

**Analyse des processus de conception des systèmes agroforestiers en France : quelle place des outils numériques ?**

Mémoire de Master présenté par :

Etsri Enyo Jacques KUZO

Université Clermont Auvergne, Ecole d'Économie

Master « Économie du développement »

Parcours « Développement durable »

Année : 2021-2022

**Institution d'accueil :**

INRAE de Montpellier

UMR ABSys

**Tutrices de l'institution d'accueil :**

Laetitia LEMIERE (Doctorante)

Julie LABATUT (Chargée de recherches)

**Responsables pédagogiques :**

Pascale COMBES\_MOTEL (Professeure agrégée, Ingénieure Agronome)

Sonia SCHWARTZ (Professeure agrégée)

Septembre 2022

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'Avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004

This work was supported by the French National Research Agency under the Investments for the Future Program, referred as ANR-16-CONV-0004.

## **REMERCIEMENTS**

La réalisation de ce stage et la rédaction du présent mémoire ont été possible grâce au concours de nombreuses personnes. Que toutes ces personnes reçoivent ici mes profondes gratitude.

Mes remerciements vont à l'endroit de mes deux encadrantes Laetitia LEMIERE et Julie LABATUT, à qui j'exprime ma profonde gratitude pour l'encadrement qu'elles m'ont fourni tout au long de ce stage, pour leur disponibilité, leur encouragement durant tout le stage. Vous qui avez su guider avec expérience, patience et fermeté mes pas de jeune chercheur et cultivé en moi le goût du travail bien fait, recevez ici l'expression de ma profonde gratitude. Vous demeurez pour moi un exemple à suivre ;

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de toute l'équipe de l'UMR ABSys de même qu'aux stagiaires et doctorants pour leur chaleureux accueil, les échanges et le partage d'expériences ;

Mes remerciements à L'Institut de convergence #DigitAg grâce à qui ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'Avenir portant la référence ANR-16-CONV-0004 ;

Mes remerciements à tous les enquêtés qui ont acceptés répondre à notre questionnaire et ceux qui n'ont pas pu le faire par faute de temps ;

Mes remerciements au corps enseignant et administratif de l'Ecole d'Economie d'Auvergne, et spécialement aux responsables pédagogiques de ma formation, Pascale Motel-Combes et Sonia Schwartz, pour leur transmission de connaissances et leurs encouragements avant, durant et pendant ce stage ;

Mes remerciements à Eyana BITENIWE, Amoni Mac-Donald MIKEM et Nicolas SOLER, pour leurs conseils et motivations de tous les jours ;

Enfin à ma chère famille sans qui ce projet d'études n'aurait pas été possible, je tiens à vous dire merci pour les sacrifices.

## **RESUME**

Les outils du numérique, et notamment des outils de visualisation peuvent aider à la conception de systèmes agroforestiers. Cette étude exploratoire vise à établir le bilan des outils (numériques ou non) actuellement utilisés et déterminer quels outils numériques seraient utiles pour aider les concepteurs des systèmes agroforestiers en France. Pour ce faire, dans une première étape, nous avons fait l'état de l'art du processus de conception des systèmes agroforestiers. La seconde étape a été menée à travers des entretiens semi-directifs réalisés auprès des concepteurs de systèmes agroforestiers en France. Les résultats de l'analyse du discours révèlent que le processus de conception de système agroforestier ne suit pas de méthode établie et partagée par tous les concepteurs. Les méthodes sont composées d'un nombre d'étapes variant entre 3 et 6. Ces méthodes ont malgré tout trois étapes communes : une phase de diagnostic, une phase de proposition de système et une phase de réalisation du projet. Occasionnellement, il y a ensuite une phase de suivi de projet. Dans le processus de conception, les concepteurs de systèmes agroforestiers utilisent les outils divers allant de la cartographie aux outils manuels en passant par des logiciels ou des drones. Pour finir, les résultats suggèrent que, dans le cadre de la conception de systèmes agroforestier, les acteurs manquent d'un outil de reporting reliant plusieurs sources de données, permettant de faire du géo-référencement, un dimensionnement temporel et économique à long terme tout en fournissant la liste d'essence à utiliser. Parallèlement, l'outil doit percevoir l'évolution temporelle de la parcelle, prendre en compte l'ombrage, les interactions qui peuvent exister sur la parcelle et l'impact que peut subir le système dans le temps.

**Mots clés : Conception de systèmes – Agroforesterie – Transition numérique – Agroécologie**

## **ABSTRACT**

Digital tools, and in particular visualization tools, can help in the design of agroforestry systems. This exploratory study aims to establish the balance of the tools (digital or not) currently used and to determine which digital tools would be useful to help designers of agroforestry systems in France. To do this, in a first step, we made the state of the art of the design process of agroforestry systems. The second stage was conducted through semi-structured interviews with designers of agroforestry systems in France. The results of the discourse analysis reveal that the agroforestry system design process does not follow an established method shared by all designers. The methods are composed of a number of steps varying between 3 and 6. These methods nevertheless have three common steps: a diagnostic phase, a system proposal phase and a project implementation phase. Occasionally, there is then a project follow-up phase. In the design process, designers of agroforestry systems use various tools ranging from cartography to manual tools, software or drones. Finally, the results suggest that, within the framework of the design of agroforestry systems, the actors lack a reporting tool linking several sources of data, making it possible to carry out geo-referencing, temporal and economic dimensioning in the long term while by providing the list of essence to be used. At the same time, the tool must perceive the temporal evolution of the plot, take into account the shade,

**Keywords: Systems design – Agroforestry – Digital transition - Agroecology**

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	i
RESUME .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TABLE DES MATIERES .....	iv
PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL .....	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX .....	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE ET PROBLEMATIQUE....	3
1. L'AGROFORESTERIE, UN SYSTEME DURABLE ?.....	3
2. LE PROBLEME DE CONCEPTION DES SYSTEMES AGROFORESTIERS :.....	9
3. DIFFERENTES THEORIES ET METHODES POUR ACCOMPAGNER LE SYSTEME AGROFORESTIER.....	10
4. LES OUTILS NUMERIQUES DANS LES TRANSITIONS AGRO-ECOLOGIQUES : UN ROLE AMBIGU ET PEU ETUDIE DANS LES PROCESSUS DE CONCEPTION EN AGROFORESTERIE.....	21
5. PROBLEMATIQUE.....	25
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE .....	26
1. COLLECTE DE DONNEES.....	26
2. TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES.....	31
CHAPITRE 3 : RESULTATS.....	32
1. MISE EN PLACE DE SYSTEMES AGROFORESTIERS EN FRANCE : QUI ET POUR QUEL BUT ?.....	32
2. ETAT DES LIEUX DE LA CONCEPTION DE SYSTEME AGROFORESTIER.....	37
3. LES VOIES D'AMELIORATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	45
4. La réalité augmentée : une nouvelle voie pour améliorer la conception de systèmes agroforestiers ?.....	45
CHAPITRE 4 : DISCUSSION .....	48
1. LES MOTIVATIONS POUR LE PASSAGE A L'AGROFORESTERIE.....	48

<b>2. LES RAISONS LIEES A LA RETICENCE OU AU NON UTILISATION DES OUTILS NUMERIQUES DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE SYSTEMES AGROFORESTIERS.</b> .....	50
<b>3. LES PISTES D'AMELIORATION</b> .....	51
<b>CONCLUSION</b> .....	52
<b>REFERENCES</b> .....	53
<b>ANNEXE</b> .....	i

## **PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL**

Le stagiaire a été accueilli pendant 6 mois au sein de l'unité mixte de recherche Agrosystèmes Biodiversifiés (ABSys) de l'Institut Nationale de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE) de Montpellier. Elle est située au 8 Place Pierre Viala 34 000 Bat 27.

Unité mixte de recherche ABSys a été créée en 2020 par suite du rapprochement de deux unités étudiant l'agronomie des systèmes de culture à base d'espèces pérennes et a pour Directeur Bruno Rapidel et Directeur adjoint Pierre-Eric Lauri. L'UMR ABSys ne cesse d'accompagner la transition agroécologique dans divers environnements méditerranéens et tropicaux. Pour améliorer la durabilité de l'agriculture, l'UMR ABSys mobilise à travers ces agents permanents, doctorants, post-doctorants et CDD la diversité végétale dans les agrosystèmes à base de plantes pérennes, dont l'agroforesterie.

L'UMR ABSys développe ses relations partenariales avec le monde de la recherche, les organismes de développement de même qu'avec les partenaires socio-économiques. Elle est également impliquée dans la formation de nombreux stagiaires et thésards.

## **SIGLES ET ABREVIATIONS**

<b>ADAF</b>	Association Dromoise d'agroforesterie
<b>AGROOF</b>	Groupe de recherche en agroforesterie et développement
<b>CA</b>	Chambre d'Agriculture
<b>CDD</b>	Contrat à durée déterminée
<b>CRDI</b>	Centre de recherche pour le développement international
<b>GRAB</b>	Groupe de Recherche en Agriculture Biologique
<b>ICRAF</b>	Centre international pour la recherche en agroforesterie
<b>INRAE</b>	l'Institut Nationale de Recherche pour l'agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
<b>ONG</b>	Organisation Non Gouvernementale
<b>ONF</b>	Office Nationale de Forêt
<b>PACA</b>	Provence-Alpes-Côte d'Azur
<b>UMR</b>	Unité Mixte de recherche

## **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1 : Les trois piliers de la durabilité.....</b>	<b>4</b>
<b>Figure 2 : Méthode de conception systématique.....</b>	<b>12</b>
<b>Figure 3 : Les différents régimes de conception dans le temps.....</b>	<b>13</b>
<b>Figure 4 : Deux modes de conception d'innovation et de leur diffusion en agriculture, l'une 'conventionnelle/ ordinaire' (A), l'autre plus 'collective/ participative' (B).....</b>	<b>15</b>
<b>Figure 5 : Méthode de conception de novo d'un système de culture.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 6: Les 6 étapes d'un atelier de co-conception .....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 7: ShadeMotion : Outil d'analyse des configurations d'ombrage .....</b>	<b>24</b>
<b>Figure 8 : Visualisation 2D et 3D par F Salé via CAPSIS-EcoAF d'un pré-projet .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 9: Exemples d'un atelier de Co-conception.....</b>	<b>i</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1: Tableau récapitulatif des entretiens réalisés. ....</b>	<b>28</b>
<b>Tableau 2: Carte de répartition géographique des enquêtés .....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau 3: Tableau récapitulatif de thématiques abordées dans le guide d'entretien .....</b>	<b>30</b>
<b>Tableau 4: Tableau des supports et outils utilisés lors du processus de conception.....</b>	<b>41</b>

## INTRODUCTION

Depuis quelques décennies, les modes de production agricole et de consommation alimentaire ont connu de grandes évolutions. Ces évolutions interviennent suite aux effets néfastes reconnus à l'agriculture industrielle comme la perte de biodiversité, la pollution des eaux souterraines, l'émission de gaz à effet de serre, le changement climatique, les problèmes sanitaires et de sécurité alimentaire (Schnebelin, et al., 2021). La mise en place de nouveaux modes de production vise deux objectifs principaux. Le premier est de réduire les externalités négatives à travers l'optimisation des intrants afin de gagner en efficacité et le deuxième est de favoriser les interactions bénéfiques dans la parcelle. Ces objectifs sont présents dans l'agroécologie qui en plus cherche à améliorer les systèmes agricoles en « imitant » les processus naturels qui favorisent des interactions et synergies biologiques qui sont bénéfiques entre les composantes du système (Bellon-Maurel & Piot-Lepetit, 2021; Schnebelin, et al., 2021; Chieze, et al., 2021). Par ailleurs, l'un des enjeux de la transition agroécologique est également d'identifier dans quelle mesure et comment les outils du numérique peuvent aider à accompagner la complexité de cette transition. Une hypothèse à l'origine du projet dans lequel s'inscrit mon travail est que les outils du numérique, et notamment des outils de visualisation des systèmes peuvent aider à la conception de systèmes agroforestiers.

L'agroforesterie est une méthode de culture particulière de l'agroécologie. L'agroforesterie est « l'exploitation des terres avec une association d'arbres et de cultures ou d'animaux. » (Dupraz & Liagre, 2011). Les systèmes agroforestiers sont des systèmes complexes, reposant sur de nombreuses interactions et interdépendances entre les cultures. Selon les travaux de Rue (2018) et de Reisner et al (2007) effectués sur le territoire Européen, 70 % des terres arables parmi les 56% adaptées à la mise en place de systèmes agroforestiers sont sujets à des risques environnementaux comme la pollution, l'érosion des sols, et l'uniformisation du paysage qui pourraient être réduits par l'agroforesterie. Dupraz et al., (2005) estiment la surface européenne appropriée à l'agroforesterie à 65 millions d'hectares en 2005.

Le concept de l'agroforesterie a commencé par être diffusé et inséré dans les enseignements universitaires. Pour encourager l'agroforesterie, la France se dote d'un plan de développement agroforestier sur la période allant de 2015 à 2020 par le biais du ministère français de l'Agriculture (Torquebiau, 2022).

