



HAL
open science

Conception d'un outil de gestion de la fertilité des sols pour les maraîchers à l'installation

Baptiste Arzac

► **To cite this version:**

Baptiste Arzac. Conception d'un outil de gestion de la fertilité des sols pour les maraîchers à l'installation. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04315146

HAL Id: dumas-04315146

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04315146>

Submitted on 30 Nov 2023

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

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

L'Institut Agro Rennes-Angers
 Site d'Angers Site de Rennes

Année universitaire : 2022 – 2023

Spécialité : Horticulture

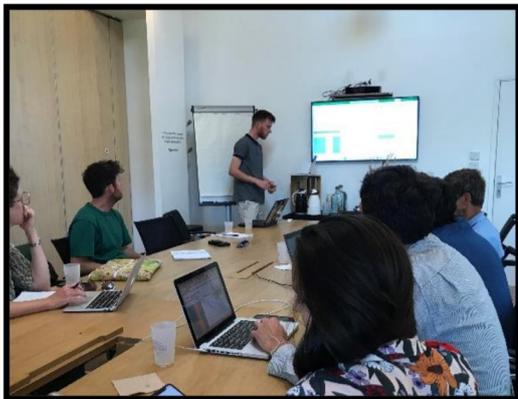
Spécialisation (et option éventuelle) :
 Production Végétale Durable (PVD)

Mémoire de fin d'études

- d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
- de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Conception d'un outil de gestion de la fertilité des sols pour les maraîchers à l'installation

Par : Baptiste ARSAC



Soutenu à Montpellier, le 12 septembre 2023

Devant le jury composé de :

Président : M. Clément GREMILLET

Maître de stage : M. Kevin MOREL

Enseignant référent : M. Stéphane DE TOURDONNET

Rapporteuse : Mme Isabelle MICHEL

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

« C'est dans les utopies d'aujourd'hui que sont les solutions de demain. »
Pierre Rabhi

Résumé

Titre : Conception d'outil de gestion de la fertilité des sols pour les maraîchers à l'installation. La reterritorialisation de l'agriculture est aujourd'hui un enjeu important pour la durabilité des territoires. Elle passe à la fois par un bouclage des flux alimentaires et organiques. La *Pépinière* est un outil numérique qui vise à accompagner les nouveaux maraîchers dans la planification des cultures afin de les aider à répondre aux débouchés locaux. Cet outil ne permet pour l'instant pas d'accompagner les maraîchers dans une gestion de la fertilité intégrant au mieux les matières organiques locales, ce qui constitue un enjeu fort de la reterritorialisation de l'agriculture. Pour répondre à ce manque, j'ai développé un module complémentaire à la *Pépinière*. Une démarche de conception participative a été mise en place intégrant différentes étapes : entretiens préliminaires avec 5 maraîchers d'Ile de France, établissement du cahier des charges, réalisation de 6 ateliers impliquant 74 maraîchers, 6 enseignants en formation adulte et 5 conseillers dans toute la France. Cela a abouti à un outil utilisable nommé *Ferti-pépi* qui prend en compte les caractéristiques du (futur) système de production (légumes, couverts, apports et sol) et permet à l'utilisateur de concevoir une stratégie de fertilité cohérente en simulant et ajustant ses apports en fonction des exportations en azote, phosphore, potasse et de matière organique. Cet outil a reçu un bon accueil des usagers pour son côté pédagogique. Il permet une première approche stratégique de la fertilité mais son articulation avec d'autres outils tactiques reste à développer. D'autre part, des recherches futures pourraient explorer dans quelles mesures l'utilisation de *Ferti-Pépi* permettrait aux maraîchers de valoriser au mieux les matières organiques de leur territoire.

Mots clés : fertilité, maraîchage, installation agricole, reterritorialisation, outil, démarche participative

Abstract

Title: Design of a soil fertility management tool for new market gardeners. The reterritorialization of agriculture is now a major challenge for the sustainability of regions. It involves linking up food and organic flows. *La Pépinière* is a digital tool designed to help new market gardeners plan their crops so that they can respond to local markets. For the moment, however, this tool does not enable market gardeners to manage fertility in a way that makes the best possible use of local organic matter, which is a key issue in the reterritorialization of agriculture. To fill this gap, I have developed a complementary module at *La Pépinière*. A participatory design process was put in place, involving a number of stages: preliminary interviews with 5 market gardeners in the Ile-de-France region, drawing up specifications, and 6 workshops involving 74 market gardeners, 6 adult education teachers and 5 advisers from all over France. The result is a usable tool called *Ferti-pépi* that takes into account the characteristics of the (future) production system (vegetables, cover crops, inputs and soil) and enables the user to design a coherent fertility strategy by simulating and adjusting inputs according to exports of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter. This tool has been well received by users for its educational value. It provides an initial strategic approach to fertility, but needs to be developed in conjunction with other tactical tools. Furthermore, future research could explore the extent to which the use of *Ferti-Pépi* enables market gardeners to make the best possible use of the organic matter in their area.

Key words: fertility, market gardening, setting up a farm, reterritorialization, tool, participatory approach

Pour citer cet ouvrage : Arzac Baptiste, 2023. Conception d'outil de gestion de la fertilité des sols pour les maraîchers à l'installation. Mémoire d'Ingénieur en Horticulture, option Production Végétale Durable, L'institut Agro. 76 pages.

Remerciements

Mes premières pensées vont pour mon père, ma mère, mon frère et toute ma famille. Je les remercie de m'avoir toujours fait aller de l'avant et donné le goût de l'agriculture. Cela m'a poussé à rester 6 ans sur les bancs de l'école à étudier l'horticulture et le maraîchage, pour aboutir à ce mémoire, fruit d'un travail de 6 mois.

Je ne pourrai jamais assez remercier mon maître de stage Kevin Morel, pour sa bienveillance, son écoute, ses conseils et sa sympathie. Son dynamisme à toute épreuve m'a tiré vers le haut et a fait de ce stage l'un des plus formateurs. Merci également à l'UMR SADAPT pour son accueil chaleureux. Plus largement, merci aux personnes du Bat.F avec qui j'ai pu m'entretenir et qui ont fait murir ma réflexion, notamment Florent Levavasseur pour ses conseils et expertises des plus avisés.

Un grand MERCI à la Team Fenouil (Kevin, Paul et Louise) pour ce tour de France entre ateliers, visites de ferme au fin fond du Finistère et baignade dans la Méditerranée. Merci notamment à Louise la collègue pour ces moments de rigolade, et de « co-travail ».

Plus globalement merci à tous les maraîchers qui m'ont ouvert leur porte et qui ont accepté de m'aider à construire un outil artisanal, parfois pas trop au point. Merci pour la bienveillance, la disponibilité et pour m'avoir retranscrit la réalité du métier, avec ses hauts et ses bas.

Merci à mon tuteur Stéphane De Tourdonnet, pour ses conseils avisés et sa sympathie. Je tiens aussi à remercier l'équipe pédagogique de l'option PVD qui a été formidable de bout en bout, tant dans l'accompagnement que dans leur enseignement. Merci de nous permettre de comprendre l'agronomie et de développer l'agroécologie.

Enfin, je me dois de remercier toutes les personnes, qui ont rendu ces années d'étude merveilleuses.

Pour commencer, je remercie mes camarades de BTS qui ont fait de ces deux années de formation parmi les plus belles de ma vie. Je remercie également les enseignants qui m'ont accompagné et permis de passer les concours de l'école d'ingénieur.

Merci également à mes amis de l'INH, qui ont fait passer ces années d'école en un clin d'œil. Spéciale dédicace à mes colocataires de *La Lizette* (Raphaël, Charles et Hugo), qui ont illuminé ces longues journées de confinement et inscrit des moments qui resteront à jamais gravés dans ma mémoire. Merci aussi à tous les Inhpiens et Inhpiennes qui m'ont permis de grandir en m'investissant dans la vie associative. Cette école possède une énergie et une dynamique dingue qui rendent tout possible.

Je remercie également la promo de PVD qui m'a accueilli pour cette dernière année d'étude. Merci pour les SKYJO enflammés et les soirées raclette. Une pensée particulière pour les Angevins de Montpellier sans qui ces 6 mois auraient été bien longs...

Enfin, je remercie Zélie qui me supporte et m'accompagne au quotidien. Ton émerveillement perpétuel me permet d'aborder la vie avec plus de gaieté et de sérénité. J'espère que la Bretagne nous plaira.

Sommaire

Résumé.....	7
Abstract.....	7
Remerciements.....	9
Sommaire.....	10
Liste des figures.....	13
Liste des tableaux.....	13
Liste des annexes.....	13
Acronymes et abréviations.....	14
Glossaire.....	15
I - Introduction.....	16
II - Contexte et état de l'art.....	17
1 - Enjeux de la reterritorialisation des systèmes alimentaires autour des villes : le cas du territoire Francilien.....	17
1.1- Histoire et enjeux de la relocalisation de la consommation.....	17
1.2 - Enjeux de la valorisation locale des matières organiques.....	17
1.3 - Des dynamiques de reterritorialisation des flux en cours autour des villes.....	18
2 - Le projet Flux Local : accompagner les systèmes maraîchers dans ces dynamiques de bouclage des flux dans le Sud IDF.....	18
3 - Un manque d'outils d'accompagnement pour les maraîchers à l'installation dans ce contexte de reterritorialisation.....	19
3.1 - Qui sont ces nouveaux maraîchers et quels sont leurs besoins vis-à-vis des systèmes maraîchers complexes ?.....	19
3.2 - Le projet MESCLUN DURAB : des outils pour le maraîcher à l'installation.....	20
4 - La gestion de la fertilité en maraîchage.....	21
4.1 - Une diversité de gestion dans des systèmes complexes :.....	21
4.2 - Une nécessité d'accompagnement stratégique.....	21
4.3 - Un manque d'outils de gestion stratégique de la fertilité en maraîchage.....	22
5 - Une démarche participative.....	22
III - Problématique, et démarche.....	23
1 - Problématique, objectifs, postulats et hypothèses.....	23
2 - Démarche participative de conception et de mise en place.....	24
IV - Cadre et méthode.....	26
1 - Territoire de projet Flux Local : le sud-ouest de l'île de France.....	26
2 - L'outil Pépinière : un cadre structurant pour le développement.....	26
3 - Etablir le cahier des charges.....	27

3.1 - Méthode d'enquête avec les maraîchers à l'installation : les entretiens semi-directifs	27
3.2 - Le public cible : les maraîchers au stade installation	28
3.3 - Présentation générale des 5 maraîchers à l'installation	29
3.4 - Entretiens avec les 3 conseillers	29
4 - Développement du premier prototype	30
5 - Phase d'itération	30
5.1 - Première phase d'itération.....	31
5.2 - Deuxième phase d'itération : les ateliers	31
V - Résultats.....	34
1 - Le cahier des charges	34
1.1 – Comment les maraîchers à l'installation appréhendent la fertilité et gèrent leurs apports de fertilisants ?	34
1.2 - Ce qu'ils attendent de l'outil.....	35
1.2.1 - Avis des exploitants sur l'élaboration d'un outil de gestion de fertilité.....	35
1.2.2 - Le support informatique	35
1.2.3 - Raisonnement de la fertilité.....	36
1.2.4 - Sorties attendues et échelle de l'outil	36
1.2.5 - Ergonomie et simplicité de l'outil	36
1.3 - Des attentes confirmées par les conseillers.....	36
1.4 – Résumé des éléments du cahier des charges	37
2 - Le premier prototype.....	38
2.1 - Organisation générale de l'outil : schéma conceptuel.....	38
2.2 - Les entrées	39
2.3 - Pilotage des quantités d'apports par l'utilisateur	41
2.5 - Fonctionnalités informatiques et interfaces.....	42
2.6 - Le bilan	43
3 - Vers le prototype final : la phase itérative.....	43
3.1 – Exportation ou besoin	43
3.2 – Renseigner le type d'apports : entre pédagogie et simplicité	44
3.3 – Guider l'utilisation : Accessibilité et ergonomie	45
3.4 - Amélioration des équations : l'exemple de la disponibilité en azote.....	46
3.5 - Synthèse des améliorations et des modifications	46
3.6 – Finalisation et mise à disposition de l'outil	48
3.7 – Une bonification de l'outil par les itérations	48
3.8 – Les remarques et ressentis des utilisateurs	49
3.8.1 – Les maraîchers à l'installation : accessibilité et pertinence.....	49
3.8.2 – Les enseignants : calculs, équations et réflexion agronomique globale.....	50
3.8.3 – Les conseillers : ergonomie et limites.....	50

VI - Discussion	51
1- Discussion des résultats : l'outil <i>Ferti-pépi</i>	51
1.1 – L'outil à la lumière des principes de conception	51
1.1.1 – Pertinence de l'outil	51
1.1.2 – Légitime et respectueux des maraîchers	52
1.1.3 – La crédibilité et robustesse de l'outil	52
1.1.4 – Flexibilité au vu des contextes	52
1.1.5 – L'utilisateur maître de ses choix	53
1.2 - Comparaison avec les outils existants : en quoi <i>Ferti-pépi</i> est innovant	53
1.2.1 – Approche stratégique	53
1.2.2 – La pédagogie, partie intégrante de l'outil	53
1.2.3 – Jumelage avec <i>La Pépinière</i> et reterritorialisation	53
1.2.4 – Appréhender les nouvelles matières organiques	54
1.2.5 – Potentielle ouverture vers des techniques culturales nouvelles	54
2 - Discussion de la méthode	54
2.1 - La démarche participative	54
2.2 - Pour aller plus loin dans la démarche	55
3 - Le devenir et l'évolution de l'outil	56
3.1 – Suite du développement informatique	56
3.2 – De la stratégie vers la tactique	56
3.3 – L'avenir de l'outil dans le cadre du projet MESCLUN DURAB	57
3.4 – La visibilité de l'outil déterminante pour son évolution	57
4 - Bilan personnel et professionnel	57
VII - Conclusion	58
Bibliographie	59
Sitographie	61
Annexes	62

Liste des figures

Figure 1: Evolution du nombre d'exploitations au cours de la décennie 2010-2020 (Agreste, 2022).....	20
Figure 2: Description de la conception innovante via le processus « Pas à pas » adoptée dans ce mémoire	25
Figure 3: Carte du territoire d'action de l'association Flux Local	26
Figure 4 : Schéma de fonctionnement de La Pépinière	26
Figure 5: Carte des maraîchers à l'installation enquêtés.....	28
Figure 6: Bâtiment agricole d'un enquêté construit par une collectivité.....	29
Figure 7: Méthode de développement de l'outil	30
Figure 8 : Localisation des ateliers	31
Figure 9: Photographie prise lors d'une de mes animations d'atelier	32
Figure 10 : Synthèse du cahier des charges.....	37
Figure 11: Schéma fonctionnel de l'outil	38
Figure 12: Partie "Vos légumes" dans le prototype 1	39
Figure 13: Partie "Vos amendements" dans le prototype 1	40
Figure 14 : Partie "Votre sol" du prototype 1	40
Figure 15: Centre de contrôle de l'utilisateur pour piloter sa fertilisation	41
Figure 16 : Représentation et détails de l'équation 11	41
Figure 17: Quantités d'éléments nutritifs exportées et importées.....	42
Figure 18: Evolution du taux de matière organique stable	42
Figure 19 : Légende et définition de l'outil	43
Figure 20 : Synthèse du débat exportation ou besoin.....	44
Figure 21: Partie "Vos légumes" après les ateliers	44
Figure 22 : Etape et cheminement de l'outil dans la page d'accueil	45
Figure 23: Représentation de l'équation 14	46
Figure 24 : Suivi du nombre d'améliorations effectuées en fonction des itérations	49

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des ateliers.....	31
Tableau 2 : Synthèse des améliorations de l'outil	46

Liste des annexes

Annexe 1 - Tableau des différents partenaires du projet Flux Local.....	63
Annexe 2 - Le collectif MESCLUN	63
Annexe 3 - Planning des étapes de travail.....	64
Annexe 4 - Illustration et fonctionnement de <i>La Pépinière</i>	65
Annexe 5 - Caneva d'entretien : « Pense bête ».....	67
Annexe 6 - Table des équations	69
Annexe 7 - Capture d'écran du prototype 1	71
Annexe 8 - Partie "Vos apports" après les ateliers.....	72
Annexe 9 - Page d'accueil de l'outil après les ateliers.....	73
Annexe 10 - Notice d'utilisation de <i>Ferti-Pépi</i>	74
Annexe 11 - Fiche retour	76

Acronymes et abréviations

AFAUP : Association française d'agriculture urbaine professionnelle

BP : Brevet professionnel

BPREA : Brevets professionnels Responsable d'entreprise agricole

BPRP : Brevets professionnels Responsable de production

CAU : Coefficient Apparent d'Utilisation de l'azote

CasDAR : Compte d'affectation spécial pour le développement agricole et rural

CSV : Comma-Separated Values

COMIFER : Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée

DJA : Dotation jeune agriculteur

ETP : Equivalent temps plein

FRAB : Fédération Régionale de l'Agriculture Biologique

GAB : Groupement des Agriculteurs Biologiques

HCF : Hors cadre familial

IDF : Ile de France

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

Keq : Coefficient d'équivalence en azote

MERCI : Méthode d'estimation des restitutions par les cultures intermédiaires

MSV : Maraîchage sol vivant

PRO : Produit résiduaire organique

SAU : Surface Agricole Utile

UE : Unité expérimentale

Glossaire

Apports : ici le terme apport regroupe les fertilisants et les amendements. Les fertilisants sont désignés comme des produits apportant des éléments minéraux au sol (INRAE, 2001). Un amendement, permet d'améliorer les propriétés physiques d'un sol (INRAE, 2001).

Fertilité des sols : aptitude des sols à apporter les éléments essentiels (azote, phosphore et potassium principalement) à la croissance des végétaux. Elle est assurée par les apports, les couverts, et les propriétés physico-chimiques du sol (Delahaie et al., 2016). Dans mon mémoire, je ferai parfois un raccourci en employant seulement le terme « fertilité ».

Système de production : j'entends par système de production la combinaison d'activités productives et les moyens de productions d'un exploitant (Brossier, 1987)

Mode de culture : dans mon mémoire, le mode de culture sera soit en plein champ soit sous abri.

Porteur de projet : dans ce mémoire, sera fait un raccourci en appelant les porteurs d'un projet à l'installation en maraîchage simplement « Porteur de projet ». Ce terme désigne les personnes qui ont pour ambition de créer une ferme maraîchère.

Jeune maraîcher : dans mon mémoire, jeune maraîcher fera référence aux paysans officiellement installés, mais qui ne sont pas encore rentrés en routine de production, et sont toujours dans une réflexion sur la conception de leur système de production. En général, ce sont les maraîchers qui se sont installés il y a moins de 3 ans.

Maraîcher à l'installation : pour simplifier la formulation, j'englobe les porteurs de projet à l'installation en maraîchage et les jeunes maraîchers comme « Maraîchers à installation ».

Reterritorialisation : c'est le fait de recréer du lien entre l'alimentation et les territoires (Foucaud-Scheunemann, 2023)

I - Introduction

La modernisation de l'agriculture a entraîné un affaiblissement des relations entre production et territoire, à la fois en termes d'approvisionnement alimentaire et de flux de matières organiques (Muller, 2000). A cet égard, la résilience alimentaire des territoires urbains comme l'Île-de-France interroge (Darrot et al., 2020).

Des projets existent pour tendre vers une reterritorialisation à la fois en termes de débouchés alimentaires et de bouclage des matières organiques. C'est notamment le cas du projet Flux dans le sud de l'Île-de-France (Flux Local, 2020).

Cette reterritorialisation pose des enjeux de gestion et de conception des systèmes de production. C'est notamment le cas pour les systèmes maraîchers, où le besoin d'accompagnement est fort, en raison de la proportion importante de néo-ruraux qui s'installent en maraîchage (Annes, 2019) et de la complexité de ces systèmes (Morel, 2016). Dans ce contexte, le projet MESCLUN DURAB s'est donné pour mission de concevoir des outils numériques permettant d'accompagner les maraîchers à l'installation (Collectif MESCLUN, 2020). Dans ce cadre, *La Pépinière*, un outil de planification des cultures a été développé afin de les aider à répondre aux débouchés locaux. Cet outil ne permet pour l'instant pas d'accompagner les maraîchers dans une gestion de la fertilité intégrant au mieux les matières organiques locales.

Pour répondre à ce manque, la mission de mon stage est de concevoir et développer un module complémentaire à la *Pépinière*, appelé *Ferti-Pépi*, via une démarche participative.

Je commencerai par rappeler les enjeux de la reterritorialisation des flux de matières, tant alimentaires que fertilisantes. Ensuite, je ferai un point sur le développement du maraîchage et son rôle dans le bouclage des flux de matières. Puis je me focaliserai sur la fertilité des sols en maraîchage et la nécessité d'un accompagnement auprès des maraîchers au stade de conception de leur système de production.

Cela me permettra de définir ma problématique et les objectifs précis de mon stage. Ensuite je détaillerai le cadre et la méthode que j'ai mobilisée. Enfin, je décrirai mes résultats et discuterai les points forts, limites et perspectives de mon travail.

II - Contexte et état de l'art

1 - Enjeux de la reterritorialisation des systèmes alimentaires autour des villes : le cas du territoire Francilien

1.1- Histoire et enjeux de la relocalisation de la consommation

Aujourd'hui dans notre société moderne, 79% de la population française vit aujourd'hui dans les villes (Rannou-Heim, 2020). De ce fait, elles sont la destination principale des denrées alimentaires produites par le monde agricole (Bognon et al., 2018).

Cependant l'ouverture à la concurrence étrangère, notamment via l'intermédiaire du marché international de Rungis à partir de 1969, a participé à la cessation d'activité de nombreux agriculteurs autour des villes. Cette tendance est d'autant plus marquée en Ile-de-France, les agriculteurs ne pouvant pas s'aligner avec les prix des denrées étrangères. De ce fait, dans cette région, environ 1700 exploitations légumières ont cessé leur activité entre 1979 et 1999 (Agreste, 1998).

La relocalisation de la production et la vente en circuits courts pourraient être une piste pour permettre aux agriculteurs de vivre décemment en leur permettant de mieux maîtriser leur prix de vente grâce à la limitation des intermédiaires (Weiler, 2016). Sans compter qu'au niveau environnemental, la reterritorialisation permet également de diminuer les émissions de gaz à effet de serre en limitant les transports, réduisant ainsi l'impact de l'agriculture sur l'environnement (Pommier, 2013). De plus, depuis les deux dernières décennies, on observe une montée croissante de la volonté des consommateurs de consommer de saison et local. En 2010, 83 % déclarent privilégier les produits locaux et de saison (Merle, 2011).

Plus récemment, la crise récente liée au Covid-19 a entraîné une augmentation momentanée de la demande de circuits courts qui a remis en lumière la forte dépendance des villes au monde agricole (Dubos, 2021). Dans ce contexte d'accroître la souveraineté alimentaire, des projets alimentaires territoriaux (PAT) voient le jour en soutenant l'installation d'agriculteurs et la relocalisation des flux de matières alimentaires et organiques (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 2022).

Les circuits courts assureraient seulement 10% de la consommation alimentaire totale en 2020 (Chiffolleau, 2020). Cependant la tendance est à la hausse chez les agriculteurs, puisqu'en 2010, 17,5% des exploitations en France métropolitaine commercialisent en circuits courts contre 23% en 2021, dont une majorité en maraîchage (Agreste, 2021). Il y a désormais un enjeu d'assurer la continuité de ce développement.

1.2 - Enjeux de la valorisation locale des matières organiques

En 2016, la consommation mondiale des trois principaux engrais de synthèse (N, P₂O₅ et K₂O) s'élevait à 187 millions de tonnes (FAO, 2017), soit plus de quatre fois la quantité utilisée dans les années 1960 (FAO, 2020). Cependant, la production d'engrais azotés repose sur des processus industriels énergivores (Vitosh, 2019). Quant à la production d'engrais phosphatés et potassiques, elle dépend de l'extraction de minerais non renouvelables à l'échelle humaine et peu disponibles en Europe (Reijnders, 2014).

De plus, l'utilisation d'engrais minéraux limite l'utilisation d'amendements organiques tels que le fumier ou le compost ce qui réduit la quantité de matières organiques (MO) restituées aux sols. En 2001, il était estimé que 31 à 39,5 % des terres arables françaises présentaient un déficit en matières organiques (Roussel et Bourmeau, 2001).

Utiliser des matières organiques permettrait donc d'entretenir la qualité des sols, afin de maintenir leur productivité à long terme. Etant donné le coût élevé du transport de ces matières

en raison de leur poids (Balesdent, 1996), leur utilisation locale permettrait de limiter les gaz à effet de serre, réduisant ainsi l'impact de l'agriculture sur l'environnement (Pommier, 2013). De plus, d'ici le 31 décembre 2023, les collectivités auront l'obligation de réaliser un tri à la source des biodéchets des ménages (Loi n° 2020-105, 2020). Ces matières devront ainsi être revalorisées localement par compostage. En Île-de-France, on parle alors d'un gisement de biodéchets qui devrait voir le jour et qui devra être valorisé localement (Ministère de la Transition écologique, 2022).

1.3 - Des dynamiques de reterritorialisation des flux en cours autour des villes

Ces questions de reterritorialisation (à la fois en termes de débouchés et de valorisation des matières organiques) sont particulièrement présentes dans les discours politiques des collectivités des régions urbaines. Plusieurs d'entre elles mettent en avant des communications axées autour de la « reconquête de l'autonomie alimentaire des villes » (Kirsch, 2021). C'est-à-dire de permettre aux villes d'accroître la part de produits locaux consommés sur place qui est actuellement de 2% (Utopies, 2017).

Une réponse à ces enjeux est le projet Flux local qui a comme objectif de : « Réancrer les flux alimentaires et boucler les flux de matières organiques à l'échelle locale pour contribuer à la durabilité territoriale » (Flux Local, 2020). La durabilité, qui comprend l'engagement de tous les représentants de la société à l'échelle territoriale, permet de mieux appréhender et de faire coïncider les dynamiques de synergie ou de concurrence entre des circuits alimentaires locaux et plus globaux (Chiffolleau, 2020).

2 - Le projet Flux Local : accompagner les systèmes maraîchers dans ces dynamiques de bouclage des flux dans le Sud IDF

Ce mémoire de fin d'études s'inscrit donc dans le contexte du projet Flux Local. Ce projet prend place dans un espace géographique précis, à savoir les territoires des associations de la plaine de Versailles, du plateau de Saclay ainsi que celui du Triangle Vert situés au sud-ouest de la métropole parisienne. Ces associations sont nées en 2001 pour préserver et valoriser les espaces agricoles et naturels face à la pression foncière.

