu que la moitié, le tiers et le sixième de la semence donnée à la première, c'est-à-dire respectivement 90, 60 et 30 litres (72, 48 et 24 kg/ha). Or, il s'est trouvé, à la récolte, que le rendement en paille et en grain allait croissant depuis la parcelle la plus serrée jusqu'à la plus claire, et non seulement le rendement de la dernière était le plus considérable, mais le grain en était encore le plus beau et le plus lourd à volume égal ; il ne s'était produit de verse que sur une portion de la parcelle semée serrée. Il s'agit ici d'un blé d'automne semé dès le mois d'octobre et en bonne terre. » (Les meilleurs blés, 1880, p. 12[27]).

Par ailleurs, dans « La culture familiale du blé » (1943) [24], les auteurs préconisent de semer dans un sillon profond de 20 cm à 2-3 cm dans la terre. Ensuite, biner tous les 15 jours puis terminer par des buttages pour favoriser le tallage et le développement racinaire. Ils préconisent également de tremper 24h les semences dans l'eau de mer ou dans une solution de sulfate de magnésie pour éviter la carie. Ils suggèrent également de semer les grains espacés de 25 à 40 cm sur des rangs espacés de 50 cm. Bien que les repiquages semblent affaiblir les plantes, il est préconisé de faire une petite pépinière pour remplacer les trous dans la culture semée en pleine terre. Par rapport à la prédation des oiseaux, ils recommandent d'utiliser des blés barbus. Par ailleurs, ils disent que le blé préfère des conditions de semis humides alors que le seigle préfère des conditions sèches. La terre doit être enrichie en matières organiques comme dans un jardin potager.

4. En prenant un poids spécifique de 80 kg/hl , la moyenne actuelle en France en 2019 selon FranceAgri-Mer.



*Repiquage de jeunes plants de blé au fond de sillons creusés à la houe, selon les anciennes techniques décrites dans « La culture familiale du blé » (1943).
Le repiquage a donné de meilleurs résultats que les semis directs. Il permet également d'insérer une culture intermédiaire entre la moisson de juillet et le repiquage en septembre.*

2. OBJECTIFS

2.1 OBJECTIF GLOBAL

Sur de petites surfaces, à la main (sans pétrole), avec un temps de travail raisonnable, est-il possible de produire des céréales pour nourrir une famille ou plus ?

2.2 OBJECTIFS SECONDAIRES

Trouver (par essais) des variétés, des mélanges de variétés et des mélanges d'espèces ainsi que les itinéraires techniques correspondants, les plus adaptés à la culture jardinée et au contexte pédoclimatique local.

Impliquer éventuellement d'autres acteurs, partager les protocoles et les informations sur les essais menés à la ferme. Participer à des réseaux d'échanges locaux et nationaux (Réseau Semences Paysannes, association Triticum par exemple).

Faire une sélection pour la résistance à la verse et selon d'autres critères (à définir).

Produire des protéagineux et des oléagineux en association avec les céréales.

Continuer l'aggradation du sol par le retour au sol des pailles et la culture d'engrais verts / couverts végétaux.



Désherbage d'une culture de blé jardiné. En 2022/2023, les rangs étaient espacés de 50 cm, ce qui est pratique pour le désherbage mais semble trop espacé pour atteindre de hauts rendements. En 2023/2024, nous avons opté pour des inter-rangs de 30 cm.

3. EXPÉRIMENTATIONS

Le problème majeur pour le moment avec les variétés de pays est celui de la verse et dans une moindre mesure celle des rendements (inférieurs à ceux des variétés modernes, dans un contexte actuel de sols et d'itinéraires techniques issus de la « révolution verte »).

Or, nous savons que la verse est multifactorielle : elle dépend de la richesse du sol (plus le sol est riche plus la verse est importante), de la densité de semis (plus la densité est forte plus la verse est importante), de la variété, du mélange (les mélanges sont connus pour être moins sensibles à la verse) et probablement d'autres facteurs comme la date de semis qui influe sur le développement des plantes. Il en va de même pour les rendements.

3.1 VARIÉTÉS ET LOCALISATIONS

3.1.1 Saison 2019-2020

Les semences sont issues d'un mélange de blés tendres donné par le paysan-boulangier Roland Feuillas.

3.1.2 Proposition initiale pour 2020-2021

Étant donné la place et l'organisation du jardin de la ferme, il est possible de cultiver des parcelles de 7 à 15 m² (7 à 15 m de long x 1 m de large). Si nous voulons effectuer deux ou trois répétitions et échantillonner sur deux ou trois zones par répétition (2 à 5 mètres entre zones), cela nous donnera une bonne idée de la variabilité locale. Il nous reste donc la possibilité de cultiver une dizaine de modalités différentes.

En 2019, les plus beaux épis cultivés et ressemés depuis 7 années au sein de la ferme, ont été sélectionnés en vue de démarrer les nouveaux essais de blés jardinés.

Les blés « Bec » sont issus des plus beaux épis prélevés sur des pieds non versés du mélange de R. Feuillas. Les noms des variétés d'origine n'ont pu être retrouvés.



*Céréales repiquées sur des buttes de cultures permanentes.
Dans cette configuration, les allées occupent trop de place.*

Le joyeux mélange est un mélange d'une cinquantaine de blés du monde (principalement de France) utilisé pour faire de la sélection paysanne au sein du groupe de travail BCRP (les variétés d'origine sont consignées dans un fichier).

Deux variétés modernes de blé (Renan et Fructidor), 3 mélanges de variétés de blé (un mélange moderne, mélange Roland, joyeux mélange), une variété de blé de pays (Bladette de Provence), un mélange de seigles de pays (Petkus, de Roland = du Bec, de Duault), un mélange d'avoines (BCRP) et un mélange de grands épeautres (BCRP).

Chaque modalité pourrait être cultivée en association avec de la féverole blanche du Maine (protéagineux) et / ou de la cameline (oléagineux).

Nous avons préparé des sachets de 50g de semences pour les céréales (16 graines / m²), 850 g pour la féverole (8 graines / m²) et 30g de cameline pour les 300 m².

3.1.3 Saison 2020-2021

Les céréales « GdN » proviennent de l'association « Graine de Noé ».

Deux lieux sont utilisés sur la ferme pour ces cultures : le jardin des pommiers et la Milpa.

Au jardin des pommiers : Six blés tendres (Bec 2, 3, 4, 7, 10, Bladette de Provence), trois mélanges de blés tendres (mélange du Bec, joyeux mélange, mélange Kokopelli), 1 engrain (brun), 1 mélange de grands épeautres (BCRP) et le seigle du Bec.

À la Milpa : Deux blés tendres (Renan et Bec 10), 2 engrains (noir et des Alpes de Haute Provence [GdN]) et 4 seigles (de Duault, du Bec, du Tarn [GdN], Petkus).



Jeunes plants de seigle. On remarque la présence de mouron des oiseaux, une adventice qui affectionne les riches terres maraîchères. Il n'est pas certain que la présence du mouron soit néfaste aux céréales. En arrière-plan, une partie des inter-rangs a été paillée.

3.1.4 Saison 2021-2022

Au jardin des pommiers : Huit blés tendres (rouge de Bordeaux, rouge de St Laud, Bon moulin, Bec 10, Renan, Bladette de Provence, blé d'Autriche, rouge de Lozère), 4 mélanges de blés tendres (mélange Triticum, mélange BCRP, joyeux mélange, mélange Kokopelli), 1 engrain (Alkor), 1 blé poulard (d'Australie), 1 mélange de blés poulards (200 pop.), 1 mélange de grands épeautres (BCRP) et 4 seigles (violet du Bec, du Tarn, Petkus, du Bec).

À la Milpa : Mélange de blés tendres BCRP.

3.1.5 Saison 2022-2023

Au jardin des pommiers : Huit blés tendres (rouge de Bordeaux, rouge de St Laud, Bon moulin, Bec 10, Renan, Bladette de Provence, blé d'Autriche, rouge de Lozère), 4 mélanges de blés tendres (mélange Triticum, mélange BCRP, joyeux mélange, mélange Kokopelli), 1 engrain (Alkor), 1 blé poulard (d'Australie), 1 mélange de blés poulards (200 pop.), 1 mélange de grands épeautres (BCRP) et 4 seigles (violet du Bec, du Tarn, Petkus, du Bec).

À la Milpa : rien.



3.2 ITINÉRAIRES TECHNIQUES

3.2.1 Avant 2019

Avant le démarrage de ce projet, des céréales avaient déjà été cultivées sur la ferme depuis plusieurs années soit dans un petit champ soit jardinées sur des planches maraîchères.

Les tous premiers essais de blés jardinés en implantation par semis direct dans de petites parcelles du potager familial en 2004 et 2005 avaient été abandonnés à cause de la prédation des oiseaux.

Depuis 2012, la ferme cultive des céréales en plein champ en traction animale, de manière classique : semis en fin d'automne, moisson en juillet. Ces cultures ont été conduites avec des outils traditionnels : ancien semoir mécanique ou semis à la volée, moissons à la faucheuse (attelée) ou à la faux.

3.2.2 Saison 2019-2020

Les blés ont été semés en godets fin août et repiqués fin septembre. L'espacement était de 20 cm en tous sens.

Le jardin mandala avait également été implanté cette saison là. Après plusieurs sarclages des essais de semis direct de lupins blanc, jaune ou bleu ont été réalisés entre les rangs, en avril-mai. Le lupin s'est mal développé sous les blés déjà hauts et n'est pas arrivé jusqu'au stade floraison.

Les épis barbus résistent beaucoup mieux à la prédation des oiseaux.



3.2.3 Proposition initiale

S'orienter vers des semis très précoces (avant septembre) et très peu denses (< 25 pieds/ m^2).

3.2.4 Saison 2020-2021

Les céréales ont été mises à germer en godet entre le 20 août et le premier septembre et ont été repiquées environ trois semaines plus tard, entre le 23 septembre et le 13 novembre. Aux dates de repiquage, les céréales étaient déjà fort développées et certaines ont été « habillées ». Les racines environ 7 cm et les feuillages environ 20 cm.

Le repiquage des céréales s'est fait à 25 cm d'espacement sur le rang et 30 cm entre les rangs ce qui correspond à environ 14 plants / m^2 (14,4) et environ 5–6 kg de semences / ha.

Dans la suite du projet et en fonction des résultats, il est possible que l'on tente d'avancer la date des semis et / ou repiquage pour obtenir un développement racinaire plus puissant permettant de concurrencer efficacement les adventices et peut-être également de limiter la verse par un meilleur enracinement et le développement de tiges plus solides.

Plusieurs sarclages ont été réalisés en vue du désherbage et du buttage des plants. Les inter-rangs ont ensuite été paillés avec du fumier de cheval très pailleux.

*D'autres céréales sont cultivées à la ferme,
mais elles ne rentrent pas dans le périmètre de l'étude :
sorgho (photo), maïs, quinoa, amaranthe, millet...*



Malgré un grand nombre d'effaroucheurs de divers types, cette culture de blé n'a pas résisté aux oiseaux. En 2023/2024, nous ne cultivons plus que des blés barbus.

3.2.5 Saison 2021-2022

Ne pouvant semer tôt cette année (trop de travail sur la ferme), Charles a décidé d'opter pour un semis direct en pleine terre pensant que cela serait plus rapide : un grain tous les 3 cm sur le rang et 50 cm entre les rangs. Les grains ont été semés manuellement dans la parcelle Pommiers, et avec un semoir multirangs (semoir Coleman) sur une moitié de la parcelle Milpa, tandis que l'autre moitié de Milpa a été semée à la volée.

Les deux mélanges (INRAE et Triticum) ont également été semés à la volée fin octobre dans une parcelle de plein champ de 1 500 m² cultivée en traction animale.

3.2.6 Saison 2022-2023

Les céréales ont été mises à germer en plaques fin août et ont été repiquées le 6 octobre 2022. Les 13 rangs de blés du Bec ont été semés directement en pleine terre le 6 octobre 2022.

Le repiquage des céréales s'est fait à 20 cm d'espacement sur le rang et 50 cm entre les rangs ce qui correspond 10 plants / m² et environ 3-4 kg de semences / ha.



4. OBSERVATIONS

4.1 SAISON 2019-2020

L'écart entre les rangs était faible et rendait difficile les binages.

Les épis se sont bien développés, les cultures étaient denses. En fin de culture il y a eu beaucoup de verse et de prédation par les oiseaux.

4.2 PROPOSITION INITIALE

1. densité des différentes plantes (à la levée et / ou après repiquage)
2. couvertures des plantes (stade plein tallage de la céréale)
3. notations des maladies (printemps)
4. hauteurs, nombre d'épis, de gousses, etc. (à maturité)
5. comptage, pesage et analyse des grains (après la récolte)

4.3 SAISON 2020-2021

Dates auxquelles Alexandre et Antoine sont venus sur le site.

4.3.1 16 mars 2021

À cette date nous avons observé le développement végétatif des plantes (port, hauteur, couverture, etc.).

D'une manière générale, nous avons observé beaucoup de feuilles jaunes et des pieds manquants ou chétifs, principalement dans les blés.

Une période de gel intense a eu lieu au mois de décembre puis une période de gels tardifs durant presque tout le mois d'avril.



4.3.2 15 et 16 juillet 2021

À cette date nous avons observé les hauteurs et la verse.

D'une manière générale, les blés étaient courts et très attaqués par les oiseaux (plus de grains sauf pour Bec 10). Il est possible que l'état des blés soit une conséquence de la jaunisse nanisante des céréales (JNC) et / ou des différents épisodes de gels : gels précoces sur des blés trop développés et / ou gels tardifs lors de la montaison / floraison (avril / mai?). Les autres céréales ne semblent pas affectées par ces phénomènes, sauf la bande de grands épeautres P'8. L'engrain noir (une ligne sur une bande du jardin de la Milpa) ne s'est pas bien développé et ne sera pas récolté. Pour éviter de perdre certaines variétés, nous avons récolté de manière précoce ce qu'il restait du blé Bec 10, quelques pieds de grands épeautres dans la bande P'8 et les beaux pieds de seigle qui se trouvaient dans les mélanges.

4.3.3 29 juillet 2021

Prélèvement de 6 pieds par bande pour l'estimation des rendements (2 engrains et 6 seigles). Sélection de 10 beaux épis pour les semences. Le reste est récolté pour la consommation sur la ferme. Prélèvement de 2 x 0,5 m² dans le champ de grand épeautre pour l'estimation des rendements (ni trop beau, ni trop versé). Bien qu'inférieure à 50%, la verse était importante dans le champ de grand épeautre (estimation globale).



*Culture de grand épeautre en traction animale.
Les rendements ont été particulièrement élevés.*

4.4 SAISON 2021-2022

Les semis directs (graine à graine) se sont avérés très longs à réaliser, et le semis avec le semoir multirangs mal pratique et peu adapté.

4.4.1 31 mai 2022

Observations de Charles. Les semis de Milpa et Pommiers ont mal levés et sont chétifs et clairsemés. Le meilleur résultat est celui obtenu par le semis à la volée, le pire celui réalisé avec le semoir Coleman. Les mêmes mélanges semés à la volée dans la parcelle de plein champ sont superbes avec de gros épis bien formés. Les seigles implantés grain à grain dans la parcelle Pommiers en octobre sont superbes et atteignent 2 mètres de haut pour certains pieds.

4.4.2 Récolte 2022

Les blés de plein champ présentent une verse importante bien qu'inférieure à 50% (estimation globale).

4.5 SAISON 2022-2023

4.5.1 15 mars 2023

Tous les semis et repiquages sont corrects. Les seigles sont toujours plus beaux que les blés. Notation de la vigueur des seigles (de 1 [faible vigueur] à 3 [forte vigueur]) et du nombre de pieds sur les lignes P1 à P21 (entre 6 et 44 pieds pour les blés et entre 37 et 50 pour les seigles).



Moisson à la faux dans le champ de traction animale. Ceux qui désirent apprendre à faucher à la main peuvent lire l'excellent « Guide pratique de la faux », Emmanuel Oblin, Résiliences, Ulmer

5. RÉSULTATS

TRAITEMENT STATISTIQUE DES RÉSULTATS

Le traitement statistique n'est pas forcément fondé sur le calcul d'une p-value, mais peut également se fonder sur une analyse nuancée des données par l'utilisation des intervalles de confiance, comme présenté et expliqué dans le rapport de Pierre Dragicevic [7] et l'article de Cumming et Finch [6].

5.1 SAISON 2019-2020

À cause de la prédation par les oiseaux les récoltes ont été très faibles.

5.2 SAISON 2020-2021

5.2.1 Blés tendres

La quasi totalité des blés tendres qui restaient (après la jaunisse et / ou les gels tardifs) ont été mangés par les oiseaux.

5.2.2 Engrains

Des trois engrains semés, deux ont été évalués (voir tableau 5.1), l'engrain noir s'étant très mal développé.

Dans l'ensemble, les rendements ont été deux fois plus élevés que la moyenne observée en France.

5.2.3 Seigles

Tous les seigles sont arrivés indemnes au bout de la culture (voir tableau 5.2).



Battage au fléau dans la serre-atelier.

	d.s. (gr./m ² – kg/ha)	d.a./o. (épis/m ²)	tallage	gr./épi	PMG ¹ (g)	rdt (q/ha)
champ AB ²	300 – 140–180	?	?	?	35	10–15
engrain brun	11,1 – 4,2	413	37,2	16,8	38,2	27
engrain AHP	11,1 – 3,9	470	42,3	14,0	34,7	23

TABLE 5.1 – Comparaison entre les paramètres agronomiques de la culture du petit épeautre de plain champ en AB et deux variétés jardinées à la ferme. d.s. = densité semée, d.a./o.= densité attendue (champ AB) ou observée, gr./épi = nombre de grains par épi, PMG = poids de mille grains, rdt = rendement à 15% d'humidité en quintaux par hectare.

¹ Grains vêtus. ² Données moyennes Arvalis / chambres d'agriculture.

Dans l'ensemble, les rendements ont été deux à deux fois et demi plus élevés que la moyenne observée en France.

	d.s. (gr./m ² – kg/ha)	d.a./o. (épis/m ²)	tallage	gr./épi	PMG (g)	rdt (q/ha)
champ AB ¹	250–300 – 100–130	400–500	1,6	40	30–35	30–35
s. Bec P1'	11,1 – 3,5	313	28,2	33,9	31,2	33
s. Bec MP3	11,1 – 3,7	381	34,3	55,5	32,9	70
s. Bec MP7	11,1 – 3,5	363	32,7	66,5	31,8	77
s. Petkus	11,1 – 3,2	363	32,7	63,3	28,8	66
s. de Duault	11,1 – 3,6	409	36,8	66,1	32,4	88
s. du Tarn	11,1 – 3,9	352	31,7	64,9	35,3	81

TABLE 5.2 – Comparaison entre les paramètres agronomiques de la culture du seigle de plain champ en AB et six variétés jardinées à la ferme. d.s. = densité semée, d.a./o. = densité attendue (champ AB) ou observée, gr./épi = nombre de grains par épi, PMG = poids de mille grains, rdt = rendement à 15% d'humidité en quintaux par hectare.

¹ Données moyennes Arvalis / chambres d'agriculture.



Vannage avec un ancien tarare.

5.2.4 Grand épeautre de plein champ

Nous avons également prélevé du grand épeautre de plein champ qui avait été semé comme engrais vert et finalement gardé car très bien développé. L'estimation du rendement est de 66 qx/ha alors que la moyenne en bio se situe au environ de 35 qx/ha.

5.3 SAISON 2021-2022

Seuls les seigles ont pu faire l'objet d'une évaluation des paramètres du rendement. Les autres céréales ne s'étant pas développées ou ayant subi trop de prédateurs.