Pour la réussite des projets d'agroforesterie, la complexité des systèmes agroforestiers doit être prise en compte dans les processus de conception de ces systèmes. La conception se définit comme étant l'activité par laquelle sont produits, créés des artefacts, des services, des techniques ou des systèmes visant à changer une situation existante, en continu de l'existant ou une rupture avec l'existant. Ces processus de conception reposent sur une diversité de pratiques et de méthodes. Ils impliquent des acteurs différents, ayant des connaissances variées. L'objectif de mon travail est de rendre compte de cette diversité de processus, et d'identifier quels outils numériques les concepteurs de systèmes utilisent, et quels outils numériques leur seraient utiles pour aider dans leur travail de conception.

Pour cela, dans un premier temps, je présenterais la revue de la littérature et la problématique de cette recherche. Dans un deuxième temps j'exposerais la méthodologie mise en œuvre pour déterminer les caractéristiques des outils numériques qui seraient utiles dans la conception des systèmes agroforestiers. Dans un troisième temps, nous parlerons des résultats de nos entretiens. Enfin, dans le quatrième temps est consacré à la discussion, des perspectives et limites de l'étude.

## **CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE ET PROBLÉMATIQUE**

Dans ce chapitre, il sera question d'aborder les fondements théoriques et empiriques de la notion de système agroforestier, des outils numériques qui sont utilisés dans les transitions agro-écologiques et la problématique. Je m'intéresserai, dans la première section, à l'agroforesterie. La deuxième section portera sur l'étude du rôle ambigu des outils numériques. Ce rôle est peu étudié dans les processus de conception en agroforesterie. La troisième section sera consacrée à l'utilisation actuelle des outils numériques en agroforesterie et la quatrième section sera consacrée au cadre théorique de la conception de systèmes agroforestiers.

### **1. L'AGROFORESTERIE, UN SYSTEME DURABLE ?**

#### **1.1 Définition**

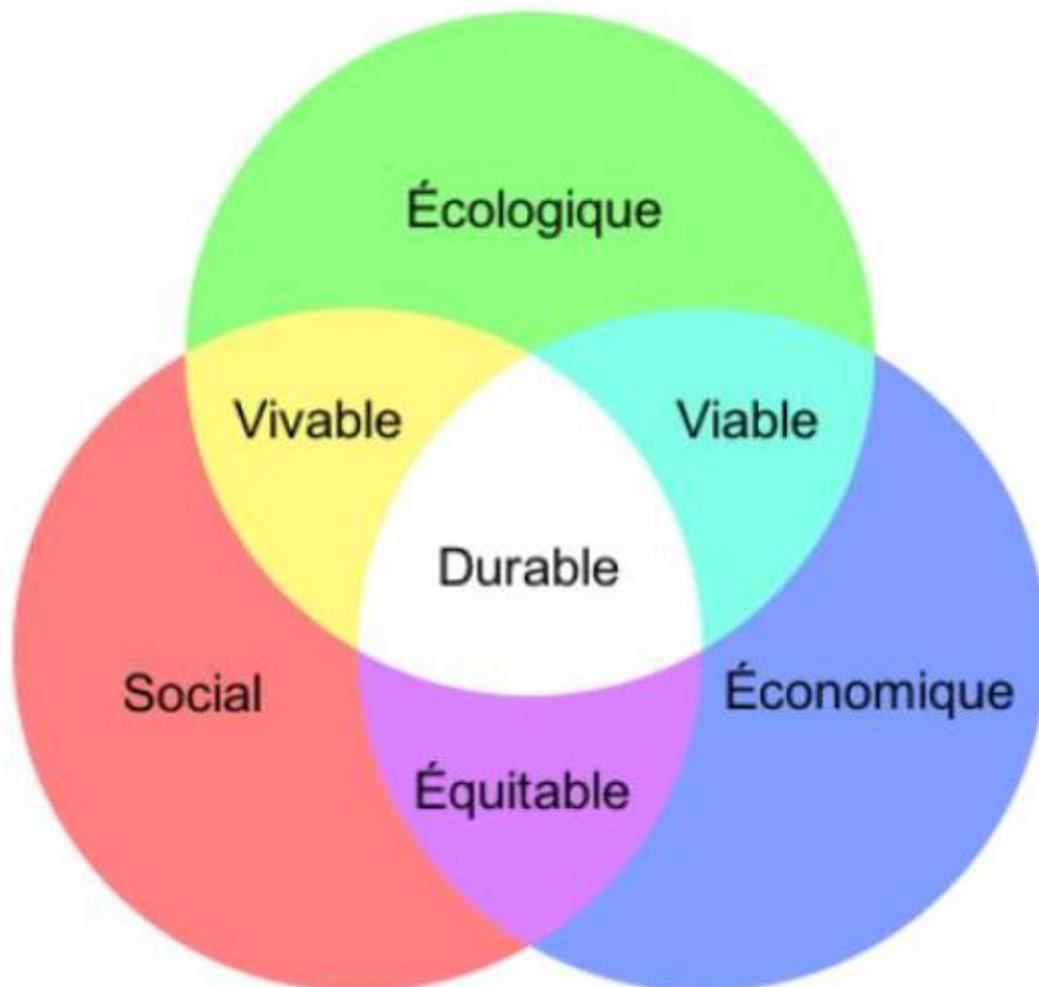
L'agroforesterie fait objet de pratique très ancienne (Lamanda, 2011). Elle est apparue dans les années 1930 sous la dénomination « agriforesterie » dans *The Hindu*, un quotidien indien à grand tirage le 06 novembre 1937 qui a écrit : « Un plan de développement de l'agriforesterie, une combinaison de l'agriculture et de la foresterie, a été adopté lors d'une réunion du Central Forder and Grazing Committee de l'Impérial Council of Agriculture Research tenue à News Delhi » (Torquebiau, 2022). Le concept « agroforesterie » fut ensuite proposé en 1977 par un groupe d'experts internationaux mandatés par le CRDI (Centre de recherche pour le développement international) au Canada pour nommer les solutions proposées face à la disparition des forêts tropicales (Bene, et al., 1977). L'agroforesterie est considérée comme étant « un système de gestion durable de la terre [...] » selon un extrait de la première définition de l'agroforesterie<sup>1</sup>. Dans le rapport conceptualisant l'agroforesterie en 1977, les auteurs confèrent au concept un objectif de durabilité, d'équité sociale et de développement économique (Torquebiau, 2022) ; trois objectifs qui 10 ans plus tard seront considérés comme les piliers du développement durable

---

<sup>1</sup> « Agroforestry is defined here as a sustainable management system for land that increases overall production, combines agricultural crops, tree crops, and forest plants and/or animals simultaneously or sequentially, and applies management practices that are compatible with the cultural patterns of the local population » (Bene, et al., 1977).

(Cf figure 1) dans le célèbre rapport Brundtland *Notre avenir à tous* (Our Common Future) (Brundtland & Khalid, 1987). Ce rapport invente la notion de développement durable en le définissant par : « Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

*Figure 1 : Les trois piliers de la durabilité.*



**Source :** (Augis, 2017)

Il existe différentes définitions de l'agroforesterie mais nous considérerons ici la définition de référence du **Centre international pour la recherche en agroforesterie** (ICRAF) citée par (Dupraz & Liagre, 2011) : « A land-use system in

which woody perennials (trees, shrubs, palms, bamboos) are deliberately used on the same land management unit as agricultural crops (woody or not), animals or both, either in some form of spatial arrangement or temporal sequence. In agroforestry systems there are both ecological and economic interactions between the different components. »

Avec la création de l'ICRAF installé au Kenya en 1978, la recherche sur les systèmes agroforestiers va connaître un avancement considérable d'abord en Afrique dans les pays comme le Congo-Brazzaville, la Côte d'Ivoire, le Nigéria, le Niger puis aux Etats-Unis, au Canada, en Chine et enfin dans le monde comme le Bangladesh (Torquebiau, 2022).

En France, au niveau national, l'agroforesterie n'est encouragée qu'à partir des années 2010 (Rue, 2018).

Il existe trois types de systèmes agroforestiers (King, 1979) :

- L'agrisylviculture : utilisation consciente et délibérée de la terre pour la production concurrente de cultures agricoles y compris les cultures arborées et de cultures forestières ;
- Le sylvopastoralisme: système de gestion de la terre dans lequel des forêts sont gérées pour la production de bois ainsi que pour l'élevage d'animaux domestiques ;
- L'agrosylvopastoral : systèmes de terres dans lequel des forêts sont gérées pour la production de cultures agricoles et forestières, ainsi que pour l'élevage d'animaux domestiques.

Les systèmes agroforestiers pris sur le plan spatial peuvent être disposés de cinq (5) différentes façons (Christophe SOTTEAU – AGROECO Expert, 2022) :

- Le système de haies et bocages inter parcellaires (les ripisylves en bordure de cours d'eau y compris) ;
- Le système intra parcellaires : système d'alignement d'arbres (et de haie) intra parcellaires associés aux cultures (grandes cultures, maraîchage...) et prairies (pâturages permanents ...)

- Le pré-verger : système associant arbres et élevage en intra-parcellaire
- Systèmes sylvopastoraux ;
- Systèmes de cultures sous-bois (café, cacao, vanille) dans les DOM-TOM.

## **1.2 Quels services environnementaux fournissent les systèmes agroforestiers ?**

Les systèmes agroforestiers profitent de l'interaction (synergie et complémentarité) entre les cultures et les arbres pour améliorer son fonctionnement ; ce qui n'est pas forcément présent dans les parcelles purement agricoles ou forestières. Il fournit de multiples bénéfices (appelés services écosystémiques) (Jose, 2009; Fagerholm, et al., 2016; Göbel, 2016; Torralba, et al., 2016). Ces services écosystémiques entrent en lien avec la protection de la nature ou la production végétale ou animale (Torquebiau, 2022). Par exemple, en 1929, dans son livre ayant pour titre *Tree Crops A Permanent Agriculture*, (Russell Smith, 1929) cité par (Torquebiau, 2022) fait l'éloge des cultures (maïs, coton et le tabac) qui donnent chacune 75% de leur rendement mais une fois combinée, ce rendement est de 150%. Le système a donc permis d'augmenté les rendements du système agroforestier.

Ces effets sont possibles car les arbres ont tendance à être plus résilients face au changement climatique en protégeant les cultures contre les excès de température, permettant une résistance aux effets climatiques extrêmes comme la sécheresse (Dupraz & Liagre, 2011; Vigan , 2018). De plus ils permettent la réhabilitation des terres dégradées et protègent contre les incendies, l'érosion des sols (Vigan , 2018) et les crues (Dupraz & Liager, 2011). Par rapport aux objectifs de développement durable, les arbres sont des sources de stockages de ressources énergétiques (Dupraz & Liagre, 2011; Torquebiau, 2022; Theriez, et al., 2017). Suivant les stimulations de Dupraz et Liagre (2011), un système agroforestier adulte de 100 arbres injecte 400 Kg/ha/an de carbone dans le sol. Dans les systèmes agroforestiers tempérés, sur une période de 10 ans, les peupliers agroforestiers de la station de Vézénobres (Gard) ont stocké 300 kg de carbone par arbre soit trois fois plus que les données prélevées sur d'autres peupliers au Canada à l'Université de Guelph qui sont de 104 kg/arbres en 13 ans. Sur des parcelles de grandes superficies en climat océanique dans le Charente-

Maritime, il est mis en évidence que les parcelles agroforestières accumulent 20 t de carbone par ha que dans les parcelles agricoles simples.

Les arbres peuvent aussi avoir un rôle bénéfiques sur la biodiversité (Vigan , 2018) en diminuant le taux d'adventices et en augmentant le taux d'insectes dans la parcelle (Castel, et al., 2020). Enfin, il a été aussi montré une amélioration de la qualité des cultures (Castel, et al., 2020; Fida, 2020). Sur la parcelle agroforestière, les arbres et les animaux peuvent être symbiotique en fournissant de l'ombrage aux animaux qui garantissent de la fumure aux arbres (Vigan , 2018).

L'agroforesterie permet donc de constituer des systèmes durables et résilients (Malézieux 2012 ; Wilson & Lovell 2016 ; Theriez, et al., 2017) représentant ainsi une des voies les plus prometteuses de l'agroécologie (Smith et al. 2012) tout en jouant un rôle paysager au sein de la société (Dupraz, 2006).

Au-delà de ces intérêts environnementaux, dans l'inventaire fourni par les experts à l'origine de l'agroforesterie, divers produits sont cités comme étant fournis également par la forêt.

Commençons par les produits forestiers non ligneux que sont les exsudats des arbres comme les gommés, huiles, médicaments, produits des écorces, fourrage pour les animaux. Ils ont fait mention aussi des produits protéiniques de la chasse, de la pêche et de la flore comme les fruits, les racines ou autres parties comestibles de la plante, des champignons, etc qui sont fournis par le système (Torquebiau, 2022).