Il s'agit d'un projet porté par une diversité d'acteurs constitués d'associations territoriales, d'unités de recherche, de collectivités ou d'acteurs techniques. Un tableau détaillant les partenaires du projet est disponible en Annexe 1.

Le projet Flux Local se présente sous la forme de quatre axes principaux :

- Axe 1 : Caractériser la disponibilité des matières organiques, leur qualité et la capacité des acteurs à les mobiliser à l'échelle territoriale.
- Axe 2 : Accompagner la transition agroécologique des fermes par la diversification et l'utilisation des Produits Résiduels Organiques (PRO) (INRAE, 2017).
- Axe 3 : Mettre en regard les attentes des habitants et usagers avec des offres alimentaires plus durables pour favoriser leurs synergies.
- Axe 4 : Réancrer le métabolisme agri-alimentaire dans le territoire : modalités et trajectoires.

L'axe 2 dans lequel s'inscrit ce mémoire, met en évidence qu'il y a un besoin d'accompagnement des fermes dans l'utilisation de produits résiduels organiques locaux dans un contexte de transition agroécologique.

La transition agroécologique s'appuie sur des pratiques et des systèmes de culture et de production qui se veulent durables sur un plan environnemental, économique et social, en mobilisant les fonctionnalités des écosystèmes. On retrouve donc la diversité génétique, biologique ainsi que des mécanismes de régulation naturelle, tout en recherchant l'autonomie

des exploitations (Maxime et al., 2021). L'utilisation des matières organiques locales (appelées PRO) peut alors accompagner la transition agroécologique en participant au développement d'une économie circulaire entre villes et agriculture. Cela permettra de limiter la consommation, le gaspillage des ressources et la production des déchets. De plus, cela rendrait possible le fait de tendre vers une autonomie des fermes vis-à-vis des engrais de synthèse (Maxime et al., 2021).

La transition agroécologique est favorisée par des systèmes de culture diversifiés, comme le maraîchage, qui est considéré comme un levier majeur. Il l'est à la fois sur le plan agricole et alimentaire mais aussi sur celui du changement climatique au vu de sa résilience (Maxime et al., 2021). En effet, au sein de l'exploitation, la diversification des productions permet de réintroduire une biodiversité cultivée dans les rotations et les associations, parfois associée à des formes de biodiversité naturelle via des infrastructures écologiques (haies, friches, bandes florales entre abris...). Cela permet d'assurer des fonctions écologiques telles que les régulations naturelles, ou la gestion des adventices, qui sont des enjeux majeurs en maraîchage (Maxime et al., 2021).

Concernant la transition agroécologique des fermes par l'utilisation des matières organiques locales, des études menées en 2021, dans le cadre du projet Flux Local, font ressortir deux choses.

La première est que sur le territoire d'étude, les matières organiques fournies pouvaient contribuer de manière significative à combler les besoins des cultures. En effet, 300 000 tonnes de compost de biodéchets pourraient être produits à l'année (Mallard et al., 2005). En se basant sur l'hypothèse faite par Boros (2021), à savoir supposer que tous les maraîchers d'Ile-de-France se mettent à utiliser cette matière à hauteur de 30 tonnes/ha/an, il serait possible d'écouler 150 000 tonnes de compost de biodéchets sur la SAU maraîchère et arboricole, dont la superficie est évaluée à environ 5 000 ha (Boros, 2021).

La deuxième est que les maraîchers d'Ile-de-France seraient prêts à intégrer, sous conditions, les matières organiques locales de leur territoire dans leur système de production (Boros, 2021). Les conditions d'utilisation relevées sont notamment les odeurs dégagées par le produit et sa pureté (Boros, 2021).

Dans ce contexte d'intégration de matières organiques locales, se dégage un enjeu d'accompagnement auprès des maraîchers engagés dans une démarche de reterritorialisation. Ceci est particulièrement important lors de la phase d'installation, car démarrer une activité de maraîchage ancrée dans un territoire nécessite de raisonner à une échelle adéquate et s'adaptés avec la zone dans laquelle on se trouve. Cela pose de nombreuses questions, notamment de gestion de la fertilité des sols avec les moyens locaux (Maxime et al., 2021).

3 - Un manque d'outils d'accompagnement pour les maraîchers à l'installation dans ce contexte de reterritorialisation

3.1 - Qui sont ces nouveaux maraîchers et quels sont leurs besoins vis-à-vis des systèmes maraîchers complexes ?

Aujourd'hui, l'installation de ceux parfois qualifiés de « néoruraux » prend de l'importance (Annes, 2019). En effet, environ 30 % des installations aidées (recevant la Dotation Jeune Agriculteur) sont celles d'exploitants dits « hors cadre familial », c'est-à-dire n'héritant pas de l'exploitation familiale, et ayant suivi une formation courte dans le cadre d'une reconversion professionnelle (Allens 2016).

De plus, un grand nombre de ces nouveaux installés privilégient les petites fermes maraîchères agroécologiques, impliquant souvent une forte recherche d'autonomie, un niveau d'équipement moins élevé et une intégration importante dans les territoires (Morel, 2016).

Il est d'ailleurs à noter que les exploitations maraîchères sont la seule catégorie d'exploitations dont le nombre augmente, illustrant cette dynamique d'installation. La Figure 1 illustre cette évolution.

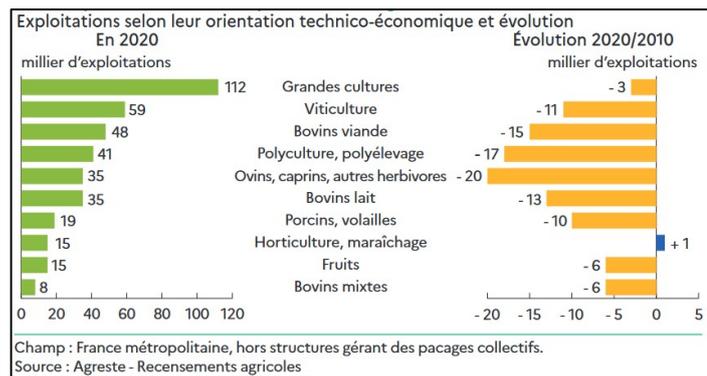


Figure 1: Evolution du nombre d'exploitations au cours de la décennie 2010-2020 (Agreste, 2022)

Nous nous retrouvons donc avec une tendance à l'augmentation de personnes peu formées, étrangères au monde agricole, et qui se lancent dans la création de fermes maraîchères agroécologiques d'une grande complexité, notamment dans leur conception. En effet, les systèmes de production maraîchère se caractérisent par une grande diversité de cultures, de nombreuses rotations, une forte intensité de production avec parfois des associations de cultures et une gestion des intrants complexe (Morel, 2016).

3.2 - Le projet MESCLUN DURAB : des outils pour le maraîcher à l'installation

Face à ce constat, un collectif d'acteurs de la recherche agronomique, technique, et du numérique s'est constitué avec pour ambition de créer des outils numériques de simulation et d'évaluation de systèmes de production maraîchers. La liste de partenaires est disponible en Annexe 2. C'est ainsi qu'a été créé l'outil *La Pépinière*. Il est à destination des jeunes maraîchers ainsi qu'aux porteurs de projet que j'appelle dans mon mémoire, « maraîcher à l'installation » comme expliqué dans le glossaire. Il permet de les accompagner dans la conception de leur système de production, c'est-à-dire un système de maraîchage diversifié. Cet outil numérique vise à accompagner la planification et l'assolement des cultures à partir des débouchés. Il offre la capacité de simuler rapidement différents scénarios et de les évaluer dans une visée pédagogique (Collectif MESCLUN, 2020).

La conception de cet outil a été réalisée via de multiples ateliers de co-conception menés à l'hiver 2020 (Morel et al., 2021). L'objectif était de faire participer un grand nombre d'acteurs, dont des maraîchers installés et en processus d'installation, afin d'avoir un outil adapté à leurs besoins. Lors de ces ateliers, les maraîchers et les autres participants ont souligné l'importance de la fertilité des sols et la nécessité d'un accompagnement.

Cependant, il est ressorti de ces ateliers que proposer un outil de gestion de la fertilité pour des maraîchers déjà installés n'était pas le plus pertinent. En effet, une fois le système mis en place, les maraîchers n'ont pas un fort besoin d'accompagnement via un outil numérique de simulation. Ils font plutôt appel à leur expertise, à leurs pairs ou à des conseillers. De plus, repenser l'entièreté du système une fois installé est très compliqué, et ce sont plutôt des adaptations au fur et à mesure qui sont effectuées (Collectif MESCLUN, 2020).

En revanche, au stade d'installation et lors de la conception de leur système, un outil de simulation leur a semblé pertinent. En effet, ayant tout un système à penser et de nombreuses possibilités envisageables, un outil de simulation leur permettrait d'orienter leur réflexion et de leur fournir les clés pour établir leur système de production (Collectif MESCLUN, 2020).

Kevin Morel, coordinateur du projet MESCLUN DURAB et partenaire du projet Flux Local, a alors vu l'occasion de créer un module complémentaire à *La pépinière* à l'interface entre ces deux projets. Cela offrirait la capacité d'accompagner les maraîchers à l'installation dans la

réflexion sur leur fertilité (MESCLUN DURAB), tout en valorisant l'utilisation de matières organiques locales ou PRO (Flux Local).

4 - La gestion de la fertilité en maraîchage

4.1 - Une diversité de gestion dans des systèmes complexes :

Comme mentionné précédemment, les systèmes maraîchers sont des systèmes intensifs qui exportent de fortes quantités d'éléments nutritifs (Thibault, 2018). Plusieurs sources de fertilisants et pratiques culturales sont envisageables pour fournir les quantités nécessaires d'éléments nutritifs aux cultures.

Tout d'abord, il y a les engrais minéraux commerciaux, dont les prix ont considérablement augmenté en raison du contexte géopolitique actuel (France info, 2022). Ensuite, il y a les amendements organiques, comme par exemple des composts de déchets verts. Les engrais verts constituent également une source de fertilité en maraîchage. Ils peuvent enrichir le sol en éléments nutritifs, tels que l'azote, et en matière organique stable (Mazollier, 2003). Enfin, le sol lui-même, par le biais de la minéralisation, libère des éléments nutritifs (Nicolardot, 1986). Comme expliqué dans le glossaire, ces éléments participent à la fertilité des sols.

Par conséquent, établir une gestion de la fertilité qui tienne compte des différentes sources de fertilité peut représenter une tâche ardue pour les exploitants agricoles.

4.2 - Une nécessité d'accompagnement stratégique

On distingue deux types de gestion : tactique et stratégique. Un outil peut alors aider à la gestion tactique, stratégique ou les deux (Aubry, 2007).

Les décisions tactiques, aussi appelées opérationnelles, concernent le pilotage et les choix sur un temps court. D'une part, cela concerne les actes techniques à l'échelle des cycles de production ou de leur enchaînement dans des successions de cultures. D'autre part, cela implique l'attribution des ressources productives et leur mise en œuvre dans les opérations culturales (Aubry, 2007).

La gestion stratégique de l'exploitation concerne les choix et le pilotage sur le long terme (plusieurs années), comme par exemple, le revenu, la surface, le niveau des équipements, de la main-d'œuvre, les choix des productions, le choix des relations au marché, etc. (Aubry, 2007).

En ce qui concerne la gestion de la fertilité, elle se fait sur le long terme et via des choix de pilotage réfléchis dans la globalité du système de production. De plus, la gestion de la fertilité est impactée par de nombreux choix tactiques, comme les quantités et la nature des intrants, les rotations, les couverts végétaux, le travail du sol, etc. (Thibault, 2018). Il est donc important, pour penser la gestion de la fertilité, de réfléchir à l'échelle de l'exploitation. Cela passe par une gestion stratégique, dont découlera de multiples choix tactiques (Aubry, 2007).

Pour ce faire, il a été démontré que l'utilisation d'outils de simulation numérique facilite l'accompagnement de la réflexion stratégique (Le Gal et al., 2011). En effet, la simulation, grâce à des outils numériques, permet de représenter les interactions au sein du système et l'impact des choix tactiques sur le système de production, tout en permettant de mieux le comprendre (Le Gal et al., 2011).

En résumé, la gestion de la fertilité des sols en maraîchage peut nécessiter un accompagnement stratégique qui peut passer par des outils numériques de simulation.

4.3 - Un manque d'outils de gestion stratégique de la fertilité en maraîchage

Aujourd'hui, la filière maraîchère dispose de peu d'outils stratégiques ou tactiques permettant d'accompagner les maraîchers à l'installation dans leur gestion de la fertilité.

Cela contraste avec d'autres filières, notamment celle des grandes cultures, qui dispose de nombreux outils informatiques à la fois stratégiques et tactiques pour la gestion de la fertilité. Nous pouvons citer *Mes parcelles*, développé par la chambre (Chambre d'agriculture, 2023), *MorGwanik*, développé par l'INRAE (INRAE de Guadeloupe, 2023), ou encore *Sol-D phy*, développé par l'organisme technique Agro-transfert (Agro-transfert, 2023). Ces outils offrent un accompagnement complet pour les exploitations de la filière des grandes cultures, contrairement à celle du maraîchage.

Cependant, il existe des outils de gestion de la fertilité spécifiquement conçus pour les exploitations maraîchères, tel que ORGALEG développé par la FRAB Bretagne. Cet outil a été créé pour faire le lien avec la réglementation et les plans d'épandage. Il n'est pas pensé pour la gestion stratégique. À l'origine, l'outil était sous forme de fichier Excel, et les données utilisées provenaient de l'ITAB et d'experts. Actuellement, l'outil est utilisé uniquement par les conseillers de la région Bretagne avec les exploitants¹.

Un autre outil notable est Ferti-Run, développé par la Chambre d'agriculture et le CIRAD de La Réunion. Il s'agit d'un tableur Excel qui permet d'effectuer automatiquement des calculs de fertilisation organique et minérale pour les cultures maraîchères². Cependant, l'utilisateur a peu de contrôle sur les doses à apporter et les paramètres de son système de production.

Un dernier outil recensé est AZOPRO, développé par le CTIFL. Il propose des références techniques sur la composition et le comportement de différents apports. C'est un outil tactique, et opérationnel pour les maraîchers qui ont déjà des cultures en place (CTIFL, 2023).

Ces deux outils s'adressent donc majoritairement aux maraîchers déjà installés pour leurs choix tactiques. Il n'existe pas d'outil destiné aux maraîchers à l'installation et orienté sur la gestion stratégique de la fertilité, pourtant cruciale sur cette phase, comme expliqué dans le 3.2.

De plus, ces outils numériques sont souvent peu utilisés par les agriculteurs à cause de leur complexité (difficulté d'utilisation, obtention de données d'entrée complexes) ou d'un manque d'adéquation entre les outils et les besoins des utilisateurs (Prost, 2008).

Afin que ces outils soient réellement adoptés par le monde agricole, il est essentiel de considérer les agriculteurs et autres intervenants comme des acteurs des processus d'innovation, et non comme de simples utilisateurs (Meynard et al., 2012). Pour cela, une approche participative dans la conception des outils peut être mise en place, afin de les adapter au mieux aux besoins des utilisateurs.

5 - Une démarche participative

Il est de plus en plus attendu du monde scientifique qu'il adopte une approche démocratique en prenant en considération l'ensemble des parties prenantes concernées par les problématiques étudiées (Etienne, 2010). La confrontation des différents points de vue, tant ceux des scientifiques que ceux des autres acteurs, joue un rôle essentiel dans la construction d'un savoir partagé et commun (Voinov & Bousquet., 2010). De plus, cela favorise la capitalisation et la mutualisation des connaissances, permettant de mieux appréhender le fonctionnement du système étudié (Voinov & Bousquet, 2010).

De plus, impliquer les acteurs dans les réflexions, renforce leur sentiment de responsabilité envers les changements à entreprendre (Etienne, 2010).

¹ Élément issu d'un entretien avec une conseillère à la FRAB de Bretagne

² Élément issu d'un entretien avec un conseiller à Chambre d'agriculture de la Réunion

III - Problématique, et démarche

1 - Problématique, objectifs, postulats et hypothèses

En considérant le contexte et l'état de l'art, la problématique de mon mémoire sera la suivante :

Comment développer un outil de gestion de la fertilité pour les maraîchers à l'installation ?

Les objectifs découlant de cette problématique sont :

- Établir un cahier des charges afin d'identifier les besoins spécifiques des maraîchers à l'installation en matière d'outils de gestion de la fertilité.
- Concevoir des fonctionnalités pertinentes pour les maraîchers à l'installation, en trouvant le juste équilibre entre précision, simplicité, ergonomie, etc.
- Permettre aux utilisateurs d'établir une stratégie de fertilité cohérente avec leur système de production.
- Intégrer les différents types d'apports disponibles sur leur territoire (engrais industriels, amendements et engrais verts) et les caractéristiques du système de production dans la réflexion stratégique.

Ma démarche reposera sur les postulats et hypothèses suivants :

Postulats :

La démarche participative permettra de répondre à la problématique en permettant la conception d'outils adaptés aux utilisateurs.

Une approche via la planification des cultures peut permettre une première réflexion globale sur la fertilité.

Hypothèses :

J'é mets l'hypothèse que l'utilisation d'un outil stratégique est pertinente pour les maraîchers à l'installation afin d'aborder la conception du système de production.

Les maraîchers d'Île-de-France (impliqués dans le projet Flux local) ont une approche similaire à celle des maraîchers du reste de la France, ce qui permettrait à l'outil d'être utilisé dans différents territoires.

2 - Démarche participative de conception et de mise en place

Ma démarche sera participative et fera intervenir un ensemble d'acteurs coordonnés qui travailleront ensemble dans le but d'établir un outil innovant répondant à des objectifs donnés. Pour cela, je me baserai sur la démarche identifiée et proposée par Le Gal et al. (2011) dans la conception d'outils pour accompagner les exploitants dans leur réflexion stratégique. Ce dernier s'inspire de la méthode développée par Le Masson et al. (2010) dans le domaine des sciences de gestion.

Je m'appuierai également sur la démarche développée pendant la conception du *Rami Fourrager*, un jeu sérieux numérique (Martin et al., 2012 ; Morel, 2012).

Ma démarche est une démarche de conception « innovante » car les objectifs sont multiples et pas spécifiés avec exactitude. De plus, les connaissances et expertises à mobiliser sont nombreuses et leurs fonctions non définies à l'avance (Le Gal, 2014). Elle est menée dans un processus « Pas à pas » qui s'inscrit dans un temps long, et implique une amélioration progressive de l'outil via des itérations (Le Gal, 2014).

La conception comprend 4 étapes :

1. Fixer les objectifs et le cahier des charges
2. Développer rapidement un premier prototype
3. Améliorer le prototype par itération
4. Arrêter les itérations lorsque le prototype est stable.

On décide que le prototype est stable quand il tend vers la saturation théorique (Eisenhardt, 1989), c'est-à-dire que les remarques et retours n'apportent plus rien de nouveau et ne permettent pas d'améliorer le prototype.

Pour guider la conception d'outils numériques à destination des acteurs de terrain, Martin et al. (2012) formulent des principes génériques qui s'inspirent de Cash et al. (2003) et de Matthews et al. (2011) :

- La pertinence : l'outil doit répondre aux besoins identifiés avec un niveau de détail adapté. Ces éléments seront précisés dans le cahier des charges.
- La légitimité : l'outil doit être respectueux des valeurs des utilisateurs et non discriminant
- La crédibilité : les données utilisées doivent être robustes et l'outil ne doit pas présenter de bugs.
- La plasticité : le contexte local propre à chaque utilisateur ne doit pas être un frein.
- La transparence : l'outil ne doit pas être opaque dans sa façon de raisonner et de fonctionner. L'utilisateur doit rester maître de ses choix.

Ces principes m'ont guidé dans la démarche de conception de l'outil.

Dans le cadre de mon stage, les différentes étapes de la démarche sont synthétisées par le schéma de la Figure 2. Un planning associé est disponible en Annexe 3.

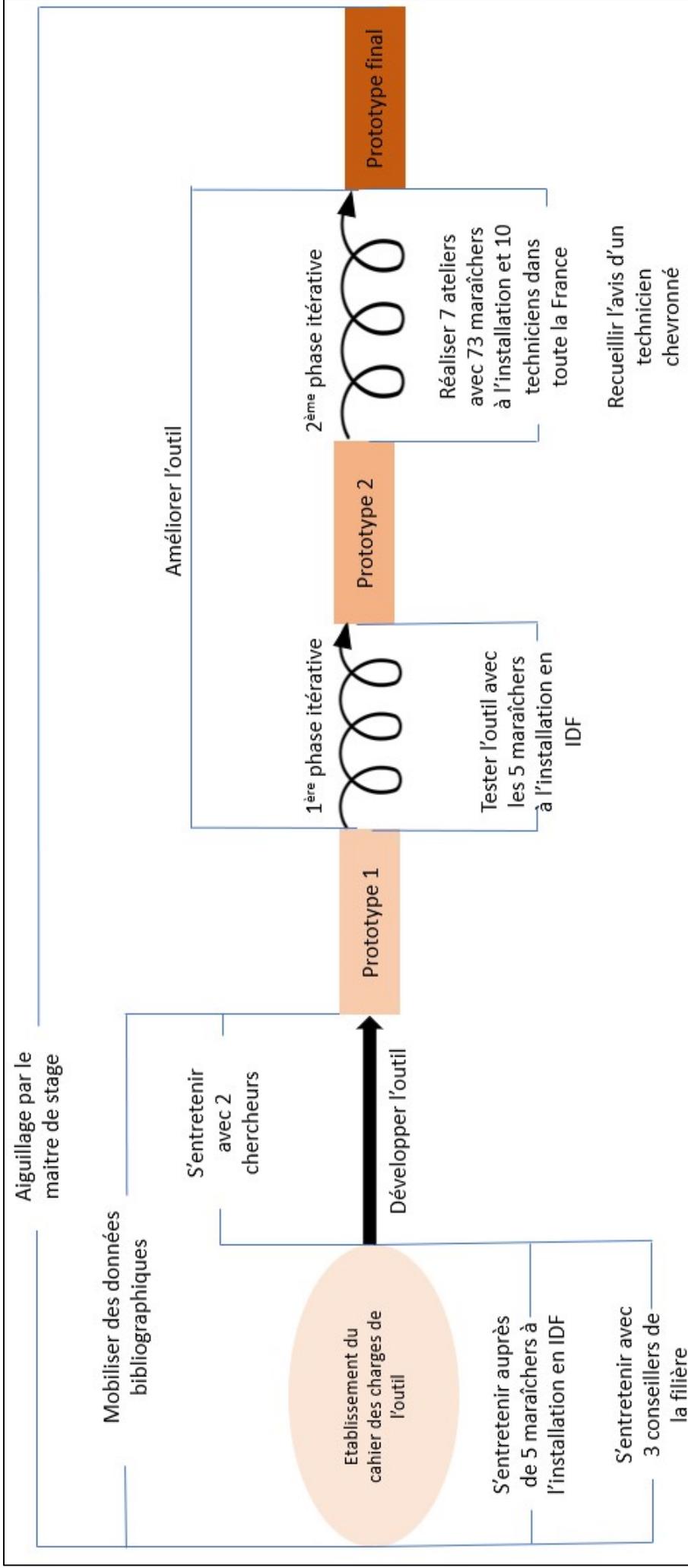


Figure 2: Description de la conception innovante via le processus « Pas à pas » adoptée dans ce mémoire

IV - Cadre et méthode

1 - Territoire de projet Flux Local : le sud-ouest de l'île de France

Le projet Flux Local a pour territoire celui des associations territoriales partenaires, à savoir les territoires de la plaine de Versailles, du plateau de Saclay et du Triangle Vert représenté dans la Figure 3. Ils sont tous trois situés entre trente et cinquante kilomètres de Paris avec des terres agricoles encore préservées malgré leur localisation périurbaine.

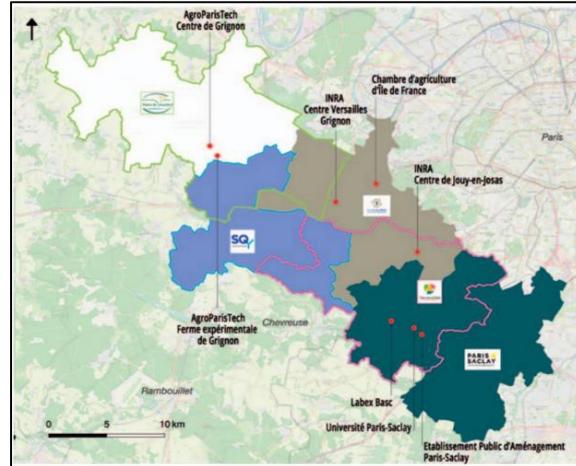


Figure 3: Carte du territoire d'action de l'association Flux Local

Cette zone possède une longue histoire en tant que terre de maraîchage, où divers légumes, notamment les fraises et les tomates en plein champ, étaient cultivés. Cependant, ces pratiques ont progressivement décliné avec l'arrivée de la concurrence espagnole à Rungis dans les années 70. Malgré cela, certains maraîchers ont réussi à perdurer en se tournant vers la vente en circuits courts, principalement sur les marchés locaux. Aujourd'hui, selon les méthodes de calcul, c'est seulement 3% de la SAU qui est destinée au maraîchage et à l'arboriculture (Boros, 2021).

2 - L'outil Pépinière : un cadre structurant pour le développement

Le développement de l'outil sur la gestion de la fertilité se fait dans la continuité de celui déjà développé dans le cadre du projet MESCLUN DURAB sur la planification de culture appelé *La pépinière*.