5.3.1 Seigles

Dans l'ensemble, les rendements ont été équivalents à ceux de la moyenne observée en France.

Ces résultats semblent confirmer que le sol et la variété ne sont pas suffisants pour obtenir de hauts rendements, il faut également y associer l'itinéraire technique adéquat. C'est pourquoi pour la saison 2022-2023 nous avons repris un itinéraire technique proche de celui de la saison 2020-2021.

	d.s. (gr./m ² – kg/ha)	d.a./o. (épis/m ²)	tallage	gr./épi	PMG (g)	rdt (q/ha)
champ AB ¹	250–300 – 100–130	400–500	1–2	40	30–35	30–35
s. du Tarn	22 – 7	132	6,0	58,4	39,9	30,8
s. Petkus	18 – 6	124	6,9	46,6	45,5	26,3
s. violet du Bec	23 – 7	125	5,4	48,8	43,9	26,8

TABLE 5.3 – Comparaison entre les paramètres agronomiques de la culture du seigle de plein champ en AB et six variétés jardinées à la ferme. d.s. = densité semée, d.a./o. = densité attendue (champ AB) ou observée, gr./épi = nombre de grains par épi, PMG = poids de mille grains, rdt = rendement à 15% d'humidité en quintaux par hectare. 1 Données moyennes Arvalis / chambres d'agriculture.

Deux nouvelles pistes pourraient être explorées :

1. Voir s'il y a une différence entre le repiquage et le semis direct en pleine terre (semis fin d'été) ;
2. voir si des semis de début d'été permettent également d'atteindre de très hauts rendements (méthode Fukuoka-Bonfils, semis début d'été).



6. CONCLUSION

Il est possible d'atteindre des rendements supérieurs à 80 qx/ha avec des céréales de pays (pour le moment des seigles). Avec les itinéraires techniques permettant ces rendements, les céréales ont besoin d'un espacement relativement grand, et avec une sélection massale ordinaire, cela suffit à ce que la verse ne pose plus vraiment de problème. Les principaux incidents ont été : mauvaise levée, prédation à la levée, jaunisse nanisante des céréales (suspectée), gels précoces et tardifs, prédation des oiseaux avant la récolte. Le défi des années à venir est d'arriver à reproduire régulièrement ces hauts rendements et avec d'autres céréales que le seigle.

Nous n'avons hélas jamais réussi à utiliser correctement cette ancienne machine à battre.



BIBLIOGRAPHIE

ARTICLES

- [2] Isabelle BONNIN et al. « Explaining the decrease in the genetic diversity of wheat in France over the 20th century ». en. In : *Agriculture, Ecosystems & Environment* 195 (oct. 2014), pages 183-192. ISSN : 01678809. DOI : 10.1016/j.agee.2014.06.003. URL : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880914003235> (visité le 25/01/2019).
- [3] Véronique CHABLE et Estelle SERPOLAY. « Recherche multi-acteurs et transdisciplinaire pour des systèmes alimentaires bio et locaux ». In : *Techniques de l'ingénieur* (2016).
- [4] Ambrogio COSTANZO et Paolo BÀRBERI. « Functional agrobiodiversity and agroecosystem services in sustainable wheat production. A review ». en. In : *Agronomy for Sustainable Development* 34.2 (avr. 2014), pages 327-348. ISSN : 1774-0746, 1773-0155. DOI : 10.1007/s13593-013-0178-1. URL : <http://link.springer.com/10.1007/s13593-013-0178-1> (visité le 25/01/2019).
- [5] Robert H. COWIE, Philippe BOUCHET et Benoît FONTAINE. « The Sixth Mass Extinction: Fact, Fiction or Speculation? ». In : *Biological Reviews* 97.2 (2022), pages 640-663. ISSN : 1469-185X. DOI : 10.1111/brv.12816. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/brv.12816> (visité le 12/04/2023).
- [6] Geoff CUMMING et Sue FINCH. « Inference by Eye : Confidence Intervals and How to Read Pictures of Data ». In : *American Psychologist* 60.2 (2005), pages 170-180 (cf. page 16). 21
- [8] Olivier DUCHENE, Jean-François VIAN et Florian CELETTE. « Intercropping with legume for agroecological cropping systems : Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review ». In : *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240 (mar. 2017), pages 148-161. ISSN : 0167-8809. DOI : 10.1016/j.agee.2017.02.019. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917300828> (visité le 31/08/2018).
- [9] Sangam L. DWIVEDI et al. « Landrace Germplasm for Improving Yield and Abiotic Stress Adaptation ». In : *Trends in Plant Science* 21.1 (jan. 2016), pages 31-42. ISSN : 1360-1385. DOI : 10.1016/j.tplants.2015.10.012. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138515002605> (visité le 26/02/2019).
- [11] « Fast Science vs. Slow Science, Or Slow and Steady Wins the Race ». en. In : *The Scientist* (1990).
- [12] Anoush FICICIYAN et al. « More than Yield : Ecosystem Services of Traditional versus Modern Crop Varieties Revisited ». en. In : *Sustainability* 10.8 (août 2018), page 2834. ISSN : 2071-1050. DOI : 10.3390/su10082834. URL : <http://www.mdpi.com/2071-1050/10/8/2834> (visité le 26/02/2019).
- [13] Gaëlle van FRANK et al. « Genetic Diversity and Stability of Performance of Wheat Population Varieties Developed by Participatory Breeding ». en. In : *Sustainability* 12.1 (jan. 2020), page 384. DOI : 10.3390/su12010384. URL : <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/1/384> (visité le 05/02/2020).
- [15] Abdul Rehman KHAN, Isabelle GOLDRINGER et Mathieu THOMAS. « Management Practices and Breeding History of

- Varieties Strongly Determine the Fine Genetic Structure of Crop Populations : A Case Study Based on European Wheat Populations ». en. In : *Sustainability* 12.2 (jan. 2020), page 613. DOI : 10.3390/su12020613. URL : <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/2/613> (visité le 05/02/2020).
- [16] Matti KUMMU et al. « Climate Change Risks Pushing One-Third of Global Food Production Outside the Safe Climatic Space ». In : *One Earth* 4.5 (mai 2021), pages 720-729. ISSN : 2590-3322. DOI : 10.1016/j.oneear.2021.04.017. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332221002360> (visité le 12/04/2023).
- [17] Mariateresa LAZZARO, Ambrogio COSTANZO et Paolo BARBERI. « Single vs multiple agroecosystem services provided by common wheat cultivar mixtures : Weed suppression, grain yield and quality ». In : *Field Crops Research* 221 (mai 2018), pages 277-297. ISSN : 0378-4290. DOI : 10.1016/j.fcr.2017.10.006. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429016304713> (visité le 22/01/2019).
- [18] E. MALÉZIEUX et al. « Mixing plant species in cropping systems : concepts, tools and models. A review ». en. In : *Agronomy for Sustainable Development* 29.1 (mar. 2009), pages 43-62. ISSN : 1774-0746, 1773-0155. DOI : 10.1051/agro:2007057. URL : <http://link.springer.com/10.1051/agro:2007057> (visité le 22/01/2019).
- [19] Paola MIGLIORINI et al. « Agronomic and quality characteristics of old, modern and mixture wheat varieties and landraces for organic bread chain in diverse environments of northern Italy ». en. In : *European Journal of Agronomy* 79 (sept. 2016), pages 131-141. ISSN : 11610301. DOI : 10.1016/j.eja.2016.05.011. URL : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030116301009> (visité le 22/01/2019).
- [20] A.C. NEWTON et al. « Cereal landraces for sustainable agriculture. A review ». en. In : *Agronomy for Sustainable Development* 30.2 (avr. 2010), pages 237-269. ISSN : 1774-0746, 1773-0155. DOI : 10.1051/agro/2009032. URL : <http://link.springer.com/10.1051/agro/2009032> (visité le 26/02/2019).
- [21] Elisa PELLEGRINO et al. « Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi : A meta-analysis of field studies from 1975 to 2013 ». en. In : *Soil Biology and Biochemistry* 84 (mai 2015), pages 210-217. ISSN : 00380717. DOI : 10.1016/j.soilbio.2015.02.020. URL : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071715000656> (visité le 27/02/2019).
- [22] Rémi PERRONNE et al. « Temporal evolution of varietal, spatial and genetic diversity of bread wheat between 1980 and 2006 strongly depends upon agricultural regions in France ». In : *Agriculture, Ecosystems & Environment* 236 (jan. 2017), pages 12-20. ISSN : 0167-8809. DOI : 10.1016/j.agee.2016.11.003. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916305400> (visité le 25/01/2019).
- [23] Emily R. REISS et Laurie E. DRINKWATER. « Cultivar mixtures : a meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield ». en. In : *Ecological Applications* 28.1 (jan. 2018), pages 62-77. ISSN : 1939-5582. DOI : 10.1002/eap.1629. URL : <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eap.1629> (visité le 31/08/2018).

- [25] S.S.M. SHAH, X. CHANG et P. MARTIN. « Effect of nitrogen, phosphorous, potassium, plant growth regulator and artificial lodging on grain yield and grain quality of a landrace of barley ». en. In : *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 2.4 (2017), pages 2020-2032. ISSN : 24561878. DOI : 10.22161/ijeab/2.4.60. URL : <http://ijeab.com/detail/effectof-nitrogen-phosphorous-potassium-plant-growth-regulator-andartificial-lodging-on-grain-yield-and-grain-quality-of-a-landrace-of-barley/> (visité le 27/02/2019).
- [26] Ray SHORTER. « Relative yields of mixtures and monocultures of oat genotypes evaluated across locations and years ». en. In : *Retrospective Theses and Dissertations* 5704 (1976), page 107.
- [29] Odette D. WEEDON et Maria R. FINCKH. « Heterogeneous Winter Wheat Populations Differ in Yield Stability Depending on their Genetic Background and Management System ». en. In : *Sustainability* 11.21 (jan. 2019), page 6172. DOI : 10.3390/su11216172. URL : <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/21/6172> (visité le 05/02/2020).
- [30] Martin S.WOLFE. « Crop strength through diversity ». en. In : *Nature* 406.6797 (août 2000), pages 681-682. ISSN : 0028-0836, 1476-4687. DOI : 10.1038/35021152. URL : <http://www.nature.com/articles/35021152> (visité le 24/01/2019).
- [31] Y.-G. ZHU et al. « Phosphorus (P) efficiencies and mycorrhizal responsiveness of old and modern wheat cultivars ». en. In : *Plant and Soil* 237.2 (déc. 2001), pages 249-255. ISSN : 1573-5036. DOI : 10.1023/A:1013343811110. URL : <https://doi.org/10.1023/A:1013343811110> (visité le 28/05/2020).
- LIVRES**
- [1] Philippe BIHOUIX. *L'Âge des low tech*. Éditions Seuil, 2014.
- [24] Pierre SAUVAGEOT et Paul GRILLO. *La culture familiale du blé, facteur de renaissance française*. Éditions Sequana, 1943.
- [27] VILMORIN-ANDRIEUX. *Les Meilleurs Blés*. 1880.
- RAPPORTS**
- [7] Pierre DRAGICEVIC. *HCI Statistics without p-values*. Rapport technique 8738. IN-RIA, 2015 (cf. page 12).
- [10] FAO. *The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050*. Rapport technique. Rome: FAO, 2018. URL: www.fao.org/publications/fofa/en/.
- [28] Robert T WATSON et al. *Résumé à l'intention des décideurs du rapport de l'évaluation mondiale de l'ipbes de la biodiversité et des services écosystémiques*. Rapport technique.
- VIDÉOS**
- [14] Jean-Marc JANCOVICI. *CO2 ou PIB, il faut choisir*. 2019. URL: www.youtube.com/watch?v=Vjkq8V5rVyo.



Le jardin de bois N°2. Les trois rangées d'arbres situées à droite de l'image sont destinées à former des trognes. On distingue les paillis disposés au pied de chaque arbre.

Voici en ouverture un rappel des notions énoncées dans le rapport 2021.

Dans le contexte de la ferme, et sur les conseils du cabinet de Jean-Marc Jancovici Carbone 4, qui a réalisé le bilan carbone de la ferme, le recours au bois pour nous chauffer, cuisiner et chauffer l'eau sanitaire de notre habitat nous a semblé être la solution la plus naturelle. Nous sommes convaincus qu'il est pertinent de se passer de technologies sophistiquées, à chaque fois que possible. Une bûche est une sorte de batterie organique qui stocke l'énergie du soleil et peut la restituer des années plus tard, sans engendrer de pollution ! Le carbone relâché est celui que l'arbre avait absorbé durant sa croissance, mais une partie de ce carbone reste dans le sol et la litière grâce aux racines et à la chute des feuilles.

Nous avons donc installé des poêles et cuisinières à bois dans la plupart des bâtiments de la ferme. De ce fait notre consommation est relativement importante : une bonne vingtaine de stères par an. Pour nous ce n'est pas un problème car la ferme dispose de 12 hectares de forêt. Le renouvellement naturel d'une forêt diversifiée est estimé à 10 stères de bois par hectare et par an, nous pourrions donc prélever 120 stères sans appauvrir la forêt. Toutefois, un rapide calcul nous a montré que si tous les Français utilisaient autant de bois que nous, les forêts de l'hexagone ne suffiraient pas... Un recours aux ressources biologiques et renouvelables nécessite une saine gestion de ces ressources pour être durable.

Au fil de mes lectures, une mention du concept de jardin de bois dans un livre norvégien¹ m'a séduit : d'après Lars Mytting, son auteur, un hectare de «taillis fertilisé produirait 5 fois la quantité de bois d'une forêt « normale » de même superficie.

¹ « L'homme et le bois », Lars MYTTING, GAÏA Editions 2016. Un excellent livre, à lire absolument !



Jardin de bois N°2, un an après sa plantation.

La gestion des bois en taillis était largement utilisée autrefois. Le principe est simple : nombre d'essences d'arbres ont la faculté d'émettre plusieurs nouveaux troncs lorsque l'arbre est coupé à ras du sol (l'arbre devient alors une cépée). La croissance des nouveaux troncs est plus rapide que celle de l'arbre originel car le système racinaire reste en place. Et si l'on fertilise et que l'on a recours à des espèces à croissance rapide, la production peut être réellement élevée.

Le concept de jardin de bois est d'autant plus pertinent que les petites forêts sont devenues très rares à la vente et que leur prix a énormément augmenté ces dernières années. Pour un particulier, acquérir un hectare de bois proche de chez soi est quasiment une gageure. Si les données présentées ci-dessus s'avèrent exactes, on peut estimer que, si 1 hectare de bois « classique » produit 10 stères de bois chaque année, 2 000 m² de jardin de bois produiraient également 10 stères. Et comme une maison moderne et bien isolée ne nécessite généralement que 5 stères de bois de chauffage environ pour se chauffer, on pourrait espérer qu'un jardin de bois de 1 000 m² fournirait l'énergie permettant à une famille de se chauffer et de cuisiner une partie de l'année. La plupart des maisons et propriétés en milieu rural disposent d'une telle surface. De plus, si le jardin de bois est situé à proximité immédiate de son domicile, une simple brouette suffit à rapporter les bûches, plus besoin d'un véhicule polluant !

Le jardin de bois est donc vraiment séduisant... sans parler de la satisfaction que procure le fait d'être autonome en énergie autoproduite, et la beauté d'un bois sur son terrain ! En cette période de guerre en Ukraine, être capable de s'affranchir du pétrole et du gaz russe, mais aussi des centrales nucléaires et même des éoliennes et panneaux photovoltaïques, forcément énergivores et non durables, devient vraiment désirable.

Reste à savoir si le concept est viable ! Une recherche de documentation sur internet n'a pas donné grand-chose... Le plus simple était donc de conduire une expérimentation à la ferme.



*Jardin de bois N°1, un an après sa plantation.
On aperçoit à droite de l'image une rangée
de châtaigniers plantés trois ans plus tôt.*

LES PREMIERS JARDINS DE BOIS

En février 2021 nous avons planté 1 200 jeunes arbres sur deux parcelles de prés qui se trouvent au fond de la ferme. Remercions au passage Fabien Bourly, le créateur de La Coutellerie champenoise, qui a offert ces arbres.

Les essences retenues sont:

- **BOULEAU**: croissance rapide, excellent bois de chauffage.
- **SAULE**: croissance extrêmement rapide.
- **PEUPLIER**: croissance très rapide.
- **AULNE**: croissance moyennement rapide, fixateur d'azote.

LE JARDIN DE BOIS N°1

Le plus grand des jardins a été planté sur un pré en longueur se trouvant le long de la forêt. Située au sud, celle-ci l'ombrage fortement, en hiver les jeunes arbres ne reçoivent aucun ensoleillement direct.

Faute de temps, ce jardin n'a pas été fertilisé. La reprise des arbres a été excellente, mais leur croissance est plutôt lente.

LE JARDIN DE BOIS N°2

Cette parcelle bénéficie d'un meilleur ensoleillement. Son sol avait été enrichi les années précédentes car nous y avons stocké d'importantes quantités de compost. Les arbres plantés ici ont été généreusement paillés avec du fumier après plantation.

La reprise a également été excellente. La croissance des arbres nous a surpris car elle a été environ 3 fois plus rapide que dans l'autre jardin. Les jeunes sujets qui mesuraient environ 50 cm de hauteur lors de la plantation dépassaient parfois 2 mètres un an plus tard.

DISTANCES DE PLANTATION

Les arbres sont plantés en lignes espacées de 2,5 m, à 1,5 m sur le rang.

LES TROGNES

Certains sujets ont été plantés de manière plus espacée - 3 m entre les lignes -, en vue d'une conduite en trogne (arbres têtards), une forme très classique et productive largement utilisée depuis l'antiquité. L'objectif est de comparer les trognés et les cépées ; les premières seront probablement moins productives en bois mais leur longévité peut être supérieure, et les moutons pourront pâturer en dessous lorsqu'elles auront atteint un certain développement, ce qui permettra d'entretenir la parcelle tout en procurant de la fertilité et en donnant de la viande.

ENTRETIEN

Il aurait été envisageable de faire les foin pour valoriser l'herbe, mais ceci nous aurait conduit à exporter de la matière organique des parcelles, ce qui n'est pas l'objectif recherché.

L'herbe a donc été fauchée deux fois au gyrobroyeur entre les rangées d'arbres. Le fait que ces derniers aient été soigneusement alignés facilite cette opération.

2022 : TROISIÈME JARDIN DE BOIS

En février 2022, nous avons planté 200 châtaigniers dans un troisième jardin. Cet arbre présente de nombreux usages : bois de chauffage, piquets de clôture, bardeaux, artisanat...

Afin de mieux appréhender l'effet de la fertilisation, une moitié des arbres a été paillée avec du fumier, l'autre n'a rien reçu.



*Jardin de bois N°1. L'entretien est réalisé au gyrobroyeur.
La croissance des jeunes arbres est pénalisée par la forêt :
cette plantation ne reçoit aucun soleil durant les mois d'hiver.*

NOUVEAUX TALUS

En marge de cette expérience, plusieurs nouveaux talus ont été créés et plantés des mêmes essences, plus des houx et quelques chênes et frênes, en bordure des prés-vergers. L'idée est de conduire une partie de ces arbres en trognes. Ils produiront du bois-fourrage, du bois-énergie, serviront de clôtures et renforceront le microclimat.



Les nouveaux talus, un an après leur plantation. Ces arbres, principalement des peupliers, des frênes et des chênes, sont destinés à former des trognes. Leur croissance est très rapide grâce aux apports de compost et à un bon ensoleillement.

Ces expériences demandent à être conduites dans la durée, bien évidemment. A ce stade, je ne sais pas quand la première coupe pourra être réalisée, ni si tous les arbres repartiront en cépée après avoir été coupés. A suivre !