L'agroforesterie favorise la diminution du taux des adventices et une augmentation du taux des insectes dans la parcelle (Castel, et al., 2020). On note ainsi que l'association des arbres aux cultures peut aider à atteindre les objectifs du développement durable auxquels sont confrontés le monde actuel en apportant plus de résilience au système de production tout en favorisant l'accroissement de la productivité des terres, l'amélioration de la qualité des cultures (Castel, et al., 2020; Fida, 2020), l'intensification écologique, une introduction de la biodiversité, la conservation des sols et l'énergie renouvelable (Vigan , 2018).

Les systèmes agroforestiers ont tendance à être plus résilients face au changement climatique. Ils protègent les cultures contre les excès de température, résistent aux accidents climatiques extrêmes avec une résistance des arbres aux sécheresses (Dupraz & Liagre, 2011; Vigan , 2018).

Les systèmes agroforestiers sont d'importants puits de séquestration de carbone (Dupraz & Liagre, 2011; Theriez, et al., 2017). Les arbres agroforestiers ont une croissance très rapide. Ils ont leur enracinement plus profond et plus dense ce qui leur permet de produire plus de biomasse par arbre (Dupraz & Liager, 2011). Suivant les stimulations de Dupraz et Liagre (2011), les systèmes agroforestiers adultes de 100 arbres injectent 400 Kg/ha/an de carbone dans le sol.

Dans les systèmes agroforestiers tempérés, sur une période de 10 ans, les peupliers agroforestiers de la station de Vézénobres (Gard) ont stocké 300 kg de carbone par arbre soit trois fois plus que les données prélevées sur d'autres peupliers au Canada à l'Université de Guelph qui sont de 104 kg/arbres en 13 ans. Sur des parcelles de grandes superficies en climat océaniques dans le Charente-Maritime, il est mis en évidence que les parcelles agroforestières accumulent 20 t de carbone par ha que dans les parcelles agricoles simples.

Les systèmes agroforestiers jouent aussi un rôle paysager au sein de la société (Dupraz, 2006).

Au-delà de son rôle environnemental, l'agroforesterie présente des aspects dits « écologiques passifs ». Les arbres ont une fonction de service (comme la protection des sols en ce qui concerne leurs fertilités, de brise-vent, d'ombrage et biodiversité.) et une fonction de production (fruits, bois, fourrages) (Torquebiau, 2022).

L'agroforesterie représente l'une des voies les plus prometteuses de l'agroécologie. Sur la parcelle agroforestière, les arbres fournissent de l'ombrage aux animaux. Ils servent de brise-vent pour les cultures ; de même que les animaux garantissent de la fumure aux arbres (Vigan , 2018).

Toutefois, il est opportun de rappeler que sa mise en place est soumise à des conditions préalables afin d'espérer aboutir aux résultats escomptés. C'est un système

qui pose des questions à la fois sur les conditions de son efficacité et sur sa mise en œuvre du fait de sa complexité.

## 2. LE PROBLEME DE CONCEPTION DES SYSTEMES AGROFORESTIERS.

Si l'agroforesterie est reconnue comme étant une source de durabilité du système, il est opportun de rappeler que des conditions de sa mise en place doivent être réunies pour espérer obtenir les résultats escomptés (Gosme, 2021; Dupraz, 2006; Torquebiau, 2022).

Depuis plusieurs décennies, la notion de conception est utilisée dans plusieurs domaines. Cette notion est moins familière aux sciences économiques que celle de la décision. Or, si les processus de conception aboutissent aussi à une décision, le chemin vers celle-ci est différent (Hatchuel, 2015). L'activité de conception est l'activité par laquelle sont produits, créés des artefacts des services, des techniques ou des systèmes visant à changer une situation existante, en continu de l'existant ou une rupture avec l'existant. Elle implique des apprentissages. Elle a pour but de répondre à des besoins qui sont parfois peu définis. La définition des besoins fait partie de l'activité de conception. Les premières théories de la conception ont vu le jour dans le domaine de l'architecture avant de s'étendre aux autres domaines comme le marketing, l'industrialisation, la recherche et développement et l'agriculture.

La conception étant un processus complexe, les problèmes rencontrés au cours du processus de conception sont de nature systémique et multi-échelle (Prost & Merot, 202 ; Coquil, 2014 ; Chizallet et al 2020).

Pour une bonne réussite d'un projet agroforestier, beaucoup d'éléments sont à prendre en compte dans le processus de conception du système concerné, notamment l'orientation des arbres qui est corrélée à la lumière qui pourrait avoir un impact sur le rendement de la parcelle et la croissance des arbres. La littérature recommande une orientation Nord-Sud afin que toute la parcelle reçoive la même quantité de lumière pour fournir une croissance homogène à la parcelle (Dupraz & Liagre, 2011; Dupraz, 2006).

L'interaction entre les espèces joue un rôle prépondérant dans les systèmes agroforestiers et pour avoir une compétition forte entre les cultures et les plantes, il va falloir que la densité des espèces associées soit élevée. En 2006, le chercheur Christian Dupraz recommande de planter sur une parcelle 100 arbres par hectare et de diminuer ce nombre par moitié dès que l'arbre planté commence à produire de l'ombre. Il justifie cette recommandation par le fait que ces 50 arbres n'ont pas d'effets sur le rendement de la parcelle durant au moins la moitié de la vie des arbres.

Le statut juridique des arbres est l'un des points de blocage des systèmes agroforestiers (Lamanda, 2011). En prenant exemple de la République de Guinée Conakry, les agro-forêts sont la propriété de l'Etat et de ce fait le marché du bois ne profite pas aux agriculteurs.

Sur le plan technique, les informations reçues ou connues sur certains espèces d'arbres et cultures ne sont testées que théoriquement et fournissent des résultats différents que ceux attendus (Buttoud, 1994).

En somme, l'agroforesterie est prometteuse pour le développement de systèmes plus durables mais, c'est un système qui pose des questions qui portent à la fois sur les conditions de leur efficacité et également sur leur conception du fait de leur complexité. Comment se déroulent dans les faits les processus de conception de ces systèmes ?

### **3. DIFFERENTES THEORIES ET METHODES POUR ACCOMPAGNER LE SYSTEME AGROFORESTIER**

#### **3.1 La conception : dans l'ensemble.**

Dans la littérature existante (travaux empiriques et théoriques), deux types de conception sont à distinguer : la conception réglée et la conception innovante.

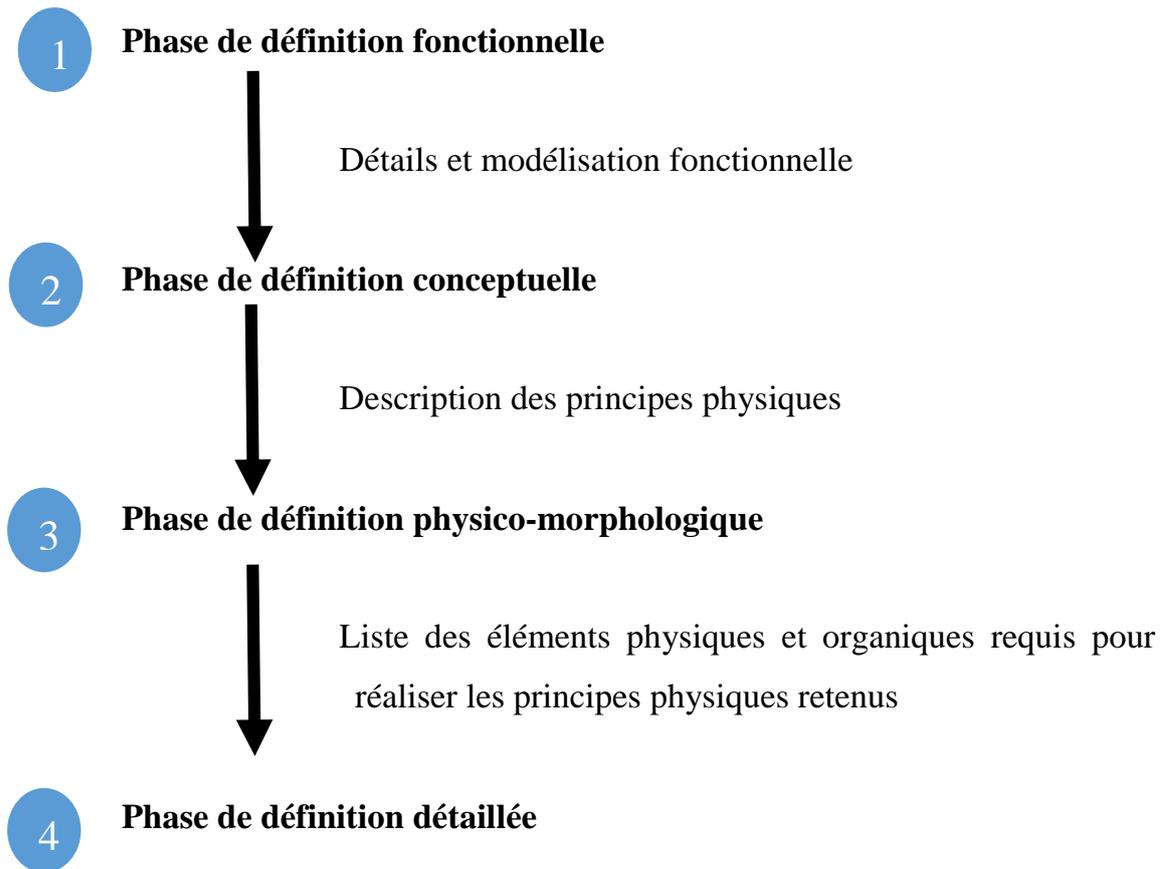
La théorie de la conception réglée est l'ensemble des procédés qui permettent d'améliorer de façon continue un objet, un service pour le rendre plus performant.

La conception réglée s'est construite dans le domaine de l'ingénierie au 19<sup>ème</sup> siècle avec la révolution industrielle qui a suscité l'émergence de nouveaux secteurs et d'une diversité de produits. Pour répondre aux besoins de l'époque, les firmes ont eu

à utiliser un ensemble de techniques pour améliorer de façon continue les produits et également d'augmenter les quantités. La conception réglée se fait à travers des bureaux d'études qui ont été créés pour l'occasion. Ils avaient pour mission de mener des réflexions et de transmettre leurs résultats à travers le schéma des produits et des pièces à produire. Ces bureaux d'études produisent des connaissances liées aux types de fabrication, d'assemblage et de contrôle nécessaires. En 1977 dans leur ouvrage *Konstruktionslehre*, deux professeurs allemands au nom de *Gerhard Palth* et *Wolfgang Beitz* ont synthétisés pour la première fois le processus de conception en 4 phases schématisé à la figure 2 connue sous le nom de la « conception systématique » (Palth & Beitz, 1977):

- Phase de définition fonctionnelle : l'objectif est de détailler les fonctionnalités que doit remplir l'objet, ainsi que la modélisation fonctionnelle du produit ;
- Phase de définition conceptuelle : elle permet de préciser les principes physiques qui doivent être utilisés pour remplir les exigences fonctionnelles de l'étape précédente ;
- Phase de définition physico-morphologique : Cette phase sert à préciser les éléments physiques et organiques qui sont requis pour réaliser les principes physiques retenus ;
- Phase de définition détaillée : l'objet est décrit le plus simplement possible ainsi que les interactions entre les pièces et leur mode de production.

**Figure 2 : Méthode de conception systématique.**



**Source :** (Palth & Beitz, 1977)

Les approches de conception réglées sont propices à un espace conceptuel stable où le modèle d'objet est constant. Les produits sont développés mais seulement sur un ou deux paramètres parmi tant d'autres. C'est l'une des principales limites à la conception réglée dans un monde où l'innovation devenait de plus en plus intense créant une rupture dans l'identité de l'objet mis en étude. C'est ainsi que pour remédier à cette situation de nouvelle méthode de conception voient le jour : **il s'agit de la conception innovante.**

La conception innovante s'opère sur une proposition qui ne peut être ni démontrée ni réfutée. Née dans les années 1990 dans un programme de recherche à Mines ParisTech, elle a pour fondement **la théorie C-K** (ou concept-knowledge theory) (Agogué, et al., 2013). Cette théorie est un outil d'innovation à fort impact qui permet de créer des objets ayant une rupture forte avec l'existant. Elle réunit deux mondes que sont le monde de la créativité (Concept space) et le monde de la connaissance

(Knowledge space). L'espace de concepts est celui dans lequel l'idée d'innovation est mûrie ; une idée qui est en rupture avec ce qui se fait habituellement. Une fois les idées établies, l'espace K sert de pont entre ce qui est prévu et comment le réaliser. Cette théorie fait appel à des domaines sans rapport direct avec l'objet de départ.

La conception innovante a deux hypothèses fondamentales que sont :

- H1 : le produit à concevoir ne peut pas être prédéfini au départ de la conception
- H2 : Les connaissances nécessaires au travail de conception ne sont toutes disponibles au départ de la conception.

### 3.2 La conception de systèmes agricoles

Dans le domaine agricole, la conception de système de culture en soit est une discipline « qui favorise pour le mieux la prise en compte de la complexité des systèmes de cultures et de leurs interactions avec l'environnement et permet de proposer de nouveaux systèmes adaptés à ces défis » (Chieze, et al., 2021).