Cet outil fonctionne selon le schéma de la Figure 4 :

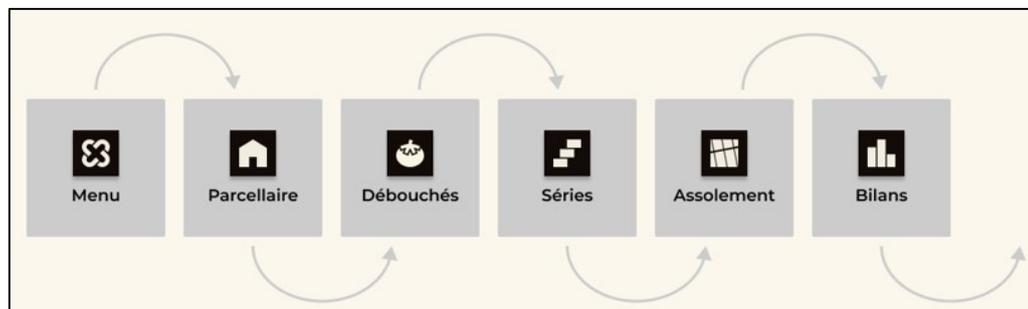


Figure 4 : Schéma de fonctionnement de La Pépinière

Au cours des différentes étapes, l'utilisateur rentre les données de son système de production et construit sa planification de culture. Il détermine ainsi :

- Ses débouchés (types et quantités de légumes vendus semaine après semaine) ainsi que les prix associés, via l'onglet « Gamme » disponible en Annexe 4.1,

- Ses séries, c'est-à-dire la date d'implantation et de récolte associée qui sont pensées en fonction de ses débouchés vente au cours du temps. Une illustration est disponible en Annexe 4.2,
- Son parcellaire en indiquant ses surfaces en abri et en plein champ,
- Et enfin son assolement en plaçant ses séries sur son parcellaire, comme le montre l'Annexe 4.3.

Une fois son système conçu, l'utilisateur peut imaginer différents scénarios en modifiant les paramètres de son système. Des illustrations ainsi qu'une présentation détaillée de *La Pépinière* sont disponibles en Annexe 4.

L'outil *La Pépinière* pose un cadre structurant pour mon stage. En effet, l'objectif est, qu'à terme, l'outil de gestion de la fertilité que je développe y soit intégré informatiquement comme un module complémentaire. Ainsi, il devra exploiter au maximum les données de sortie de *La Pépinière* associées à la planification de culture conçue par l'utilisateur. Comme ces sorties sont au format Excel, et au vu de la facilité à développer et à améliorer un outil, ce format sera retenu.

De plus, il est essentiel de créer un outil qui réponde aux mêmes objectifs pédagogiques et qui cible le même public d'utilisateurs que *La Pépinière*, à savoir les maraîchers à l'installation.

Comme *La Pépinière*, l'outil doit être un outil de gestion stratégique permettant de simuler et de comparer plusieurs scénarios de gestion de la fertilité. Il devra également faciliter la visualisation des différents scénarios pour favoriser les discussions et les échanges.

3 - Etablir le cahier des charges

L'établissement du cahier des charges a été réalisé à partir de 5 entretiens avec le public cible de l'outil, à savoir les maraîchers à l'installation qui sont en phase de conception de leur système de production. De plus, il a été réalisé des entretiens avec 3 conseillers de la filière.

J'ai réalisé ces deux types d'entretiens car cela me permet d'avoir deux visions complémentaires, à la fois des exploitants, mais aussi des conseillers qui travaillent avec ces exploitants. De plus, étant donné que seulement 5 entretiens ont été menés avec le public cible, j'ai trouvé nécessaire de questionner des conseillers car ils connaissent plus largement le public cible et leurs attentes.

Cette première partie s'est déroulée du lundi 27 mars 2023 au vendredi 15 avril 2023.

3.1 - Méthode d'enquête avec les maraîchers à l'installation : les entretiens semi-directifs

Les entretiens étaient généralement menés en deux temps. Ils commençaient par un temps plus formel ou nous étions assis à table et pendant lequel nous abordions les sujets que j'avais notés sur mon guide d'entretien. Ce temps durait environ 2h. Puis quand cela était possible, je proposais mon aide sur les fermes pour le reste de la journée. Ce temps me permettait d'adopter une posture d'observation participante (De Sardan, 1995) durant laquelle je partageais le quotidien des jeunes maraîchers, mais également d'avoir des discussions sur des thèmes plus variés.

Les entretiens menés étaient semi-directifs. C'est-à-dire qu'ils étaient orientés par un ensemble de thématiques définies avant l'entretien et de questions ouvertes. L'idée est d'obtenir l'avis des 5 maraîchers, leurs ressentis, et de permettre un échange le plus libre possible, en n'imposant pas un cadre trop fermé sur les questions posées (Adams, 2015).

Pour mener ces entretiens, un guide d'entretien a été rédigé contenant les thématiques à aborder tout en les détaillant un maximum afin de ne rien oublier lors des premiers entretiens. Celui-ci a rapidement évolué au fil des enquêtes afin d'avoir une structure lisible, à savoir une check-list des points à aborder lors des enquêtes ou ce qu'Olivier de Sardan (1995) nomme « canevas d'entretien ». Cela a laissé place à plus de liberté et de dialogue afin de ne pas orienter le discours et de laisser pleinement l'interrogé s'exprimer pour permettre une réelle exploration des sujets abordés.

Les thématiques abordées sont :

- Une présentation succincte du projet professionnel et de la ferme (surface, localisation, pratiques, etc.)
- Une description non détaillée de leur planification culturelle avec le nombre de légumes cultivés, les débouchés, la clientèle, etc.
- Une partie plus importante portant sur la gestion de la fertilité et des apports de fertilisant. C'est-à-dire quel engrais est utilisé, à quelle dose, implante-t-il des engrais verts ? etc.
- Une dernière partie sur les attentes des enquêtés concernant un outil de gestion de la fertilité. Ce que l'outil doit contenir selon eux, la forme qu'il doit prendre, son fonctionnement, quelles informations devra-t-il donner, l'ergonomie etc...

Le guide est présent en Annexe 5.1.

Pendant l'entretien, je prenais des notes et je n'enregistrais pas car l'objectif était de recueillir des informations clés guidant la conception et non pas de réaliser une analyse textuelle détaillée. Pendant la période d'observation participante, je n'étais pas en mesure de noter car en train de travailler la terre, mais je notais à chaud les points clés des échanges dès la sortie de l'exploitation.

3.2 - Le public cible : les maraîchers au stade installation

Pour trouver les participants, j'ai sollicité l'aide des associations du projet Flux local, qui travaillent avec des maraîchers à l'installation du territoire. L'objectif était de couvrir l'ensemble du territoire du projet.

Au final, j'ai réussi à trouver 5 maraîchers à l'installation intéressés, disponibles et situés dans la zone d'action des associations, c'est-à-dire dans le Sud-Ouest de l'agglomération parisienne, comme le montre la Figure 5 (en élargissant à la zone de Fontainebleau à 30km vu le faible nombre de porteurs de projet). La chambre d'agriculture m'ayant communiqué qu'elle référençait environ 13 porteurs de projet par an dans toute la région Ile de France, il est donc cohérent que l'échantillon soit de cette taille sur le territoire d'étude³.

Pour plus de clarté, dans la suite de mon mémoire, les maraîchers à l'installation seront numérotés de 1 à 5.

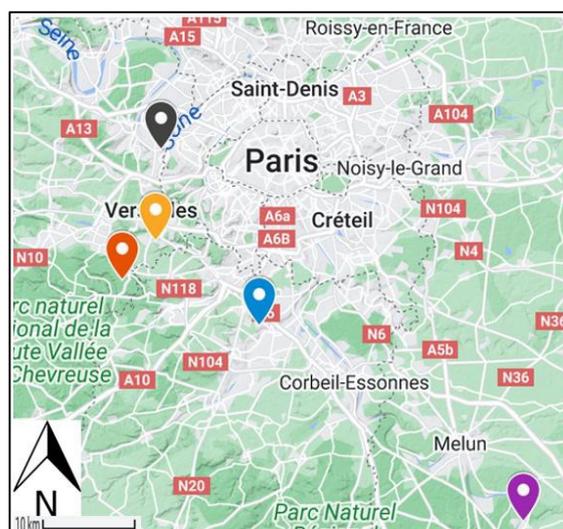


Figure 5: Carte des maraîchers à l'installation enquêtés.

³ Entretien avec 2 conseillers de la chambre d'agriculture d'Ile de France

3.3 - Présentation générale des 5 maraîchers à l'installation

Tous les exploitants rencontrés sont des personnes non-issues du milieu agricole et qui n'ont pas de famille directe qui travaille dans l'agriculture. Ce sont tous des « hors cadre familial » (HCF). Ils faisaient des métiers différents au début de leur carrière professionnelle avant de se reconvertir en maraîchage. Pour avoir le droit de s'installer en agriculture et avoir accès aux aides, notamment de la dotation jeune agriculteur (DJA), ils ont tous fait une formation adulte en un an qui donne la capacité agricole (BPREA).

2 sur 5 étaient au stade de réflexion et d'apprentissage du métier et 3 étaient en production depuis moins de 3 ans, tout en se questionnant encore sur la conception de leur système de production.

Ils sont tous en agriculture biologique. 4 sur 5 s'installent à plusieurs, le plus souvent à deux. Selon eux, une installation en collectif les portera plus loin, rendra leur installation plus viable, et allégera la pénibilité du travail. Seulement 1 se lance tout seul, avec comme envie de trouver un associé d'ici 2 ou 3 années après l'entrée en production. Ils cultivent au maximum 0,5 hectare de SAU par ETP.



Tous les enquêtés sont en relation forte avec la collectivité locale de leur territoire. En effet, c'est principalement une volonté de ces dernières d'implanter un maraîcher. Les collectivités s'impliquent à différents niveaux. Cela va de la location du terrain, à la construction d'un bâtiment agricole ensuite loué à l'exploitant, comme montré sur la Figure 6. La plupart des collectivités connaissent la demande de la population locale et cherche à y répondre en installant des maraîchers qui, par conséquent, n'auront aucun mal à trouver une clientèle prête à acheter leurs produits.

Figure 6: Bâtiment agricole d'un enquêté construit par une collectivité

Au niveau de l'accompagnement, tous se tournaient vers le GAB, jugé compétent techniquement, et la chambre d'agriculture pour permettre de se conformer aux obligations légales et administratives. Ils estiment que travailler avec ces deux organismes est complémentaire. Aucun d'entre eux n'utilisait des outils d'aide à la décision fournis par les structures d'accompagnement, mais avaient, pour 4 sur 5 d'entre eux, créé leur propre Excel de gestion, notamment pour la planification de culture. Cependant, la fertilité n'y était pas abordée.

3.4 - Entretiens avec les 3 conseillers

Un premier entretien a été réalisé avec 2 conseillers de la Chambre d'Agriculture d'Île-de-France, qui accompagne les porteurs de projet sur les plans administratif, comptable et technique. Un second entretien a été effectué avec un conseiller en installation en maraîchage du GAB Île-de-France. Cette structure apporte son soutien aux porteurs de projet dans différents domaines tels que la technique, la formation et la réglementation.

Ces structures sont en relation directe avec les exploitants et les porteurs de projet. Ainsi ils connaissent leur attente et leur façon d'appréhender la fertilité.

Dans la même optique que les entretiens avec les maraîchers à l'installation, un guide d'entretien a été élaboré. Les thématiques abordées étaient les mêmes, à savoir le profil des maraîchers à l'installation, leur système de production et leur gestion de la fertilité. L'objectif était aussi de connaître leurs avis sur un outil de gestion de la fertilité pour les maraîchers à l'installation. Selon eux, quel serait l'utilité d'un outil, son degré de pertinence, son contenu

optimal, sa forme adéquate, son mode de fonctionnement, les données à fournir, l'ergonomie etc...

Le canevas d'entretien est disponible en Annexe 5.2.

4 - Développement du premier prototype

Cette deuxième phase s'est déroulée du lundi 17 avril au vendredi 20 mai. Pendant cette période de conception du futur outil, le travail a été effectué en interne à l'INRAE, impliquant trois parties :

- Le stagiaire (moi-même) chargé de concevoir l'outil sur Excel en fonction du cahier des charges établi.
- Le maître de stage, Kevin Morel, qui a encadré et guidé ce développement de par sa connaissance concernant les attentes des maraîchers à l'installation.
- Le chercheur, en tant que personne ressource dans les domaines agronomiques. Ce dernier, Florent Levavasseur, travaille sur les thématiques de fonctionnement du sol et l'utilisation des matières organiques locales (PRO) (Levavasseur, 2023).

La méthode utilisée pour articuler ces trois parties était la suivante : j'ai commencé par une phase de développement de quelques jours pour aboutir à une première version. Ensuite, j'ai présenté cette version à Kevin Morel qui m'a fait des retours. En tenant compte de ces retours, j'ai réalisé une deuxième version que je lui ai présentée, et ainsi de suite jusqu'à une version 11 qu'on appellera Prototype 1. Parallèlement, lorsque je rencontrais des questions d'ordre agronomique, je m'entretenais avec Florent Levavasseur. Cette façon de fonctionner est illustrée par la Figure 7 .

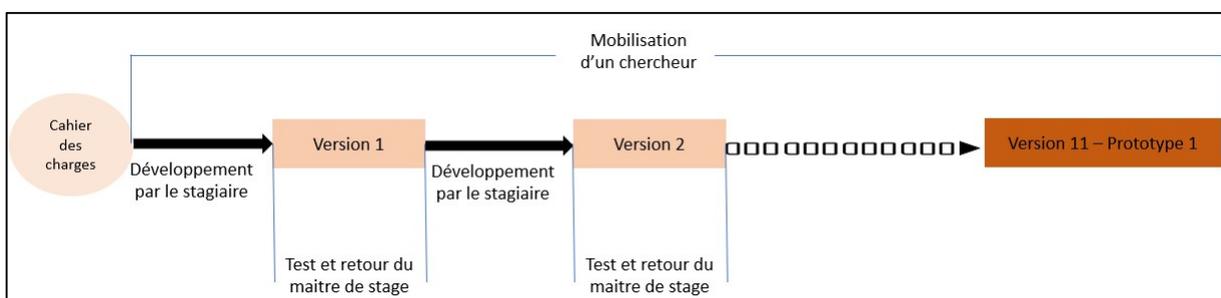


Figure 7: Méthode de développement de l'outil

Au bout de 5 semaines, nous (Kevin Morel et moi) sommes arrivés en phase de saturation théorique (Eisenhardt, 1989). Ce contexte de travail en interne ne nous permettait plus d'améliorer le prototype.

La dernière phase pouvait alors prendre place : celle des itérations.

5 - Phase d'itération

Dans une logique *pas à pas*, l'outil était présenté aux usagers à différentes reprises et des modifications apportées au fur et à mesure. Dans ce contexte d'itération et non de répétitions, il n'a pas pu être réalisé une analyse quantitative, puisque l'outil était différent à chaque itération.

Les modifications étaient effectuées dans un laps de temps restreint, allant d'un à quelques jours. Le choix des modifications intégrées dans l'outil dépendait du temps disponible et de leur pertinence, discutée avec le maître de stage.

5.1 - Première phase d'itération

Suite à la réalisation du prototype 1, une première phase itérative a été réalisée auprès des cinq maraîchers à l'installation enquêtés pour l'établissement du cahier des charges. Cette première phase s'est déroulée du lundi 22 mai 2023 au lundi 3 juin 2023.

Les entretiens duraient 1h pendant laquelle ils étaient invités à tester l'outil, suivi d'une discussion des points suivants : le contenu de fond, la forme, l'ergonomie, l'accessibilité et si l'outil correspondait à leurs attentes. Pour recueillir leurs retours, la même méthode que pour les entretiens du cahier des charges était faite : prise de notes et synthèse à chaud des éléments clés post-entretien.

5.2 - Deuxième phase d'itération : les ateliers

Pour affiner le prototype et améliorer sa généricité, l'outil a été testé auprès d'un public plus large, visité dans toute la France lors d'une deuxième phase itérative du lundi 3 juin au vendredi 15 juillet. Cette deuxième partie a été composée de 8 ateliers répartis sur l'ensemble du territoire. Au total ce sont donc 74 maraîchers à l'installation (public cible), 6 enseignants en formation adulte et 5 conseillers qui ont testé l'outil durant les ateliers.

La Figure 8 ci-dessous indique leur localisation :

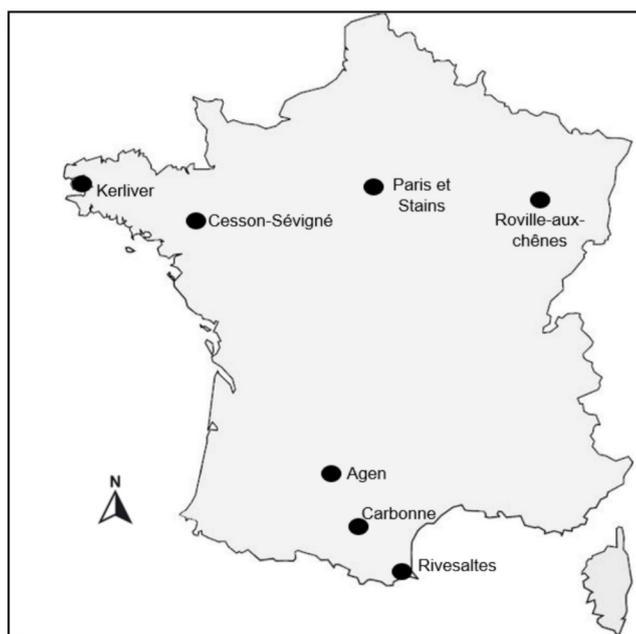


Figure 8 : Localisation des ateliers

Les ateliers ont été réalisés en collaboration avec des partenaires du projet MESCLUN DURAB, chargés de rassembler des porteurs de projet souhaitant s'installer en maraîchage dans leur zone géographique respective. Les informations concernant les différents ateliers, incluant la date, la structure partenaire, le lieu et le nombre de participants, sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques des ateliers

Date	Nom de la structure	Lieu	Effectif
Vendredi 2 juin. Après-midi.	CFPPA de Kerliver	Kerliver	- 15 maraîchers à l'installation en BPREA maraîchage biologique

			- 2 enseignantes
Lundi 5 juin. Matin	AFAUP (Association française d'agriculture urbaine professionnelle)	Stains	- 3 responsables techniques en entreprise - 2 maraîchers à l'installation
Mardi 6 juin. Après-midi.	Agro bio 35	Cesson-Sévigné	- 2 conseillères en maraîchage biologique - 1 maraîcher à l'installation
Mercredi 7 juin. Matin.	CFPPA de Roville-aux-chênes	Roville-aux-chênes	- 12 maraîchers à l'installation en BPRP - 2 enseignantes -1 conseiller en maraîchage
Lundi 12 juin. Matin	Bio Ariège-Garonne (CIVAM Bio 09)	Carbonne	-1 conseillère en maraîchage biologique - 4 maraîchers à l'installation
Jeudi 15 juin.	Chambre d'agriculture du Lot et Garonne	Agen	- 4 maraîchers à l'installation -1 conseiller en maraîchage
Mardi 20 juin	CFPPA de l'école du Breuil	Paris	- 23 maraîchers à l'installation en BPREA maraîchage
Vendredi 23 juin	CFPPA de Rivesaltes	Rivesaltes	- 13 maraîchers à l'installation en BPRP - 2 enseignants

Pour animer les ateliers, nous étions au nombre de quatre. Kevin Morel, chercheur à l'INRAE, et Paul Appert, designer, étaient responsables de tester l'outil de planification des cultures, *La Pépinière*. Louise Castanier, stagiaire à l'UE Maraîchage de Alénya, était chargée du module complémentaire de *La Pépinière* appelé *Pépi-score*, qui traite de l'évaluation environnementale. Quant à moi, j'étais responsable du module complémentaire portant sur la fertilité, appelé *Ferti-Pépi*. Un exemple d'animation est visible sur la Figure 9.

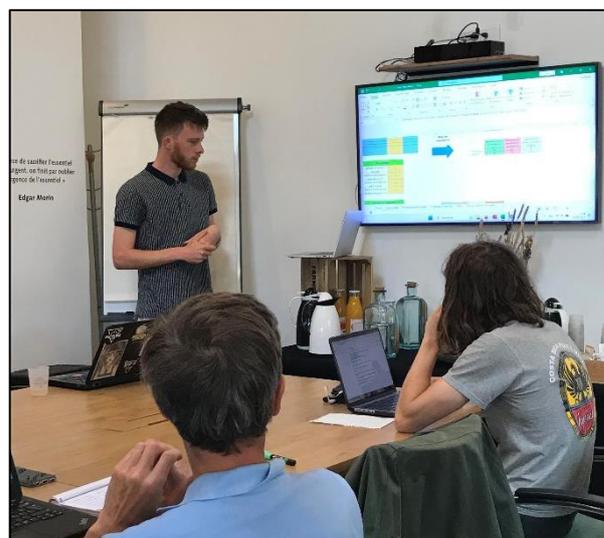


Figure 9: Photographie prise lors d'une de mes animations d'atelier

Étant donné que nous étions 4 animateurs, cela permettait une prise de notes commune et complémentaire. En effet, quand une partie des animateurs présentait, ceux restants prenaient en note les échanges et remarques.

Ultérieurement, une synthèse des données était réalisée, mettant en commun les prises de notes des animateurs. L'analyse des données est donc qualitative : en effet des comptages et des questions fermées sur un outil en constante évolution n'ont pas semblé assez pertinents pour en tirer des conclusions. De plus, le format de l'atelier et les discussions entre les parties permettaient déjà d'identifier les retours qui pouvaient être pris en compte.

Les ateliers étaient découpés en deux phases :

Phase 1 : tests de La Pépinière, environ 1h30

Nous envoyions le lien d'accès pour que les participants aient accès à l'application web de *La Pépinière*. Ensuite, Kevin Morel et Paul Appert présentaient *La Pépinière* et encadraient la phase de test. Puis un tour de table était effectué pour recueillir l'avis et les remarques des participants.

Ensuite, une pause de 5 à 10 minutes était proposée.

Phase 2 : Les 2 modules complémentaires, environ 1h30 (45 minutes par module)

Nous commençons une fois par le module de fertilité, la fois suivante par le module d'évaluation environnementale.

Les deux modules, sous format Excel, étaient déposés sur un drive envoyé aux participants, leur permettant de télécharger et d'ouvrir les modules.

Pour *Ferti-Pépi*, je procédais de la façon suivante : sur un écran projeté, je commençais par présenter la page d'accueil de l'outil expliquant le fonctionnement général et les étapes à suivre. Ensuite, je proposais aux utilisateurs de se familiariser ensemble avec l'outil, étape par étape. Je renseignais donc les informations demandées en même temps que les utilisateurs. Cela permettait à tout le monde d'avancer ensemble et au même rythme, les données remplies étant propres à chacun. Les remarques des utilisateurs étaient recueillies au fur et à mesure du test, puis quand le test prenait fin, un tour de table était réalisé pour connaître l'avis et les remarques des participants. Ces remarques pouvaient ensuite être débattues concernant leur pertinence.

Ces ateliers ont permis d'ouvrir plusieurs débats sur des aspects techniques et agronomiques précis et essentiels pour la crédibilité de l'outil vis-à-vis des utilisateurs. Certaines questions ouvertes pendant les ateliers n'ont pas pu être résolues et ont donc été tranchées par le technicien Manu BUE du GAB 29 partenaire du projet MESCLUN DURAB. En effet, sans réponse concrète apportée par la bibliographie ou non unanime lors des ateliers, Kevin Morel et moi-même avons décidé de nous en remettre à ce technicien chevronné, fort d'une expérience technique accrue et entretenant des relations solides avec les maraîchers.

V - Résultats

1 - Le cahier des charges

1.1 – Comment les maraîchers à l'installation appréhendent la fertilité et gèrent leurs apports de fertilisants ?

« Vas-y, pose-moi tes questions sur la ferti qu'on rigole un peu » Maraîcher 4.

Globalement, la fertilité n'est pas limitante quand on s'installe. Les premiers freins en région Ile de France et sur le territoire d'étude sont d'abord l'accès aux fonciers, aux débouchés commerciaux, à l'eau et trouver la capacité de financement et d'investissement. La gestion de la fertilité est souvent annexe au stade d'installation. Les exploitants ont cependant la volonté de comprendre la gestion de la fertilité. Cependant, par soucis de temps et de manque de connaissances, ils se tournent vers des doses préétablies qui sont conseillées par divers organismes techniques ou acteurs du bio-intensif comme Jean-Martin Fortier. Ce dernier est un maraîcher québécois, qui via un livre très populaire chez les maraîchers à l'installation (*« Le jardinier maraîcher »*), explique ses méthodes de production basées sur le bio-intensif (Fortier, 2012).

« On n'a pas envie de comprendre comment calculer le K1, K2, etc., quand il y a Jean-Martin Fortier qui vous préconise des quantités qui marchent sur sa ferme » Maraîcher à l'installation 5

Tous les enquêtés utilisaient des matières organiques locales. Tous utilisaient du compost de déchet vert acheté à des composteurs des alentours. Ce compost était la principale source de matière organique des exploitations ou futures exploitations rencontrées. 2 sur 5 utilisaient ou avaient la volonté d'utiliser également du compost de fumier de cheval. 2 sur 5 veulent tendre vers une autonomie en compost de déchet vert avec la volonté d'implanter des haies.

Pour estimer les quantités, les maraîchers ne réalisaient pas de calcul de fertilisation. Ils n'utilisaient pas le bilan azoté, ni le bilan humique etc...

« La fertilité et les apports, c'est au doigt mouillé ». Maraîcher à l'installation 1.

De ce fait, les doses varient énormément en fonction des enquêtés. Il y a un extrême avec plus de 80 tonnes de compost de déchets verts à l'hectare et par an. Certains vont mettre 50 tonnes par hectare tous les 2 ou 3 ans en fonction du sol et de la dégradation du compost. D'autres m'ont parlé de 15 tonnes tous les 2 ou 3 ans. Certains parlent plus en termes d'épaisseur et veulent mettre jusqu'à 15 cm en une fois chaque année. Un autre m'a communiqué qu'il voulait épandre 3 cm en plusieurs fois. Un autre exploitant n'avait pas d'ordre de grandeur communiquer et disait qu'il voulait suivre à la lettre la méthode Fortier.

Aucun des enquêtés ne connaissait la composition du compost qu'il épandait. Ils savaient que c'était du compost de déchet vert, mais il ne connaissait pas les quantités d'éléments nutritifs qu'il apporte en azote, phosphore, potasse, le temps de minéralisation, le taux de matière sèche etc.

Pour compléter cette fumure de fond, 2 exploitants sur 5 avaient la volonté d'utiliser des « bouchons » qui sont des engrais utilisables en agriculture biologique issus du commerce. Les exploitants n'étaient pas en capacité d'estimer les doses qu'ils épandent. Un m'a dit qu'il en mettait environ 30gr/m²/an en fonction des besoins de la culture.

Aucun enquêté n'avait d'ailleurs fait d'analyse de sol récente. Mais tous s'accordent à dire qu'une analyse de sol est utile et espèrent en faire une dans un futur proche. En effet, les exploitants sont tous intéressés par leur taux de matière organique dans leur sol. Cependant, quand je leur demandais comment ils comptaient utiliser l'analyse de sol dans la gestion de leur fertilité, la plupart me répondait que cela servira uniquement à ajuster grossièrement les quantités de compost épandues.