LE POINT FIN 2022

Une mortalité de quelques sujets dans le jardin N°1 et le jardin N°3 a pu être observée. Les jeunes châtaigniers ont été remplacés l'hiver suivant.

Les jeunes plants du jardin N°2, qui ont été paillés et bénéficient d'un meilleur ensoleillement, poussent bien plus vigoureusement que ceux du jardin N°1 et il n'y a pas de mortalité notable.

L'entretien des jardins a été réalisé sous la forme de deux broyages de l'herbe durant l'année. Une partie seulement du jardin N°2 a pu être paillée, ainsi qu'une partie du jardin N°3, faute de temps (cette opération demande des quantités importantes de fumier et beaucoup de main d'œuvre).

La vitesse de croissance des arbres du jardin N°2 est impressionnante. Nous ne savons pas à quel stade les jeunes arbres doivent être recépés (coupés à la base) pour pouvoir repousser et émettre plusieurs troncs dans de bonnes conditions. Cette opération est donc repoussée à l'hiver 2023-2024 pour quelques sujets qui seront alors mesurés et pesés.

Jean-Luc FRANÇOIS

RÉ-ENSAUVAGEMENT D'UNE PARCELLE



Voici une présentation de cette expérience, extraite du rapport 2021.

Depuis le début de l'année 2021, un herbage de la ferme a été laissé en libre évolution. Il n'est pas pour autant totalement inexploité car les moutons y ont pâturé deux fois dans l'année (début et fin d'hiver). La surface de cet herbage est de 1 500 m².

Nos motivations étaient d'acquérir des connaissances sur la succession végétale qui se mettrait spontanément en place, dans le contexte de notre fond de vallée ; de comparer ce modèle de libre évolution avec d'autres formes de ré-ensauvagement, comme la forêt-jardin de l'étang qui reçoit très peu de soins ; d'accueillir davantage de biodiversité, au milieu de parcelles cultivées en traction animale et de prés-vergers ; enfin, de diminuer la charge de travail qu'engendre la ferme.

L'étude botanique initiale a été réalisée par Jean-Luc François, botaniste chevronné, que nous remercions chaleureusement.



ÉVOLUTION DE LA PARCELLE EN 2022

Nous n'avons pas noté d'évolution notable en 2022, si ce n'est davantage de rumex, d'orties et de chardons.

La question se pose de savoir si nous devons laisser proliférer orties et chardons, au risque qu'ils se propagent dans les herbages voisins. Une « vraie » expérience de libre évolution interdirait toute intervention humaine... Mais la coupe des orties et chardons est obligatoire dans notre région. Que faire ?

Par ailleurs, il nous semble intéressant (la libre évolution étant bien documentée par ailleurs), d'explorer une « voie médiane », qui consiste à diminuer les interventions humaines tout en réalisant un usage extensif de la parcelle pour y laisser pâturer ponctuellement des animaux (ce type de gestion est pratiquée avec succès en Grande Bretagne notamment, sur de vastes territoires).



FERME DU BEC HELLOUIN

RELEVÉ FLORISTIQUE D'UNE PARCELLE DE 1.500 M²

CONTEXTE

Le relevé a été réalisé le 23 juillet 2021.

Cette parcelle a été cultivée pendant 7 ans puis a été pâturée au Printemps dernier par des moutons.

La partie située à droite a été amendée, ce qui explique une végétation différente et plus nitrophile.

*Partie nord du paysage de résilience.
Le grand pré initial a été divisé
en de nombreuses parcelles
entourées de talus et de haies.
Les points d'eau sont nombreux.
Ils servent à abreuver les animaux et,
ponctuellement, à arroser les cultures.*



Chenopodium album

Chénopode blanc

Amaranthaceae



Malva sylvestris

Mauve sylvestre

Malvaceae



Ranunculus auricomus

Renoncule bouton d'or

Ranunculaceae



Carex pendula

Laiche pendante

Cyperaceae



Cirsium arvense

Chardon des champs

Asteraceae



Medicago sativa

Luzerne

Fabaceae



Achillea millefolium

Achillée millefeuille

Asteraceae



Vicia sativa

Vesce commune

Fabaceae



Salix caprea

Saule marsault

Salicaceae



Plantago major

Grand plantain

Plantaginaceae



Trifolium repens

Trèfle

Fabaceae



Taraxacum officinale

Pissenlit

Asteraceae



Myosotis arvensis

Myosotis des champs

Boraginaceae



***Agropyron repens*
ou *Elymus repens***

Chiendent officinal

Poaceae (graminées)



Amaranthus

Amarante

Amaranthaceae
ou *Chenopodiaceae*



Stellaria media

Mouron blanc ou des oiseaux

Caryophyllaceae



Plantago lanceolata

Plantain lancéolé

Plantaginaceae



Rumex acetosa

Grande oseille

Polygonaceae



Geranium rotundifolium

Géranium à feuilles rondes

Geraniaceae



Galium aparine

Gaillet gratteron

Rubiaceae



Sonchus arvensis

Laiteron des champs

Asteraceae



Senecio vulgaris

Séneçon vulgaire

Asteraceae



Polygonum aviculare

Renouée des oiseaux

Polygonaceae



Persicaria maculosa

Renouée persicaire

Polygonaceae



Urtica dioica

Ortie dioïque commune

Urticaceae



Dactylis glomerata

Dactyle aggloméré

Poaceae (graminées)



Lolium perenne

Ray grass anglais

Poaceae (graminées)



Festuca pratensis

Fétuque des prés

Poaceae (graminées)



Brachypodium pinnatum

Brachypode penné

Poaceae (graminées)



Poa pratensis

Paturin des prés

Poaceae (graminées)



INTRODUCTION

Durant trois mois, à l'automne 2022, Lone Pollet a égayé la ferme de son sourire et de son intelligence pétillante. En formation dans l'une des meilleures écoles d'agronomie d'Europe, aux Pays Bas, Lone a étudié la petite île-jardin, un espace jusqu'alors délaissé de la ferme.

Nous aurions idéalement souhaité transformer cette petite île en une véritable *chinampa*, inspirée des jardins flottants précolombiens de la vallée de Mexico, mais le travail nécessaire était trop important. L'étude de Lone, présentée ci-dessous, souligne néanmoins certains aspects intéressants de cette île, en termes d'accessibilité à l'eau.

Les nombreux échanges qui ont émaillé le stage de Lone m'ont encore plus convaincu de l'intérêt du système « île-jardin », dans un contexte de changements climatiques. En introduction de son mémoire, je souhaiterais souligner les éléments suivants.

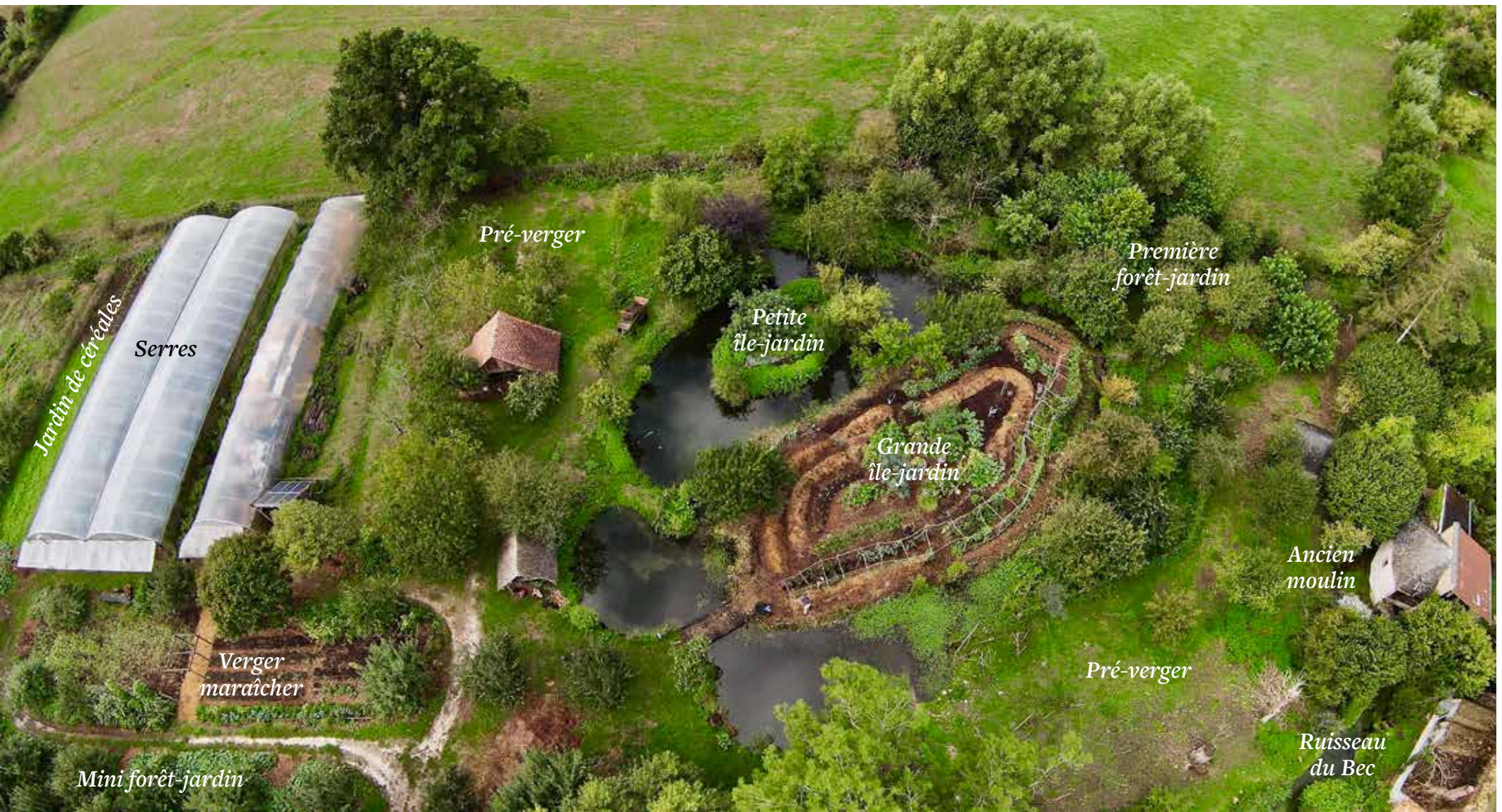
AVANTAGES D'UNE ÎLE-JARDIN ARTIFICIELLE

Ils sont nombreux et particulièrement bien adaptés à un contexte dans lequel les sécheresses et canicules vont devenir plus fréquentes. Tout comme les anciennes *chinampas*, l'île-jardin est un jardin maraîcher artificiel visant à créer des conditions optimales pour la croissance des légumes.

Le plan d'eau assure un microclimat bénéfique aux légumes et l'approvisionnement en eau.

Les plantes à biomasse qui ceinturent l'île procurent une source pérenne de fertilité ainsi qu'un ombrage partiel si on laisse pousser certains végétaux.

On obtient donc ainsi un milieu « idéal » pour les cultures légumières (rappelons que « maraîchage » vient de « marais ») : présence d'eau, de fertilité et d'un microclimat. Sans parler de l'agrément d'un tel aménagement !





COMMENT CRÉER UNE ÎLE-JARDIN ?

1 – Creusement de la mare et formation de l'île. Créer une île-jardin n'a rien de bien compliqué, dans la plupart des contextes. Nul besoin de partir d'un environnement lacustre, une plaine suffit. Une mare est creusée autour de la future île, qui est simplement laissée en réserve. Le premier horizon de bonne terre arable extrait de la future mare peut être déposé à la surface de l'île, ce qui augmentera d'autant la profondeur de sol et la teneur en humus.

2 – Etanchéification de la mare. La mare doit idéalement rester en eau toute l'année. Pour cela, tous les procédés habituels d'étanchéification d'un plan d'eau peuvent être mis en œuvre, l'idéal restant toutefois, et de loin, une étanchéité naturelle rendue possible grâce à la présence d'argile. A la ferme, le sol caillouteux est très drainant mais nous avons creusé dans le fond de la vallée un étang qui reste toujours en eau grâce à la nappe phréatique. Ce contexte (fond de vallée et nappe phréatique haute) semble idéal pour réaliser une île-jardin.

3 – Remplissage de la mare. L'eau peut provenir de la pluie, d'une source d'eau naturelle ou, comme évoqué, d'une nappe phréatique haute.

4 – Plantation de plantes à biomasse. Pour reprendre le principe des anciennes *chinampas*, l'île devrait être ceinturée d'un rideau de plantes à biomasse appréciant les conditions lagunaires, à croissance rapide. Dans nombre de contextes européens, il pourrait s'agir de saules. Des roseaux pourraient faire l'affaire, mais je ne sais s'ils supportent des coupes répétées. Ces végétaux à croissance rapide sont destinés à être coupés une à deux fois par an pour servir de paillis ou de compost pour l'île.



Recherche sur la capacité d'un île artificielle à diminuer les besoins en eaux d'une culture

Cas d'étude à la ferme du Bec Hellouin



Mémoire BSc - Lone Pollet

Février

2023

Préface

Nous avons eu la joie d'accueillir à la ferme Lone Pollet durant 3 mois, à l'automne 2022. Son travail a permis d'éclairer les mécanismes complexes de la circulation de l'eau sur nos îles-jardins artificielles.

La Ferme du Bec Hellouin compte deux îles-jardins dédiées au maraîchage. Elles ont été créées durant l'hiver 2008. Nos sources d'inspirations étaient les hortillonnages d'Amiens (un système complexe et fascinant d'îles et de canaux remontant à l'époque gallo-romaine), et les chinampas de la vallée de Mexico. Rappelons que le terme « maraîchage » vient de « marais » : les milieux humides et riches en matières organiques sont favorables aux cultures maraîchères, pour la plupart exigeantes en eau et en fertilité.

Je dois avouer que notre motivation première était avant tout esthétique : quel plaisir de travailler dans un potager à fleur d'eau ! Lorsque nous avons découvert les concepts de la permaculture, nous avons appris que l'interface terre/eau est généralement très productive, et que l'on gagne à maximiser ces zones de frontières entre deux milieux. Il y a aussi l'effet microclimat que procurent les mares, lié à la réflexion des rayons du soleil à la surface de l'eau et à l'effet tampon thermique de la masse d'eau qui régule les écarts de températures - sans compter l'évaporation qui accroît l'humidité de l'air par temps chaud et sec. De fait, nous avons souvent constaté, de manière empirique, que les cultures se portent bien sur ces îles (les jardinier.e.s aussi !).

Nous avons vu la courageuse Lone s'enfoncer dans le sol au fil des jours, lorsqu'elle creusait à la main ses sondages jusqu'à la nappe phréatique. Nous l'avons vu également s'enfoncer dans de très savants calculs, d'où sont sorties ses analyses, présentées de manière synthétique dans cette version en Français de sa thèse.

Il ressort, tant de nos observations au fil des ans que des travaux de Lone, qu'il y a une vraie pertinence à créer des îles artificielles dédiées aux cultures légumières, et ce, d'autant plus que le siècle à venir verra s'accroître les épisodes de canicule et de sécheresse. Le système des chinampas est réellement séduisant puisque les îles artificielles des anciens Amérindiens offraient de l'eau, mais également de la matière organique à profusion (des plantes à forte croissance poussant dans la zone d'interface terre/eau ; dans notre cas : des saules, des consoues, des roseaux..., fournissant de la matière à composter ou à disposer en paillis). Les éléments indispensables à une agriculture pérenne et résiliente sont donc réunis.

Reste à voir comment aménager ces îles, selon les contextes. Il faudra faire preuve de créativité. Capter de manière simple l'eau dans les paysages, sans forages profonds ni pompes puissantes, sera un facteur de réussite déterminant pour l'agriculture de demain, dans un contexte de changements climatiques.

Merci Lone pour ton investissement dans ton travail, et ta joie de vivre !

Charles HERVÉ-GRUYER



Sommaire

Introduction et contexte théorique	1
L'étude et ses méthodes	2
Résultats et discussions.....	3
Conclusion	5
Références.....	5

Préambule

Ce document est une synthèse vulgarisée du projet d'étude réalisé par Lone Pollet durant la saison Automne 2022 intitulé « Investigating the capacity of an artificial pond island to reduce crop water requirements ». Les données de terrain ont été recueillies entre Septembre et Novembre 2022 à la ferme du Bec Hellouin. Le rapport complet (en anglais) est disponible via ce lien : <https://drive.google.com/file/d/1vj6qx4UA9ggHIAu7AJTixp1MSQ3-zWkV/view?usp=sharing>.

Introduction et contexte théorique

Il est bien connu qu'assurer un accès suffisant en eau permet de promouvoir le développement sain d'une culture et de limiter les pertes de récolte. En général, les méthodes d'agriculture conventionnelle dépendent des pluies, de la capacité de rétention du sol et, en période de sécheresse, d'un apport additionnel par irrigation pour satisfaire les besoins en eau d'une plante nécessaires à la photosynthèse (évapotranspiration). Or, il est devenu évident que les ressources en eau douce deviendront plus rares dans un futur proche et que les périodes de sécheresse se feront plus courantes et intenses. Ainsi, il est nécessaire de repenser nos espaces de culture pour limiter les besoins d'apports supplémentaires en eau, donc d'irrigation, tout en assurant des récoltes satisfaisantes. Le diagramme ci-dessous suggère que l'eau remontant par capillarité depuis les nappes phréatiques peut représenter une nouvelle source d'eau ainsi disponible dans le sol (flèche se dirigeant vers le cube, figure 1).

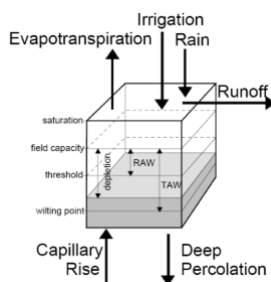


Figure 1 - schématisation des flux d'eau dans le sol

Pour que suffisamment d'eau vienne remplir le réservoir du sol (le cube dans l'image ci-dessus), il est nécessaire que la nappe phréatique se trouve à 1 mètre environ en dessous de la zone racinaire¹. Cependant en été, au moment où les besoins en eau d'une plante sont les plus grands, les nappes phréatiques sont basses et peu/pas capables de pallier au manque d'eau. Néanmoins, il est possible de concevoir des espaces de cultures assurant une nappe phréatique peu profonde toute l'année. Des systèmes anciens comme les Chinampas dans la vallée de Mexico city, l'agriculture lacustre du Lac Titicaca au Pérou ou encore les hortillonnages d'Amiens sont capables de maintenir une nappe phréatique peu profonde et renforcent la résistance à la sécheresse des plantes qui y poussent².

Les îles cultivées de la ferme du Bec Hellouin ont été inspirées et conçues suivant les principes de ces systèmes anciens et les années ont montré qu'elles portent des cultures plus résistantes à la sécheresse, comparé au reste de la ferme³. Ces observations suggèrent donc que le système d'îles mis en place au Bec Hellouin induit une nappe phréatique peu profonde et ainsi accroît la résistance des cultures à la sécheresse (hypothèse). Cette étude vise à confirmer ces impressions par la quantification des échanges d'eau entre mare, sol et plantes. Sur base d'échantillons de sol recueillis sur la plus petite île de la ferme, les mouvements d'eau dans le sol ont été modélisés dans le but de confirmer l'hypothèse mentionnée ci-dessus.

L'étude et ses méthodes

Comme évoqué dans l'introduction, l'étude menée en Automne 2022 a tenté de quantifier les mouvements d'eau dans le sol entre la nappe phréatique de la petite île de la ferme et les plantes qui y poussent pour comprendre la capacité du sol de l'île à réduire les stress hydriques sans irrigation.