En se basant sur les travaux de (Salembier, 2019; Jeuffroy, et al., 2021), on distingue 4 types d'approches de conception de systèmes agricoles qui ont existé dans le temps. La figure 3 ordonne ces approches chronologiquement

*Figure 3 : Les différents régimes de conception dans le temps.*

Régime 1 -1750's	Régime 2 -1850's	Régime 3 -1950's	Régime 4 -1970's	Régime 5 -2000's
L'agronomie émerge comme discipline	La chimie comme discipline scientifique	Accroissement des connaissances analytiques	Enjeux environnementaux et diversité des pratiques en ferme	Agroécologie
Générer des principes d'actions en s'appuyant sur des pratiques d'agriculteurs	Générer des règles d'application d'une technique, au risque de la chimie	Générer des règles d'optimisation d'une technique, au prisme de plusieurs disciplines connexes à l'agronomie	Générer des combinaisons de techniques, au travers d'approches systémiques	Générer des prescriptions pour stimuler la conception de systèmes techniques par les agriculteurs
L'agriculteur expérimenté	L'agriculteur applicateur	L'agriculteur optimisateur	L'agriculteur décideur	L'agriculteur concepteur
Approche holistique	Approche analytique : gérer chaque facteur limitant au champ à l'aide d'un intrant agricole		Approches systémiques : interactions entre techniques dans différentes situations	Théories des systèmes adaptatifs
Expérimentation dans leurs domaines	Expérimentation en station + Outils analytiques		Expérimentation système	Expérimentation systèmes participatives, ateliers de conception

Source : (Jeuffroy, et al., 2021).

La première approche dite une approche stylistique a commencé dans les années 1750. Elle est caractérisée par les agriculteurs qui sont considérés comme des expérimentés qui font des expérimentations dans leur domaine à une ère où l'agronomie émerge comme discipline.

Dans la deuxième approche qui est une approche analytique, les agriculteurs font les expérimentations en station avec les outils analytiques. Elle a marqué deux époques. La première commencée dans les années 1850 est une époque où l'agriculteur est considéré comme un applicateur qui génère des règles d'application d'une technique au prisme de la chimie. La deuxième époque a commencé dans les années 1950. A cette époque, l'agriculteur est un optimiseur qui génère des règles d'optimisation d'une technique, au prisme de plusieurs disciplines connexes à l'agronomie.

L'approche systémique est la troisième approche débutée dans les années 1970 où les agriculteurs sont des décideurs. A travers des expérimentations de système, les agriculteurs génèrent des combinaisons de techniques, au travers d'approches systémiques.

La dernière approche, celle qui a commencé dès les années 2000 est caractérisée par les théories des systèmes adaptatifs dans laquelle l'agriculteur est considéré comme étant un concepteur. Dans cette approche, l'agriculteur génère des prescriptions pour stimuler la conception des systèmes techniques.

L'activité de conception des systèmes agricoles est une activité pluridisciplinaire qui prend en compte la participation de plusieurs acteurs qui associent les objectifs attendus aux contraintes liées au contexte de production qui sont d'ordre socio-économique, pédoclimatique et juridique (Lamanda, 2011).

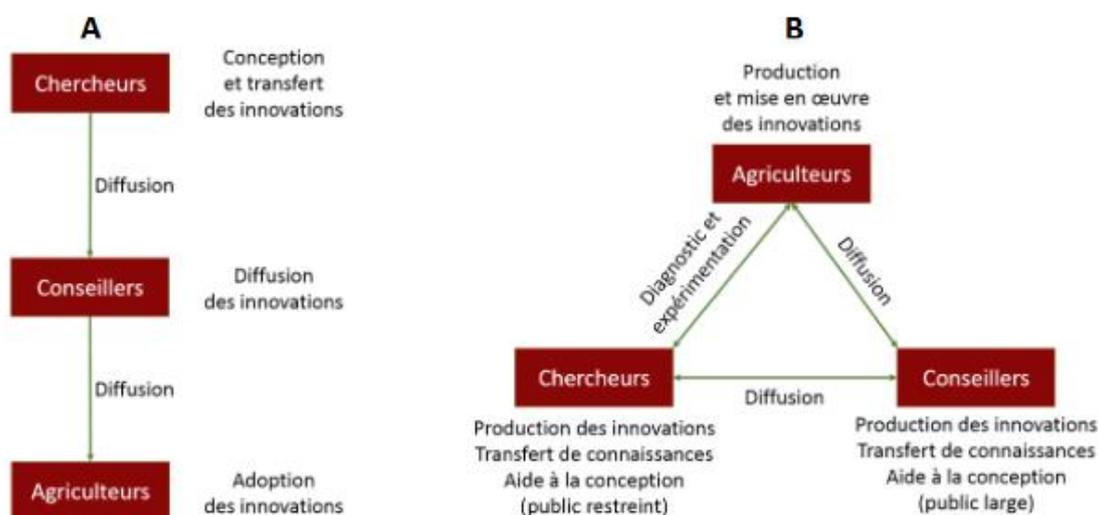
Pour les systèmes agricoles, Notaro (2019) identifie deux types de conception représenté à la figure 4 que sont la conception linéaire et la conception dite interactive ou participative.

La conception linéaire, rattachée à « la conception réglée » précédemment détaillée, est une conception au cours de laquelle les chercheurs conçoivent et transfèrent des innovations vers les conseillers qui, à leur tour, diffusent ces innovations vers les

agriculteurs qui les adoptent. Elle est apparue dans une période d'accroissement des connaissances analytiques. Au cours de cette conception, les agriculteurs ne sont pas associés au processus malgré leur savoir-faire qui est important à prendre en compte dans le processus de conception (Cerdán et al., 2012 ; Cristofari et al., 2018).

La conception interactive et participative est une conception innovante. Au cours de cette conception, tous les acteurs (les conseillers, chercheurs, agriculteurs etc) travaillent collectivement tout au long du processus (Castel, et al., 2020).

**Figure 4 : Deux modes de conception d'innovation et de leur diffusion en agriculture, l'une 'conventionnelle/ ordinaire' (A), l'autre plus 'collective/ participative' (B)**

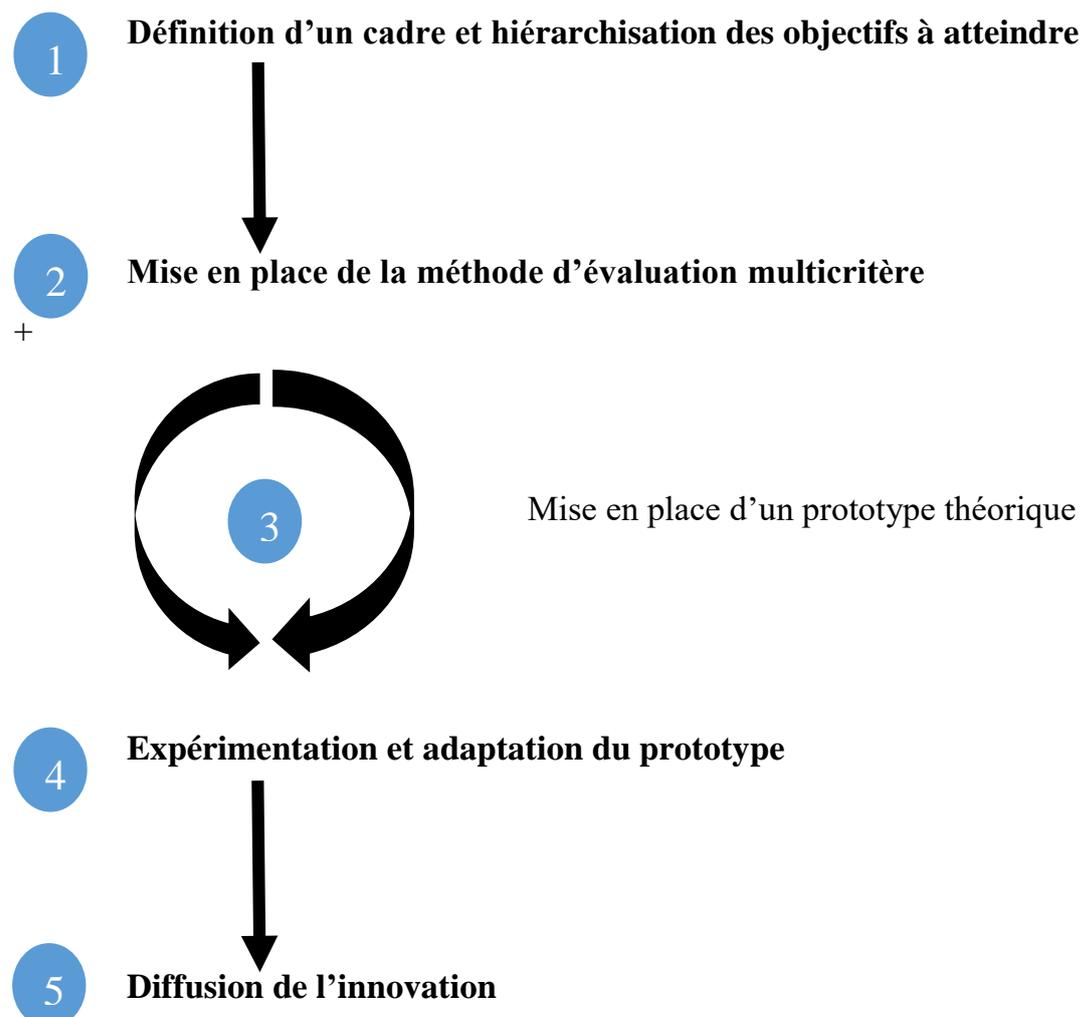


Source : (Notaro, 2019)

L'approche de conception participative a été formalisée par Vereijken (1998) et permet de concevoir des systèmes de culture, de les expérimenter, d'apporter des améliorations et de les diffuser. Cette approche permet non seulement d'arriver à un consensus avec la légitimité permise par la participation mais offre la possibilité aux acteurs d'apporter des changements à leur choix quand le contexte change. C'est un moyen efficace qui sert en même temps d'apprentissage (Rauschmayer et Henrichs, 2006). Dans ces travaux de conception de systèmes de culture, Vereijken (1998) recommande cinq grandes étapes schématisé à la figure 5:

- (1) une hiérarchisation des objectifs à atteindre par différents acteurs séparément (ONG, agriculteurs, techniciens, chercheurs),
- (2) une traduction de ces objectifs en indicateurs quantifiables pour établir la méthode d'évaluation multi-objectifs,
- (3) une conception d'un prototype théorique rassemblant des pratiques agricoles jugées pertinentes pour atteindre les objectifs,
- (4) l'expérimentation en parcelles et adaptations éventuelles jusqu'à ce que le prototype soit conforme aux objectifs quantifiés souhaités,
- (5) la dissémination à grande échelle des prototypes via le développement agricole.

**Figure 5 : Méthode de conception de novo d'un système de culture.**



**Source :** Vereijken, 1998 ; Doré et al., 2006 ; Lancon et al., 2007.

Avant toute chose, rappelons que tous projets de conception doivent être précédé d'une phase de diagnostics (**Vereijken 1998** ; Depommier, 1985) ; Rossa, et al., 2022 ; Meynard & coll., 2001).

L'approche de Vereijken ressemble à la conception « step by step » (conception « pas à pas ») qui se réalise en boucle et permet de faire une transition graduelle vers des systèmes de cultures innovants (Castel, et al., 2020; Lançon, et al., 2007; Husson, et al., 2015; Vall, et al., 2016). La conception « **Pas à pas** » a évolué au cours du temps avec l'arrivée d'autres acteurs dans le processus de conception permettant ainsi de faire usage d'un nouveau mode de conception qui aboutit à des systèmes de culture innovants.

La conception participative de systèmes agricole s'est vue accélérée par des méthodes de conception dites la conception « **de novo** ». La conception « de novo » permet de concevoir des systèmes de culture qui sont en rupture forte avec l'existant, il s'agit d'une innovation intensive (Méynard, et al., 2012).

Ces différentes théories du processus de conception sont appliquées depuis des années dans la conception des systèmes agroforestiers dans des ateliers.

### **3.3 Les processus de conception des systèmes agroforestiers**

Dans le cadre des systèmes agroforestiers, une démarche d'innovation basée sur l'intelligence collective est plus appréciée. C'est ce que Chieze, et al., (2021) appellent la co-conception.

La co-conception « est une démarche d'innovation consistant à impliquer l'utilisateur, le consommateur ou l'usager avec d'autres acteurs dans le processus de développement de nouveaux produits, services ou systèmes. » (Chieze, et al., 2021). Cette méthode est utilisée dans des ateliers où prennent part plusieurs acteurs. Cela permet de prendre en compte diverses perceptions venant des acteurs et d'explorer de nouvelles connaissances.

En parlant d'acteurs, l'on retrouve à ses ateliers de co-conception l'agriculteur et ses autres agriculteurs, un facilitateur de l'atelier, des techniciens conseillers et/ou des experts thématiques. (Reau, et al., 2018). Vigan (2018); Castel, et al (2020) vont plus

loin en détaillant ses acteurs. Ainsi, on a les forestiers (qui sensibilisent sur la préservation, la plantation et la valorisation des espèces à utiliser), des structures agricoles et environnementales (contribuent au développement durable du territoire grâce à leurs connaissances sur les arbres), des agriculteurs et agro forestiers (dont l'objectif est de promouvoir l'arbre pour la sauvegarde et la restauration du paysage), des habitants et des élus (informent sur les intérêts et agissent en faveur de la haie, de l'arbre hors forêt et de l'agroforesterie), les chambres d'agriculture, les fédérations de chasseurs, les départements, les associations, les acteurs institutionnels, les agronomes, et privés qui ont chacun un rôle bien défini.