1.2 - Ce qu'ils attendent de l'outil

1.2.1 - Avis des exploitants sur l'élaboration d'un outil de gestion de fertilité

Quand je parlais de l'idée de concevoir un outil pour l'aide à la gestion de la fertilité en maraîchage destiné aux personnes en cours d'installation, tous trouvaient l'idée bonne, car ils ne connaissaient pas à ce jour pas d'autres outils de gestion de la fertilité en maraîchage. Et il trouvait que globalement en Europe nous étions en retard sur le développement de ce genre d'outils comparé aux Américains, comme Jean-Martin Fortier, qui via une formation payante, propose un outil de gestion du système de production (Institut Jardinier Maraîcher, 2023).

Les enquêtés observent qu'en général, chaque maraîcher construit son propre outil de gestion, le plus souvent sur Excel, en particulier pour la planification.

« On réinvente la roue à chaque fois » Maraîcher à l'installation 3

Cependant ce genre d'outil est fait et pensé par l'exploitant pour sa ferme et n'est donc pas réutilisable par ses pairs. L'idée de créer un outil générique qui puisse être utilisé par tous pour la gestion de la fertilité a été appréciée.

« C'est un bon thème de stage » Maraîcher à l'installation 1

De plus, de nombreux exploitants m'ont confié avoir des lacunes techniques sur la gestion de la fertilité.

"Nous ne maîtrisons pas la fertilité, c'est un processus complexe » Maraîcher à l'installation 5

Cependant, ils ont tous envie d'en apprendre plus sur le fonctionnement de leur sol et comprendre pourquoi on applique telle ou telle dose. Les cours de BPREA ne leur permettaient pas de réellement comprendre le fonctionnement des sols et de comprendre les apports. En effet, ils connaissaient les grands principes de fertilité et l'importance des éléments nutritifs, mais pas les principes de fonctionnement du sol, ainsi que la disponibilité des nutriments.

1.2.2 - Le support informatique

Le premier point de discussion concerne le support numérique. Le format de la feuille Excel a été largement apprécié par les exploitants, et ce, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, même pour les personnes qui n'ont pas de bases en informatique, le logiciel Excel permet une utilisation facile et connue de tous. De plus, pour les personnes plus expérimentées en informatique, il permet aisément de modifier ou d'adapter l'outil.

Un exploitant m'a également confié que ce format était utilisable sur un téléphone, permettant ainsi une utilisation sur le terrain.

1.2.3 - Raisonnement de la fertilité

Les exploitants pensent que le point de départ sont les débouchés commerciaux. Pour eux, il vaut mieux se baser sur les cultures mises en place et les engrais verts, que de partir des quantités de matière organique qui sont moins limitantes. Cependant, la nature des matières disponibles peut être restreinte sur le territoire. Il est donc nécessaire de prendre en compte la nature de ces matières plus que les quantités disponibles. Les éléments nutritifs à suivre seront l'azote, le phosphore et la potasse. Un suivi sur le taux de la matière organique, devra aussi être présent.

1.2.4 - Sorties attendues et échelle de l'outil

Les exploitants avaient le souhait que l'outil communique des informations avec des unités qui leur parlent. L'unité de la planche et de la brouette pour la quantité épandue est donc majoritairement ressortie. Les exploitants ont aussi confié qu'il pourrait être intéressant de connaître les quantités globales à apporter sur la ferme.

« Connaitre les quantités à commander (acheter) serait pratique » Maraîcher à l'installation 3

En ce qui concerne la temporalité, l'échelle qui est ressortie est celle de l'année. Certains auraient souhaité que l'outil puisse fonctionner à l'échelle du mois, voire de la semaine. Cependant, d'autres ont également exprimé que proposer une échelle trop fine serait forcément fautive, car le contexte propre à chacun ne permettrait pas de fournir une information précise.

1.2.5 - Ergonomie et simplicité de l'outil

Les exploitants ont exprimé un réel besoin d'avoir un outil ergonomique et simple d'utilisation.

« On ne veut pas d'une usine à gaz » Maraîcher à l'installation 5.

Cela permettra une prise en main rapide et donc d'obtenir vite des informations et réaliser des simulations. L'une de leurs principales volontés est que leur outil soit pédagogique et permette de comprendre le processus de réflexion qui mène aux sorties proposées. Ils veulent qu'il soit simple d'utilisation et assez ergonomique (avec des instructions claires, des boutons faciles à utiliser, etc.). Ils veulent utiliser l'outil tout seul, éventuellement avec un tutoriel ou une notice.

"On a tellement été bercés avec des choses très ergonomiques qu'on est de plus en plus habitués à avoir des outils très faciles d'utilisation et ça devient compliqué quand ça l'est moins" Maraîcher à l'installation 2.

Leur souhait est d'avoir un outil simple et concret, en relation directe avec le terrain, sans être trop complexe. Avoir une bonne gestion visuelle en incluant des photos, afin d'éviter la lecture et de créer quelque chose de très facile visuellement.

« L'œil est fait pour voir des couleurs et des formes » Maraîcher à l'installation 4

1.3 - Des attentes confirmées par les conseillers

Les entretiens menés avec les conseillers confirment les attentes que les maraîchers ont exprimées en ce qui concerne le potentiel d'un outil de gestion de la fertilité.

De leurs points de vue, la question de la fertilité des sols est très importante pour les porteurs de projet, mais il existe des problématiques plus importantes telles que l'accès au foncier ou les débouchés lorsqu'on s'installe. Cependant ils essaient de se documenter et de se former grâce à des vidéos sur internet ou des conférences.

"On entend beaucoup parler de Fortier." Conseillère en chambre d'agriculture

Cependant, cela entraîne parfois une vision erronée de la gestion de la fertilité.

"La fertilité ne se résume pas seulement au carbone, à l'azote et au paillage", explique le conseiller du GAB Île-de-France.

Selon eux, la création d'un outil qui permettrait de donner une idée à l'exploitant des quantités à épandre, tout en faisant comprendre les mécanismes de la fertilité, est pertinente. L'outil doit être simple et prendre en compte les cultures intermédiaires, bien que compliquées à inclure dans la gestion de la fertilité, admettent-ils. À la connaissance des conseillers, les exploitants n'utilisent pas d'outil pour la gestion de leur fertilité.

1.4 – Résumé des éléments du cahier des charges

Le cahier des charges établi dans cette phase est synthétisé dans la Figure 10.

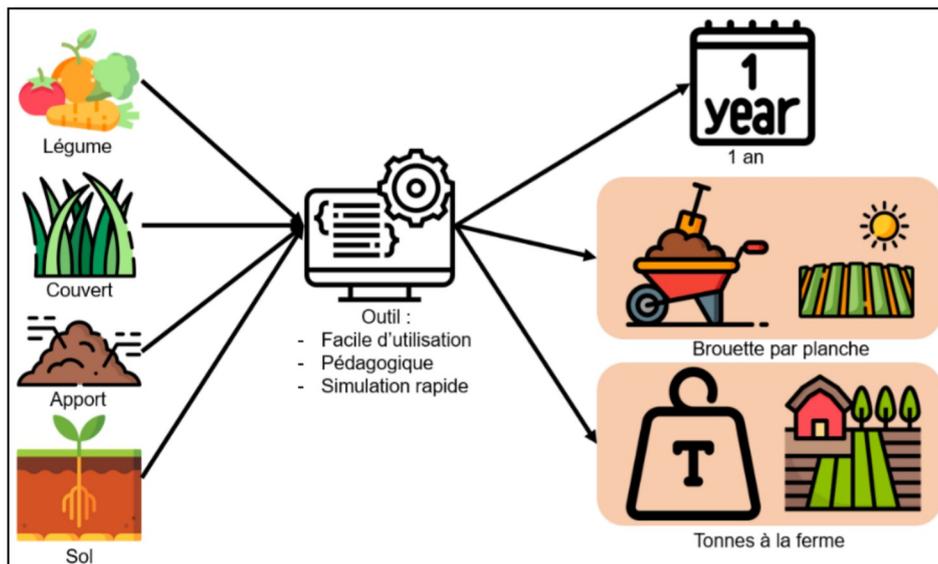


Figure 10 : Synthèse du cahier des charges

L'utilisateur indiquera ses cultures, ses couverts végétaux, les types d'apports fertilisants ainsi que la nature de son sol. Ensuite, l'outil devra lui permettre de réfléchir aux quantités d'apports à réaliser par an. Pour les unités de masse et de surface, idéalement, deux options seront proposées à l'utilisateur : soit en brouettes (environ 35 kilogrammes) par planche, soit en tonnes pour l'exploitation agricole. L'outil devra être facile d'utilisation, pédagogique, et permettre de simuler rapidement différents scénarios.

2 - Le premier prototype

Dans cette partie, sera présenté le prototype 1 réalisé à l'issue de la première phase de développement. Ensuite, dans la partie suivante, seront exposées les améliorations réalisées pendant les phases itératives, qui ont conduit à la version finale.

2.1 - Organisation générale de l'outil : schéma conceptuel

L'organisation générale de l'outil est composée d'éléments d'entrée, qui vont servir à alimenter le processus de l'outil, qui lui-même fournira des éléments de sortie.

Les entrées font référence, dans un premier lieu, aux données demandées à l'utilisateur ou issues des données de planification de l'outil de *La Pépinière*. Les données comprennent les caractéristiques du sol, le type de légumes cultivés et leurs surfaces correspondantes, le type de couverts végétaux et le type d'apports sur la ferme. De plus, les entrées comprennent la base de données de références techniques. L'utilisateur est aussi amené à faire des choix en termes de quantités d'apport et à les moduler jusqu'à obtenir satisfaction. Il est donc considéré comme une entrée.

La partie « Processus », contient des équations qui sont construites grâce à des recherches bibliographiques et expertises des chercheurs mobilisés. Les calculs sont réalisés à partir des données d'entrée, de la base de données et des choix de l'utilisateur. Ces équations permettent d'apporter des informations concernant le rapport entre les éléments minéraux (NPK) exportés et ceux importés, ainsi que l'évolution du taux de matière organique.

Les sorties de l'outil dressent un bilan des apports à réaliser à différentes échelles.

L'utilisation de l'outil est permise grâce à des fonctionnalités informatiques et des interfaces qui le rendent manipulable et ergonomique.

Le schéma fonctionnel qui synthétise le fonctionnement de l'outil est présenté via la Figure 11. Dans les sous parties suivantes, seront présentés les différents éléments qui composent l'outil. Ce sera, dans l'ordre suivant : les entrées, le processus, les sorties, puis les fonctionnalités informatiques et interface.

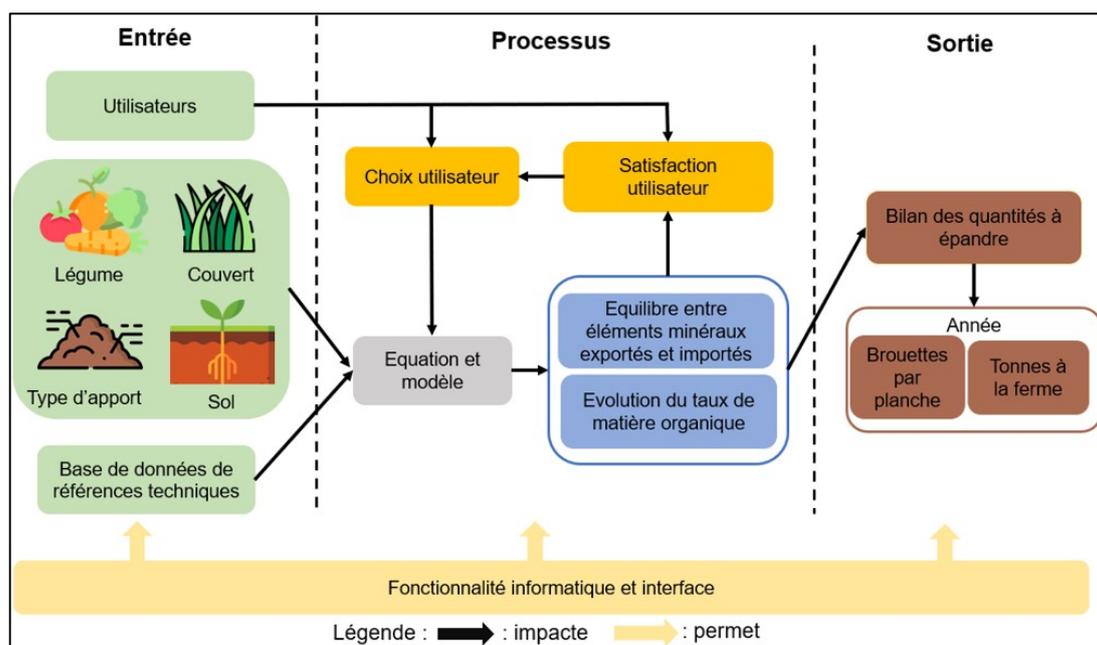


Figure 11: Schéma fonctionnel de l'outil

2.2 - Les entrées

Les légumes cultivés et les exportations associées

Les entrées commencent par les légumes cultivés, où il est demandé la culture, la surface et le mode de culture (plein champ/sous abri). Ces informations pourront être importées depuis l'outil *La Pépinière*.

Grâce à la base de données et aux équations du processus, l'outil calcule les exportations moyennes par hectare en azote, phosphore et potasse de l'ensemble des cultures pour chaque mode de culture. Une représentation de cette partie est présente dans la Figure 12. L'équation correspondante est l'équation 1 de la table des équations située en Annexe 6. Pour construire la base de données des exports, de multiples sources ont été croisées, mais les principales sont celles de la FRAB Bretagne (FRAB, 2015) et du COMIFER (COMIFER, 2013).

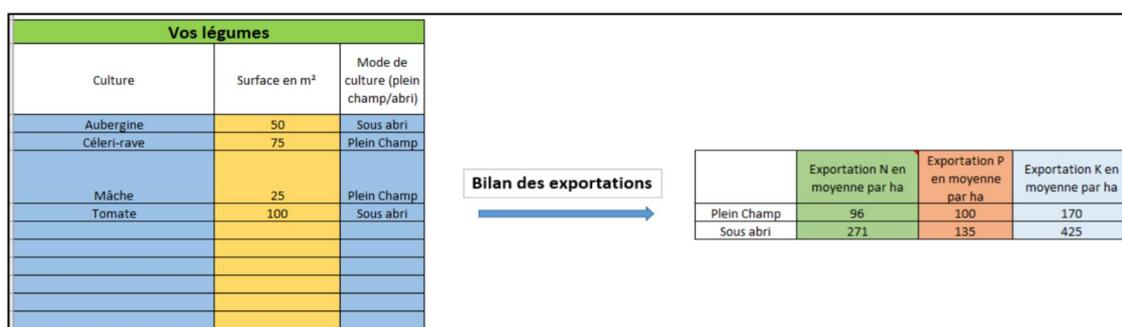


Figure 12: Partie "Vos légumes" dans le prototype 1

Caractéristiques des couverts

Ensuite, ce sont les couverts qui sont demandés. Il n'est pas précisément demandé l'espèce du couvert, mais des types préétablis dans la méthode MERCI (Chambre Régionale d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine, 2010), par exemple couvert de légumineuses, couvert de graminées ou encore un couvert avec l'association graminées/légumineuses. Il faut renseigner un type de couvert par mode de culture. A ce stade, il n'est pas demandé les quantités ou les surfaces. La base de données contient les estimations de restitution à l'année pour chaque type, issues de la méthode MERCI. Une illustration de cette partie dans l'outil est disponible en Annexe 7.

Les types d'apports et leurs caractéristiques

Les apports présents dans la base de données, ainsi que leurs caractéristiques, sont issus des différents travaux menés par l'INRAE dans le cadre du référencement des apports disponibles sur le territoire francilien. Ces travaux sont retranscrits dans le livre « Le recyclage des résidus organiques » de Jarousseau et al. (2016).

Ces travaux fournissent des quantités d'azote, phosphore et de potasse présents dans les apports. Pour l'azote, on applique à ce taux le coefficient d'équivalence en éléments minéraux (Keq en français) de Gutser et al. (2005) qui tient compte de la minéralisation à court terme de l'azote organique et de la part d'azote minérale de l'apport. La forme minérale de l'azote est celle absorbable par la plante. L'équation 2 en Annexe 6 illustre comment ce coefficient est appliqué.

Pour le phosphore et la potasse, on dispose de coefficients d'équivalence moins précis. On estime qu'un coefficient de 60% pour la teneur en phosphore et de 100% pour la potasse sont applicables.⁴

Quant à la matière organique stable, anciennement appelée humus (Celesta-lab, 2015), elle est obtenue en multipliant le taux de matière sèche par l'indice de stabilité de la matière organique. Cette manière de faire est notamment expliquée par le laboratoire des sols, Celesta-lab. L'équation 3 montre le calcul en Annexe 6. Dans l'outil, tout cela se présente ainsi, comme le montre la Figure 13 ci-dessous :

Vos amendements	Caractéristique en azote				Caractéristique en phosphore			Caractéristique en potasse			Apport en matière organique stable				
	Teneur en N par tonne	Coefficient d'équivalence en N sur la période de culture (R. Gutser et al., 2005)			Azote disponible en unités	Teneur en P par tonne	Coefficient d'équivalence en P sur la période de culture	Phosphore disponible en unités	Teneur en K par tonne	Coefficient d'équivalence en K sur la période de culture	Potasse disponible en unités	Taux de matière sèche	Coefficient d'humification ISMO	Matière organique stable en pourcentage	
		Valeur Haute	Moyenne	Valeur Basse											
Compost de fumier de cheval	2	10%	30%	50%	0,3	2,6	60%	0,6	1,6	100%	1,56	0,5	0,7	35	
Compost de Biodéchet (casier)	31,7	10%	15%	20%	0,15	19,6	60%	4,755	16,3	100%	11,76	0,57	0,582	33,174	
Fientes de volaille	4	75%	70%	65%	0,7	4,4	100%	2,8	2,7	100%	4,4	0,478	0,65	31,07	
Compost de déchet vert	1,8	10%	15%	20%	0,15	0,7	60%	0,27	1,8	100%	0,42	0,584	0,8	46,72	
/	0	0%	0%	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	0	0	
Engrais personnalisé 1	A vous de renseigner le N de l'engrais -->				10	A vous de renseigner le P de l'engrais -->			7	A vous de renseigner le K de l'engrais -->					
Engrais personnalisé 2															
Engrais personnalisé 3															

Figure 13: Partie "Vos amendements" dans le prototype 1

Caractéristiques du sol

Une dernière entrée concerne le sol. En fonction du stade d'installation, il se peut que des maraîchers à l'installation n'aient pas encore de foncier. Il était alors essentiel que cela ne soit pas un frein à l'utilisation de l'outil. C'est pourquoi si l'utilisateur ne connaît pas son sol, il peut se baser sur un sol aux caractéristiques génériques.

Comme le montre la Figure 14, le sol générique choisi a une texture limoneuse, comme la majorité des terres situées dans la moitié Nord de la France (INRAE, 1998). La température moyenne prise est celle la plus présente sur la carte des températures moyennes présente dans l'outil. Pour les autres caractéristiques du sol, telles que le taux de cailloux ou de matière organique, des taux équilibrés ont été choisis, n'allant pas vers les extrêmes. Ce sol générique est là dans l'objectif de ne pas fausser la simulation et d'impacter le moins possible les résultats.

Votre sol		
Avez-vous réalisé une analyse de sol		
	OUI : compléter ci-dessous	NON : sol générique
Texture	Limoneux moyen	Limoneux moyen
Profondeur travaillé en m	0,15	0,3
Pourcentage de cailloux	10	20
Température moyenne (carte ci-contre)	11	10
Teneur en matière organique en %	2	2
Volume de terre en mètre cube/ha	1500	3000
Masse de terre fine en t/ha	2175	4350
Quantité de matière organique stable (t/ha)	39,15	69,6
Estimation du K2 :	0,02	0,02
Part de matière organique stable minéralisée (Kg/ha)	803	1190
Carbone organique	467	692
Azote du sol (Kg/ha)	42,4	62,9

Figure 14 : Partie "Votre sol" du prototype 1

La base de données contenant les caractéristiques des différentes textures (AUREA, 2016), ainsi que les équations, permettent ensuite d'estimer les quantités d'azote disponibles pour les cultures sur une année. Les calculs sont détaillés via les équations allant de équation 4 à équation 10, présentées en Annexe 6.

⁴ Élément communiqué par Florent Levavasseur

2.3 - Pilotage des quantités d'apports par l'utilisateur

Le processus permet à l'utilisateur de trouver un équilibre entre les quantités en éléments minéraux exportés et importés, mais aussi de suivre l'évolution de la matière organique. Cet équilibre peut être modifié et apprécié via des fonctionnalités informatiques qui sont des curseurs et des graphiques dynamiques.

Pour se faire, j'ai imaginé un « centre de contrôle », où l'utilisateur, via les curseurs, ajuste les paramètres de son système, c'est-à-dire les quantités d'apport, le pourcentage annuel de surface qui reçoivent des couverts et les caractéristiques de sols. Cela se présente selon la Figure 15.

Piloter la fertilisation plein champ							
	Unité	Gestion des quantités		N	P	K	Matière organique stable
Azote du sol (Kg/ha)	Taux de Matière organique	2		42,4	/	/	/
Gain de l'engrais vert	Pourcentage d'engrais vert en plein champ	25		5	3,4375	20,625	93,75
Compost de fumier de cheval	t/ha	11		3,3	6,6	17,16	3850
Compost de Biodéchet (casier)	t/ha	6		0,9	28,53	70,56	1990,44
Fientes de volaille	t/ha	10		7	28	44	3107
Compost de déchet vert	t/ha	13		1,95	3,51	5,46	6073,6
/	t/ha	0		0	0	0	0
Engrais personnalisé 1	kg/ha	198		19,8	13,86	59,4	0
Engrais personnalisé 2	kg/ha	0		0	0	0	0
Engrais personnalisé 3	kg/ha	0		0	0	0	0

Figure 15: Centre de contrôle de l'utilisateur pour piloter sa fertilisation

Lorsque l'utilisateur va ajuster les curseurs, des quantités d'éléments nutritifs et de matière organique évolueront proportionnellement en fonction des quantités choisies par l'utilisateur. Par exemple pour les unités d'azote apportées, cela va dépendre des choix de l'utilisateur et de son système, comme le montre l'équation 11, détaillée dans la Figure 16 ci-dessous :

$$\text{Unités d'azote apporté par l'apport} = \text{tonnes d'apport} \times \text{azote disponible par tonne}$$

↑

Choix de l'utilisateur
piloté par curseur

↑

Caractéristiques
issues des données
utilisateur

Figure 16 : Représentation et détails de l'équation 11

Les quantités obtenues sont ensuite représentées sur un premier graphique qui mettra en relation les quantités d'éléments nutritifs exportées et importées. Le graphique est illustré par la Figure 17.

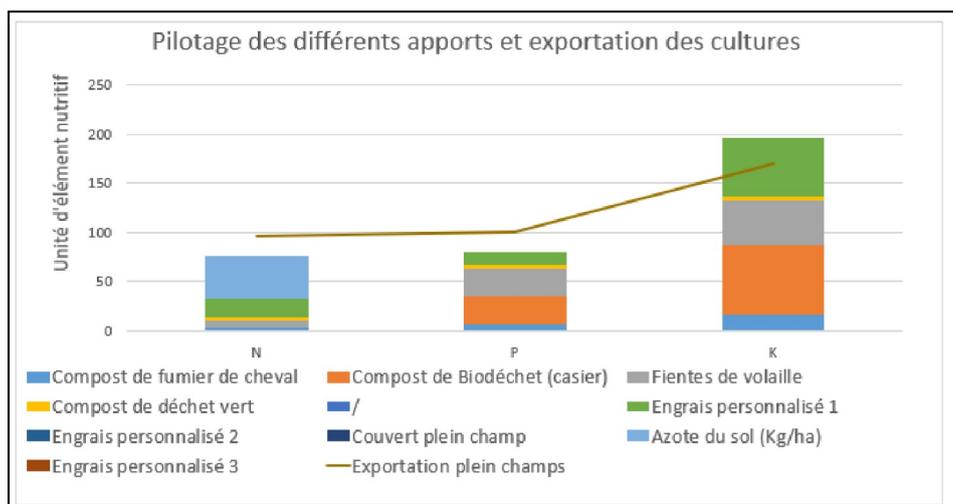


Figure 17: Quantités d'éléments nutritifs exportées et importées

La courbe représente les exportations liées à un mode de culture spécifique (sous abri ou plein champ), et les diagrammes empilés indiquent la part d'éléments nutritifs apportée par chaque type d'apport, de couvert ou par le sol. Ces parts et les quantités d'éléments nutritifs évoluent en fonction des modifications du curseur qui influent sur ces paramètres.

La gestion des apports est pensée pour chaque mode de culture, car en général les successions de cultures sont plus intensives sous abris avec des cultures plus gourmandes. Cependant, le principe de gestion est le même pour les deux modes de culture (plein champ/sous abri).

Un deuxième graphique (Figure 18) montre l'évolution du taux de matière organique stable (humus) en fonction des quantités définies par l'utilisateur via les curseurs.

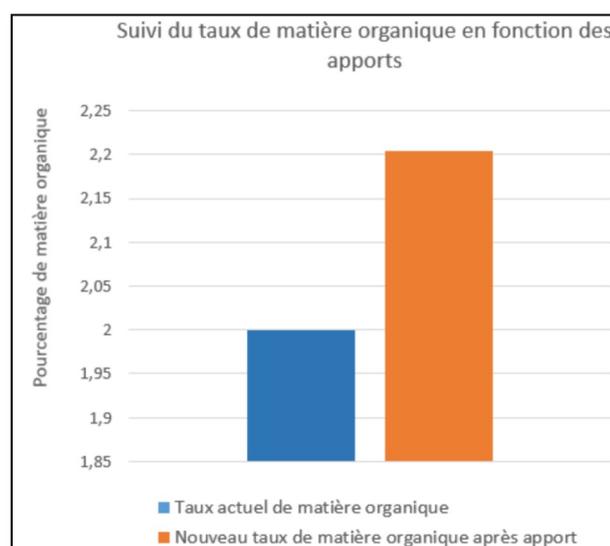


Figure 18: Evolution du taux de matière organique stable

2.5 - Fonctionnalités informatiques et interfaces

Cette partie contient les fonctionnalités informatiques ainsi que les interfaces incluses dans l'outil. En ce qui concerne les fonctionnalités informatiques, nous comptons, par exemple, les curseurs qui sont utilisés pour se rendre compte des quantités d'éléments nutritifs apportées. Nous pouvons aussi relever les graphiques dynamiques qui permettent à l'utilisateur de voir en temps réel l'impact de ses choix et donc de simuler plusieurs scénarios.