Dans cette étude, le modèle d'analyse considère le sol comme un réservoir duquel les plantes poussant sur l'île puisent leur eau pour subvenir à leurs besoins et éviter les stress hydriques. Après avoir investigué les propriétés physiques du sol de l'île (différents horizons de sol et texture, quantité de matière organique, capacité de rétention d'eau et conductivité), la « taille » de ce réservoir a pu être déterminé. Bien sûr, la quantité d'eau du sol accessible à une plante dépend aussi de l'étendue de son système racinaire. Ainsi, trois cultures différentes ont été considérées et comparées :

- Haricot (*Phaseolus Vulgaris*) – racines de 0.3m à 0.7m
- Maïs (*Zea Mays*) – racines de 0.3m à 1m
- Chou (*Brassica oleracea*) – racines de 0.25m à 0.5m

Au cours d'une saison, ces plantes puisent dans les réserves d'eau du sol jusqu'à épuisement si aucune source d'eau ne vient remplir le réservoir. Sans aucun apport par irrigation, le sol de la petite île ne dépend que de l'eau de pluie et des remontés d'eau par capillarité depuis la nappe phréatique pour remplir le réservoir d'eau du sol. Cette étude considère systématiquement ces deux sources d'eau subvenant aux besoins des trois légumes ci-dessus (évapotranspiration) tout au long de la saison de culture :

- L'eau de pluie vient ponctuellement remplir (complètement ou non) le réservoir d'eau du sol épuisé par les plantes. Pour mieux comprendre la capacité de la petite île à subvenir aux besoins en eau d'une plante sans irrigation, trois pluviométries ont été considérées. Ces données proviennent de la station météorologique Rouen-Boos localisée à 37 km de la ferme :
 - Une année très sèche en 2022
 - Une année très humide en 2021
 - Des données moyennant la pluviométrie sur les 20 dernières années
- Les remontés d'eau par capillarité depuis la nappe phréatique peu profonde de l'île viennent remplir le réservoir du sol, une fois que celui-ci a été presque complètement épuisé par les cultures. Des observations de la nappe sur l'île montrent que sa profondeur varie entre 81 cm et plus de 1.5m sous la surface du sol, et est fortement connectée au niveau d'eau de la mare. Parce que les mouvements horizontaux d'eau dans le sol sont complexes, cette étude simplifie la situation en considérant une nappe phréatique statique à 1.7m sous la surface du sol. Sur base des échantillons de sol recueillis sur l'île, le flux d'eau remontant de la nappe a été calculé suivant des équations complexes dont ce résumé fera l'économie. Au vu de la complexité du processus de capillarité et des suppositions inhérentes à cette recherche et méthode, deux scénarios d'apport d'eau par capillarité ont été considérés :
 - Capillarité maximale, considérant un sol hétérogène tel qu'il a été analysé lors du travail de terrain.
 - Capillarité minimale, considérant un sol homogène ayant les mêmes caractéristiques de conductivité que l'horizon le moins perméable (le pire scénario).

Après avoir considéré ces deux sources d'irrigation naturelle pour nos trois légumes (donc la pluie et l'eau capillaire), des déficiences en eau peuvent toujours advenir et sont, dès lors, traduites en pourcentage de perte de récolte.

Résultats et discussions

Comme expliqué dans le chapitre précédent, les résultats produits lors de cette étude considèrent beaucoup de scénarios différents et tentent ainsi de modéliser un large éventail de possibilité pour mieux comprendre les possibles avantages du modèle d'île de la ferme :

- Trois légumes différents avec des systèmes racinaires différents (+/- d'accès à l'eau du sol)
- Trois pluviométries différentes
- Deux scénarios de remontées d'eau par capillarité en période de stress hydrique

De toutes ces combinaisons et modélisations, voilà les principaux résultats de cette étude :

1. L'eau de pluie et la réserve d'eau du sol (sols saturés en eau après les pluies du printemps) sont capable de remplir seuls (donc sans remontés par capillarité) une grande partie des besoins en eau des trois légumes lors d'années humides (2021) et moyennes (tableau 1, ligne verte). Néanmoins, les résultats obtenus en année de sécheresse (2022) ont montré que les trois cultures étaient sujettes à un stress hydrique fatal sans aucun nouvel apport en eau par capillarité ou irrigation artificielle (ligne jaune). Puisque les épisodes de sécheresse comme celui de 2022 vont se répéter dans les années à venir du fait du dérèglement climatique, ce premier résultat supporte encore davantage la pertinence du modèle d'île de la ferme du Bec Hellouin comme solution contre les pertes de récoltes liées au manque d'eau.
2. Lorsque les remontées d'eau par capillarité sont ajoutées au modèle comme nouvel apport en eau, les déficiences décrites ci-dessus sont grandement diminuées pour les trois cultures. En année humide et moyenne, les stress hydriques restants sont complètement annulés et l'île comme espace de culture se montre capable d'assurer une récolte abondante sans besoin d'irrigation (ligne bleue). Néanmoins, ce sont les années sèches qui rendent ce modèle d'île intéressant et les résultats incluant les remontés par capillarité pour ces années-là restent plus incertains :
 - Rappelons que nos trois cultures souffraient de stress hydriques fatals si la pluie était la seule source d'eau disponible pour leur croissance lors d'années sèches (ligne jaune).
 - Lorsqu'un apport maximal par capillarité (voir chapitre précédent) vient remplir la réserve d'eau du sol, les résultats indiquent que tout le besoin en eau des cultures est rempli. Toutefois, la modélisation des remontées par capillarités est complexe, et les flux calculés sont remplis d'incertitudes. C'est pourquoi il est important de nuancer ces résultats plutôt optimistes.
 - Considérant un apport minimal par capillarité en année sèche (donc le « pire » des scénarios), l'île se montre capable d'assurer la survie des cultures de haricot et maïs sans irrigation artificielle. Traduit en pertes de récoltes, un apport minimal par capillarité permet de passer de 100% de pertes (mort des cultures par stress hydrique) à 15% et 5% pour le haricot et le maïs respectivement, sans aucun nouvel apport en eau (ligne rouge). Les résultats obtenus pour le chou, par ailleurs, montrent que cette culture subit toujours un stress hydrique fatal en année sèche malgré un apport d'eau minimal par capillarité. Les pertes de récolte pour le chou restent dès lors de 100% si aucune eau n'est amenée par irrigation (ligne rouge).

Ces résultats montrent une grande variabilité entre les types de cultures et leur résistance à la sécheresse. La culture de maïs semble être la plus résistante, suivi par le haricot puis le chou. Ces différences sont expliquées par la variabilité des profondeurs de racines de ces trois plantes qui influence leur accès à l'eau stockée dans le sol ainsi qu'aux remontées par capillarité. Le maïs ayant un système racinaire pouvant atteindre 1m de profondeur après 50 jours d'enracinement aura un accès

à l'eau bien plus important que le chou n'atteignant qu'une profondeur deux fois moindre (50cm) après 90 jours. Néanmoins, il est important de noter que cette étude présuppose que les cultures atteignent leur profondeur racinaire maximale. Or, l'expression de la profondeur de racine d'une culture dépend grandement de son environnement et un sol trop compact ou une nappe phréatique variant trop grandement risquent de diminuer la profondeur réelle des racines et ainsi la résistance à la sécheresse d'une plante.

Les résultats de l'étude démontrent donc que le système d'île utilisé à la ferme du Bec Hellouin permet de prévenir les pertes de récolte en année humide et moyenne sans irrigation grâce à la proximité de l'eau et les remontées capillaires par la nappe phréatique peu profonde. Ce système prouve aussi sa pertinence en années sèches car même un minimum de remontées par capillarité assure la survie de deux de nos cultures. Néanmoins, les pertes de cultures estimées restent conséquentes et vont jusqu'à 100% de perte pour le cas des choux (mort par assèchement). Ainsi, il semble judicieux d'irriguer sporadiquement en période de grande sécheresse pour éviter de trop grands stress hydriques et, donc, de trop grosses pertes de récolte. Deux ou trois applications avec de longs intervalles en milieu et fin de période estivale (au moment où les plantes transpirent le plus et la réserve d'eau du sol a bien été épuisée) suffiront à diminuer les risques et ne demanderont pas beaucoup d'effort. De plus, la proximité de la mare permet la « splash irrigation » pratiqué dans les Chinampas consistant simplement à prendre de l'eau directement de la marre pour l'appliquer en surface⁴. Garder de longs intervalles entre les applications permettra d'optimiser le processus de capillarité car un sol plus sec induit davantage de remontées (grande différence de potentiel matriciel du sol)⁵.

Pour finir, il est important de discuter le postulat initial de cette étude supposant une nappe phréatique à niveau constant à 1.7m sous le niveau du sol durant l'entièreté de la saison de culture. En réalité, le niveau d'eau dans le sol fluctue en fonction des saisons (plus ou moins de précipitations) et de la quantité d'eau remontant par capillarité pour irriguer les cultures. Une nappe phréatique fluctuante entraîne donc une possibilité de nappe trop basse pour une optimisation du processus de capillarité, mais plus grave encore, un danger d'engorgement du sol et donc d'asphyxie des cultures en année humide surtout. Le challenge est donc de maîtriser la profondeur de nappe en fonction des saisons et, ici encore, le modèle d'île est intéressant. En effet, les observations de terrain ont montrés que le niveau d'eau du sol sur l'île répondait très rapidement au changement de niveau d'eau de la mare (car petite surface circulaire de 120m²). Ainsi, en adaptant le niveau de la mare, on adapte aussi le niveau de la nappe et ainsi l'accessibilité à l'eau. Il est suggéré de garder un niveau relativement haut en début de saison car les racines sont petites. Par après, le niveau de la mare peut diminuer en avançant dans la saison pour stimuler un enracinement plus profond des cultures et diminuer les risques d'engorgement⁵.

Tableau 1 – synthèse des résultats chiffrés pour différents scénarios

Culture	Pluviométrie	Scenario de remontées par capillarité	Stress hydrique fatal	Stress hydrique (mm)	Pertes de récoltes
Haricot	Année moyenne	Pas de capillarité	/	56.4	9.8 %
		Minimum	/	7.75	0.4%
	Année sèche	Pas de capillarité	jour 83	/	/
		Minimum	/	33.32	14.5%
Chou	Année moyenne	Pas de capillarité	/	49.2	5.2%
		Minimum	/	5.12	0.1%
	Année sèche	Pas de capillarité	Jour 77	/	/
		Minimum	Jour 84	/	/
Mais	Année moyenne	Pas de capillarité	/	11	0.1%
		Minimum	/	/	/

	Année sèche	Pas de capillarité	Jour 92	/	/
		Minimum	/	15.14	4.9%

Conclusion

Pour conclure ce rapport, les résultats de l'étude menée en automne 2022 sur la petite île de la ferme du Bec Hellouin confirme l'hypothèse de recherche et montrent que ce modèle de culture est intéressant pour diminuer les besoins en irrigation et accroître la résistance à la sécheresse. Grâce à la nappe phréatique peu profonde de l'île, les trois cultures étudiées restent pleinement productives en année humide et moyenne. Toutefois, en année sèche, quelques irrigations de surface permettent d'assurer la survie des cultures à long développement et enracinement peu profond (chou).

Si l'accès à l'eau est suffisant sur un terrain (nappe phréatique généralement haute, rivière, lac ou marécage), cultiver des légumes au milieu de l'eau comme le faisaient les peuples d'Amérique Latine à l'époque précolombienne continue de porter tout son sens et fait un usage optimal et intelligent des processus physiques naturels du sol (remontée d'eau par capillarité) en terme d'irrigation. Si la pluie comme seule source d'eau venant remplir le réservoir du sol est insuffisante pour satisfaire les besoins d'une culture, un système d'île permet l'utilisation d'une nouvelle source (la nappe phréatique) évitant ainsi les pertes d'évaporation et de percolation profonde associés à l'irrigation par surface. Cependant, le phénomène de capillarité étant complexe et dépendant de beaucoup de facteurs physiques du sol (compaction, texture, teneur en matière organique), il est judicieux d'étudier son terrain et son sol (comme l'a fait cette étude) pour maximiser les chances de succès de ce type de système.

Références

- (1) Moene, A. F., & van Dam, J. C. V. (2014). Transport in the Atmosphere-Vegetation-Soil Continuum. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139043137>
- (2) Renard, D., Iriarte, J., Birk, J., Rostain, S., Glaser, B. & McKey, D. (2012). Ecological engineers ahead of their time: The functioning of pre-Columbian raised-field agriculture and its potential contributions to sustainability today. Ecological Engineering, 45, 30–44. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.007>
- (3) Guégan, S. (2014). Maraîchage biologique permaculturel et performance économique (Institut Sylva, Ed.). La Ferme du Bec-Hellouin. Retrieved January 13, 2023, from <https://www.fermedubec.com/wp-content/uploads/sites/8/2017/11/Janvier-2014-rapport-3-Etude-INRA-AgroParisTech-maraichage-biologique-permaculturel-et-performance-economique.pdf>
Et
- Guégan, S., & Léger, F. (2015). Maraîchage biologique permaculturel et performance économique (Institut Sylva, Ed.). La Ferme du Bec-Hellouin. Retrieved January 13, 2023, from <https://www.fermedubec.com/wp-content/uploads/sites/8/2017/11/Novembre-2015-rapport-5->
- (4) Crossley, P. L. (2004). Sub-irrigation in wetland agriculture. Agriculture and Human Values, 21(2/3), 191–205. <https://doi.org/10.1023/b:ahum.0000029395.84972.5e>
- (5) Ayars, J. E., Christen, E. W., Soppe, R. W., & Meyer, W. S. (2005). The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture: a review. Irrigation Science, 24(3), 147–160. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0003-y>



TAUX DE RETOUR ÉNERGÉTIQUE ET IMPACT CHANGEMENT CLIMATIQUE DE CÉRÉALES DE PAYS JARDINÉES - COMPARAISON AUX CULTURES DE CÉRÉALE À PAILLE EN AGRICULTURE CONVENTIONNELLE ET BIOLOGIQUE

INTRODUCTION

Nous avons eu le plaisir d'accueillir à la ferme Bastien POIRIER, étudiant à l'Institut Agro de l'Université de Rennes, et Hayo VAN DER WERF, son directeur de mémoire. La recherche de Bastien a mise en valeur un aspect intéressant de la culture des céréales jardinées : leur efficacité énergétique (Energy Return On Investment). Ces travaux nous ont appris que l'efficacité énergétique de notre seigle jardiné est actuellement pénalisée par la présence de tourbe dans le terreau de semis bio du commerce que nous utilisons. Nous avons depuis la lecture de ce rapport décidé de fabriquer notre propre terreau, ce qui permettra d'atteindre un rendement énergétique 22 fois supérieur : pour 1 calorie investie dans la culture du seigle jardiné, 75 calories seront récoltées.



Master 1^{ère} année, Mention Biologie, Agrosiences
Parcours Amélioration, Production, Valorisation du végétal (**M1 APVV**)

Année universitaire 2022-2023
RAPPORT SUR LE STAGE EFFECTUE PAR :
Bastien POIRIER

**Taux de retour énergétique et impact changement climatique de
céréales de pays jardinés - Comparaison aux cultures de céréale à
paille en agriculture conventionnelle et biologique**

Préparé à : Le Rheu, INRAE UMR BAGAP

Maîtres de stage : Joannon Alexandre, Marin Antoine, Van Der Werf Hayo (chercheurs)

Membres du jury : Laperche Anne, Carof Mathieu

Date de soutenance : Le 26 juin 2023

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

☒ Non ☐ Oui

si oui :

☐ 1 an

☐ 5 ans

☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du maître de stage ⁽²⁾ : Alexandre Joannon, le 15 juin 2023



A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant, à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur⁽³⁾ ----- **Poirier Bastien** -----

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) ☒ accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-BY-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : Bastien Poirier, le 15 juin 2023

Autorisation de diffusion par le responsable de la formation

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☐ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation de l'Institut agro et Université de Rennes 1 s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Je tiens à remercier mes maîtres de stage, Hayo VAN DER WERF, Alexandre JOANNON et enfin Antoine MARIN pour leur encadrement, leur curiosité intellectuelle ainsi que d'avoir soumis ce sujet de stage différent et si enrichissant ! Merci aussi pour les nombreuses relectures et vos avis qui m'ont permis de tirer ce travail vers le haut.

Je tiens aussi à remercier Antonin PEPIN, pour les données sur les ACV en systèmes maraîchers; Julie AUBERGER pour les questions techniques sur les modèles utilisés sur Means In Out et Simapro. Merci à Emily MIRANDA OLIVEIRA pour m'avoir aidé à utiliser les logiciels précédemment cités.

Merci aussi aux équipes de l'équipe BCRP, pour les temps conviviaux et les échanges constructifs ainsi qu'au personnel de l'UMR SAS. Et enfin un grand merci à Charles HERVE-GRUYER, pour son intérêt autour de thématiques permaculturelles comme celle des céréales jardinées, ainsi qu'au temps qu'il a pu nous consacrer le jour de notre visite avec Hayo.

Table des matières

Table des matières	1
Liste des abréviations et glossaire	2
Introduction	5
Matériel et Méthodes	13
A. L'ACV avec Means InOut, Simapro et Agribalyse	13
B. La ferme du Bec Hellouin et l'itinéraire technique	13
C. Limite et perspectives du scénario présenté	19
Résultats	20
A. Energies investies et énergies produites dans chaque système	20
B. Energy Return On Investment (EROI)	21
C. Impact changement climatique	22
Discussion	23
A. La tourbe	23
B. Les contributions blé biologique – conventionnel	24
C. L'EROI	24
D. Temps de travail et énergie humaine	25
Conclusion et perspectives	26
Bibliographie	28
Annexes	31
Résumé	33

Liste des abréviations

ACV	Analyse du Cycle de Vie
INRAE	Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement
Means	MulticritEria AssessmeNts of Sustainability
EROI	Energy Return On Invested
ICV	Inventaire de Cycle de Vie
GES	Gaz à Effet de Serre
GWP	Global Warming Potential

Glossaire

Simapro	Logiciel d'analyse du cycle de vie, créé en 1991
Ferme du Bec Hellouin	Ferme multi-production en agriculture biologique, selon des méthodes permaculturelles. Cette ferme est aussi un lieu d'expérimentation de l'INRAE et d'AgroParisTech
Impact changement climatique	Méthode d'analyse des émissions de gaz à effet de serre d'un inventaire de cycle de vie dans Simapro.
Céréales jardinées	Méthode manuelle non standardisée de production de céréales. Comparativement à des céréales en grande culture, le semis est plus précoce et la densité de pieds au mètre carré est beaucoup plus faible.

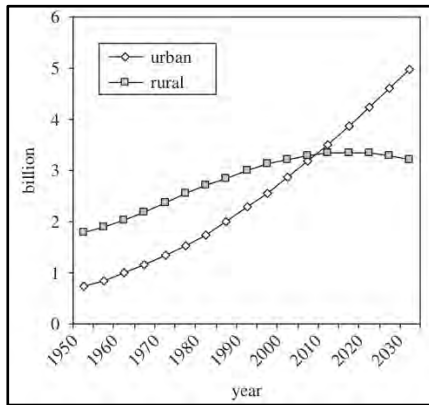


Figure n°1 : Population mondiale rurale (carré foncé) et urbaine (losange blanc) (en milliards d'habitants) entre 1950 et 2030 (J. Pretty et al., 2007).