La co-conception qui est mise en œuvre par des scientifiques, des animateurs de réseaux et les conseillers-techniciens agricole permet de mettre en place des prototypes réalistes, de construire un réseau d'entraide afin de s'organiser à l'échelle d'un territoire (Chieze, et al., 2021).

Tout comme dans les autres domaines agricoles, la conception de systèmes agroforestiers est faite suivant les deux méthodes de conception que sont la méthode dite « pas à pas » et la méthode « de novo » précédemment détaillées (Chieze, et al., 2021).

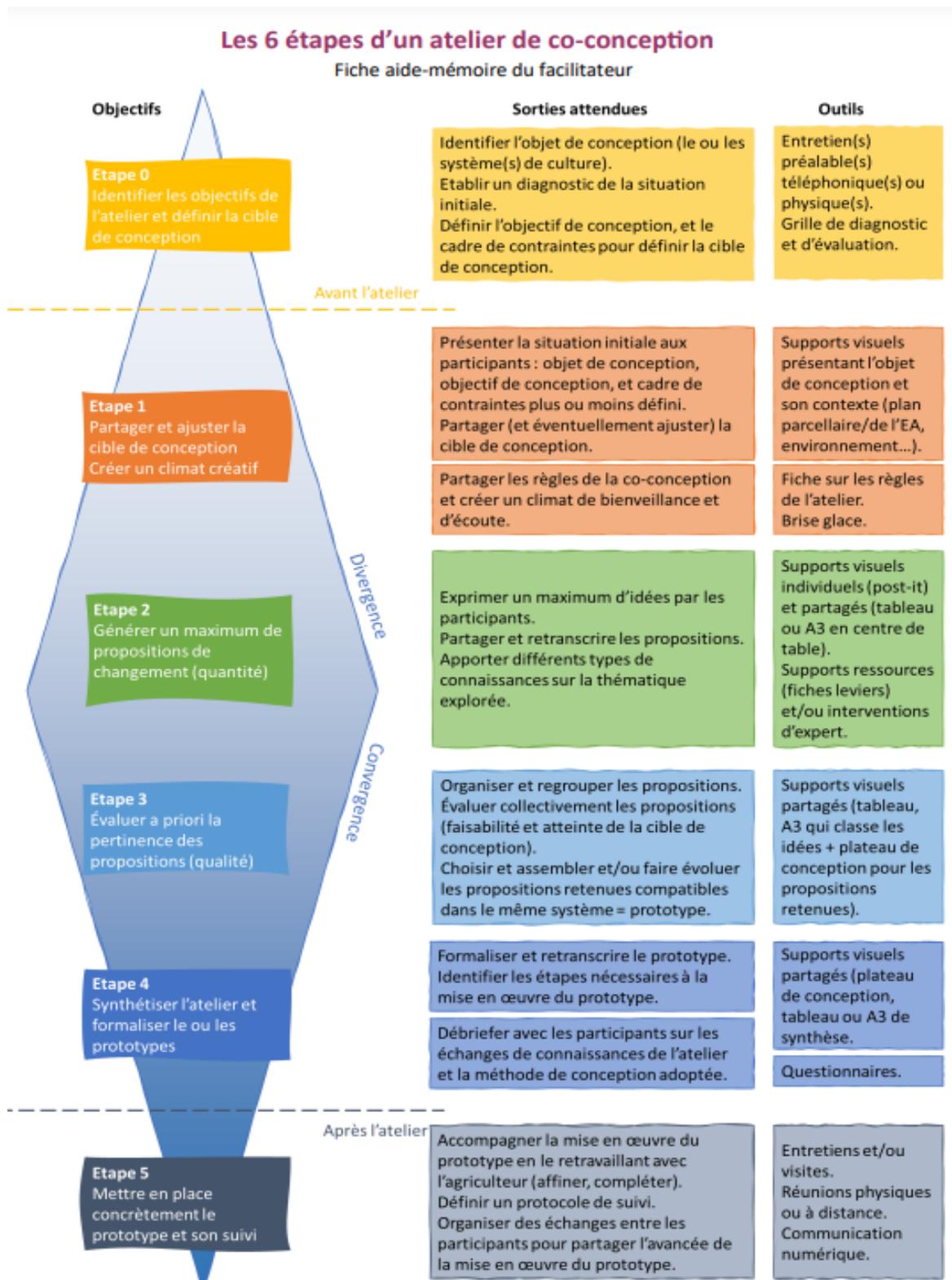
Dans le guide de co-conception présenté par Chieze, et al (2021), les auteurs proposent des méthodes d'ateliers de co-conception qui s'inspirent de la conception pas à pas et de la conception de novo. La méthode « de novo » appliquée dans ce cadre est composée de 3 phases de 6 étapes (Della Rossa, et al., 2022) visible à la figure 6.

La première phase est celle d'avant atelier. Il s'agit d'identifier les objectifs de l'atelier, d'identifier les objectifs de l'atelier et de définir la cible de conception.

La deuxième phase est celle durant l'atelier. Cette phase est composée de 4 étapes. La première étape consiste à créer un climat créatif afin de partager et ajuster la cible de conception. La deuxième étape est celle où l'on génère un maximum de propositions de changement. La troisième étape permet d'évaluer a priori la pertinence des propositions. La quatrième étape de cette phase permet de synthétiser l'atelier et formaliser le ou les prototypes.

La troisième phase est celle de l'après atelier. Elle consiste à mettre en place le prototype et son suivi.

Figure 6: Les 6 étapes d'un atelier de co-conception



Source : (Chieze, et al., 2021)

Durant ces processus de conception, différents supports sont utilisés pour faciliter les échanges et la compréhension entre les acteurs. Comme supports, on peut citer les matériels bureautiques comme le papier, des stylos, des crayons, des post-its, de la règle, des ciseaux, des piquets etc. Ces supports mettent l'accent à la fois sur l'aspect temporel et l'aspect spatial de la parcelle. L'aspect temporel permet de prendre en compte les interactions qui se créent entre les arbres et les cultures en fonction de la croissance de l'arbre et l'aspect spatial aborde la notion d'hétérogénéité de la parcelle due à la présence des arbres.

#### **4 LES OUTILS NUMERIQUES DANS LES TRANSITIONS AGRO-ÉCOLOGIQUES : UN RÔLE AMBIGU ET PEU ÉTUDIÉ DANS LES PROCESSUS DE CONCEPTION EN AGROFORESTERIE**

De nombreux travaux s'intéressent actuellement à mieux comprendre le rôle du numérique dans la transition agro-écologique.

Il existe une réelle convergence entre le numérique et l'agroécologie (Bellon Maurel et Huyghe, 2016 ; Biradar et al., 2019 ; Caquet et al 2020 ; Grieve et al., 2019 ; Klerkx et Rose, 2020 ; Wegener et al, 2017 cité par Bellon Maurel, et al., (2022). Dans la transition agro-écologique, les outils numériques sont de véritables outils d'aide à la décision optimisant les intrants, facilitant l'échange de savoir-faire mais également des outils de communication qui favorisent le rapprochement des producteurs agricoles et des consommateurs (Bellon-Maurel & Huyghe, 2016). Considéré comme une « technologie habilitante », Bellon Maurel, et al., (2022) évoque quatre niveaux en lien avec les agriculteurs où le numérique augmente les capacités de réponse :

- Meilleure production en créant des connaissances pour l'accompagnement de la transition vers l'agroécologie tout en s'adaptant aux changements dont le changement climatique. Pour se faire, le numérique aide dans la représentation des systèmes complexes de l'agroécologie, dans la collecte de données en masse sur les nouveaux agroécosystèmes et dans la modélisation à base de données ;
- Meilleure production en assistant l'agriculteur dans la conduite de l'exploitation. Pour se faire, le numérique aide, à adapter les principes de l'agriculture de

précision à l'agroécologie (observer et décider), à la prise de décision dans la conduite de l'exploitation agro-écologique et à co-construire des agroéquipements et agrosystèmes novateurs ;

- Meilleure implantation dans les chaînes de valeur et les écosystèmes territoriaux. A ce niveau, le numérique renouvelle les services à l'agriculture à travers du conseil (Labarthe, 2009 ; Fielke et al 2019 ; Dhiab et al., 2020) qui permet aux acteurs de ces systèmes d'avoir des interactions, de meilleure assurance lors des réclamations de perte de récolte ou de rendement soit les assurances « indicielles » (De Leeuw et al., 2014). Le numérique dans cette catégorie facilite aussi le renouvellement des chaînes de valeur en association plus les marchés de biens et services et permet de gérer les ressources à l'échelle du territoire. Le numérique joue un rôle prépondérant dans la chaîne de valeur ce qui permet d'améliorer la production et d'accroître le capital informationnel et social (Jeanneaux, 2018; Bellon-Maurel & Piot-Lepetit, 2021) ;
- Mieux accompagner la transition agro écologique à travers le partage de données, d'information et de connaissances. L'accompagnement ici doit prendre en compte l'approche agro écologique pour qui « l'apprentissage individuel et collectif, source d'innovation » (Bellon-Maurel & Piot-Lepetit, 2021). Le numérique est un véritable atout pour le partage des connaissances qui encourage l'approche participative. Grâce aux outils numériques de collecte de données, les agriculteurs sont devenus des producteurs de données sur le territoire.

### **Les outils numériques utilisés dans la conception de systèmes agroforestiers**

Dans l'accompagnement du processus de conception de systèmes agroforestiers, un certain nombre d'outils numériques sont utilisés. Parmi ses outils, bon nombre sont basés sur la modélisation. Parmi ces outils numériques, on peut citer :

Premièrement, l'outil DEXi-AF. C'est un outil d'évaluation ex-ante des systèmes agroforestiers sur la base des données qualitatives. Il a été développé lors du projet VERTICAL qui s'est tenu sur la période 2013 à 2018 et avait pour étude la diversité

spatiale et temporelle des systèmes arboricoles permettant de réduire l'usage des pesticides (Castel, et al., 2020). C'est un outil qui traite l'intégralité de nombreux aspects surtout environnementaux. Cependant, c'est un outil qui a une structure déséquilibrée et qui présente des limites.

Le déséquilibre lié à l'outil DEXi-AF s'observe au niveau des branches sociales et économiques qui représentent 1/3 du modèle d'une part et les branches agronomiques, environnementale d'autres part. Parlant de ces limites, quatre principales sont évoquées en 2018 par Augis (2018)

Dans un premier temps, on note la difficulté de renseigner les critères de « l'intensité de l'irrigation » ou « l'efficacité de l'eau (d'irrigation) » lors de l'utilisation du modèle.

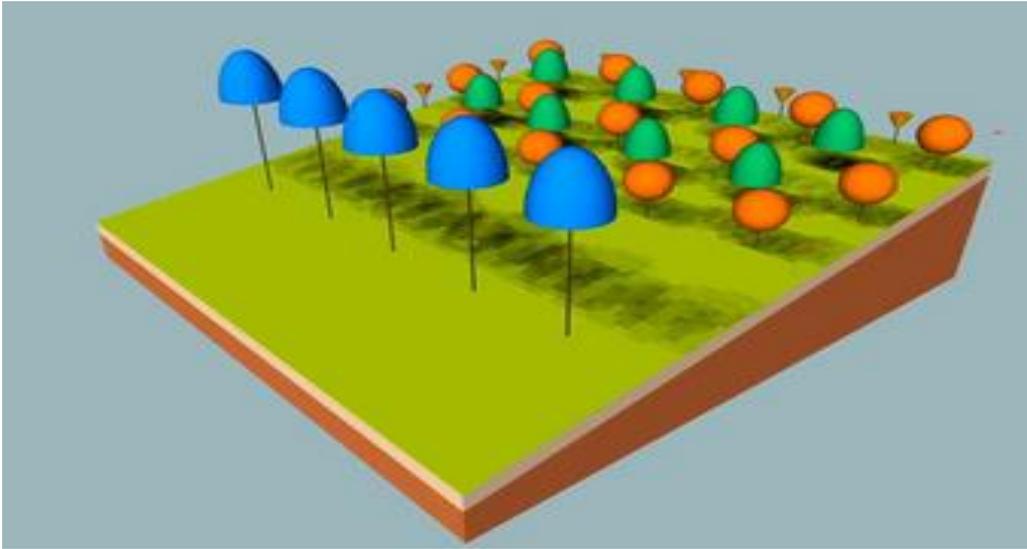
Deuxièmement, l'aspect spatial et temporel de système agroforestier n'est pas pris en compte.

Troisièmement, on note la non adaptation des modalités qui pour la plupart du temps ont une classification « faible – moyen – fort » face aux critères.

La quatrième et la dernière limite porte sur l'arbre de décision qui a une structure déséquilibrée.