En ce qui concerne les interfaces, comme le montre la Figure 19, j'ai d'abord ajouté une légende, qui permet à l'utilisateur de comprendre quel type d'information lui est demandé et sous quelle forme. Un autre élément notable est la présence de définitions sur certains termes

techniques, permettant à tous les utilisateurs d'avoir la même compréhension. Ces définitions proviennent du laboratoire d'analyse Celesta lab.

Légende :		Apport en matière organique stable		Définition : L'ISMO a pour objectif de calculer dans le produit initial, le pourcentage de matière organique potentiellement résistante à la dégradation, c'est-à-dire, la partie de la matière organique qui a terme deviendra de la matière organique stable (ou liée). L'ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique) est donc une appréciation rapide en laboratoire du coefficient K1 (Coefficient Iso humique) d'un produit organique, coefficient obtenu habituellement à partir d'expérimentation plein champ de moyenne à longue durée. (Source : Celesta-Lab)
	Couleur de case correspondante	Taux de matière sèche	Coefficient d'humification ISMO	
A compléter par l'utilisateur		0,5	0,7	35
Liste déroulante à compléter par l'utilisateur				
Valeur à modifier avec curseur				
Définition présente en passant le curseur sur la case				

Figure 19 : Légende et définition de l'outil

2.6 - Le bilan

Lorsque l'utilisateur aura trouvé un équilibre entre les éléments nutritifs exportés et importés, et que l'évolution de son taux de matière organique lui conviendra, il pourra se tourner vers un récapitulatif. Ce dernier lui communiquera, en fonction de la surface de sa ferme et de celle de ses planches, les quantités à apporter en tonnes sur la ferme ou en brouettes par planche pour chaque mode de culture. Une illustration de cette partie dans l'outil est disponible en Annexe 7.

3 - Vers le prototype final : la phase itérative

Dans cette partie seront présentées les principales parties qui ont subi des modifications et améliorations majeures afin d'aboutir à la version finale. Je détaillerai ici quelques améliorations clés. N'ayant pas la place de toutes les détailler, une synthèse se trouve dans le point 3.4 de la partie résultat.

3.1 – Exportation ou besoin

La partie "Vos légumes" permet de mettre en relation les cultures choisies et les exportations en éléments nutritifs. Cependant, lors des ateliers, les participants nous ont demandé pourquoi les besoins n'étaient pas pris en compte dans leur ensemble. Les besoins font référence à la totalité des éléments minéraux nécessaires au développement et à la production de la plante. Cela inclut l'addition des éléments minéraux requis pour la récolte (exportation) et ceux nécessaires pour le développement de la plante (résidu). Nous pouvons écrire : $\text{Besoin} = \text{Exportation} + \text{Résidu}$

Au départ, nous avons considéré uniquement les exportations en postulant que les résidus de culture restaient dans le système de production et étaient donc restitués au sol. Cependant, ce postulat a fait débat comme illustré dans la Figure 20. Au final, nous avons opté pour considérer les exportations pour la majorité des cultures pour lesquelles il est crédible que les résidus soient restitués mais avons également considéré les besoins pour certaines cultures volumineuses qui sont le plus souvent exportées selon les techniciens. Ce cheminement et compromis final est illustratif de la plupart des autres choix effectués.

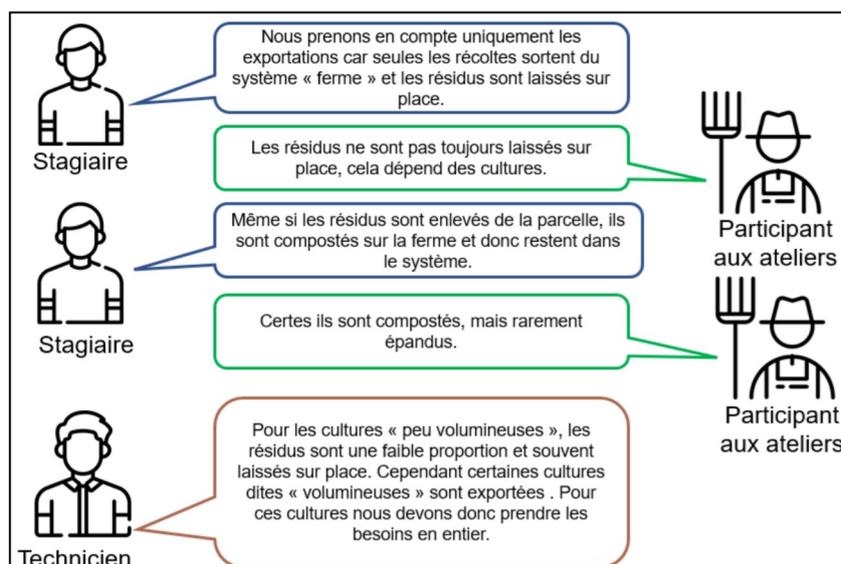


Figure 20 : Synthèse du débat exportation ou besoin

De plus, les participants des ateliers ont jugé bon d'afficher les quantités de chaque élément nutritif pour chaque légume, ainsi que de les classer afin « d'avoir une idée » de leurs exigences vis-à-vis de leur consommation, comme le montre la Figure 21. Les légumes ont donc été classés en 3 catégories : Faible, Moyenne ou Forte. Ce classement est basé sur celui de la FRAB Bretagne (FRAB Bretagne, 2015) et considère que lorsque les exportations cumulées en azote, phosphore et potasse sont inférieures à 170 unités, la culture est considérée comme ayant des exigences « faibles ». Si elle dépasse la somme de 235 unités, elle est considérée comme « forte ». Entre les deux, elle est considérée comme « moyenne ».

Vos légumes						
Culture	Surface en m ²	Mode de culture (plein champ/abri)	Exportation en N/ha	Exportation en P/ha	Exportation en K/ha	Exigence (forte, moyenne ou faible)
Tomate cerise	1000	Sous abri	300	150	600	Forte
Asperge	2000	Sous abri	100	60	200	Moyenne
Scorsonère	100	Sous abri	90	80	350	Forte
Crosne du Japon	2000	Sous abri	65	90	180	Moyenne
Aubergine	3000	Plein Champ	180	120	250	Forte
Radis	3000	Plein Champ	75	50	100	Faible

Figure 21: Partie "Vos légumes" après les ateliers

Enfin, le calcul des exportations moyennes par légume a été revu. En effet, celui-ci n'incluait pas le fait qu'en maraîchage, plusieurs cultures se succèdent dans une même année. Il est donc maintenant demandé de fournir les surfaces de cultures réelles en plein champ et sous abri. Le nouveau calcul, qui rend caduque celui de l'équation 1, est détaillé dans l'équation 12 et l'équation 13 de l'Annexe 6. Cela permet de tenir compte de l'intensification possible des surfaces maraîchères en enchaînant les cultures

3.2 – Renseigner le type d'apports : entre pédagogie et simplicité

La partie "Vos apports" des entrées a également été beaucoup discutée.

Pendant les ateliers, il a été considéré que la partie des apports, représentée par la Figure 13, était trop lourde et complexe. En effet, elle contient de nombreux nombres décimaux sans aucune illustration graphique. Ainsi, les chiffres ont été convertis en pourcentages pour plus de clarté et de lisibilité, et des illustrations ont été intégrées pour rendre l'outil moins austère et plus visuel.

Tout au long de la phase itérative, un débat a donc eu lieu pour déterminer s'il fallait privilégier la simplicité ou la pédagogie. Finalement, étant un outil de conception de système de production destiné aux personnes en cours d'installation, ayant des connaissances agronomiques limitées, il a été décidé de conserver les coefficients et les explications car la dimension pédagogique était au cœur de notre démarche.

Une dernière modification notable dans cette partie concerne le fait que l'aspect économique n'était pas du tout pris en compte. Il a donc été ajouté dans le tableau des apports un prix indicatif par tonne pour chaque apport, avec la possibilité d'ajouter un prix personnalisé. Une illustration de la partie finale des apports dans l'outil est disponible en Annexe 8.

3.3 – Guider l'utilisation : Accessibilité et ergonomie

L'outil manquait cruellement d'ergonomie et n'était pas compréhensible, encore moins utilisable par un exploitant en autonomie.

Cela s'est fortement ressenti lors des premières itérations, durant lesquelles les utilisateurs n'arrivaient pas à utiliser l'outil. Au fur et à mesure des itérations, j'ai ajouté des éléments de compréhension, ce qui a permis aux testeurs de mieux s'approprier l'outil. À chaque itération, j'ai noté les étapes auxquelles les utilisateurs étaient bloqués afin d'ajouter des éléments de clarification pour mieux les guider.

Une page d'accueil a ainsi été rajoutée comme montré dans la Figure 22, résumant les étapes de l'outil et le cheminement suivi. Se trouvent également des boutons renvoyant vers les différentes parties de l'outil.

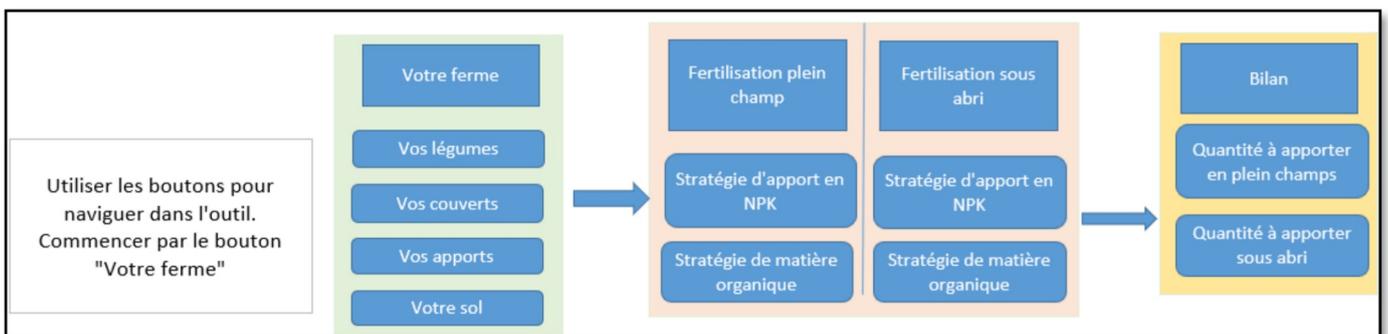


Figure 22 : Etape et cheminement de l'outil dans la page d'accueil

Une illustration complète de la page d'accueil de l'outil est disponible en Annexe 9.

De nombreux éléments de clarification ont également été ajoutés, tels que des flèches, des encarts, des couleurs et une légende continuellement apparente. Cependant, il a été ressenti que sans mon accompagnement lors des tests, de nombreux utilisateurs n'arriveraient pas à naviguer correctement dans l'outil. Ainsi, une notice a été rédigée afin que les utilisateurs puissent se passer d'un animateur ou d'un accompagnement lors de l'utilisation. Elle se trouve en Annexe 10.

3.4 - Amélioration des équations : l'exemple de la disponibilité en azote

Au fur et à mesure des tests, nous avons constaté avec les conseillers des résultats parfois illogiques agronomiquement parlant et bien trop loin de la réalité du terrain. Cela venait en partie d'équations fausses en termes de mathématiques ou d'agronomie.

C'était notamment le cas du calcul de la disponibilité en azote. Le K_{eq} , jusque-là appliqué à la teneur en azote d'un apport organique, donne un équivalent d'azote minéral de cet apport. En utilisant uniquement ce coefficient, nous partions donc du principe que l'azote minéral est utilisé dans son entièreté par la plante. Or ce n'est pas le cas.

Il existe en effet des pertes diverses liées à la mobilité microbienne de l'azote, à la volatilisation ou autres. Pour intégrer ces pertes, on utilise en grandes cultures le concept de CAU (Coefficient Apparent d'Utilisation), qui permet d'approximer ces pertes. Il est variable selon les contextes et les cultures (COMIFER, 2019).

Dans le système de production maraîcher, nous avons considéré une valeur par expertise de 0,8, ce qui veut dire que 20% de l'azote assimilable par les plantes est perdu. Cette valeur est à affiner selon les contextes et les pratiques. Ce nouveau calcul est retranscrit via l'équation 14, illustré dans la Figure 23.

$$\text{Unités d'azote disponibles pour les plantes} = \text{teneur en azote} \times K_{eq} \times \text{CAU}$$

Figure 23: Représentation de l'équation 14

3.5 - Synthèse des améliorations et des modifications

Dans les points ci-dessus, toutes les améliorations et modifications de l'outil n'ont pas été évoquées pour des raisons de pertinence et de synthèse.

Toutes les modifications sont disponibles via le Tableau 2 récapitulé ci-dessous, qui résume les éléments mis en place lors de la phase de développement et les améliorations effectuées lors des phases itératives.

Toutes les modifications et améliorations ont été discutées ou débattues au titre que celle développées dans les premiers points de la partie résultats.

Tableau 2 : Synthèse des améliorations de l'outil

		Prototype 1	Phase itérative
	Légume	<ul style="list-style-type: none"> - Choix du type de légume - Surface cultivée - Choix sous abri/plein champs - Exportation en NPK 	<ul style="list-style-type: none"> - Remise en cause du choix besoins/exportations - Confirmation à dire d'expert de prendre exportation sauf pour certaines cultures - Prise en compte de l'intensification et du rapport surface réelle/surface cultivée - Création de classes en fonction des exigences nutritives des légumes
	Couvert	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte grâce à la méthode MERCI des potentiels apports par le couvert - Etablissement des grands types de couvert 	<ul style="list-style-type: none"> - Révision des données en éléments nutritifs fournis en fonction du type de couvert

Entrée	Apport	<ul style="list-style-type: none"> - Choix du type d'apport - Présence de la teneur en éléments nutritifs pour les amendements de la base de données - Présence du coefficient d'équivalence en N, P et K - Détermination du taux de matière organique stable par amendement en fonction du taux de matière sèche et de l'ISMO 	<ul style="list-style-type: none"> - Simplification des données - Présence de plus de définitions et encarts pour permettre une meilleure compréhension - Prise en compte du CAU - Apport d'éléments de clarification (flèches, indication des étapes à suivre, intérêt des données présentes, etc...) - Rajout d'un prix par défaut pour chaque amendement
	Sol	<ul style="list-style-type: none"> - Choix entre sol personnalisé et sol générique - Prise en compte des caractéristiques du sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Correction d'erreurs de calcul
Processus	Equation	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'équations impliquant les caractéristiques issues de la base de données 	<ul style="list-style-type: none"> - Révision et correction de certaines équations
Processus	Représentation du rapport entre les éléments minéraux exportés et ceux importés	<ul style="list-style-type: none"> - Création de curseurs pour ajustement des quantités d'apport, de surface des couverts et du taux de matière organique - Présence d'un graphique dynamique afin d'ajuster les curseurs en fonction des exportations - Création d'un graphique montrant la potentielle évolution du taux de matière organique 	<ul style="list-style-type: none"> - Correction d'erreurs de calcul - Augmentation des limites de quantités épanchables - Affichage du prix de chaque apport en fonction des quantités
Fonctionnalités informatiques et interface		<ul style="list-style-type: none"> - Liste déroulante pour choix dans la base de données - Curseur afin d'ajuster une donnée numérique - Création d'encarts expliquant le fonctionnement général de l'outil 	<ul style="list-style-type: none"> - Création de boutons pour passer d'un onglet à un autre - Création d'un onglet d'accueil avec un schéma logique de l'outil - Création d'une notice d'utilisation

Bilan	<ul style="list-style-type: none"> - Données à l'échelle de la ferme et d'une année - Données en tonnes sur la surface de la ferme en un an - Conversion en brouette de 35 kilogrammes par planche 	<ul style="list-style-type: none"> - Création de la fonction exportation qui permet d'exporter sous un format PDF la synthèse des données (exemple en annexe) - Remplacement des quantités par brouette à la planche par des kilogrammes au mètre carré
-------	---	---

3.6 – Finalisation et mise à disposition de l'outil

Après de nombreuses modifications de l'outil, tant dans sa forme que dans le fond, et de nombreux dysfonctionnements informatiques (bugs) corrigés, une version finale du prototype a été atteinte. En effet les remarques reçues ne permettant plus d'améliorer le prototype, nous sommes arrivés en phase de saturation théorique (Eisenhardt, 1989). Bien conscients que l'outil possède encore de nombreuses lacunes, il est cependant fonctionnel et a été approuvé et testé par plus de 80 personnes. Il tend au maximum à répondre aux attentes et objectifs préalablement fixés par le cahier des charges et les remarques des phase itératives.

L'outil est disponible en version finale via ce lien⁵ : <https://nextcloud.inrae.fr/s/ibAt7rdQLfJ7BiD>

Il est en libre accès avec les calculs et la base de données accessible. Il est donc comme les autres outils MESCLUN gratuit, téléchargeable et modifiable par tous.

3.7 – Une bonification de l'outil par les itérations

Les impressions générales des testeurs se sont bonifiées au fur et à mesure que la phase itérative se déroulait. En effet, contrairement à des répétitions impliquant que l'outil testé n'évolue pas, ici les itérations, ont impliqué des améliorations continues. Je m'attachais donc à améliorer l'outil et à réaliser une nouvelle version entre chaque itération.

Cela a permis de rendre l'outil de plus en plus fonctionnel au cours des itérations. En effet, les remarques et points à améliorer se faisaient de moins en moins nombreux, comme le montre la Figure 24.

Les améliorations réalisées ont été classées en trois grandes familles :

- Les dysfonctionnements informatiques (bugs), qui a été la catégorie la plus importante.
- L'ergonomie et la difficulté de compréhension de fonctionnement.
- Les erreurs de calculs et de raisonnements agronomiques.

⁵ Lien temporaire jusqu'à la publication de l'outil à l'automne 2023

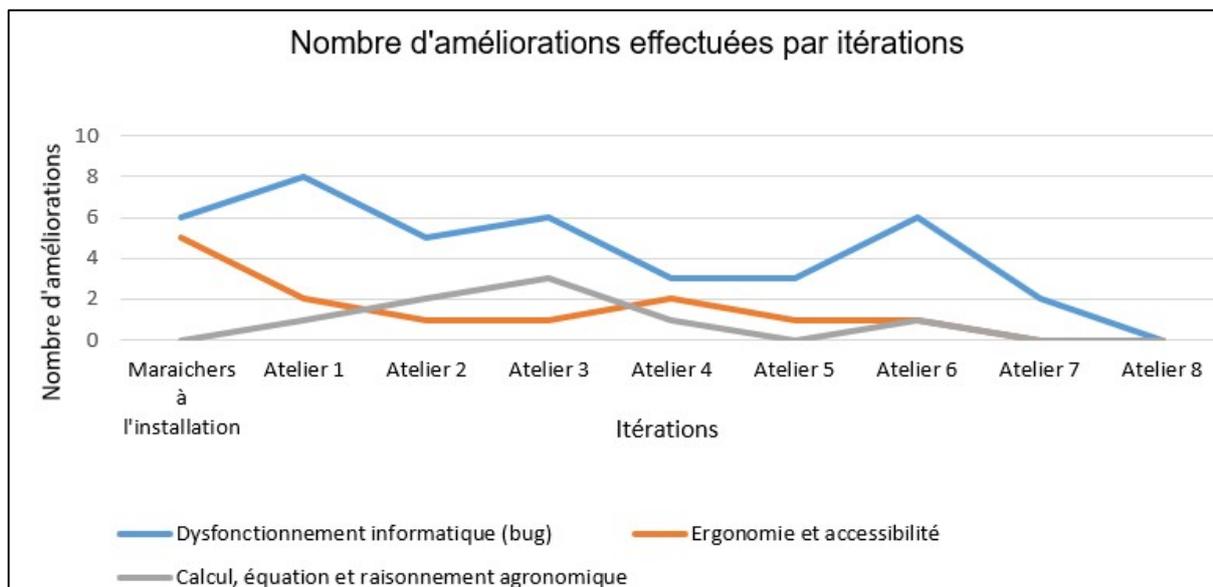


Figure 24 : Suivi du nombre d'améliorations effectuées en fonction des itérations

Les points à améliorer étaient au maximum pris en compte entre chaque itération, permettant de diminuer les points à améliorer au fur et à mesure des itérations et de tendre vers une saturation théorique. En effet, lors de l'avant-dernier atelier, aucune remarque n'a été faite. Cela se traduit par des courbes au niveau 0 sur l'axe des abscisses sur la Figure 24.

3.8 – Les remarques et ressentis des utilisateurs

3.8.1 – Les maraîchers à l'installation : accessibilité et pertinence

Les maraîchers à l'installation ont jugé l'outil pertinent compte tenu de leurs problématiques. L'outil permet de mettre en lumière certains concepts grâce à son aspect pédagogique et à sa rapidité d'utilisation.

Selon eux, l'équilibre entre la vulgarisation et la compréhension des concepts est respecté. Il est important que les utilisateurs puissent comprendre les résultats et les sorties de l'outil sans se perdre dans des calculs et explications trop complexes. De plus, le fait que l'outil soit à la fois paramétrable et contienne des données préremplies est un atout apprécié par les testeurs. Comme cela a été soulevé lors de la phase du cahier des charges, le sujet de la fertilité est délicat pour les étudiants en formation courte, car il n'est pas toujours abordé en détail. De ce fait, les maraîchers à l'installation n'avaient pas le bagage pour déceler d'éventuelles erreurs de calcul dans les équations. La nature de leurs remarques concernait donc en majorité l'ergonomie, l'accessibilité et la compréhension. L'utilité et la pertinence de l'outil ont également pu être appréciées, et tous les maraîchers à l'installation s'accordent à dire que :

« Utiliser ton outil quand on veut s'installer c'est bien et pédagogique, mais je ne m'en servirai plus une fois installé », a exprimé un maraîcher à l'installation.

Cela confirme que l'outil est pertinent au stade d'installation et cible le bon public. Les maraîchers à l'installation ont aussi fait des remarques concernant les échelles utilisées. En effet, des utilisateurs auraient voulu que l'outil aille vers une échelle plus fine, d'autres considéraient que l'échelle était adéquate. Lors de discussions et de débats, comme l'illustre la Figure 20 par un autre exemple, il a été choisi de conserver l'échelle.

« L'outil recommande des quantités trop générales, entre une culture de radis et de tomates tu multiplies par 6 pour les quantités épandues », a précisé un maraîcher à l'installation.

Un dernier point négatif relevé est le fait que les maraîchers à l'installation craignent que l'outil ne voie jamais le jour ou n'ait qu'une courte durée de vie. Ils craignent qu'une fois l'outil créé, il n'y ait plus de suivi ni d'amélioration et que l'outil n'évolue plus, faute de trouver son public. La crédibilité de la pérennité de l'outil sur sa durée de vie est faible aux yeux des testeurs.

« C'est souvent avorté ce genre de chose... » a souligné un maraîcher à l'installation.

3.8.2 – Les enseignants : calculs, équations et réflexion agronomique globale

Avec les enseignants, l'outil a suivi une évolution positive dans les retours au fil des itérations. Lors du dernier atelier, une enseignante a exprimé :

"Ce serait l'outil idéal que j'aurais souhaité concevoir en tant que formatrice," a déclaré une formatrice spécialisée en BPRP.

En comparaison avec les maraîchers au moment de l'installation, les enseignants disposent d'une plus grande expérience qui leur permet de détecter les erreurs de calcul et les résultats incohérents. Cela leur a permis de jouer un rôle essentiel dans l'identification de ces erreurs et de leur correction.

Les commentaires formulés par les maraîchers concernant l'ergonomie, l'accessibilité et la compréhension de l'outil ont été corroborés par les enseignants. Ces derniers, du fait de leur profession, ont mis en avant le caractère extrêmement pédagogique de l'outil. Ils ont également souligné son utilité considérable dans leur pratique pédagogique. De fait, ils ont constaté qu'il venait judicieusement compléter leurs enseignements en offrant une opportunité de s'engager davantage dans le domaine numérique.

3.8.3 – Les conseillers : ergonomie et limites

Les observations des 3 conseillers ont permis d'obtenir une perspective plus large de l'outil et d'en saisir les limites, notamment en ce qui concerne la diversité des systèmes de production. Par exemple, pour les associations de cultures pouvant être mises en place dans les systèmes maraîchers, l'outil ne parvient pas à les prendre en compte.

De plus, ils confirment que l'outil s'avère très utile lors de la phase d'installation, mais pour les maraîchers déjà établis qu'ils accompagnent au quotidien, il deviendrait rapidement inutile car il ne permet pas de s'adapter à une échelle plus fine.

En outre, les conseillers ont émis de nombreuses remarques concernant l'ergonomie et l'accessibilité de l'outil pour les maraîchers. En effet, ils ont souligné que les outils numériques sont souvent peu utilisables en autonomie par les maraîchers. Leur expérience a ainsi contribué à rendre l'outil utilisable et accessible au public cible de manière autonome.

VI - Discussion

1- Discussion des résultats : l'outil *Ferti-pépi*

1.1 – L'outil à la lumière des principes de conception

Comme expliqué dans la partie démarche, certains principes permettent d'augmenter les chances qu'un outil développé par la recherche puisse être utilisé pour l'action (CASH et al., 2003 ; MATTHEWS et al., 2011 ; Martin et al., 2012).

Le premier critère est la pertinence (Cash et al., 2003). Pour être pertinent, un outil doit répondre aux besoins identifiés avec un niveau de détails adapté.

1.1.1 – Pertinence de l'outil

Le cahier des charges a permis de préciser les composantes d'entrée (les légumes, les couverts, les apports et le sol), les échelles spatiales et temporelles et des éléments de sortie (année et ferme) pertinents. Cependant, ce cahier des charges a été établi seulement avec des personnes de la région Île-de-France. Nous avons fait l'hypothèse que les besoins et attentes étaient les mêmes pour les autres maraîchers au stade d'installation en France. **Cette hypothèse de départ a globalement été validée.** En effet, la manière générale de fonctionner de l'outil s'est avérée assez polyvalente, peu importe la zone géographique du territoire. La réflexion stratégique des maraîchers à l'installation pour la fertilité ne diffère pas en fonction de leur situation géographique. Cependant, c'était surtout au niveau des caractéristiques de la base de données que l'outil a montré ses limites. En effet, les données étaient plutôt calibrées à partir de l'Île-de-France (caractéristiques des apports, type de sol moyen par défaut) ou très générales (couverts types inspirés de la méthode MERCI). Pour améliorer la pertinence de l'outil, il serait intéressant de pouvoir décliner la base de données pour différents territoires, notamment pour le cycle de culture des légumes cultivés qui varient énormément en fonction de la situation géographique. Il serait aussi intéressant de proposer un deuxième sol générique plus adapté pour la deuxième moitié Sud du pays.