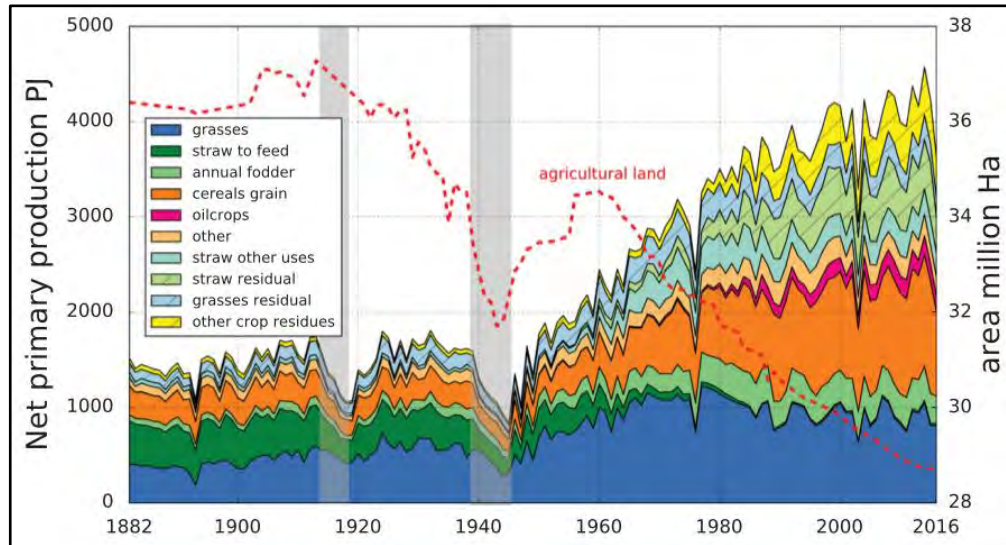


Figure n°2 : Evolution des productions agricoles mondiales (en PétaJoules) ainsi que des surfaces agricoles (en millions d'hectares) depuis 1882 (Harchaoui et Chatzimpiros, 2019)

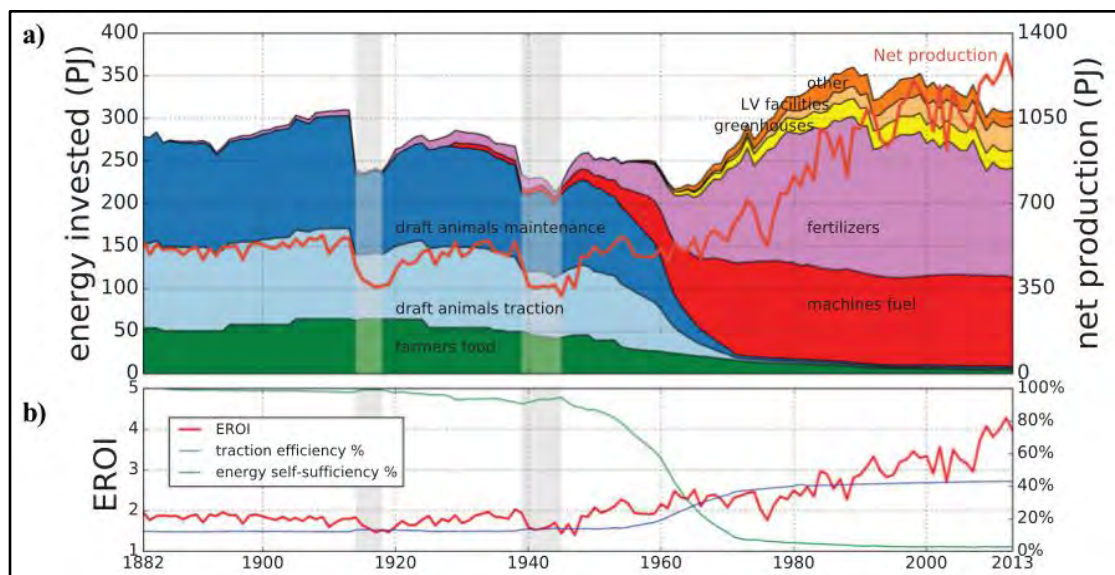


Figure n°3a et b : Évolution depuis 1882 de (a) l'énergie consommée et production nette (en PétaJoules) pour l'agriculture et de (b) l'efficacité énergétique, de traction ainsi que l'autonomie énergétique en % (Harchaoui et Chatzimpiros, 2019).

Introduction

Contexte du rapport

L'industrialisation à la fin de la seconde guerre mondiale a transformé l'agriculture occidentale. Les premières conséquences ont été la forte hausse des rendements, notamment via l'augmentation de la mécanisation ainsi que l'utilisation des intrants de synthèse, avec le procédé Haber-Bosch. Ce procédé a été une révolution au vingtième siècle car il a permis de convertir l'azote atmosphérique en azote assimilable directement par les plantes, l'ammoniac (NH_3) (N. Pelletier et al., 2011). Cette hausse de la productivité a permis une augmentation de l'urbanisation (J. Pretty et al., 2007), réduisant le nombre de travailleurs dans les campagnes (**Fig.1**). La hausse d'utilisation des intrants de synthèse a aussi fortement augmenté les consommations d'énergies. La population mondiale a été multipliée par cinq alors que les surfaces cultivées ont augmenté de 67% (Harchaoui et Chatzimpiros, 2019) (**Fig.2**).

Dans les approches d'analyse des systèmes telle que l'analyse du cycle de vie (ACV), on distingue les énergies directes et indirectes. Les énergies directes sont celles consommées directement pour produire, comme le carburant des engins agricoles (N. Pelletier et al., 2011). A l'inverse, les énergies indirectes sont celles nécessaires à la production d'intrants dans le système qu'on analyse, comme celle nécessaire à la production des engrais de synthèse (Janzen et al., 1999 cité par Zentner et al., 2011).

L'un des indicateurs pour quantifier l'efficacité énergétique d'un système est l'EROI : Energy Return on Investment, ou TRE : Taux de Retour Énergétique. Ce rapport des énergies produites sur les énergies consommées permet de quantifier l'efficacité énergétique du système (N. Pelletier et al., 2011; Harchaoui et Chatzimpiros, 2019). Avant 1950, l'agriculture française produisait de quoi alimenter la population non-agricole avec un EROI de 2 avec une énergie entièrement directe. Aujourd'hui, l'EROI a doublé à quatre, et l'énergie consommée est pour moitié indirecte (**Fig. 3a et b**) (engrais de synthèse, alimentation importée pour le bétail) (Harchaoui et Chatzimpiros, 2019). Les résultats d'EROI contemporains varient entre 2,5 et 4,5 (**Fig. 4**) selon qu'on amortisse les engins agricoles sur 10 ou 30 ans ainsi que les technologies de production énergétique (Pellegrini et Fernandez, 2018). Aujourd'hui, cette productivité caractérise les systèmes agricoles industriels, qui nécessitent de hauts niveaux d'intrants (Kulak et al., 2015). L'embargo des pays arabes sur le pétrole dans les années 1970 a été le premier déclencheur mettant en évidence le risque économique de la fragilité d'accès aux ressources énergétiques (N. Pelletier et al., 2011).

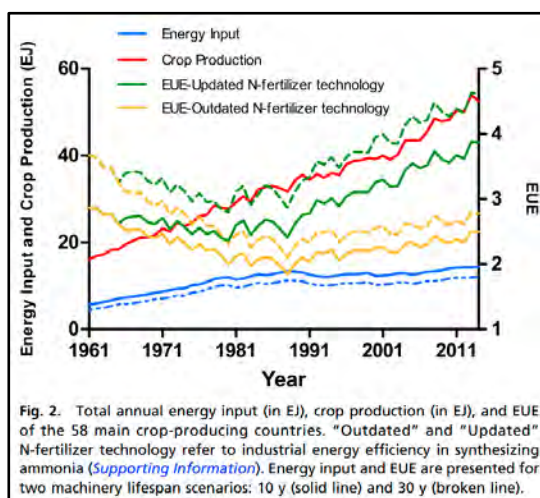
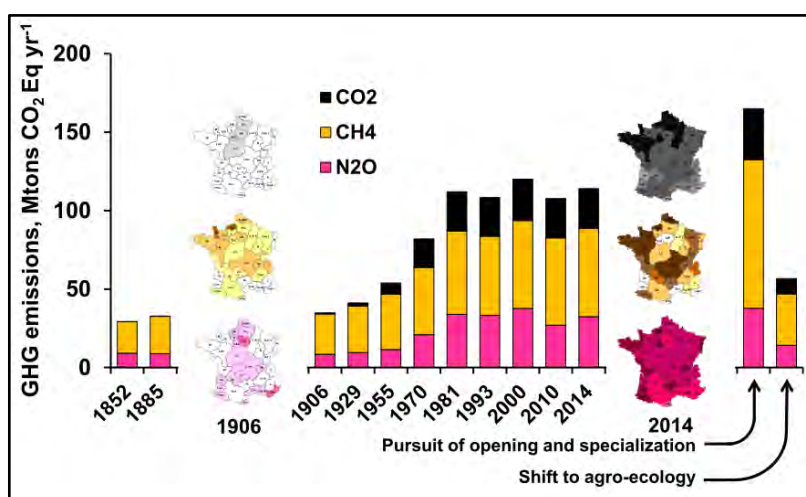


Figure n°4 : Évolution de l'EUE (Energy Use Efficiency), des consommations et productions d'énergies (en EJ) depuis 1961. Les lignes pointillées amortissent le matériel agricole sur 30 ans au lieu de 10 ans (ligne continue). Les lignes vertes représentent l'EUE mis à jour des engrais azotés (Pellegrini et Fernandez, 2018)

Figure n°5 : Evolution des émissions de GES (en Mégatonnes eq.CO₂ par an) depuis 1852, en France (J. Garnier et al., 2019)



L'intérêt porté aux recherches sur l'énergie dans l'agriculture n'est apparu que dans les années 1960, alors qu'il s'agit d'un système consommateur et producteur d'énergie (HT Odum (1967), cité dans Harchaoui et Chatzimpiros, 2019). Ces consommations d'énergies impliquent aussi des émissions de gaz à effet de serre (GES). A l'échelle mondiale, l'agriculture représente plus de 10% des émissions de GES (Carranza et al., 2018; J. Garnier et al., 2019; N. Pelletier et al., 2011). Pour Biswas et al (2018), 50% des GES émis en blé conventionnel sont dus aux engrais industriels (cité dans l'article de Carranza et al., 2018). En France, l'agriculture a multiplié par quatre ses émissions de GES depuis 1852 (**Fig. 5**)(J. Garnier et al., 2019). Les pays développés sont les plus émetteurs de GES (N. Pelletier et al., 2011). Ces émissions sont dues à la transformation des systèmes avant-guerre peu productifs mais autonomes en une agriculture industrielle productive où l'autonomie énergétique est passée de 100% au début du XIXème siècle à moins de 5% dans les années 1980 (**Fig. 3b**)(Harchaoui et Chatzimpiros, 2019).

Cependant, il est à noter que l'agriculture à l'échelle mondiale est encore très majoritairement constituée de fermes familiales. Plus de 75% des 1,3 milliards de paysans travaillaient encore manuellement en 2005 et seulement 2% ont un tracteur (E. Biénabe et D. Sautier, 2005; C. Gruffat, 2022). L'industrialisation au XIXème siècle d'une faible part des paysans pose aujourd'hui des questions d'autonomie énergétique, alors que la plupart des paysans travaillent à l'aide d'outils manuels. C'est dans ce contexte d'autonomie énergétique dans le domaine agricole que ce stage s'inscrit.

État des lieux des connaissances scientifiques sur le sujet

Afin de limiter la consommation d'énergie dans l'agriculture, plusieurs leviers existent. Parmi eux, les pratiques telles que celles utilisées en agriculture biologique permettent de diminuer les consommations d'énergie indirecte sur les exploitations, via la non-utilisation des intrants de synthèse (Megan M. Gregory et al., 2005; Verdi et al., 2022). Cependant, la plus faible consommation d'énergie est à remettre en perspective avec le rendement qui est plus faible en agriculture biologique qu'en conventionnel (Verdi et al., 2022). La présence de légumineuses dans les rotations réduit indirectement les émissions de GES, car elles (associées à des bactéries *Rhizobium*) fixent l'azote de l'air qui sera ensuite disponible, réduisant ainsi la quantité d'azote à apporter (Liu et al., 2016 cité dans l'article de Carranza et al., 2018). Cependant, plus d'énergie directe est consommée dans un système en agriculture biologique par rapport à un système conventionnel, notamment le pétrole qui représente plus des $\frac{2}{3}$ des émissions de GES en agriculture biologique, contrairement à moins d' $\frac{1}{3}$ en conventionnel (Carranza et al., 2018).

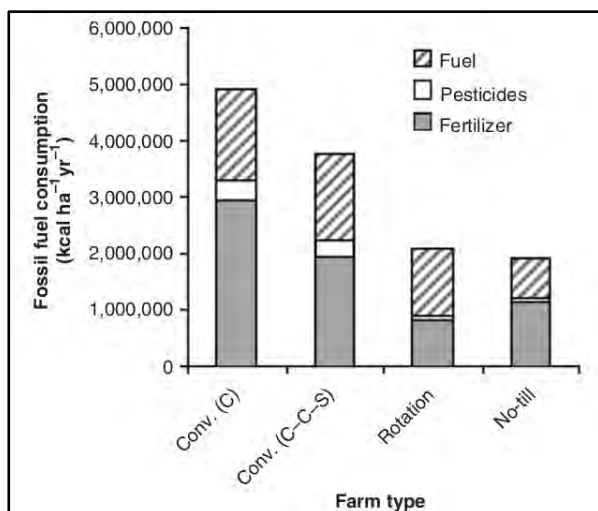


Figure n°6 : Consommation d'énergies fossiles (en kcal/ha/an) en agrosystèmes conventionnel (C : Maïs et C-C-S : Maïs – Maïs - Soja), rotation (Maïs – Soja – Avoine – Luzerne – Luzerne - Luzerne) et sans labour (Maïs - Soja) en 2003 (Megan M. Gregory et al., 2005)

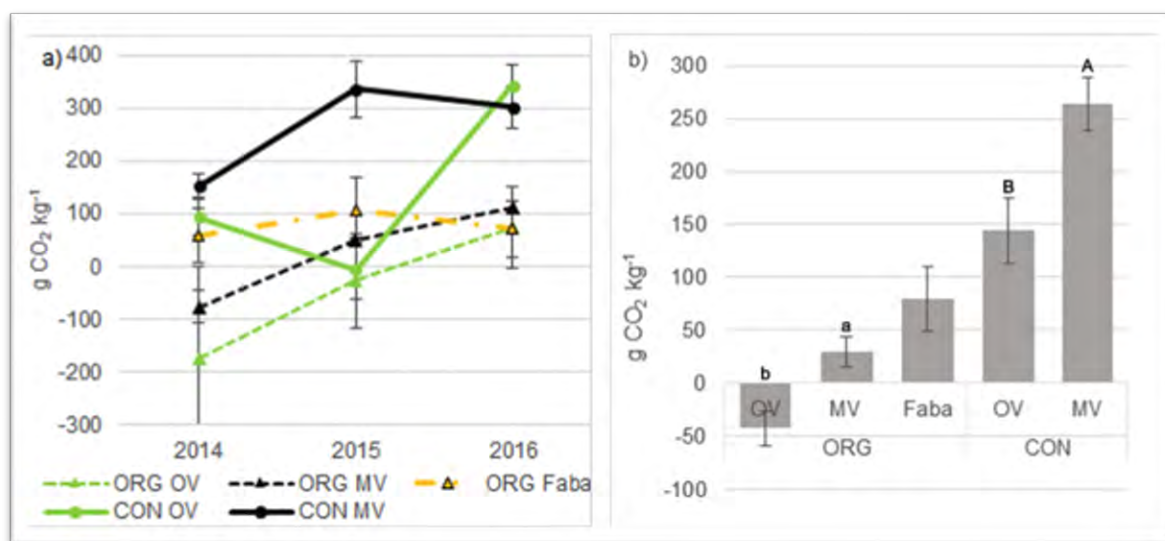


Figure n°7a et b : Emissions de GES (en g de CO₂.kg⁻¹) pour (a) chacune des 3 années étudiées (2014, 2015 et 2016) et (b) pour la moyenne des 3 années. OV = Old Varieties; MV = Modern Varieties; ORG = Organic farming; CON = Conventional farming; Faba = Faba beans (Carranza et al., 2018).

La réduction du travail du sol via le non-labour permet de réduire la consommation d'énergie directe via la diminution de la consommation de carburant (**Fig. 6**) (Zentner et al., 2011, N. Pelletier et al., 2011; Megan M. Gregory et al., 2005). Plusieurs études présentent des utilisations d'énergie et un impact carbone plus faible pour un kg de blé biologique par rapport à un kg de blé conventionnel (Nemecek et al., 2011; Williams et al., 2006 cités par M. Kulak et al., 2015). Mélanger des plantes annuelles et pérennes en agriculture biologique dans un système prairial est plus efficace en termes d'utilisation énergétique (Zentner et al., 2011).

L'équipe *Biologie Cultivée et Recherche Participative (BCRP)* de l'*Unité Mixte de Recherche Biodiversité AGroécologie et Aménagement du Paysage (UMR BAGAP)* de l'*Institut National de Recherche en Agroécologie (INRAE)*, s'intéresse à restaurer la biodiversité cultivée, notamment pour les céréales. Cette biodiversité sous forme de variétés de pays ou populations, présente des multiples intérêts. Les variétés de pays sont des populations de plantes qui ont des propriétés distinctes, mais manquent d'améliorations formelles issues de la sélection (selon Villa et al., 2005 cité par M. Kulak et al., 2015). Selon B. Rolland (2012), les variétés populations de blé ont disparu des surfaces françaises au fur et à mesure que les variétés de sélection, plus productives, sont apparues avec les agriculteurs sélectionneurs, comme Desprez, Vilmorin... Ainsi en 2012 en France, dix variétés de blé couvraient 45% des 5 millions d'hectares de blé tendre (données FranceAgriMer, citées par B. Rolland et al., 2012). Selon plusieurs auteurs (Belluci et al., 2013; Ceccarelli et Grando, 2000), cités dans l'article de Carranza et al., (2018), les variétés de pays sont une source de résilience dans un contexte de changement climatique. Pour le blé, les semences de pays ont aussi de plus faibles émissions de GES (**Fig. 7**) ainsi que de demande en intrants (Lammerts van Bueren, Migliorini Boukid, Fatholahi, cités par Verdi et al., 2022). Les paysans qui utilisent des semences de pays, le font majoritairement pour des raisons d'adaptation à leur environnement (V. Chable et E. Serpolay, 2016). Cette biodiversité cultivée ne correspond pas aux critères DHS, par définition (*Distinction Homogénéité Stabilité*). L'hétérogénéité intra-spécifique permet d'assurer la forte adaptabilité de la culture aux stress externes (biotiques et abiotiques), cependant il existe une variabilité sur les critères tels que la valeur nutritive ou encore les rendements (A. Marin & A. Joannon, travaux en cours). D'autres critères tels que la vigueur de départ ainsi que la date de maturation du grain ne sont pas homogénéisés comme pour une variété moderne.

La ferme du Bec Hellouin est un site agricole multi-production (légumes, céréales, fruits...) mais aussi d'expérimentation de connaissances qui souhaite (à travers l'exemple) produire beaucoup sur une faible surface sans avoir recours à la mécanisation, c'est-à-dire cultiver sans pétrole (programme de recherche Sylva, 2019-2025).