Le deuxième outil est le ShadeMotion (Somarriba, et al., 2020). ShadeMotion est un simulateur d'ombrage d'arbre. Il calcule le nombre d'heure d'ombre sur chaque point d'une parcelle en raison de la présence d'arbre. Pour se faire, l'outil se base sur trois éléments à savoir les arbres, la parcelle et le mouvement.

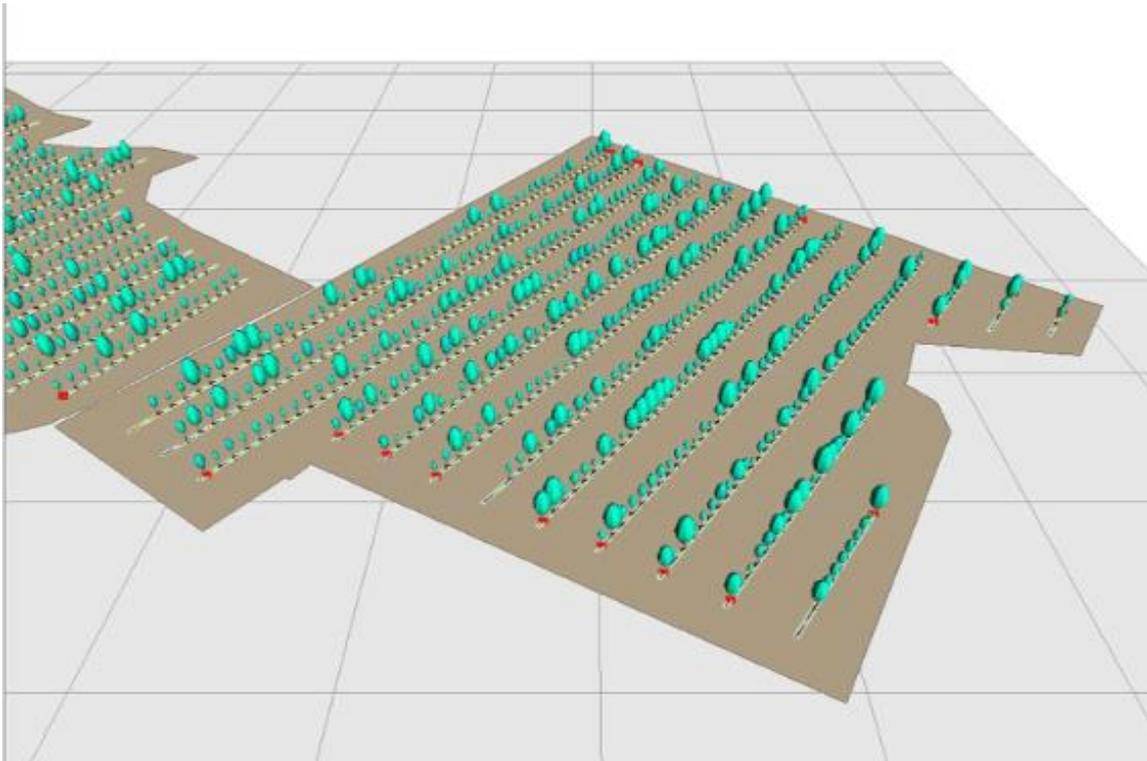
**Figure 7: *ShadeMotion* : Outil d'analyse des configurations d'ombrage**



**Source :** (Somarriba, et al., 2021)

Troisièmement, on a l'outil EcoAF. Décomposé en « Eco » pour économie et « AF » pour agroforesterie, EcoAF est un outil qui simule les parcelles agroforestières et de les visualiser en 3D. En cours de son élaboration, l'outil EcoAf est un outil qui sert à dessiner les futures parcelles agroforestières. Il permet aussi de faire des simulations économiques comme des temps de travaux, la production forestière, les impacts des arbres sur les cultures et donc les interactions économiques.

*Figure 8 : Visualisation 2D et 3D par F Salé via CAPSIS-EcoAF d'un pré-projet*



**Source :** (Vallée, 2022)

## **5. PROBLEMATIQUE**

L'un des enjeux de la transition agroécologique est d'identifier dans quelle mesure et comment les outils du numérique peuvent aider à accompagner la complexité de cette transition. En 2020, est lancé un projet qui a pour objectif de développer des outils numériques basés sur la visualisation afin de répondre aux besoins des agroforestiers. Une hypothèse à l'origine du projet dans lequel s'inscrit mon travail est que les outils du numérique, et notamment des outils de visualisation des systèmes peuvent aider à la conception de systèmes agroforestiers.

Dès lors, l'objectif de mon travail est de déterminer la place qu'occupent les outils numériques dans les processus de conception des systèmes agroforestiers en France.

## **CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE**

Dans ce chapitre, il sera question de présenter la méthodologie de recherche utilisée pour répondre à notre question principale de recherche. Notre étude porte sur les pratiques pour aider à la conception des systèmes agroforestiers en France. Pour se faire, une étude exploratoire basée sur une démarche méthodologique qui relève des sciences sociales et des sciences de gestion, nous permettra d'atteindre nos objectifs spécifiques formulés en amont. Pour parler de notre démarche méthodologique, nous aborderons dans un premier temps, la méthode de collecte de données qui a été utilisée avant d'aborder la méthode qui nous a servi de traitement et d'analyse des données recueillis.

### **1. COLLECTE DE DONNEES**

#### **1.1 Choix de collecte de données**

Le recours à une méthode de collecte de données qualitatives ou quantitatives dépend de la question de recherche.

Pour cette étude, dans le but de recueillir des données verbales sur les pratiques des concepteurs dans la conception des systèmes agroforestiers, la méthode de collecte de données qualitatives est la plus adaptée car elle permet d'explorer les émotions, les sentiments, les comportements et les expériences personnelles des enquêtés. Il existe différentes méthodes de collecte de données qualitatives comme l'observation, les focus group, les entretiens directs, semi-directifs et les entretiens non-directifs. Afin d'atteindre l'objectif principal de notre étude, les entretiens semi-directifs ont été choisis vu qu'ils sont les plus appropriés pour les études qualitatives et exploratoires (Aubin-Auger, et al., 2008 ; Thiétart, 2007).

Appelé encore « entretien approfondi », l'entretien semi-directif nous a servi à repérer d'autres questions pertinentes afin d'établir avec plus de précision sur l'objet de notre étude.

La plus-value de cette méthode est de permettre une analyse qualitative détaillée d'une diversité de pratiques, et non une analyse statistique qui ne serait pas adaptée à une recherche exploratoire.

## **1.2. Sélection de l'échantillon de l'étude**

Notre zone d'étude porte sur la France et la population qui nous a servi d'enquêtée est composée d'acteurs qui offrent des services de conseils en agroforesterie auprès des exploitants. Le choix de nos enquêtés est fait à partir du carnet d'adresse, de la recherche documentaire, l'Association Française d'Agroforesterie, Chambres d'Agriculture et aussi des contacts fournis par les enquêtés eux-mêmes.

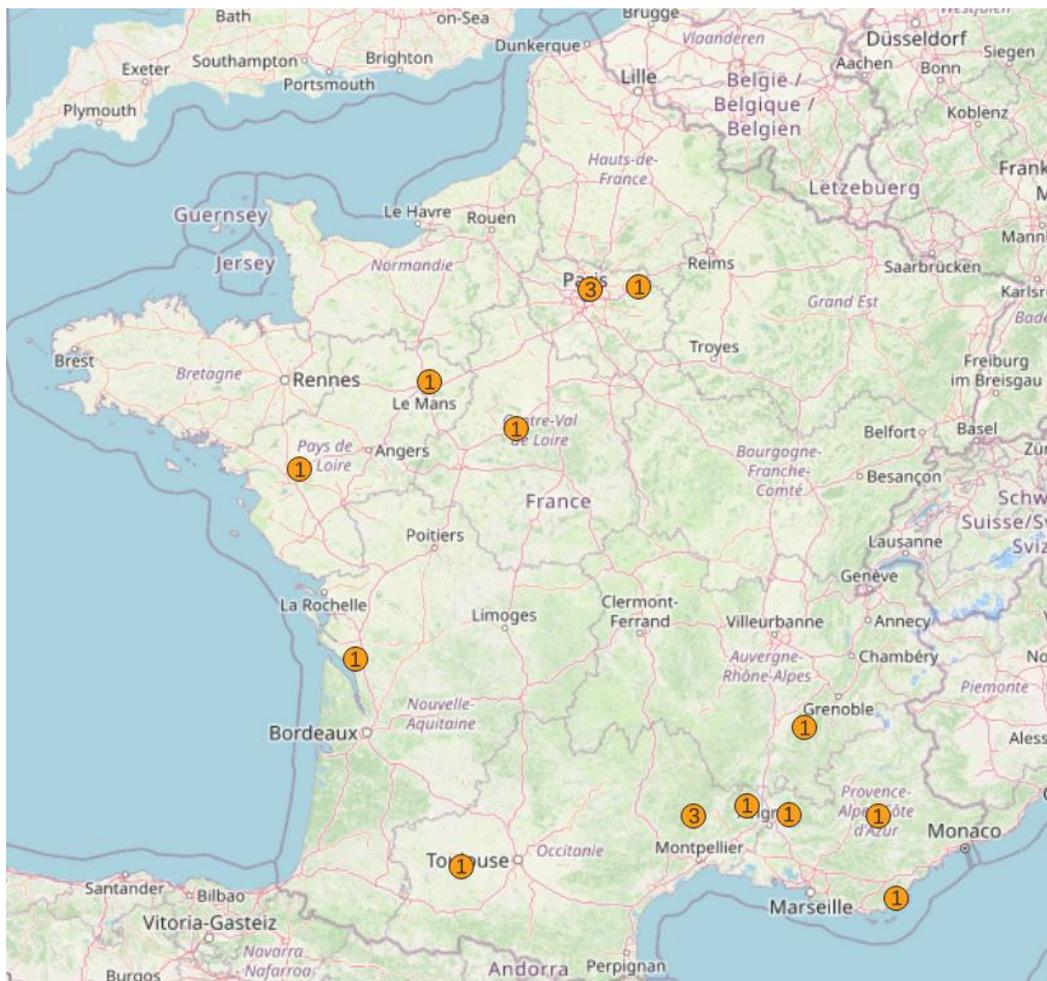
Nos premiers enquêtés ont été choisis grâce à leur précédente collaboration avec notre structure d'accueil dans le cadre de mon stage (UMR ABSYS). Deuxièmement, on s'est servi de la liste des structures exerçant dans l'agroforesterie qui est disponible dans les documents politiques et rapports d'activités de l'Association Française d'Agroforesterie, les chambres d'agriculture. A partir de ces deux groupes d'enquêtés, on a élargi notre base avec les contacts qu'ils ont accepté de nous fournir à leur tour.

**Tableau 1: Tableau récapitulatif des entretiens réalisés.**

	Coopérative/ Organisme d'appartenance de l'enquête	Département	Nombre d'enquête
1	Arbres et paysage 32	Gers	1
2	INRAE, Department of Science for Action and Development		1
3	ONF (Office Nationale de Forêt)	Guadeloupe	1
4	ADAF (Association Drômoise d'agroforesterie)	Drôme	1
5	Chambre d'agriculture Charente-Maritime	Charente-Maritime	1
6	Chambre d'agriculture Pays de Loire	Loire-Atlantique	1
7	BV Environnement	Marne	1
8	Envol vert	Herault	3
9	Agroof	Gard	1
10	Sylvaloir Forêt et Paysage	Sarthe	1
11	PurProjet	Paris	1
12	Chambre d'Agriculture de Loir-et-Cher	Loir-et-cher	1
13	AFAC-Agroforesterie	Paris	2
14	Parc naturel régional du Verdon	Alpes-de-Haute-Provence	1
15	Bio de provence-Alpes-côte d'Azur	Alpes-maritimes ; Var, Bouche-du-Rhône	1
16	GRAB d'Avignon	Vaucluse	1

**Source : De l'auteur**

**Tableau 2: Carte de répartition géographique des enquêtes**



**Source : De l'auteur**

### **1.3 Phase de collecte des données**

Les données ont été recueillies à travers les entretiens semi-directifs auprès des acteurs qui prennent part au processus de conception de systèmes agroforestiers.

Pour effectuer nos entretiens, nous nous sommes donné pour tâche d'établir un guide d'entretien avec des questions ouvertes. Notre guide d'entretien est subdivisé en deux grandes parties. Une première partie qui consiste à collecter les informations sur le processus de conception de systèmes agroforestiers afin de comprendre la manière dont se fait la conception actuellement sur le territoire. La deuxième phase consiste à explorer les voies d'amélioration du processus.