La pertinence d'utiliser l'outil au stade de l'installation peut également être discutée. En effet, nous avons fait l'hypothèse que l'utilisation d'un outil stratégique est pertinente pour les maraîchers lors de l'installation afin d'aborder la conception du système de production. **Cette hypothèse a également été globalement vérifiée.** En effet, les maraîchers à l'installation n'ayant pas encore de système de production établi, il leur est plus facile de le moduler et de se projeter. De plus, les maraîchers à l'installation qui ont testé l'outil ont bien spécifié que celui-ci était pédagogique et permettait de se projeter dans son système, mais une fois établi, l'outil ne leur servirait plus, car il n'est pas assez opérationnel. L'outil est donc pertinent pour une première approche globale et une réflexion stratégique au stade d'installation. Concernant l'élargissement du public d'utilisateurs aux maraîchers déjà établis et en routine de production, ces derniers auront plus de difficulté à faire table rase et à se projeter dans un hypothétique nouveau système. L'outil n'a pour l'instant pas été testé avec des maraîchers installés, mais un éventuel test serait intéressant à effectuer pour permettre de préciser le panel d'utilisateurs.

L'outil présente des limites si l'utilisateur souhaite ensuite aller plus en détails, par exemple, concernant les quantités à apporter par culture, le moment idéal pour les apports, les dynamiques du sol, etc. Pour ce type d'informations relevant de la stratégie tactique et opérationnelle, d'autres types d'outils peuvent être utilisés, tels que Azopro ou ORGALEG présentés dans l'état de l'art.

Nous pouvons aussi imaginer à plus long terme que l'outil *Ferti-Pépi* étende son champ d'action, permettant ainsi d'établir une gestion tactique découlant de la stratégie mise en place au préalable. Cela permettrait d'établir un système complet de bout en bout et d'élargir son public en touchant également les maraîchers déjà installés. Un développement supplémentaire de *Ferti-Pépi*, tant au niveau agronomique qu'informatique, serait alors nécessaire.

1.1.2 – Légitime et respectueux des maraîchers

Un deuxième point concerne la légitimité. Il s'agit du respect des valeurs des utilisateurs et de l'absence de discrimination (Cash et al., 2003). De plus, il faut que l'outil ne les rabaisse pas en étant trop infantilisant, ni ne leur paraisse inaccessible.

Mon honnêteté et les mises en garde constantes sur le fait que les résultats doivent être pris avec précaution et que notre outil était juste une première approche de la complexité en jeu dans la gestion de la fertilité, ont permis aux utilisateurs de sentir que mon intention n'était pas de les manipuler ni de me positionner en tant que sachant absolu. Mon statut de stagiaire a favorisé cette relation d'égal à égal, ce qui a instauré la confiance et renforcé ma légitimité ainsi que celle de l'outil.

De plus, l'outil n'est pas clivant. En effet, *Ferti-Pépi* s'efforce au maximum de respecter les choix éthiques des utilisateurs. Il ne fait, par exemple, pas de distinction entre l'agriculture biologique et conventionnelle en proposant à la fois l'utilisation d'apports organiques et d'engrais minéraux du commerce. Il ne limite pas non plus le nombre de cultures. Un utilisateur peut très bien décider de produire une seule et même culture ou en cultiver plusieurs. Bien qu'une limite soit actuellement fixée aux alentours de 30 cultures, il faudrait réfléchir à comment intégrer de manière ergonomique un plus grand nombre de cultures à l'avenir.

Une autre amélioration qui renforcerait sa légitimité serait d'intégrer la culture hors sol. Actuellement, l'outil *Ferti-Pépi* ne l'intègre pas, et étant donné que les maraîchers à l'installation travaillent principalement en plein terre, cette amélioration n'a pas encore été réalisée dans l'outil. Cependant, les ateliers réalisés à Stains ont montré que pour l'agriculture urbaine, l'intégration du hors sol serait pertinente.

Un autre élément qui accroît la légitimité de l'outil est que sa construction a impliqué à la fois des experts de la FNAB et du réseau Chambres, ce qui signifie qu'il n'est pas attaché à un seul réseau avec un seul type de valeurs. De plus, la réalisation d'ateliers dans toute la France renforce sa légitimité auprès des maraîchers à l'installation, car il a été testé par des pairs de tous horizons.

1.1.3 – La crédibilité et robustesse de l'outil

Le troisième point souligné par Cash et al. (2003) est la crédibilité. L'outil doit être sans bugs et les données utilisées doivent être jugées robustes. Sur ce point, l'outil a été corrigé au fil des ateliers, ce qui a permis lors des dernières itérations de ne présenter plus aucun bug ou dysfonctionnement informatique. Cependant, une utilisation plus longue et régulière par des utilisateurs n'ayant pas encore été réalisée, il est difficile de juger de son comportement à long terme. Un test avec des maraîchers installés dans une grande diversité de systèmes permettrait peut-être des améliorations. En termes de données, la robustesse a été assurée par le fait que les équations, modes de calculs et éléments de la base de données étaient issus de travaux scientifiques et que leur intégration a été discutée avec des chercheurs spécialistes de la fertilité. De plus, nos choix de modélisation ou compromis ont été discutés avec des experts de terrain connaissant bien les maraîchers.

1.1.4 – Flexibilité au vu des contextes

Le quatrième point mis en avant fait référence à la plasticité. Cela signifie que l'outil doit être flexible et ne pas limiter un utilisateur dans son propre contexte (Matthews et al., 2011). Dans

notre cas, le fait de pouvoir rentrer les caractéristiques de son propre sol, de pouvoir modifier ou enrichir manuellement la base de données avec les caractéristiques de légumes, de couverts ou d'apports dans un contexte donné contribue à cette plasticité. Cependant, l'outil est conçu uniquement pour la production maraîchère. Or de nombreux maraîchers peuvent intégrer d'autres cultures (plantes à parfum et aromatiques) ou des petits élevages et dans ce cas l'outil rencontre ses limites. De même, pour les personnes qui prévoient de réaliser une culture hors-sol, l'outil ne permet pas concrètement d'inclure ce genre de pratique. Ces limites ont été particulièrement visibles une fois de plus lors de l'atelier à Stains avec les maraîchers en agriculture urbaine. Un travail pourrait alors être envisagé pour rendre l'outil plus personnalisable et l'élargir à d'autres productions.

1.1.5 – L'utilisateur maître de ses choix

Le dernier point soulevé est la transparence. L'outil ne doit pas être opaque dans sa façon de raisonner et de fonctionner. L'utilisateur doit rester maître de ses choix (Matthews et al., 2011). Le défi était de respecter ce point sans rendre l'outil trop complexe et inaccessible, ce qui pourrait diminuer sa légitimité. Globalement, les utilisateurs se sont souvent plaints que l'outil était trop complexe et qu'il fallait simplifier certains éléments. Ne voulant pas créer de boîtes noires, nous avons opté pour continuer à afficher le détail des différentes étapes de calculs et les coefficients intermédiaires mais en les explicitant au maximum avec des légendes, des schémas, une notice. De plus, la feuille Excel permet d'accéder à tous les calculs et les formules. La base de données est également accessible, ce qui contribue à la transparence de l'outil.

1.2 - Comparaison avec les outils existants : en quoi *Ferti-pépi* est innovant

1.2.1 – Approche stratégique

L'outil est innovant dans son approche et son échelle de gestion stratégique. En effet, comme nous avons pu le voir dans la partie contexte et état de l'art, très peu d'outils sur la gestion de la fertilité existent, et ceux identifiés ne traitent pas de gestion à l'échelle de l'exploitation et ne ciblent pas les personnes en conception de leur système de production, mais plutôt celles dont le système est déjà établi. *Ferti-pépi* propose donc une innovation sur ce point.

1.2.2 – La pédagogie, partie intégrante de l'outil

De plus, l'outil est innovant de par son côté pédagogique. En effet de nombreux outils utilisent des données d'entrée, pour tourner une ou plusieurs fois et fournir des résultats de sortie sans l'intervention de l'utilisateur. Dans le cas de *Ferti-Pépi*, l'utilisateur fait partie intégrante du processus, c'est lui qui ajuste, teste et valide. L'utilisateur s'approprie le raisonnement, ce qui lui permet d'apprendre. Cette vision de l'utilisateur nous est apparue comme essentielle dans la conception d'une stratégie globale de la fertilité. En effet, pour des outils plus tactiques, l'avis de l'utilisateur est moins important, car les choix à faire sont beaucoup plus évidents et terre à terre que dans la conception stratégique de système de production.

1.2.3 – Jumelage avec *La Pépinière* et reterritorialisation

Un autre point innovant est que l'outil est pensé dans la continuité de *La Pépinière* ce qui constitue un avantage de facilité d'utilisation. En effet, à terme, les données d'entrées de *Ferti-Pépi*, pourront se baser sur la planification qui est quelque chose que les maraîchers à l'installation auront déjà réalisé dans *La Pépinière*. Cela facilite considérablement le temps consacré à renseigner les entrées par rapport à d'autres outils.

Une autre innovation prise en compte par *Ferti-Pépi* est son implication pour la reterritorialisation des flux. En effet, le contexte du projet Flux Local implique de favoriser l'utilisation par les maraîchers de matière organique locale dans leur système de production. La base de données contient donc des compositions d'apports pour la région Île-de-France. Pour les maraîchers à l'installation situés en région parisienne, cela leur permet d'adapter leur système de production avec les types d'apports présents sur le territoire. Connaissant ainsi d'avantage leur territoire, ils y sont plus ancrés, participant au bouclage des flux localement.

Pour les utilisateurs non présents sur le territoire, le bouclage des flux sur des territoires autres est possible, mais dans une moindre mesure. En effet, les types d'apport ainsi que leur disponibilité sont inconnus de l'outil. Cependant, il peut être amélioré et la base de données enrichie pour différents territoires. Comme l'outil sera accessible gratuitement à tous, libre aux utilisateurs d'un territoire donné de remplir une base de données plus précise pour son territoire et d'en faire profiter ses voisins.

Autrement, ils peuvent s'appuyer sur ceux de la région parisienne, même si la composition peut varier légèrement entre, par exemple, un fumier de poule en Bretagne et un fumier de poule de la région parisienne.

1.2.4 – Appréhender les nouvelles matières organiques

Une innovation possible dans un contexte urbain comme celui de la région parisienne serait d'intégrer de nouvelles matières organiques pour l'instant non autorisées, mais qui pourraient l'être dans un futur proche. C'est le cas, par exemple, du digestat de méthanisation. Ce digestat devrait être disponible en quantité grandissante. En effet, la loi Anti-gaspillage obligera les collectivités à traiter leur biodéchets à la source. Face à cela, la ville de Paris semble se tourner majoritairement vers la méthanisation de ces biodéchets, entraînant ici une production importante de digestat potentiellement épandable (Trang, 2022).

Cependant, il existe des réticences à son utilisation (Boros, 2021). Il serait donc intéressant d'utiliser *Ferti-Pépi* en prospective pour tester le digestat avec des maraîchers ou l'urine sous différentes formes (dont l'utilisation en maraîchage est encore floue juridiquement).

Intégrer ces nouvelles matières organiques issues des villes permettraient alors un bouclage des flux, et donc de répondre davantage aux enjeux de Flux Local.

1.2.5 – Potentielle ouverture vers des techniques culturales nouvelles

Une dernière innovation non retenue pour l'instant mais envisageable, serait de prendre en compte des techniques et approches agronomiques novatrices, telles que le maraîchage sur sol vivant (Association MSV, 2023) soutenu en France par "Ver de Terre Production". Ce genre d'approche est très populaire parmi les maraîchers à l'installation rencontrés. Cependant, cette approche utilisant de grandes quantités d'apports carbonés n'a pas de principes agronomiques fondés et peu d'études ou de données scientifiques sont disponibles. Ce qui ne permet pas d'approfondir le sujet et de les prendre en compte dans l'outil.

2 - Discussion de la méthode

2.1 - La démarche participative

Le cahier des charges initial a été établi avec seulement 5 maraîchers à l'installation dans un territoire limité. Cet échantillon peut paraître faible et peut constituer un biais dans l'orientation de départ donné à l'outil. Cependant, il a été complété par les points de vue de 3 conseillers qui ont une vision et une expérience large d'une diversité de maraîchers. De plus, sur ce petit échantillon, des entretiens semi-directifs ont été menés, permettant d'assimiler un grand nombre d'informations variées et d'être ouverts aux suggestions. Mon objectif était de pouvoir

établir un cahier des charges permettant de développer rapidement un premier prototype pour pouvoir lancer rapidement les itérations de test et améliorations comme conseillé par Le Gal (2014). Cela a permis d'effectuer des tests auprès d'un grand nombre de personnes (74 maraîchers à l'installation, 6 enseignants en formation adulte et 5 conseillers) dans différentes régions de France. Je considère que ces itérations et leur richesse compensent le faible échantillon de départ dont le rôle a surtout servi à établir un premier prototype à discuter et faire évoluer.

Pendant la réalisation des ateliers, une simple prise de notes a été réalisée, sans enregistrement. Cependant, elle était multiple puisque 4 personnes prenaient des notes, ce qui a permis de recueillir un grand nombre d'informations car nos notes étaient mises en commun. Le fait de laisser s'exprimer les gens en groupe a ses limites. En effet, malgré un tour de table où tous les participants avaient la parole, il arrivait que certaines personnes soient plus renfermées ou moins expressives que d'autres, ou alors aient plus de difficultés à formuler leurs idées uniquement à l'oral.

Une feuille de retours avec des questions ouvertes aurait pu être proposée afin de compléter la prise de notes et permettre une expression par écrit sans la pression du groupe. C'est ce qui a été fait lors des deux derniers ateliers. Une fiche qui est disponible en Annexe 11 était alors distribuée à la fin du test. Généraliser ce processus aurait permis de chiffrer certains éléments ou remarques. Cependant, dans le fond il s'est avéré que les remarques sur les feuilles n'apportaient pas plus d'éléments et de précision que dans la richesse des interactions orales.

2.2 - Pour aller plus loin dans la démarche

Globalement, la démarche participative a consisté en un travail en interaction forte avec 5 maraîchers au stade de l'installation. Ces derniers ont participé à l'élaboration du cahier des charges et ont été les premiers testeurs via les premières itérations. À la suite des ateliers, impliquant de nombreuses modifications, l'outil a été finalisé.

Un retour auprès de ce groupe de 5 maraîchers après les ateliers, en leur présentant une version la plus aboutie possible, aurait été une façon de savoir si, dans leur idéal et dans l'idée qu'ils se faisaient de l'outil, ce dernier était fidèle. De plus, ces derniers tests auraient permis d'éprouver la version finale de l'outil, via des tests plus approfondis que lors des ateliers, où les tests ne duraient que 45 minutes. Une dernière phase de test avec ces 5 maraîchers aurait aussi permis d'estimer, avec la notice d'utilisation, combien de temps cela prendrait aux exploitants d'utiliser l'outil en prenant en compte l'intégralité de leur système, notamment l'ensemble de leurs cultures. En effet, pendant les ateliers et les premières phases de test, l'ensemble des cultures qui pouvaient aller parfois jusqu'à 50 ou plus, n'était pas pris en compte.

Il est important de rappeler que ce temps que l'utilisateur passe à rentrer les caractéristiques de son système, peut être fortement diminué quand un jumelage de *Ferti-Pépi* avec La pépinière sera fait. Comme discuté précédemment, cette fusion pourra permettre de gagner beaucoup de temps d'utilisation. Pour aller plus loin, nous pouvons imaginer que dans un objectif pédagogique, il soit aussi montré l'intérêt et la complémentarité des deux outils. Et comment ils peuvent s'entraider afin d'accroître l'aspect pédagogique, car permettant d'élargir la compréhension de l'agrosystème.

Un dernier élément concerne l'aspect qualitatif des retours durant les phases itératives. Étant donné que l'outil était amélioré entre chaque itération, il était compliqué d'établir des données

quantitatives justes et exploitables, contrairement à des répétitions. L'acquisition potentielle de données quantitatives via la distribution d'une fiche contenant des questions fermées, aurait permis d'établir des données statistiques compte tenu de la taille de l'échantillon potentiel. Cependant, l'outil évoluant entre chaque itération, les réponses n'auraient pas été exploitables car l'outil n'était pas le même. Par exemple, lors des premières phases itératives, lorsque l'outil contenait de nombreux dysfonctionnements informatiques (bugs), si une question posée était « Trouvez-vous l'outil fonctionnel ? » et les réponses disponibles étant « Oui » ou « Non », la proportion de réponses positives aurait logiquement augmenté au fur et à mesure que les bugs étaient corrigés.

3 - Le devenir et l'évolution de l'outil

L'outil sera accessible en ligne avec une notice, ainsi que dans le présent mémoire. Les utilisateurs ont exprimé leurs inquiétudes concernant le devenir de l'outil. Ils souhaitent connaître son évolution et avoir un accès une fois celui-ci finalisé. En fonction du succès et du nombre de futurs utilisateurs, il est fort probable que des bugs soient détectés. Il conviendra alors d'assurer une gestion post-crédation afin d'entretenir l'outil et de garantir son bon fonctionnement.

3.1 – Suite du développement informatique

Je rappelle que l'outil *Ferti-Pépi* doit à terme faire partie intégrante de La Pépinière pour ne former plus qu'un seul et même outil. Faire un lien informatique entre les exportations de La Pépinière et *Ferti-Pépi* serait un premier pas dans cette évolution. J'ai donc essayé de créer ce premier pont.

Cependant, je me suis confronté à mes limites en compétence informatique. Pour réaliser ce lien, cela nécessitait l'activation et la création de macros. Quelques macros sont déjà présentes dans l'outil, mais elles sont assez simples. Ici, la macro était beaucoup plus compliquée à coder. Le code auquel je suis arrivé était fonctionnel, mais très loin d'être robuste. En effet, les données de sortie de La Pépinière peuvent être exportées au format CSV (Comma-Separated Values), qui est utilisé pour stocker et échanger des données tabulaires. Ces données tabulaires sont donc intégrables dans un tableur Excel. L'idéal aurait été qu'en cliquant sur un bouton dans *Ferti-Pépi*, les données contenues dans un format CSV s'importent automatiquement dans l'outil.

Cependant, cela nécessitait que le fichier CSV fourni par *La Pépinière* soit dans un dossier précis et ait un nom précis pour que mon code fonctionne. Cela ajoutait une étape supplémentaire à demander à l'utilisateur, qui peut parfois être peu formé en informatique.

De plus, *La Pépinière* étant également en développement informatique, le format et le contenu des exports CSV changent régulièrement et ne sont pas encore fixés. Cela a rendu impossible la création d'un pont informatique simple et automatique entre les deux outils.

Par la suite, et avec l'aide d'un informaticien, il serait intéressant de créer plusieurs ponts afin de fluidifier l'utilisation et de mutualiser les données entre ces deux outils.

3.2 – De la stratégie vers la tactique

Si les conditions le permettent, et comme évoqué précédemment, l'outil peut être encore développé et son public élargi afin de toucher également les maraîchers en routine de production. Il peut être défini comme un outil de gestion stratégique, et son évolution consisterait à lui permettre d'appliquer concrètement la gestion stratégique et de tendre vers une gestion tactique plus fine.

Il sera alors question de savoir s'il est pertinent d'avoir deux outils distincts, avec chacun leur rôle bien défini (stratégique et tactique), ou d'avoir un seul et même outil qui soit à la fois

stratégique et tactique, ce qui serait plus pratique, mais qui pourrait entraîner des complications et finalement ne pas approfondir suffisamment aucun des deux aspects. Ce potentiel outil tactique pourrait être développé dans la continuité du projet MESCLUN DURAB ou être un autre outil à part entière.

3.3 – L’avenir de l’outil dans le cadre du projet MESCLUN DURAB

Les évolutions mentionnées n'ont pas pu être développées par manque de temps et parce qu'elles n'ont pas été jugées prioritaires. Le projet MESCLUN DURAB prend fin à l'automne 2023. Le modèle économique de *La Pépinière* et de ses modules complémentaires comme *Ferti-Pépi* est encore incertain, car le collectif souhaite faire un outil libre et gratuit, mais des fonds sont nécessaires pour maintenir, héberger et animer l'outil.

Plusieurs pistes sont à ce jour en discussion, comme la question de l'appropriation des outils par les structures de l'enseignement et de l'accompagnement. Pour cela, il est envisagé un éventuel projet CasDAR qui pourrait permettre d'obtenir des fonds.

Dans un scénario pessimiste, où *La Pépinière* ne pourrait plus être animée, *Ferti-Pépi*, étant pour l'instant sur Excel, reste malgré tout disponible et fonctionnel. L'un des multiples atouts de la feuille Excel est qu'elle permet facilement d'accéder (si l'auteur le permet) aux formules et donc au fonctionnement de l'outil. Les mécanismes pourraient alors être transposés vers d'autres supports informatiques dans une logique de développement libre.

3.4 – La visibilité de l’outil déterminante pour son évolution

Un dernier point concerne la communication, la diffusion et globalement la visibilité qui pourraient être apportées à l'outil. Lors des ateliers, ce dernier a montré son côté pédagogique et a satisfait certains enseignants qui y ont trouvé un grand intérêt et un complément à leurs cours. L'utilisé dans le cadre de cours en formation adulte notamment pourrait être alors un biais de diffusion.

Un autre moyen de diffusion pourrait être les partenaires dans MESCLUN DURAB, qui le diffuseraient dans leurs réseaux.

La question de la diffusion et de l'accueil du public sera selon moi déterminante pour son devenir.

4 - Bilan personnel et professionnel

Lors de mon passage au sein de l'UMR SADAPT, j'ai pu développer de multiples compétences et élargir mes connaissances. En effet, j'ai appris beaucoup sur le système sol et consolidé mes connaissances en agronomie. À travers la construction de cet outil, j'ai pu élargir ma vision et ma compréhension de l'agrosystème dans son ensemble.

De plus, mes compétences en communication et en animation de groupe ont été mises à l'épreuve. Lors des entretiens et des ateliers, j'ai pu développer mon savoir-être professionnel et ma capacité à dialoguer et à animer dans le milieu agricole. J'ai également eu l'occasion de travailler mes compétences organisationnelles en coordonnant les différents entretiens avec les maraîchers à l'installation par exemple. C'était également l'une des premières fois que je m'impliquais dans un projet aussi long, et cela m'a appris à gérer des plannings d'une telle importance et à respecter les échéances.

Durant ce stage, je me suis rendu compte en côtoyant plusieurs acteurs, (chercheurs, techniciens, exploitants) que chacun avait des objectifs différents, mais souhaitait travailler ensemble, dans une direction commune.

VII - Conclusion

L'objectif de mon mémoire était la conception d'un outil de gestion de la fertilité des sols destiné aux maraîchers à l'installation, c'est-à-dire aux porteurs de projets en maraîchage et aux jeunes maraîchers.

Le contexte portait sur la reterritorialisation de l'agriculture et l'accompagnement des maraîchers à l'installation pour intégrer des matières organiques locales dans leur stratégie de fertilité en cohérence avec leurs systèmes de production (sol, culture, engrais verts, apport etc...).

J'ai alors mis en place avec mon encadrant une démarche participative qui nous a permis d'être au plus proche de la réalité du terrain et de construire un outil qui réponde au mieux aux besoins du public cible. J'ai notamment été en forte interaction avec un groupe de 5 maraîchers à l'installation et réalisé 8 ateliers en France métropolitaine qui ont réuni 85 participants. J'ai aussi sollicité des conseillers et experts de la filière à des moments clés.

Grâce à cette démarche et aux moyens mobilisés, nous sommes parvenus à développer un outil abouti, fonctionnel et respectant les critères définis préalablement. Globalement, il a été bien accueilli et semble combler les attentes des utilisateurs, grâce à l'établissement d'un cahier des charges fidèle aux besoins des utilisateurs.

Il serait intéressant, maintenant que l'outil a été développé, d'explorer son potentiel pour que les maraîchers intègrent davantage de matières organiques locales dans leur plan de fertilité. De plus, il permettrait aux exploitants d'utiliser les apports de manière raisonnable et précise, évitant ainsi les sur-fertilisations néfastes pour l'environnement et notamment la pollution des eaux (OCDE, 2020). Par ailleurs, cet outil pourrait être utilisé dans des démarches prospectives concernant l'utilisation de nouvelles formes d'apports (digestat de biodéchets, urines sous différentes formes, compost électromécanique) qui seront bientôt abondants, notamment autour des villes (Ministère de la Transition écologique, 2022).

L'outil participera je l'espère, à adopter une vision de l'agriculture plus durable en simplifiant la gestion de la fertilité des sols, et entraînera l'exploitant dans une réflexion globale de son système de production.

Cependant, il est important de souligner que la gestion de la fertilité demeure très complexe et que rien ne remplacera l'expérience, l'observation et l'adaptation quotidienne du maraîcher ainsi que les interactions humaines avec ses pairs ou des conseillers.