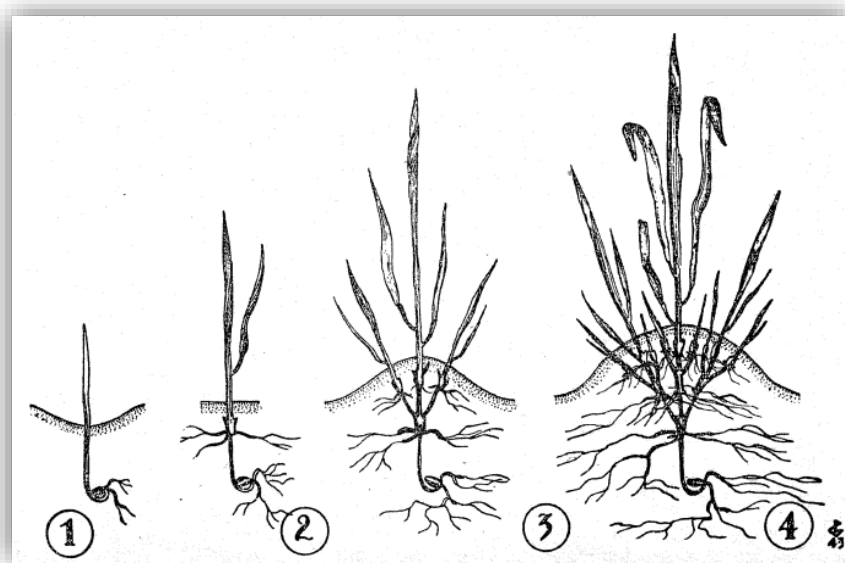
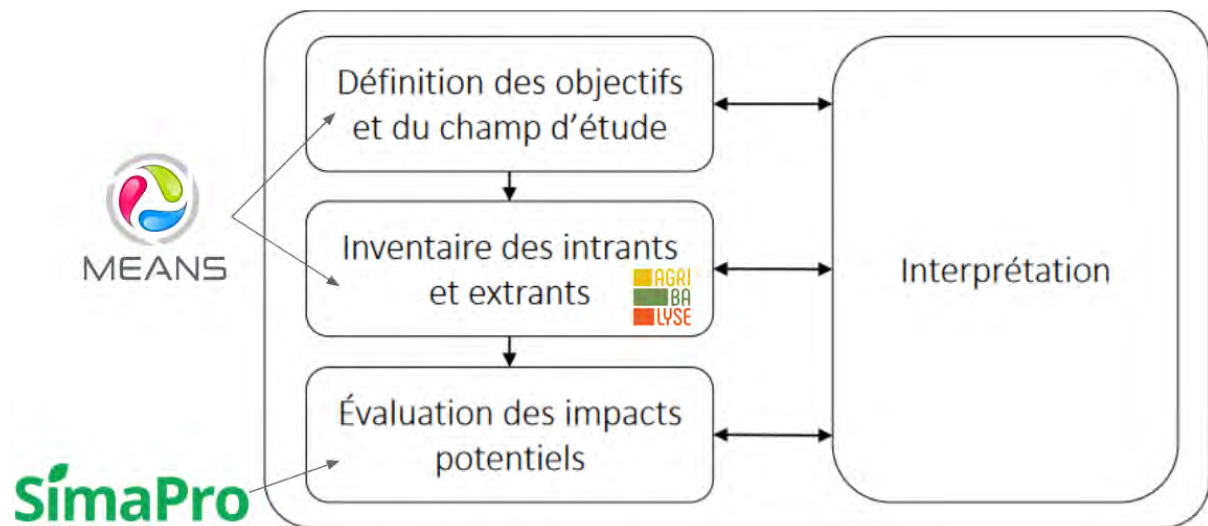


Figure n°8 : Étapes du développement d'une céréale jardinée. 1 = Germination après semis dans en creux; 2 = première talle; 3 = début des sarclages assurant le tallage; 4 = Dernier buttage optimisant le tallage (P. Sauvageot et Grillot, 1943).

Les céréales jardinées ont fait leurs preuves dans plusieurs régions du monde (Asie, Egypte...) quant à leur productivité (J. Pousset, 2008). Selon P. Sauvageot et P. Grillot (1943), les rendements en céréales jardinées cultivées sur de petites surfaces pouvaient dépasser les 100 quintaux par hectare en théorie du fait d'un fort tallage. Marc Bonfils, qui a développé une méthode s'approchant des céréales jardinées, s'est inspiré des travaux de Masanobu Fukuoka sur le riz (M. Fukuoka, 1975). Les céréales jardinées sont pratiquées selon différentes méthodes, selon le contexte pédoclimatique. Les grands principes sont un semis plus tôt (début d'été), une densité extrêmement faible et l'optimisation du tallage (**Fig. 8**). Selon Marc Bonfils, l'installation d'un couvert permanent de trèfle blanc permet de limiter la pression des adventices et d'alimenter la céréale en azote (M. Bonfils, 1986). La ferme du Bec Hellouin a toujours orienté ses recherches sur l'autonomie. Le programme "céréales jardinées", débuté en 2020, a pour objectif de tester la faisabilité (temps et énergie au travail) d'une production manuelle de céréales sur une petite surface pour contribuer à l'autonomie alimentaire d'une famille. Une comparaison avec des itinéraires techniques mécanisés classiques de céréales permettrait de quantifier l'impact de la mécanisation sur l'efficacité énergétique des systèmes. Ainsi, nous étudierons l'efficacité énergétique de céréales de pays jardinées, avec un itinéraire technique manuel, complètement différent des itinéraires techniques classiques de céréale. Il n'existe pas à ce jour de publication scientifique récente sur le sujet, la plupart de mes lectures sur le sujet datent d'avant 2000. Ce travail permet donc de documenter les résultats sur l'itinéraire technique des céréales jardinées mis en place à la ferme du Bec Hellouin.

Objectifs et question de recherche

D'abord on cherche à connaître l'EROI de la culture manuelle de seigle de pays, puis de savoir dans quelle mesure la production jardinée affecte les émissions de GES. Le troisième objectif est de comparer ces données à des références sur une céréale moderne, le blé, qui est bien référencé (base de données Agribalyse). On cherche donc à caractériser l'efficacité énergétique d'un système de production de céréales de pays jardinées en agriculture biologique et à comparer ces résultats à des systèmes de production de céréales mécanisés (bio et conventionnels) référencés. L'approche de cette étude est systémique : on compare des systèmes qui ont des itinéraires techniques cohérents, pour lesquels on ne peut pas dissocier les effets induits par la semence, la fertilisation, ou encore le travail du sol. Pour cela, nous allons créer un scénario à l'aide de la plateforme INRAE Means (<https://means-refonte.hub.inrae.fr/>), pour renseigner l'itinéraire technique et calculer les émissions de GES d'un seigle de pays jardiné à la ferme du Bec Hellouin puis utiliserons le logiciel d'ACV Simapro, afin de calculer les EROI et l'impact changement climatique de ce scénario.



Jolliet et al., 2016

Figure n°9 : Les 4 étapes de l'analyse du cycle de vie accompagnées des logiciels et base de données utilisés (traduit de Jolliet et al., 2016)



Figure n°10 : Vue aérienne du site de la vallée de la ferme du Bec Hellouin

<https://www.fermedubec.com/la-ferme/les-jardins/>

Matériel et Méthodes

A. L'ACV avec Means InOut, Simapro et Agribalyse

L'analyse du cycle de vie est une méthode d'analyse des systèmes régie par un cadre méthodologique (normes ISO 14040 (principe et cadre) et ISO 14044 (exigences et lignes directrices)). L'ACV se segmente en quatre étapes (**Fig. 9**). La première est la définition du champ et des objectifs de l'étude, à l'aide de l'unité fonctionnelle (UF). Elle permet de donner la fonction du système pour renseigner l'inventaire du cycle de vie (ICV), pour comparer des systèmes avec les mêmes fonctions. L'inventaire comprend les entrées et sorties du système, du début à la fin de la production des grains de seigle de pays. Le logiciel Means InOut v4.1 a été conçu pour générer les inventaires de cycle de vie des systèmes de production agricole et pour calculer les flux de substances polluantes et les consommations de ressources liées à ce système. L'ICV produit est ensuite importé dans le logiciel d'ACV SimaPro v9.4.0.2 afin de faire les différentes analyses : énergétique (Cumulative Energy Demand v1.11), d'émission de GES (méthode IPCC GWP 100 v1.01). Cette dernière étape décrite précédemment est l'évaluation des impacts potentiels. Ces méthodes sont largement utilisées pour les systèmes alimentaires dans une perspective de chaîne d'approvisionnement (N. Pelletier et al., 2011). Agribalyse 3.0.1 est une base de données de référence des indicateurs d'impacts environnementaux des produits agricoles et alimentaires produits et consommés en France (data.gouv.fr). Ces données sont des inventaires de cycle de vie (ICV), issus d'un programme de recherche entre l'ADEME et l'INRAE fondés sur la méthode d'ACV. De cette base de données ont été choisis un blé conventionnel moyen français (représentatif des pratiques entre 2005 et 2009) et un blé biologique médian (en terme d'émissions de GES) choisi entre 18 cas types de systèmes (représentatif des pratiques entre 2010 et 2015). De ces analyses, à partir des données recueillies au Bec Hellouin et d'Agribalyse 3.0.1, nous avons pu réaliser la quatrième étape qui est l'interprétation des résultats.

B. La ferme du bec Hellouin et l'itinéraire technique

La ferme du Bec Hellouin est située dans l'Eure (Haute-Normandie) dans un site en fond de vallée classée Natura 2000 (**Fig. 10**). Le sol est très peu profond, limoneux et très anthropisé, car de nombreux apports de matière organique ont été effectués depuis leur installation en 2005. Les productions sont diversifiées, l'objectif est de créer un paysage comestible, résilient et harmonieux. On y retrouve une forêt jardin, des jardins en agroforesterie, une serre (600 m²), des planches plates et un jardin en mandala (800 m²). Le projet céréales jardinées de l'institut sylva est en phase de lancement, depuis 2020. L'institut sylva est une association loi 1901 qui a été créée pour soutenir les recherches à la ferme du Bec Hellouin.



→ *Figure n°11 : La campagnole en action (à gauche) et en position de transport (à droite)*



→ *Figures n°12 et 13 : Vue de la parcelle des céréales jardinées au Bec Hellouin*

Une surface de 300m² est dédiée aux céréales jardinées. Les outils à disposition sont des outils manuels. Pour le travail du sol il y a la campagnole (**Fig. 11**) et la houe piémontaise (**Fig. 16**), pour les récoltes, les faucilles, une batteuse à bras pour le battage des épis et enfin la tarare pour le vannage des grains. La parcelle se situe au bord d'un plan d'eau, le terrain est plat, en fond de vallée. Depuis le début du projet de recherche (2019) la parcelle comporte des céréales de pays jardinées. Il y a des populations de blé, d'épeautre, d'engrain et de seigle (que nous étudions). Selon Marc Bonfils (enregistrement audio d'un cours de 1986), la céréale est une plante améliorante (par sa biomasse racinaire et aérienne) qui ne nécessite pas de rotation : pour son expérimentation, les rendements ont augmenté au fur et à mesure des années, résultant de cette propriété améliorante. Cette logique est conservée au Bec Hellouin.

Le projet céréales jardinées

Les céréales jardinées présentent un itinéraire technique totalement différent des céréales mécanisées. *“Les céréales sont semées tôt en saison (fin d'été), les grains sont plantés un à un ou repiqués avec un fort espacement. Ils sont ensuite sarclés, comme des cultures légumières. L'enfouissement de la base des plants favorise le tallage, c'est-à-dire l'émission de nouvelles tiges. Un seul grain peut alors donner naissance à des dizaines d'épis”* (programme de recherche Sylva, 2019-2025). L'un des objectifs du Bec Hellouin sur ce projet est de créer une population spécifique adaptée à la culture jardinée, afin de la diffuser gratuitement ensuite aux jardiniers. Selon les travaux de Joseph Pousset, la densité des céréales jardinées est de l'ordre des six pieds par mètre carré, soit un tous les 30cm avec des rangs espacés de 40 à 50 cm (*Agriculture Naturelle*, 2008). Les travaux de Marc Bonfils sont plus extrêmes quant à la densité, car on se situe autour des trois pieds par mètre carré, soit des pieds espacés de 60 cm dans un couvert permanent de trèfle blanc (Cours de M. Bonfils, 1986, enregistrement audio).

L'itinéraire technique du Bec Hellouin, pour 100 m²

Toutes les informations dans cette partie sont issues du programme de recherche à la Ferme du Bec Hellouin, rédigé par A. Marin et A. Joannon (2021). Les mini-parcelles font environ 7 à 15 mètres de long pour 1 mètre de large (**Fig. 12** et **13**). Il y a 2 ou 3 répétitions et l'échantillonnage se fait sur trois zones par répétition (2 à 5 mètres entre les zones). Les seigles ne sont pas les seules céréales jardinées sur la parcelle. L'objectif initial de ce stage était de comparer différents itinéraires techniques pour une même espèce, les blés. Les résultats du blé jardiné n'étant pas satisfaisants (prédation des oiseaux), on a décidé de prendre comme cas d'étude les populations de seigle de pays. Selon les données du réseau GAB/FRAB, un blé et un seigle obtiennent sensiblement les mêmes rendements moyens en agriculture biologique en Bretagne (35 q/ha).

→ Figure n°14 : Sarclage des céréales jardinées
<https://www.fermedubec.com/blog/automne-a-la-ferme/>



→ Figure n°15 : Plants de seigle qui seront ensuite repiqués



→ Figure n°16 : Buttage des céréales jardinées



Figure n°17 : Fertilisation à l'aide de fumier pailleux ←



Semis

Le semis se fait à partir du 20 août et les plants se développent durant 21 jours jusqu'au repiquage mi-septembre. Le substrat est composé de 10% de sable, de 40% de compost auto-produit ainsi que de 50% de terreau, acheté (**Annexe n°1**). Les variétés de seigle utilisées sont un mélange de seigles de pays de différentes origines : *Duault* (département 22), *Du Bec* (département 11), *du Tarn* (de l'association Graine de Noé) et *Petkus* (département 22).

Préparation du sol

Le travail du sol est superficiel, à l'aide de la campagnole (**Fig. 11**), un outil manuel à dent. Ce travail du sol intervient juste avant le repiquage des céréales, à la mi-septembre. Cette préparation du sol permet la destruction de l'interculture (lupin) qui faisait office de couvert et de désherbage avant l'implantation des céréales. A contrario de la méthode Bonfils, le couvert n'est pas permanent. Dans son ouvrage, J. Pousset n'évoque même pas la notion de couvert pour le sol (Agriculture naturelle, 2008).

Repiquage

Le repiquage a lieu à la main, ou à l'aide d'une houe environ à la mi-septembre. On retrouve en moyenne 14 plants de céréale (**Fig. 15**) au mètre carré, soit environ 15 fois moins qu'un semis de blé tendre, suggéré entre 220 et 250 plants/m² (chambre régionale d'agriculture de Normandie). Cette faible densité est en partie justifiée par le fait que "*La mauvaise herbe la plus redoutable pour le blé, c'est le blé lui-même*" (Vilmorin-Andrieux, 1880). Cette étape de repiquage favorise le développement de racines complémentaires, et donc de talles (P. Sauvageot et Grillot, 1943). Les céréales sont plantées dans les creux de sillons, à la manière d'une culture de pommes de terre.

Sarclage, puis buttages

Durant la croissance des céréales, deux sarclages à la houe entre les rangs ont lieu (**Fig. 14**) afin de limiter la présence d'adventices, puis deux buttages (**Fig. 16**) pour favoriser le développement de racines complémentaires, ce qui favorise le tallage (**Fig. 8**) de la même manière que le repiquage (P. Sauvageot et Grillot, 1943).

Fertilisation

À la mi-mars, environ 15 t/ha de fumier de cheval pailleux est épandu sur la surface cultivée, à la main (**Fig. 17**) ou à l'aide d'une fourche. Ce dernier est laissé en surface.

Récolte + semis de l'interculture

La moisson et le semis de l'interculture ont lieu en une seule fois, autour du 15 juillet.

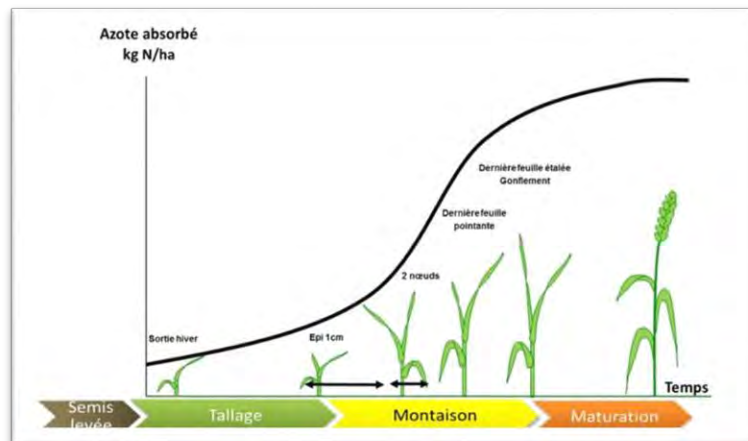


Figure n°18 : Demande en azote du blé selon son développement (Issu d'arvalis)

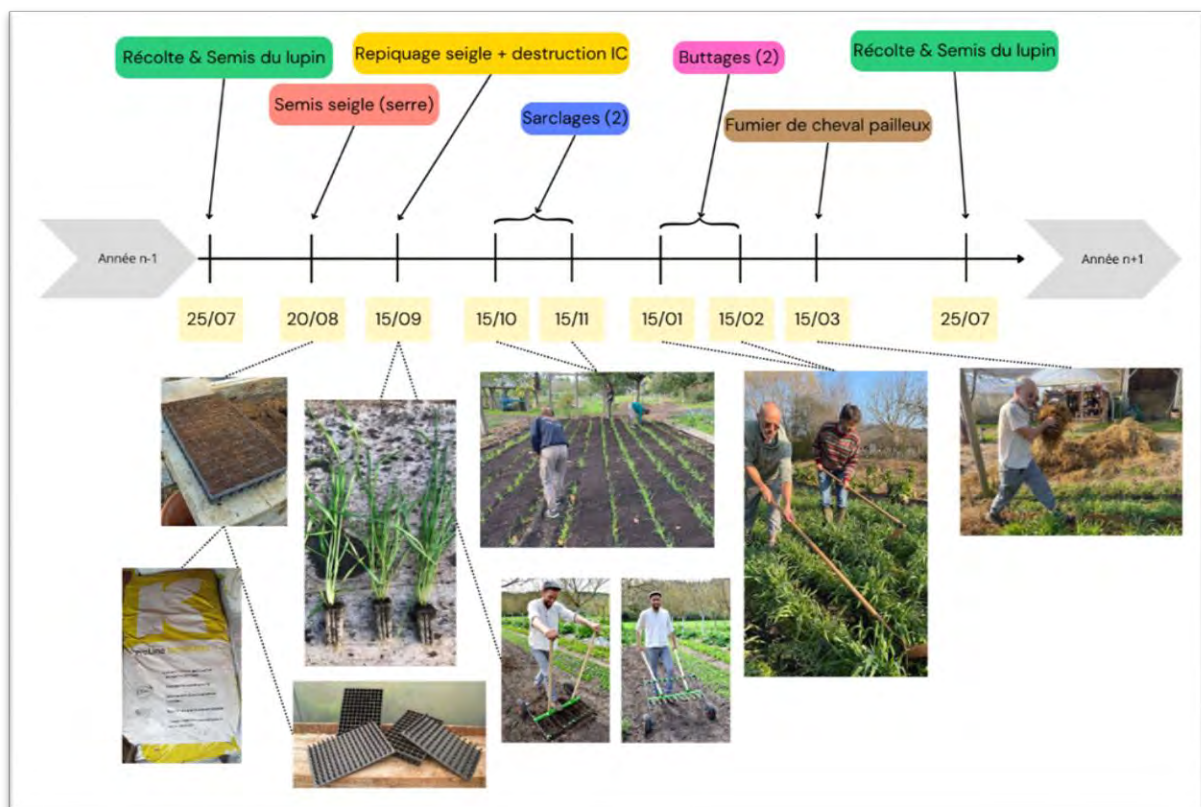


Figure n°19 : Vue d'ensemble de l'itinéraire technique du seigle jardiné au Bec Hellouin

*IC = Inter-culture (ici, le lupin)

C. Limites du scénario présenté

Ce scénario de seigle jardiné correspond à un itinéraire technique peu commun, pour lequel le nombre de références récentes est faible et pour lequel le logiciel Means InOut n'est pas adapté/optimisé. En effet, plusieurs ajustements ont été nécessaires durant la description de l'itinéraire technique sur le logiciel. Concernant les travaux manuels, il a été nécessaire d'indiquer un passage d'outil (mécanisé) à chaque fois dans l'objectif de refléter les effets sur la dynamique de l'azote notamment. De plus, l'itinéraire technique analysé dans ce rapport est un cas moyen, issu des expérimentations depuis 2020 sur la ferme du Bec Hellouin. Les dates des opérations (semis, repiquage, fertilisation...) sont donc moyennes et dépendent notamment des conditions météorologiques. Les rendements indiqués ici sont la moyenne de celles des différentes populations de seigle lors de la meilleure année (2020-2021). À savoir, que selon Charles Hervé Gruyer (paysan à la ferme du Bec Hellouin), les seigles cette année devraient obtenir des rendements similaires à ceux de l'année modèle (6.92 tonnes par hectare sur l'année 2020-2021).