**Tableau 3: Tableau récapitulatif de thématiques abordées dans le guide d'entretien**

<b>Thématiques</b>	<b>Informations recherchées</b>
Informations globales sur l'enquêté	Catégorie socio-professionnelle, cursus,
Etat de l'art des pratiques actuelles	Profils des acteurs qui sollicitent nos enquêtés, mode d'intervention, type d'aide pour lequel les enquêtés sont sollicités, les différentes catégories de systèmes agroforestiers mises en pratique en France, les motivations de mise en place de systèmes agroforestiers, format sous lequel sont menés les activités de conception, les acteurs qui prennent part au processus de conception, les différentes étapes de la conception de systèmes agroforestiers, les difficultés existantes dans les méthodes de conception et les voies d'amélioration
Usage des outils numériques dans la conception de systèmes agroforestiers	Les outils numériques et supports utilisés lors du processus de conception
Enjeux et perspectives liés à la réalité augmentée	Perception de la réalité augmentée, enjeux

**Source : De l'auteur**

Une fois le guide établi, nous avons démarré la phase de collecte de données.

35 individus de notre échantillon ont été sollicités et sur ces 35 individus, seulement 19 ont pu répondre à notre questionnaire. Cette abstention est due au fait que 12 individus de ceux qui n'ont pas pu participer à l'entretien n'ont pas donné de suite à nos invitations par mail et par appel. Tous les entretiens ont été réalisés en visioconférence en raison des contraintes de temps des enquêtés et de leur situation géographique.

En moyenne, les entretiens ont duré 57 min 11s 05' avec pour une durée minimale de 30min 27s contre une durée maximale 1h 40min 52s. Afin de gagner en temps lors des entretiens et surtout éviter de déformer les propos de nos enquêtés lors de la retranscription, 18 de nos enquêtes ont été enregistrés avec l'accord de ses derniers sous présentation du RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données).

Le fait que les entretiens soient réalisés par visioconférence et enregistrés pourrait avoir un impact sur les informations recueillies auprès de nos enquêtés.

## **2. TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES**

### **2.1 Dépouillement et retranscription des entretiens**

A la suite des entretiens effectués auprès de nos enquêtés, nous nous sommes donné la tâche de retranscrire entièrement les enregistrements obtenus avec l'accord des enquêtés. La retranscription a été faite mots par mots afin de pouvoir être plus minutieux dans l'analyse. La prochaine étape fut le codage du discours suivi de l'analyse.

### **2.2 Codage du discours et analyse qualitative des données**

Le codage du discours a été effectué avec le logiciel Excel. Chaque idée abordée par l'enquêté a été associée à une thématique de notre guide d'entretien sans perdre de vue l'objectif de notre étude.

## **CHAPITRE 3 : RESULTATS**

### **1. MISE EN PLACE DE SYSTEMES AGROFORESTIERS EN FRANCE : QUI ET POUR QUEL BUT ?**

#### **1.1 Les profils des enquêtés**

Les résultats obtenus suite à notre enquête révèlent que les conseillers de systèmes agroforestiers peuvent être classés suivant sept profils. Une majorité parmi eux font du conseil, du suivi, de l'accompagnement et de l'appui technique. Certains jouent le rôle d'intermédiaire entre l'agriculteur (le producteur) et l'acheteur (consommateur) alors que d'autres sont dans la sensibilisation et la formation autour des pratiques agroforestières. La dernière catégorie est celle des chercheurs où une partie font de la recherche uniquement et d'autres mettent en place des travaux de recherche appliquée et des expérimentations.

#### **1.2 Les acteurs auprès de qui interviennent les enquêtés**

Dans la prestation de leurs services, nos enquêtés interviennent auprès de plusieurs acteurs. Le premier et principal type d'acteurs regroupe les producteurs.

Un second type d'acteur regroupe des structures publiques comme des coopératives agricoles, des négoce agricoles, des associations du monde de l'agroforesterie, des conseillers agroforestiers (dans le cas où l'enquêteur est un conseiller et formateur), des techniciens de développement, la chambre régionale de l'agriculture, la fédération des chasseurs, les élus, le Parc Naturel Régional et les collectivités territoriales (les communes, les échelons intercommunautaires).

Un troisième type d'acteur est celui des structures privées qui sont soit des groupements agricoles, des coopératives agricoles, les groupes d'agriculteurs biologiques, les bureaux d'études privés, les grandes entreprises comme celles de l'agroalimentaire, celles du cosmétique et celles du secteur de l'industrie.

Le quatrième type d'acteur correspond aux écoles et aux lycées agricoles dans lesquels sont formés « les jeunes [...], les adultes en formation ». Enfin, dans le dernier groupe, on retrouve des « néo ruraux » c'est-à-dire des personnes qui ne

viennent pas du tout du milieu de l'agriculture mais qui sont intéressés par l'agroforesterie sans oublier les bailleurs qui financent les projets.

### **1.3 Pour quel type d'aides nos enquêtés sont sollicités ?**

Aussi nombreux que sont ces acteurs qui sollicitent l'intervention de nos enquêtés, les aides attendus aussi sont nombreuses. Les enquêtés sont sollicités pour trois grands besoins à savoir le **conseil, la formation** et le **financement**.

Les premières missions sont de l'aide à la conception de projet. L'idée est de dimensionner le projet, vérifier les objectifs, valider avec les gens qui ont déjà mis en place ces projets ou qui souhaitent le faire à chaque étape. Souvent, les acteurs souhaitent que les conseillers fassent les diagnostics de leurs parcelles, leurs fournir la liste des essences, les conseiller sur la disposition de ces essences, les itinéraires techniques adaptées, les fournitures, les paillages, les protections, les végétaux ajoutés à la préparation du sol et la plantation. En parlant du conseil, le porteur de projet qui veut mettre en place les systèmes agroforestiers souhaite que le conseiller ou technicien agroforestier fasse le montage de projet, une étude de faisabilité, de préconisation, de proposition d'aménagement et d'estimation du coût de réalisation. La recherche de l'information technique, le fait de savoir comment on procède, savoir si les résultats sont significatifs, avoir les notions sur le matériel qui est utilisé et les référents c'est-à-dire les informations sur l'existant dans leurs filières qu'ils peuvent consulter sont aussi les sujets qu'attendent les porteurs de projet. Également, ils souhaitent avoir les informations qui portent sur la **réglementation** liée à la présence des arbres sur le territoire, que ça soit **les réglementations agricoles, environnementales ou les réglementations liées à l'urbanisme**. Les agriculteurs sont à la recherche de « **compétences** » en termes de conception de projet et d'entretien des arbres. Comme l'a souligné un enquêté, « Ils viennent avec la connaissance du bénéfice [...] et ils recherchent par contre la compétence pour le choix des espèces, sur les systèmes à mettre en place, le nombre d'arbres à planter, comment les planter et l'entretenir [...] ». L'une des raisons fondamentales pour lesquelles les porteurs de projets agroforestiers sollicitent les conseillers est aussi le financement. Il y a principalement le plan de relance grâce auquel le temps de travail

des conseillers est financé de même que les investissements des agriculteurs qui sont financés à travers des enveloppes d'investissement. Certaines structures auxquelles appartiennent les conseillers se sont positionnées en tant que structures accompagnatrices et animatrices du plan de relance une des raisons pour lesquelles elles sont beaucoup sollicitées. Il y a aussi le LIGER BOCAGE qui permet de bénéficier d'une aide forfaitaire pour la plantation de haies et de l'agroforesterie intra parcellaire sans oublier également les plans de gestion du bocage qui sont financés, « l'association nationale des enfants et les arbres » qui financent l'animation et puis aussi une partie du coût de plantation des projets de l'agriculteur. Certains agriculteurs font appel aux structures de recherche pour qu'ils puissent mettre en place des expérimentations chez eux afin de répondre aux problématiques et questions qui se posent. L'expérimentation est mise en place et les résultats collectés sont diffusés dans un compte rendu technique ou lors d'une conférence à l'endroit des conseillers ou agriculteurs.

#### **1.4 Sur quels types de projet interviennent les enquêtés ?**

Les enquêtés interviennent presque sur toutes les filières agricoles, qu'elles soient végétales ou animales. Un groupe des enquêtés intervient auprès des agriculteurs ou auprès des propriétaires de parcelle agricole pour les aider à transformer leur parcelle agricole en parcelle agroforestière. Un second groupe des enquêtés intervient auprès des forestiers pour les aider dans leur processus de transformation de parcelle forestière en parcelle agroforestière.

Auprès des porteurs de projets, l'intervention des enquêtés se fait de sept différentes façons.

- L'intervention peut se faire dans un objectif de conseil et d'accompagnement technique sur la mise en place de projets agroforestiers. Il porte sur la plantation des arbres et leur idée serait d'aller vers le plan de gestion de l'ensemble des systèmes agroforestiers.
- L'intervention se fait aussi dans le cadre du montage des dossiers de financement des projets de plantation. En parlant de financement, il existe des plans de relance dont certains porteurs de projet peuvent bénéficier.

- L'intervention se porte également sur la conception du début jusqu'à la fin c'est à dire « qu'il y a des projets que tu fais et tu plantes pour le concepteur [...] on choisit les essences, la disposition [...] ».
- Les interventions auprès des organismes de formation, des techniciens, des universitaires, des formations agricoles ont pour but de former les nouveaux acteurs, de diffuser les connaissances (connaissances et expériences sur les systèmes agroforestiers) à l'ensemble de leur réseau et de « participer au développement d'outil [...] numérique » afin d'assister les projets de conception de systèmes agroforestiers.
- Au niveau des coopératives, c'est vraiment une recherche de partenariat dans le sens où les coopératives vont les aider à identifier les agriculteurs avec lesquels ils travaillent et qui ont envie de faire de l'agroforesterie.
- Auprès des entreprises, l'intervention se fait plus avec l'objectif de les convaincre à financer leurs projets.
- Pour les chercheurs, ils créent des travaux de recherche appliquée et d'expérimentation qui vont être plus accessibles aux agriculteurs et d'autres travaux qui vont être destinés aux conseillers voire d'autres chercheurs qui peuvent aussi être intéressés par ces travaux.

### **1.5 Comment se fait l'intervention des enquêtés ?**

L'intervention des enquêtés se fait dans une logique d'informer les porteurs de projet sur les inconvénients et les avantages des systèmes agroforestiers. D'abord, ils procèdent par faire l'état des lieux et les diagnostics qui peuvent être un échange sur les différents objectifs du projet et sur le fonctionnement de la ferme. Il est question aussi de mener avec eux, des réflexions sur le système qui pourrait répondre à leurs problématiques de base. Ensuite ils discutent de la meilleure proposition, c'est-à-dire celle qui est la plus adaptée à la situation du porteur de projet. A la fin, c'est au porteur de projet lui-même de choisir la solution finale. L'accompagnement peut y continuer avec une étape de maîtrise d'œuvre où les espèces de plantes choisies et les fournitures vont être commandées ainsi que la redistribution aux agriculteurs, l'animation et le suivi des chantiers.

Pendant le processus d'écrits ci-dessus, il y a souvent un travail de bureau permettant la création d'un document technique où l'on retrouve notamment une liste d'essences, une cartographie, un budget prévisionnel... Il arrive que les enquêtés mettent en place un schéma d'intervention qui permet de guider les agriculteurs à trouver le bon arbre au bon endroit dans les bonnes conditions avec les bons moyens de gestion avant de passer à l'étape de la plantation d'arbres sur les parcelles.

### **1.6. Les différentes catégories de systèmes agroforestiers mises en place sur la zone d'étude**

Avec les résultats obtenus, on peut déduire que les différents types de systèmes agroforestiers mise en place sur le territoire Français peuvent être classer en trois catégories à savoir **l'agrosylviculture** qui est une association de cultures et des arbres, le **sylvopastoralisme** qui est l'association de d'arbres et des animaux et **l'agrosylvopastoralisme** qui est une association de cultures, d'animaux et des arbres. Portant sur le végétal, les résultats montrent que nos enquêtés interviennent en maraîchage, en vergers maraîchers et fruitiers, en grandes cultures, en arboriculture, en viticulture, dans les cultures sous couvert forestier qui sont du genre vanille, dans la production fruitière, les arbres champêtres, les arbres fourragers et les PAM (Plante Aromatique et médicinale comme la lavande).

Du côté des animaux, les acteurs veulent inclure les ruminants, les volailles, les brebis, les moutons, les caprin et autres dans les systèmes agroforestiers. L'ensemble du système est aménagé avec les haies (haies intra parcellaire, les haies périphériques, haies champêtre), les bosquets, arbre isolée, les ripisylves qui sont des aménagements arborés en bordure de cours d'eau, de rivière.

### **1.7. Les motivations pour la mise en place des systèmes agroforestiers**

Il y a deux catégories de personne à l'origine d'un projet agroforestier. La première catégorie est constituée de ceux qui le font de leur plein gré car ils ont connaissance des apports bénéfiques des systèmes agroforestiers. Les raisons les plus évoquées sont généralement d'ordre climatique, agronomique, environnemental, économique et paysager. Pour la majorité des enquêtés, l'agroforesterie est mise en pratique non seulement pour des raisons paysagères mais permet également d'introduire de la

biodiversité et de développer les services écosystémiques dans la parcelle. Les résultats nous ont révélé que l'agroforesterie peut permettre une évolution naturelle et continue des parcelles. Certains nous ont fait savoir qu'ils ont opté pour les systèmes agroforestiers en raison des objectifs cynégétiques, sanitaire et l'effet brise vent. Pour d'autres, l'agroforesterie permet une séquestration de carbone, la régulation de maladies et des ravageurs. L'amélioration du sol est aussi une motivation. En effet, l'agroforesterie améliore la fertilité du sol et les apports de matières organiques, la protection, la lutte contre l'érosion, « facilitera la gestion de l'herbe au pied des arbres », éventuellement la gestion du campagnol et l'effet de brise vent. Certains vont plus loin en évoquant que l'agroforesterie limite la pollution, fournit des services d'intérêt écologique (SIE). D'autres motivations concernent les animaux. L'agroforesterie est une source fourragère et fournit de l'ombrage aux animaux et leur sert de protection. L'agroforesterie peut être un excellent moyen mis en œuvre pour un souci de corridor écologique selon un enquêté.