Bibliographie

- Adams, W. C. (2015). *Conducting Semi-Structured Interviews*. In Handbook of Practical Program Evaluation, 492-505. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
<https://doi.org/10.1002/9781119171386.ch19>
- Agreste, La statistique agricole. (1998). *Les exploitations légumières en Ile de France*.
- Agreste, La statistique agricole. (2021). *Terres agricoles et relocalisation alimentaire : Des formes nouvelles de propriété et d'accès au foncier*. Disponible sur :
<https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Ana165/detail/>
- Agreste, La statistique agricole. (2022). *Recensement agricole 2020*.
<https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2213/detail/>
- Allens G., Leclair L. (2016). *Les Néo-paysans* (Edition du seuil). <https://www.seuil.com/ouvrage/les-neo-paysans-gaspard-d-allens/9782021297287>
- Annes A., Handfield M. (2019). *Jeunes agriculteurs hors cadre familial*. p.141-163.
- Aubry, C. (2007). *La gestion technique des exploitations agricoles, composante de la théorie agronomique*. Ruralia. Sciences sociales et mondes ruraux contemporains, 21, Article 21.
<https://journals.openedition.org/ruralia/1855>
- Baize D. (2016). Du taux de carbone à celui de matières organiques dans les sols—Les Mots de l'agronomie. In *Istex*. https://loexplor.istex.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Du_taux_de_carbone_%C3%A0_celui_de_mati%C3%A8res_organiques_dans_les_sols
- Balesdent, J. (1996). Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. *Étude et Gestion des Sols*, 3(4), p.245.
- Bognon, S., Barles, S., Billen, G., & Garnier, J. (2018). Approvisionnement alimentaire parisien du XVIIIe au XXIe siècle : Les flux et leur gouvernance. Récit d'une trajectoire socioécologique. *Natures Sciences Sociétés*, 26(1), Article 1. <https://doi.org/10.1051/nss/2018017>
- Boros L. (2021). *Intégration de matières organiques locales dans les pratiques agricoles d'une diversité de systèmes de production de légumes en contexte périurbain* [Mémoire de fin d'étude]. AgroParisTech.
- Brossier, J. (1987). *Système et système de production : Note sur ces concepts*.
- Cash, D. W., Clark, W. C., Alcock, F., Dickson, N. M., Eckley, N., Guston, D. H., Jäger, J., & Mitchell, R. B. (2003). Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8086-8091. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231332100>
- Chiffolleau, Y. (2020). *Les circuits courts de commercialisation en agriculture : Diversité et enjeux pour le développement durable* (Vol. 12). Educagri Editions. <https://hal.inrae.fr/hal-02824544>
- COMIFER. (2013). *TENEURS EN AZOTE DES ORGANES VEGETAUX RECOLTES pour les cultures de plein champ, les principaux fourrages et la vigne*.
- COMIFER. (2019). *La fertilisation P – K – Mg*.
- Darrot, C., Pecqueur, B., Marie, M., Bodiguel, L., Saleilles, S., Buyck, J., Margetic, C., Delfosse, C., Hochedez, C., Guillemain, P., Baysse-Lainé, A., Noel, J., & Maréchal, G. (2020). *Comprendre les systèmes alimentaires urbains : Flux alimentaires, systèmes d'acteurs et formes urbaines*.
- Delahaie, M., Boissières, M., Giuliano, S., Bedoussac, L., & Alletto, L. (2016). *Fertilité biologique des sols : Définition*. <https://doi.org/10.17180/P8SE-5240>
- De Sardan, J.-P. (1995). La politique du terrain. *Enquête* 25. <https://doi.org/10.4000/enquete.263>
- Dubos, C. (2021). *Consommation—Covid-19 : La ruée vers les circuits courts a été éphémère dans la Nièvre*. https://www.lejdc.fr/nevers-58000/agriculture/covid-19-la-ruée-vers-les-circuits-courts-a-ete-ephemere-dans-la-nievre_13983873/
- Eisenhardt K.M. (1989). *Building Theories from Case Study Research*. *Academy of Management Review*, 14(4), 532–550.
- Etienne. (2010). *La modélisation d'accompagnement—Une démarche participative en appui au développement durable* (Edition Quae).
- FAO. (2017). *World Fertilizer Trends and Outlook to 2020*, 38

- FAO. (2020). *Inorganic Fertilizers 1961-2018*, FAOSTAT Analytic Brief Series, n o 13: 12.
- Flux Local. (2020). *Dossier scientifique, projet Flux Local*.
- Fortier, J.M. (2012). *Le jardinier-maraîcher* (Ecosiété). <https://ecosociete.org/livres/le-jardinier-maraicher>
- FRAB Bretagne. (2015). *Besoins NPK des principales cultures maraîchères et résidus azotés*.
- Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., & Schmidhalter, U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jpln.200520510>
- Jarousseau, H., Houot, S., Paillat, J.-M., & Saint Macary, H. (2016). *Le recyclage des résidus organiques. Regards sur une pratique agro-écologique*. Editions QUAE. <https://hal.science/hal-01753223>
- Kirsch, A. (2021). *Circuits courts et vente directe : Tour des idées préconçues*.
- Le Gal, P.-Y., Andrieu, N., Dugue, P., Kuper, M., & Sraïri, M. T. (2011). Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques. *Cahiers Agricultures*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.07.004>
- Le Gal, P.-Y., Tchamitchian M. (2014). *Démarche de (co)-conception en horticulture*. Paris : INRAE, p.90-100.
- Le Masson P., Weil B. (2010). *La conception innovante comme mode d'extension et de régénération de la conception réglée : Les expériences oubliées aux origines des bureaux d'études*. p.51-73.
- Levavasseur, F. (2023). *LEVAVASSEUR Florent—Ingénieur de recherche : Produits résiduaire organiques, évaluation et spatialisation des systèmes de culture*. https://www6.versailles-grignon.inrae.fr/ecosys_eng/Staff/Photos-and-CV/L/LEVAVASSEUR-Florent
- Mallard, P., Rogeau, D., Gabrielle, B., Vial, E., Muller, O., Vignoles, M., Sablayrolles, C., Le Corff, V., Carrère, M., Renou, S., Pierre, N., & Coppin, Y. (2005). *Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets. Bilan des connaissances*. p. 692. irstea. <https://hal.inrae.fr/hal-02587534>
- Martin G., Martin-Clouaire R., Duru M. (2012). *Farming system design to feed the changing world. A review. Agronomy for Sustainable Development*. 33, p.131-149. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.013>
- Matthews, K. B., Rivington, M., Blackstock, K., McCrum, G., Buchan, K., & Miller, D. G. (2011). Raising the bar? – The challenges of evaluating the outcomes of environmental modelling and software. *Environmental Modelling & Software*, 26(3), p.247-257. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.031>
- Maxime, F., Navarrete, M., Tchamitchian, M., Faloya, V., Gelin, S., Lesur-Dumoulin, C., & Morel, K. (2021). *Produire durablement et alimenter les villes en légumes. Des défis pour le maraîchage périurbain*.
- Mazollier, C., Védie, H.. (2003). *Les engrais verts en maraîchage*.
- Merle, A., & Mathilde, P. (2011). *Consommer des produits alimentaires locaux : Comment et pourquoi ?* <http://hal.grenoble-em.com/hal-00607840>
- Meynard, J.M., Debieu, B., Bos, A.P. (2012). *Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices*, p. 405-429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18
- Moinard, V., Levavasseur, F., & Houot, S. (2021). Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105523. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105523>
- Morel, K. (2012). *Développement, mise en oeuvre et analyse des potentialités du rami fourrager : Un jeu de plateau pour la conception collective de systèmes fourragers* [Mémoire de fin d'étude]. AgroParisTech.
- Morel, K. (2016). *Viabilité des microfermes maraîchères biologiques. Une étude inductive combinant méthodes qualitatives et modélisation*. [These de doctorat, Université Paris-Saclay (ComUE)]. <https://www.theses.fr/2016SACLA023>

- Morel, K., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Roussey, C., Amardeilh, F., & Appert, P. (2021). *Partage, interopérabilité et mobilisation des Connaissances par le Numérique pour la (re)conception de fermes biologiques (PACON)*.
- Muller, P. (2000). La politique agricole française : L'État et les organisations professionnelles. *Économie rurale*, 255(1), p.33-39. <https://doi.org/10.3406/ecoru.2000.5153>
- Nicolardot, B., Guiraud, G., Chaussod, R., & Catroux, G. (1986). *Minéralisation dans le sol de matériaux microbiens marqués au carbone 14 et à l'azote 15 : Quantification de l'azote de la biomasse microbienne*. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(86\)90060-X](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90060-X)
- Noirot-Cosson, P. E., Dhaouadi, K., Etievant, V., Vaudour, E., & Houot, S. (2017). *Parameterisation of the NCSOIL model to simulate C and N short-term mineralisation of exogenous organic matter in different soils*. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.10.015>
- Pommier, P. (2013). *Atténuer les émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole en France : Recueil d'expériences territoriales* (Réseau, action climat France). https://abiodoc.docressources.fr/index.php?lvl=notice_display&id=31471
- Prost, L. (2008). *Modéliser en agronomie et concevoir des outils en interaction avec de futurs utilisateurs : Le cas de la modélisation des interactions génotype-environnement et de l'outil DIAGVAR*. Sciences de la Terre. AgroParisTech, 2008. Français.
- Rannou-Heim, C. (2020). *Population légale de l'Île-de-France*. Disponible à l'adresse <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5002478#titre-bloc-1>
- Reijnders, L. (2014). Phosphorus resources, their depletion and conservation, a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 93, 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.006>
- Rémy, and Marin-Laflèche. (1976). *L'entretien Organique des Terres. Cout d'une Politique de l'Humus*.
- Roussel, O, et E Bourmeau. (2001). *Évaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques* Étude et Gestion des Sols, 18.
- Thibault, C. (2018). *Gestion de la fertilité des sols en cultures légumières et maraîchères. Rapport d'étude du GIS Picléq*.
- Utopies. (2017). *Autonomie Alimentaire des villes*.
- Van Wijk, M., Tittonell, P. A., Rufino, M., Herrero, M., Pacini, gaio cesare, Ridder, N., & Giller, K. (2009). Identifying key entry-points for strategic management of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa using the dynamic farm-scale simulation model NUANCES-FARMSIM. *Agricultural Systems*, 102, p.89-101. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.07.004>
- Vitosh, Maurice, L., Hessel Zane, R., et Vern Grubinger. (2019). *Energy-Efficient Use of Fertilizer and Other Nutrients in Agriculture*. Farm Energy (blog). <https://farm-energy.extension.org/energy-efficient-use-of-fertilizer-and-other-nutrients-in-agriculture>.
- Voinov, A., Bousquet, F. (2010). Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling & Software*, 25(11), p.1268-1281. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>
- Weiler, N. (2016). *Plan social » silencieux : Des milliers d'agriculteurs abandonnent chaque année leur métier*. Disponible à l'adresse : <https://www.bastamaq.net/Plan-social-silencieux-des-milliers-d-agriculteurs-abandonnent-chaque-annee>

Sitographie

- Agro transfert. (2023). *SOL-D'PHY : GESTION DURABLE DE LA FERTILITÉ PHYSIQUE DES SOLS EN SYSTÈMES DE GRANDE CULTURE*. Agro Transfert.
- Association MSV. (2023). *Maraîchage Sol Vivant*. <https://maraichagesolvivant.org/>
- AUREA. (2016). *Texture du sol*. https://wiki.aurea.eu/index.php/Texture_du_sol
- Celesta-lab. (2015). *Les matières organiques des sols Libres et liées*.
- Chambre Régionale d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine. (2010). *Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires*. <https://methode-merci.fr/>

- Chambres d'agriculture. (2023). *Page d'accueil : Mes Parcelles*. <https://chambres-agriculture.fr/proagri/mes-parcelles/>
- Collectif MESCLUN. (2020). *Site MESCLUN*. Mesclun. <https://maraichage.wixsite.com/mesclun>
- CTIFL. (2023). *Azopro*.
- Foucaud-Scheunemann. (2020). *Alimentation de proximité et durabilité des systèmes alimentaires*. INRAE Institutionnel. <https://www.inrae.fr/actualites/alimentation-proximite-durabilite-systemes-alimentaires>
- France info. (2022). *Guerre en Ukraine : Le prix de l'engrais a été multiplié par quatre en un an*. Franceinfo.
- Girard. (2011). *L'Agro-calculatrice K2—Wiki Auréa*. https://wiki.aurea.eu/index.php/L%27Agro-calculatrice_K2
- INRAE. (1998). *La texture des horizons supérieurs du sol en France métropolitaine*.
- INRAE. (2001). *Définition de terme agronomique*. <https://www2.nancy.inra.fr/collectif/acidification/Definitions/definitions.html>
- INRAE. (2017). *Définitions MAFOR et PRO*. <https://www6.inrae.fr/valor-pro/Lexique-et-definitions/Definitions>
- INRAE de Guadeloupe. (2023). *Site internet : MorGwanik—TransFAIRE*.
- Institut jardinier maraîcher. (2023). *Formation sur l'agriculture biologique | Masterclass du jardinier-maraîcher*. Institut jardinier-maraîcher.
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, Ministère de la Transition énergétique. (2022). *Biodéchets*.
- Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. (2022). *Qu'est-ce qu'un projet alimentaire territorial ?*
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2020). *L'eau et l'agriculture—OCDE*.
- Trang. (2020). *Compostage et méthanisation des biodéchets*. Agence Parisienne du Climat. <https://www.apc-paris.com/article-rubrique/compostage-methanisation-biodechets>

Annexes

Annexe 1 - Tableau des différents partenaires du projet Flux Local.....	63
Annexe 2 - Le collectif MESCLUN	63
Annexe 3 - Planning des étapes de travail.....	64
Annexe 4 - Illustration et fonctionnement de <i>La Pépinière</i>	65
Annexe 5 - Caneva d'entretien : « Pense bête ».....	67
Annexe 6 - Table des équations	69
Annexe 7 - Capture d'écran du prototype 1	71
Annexe 8 - Partie "Vos apports" après les ateliers.....	72
Annexe 9 - Page d'accueil de l'outil après les ateliers.....	73
Annexe 10 - Notice d'utilisation de <i>Ferti-Pépi</i>	74
Annexe 11 - Fiche retour	76

Annexe 1 - Tableau des différents partenaires du projet Flux Local

Catégorie d'acteurs	Associations territoriales	Acteurs de la recherche	Collectivités et acteurs institutionnels	Acteurs techniques
Acteurs concernés	Terre et Cité, l'association de la Plaine de Versailles, le Triangle Vert	INRAE, AgroParisTech, LabEx BASC, La Fédération Ile-de-France	Les communautés d'agglomération de Versailles Grand Parc, Saint Quentin en Yvelines et Paris-Saclay	La chambre d'agriculture d'Ile-de-France, le pôle Abiosol
Rôle au sein du projet	Engager les acteurs locaux et assurer l'animation du projet	Participer à la production et à la vulgarisation de la connaissance	Mettre en place des politiques, des projets et des actions concrètes	Accompagner les évolutions de l'agriculture

Annexe 2 - Le collectif MESCLUN

INRAE UE Maraîchage,

INRAE, Ecodéveloppement,

INRAE UMR SAS, ELZEARD (développement informatique),

Assemblée des Noues (design, Paul Appert),

Agrosup Dijon (Educagri Editions),

Association Français d'Agriculture Urbaine Professionnelle (AFAUP),

Bio-Occitanie,

Fédération Régionale d'Agriculture Biologique (FRAB) de Bretagne,

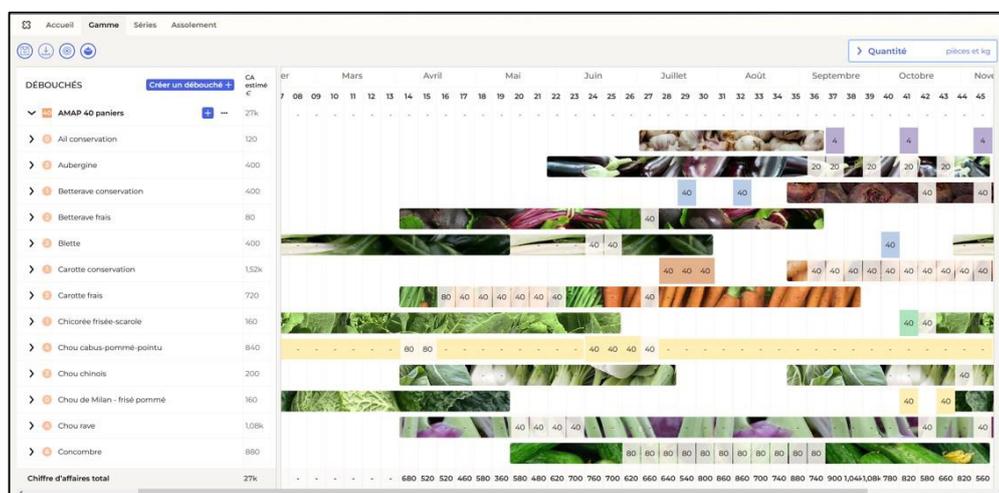
Chambre Départementale de Haute-Garonne (CDA 31),

Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB).

Annexe 4 - Illustration et fonctionnement de *La Pépinière*

4.1 - Onglet « Gamme »

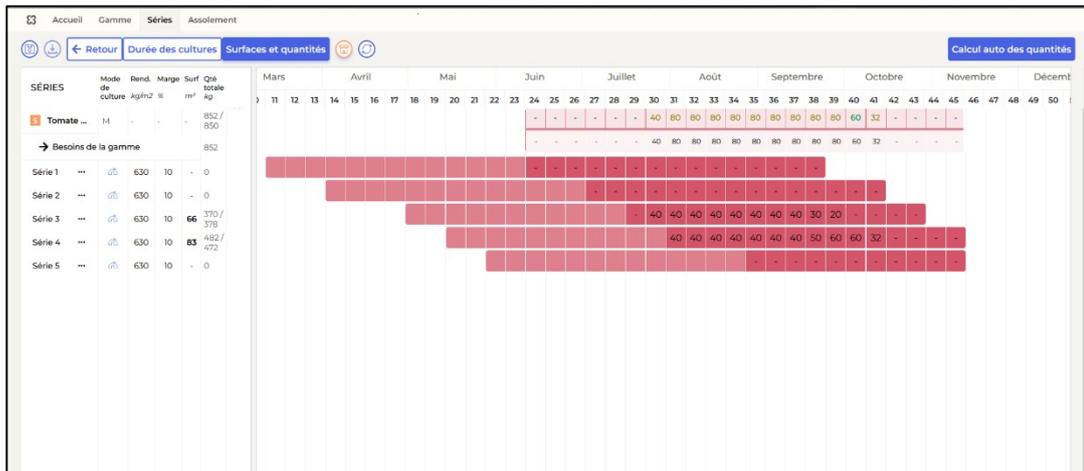
Remplir l'onglet « Gamme » est la première étape. Dans cette onglet, l'utilisateur est amené à créer un débouché. Les participants ajoutent un nouveau débouché (vente au marché, vente directe, AMAP, grande distribution etc.) et choisissent la fourchette de prix associée. On voit alors en appuyant sur la croix à côté de ce nouveau débouché les objectifs de vente, qui peuvent être indiqués en chiffre d'affaire ou en quantité. On peut les déterminer pour les périodes de récolte potentielles mises en valeur par une zone colorée, mais aussi hors de ces zones colorées qui correspondent pour le moment au climat Nord-Ouest ; à terme on verra aussi les périodes de vente potentielle de légumes de conservation. On peut aussi modifier le prix unitaire par semaine, pour les productions précoces par exemple. Les participants choisissent ensuite leur culture en décochant de la liste de gamme ceux qui ne seront pas faits pour simplifier la lecture. Une illustration de l'onglet gamme rempli est disponible avec un exemple de ferme imaginé pour l'occasion par Louise Castagnier.



4.2 - Onglet « Série »

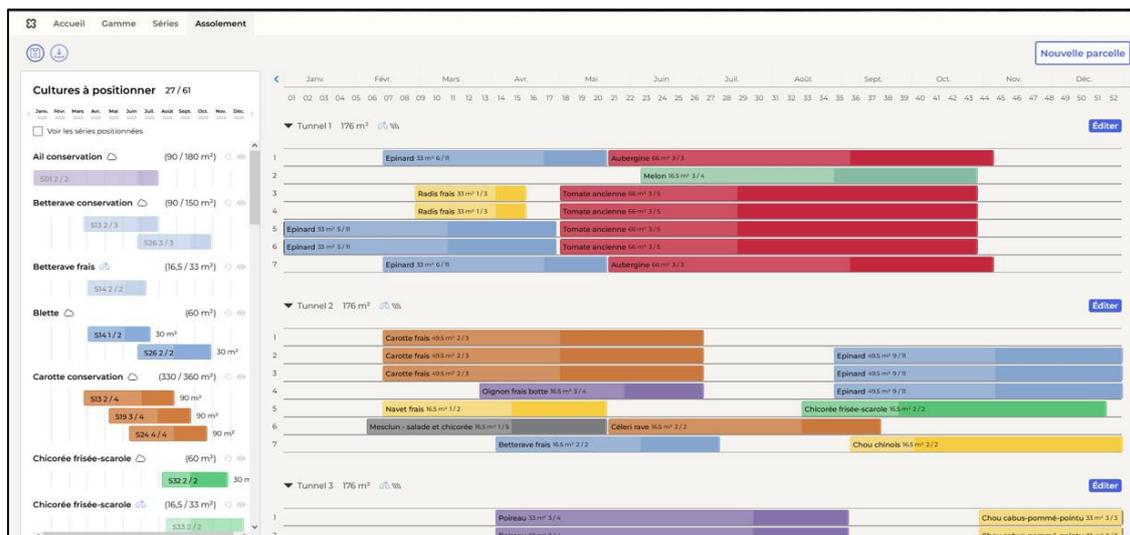
Une fois la gamme choisie, il faut se rendre sur l'onglet série. On clique sur le stylo, et on voit les besoins de la gamme (en quantité ou en chiffre d'affaire) pour tous les débouchés cumulés, par semaine. On peut voir les séries dont les dates de récolte correspondent aux besoins qu'on a annoncé, et le mode de production associé. Une série correspond à une date d'implantation, et une période de récolte associée. Le bouton échoppe permet de filtrer les séries, et de voir toutes les séries possibles (dans le menu général de l'onglet série, le bouton échoppe permettait de filtrer uniquement les légumes pour lesquels des objectifs de vente avaient été déterminés).

On peut alors modifier manuellement plusieurs paramètres : les dates d'implantation et de récolte de chaque série, mais aussi les modes de culture : plein champ, tunnel froid, serre chauffée. On peut s'imaginer qu'une série correspond à une variété en particulier. Si on clique sur surface et quantité, on peut modifier le rendement et voir la surface correspondante, ou forcer la surface (par exemple forcer 60m² donc 2 planches au lieu de 55m²), et on peut enfin prendre en compte une marge de perte. On peut aussi cliquer sur les 2 flèches, pour mettre en place de l'achat revente au besoin. Une illustration de l'onglet série rempli est disponible avec un exemple de ferme imaginé pour l'occasion par Louise Castagnier..



4.3 – Onglet « Assolement »

La dernière étape est de créer des parcelles, de les dimensionner et de les décrire (mode de culture, présence de planches permanentes, dimensions, etc). On peut alors associer chaque série créée à une planche de parcelle, sous réserve que le mode de culture soit compatible. Soit la surface de la série correspond exactement à la taille de la planche, qui devient indisponible pour d'autres séries ; soit elle est plus petite donc on peut positionner sur cette planche d'autres séries ; soit elle est plus grande donc on peut la faire déborder sur les autres planches. On visualise l'enchaînement des cycles, l'impossibilité de mettre une série prévue pour des tunnels en plein champ, et les couleurs de chaque série qui correspondent à une famille de légumes et qui permettent de voir et d'avoir un message d'attention si on veut enchaîner deux solanacées par exemple. Une illustration de l'onglet assolement rempli est disponible avec un exemple de ferme imaginé pour l'occasion par Louise Castagnier.



Annexe 5 - Caneva d'entretien : « Pense bête »

5.1 – Canevas pour les entretiens avec les maraîchers à l'installation

1) Présentation, historique, objectif

Question de lancement : Raconte-moi ton parcours et pourquoi tu as choisi d'entamer ce processus d'installation ? Points à aborder :

- Cheminement de pensée/réflexion relatif à l'installation
- Objectif personnel (reconversion, métier avec du sens etc...)
- Objectif professionnel (économique, environnemental et social) finalité
- Présentation générale de la ferme (SAU, UTH, localisation, label, pratique etc..) si installé

2) Planification

Question de lancement : Comment imagines-tu ta planification culturale (idéal technique vers lequel tu tends et comment tu la conçois concrètement) ? Points à aborder :

- Critère de planification (rotation, fertilité, ravageurs, adventices etc.)
- Légumes cultivés
- Débouchés
- Clientèle visée
- OAD utilisé
- Aide extérieure, lien avec les instituts techniques
- Un outil comme la pépinière l'intéresserait (expliquer brièvement le concept)

3) Fertilisation et engrais vert

Question de lancement : Comment tu gères la fertilité de tes sols et tes apports ? Points à aborder :

- Critères de détermination de la dose d'engrais/amendement
- Nature de l'amendement et ou de l'engrais
- Sèmes-tu des engrais verts ? (Motivation/frein à installer des CI, Prise en compte des engrais verts dans la fertilisation (adaptation de la dose), Si en installe itk (installation, destruction, période etc...)
- OAD utilisés, si oui lesquels ?
- Besoin en accompagnement : analytique (dose/ha/légume) ou plus globale (fonction du sol, assimilation, disponibilité des nutriments etc..)
- Connaissance des PRO urbains et de leur nature ?
-

4) Conception d'un outil pour la gestion de la fertilité et des apports de fertilisants

Question de lancement : Que te faudrait-il comme outil pour mieux gérer ta fertilité

- Utilise un OAD ? Si oui lequel ?
- Avis sur les OAD pour la fertilité en générale
- As-tu construit ton propre OAD, ou outil de gestion pour la fertilité ?
- Quels supports te conviendraient (informatique, papier etc...) ?
- Te sens-tu à l'aise avec l'informatique et les tableurs ?
- A partir de quoi l'outil devrait partir pour penser ses apports et sa fertilité ?
- A quelle échelle voudrais-tu que l'outil travaille ?
- Tu préfères un outil simple d'utilisation ou plus complexe mais qui te permettrait de mieux comprendre la fertilité ?

5.2– Canevas pour les entretiens avec les conseillers

1) Présentation, historique, objectif

Question de lancement : Quel est le profil du maraîcher à l'installation que vous côtoyer ?

Points à aborder :

- Motivation
- Objectif personnel (reconversion, métier avec du sens etc...)
- Objectif professionnel (économique, environnementale et social)
- Présentation générale de la ferme (SAU, UTH, localisation, label, pratique etc..) si installé

2) Planification

Question de lancement : Comment planifient-ils leurs cultures ?

Points à aborder :

- Critère de planification (rotation, fertilité, ravageurs, adventices etc.)
- Légumes cultivés (nombre, famille etc..)
- Débouchés
- Clientèle visée
- OAD utilisé
- Aide extérieure, lien avec les instituts techniques
- Un outil comme la pépinière l'intéresserait (expliquer brièvement le concept)

3) Fertilisation et engrais vert

Question de lancement : Comment les maraîchers à l'installation abordent la gestion de la fertilité ?

Point à aborder :

- Critère de détermination de la dose d'engrais/amendement
- Nature de l'amendement et ou de l'engrais
- Engrais vert ? (Motivation/frein à installer des CI, Prise en compte des engrais verts dans la fertilisation (adaptation de la dose), Si ils en installent : quel est l'itinéraire de culture (installation, destruction, période etc...)
- Outils utilisés, si oui lesquels ? La plupart sont aidés ?
- Connaissance des PRO urbains et de leur nature ?

4) Conception d'un outil pour la gestion de la fertilité et des apports de fertilisants

Question de lancement : Comment imaginez-vous un potentiel outil de gestion de la fertilité qui aiderai les maraîchers à l'installation ?