Dans le cas de cet itinéraire technique, les semis se font dans des plaques en polystyrène puis sont repiqués en pleine terre après 21 jours. Afin d'approcher au mieux la réalité, nous avons fait le choix d'indiquer dans le logiciel Means InOut un semis en pleine terre à la date du semis en plaque afin que le modèle IPCC 2006 utilisé pour estimer les émissions des différentes substances azotées (NO_3 , NH_3 , N_2O , NO) soit adapté au moment du repiquage. L'absorption en azote par la culture dans les trois premières semaines est négligeable (**Fig. 18**). Ce modèle est aussi celui employé pour les ICV des blés Agribalyse. Concernant les résultats des émissions, nous avons fait le choix d'allouer 90% des émissions au grain et seulement 10% à la paille, qui actuellement n'est pas valorisée, mais pourrait l'être.

Les émissions en kg eq.CO_2 associés à l'extraction et la minéralisation future de la tourbe ont été calculées à l'aide d'une table (**Annexe II**), ainsi que de la composition détaillée en tourbe du terreau utilisé (**Annexe I**). Enfin, après avoir observé les résultats de l'analyse de contribution en demande énergétique pour le seigle jardiné, il a été décidé de créer un deuxième inventaire de cycle de vie de seigle "éco conçu" pour lequel on n'utiliserait pas de terreau (contenant 75% de tourbe). Toutes les données (rendement, fertilisation...) sont identiques au premier inventaire de cycle de vie de seigle jardiné. Nous y reviendrons en discussion. Enfin, pour calculer l'EROI, on a obtenu la quantité d'énergie par kg de grain sur le logiciel Means InOut et nous l'avons ensuite divisé par la somme des énergies investies par kg de grain à l'aide de la méthode Cumulative Energy Demand, sur Simapro.

Résultats

A. Energies investies et énergies produites dans chaque système

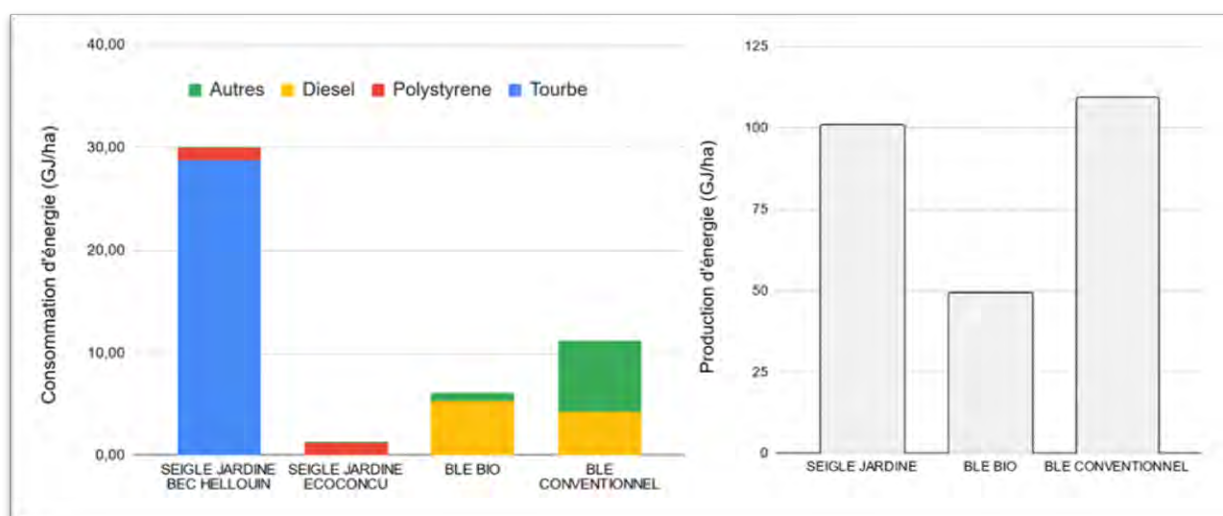


Figure n°20 a et b : Histogrammes (en GJ/ha) pour 4 scénarios de production de céréales (a) Analyse de contribution des consommations d'énergie et (b) productions énergétiques. (Table détaillée Annexe III)

Ici, (**Fig. 20a**) on compare les consommations d'énergie de chaque système et on analyse les contributions respectives. Les plaques en polystyrène et la tourbe sont des intrants propres à l'itinéraire technique des céréales jardinées. À l'inverse, les autres intrants sont propres aux blés. On remarque premièrement que la tourbe pour les plants de seigle nécessite énormément d'énergie (environ 28 GJ/ha), comparativement à des consommations d'énergie en blé qui ne dépassent pas les 11 GJ/ha. L'itinéraire technique de seigle "éco conçu" met en évidence la très faible consommation d'énergie du seigle jardiné si l'on n'emploie pas de tourbe pour la production des plants.

Maintenant, quand on s'intéresse aux processus, on remarque la contribution importante du diesel à l'utilisation d'énergie des blés, elle est légèrement plus importante pour le blé bio que le blé conventionnel, alors que le seigle n'en nécessite pas. Le blé conventionnel consomme quasiment deux fois plus d'énergie que le blé bio.

Ces différences de consommation sont à mettre en perspective avec la production (**Fig. 20b**) des quatre systèmes. Cet écart de consommation d'un facteur deux précédemment énoncé entre le blé bio et conventionnel est ici justifié par une production énergétique qui suit la même tendance : le blé conventionnel produit deux fois plus d'énergie par unité de surface que le blé biologique. Enfin, la production énergétique du seigle jardiné est comparable à celui du blé conventionnel (données moyennes de l'année 2020-2021).

B. Energy Return On Investment (EROI)

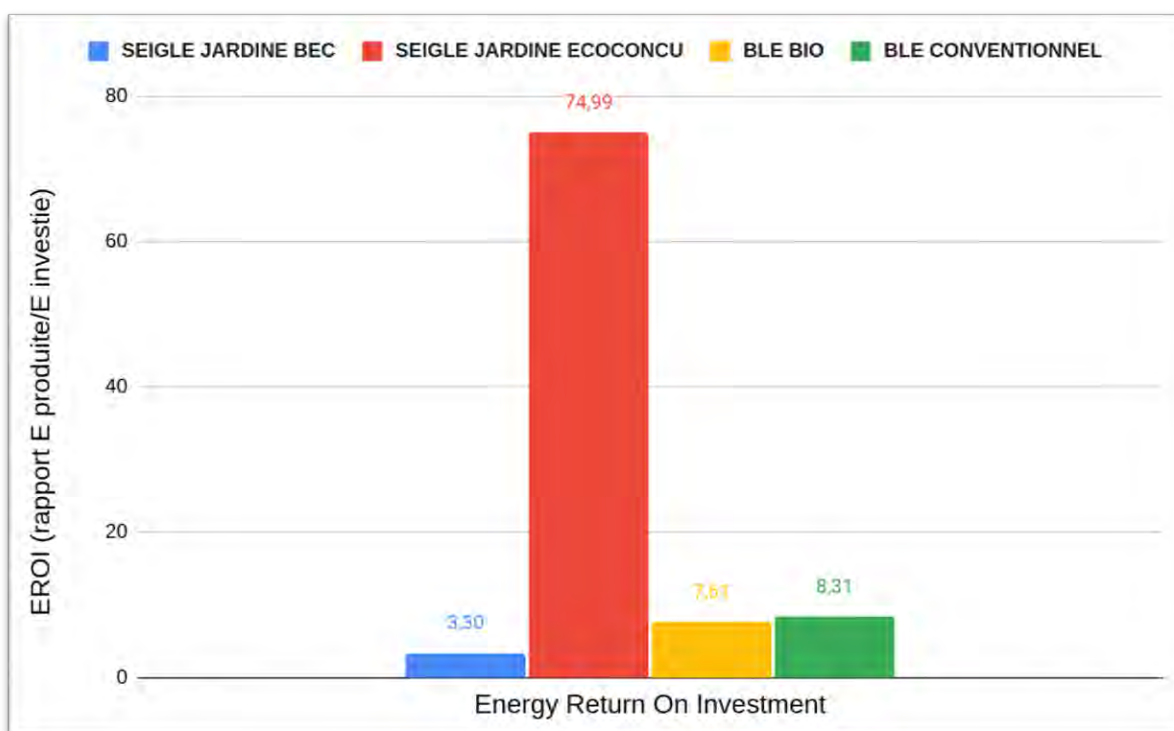


Figure n°21 : Energy Return On Investment (EROI) des 4 systèmes de production : Le seigle jardiné pratiqué au Bec Hellouin, le seigle jardiné “éco conçu” (sans tourbe), le blé bio et le blé conventionnel (Table détaillée **Annexe IV**).

Ici, on compare les EROI qui représentent donc le rapport entre les énergies produites et les énergies investies dans le système. Premièrement, il est important de rappeler que la seule différence entre l’itinéraire technique des deux seigles jardinés est la présence (en bleu) ou l’absence (en rouge) de la tourbe. L’efficacité énergétique est multipliée par 22 lorsqu’on enlève cet intrant. De plus, l’EROI du seigle “éco conçu” (75) est environ dix fois plus importante que celle des blés bio et conventionnels (autour de 8) qui sont mécanisés.

L’EROI du blé conventionnel est légèrement supérieur à celui du blé en agriculture biologique. L’itinéraire actuel de seigle de pays jardiné au Bec Hellouin présente un EROI plus de deux fois inférieur aux blés biologiques et conventionnels.

C. Impact changement climatique

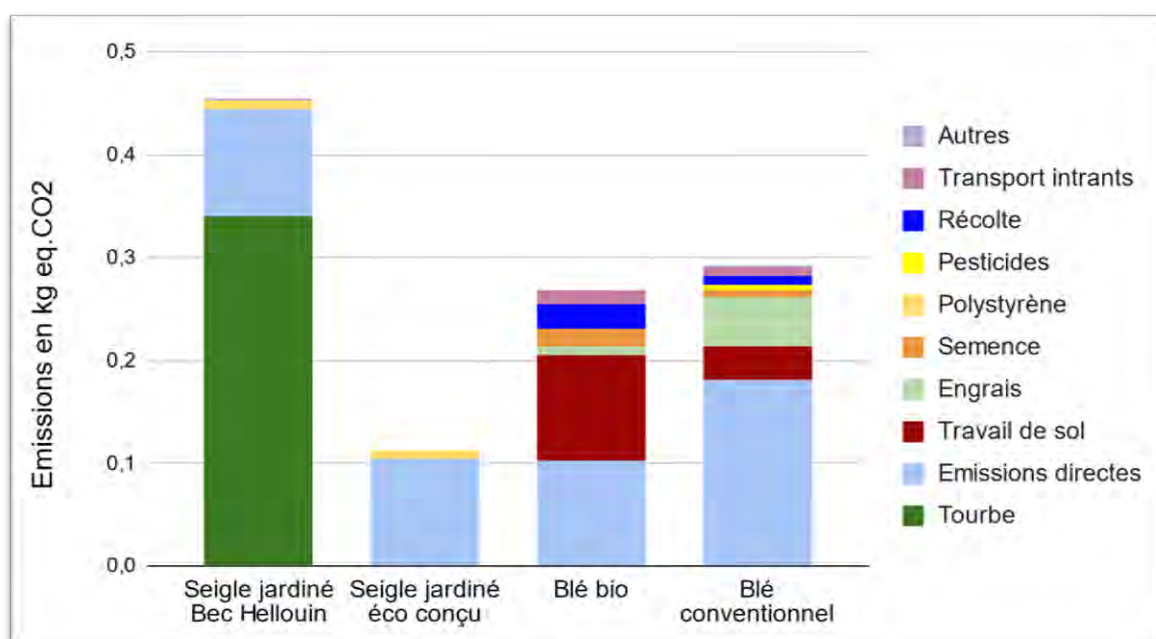


Figure n°22 : Analyse de contribution de l'impact changement climatique pour les quatre systèmes en kg eq.CO₂ pour 1 kg de grain (Méthode IPCC 2021 v1.01) (Table détaillée **Annexe V**).

Ici, on compare les différents systèmes sur leur impact changement climatique, dépendant des émissions directes et indirectes. Les émissions directes sont liées à la mise en place de la culture (minéralisation du à la fertilisation, émissions dues aux travaux de sol...) alors que les émissions indirectes sont l'ensemble des émissions produites en amont de la production sur la parcelle (carburant et tracteur pour les travaux, la synthèse des engrais...). De la même manière que pour la consommation d'énergie (**Fig. 20a**), il existe une tendance des émissions entre les itinéraires techniques, du plus faible au plus émetteur : seigle jardiné "éco conçu", blé bio, blé conventionnel et enfin seigle jardiné du Bec.

La tourbe contribue le plus, avec environ 0,34 kg eq.CO₂ par kg de grain de seigle produit (**Annexe V**). L'utilisation de tourbe multiplie par quatre les émissions de GES, on passe de 0,12 à 0,45 kg eq.CO₂ par kg de grain entre les deux systèmes. Les premiers contributeurs communs sont les émissions directes. Cependant, ce poste représente plus de 85% pour le seigle jardiné "éco conçu" alors qu'il n'en représente que 42% pour le blé bio et moins de 23% pour le seigle jardiné du Bec Hellouin. On remarque aussi que les émissions en agriculture biologique sont plus reliées au travail du sol comparativement au blé conventionnel, qui a plus d'émissions de GES directes ainsi que celles reliées aux engrais de synthèse. On remarque par ailleurs que l'utilisation des pesticides en agriculture conventionnelle n'augmente que très peu les émissions de GES (environ 1,5% des émissions totales).

Discussion

A. La tourbe

Il a été mis en évidence que la tourbe contribuait fortement à la consommation d'énergie dans le système en seigle jardiné mis en place à la ferme du Bec Hellouin, à notre grand étonnement. En effet, elle est considérée dans le cadre de l'analyse du cycle de vie comme une énergie non renouvelable, au même titre que le pétrole utilisé pour créer le diesel. La consommation d'énergie propre à la tourbe est donc en partie due à l'extraction de cette dernière mais surtout à son contenu en énergie. Cette tourbe est présente en quantité non négligeable dans le substrat pour produire les plants. Cependant, elle n'est probablement pas indispensable à la production des plants, et donc des grains de seigle.

Proposer un second itinéraire technique sans terreau (donc sans tourbe) dans le substrat met en évidence le potentiel de gain énergétique (visible notamment **Fig. 21**). De plus, même si la quantité de grain produite était divisée par deux en l'absence de tourbe, l'EROI serait tout de même grandement supérieur aux EROI des blés conventionnels et bios.

Cet itinéraire technique de seigle de pays jardiné nécessite 3,17 tonnes/ha de tourbe par année (de production). Cette tourbe est de la matière organique qui se minéralise sur le temps long. Selon Schmidt et al. (2011), le temps de résidence moyen est de l'ordre de 50 ans et ce n'est qu'au bout d'environ 260 ans qu'on a minéralisation totale. Cependant, dans l'objectif d'évaluer un inventaire de cycle de vie reproductible tous les ans, l'intégralité du carbone contenu dans la tourbe sera attribuée à la production du seigle jardiné, et donc amorti sur une seule année.

L'un des avantages du processus industriel de production des terreaux (incluant ou non de la tourbe) est sa stérilisation. En effet, le temps de travail en maraîchage est précieux, et c'est en partie pour cette raison que les maraîchers n'utilisant pas de désherbant ont recours à des terreaux stérilisés. Le temps de travail humain que le désherbage des plants nécessite est important. A raison d'une seconde par plant de blé, il faudrait déjà compter plus de 38 heures pour un hectare !

D'un point de vue écologique, les tourbières sont des puits de carbone. Dans l'objectif de réduire les émissions de GES, il est primordial de conserver ces habitats naturels (sixième rapport du GIEC, 2023). Il n'est pas durable pour un système agricole qui souhaite l'autonomie d'utiliser de la tourbe, puisque l'itinéraire technique manuel avec tourbe est plus émetteur en GES que les itinéraires techniques mécanisés de blé biologique et conventionnel.

B. Les contributions blé biologique - conventionnel

Conformément à la littérature (Williams et al., 2009; cité par J. Woods et al., 2010), la demande énergétique pour du blé biologique (**Fig. 20a**) est majoritairement le diesel pour les travaux agricoles, relativement au blé conventionnel pour qui le diesel ne représente que 20% de la demande énergétique. La demande énergétique pour la fertilisation du blé conventionnel dépasse les 50%, alors que ce poste ne représente que 10% pour l'agriculture biologique. C'est dû à la synthèse des engrais industriels, qui consomment beaucoup d'énergie à la production (**Fig. 3a**, Harchaoui et Chatzimpiros, 2019).

Ce même article présente les types d'énergies nécessaires à la production de blé et elles sont à 90% émettrices de GES, si l'on compte les énergies nucléaires et renouvelables comme décarbonées. Les besoins en pétrole sont respectivement de 30 et 70% pour un blé conventionnel et un blé biologique, tout en sachant que l'EROI du pétrole est en baisse depuis le début de son utilisation au vingtième siècle (P. Servigne et R. Stevens, 2015).

En 2020, l'institut technique de l'agriculture biologique a publié un article questionnant la pertinence de la méthode d'analyse du cycle de vie pour Agribalyse v3.0. Les impacts ACV sont rapportés aux kilos produits, en d'autres termes : au rendement. Cela privilégie, par construction, les systèmes intensifs. Ainsi, l'accroissement des rendements est souvent présenté comme une manière de pouvoir diminuer les impacts rapportés aux kilos produits. Cependant l'agriculture biologique permet de fournir d'autres services comme la biodiversité ou une réduction de l'utilisation de substances toxiques. Une des perspectives d'améliorations serait donc de prendre en compte d'autres indicateurs environnementaux en plus de l'indicateur d'impact changement climatique, tels que ceux contenus dans la méthode EF 3.0 v1.03 sur Simapro : eutrophisation, toxicité humaine et écotoxicité.

C. L'EROI

Les résultats d'EROI obtenus (**Fig. 21**) en agriculture biologique et conventionnelle sont conformes à ce qu'on peut retrouver dans la littérature. Selon Smith et al. (2014), le blé a un EROI entre 2,4 et 17,4 en agriculture conventionnelle et entre 3,2 et 16,5 en agriculture biologique. Le calcul de l'EROI est dépendant du rendement, ce qui veut dire que les blés en agriculture biologique sont défavorisés car les rendements sont inférieurs (Verdi et al., 2022). Cependant, l'EROI d'un blé bio est relativement identique à celui d'un blé conventionnel car il y a moins de consommation d'énergie associées aux engrais, plus utilisés en conventionnel.

Concernant l'EROI du seigle jardiné, il n'existe pas à ce jour de bibliographie. Nos résultats permettent donc de documenter et d'apporter des éléments de discussion et d'amélioration à l'itinéraire technique. L'utilisation de la tourbe divise par 22 l'EROI, ce qui en fait un résultat environ deux fois inférieur aux blés biologiques et conventionnels. A la suite de ces résultats, il est nécessaire de questionner l'intérêt agronomique de la tourbe dans le mélange. L'année qui a suivi celle utilisée pour les résultats, les seigles de pays ont été semés plus tard (fin octobre) en pleine terre sans repiquage et donc sans tourbe, ni plastique. Les rendements ont tout de même été d'environ 30 quintaux par hectare. Même si les rendements sont plus faibles, si les consommations d'énergie sont proche de 0, on peut donc imaginer une efficacité énergétique prometteuse.

D. Temps de travail et énergie humaine

L'élément manquant de cette étude pour rendre compte (ou non) de l'efficience énergétique du seigle de pays jardiné est l'énergie humaine investie dans le système. Un travail ultérieur sera réalisé pour prendre en compte cette variable, on peut néanmoins dès maintenant en exposer les limites éventuelles.

Un premier travail d'estimation du besoin en temps de travail et donc d'énergie humaine a été réalisé pour comparer des systèmes mécanisés (en agriculture biologique et conventionnelle) à un itinéraire technique de céréales jardinées (travail en cours). Le premier constat est que la mécanisation permet des économies d'échelle en temps de travail de l'ordre de 1 pour 1000. Un hectare de seigle jardiné nécessite donc environ 1000 fois plus de temps de travail humain qu'un hectare de blé mécanisé. L'énergie correspondante reste à quantifier.

Dans le cadre de la ferme du Bec Hellouin, l'objectif d'autonomie des céréales jardinées n'est pas que pour l'autonomie énergétique, mais aussi pour l'autonomie alimentaire. Or, dans le cadre d'une ACV, si l'alimentation du (ou des) paysan(s) est autoproduite sur la ferme, la contribution énergétique humaine ne devrait pas contribuer énormément. Les travaux de Séveris et al. (2022) mettent en évidence la variation de consommation énergétique selon le type d'alimentation, entre un régime carné et un végétarien. De plus, une alimentation en circuit-court sur la ferme permettrait aussi de réduire les émissions de GES liées à cette consommation d'énergie.

Conclusions & perspectives

La présente étude a permis d'analyser l'efficacité énergétique du système de seigle de pays jardiné de la ferme du Bec Hellouin puis de le comparer à deux systèmes de blé mécanisé de la base de données Agribalyse. L'ensemble des résultats s'accorde sur le fait que le système de seigle de pays jardiné actuel est moins performant que les blés de référence énergétiquement (consommation d'énergie, l'EROI) et que l'impact changement climatique est plus élevé, à cause de la présence de tourbe dans le terreau.

Il semble pertinent de mettre en place un système de seigle jardiné sans tourbe, au vu des résultats énergétiques et d'émissions de GES. Cette année, les céréales jardinées ont été semées fin mai dans l'objectif de récolter l'année prochaine, afin de maximiser le développement de la céréale avant l'hiver. Cette pratique est sans repiquage, donc sans intrants. Les céréales de pays semées cette année ont été sélectionnées sur leur comportement tardif, car il est important que la floraison n'ait pas lieu avant l'hiver. Une autre méthode de riziculture sans pétrole appelée Système Riziculture Intensive (SRI) se développe dans les pays émergents (Madagascar, Népal...). Cette méthode applique le jardinage des céréales (repiquage, sarclage) mais les plants de riz sont semés dans des mini pépinières en pleine terre (environ 2 m² pour 100 m²) et les rendements peuvent être significativement plus importants qu'en conventionnel, malgré une faible densité (Khadka et al., 2014).

Afin d'étudier l'efficacité énergétique des systèmes, le temps de travail et l'énergie humaine devront être pris en compte dans une version ultérieure de ce travail. L'intérêt serait de mettre en évidence la contribution de l'énergie humaine dans un système sans pétrole. On peut dès à présent dire qu'un hectare de seigle de pays jardiné nécessitera plus de temps de travail (et donc d'énergie humaine) qu'un hectare de blé conventionnel, mécanisé. Maintenant, si l'on imagine une alimentation interne à la production du ou des paysans, les résultats seraient intéressants.

Une autre perspective sur laquelle s'intéresser est la semence, car les céréales de pays sont ressemées sur la ferme, chaque année. Les mélanges de populations s'adaptent chaque année au contexte pédoclimatique de la ferme du Bec Hellouin. Il serait intéressant de prendre en compte dans l'analyse du cycle de vie les émissions de GES et consommations d'énergies propres à la filière complète de production de pain par exemple, comme dans l'article de M. Kulak et al. (2015). L'intérêt d'une analyse plus complète permettrait de remettre en question notre système alimentaire globalisé, dépendant des énergies non-renouvelables.



*Seigle jardiné à la ferme du Bec Hellouin, cette année, à droite : Charles Hervé-Gruyer.
(Photographie du 07/06/2023)*

Bibliographie

Articles scientifiques

- ➔ BIENABE, Estelle, SAUTIER, Denis, 2005. The role of small-scale producers' organisations in addressing market access. *Beyond Agriculture – making markets work for the poor: proceedings of an international seminar*. 69-85. https://www.researchgate.net/publication/51992917_The_role_of_small_scale_producers%27_organizations_to_address_market_access
- ➔ CARRANZA-GALLEGO, G., GUZMAN, G.I., GARCIA-RUIZ, R., GONZALEZ DE MOLINA, M., AGUILERA, E., 2018. Contribution of old wheat varieties to climate change mitigation under contrasting managements and rainfed Mediterranean conditions. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 195, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.188>
- ➔ CHABLE, Véronique, SERPOLAY, Estelle, 2016. Recherche multi-acteurs et transdisciplinaire pour des systèmes alimentaires bio et locaux. *Techniques de l'ingénieur*, ref AG103.
- ➔ GARNIER, Josette, LE NOE, Julia, MARESCAUX, Audrey, SANZ-COBENA, Alberto, LASSALETТА, Luis, SILVESTRE, Marie, THIEU, Vincent, BILLEN, Gilles, 2019. Long-term changes in greenhouse gas emissions from French agriculture and livestock (1852-2014) : From traditional agriculture to conventional intensive systems. *Science of the Total Environment*. Vol. 660, 1486-1501. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.048>
- ➔ GREGORY, Megan M., SHEA, Kathleen L., BAKKO, Eugene B., 2004. Comparing agroecosystems : Effects of cropping and tillage patterns on soil, water, energy use and productivity. *Renewable Agriculture and Food Systems*. Vol. 20, n°2, 81-90. DOI 10.1079/RAF200493
- ➔ HARCHAOU, Souhil, CHATZIMPIROS, Petros, 2019. Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882-2013. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 23, n° 2, 412-425. DOI 10.1111/jiec.12760
- ➔ KHADKA, Ram B., ACHARYA, Hari P., UPHOFF, Norman, 2014. Performance of landrace and improved rice varieties under the system of rice intensification management in bajhang district of nepal. *The Journal of Agriculture and Environment* Vol:15

- ➔ KULAK, Michel, NECEMEK, Thomas, FROSSARD, Emmanuel, CHABLE, Véronique, GAILLARD, Gérard, 2015. Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 90, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.060>
- ➔ LEGER, François, WARLOP, François, 2019. Institut SYLVA. L'écoculture une agriculture naturelle et résiliente pour le monde d'aujourd'hui et de demain. Programme de recherche 2019-2025.
- ➔ PELLEGRINI, Pedro, FERNANDEZ, Roberto J., 2018. Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *PNAS* Vol. 115, 10 :2335-2340. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1717072115
- ➔ PELLETIER, Nathan, AUDSLEY, Eric, BRODT, Sonja, GARNETT, Tara, HENRIKSSON, Patrick, KENDALL, Alissa, JAN KRAMER, Klaas, MURPHY, David, NEMECEK, Thomas, TROELL, Max, 2011. Energy Intensity of Agriculture and Food Systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 36:223-246. DOI 10.1146/annurev-environ-081710-161014
- ➔ PRETTY, Jules, 2008. Agricultural sustainability : concepts, principles and evidence. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363, 447–465. DOI 10.1098/rstb.2007.2163
- ➔ ROLLAND, Bernard, LE CAMPION, Antonin, OURY, François-Xavier, 2012. Pourquoi sélectionner de nouvelles variétés de blé tendre adaptées à l'agriculture biologique ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*. n°62, 71-86.
- ➔ SCHIMDT, Michael W. I., TORN, Margaret S., ABIVEN, Samuel, DITTMAR, Thorsten, GUGGENBERGER, Georg, JANSSENS, Ivan A., KLEBER, Markus, KÖGEL-KNABNER, Ingrid, LEHMANN, Johannes, MANNING, David A. C., NANNIPIERI, Paolo, RASSE, Daniel P., WEINER, Steve, TRUMBORE, Susan E., 2011. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature* 478, 49–56. <https://doi.org/10.1038/nature10386>
- ➔ SEVERIS, Roni M., ALVARENGA, Julia F., SIMIONI, Flavio J., ALVARENGA, Rodrigo A. F., SOARES, Sebastião, 2022. Life cycle assessment of the human energy expenditure in mobility activities. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 27:301–315
- ➔ SMITH, Laurence G., WILLIAMS, Andian G., PEARCE, Bruce D., 2014. The energy efficiency of organic agriculture : A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*.1-20 doi:10.1017/S1742170513000471
- ➔ VERDI, L., DALLA MARTA, A., FALCONI, F., ORLANDINI, S., MANCINI, M., 2022. Comparison between organic and conventional farming systems using Life Cycle Assessment (LCA): A case study with an ancient wheat variety. *European Journal of Agronomy*. Vol. 141, 126638. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126638>

- ➔ WOODS, Jeremy, WILLIAMS, Adrian, HUGHES, John K., BLACK, Mairi, MURPHY, Richard. 2010. Energy and the food system. *Phil. Trans. R. Soc. B* Vol. 365, 2991–3006. doi:10.1098/rstb.2010.0172
- ➔ ZENTNER, R. P., BASNYAT, P., BRANDT, S. A., THOMAS, A. G., ULRICH, D., CAMPBELL, C. A., NAGY, C. N., FRICK, B., LEMKE, R., MALHI, S. S., FERNANDEZ, M. R., 2011. Effects of input management and crop diversity on non-renewable energy use efficiency of cropping systems in the Canadian Prairie. *European Journal of Agronomy*. Vol. 34, 113-123. DOI 10.1016/j.eja.2010.11.004

Interview

- ➔ Interview de Claude Gruffat, inf'OGM, écrit le 30/06/2022, retranscription consultée le 19/04/2023. <https://www.infogm.org/7456-gruffat-agriculture-biologique-au-coeur-du-combat-eurodepute>

Conférences

- ➔ Jean-Marc JANCOVICI. CO₂ ou PIB, il faut choisir. 2019. URL : www.youtube.com/watch?v=Vjkq8V5rVy0. Visionnée le 21/04/2023
- ➔ Marc BONFILS. Cours sur les céréales jardinées, enregistrement de 1986, consulté le 3/05/2023 lien : <https://jardinons.wordpress.com/2013/01/19/faire-un-max-de-ble-grace-a-la-permaculture-la-methode-fukuoka-bonfils/>
- ➔ Jean Marc JANCOVICI. Intervention à Grignon sur l'agriculture. 2023. URL : <https://youtu.be/ZUSWZhWgWWI>. Visionnée le 17/05/2023.

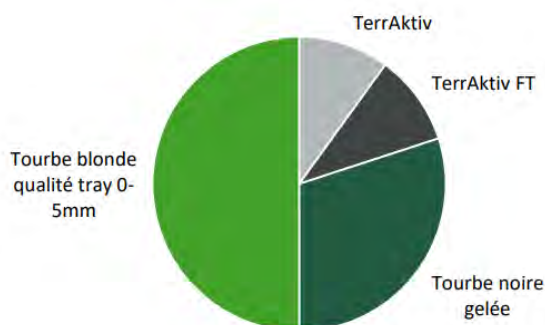
Ouvrages

- ➔ *Agriculture naturelle* (p 261-272) de Joseph POUSSET (2008)
- ➔ *La révolution d'un seul brin de paille* de Masanobu FUKUOKA (1975)
- ➔ *La culture familiale du blé, facteur de renaissance française* de Pierre SAUVAGEOT et Paul GRILLOT (1943).
- ➔ *Comment tout peut s'effondrer ?* (p 52-53) de Pablo SERVIGNE et Raphaël STEVENS (2015).

Autres rapports

- ➔ Rapport critique sur la pertinence des ACV des systèmes en AB de l'ITAB (décembre 2020) URL : [http://itab.asso.fr/divers/Note%20ITAB ACV%20&%20Agribalyse%2020201211_web.pdf](http://itab.asso.fr/divers/Note%20ITAB%20ACV%20&%20Agribalyse%2020201211_web.pdf)
- ➔ Synthèse de l'IPCC du sixième rapport du GIEC (2023). Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (AR6)
- ➔ Conseil de densité de semis du blé. Chambre d'Agriculture Normandie. <https://normandie.chambres-agriculture.fr/conseils-et-services/produire-thematiques/cultures/cereales/semis-des-cereales/>

Annexes



Annexe I : Composition du terreau utilisé pour les plants de céréale

(référence : Proline tray UAB 062).

<https://www.hortibreiz.com/produit/proline-tray-uab-recette-062/>

Annexe II : Calcul des émissions en kg eq.CO₂/kg de la tourbe

Nom	quantité (kg)	Teneur en C (g C/kg)	C dans la tourbe (kg)	Quantité de CO ₂ (kg)	Rendement (kg/ha)	Émissions en kg eq.CO ₂ /kg
Tourbe blonde	792,5	486,58	385,61	1413,92	6920	0,20
Tourbe noire	475,5	512	243,46	892,67	6920	0,13
Somme	1268		629,07	2306,59		0,33

Annexe III : Table de consommation énergétique cumulée (en GJ/ha)

	SEIGLE JARDINE BEC HELLOUIN	SEIGLE JARDINE ÉCO CONÇU	BLÉ BIO	BLÉ CONVENTIONNEL
Tourbe	28,70	0,00	0,00	0,00
Polystyrène	1,27	1,27	0,00	0,00
Diesel	0,00	0,00	5,30	4,27
Autres	0,08	0,08	0,78	6,95
Production d'énergie	101,02	101,02	49,26	109,29

Annexe IV : Table d'efficacité énergétique, calcul de l'EROI

	SEIGLE JARDINE BEC HELLOUIN	SEIGLE JARDINE ÉCO CONÇU	BLÉ BIO	BLÉ CONVENTIONNEL
Energie produite (MJ)	101020	101020	49259	109294
Rendement (kg/ha)	6920	6920	3200	7100
E produite (MJ/kg)	14,61	14,61	15,39	15,39
Énergie investie (MJ/kg)	4,42	0,195	2,024	1,851
EROI	3,30	74,99	7,61	8,3149

Annexe V : Table des émissions de GES (en kg d'éq.CO₂ par kg de grain)

	Seigle jardiné Bec	Seigle jardiné éco conçu	Blé conventionnel	Blé bio
Tourbe	0,3407	0	0	0
Emissions directes	0,104	0,1042	0,1810	0,1033
Travail de sol	0	0	0,0333	0,1021
Engrais	0	0	0,0481	0,0079
Semence	0	0	0,0063	0,0185
Polystyrène	0,0085	0,0085	0	0
Pesticides	0	0	0,0044	0
Récolte	0	0	0,0099	0,0229
Transport intrants	0	0	0,0088	0,0142
Autres	0,0006	0,0006	0,0001	0
Total	0,454	0,118	0,282	0,246

Bastien POIRIER, 2023.- Taux de retour énergétique et impact changement climatique de céréales de pays jardinés - Comparaison aux cultures de céréales à paille en agriculture conventionnelle et biologique

Master APVV 1^{ère} année, mention BA, Amélioration, Production, Valorisation du végétal, Institut Agro Rennes - Université de Rennes

INRAE Domaine de la Motte au Vicomte BP 35327 35653 LE RHEU CEDEX

RESUME

Nos ressources en énergies non renouvelables s'épuisent alors que notre agrosystème occidental est plus que jamais dépendant aux énergies fossiles (tracteurs, engrais industriels...). Nous devons nous interroger sur les rendements énergétiques des systèmes alimentaires en place, notamment pour les céréales qui sont la base de l'alimentation humaine. Un itinéraire technique de céréales de pays jardinées (à la main), sans pétrole est mis en place à la ferme du Bec Hellouin. L'objectif de ce travail a été d'étudier à l'aide de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) l'itinéraire technique du seigle de pays jardiné à travers différentes méthodes (Energy Return On Investment (EROI), émissions de gaz à effet de serre (GES)...), puis de comparer ces résultats à des blés bio et conventionnels de référence à l'aide de la base de donnée Agribalyse 3.0.1. Les logiciels Means InOut v4.1 et SimaPro v9.4.0.2 ont permis d'obtenir respectivement les Inventaires de Cycle de Vie (ICV) et les analyses correspondantes. La tourbe utilisée pour le substrat des plants semble contribuer à plus de 70% à la consommation énergétique ainsi qu'aux émissions de GES de l'itinéraire technique actuel du seigle jardiné. Un itinéraire technique de seigle jardiné sans tourbe permettrait de multiplier l'EROI par 22 et d'être environ 10 fois supérieur aux itinéraires techniques classiques. De plus, l'itinéraire technique de seigle de pays sans tourbe émettrait environ 2,5 fois moins de GES que les blés bios et conventionnels, ce qui est prometteur sans pétrole.

Mots clés : ACV, céréales jardinées, seigle de pays, EROI, GES

Bastien POIRIER, 2023.- Rate of energy return and climate change impact for gardened landraces cereals – Comparison to organic and conventional cereals

ABSTRACT

Our non-renewable energy resources are running out but the occidental agrosystem is more than ever fossil fuel-dependant (engines, synthetic fertilizers...). We need to interrogate our energetic yield for food systems, especially for cereals, which are a big source of food in the world. A method of gardened cereals (by hand), without fuel is tested at the Bec Hellouin farm. The goal of this work is to use Life Cycle Assessment (LCA) to study the techniques used for gardened landrace rye with different methods (Energy Return On Investment (EROI), greenhouse gas emissions (GHG)...), then to compare these results to reference organic and conventional wheat thanks to the Agribalyse 3.0.1 database. The Means InOut v4.1 and SimaPro v9.4.0.2 software were used to obtain respectively Life Cycle Inventories and (LCI) and assessments of techniques used. Peat used for gardened landrace rye contributed more than 70% to energy consumption and GHG emissions. Without using peat, the EROI would increase 22 fold and be almost 10 fold superior to classic techniques. These results are promising because gardened rye also reduced 2,5 fold the GHG emissions, compared to organic and conventional wheat.

Key words : LCA, gardened cereals, landrace rye, EROI, GHG



CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES :

Lila Hervé-Gruyer, Fénoua Hervé-Gruyer, Pauline De Voghel, Matthieu Leroy,
François Balthazard, Charles Hervé-Gruyer