- Avis sur les OAD pour la fertilité en général
- Quels supports conviendraient (informatique, papier etc...)
- Sont-ils à l'aise avec l'informatique et les tableurs ?
- A partir de quoi l'outil devrait partir pour penser ses apports et sa fertilité ?
- A quelle échelle l'outil devrait travailler ?
- Il faut mieux un outil simple qui travaille à une échelle large, ou un outil plus complexe qui travaille à une échelle plus fine ?

Annexe 6 - Table des équations

équation 1

$$\text{Moyenne des exportations en azote} = \frac{\text{Somme des unités d'azote exporté par hectare}}{\text{Nombre de culture}}$$

équation 2

Selon Gutser et al., pour déterminer l'azote disponible, nous pouvons utiliser le coefficient d'équivalence en azote (Gutser et al., 2005) qui peut être défini comme : *C'est le rapport obtenu entre la quantité d'azote apporté par un engrais minéral de synthèse de type ammonitrate et la quantité d'azote total apporté par l'apport qui permet la même absorption d'azote par la culture »*

$$\text{Azote disponible} = \text{Teneur en azote de l'apport} \times \text{coefficient d'équivalence}$$

équation 3

Selon Celesta-lab, nous pouvons définir la part de matière organique stable (ou liée) par l'équation suivante (Celesta-lab, 2015) :

$$\text{Taux de matière organique stable} = \text{Taux de matière sèche} \times \text{ISMO}$$

équation 4

$$\text{Volume de terre en mètre cube par hectare} = \text{Profondeur travaillé en mètre} \times 10\ 000$$

équation 5

$$\text{Tonne de terre fine par hectare} = \text{Volume de terre en mètre cube par hectare} \times \text{Densité apparente}$$

équation 6

$$\begin{aligned} \text{Tonne de matière organique stable} \\ = \text{Volume de terre en mètre cube par hectare} \times (100 - \text{pourcentage de cailloux}) \\ \times \text{Densité apparente} \times \text{taux en pourcentage de matière organique} \end{aligned}$$

équation 7

Selon Girard et al., nous pouvons calculer le coefficient de minéralisation (K2) de la sorte (Girard et al., 2011) :

$$k_2 = 0,03 * (1 + 0,2 * (T^{\circ}C - 10)) * \frac{1}{(1 + 0,005 * \text{Argile en g/kg})} * \frac{1}{(1 + 0,0015 * \text{Calcaire total en g/kg})}$$

équation 8

$$\begin{aligned} \text{Kilogramme par hectare de matière organique stable minéralisée} \\ = \text{Quantité de matière organique stable en kilogramme par hectare} \times K_2 \end{aligned}$$

équation 9

Selon Baize, qui se base sur Dabin en 1970, il existe un coefficient qui lie le carbone avec la matière organique. Il est donc possible d'écrire cela : M.O. (%) / C (%) = 1,72 (Baize, 2016)
Nous pouvons donc écrire :

$$\text{Carbone} = \text{Kilogramme par hectare de matière organique stable minéralisée} \div 1,72$$

équation 10

On admet que le sol a un rapport C/N de 11 (Noirot-Cosson et al., 2017) et donc par convention :

$$\text{Azote fourni par le sol} = \frac{\text{Carbone}}{11}$$

équation 11

$$\text{Unités d'azote apportées par l'apport} = \text{tonnes d'apport} \times \text{azote disponible par tonne}$$

équation 12

$$\text{Unités d'élément nutritif pour une culture sur la surface cultivée} \\ = \frac{\text{Exportation de la culture par hectare} \times \text{surface cultivée}}{10\,000}$$

équation 13

$$\text{Exportation moyenne} \\ = \frac{\sum \text{Unités d'élément nutritif pour une culture sur la surface cultivée}}{\text{Surface agricole utile}}$$

équation 14

$$\text{Unités d'azote disponibles pour les plantes} = \text{teneur en azote} \times K_{eq} \times CAU$$

Annexe 7 - Capture d'écran du prototype 1

1 - Partie « Vos couverts végétaux »

Nature du couvert	Plein champ ou sous abri		Apport des couverts	N apporté a l'hectare	P apporté a l'hectare	K apporté a l'hectare	Matière organique stable en Kg
	Associations	Sous abri			35	13,75	82,5
Autre (Graminées, phacélie, lin etc)	Plein Champ		20	13,75	82,5	375	

2 - Partie « Bilan »

Mode de culture	Amendement	Unités	Quantité à apporter sur la ferme	Quantité de broquette (35kg) à apporter par blanche
Sous abri	/	t/ha	/	/
	Compost de Biodéchets (casier)	t/ha	0,7	0,06
	Fientes de volaille	t/ha	0,8	0,06
	Compost de déchets vert	t/ha	0,2	0,02
	/	t/ha	/	/
	/	kg/ha	/	/
	/	kg/ha	/	/
Plein champ	Compost de fumier de cheval	t/ha	2,200	0,314
	Compost de Biodéchets (casier)	t/ha	1,200	0,171
	Fientes de volaille	t/ha	2,000	0,286
	Compost de déchets vert	t/ha	2,600	0,371
	/	t/ha	/	/
	Engrais personnalisé	kg/ha	11,600	1,657
	/	kg/ha	/	/
/	kg/ha	/	/	

Surface de votre ferme	
Surface en hectare sous abri	0,1
Surface d'une planche sous abri	30
Surface en hectare de plein champ	0,2
Surface d'une planche de plein champ	50

Merci de renseigner la surface de vos planches et de votre exploitation dans les cases colorées.

Annexe 8 - Partie "Vos apports" après les ateliers

Vos apports	Caractéristique en azote				Caractéristique en phosphore			Caractéristique en potasse			Apport en matière organique stable			Economique	
	Teneur en N par tonne	Coefficient d'équivalence en N sur la période de culture (R. Guber et al., 2005)			Teneur en P par tonne	Coefficient d'équivalence en P sur la période de culture (Méthode COMIFER)	Phosphore disponible en unités par tonne	Teneur en K par tonne	Coefficient d'équivalence en K sur la période de culture (Méthode COMIFER)	Potasse disponible en unités par tonne	Taux de matière sèche	Coefficient d'humification ISMO	Matière organique stable en pourcentage	Prix indicatif par tonne (sans transport)	Prix personnalisé
Fientes de volaille	84	65%	70%	75%	63	60%	38	56	100%	56	48%	65%	31	65	50,00€
Compost de fumier de cheval	40	50%	30%	10%	52	60%	31	32	100%	32	50%	70%	35	20	23,00€
Compost de déchets vert	31	20%	15%	10%	12	60%	7	31	100%	31	58%	80%	47	19	10,00€
Compost de Bioéléchet (plateforme)	24	20%	15%	10%	29	60%	17	32	100%	32	79%	74%	58	40	20,00€
Apport personnalisé															
Engrais personnalisé 1	A vous de renseigner le N de l'engrais -->				A vous de renseigner le P de l'engrais -->			A vous de renseigner le K de l'engrais -->							
Engrais personnalisé 2															
Engrais personnalisé 3															

Ferti-Pépi

Cet outil a pour objectif d'aider le porteur de projet à l'installation ou le jeune maraîcher à mieux comprendre la fertilité et d'estimer les apports.

Il fonctionne à l'échelle d'une année et de l'exploitation agricole.

- 1) Vous allez d'abord renseigner les caractéristiques de votre ferme :
- 2) Ensuite, dans les onglets de fertilisation, vous piloterez les apports et la matière organique en fonction des exports de nutriments de vos cultures.
- 3) Le bilan

Utiliser les boutons pour naviguer dans l'outil.
Commencer par le bouton "Votre ferme"

Point info

La fertilisation joue un rôle crucial dans le maraîchage. Elle fournit aux cultures les éléments nutritifs essentiels dont elles ont besoin pour se développer pleinement.

Une mauvaise gestion des apports de fertilisants peut entraîner un gaspillage de ressources, une pollution des sols et des eaux, ainsi qu'une diminution de la fertilité, qui fait référence à sa capacité à produire.

Ferti-Pépi, développé par l'INRAE, vous permettra de vous projeter rapidement dans la gestion des apports et de la fertilité sur votre (future) ferme.

Pour toute question, vous pouvez contacter :

Kevin MOREL : kevin.morel@inrae.fr

OU

Baptiste ARSAC : baptiste.arsac@inrae.fr

Annexe 10 - Notice d'utilisation de Ferti-Pépi

ÉCOPHYTO PIC INSTITUTIONNEL **INRAE**

Ferti-Pépi : Notice d'utilisation

Ferti-Pépi, développé par l'INRAE, vous permettra de vous projeter rapidement dans la gestion des apports et de la fertilité sur votre (future) ferme.

Cette notice vous permettra de savoir comment utiliser l'outil.

Préambule :

L'outil permet une première approche globale de la fertilité, mais de nombreuses simplifications sont faites et les résultats sont à appréhender avec un esprit critique. Les processus dans les sols sont complexes et variables. L'outil permet d'avoir une idée du fonctionnement de la fertilité et d'estimer les apports. Mais pour prendre en compte les aspects dynamiques du sol ou ajuster les apports finement par culture, il faut utiliser d'autres méthodes et/ou en discuter avec un technicien.

1) Obtenir et mettre en route l'outil

Télécharger cette notice et l'outil, se fait depuis le site [\(lien à insérer\)](#). Il est disponible en version Excel et une version Libre office, le logiciel Excel est à privilégier. Il est important de les télécharger car l'outil ne fonctionnera pas correctement si vous l'ouvrez dans un navigateur. Un document est également disponible, expliquant en détail le développement de l'outil : lien vers le mémoire.

Une fois téléchargé, ouvrez l'outil et activez les macros en cliquant sur "Activer le contenu". Selon votre version d'Excel ou si vous utilisez Libre office, il se peut que vous ne puissiez pas les activer. Pas de panique, elles ne sont pas essentielles pour le fonctionnement de l'outil. Si vous n'arrivez pas à les activer, passez cette étape.



1

ÉCOPHYTO PIC INSTITUTIONNEL **INRAE**

2) Fonctionnement et légende

Pour utiliser l'outil, vous devrez suivre la légende ci-contre.

Des définitions sont présentes en passant le curseur sur les cases avec l'encoché rouge en haut à droite de la cellule. Un exemple est présent ci-contre.

Surface en m²	Exportation en unités d'azote par ha	Exportation en unités de phosphore par ha	Exportation en unités de potassium par ha	Exportation (azote, phosphore et potassium) en unités de fertilité
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

N'hésitez pas zoomer et dézoomer avec le curseur présent en bas à droite de votre écran ou en appuyant sur CTRL et en faisant rouler la molette de votre souris.

3) Onglet d'accueil

Dans l'onglet d'accueil, se trouvent différentes explications et éléments, notamment le schéma de fonctionnel ci-dessous. Si vous avez réussi à activer les macros et que vous êtes sous format Excel, vous pouvez cliquer sur les rectangles bleus pour accéder directement aux différentes parties. Commencez par l'onglet "Votre ferme".



Si vous n'avez pas réussi à activer les macros, vous pouvez accéder manuellement aux onglets en cliquant dessus. Ils sont situés en bas de votre écran.

Accueil | Votre ferme | Fertilisation plein champ | Fertilisation sous abri | Bilan

Les autres onglets, commençant par BD, constituent la base de données de l'outil. Vous y retrouverez les données utilisées pour déterminer les caractéristiques des légumes, des couverts, des apports et du sol. Ces onglets ne vous seront pas directement utiles lors de l'utilisation de l'outil, ils servent à fournir les informations nécessaires pour les calculs et les

2

ÉCOPHYTO PIC INSTITUTIONNEL **INRAE**

analyses. Cependant, vous pouvez modifier la base de données si vous disposez de d'information locales plus adaptées ou précises.

4) L'onglet votre ferme

4.1) Vos légumes

Pour renseigner les caractéristiques de votre ferme, vous devez remplir les parties, légumes, couvert, apport et sol. Elles sont toutes sous forme de tableau.

Pour la partie vos légumes vous devez renseigner les cultures en plein champs et les cultures sous abri. Les tableaux sont les mêmes pour les deux modes de culture. Un exemple est présent ci-dessous :

Plein champ				Sous abri			
Culture	Surface cultivée (ha)	Exportation cumulée en unités de fertilité	Exportation cumulée en unités de fertilité	Culture	Surface cultivée (ha)	Exportation cumulée en unités de fertilité	Exportation cumulée en unités de fertilité
Tomate	0,2	0,2	0,2	Tomate	0,2	0,2	0,2
Aubergine	0,2	0,2	0,2	Aubergine	0,2	0,2	0,2
Poivron	0,2	0,2	0,2	Poivron	0,2	0,2	0,2
Concombre	0,2	0,2	0,2	Concombre	0,2	0,2	0,2
Courgette	0,2	0,2	0,2	Courgette	0,2	0,2	0,2

Renseigner les cultures avec la liste déroulante car la case est de couleur bleue

Renseigner ce qu'il est demandé car la case est orange, ici, la surface de chaque culture

Cette case donne une idée de l'exigence de la culture. Lorsque les exportations cumulées en azote (N), phosphore (P) et potasse (K) sont inférieures à 170 unités, la culture est considérée comme ayant des exigences « faibles ». Si elle dépasse la somme de 235 unités, elle est considérée comme « forte ». Entre les deux, elle est considérée comme « moyenne ».

Ces cases sont remplies automatiquement par l'outil, car elles ne sont ni de couleur bleue, ni orange.

Grâce à ces données, l'outil prend en compte les exportations des cultures, ou les besoins pour les cultures dites « volumineuses », qui sont majoritairement du temps exportées (tomates, aubergines, poivrons, concombres et courgettes).

Ensuite, en renseignant la surface totale de votre ferme (plein champ et sous abri), l'outil réalise une moyenne par hectare et par an, qui intègre l'intensification, c'est-à-dire le fait que plusieurs cultures peuvent se succéder sur une même surface. Le calcul réalisé est le suivant :

$$\text{Exportation moyenne} = \frac{\text{Somme d'unités d'éléments nutritifs pour une culture sur la surface cultivée}}{\text{Surface agricole utile}}$$

3

ÉCOPHYTO PIC INSTITUTIONNEL **INRAE**

En renseignant vos surfaces, l'outil calcule les exportations en NPK par unités par hectare et par an.

Vos surfaces		Bilan des exportations	
Surface en hectare de plein champ	Surface en hectare sous abri	Exportation cumulée en unités de fertilité	Exportation de matière organique en kg/ha/an
0,2	0,2	0,2	0,2
0,2	0,2	0,2	0,2

4.2) Vos couverts

Ensuite, en renseignant le type de couverture présent par mode de culture, l'outil fournit des quantités en kilogrammes (unités) de NPK que le couvert restituera par hectare et sur une année. Un exemple est présent ci-dessous.

Vos couverts végétaux		Apport des couverts	
Nature du couvert	Surface en ha	Apport en kg/ha	Apport en unités de fertilité
Legumineuse, céréales, trèfle	0,2	15,75	0,2
Legumineuse, céréales, trèfle	0,2	15,75	0,2

4.3) Vos apports

Dans cette partie, vous devez renseigner les types d'apports que vous comptez utiliser sur votre ferme. À gauche du tableau, il y a des cases bleues, ce sont donc des listes déroulantes qui contiennent les types d'apports. Vous avez jusqu'à 4 types d'apports différents possibles. Pour chaque apport sélectionné, ses caractéristiques apparaîtront afin d'estimer les quantités en NPK, en matière stable, ainsi qu'un prix indicatif pour une tonne d'apport.

Pour la teneur en azote, phosphore et potasse, le coefficient d'équivalence (Keq) est appliqué, ce qui permet de connaître les quantités d'azote potentiellement assimilable par la plante. Ensuite, uniquement pour l'azote, le coefficient apparent d'utilisation (CAU) est appliqué, ce qui permet d'estimer les pertes de l'azote disponible qui ne seront pas absorbées par la plante. Le CAU n'existe pas pour le phosphore et le potassium.

Cela peut se résumer via l'équation suivante :

$$\text{Unité d'azote disponible pour les plantes} = \text{Teneur en azote} \times \text{Keq} \times \text{CAU}$$

Pour la matière organique, afin de connaître la partie qui va devenir de la matière organique stable, contribuant ainsi à augmenter le taux de matière organique, il faut appliquer 2 coefficients. Le premier est le taux de matière sèche, puis l'ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique) propre à chaque apport. Cela se traduit par l'équation suivante :

$$\text{Taux de matière organique stable} = \text{Taux de matière sèche} \times \text{ISMO}$$

4

Dans le cas où les apports de la liste déroulante ne vous conviennent pas, vous pouvez renseigner un type d'apport personnalisé, mais les caractéristiques sont à renseigner par vous-même. Pareil pour les engrais personnalisés du commerce. Si vous connaissez leur composition, vous pouvez les renseigner dans le bas du tableau. Un exemple est présent ci-dessous :

Type d'apport	Caractéristiques de base			Caractéristiques nutritionnelles			Caractéristiques de culture			Caractéristiques personnalisées			Cout
	MoN	MoP	MoK	N	P	K	MoN	MoP	MoK	MoN	MoP	MoK	
Engrais azoté	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Engrais phosphaté	0	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	100
Engrais potassique	0	0	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
Engrais complet	33	33	33	33	33	33	0	0	0	0	0	0	100
Engrais personnalisé	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

4.4) Partie sol :

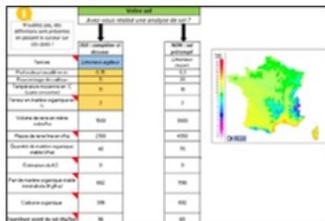
La dernière partie demandée concerne les caractéristiques du sol. Si vous n'avez pas réalisé d'analyse de sol ou n'avez pas acquis de parcelle, un type de sol prérempli est disponible. Dans ce cas, vous ne devez rien renseigner dans cette partie.

Le sol générique choisi a une texture limoneuse, comme la majorité des terres situées dans la moitié nord de la France. La température moyenne prise est celle qui est la plus présente sur la carte des températures moyennes dans l'outil. Pour les autres caractéristiques du sol, telles que le taux de cailloux ou de matière organique, des taux équilibrés ont été choisis, sans aller vers les extrêmes.

Ce sol générique est présent dans le but de ne pas fausser la simulation et d'impacter le moins possible les résultats.

Si vous connaissez votre sol, vous pouvez renseigner la texture, la profondeur travaillée, la température moyenne et le taux de matière organique. Ensuite, l'outil calculera différents éléments pour aboutir à la fourniture en azote du sol. Ces éléments sont expliqués en passant la souris sur les cases avec une encoche rouge.

Un exemple est présent ci-dessous.



5) Onglet Fertilisation plein champs et sous abri :

Ces deux onglets sont identiques, à l'exception qu'un permet la gestion des apports pour les cultures sous abri, tandis que l'autre est destiné aux cultures en plein champ. Ils se présentent donc sous la forme de tableaux, vous permettant d'ajuster les quantités d'apports, la surface, de couverture et le taux de matière organique. Un exemple est présent ci-dessous :

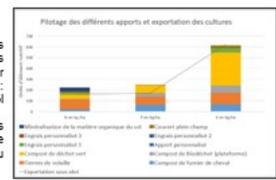
Cultures	Surface (ha)	Choix des quantités plein champ			Matière organique (t/ha)	Prix
		MoN (kg/ha)	MoP (kg/ha)	MoK (kg/ha)		
Méditerranéenne de la matière organique	10	100	100	100	100	100
Blé de printemps	10	100	100	100	100	100
Maïs de printemps	10	100	100	100	100	100
Colza de printemps	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 1	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 2	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 3	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 4	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 5	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 6	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 7	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 8	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 9	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 10	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 11	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 12	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 13	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 14	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 15	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 16	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 17	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 18	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 19	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 20	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 21	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 22	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 23	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 24	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 25	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 26	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 27	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 28	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 29	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 30	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 31	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 32	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 33	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 34	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 35	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 36	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 37	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 38	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 39	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 40	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 41	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 42	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 43	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 44	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 45	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 46	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 47	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 48	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 49	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 50	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 51	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 52	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 53	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 54	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 55	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 56	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 57	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 58	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 59	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 60	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 61	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 62	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 63	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 64	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 65	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 66	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 67	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 68	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 69	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 70	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 71	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 72	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 73	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 74	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 75	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 76	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 77	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 78	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 79	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 80	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 81	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 82	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 83	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 84	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 85	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 86	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 87	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 88	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 89	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 90	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 91	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 92	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 93	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 94	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 95	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 96	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 97	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 98	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 99	10	100	100	100	100	100
Legumineuse 100	10	100	100	100	100	100

Sont renseigner ici ce qui a être paramétrable dans votre ferme : taux de Mo, ouverture d'engrais vert, type d'apport choisi

Vous pouvez ajuster les quantités avec les curseurs, comme l'indique la légende

L'outil fait évoluer automatiquement les quantités d'éléments nutritif, la matière organique et le prix en fonction des ajustements des curseurs

Ce tableau est lié à un graphique qui permet de visualiser les quantités d'éléments nutritifs (NPK) exportées par les cultures et celles apportées par les apports, les couverts et la matière organique.



- Les diagrammes empilés représentent les quantités d'éléments nutritifs apportées par les différentes sources de fertilisant : les apports, les couverts et le sol (MO).
- La courbe représente les exportations des cultures selon le mode de culture (plein champ ou sous abri).

L'objectif ici est d'ajuster les diagrammes à barres pour qu'ils se rapprochent le plus possible de la courbe représentant les exportations. A vous d'ajuster les curseurs au mieux en fonction de vos choix. Une fois cela fait, vous pouvez accéder à l'onglet "Bilan".

5) Onglet Bilan :

Ce dernier onglet prend en compte vos choix effectués à l'aide des curseurs pour votre ferme. Vous y trouverez un bilan résumant les quantités d'amendements à apporter sur votre ferme en tonnes ainsi que les quantités en kg à apporter par m². Un détail comme ci-dessous vous est donnée pour vos surface de plein champ et sous abri.

Mode de culture	Amendement	Quantité à apporter sur la ferme en tonnes	Quantité de kg à apporter par m ² en tonne
Plein champ	Engrais de base de chaux	0,03	0,30
	Faibles de vaille	0,03	0,30
	Couverts de Broussonnet	0,03	0,30
	Engrais de base vert	0,15	1,50
Sous abri	1	?	?
	Engrais personnalisé 1	0,00	0,00
	1	?	?

Pour terminer, si les macros sont activées, vous pouvez exporter ce bilan au format PDF, afin de le partager et de le discuter. Cela se fait en cliquant sur ce bouton dans l'onglet Bilan :



Merci de votre participation !

Annexe 11 - Fiche retour

Fiche retour : *Ferti-Pépi*

- 1) Qu'avez-vous pensé de l'ergonomie de l'outil ?

- 2) Que pensez-vous de l'échelle utilisée (Abri + plein champ sur une année) ?

- 3) Pensez -vous que son contenu est pertinent ? (Apport des couverts, exportation etc...)

- 4) Avez-vous des remarques générales et des choses à apporter ou à modifier dans l'outil ?

- 5) Seriez-vous prêt à l'utilisé dans votre future vie professionnelle ?

	Diplôme : Ingénieur horticole Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Production végétale durable (PVD) Enseignant référent : Stéphane De Tourdonnet
Auteur(s) : Baptiste Arzac Date de naissance : 24 juillet 1999	Organisme d'accueil : SADAPT UMR INRAE Agroparistech
Nb pages : 78 Annexe(s) : 11	Adresse : CAMPUS AGRO PARIS SACLAY, 22 Place de l'Agronomie, CS 80022, 91230 Palaiseau Cedex, France.
Année de soutenance : 2023	Maître de stage : Kevin Morel
Titre français : Conception d'un outil de gestion de la fertilité des sols pour les maraîchers à l'installation Titre anglais : Design of a soil fertility management tool for new market gardeners	
Résumé (1600 caractères maximum) : <i>La Pépinière</i> est un outil numérique qui vise à accompagner les nouveaux maraîchers dans la planification des cultures afin de les aider à répondre aux débouchés locaux. Cet outil ne permet pour l'instant pas d'accompagner les maraîchers dans une gestion de la fertilité intégrant au mieux les matières organiques locales, ce qui constitue un enjeu fort de la reterritorialisation de l'agriculture. Pour répondre à ce manque, j'ai développé un module complémentaire à <i>La Pépinière</i> . Une démarche de conception participative a été mise en place intégrant différentes étapes : entretiens préliminaires avec 5 maraîchers d'Ile de France, établissement du cahier des charges, réalisation de 6 ateliers impliquant 74 maraîchers, 6 enseignants en formation adulte et 5 conseillers dans toute la France. Cela a abouti à un outil utilisable nommé <i>Ferti-pépi</i> qui prend en compte les caractéristiques du (futur) système de production (légumes, couverts, apports et sol) et permet à l'utilisateur de concevoir une stratégie de fertilité cohérente en simulant et ajustant ses apports en fonction des exportations en azote, phosphore, potasse et de matière organique. Cet outil a reçu un bon accueil des usagers pour son côté pédagogique. Il permet une première approche stratégique de la fertilité mais son articulation avec d'autres outils tactiques reste à développer. D'autre part, des recherches futures pourraient explorer dans quelles mesures l'utilisation de <i>Ferti-Pépi</i> permettrait aux maraîchers de valoriser au mieux les matières organiques de leur territoire.	
Abstract (1600 caractères maximum) : <i>La Pépinière</i> is a digital tool designed to help new market gardeners plan their crops so that they can respond to local markets. For the time being, however, this tool does not enable market gardeners to manage fertility in a way that makes the best possible use of local organic matter, which is a key issue in the reterritorialization of agriculture. To fill this gap, I have developed a complementary module at <i>La Pépinière</i> . A participatory design process was put in place, involving various stages: preliminary interviews with 5 market gardeners, drawing up specifications, 6 workshops involving 74 market gardeners, 6 adult education teachers and 5 advisers, first in Ile-de-France and then throughout France. The result is a usable tool called <i>Ferti-pépi</i> that takes into account the characteristics of the (future) production system (vegetables, cover crops, inputs and soil) and enables the user to devise a coherent fertility strategy by simulating and adjusting inputs according to exports of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter. This tool has been well received by users for its educational value. It provides an initial strategic approach to fertility, but needs to be developed in conjunction with other tactical tools. Future research could also explore the extent to which the use of <i>Ferti-Pépi</i> enables market gardeners to make the most of the organic matter in their area.	
Mots-clés : fertilité, maraîchage, installation agricole, reterritorialisation, outil, démarche participative Key Words: fertility, market gardening, setting up farming, reterritorialization, tool, participatory approach	