L'on ne peut clore ces motivations évoquées sans aborder l'aspect économique qui est revenu bon nombre de fois dans les discussions avec pratiquement tous les enquêtés. L'agroforesterie est pratiquée pour une question de prime que les porteurs de projet perçoivent. De plus, l'agroforesterie permet une diversification de l'offre ce qui permet une meilleure commercialisation et améliore la rentabilité de la parcelle grâce à une quantité importante en production de bois.

Un dernier type de motivation est le fait que le système agroforestier offre un agréable paysage et améliore le cadre de vie. La deuxième catégorie de personnes qui est rare correspond à ceux qui sont contraints par la réglementation en vigueur.

## **2. ETAT DES LIEUX DE LA CONCEPTION DE SYSTEME AGROFORESTIER**

### **2.1. Définition qu'ont les enquêtés de la conception**

A la question de savoir ce que nos enquêtés entendent par la conception de systèmes agroforestiers, leur réponse n'est pas unanime mais leurs idées se rejoignent sur le fait que c'est un processus complexe nécessitant de la technicité et de l'agronomie.

Six (06) grandes idées peuvent être retenues quand on parle de la conception des systèmes agroforestiers.

Pour certains, la conception est une aide à la réflexion sur un projet. Ça peut être la réflexion que l'on fait d'un projet avant de passer à l'action.

Pour d'autres, c'est une proposition de système viable répondant aux besoins de l'agriculteur. La conception est une analyse par rapport à des contraintes et qui permet de prendre en compte les paramètres biotiques et abiotiques.

Pour un dernier groupe, parler de conception revient à expliciter l'apport de l'arbre au système agricole. C'est une prise en compte des spécificités locales pour proposer une conception qui soit la plus adaptées et la plus optimale pour la parcelle.

## **2.2. Les formats sous lesquels sont menées les activités de conception**

Les activités de conception sont menées sous deux format : soit en atelier de co-conception, soit en binôme par porteur de projet. Quel que soit le format envisagé, il existe des avantages et des inconvénients propres. Avec les ateliers de co-conception, l'avantage est que cela permet aux participants (groupe d'acteurs) de mener des échanges entre eux, un partage d'expérience. Il peut être utilisé lors de ces ateliers des maquettes qui sont conçus pour l'occasion.

Sur l'ensemble des enquêtés, seulement 2 enquêtés ont eu à faire usage de la maquette dans le processus de conception et la maquette en question est faite à base de polystyrène. L'inconvénient est que c'est un format qui prend beaucoup plus de temps que le format de conseil individuel. Les enquêtes nous ont précisé que le conseil individuel est plus performant qu'un atelier de co-conception. L'inconvénient est que c'est un format qui est tributaire de l'expérience du conseiller ; il n'y a pas de retour d'expérience comme en atelier de co-conception.

## **2.3. Les acteurs qui prennent part au processus de conception de système agroforestier**

Lors des processus de conception des systèmes agroforestiers, plusieurs acteurs ont été recensés comme prenant part à ladite activité. Parmi ces acteurs, il y a sans nul doute les agriculteurs qui sont généralement les porteurs de projets et les conseillers

en développement ou les techniciens. Le rôle des conseillers est d'apporter des connaissances et de traduire les besoins des agriculteurs ou autres intervenant dans un langage technique. A part ces deux acteurs, on a les chercheurs qui viennent de l'INRAE, du CRAB (Centre de recherche en agriculture biologique) et autres. On note la présence des formateurs (comme ceux de l'AGROOF), l'équipe de la station d'expérimentation arboricole spécialisée pomme poire (Pugère), les vétérinaires, les syndicats des rivières, Parc Naturel Régional de Alpes, le coopératives, la chambre d'agriculture, fournisseurs de pépinières, la SAFER et autres collectivités.

#### **2.4. Méthode d'accompagnement**

Dans l'ensemble, aucune méthode ou modèle particulier n'a été mis en avant comme étant nécessaire pour l'accompagnement des porteurs de projet à part les méthodes classiques<sup>2</sup>, méthode de design forestier ou l'utilisation que certains mettent en place au sein de leur structure pour mieux accompagner leurs clients.

Le processus de conception de système agroforestier en France est composé d'un nombre d'étapes variant entre 3 et 6 suivant les acteurs qui y prennent part. Toutefois, des points sont communs à toutes les méthodes.

A chaque fois, il y a une étape d'échange et de visite pour diagnostiquer la parcelle pour bien comprendre les objectifs de l'exploitant. Cette étape se fait principalement chez l'exploitant avec une visite des parcelles concernées mais cette phase peut continuer une fois le conseiller à son bureau pour compléter des informations manquantes. De plus, certains conseillers font des analyses de sol pour compléter le diagnostic.

Une autre étape commune est celle de la proposition d'un système à implémenter. Certains conseillers proposent plusieurs possibilités et l'exploitant choisi le système final quand d'autres ne propose qu'un système. On peut donc dire que la conception

---

<sup>2</sup> Dans la gestion de projet, 7 étapes clés et méthodes sont appliquées. Il s'agit de : l'établissement d'un diagnostic de projet ; identification des parties prenantes au projet et le rôle de chaque partie ; la définition des objectifs et la rédaction du cahier des charges ; l'ordonnancement du projet suivant plusieurs étapes ; l'étape de la planification, de gestion des ressources et des risques ; la réalisation et suivis de projet et pour finir, l'étape de la clôture et de l'évaluation des résultats.

se fait majoritairement par les conseillers, et que les agriculteurs sont d'avantage dans un processus de décision.

Pour la plupart des méthodes, la phase de réalisation du projet est incluse dans le processus de conseil et plus rarement encore une phase de suivi de projet pour aider l'exploitant sur plusieurs années.

Il est intéressant de remarquer que les étapes communes aux différentes méthodes sont retrouvables dans des méthodes proposées dans la littérature comme celle de (Della Rossa, et al., 2022).

## **2.5. Prise de décision finale**

Comme dit dans la partie précédente, il arrive le plus souvent d'aboutir à plus d'un système. Seul le porteur de projet (l'agriculteur ou les différents porteurs du projet) décide le système à retenir. Pour prendre sa décision entre différents systèmes, le porteur de projet à plusieurs critères de décision dépendant des motivations.

Les premiers types de critères sont les critères agronomiques. Chaque système agroforestier a ses intérêts spécifiques comme l'aspect fonctionnel du système (charge de travail, facilité d'accès des machines...), la fertilité du sol, l'autonomie et la cohérence au niveau de la ferme. De plus, l'exploitant choisit aussi en fonction de ses connaissances sur les plantes présentes dans le système.

Le deuxième critère est basé sur la disponibilité des essences choisis et de leur statut juridique suivant la zone d'exécution du projet. La disponibilité du matériel agricole à utiliser durant la mise en place du système et de son entretien sont des éléments de ce deuxième critère.

Le troisième critère de choix est économique. En effet, la mise en place d'un système agroforestier nécessite du financement qui varie suivant les éléments constitutifs de chaque système agroforestier. Aussi, les systèmes agroforestiers doivent être sources de rentabilité économique. Ainsi, face à plusieurs systèmes, les acteurs font un choix en fonction du système qui sera le plus rentable.

Le quatrième critère est celui des matériels et méthodes qui peuvent être utilisés dans l'entretien de la parcelle comme par exemple le matériel nécessaire pour lutter contre les ravageurs.

Le cinquième critère est celui de la contrainte temporelle. En effet, chaque système agroforestier nécessite un temps en fonction de sa complexité pour sa mise en place et pour un suivi efficace en fonction de sa complexité. Face à ces contraintes, les porteurs de projets agroforestiers essayent de se projeter sur le temps nécessaire au niveau de chaque système afin de faire un choix plus convenable pour eux.

## 2.6. Les supports et outils utilisés lors du processus de conception

Plusieurs supports sont recensés comme étant utilisés lors du processus de conception. On peut les classer suivant 5 catégories.

**Tableau 4: Tableau des supports et outils utilisés lors du processus de conception.**

Catégories d'outils/supports	Éléments constitutifs
Les fournitures de bureau	des papiers, des crayons, des post-its, des stylos, des ciseaux, des plastifieuses, des tableaux blancs.
Photographie	photo aérienne ; photos historiques.
Documentation	guide de diagnostic ; des livres sur les essences d'arbres.
outils agricoles manuels	regroupe la bêche, le matériel pédologique, la pioche, bêche, les piquets, du mètre ruban, équerre, optique ruban, bombe de peinture.
logiciels, de matériel de laboratoire	Phmètre, l'odomètre, Infoterre, Iphigénie, le QGIS, drone, EcoAF, Archicad, Géoportail, Maps, OpenOffice, Powerpoint, Excel, DesignCAD, GPS, et un outil de géo référencement non nommé par l'enquête.

Source : De l'auteur

## **2.7. Pourquoi, les outils numériques ne sont pas utilisés par tous les enquêtés ?**

Si bon nombre des enquêtés font usage des outils numériques (comme le QGIS, drone, Archicad et bien d'autres) à des moments précis du processus de conception ou aimeraient utiliser des outils numériques dans la conception de systèmes agroforestiers, il faut rappeler que la question de l'usage du numérique n'est pas acceptée par tout le monde ; raison pour laquelle ils ne veulent pas utiliser d'outil dans le processus de conception. La difficulté la plus mentionnée dans ce cas concerne aussi le danger de se réfugier derrière l'outil. Les raisons de ce manque sont un manque de temps pour apprendre à utiliser un outil ou pour numériser les documents, manque d'intérêts, et des coûts écologiques très élevés. De plus, certains de ces outils les conduisent dans l'erreur car il arrive que l'information donnée par l'outil soit erronée car il n'a pas pris en compte des informations capitales comme par exemple, la topologie du terrain.

## **2.8. Les caractéristiques les plus importantes d'un outil d'accompagnement de processus**

11 caractéristiques ont été catégorisées comme étant les plus importantes que peut avoir un outil d'accompagnement du processus. Pour commencer, il y a la langue de travail de l'outil. Les enquêtés ont souhaités que la langue prise en compte par le logiciel soit au moins le français et l'anglais. L'outil doit être facile lors de sa prise en main, avoir peu de paramètres, être rapide, pas de bug, simple, qui fonctionne sans besoin de connexion wifi local, ouvert aux autres outils et ne générant pas du data. La flexibilité et la caractéristique collaborative ont été évoquées. A toutes ses caractéristiques, s'ajoute la liberté de l'utilisateur.

## **2.9. La place de la visualisation dans le processus de conception**

La question de la visualisation occupe une place importante dans le processus de conception et est à prendre avec beaucoup de recul. Pour la majorité de nos enquêtés qui ont accepté se prononcer sur la question, l'utilisation de la visualisation est nécessaire dans le processus de conception à deux (02) niveaux.

Premièrement, la visualisation peut servir d'aide à la projection. Elle est importante au moment de parler de la rotation des animaux et du parcage. Lors de la simulation du développement de la parcelle avec un plan de drainage qui pourrait exister sur cette dernière, la visualisation jouerait un grand rôle. Sur la parcelle agroforestière, la visualisation peut servir à voir l'emplacement des bâtiments, le parcours des animaux, la topographie et l'ensoleillement.

Deuxièmement, la visualisation est nécessaire dans le montage de projet. Son utilisation est d'autant plus nécessaire lors du rendu qui permettra de convaincre surtout si l'on est en face d'un financeur de projet.

Pour finir, la visualisation pourrait avoir un côté ludique qui permettrait de « vendre du rêve ».

### **2.10. Aspect spatial et son rôle**

L'aspect spatial de la parcelle s'est révélé nécessaire dans le processus de conception mais n'est malheureusement pas toujours pris en compte par l'ensemble des enquêtés dans le processus. Selon les enquêtés, l'aspect spatial joue plusieurs rôles comme la facilitation d'une mise en contexte, des échanges entre les acteurs en permettant à chaque acteur de mieux présenter son idée, de mieux percevoir les effets climatiques, des vérifications des contraintes dans le but de se rapprocher de la réalité et de faire prendre conscience des contraintes et défis à l'agriculteur de tels systèmes. Pour faire usage de cet aspect spatial, les enquêtés se servent de plan cadastral, de photo, de dessins, de la maquette et des vidéos de la parcelle. Des réalisations en 3D sont réalisées ainsi que des applications.

### **2.11. Aspect temporel de la parcelle**

L'évolution temporelle de la parcelle n'est prise en compte que par 12 des enquêtés. Pour ces enquêtés, la prise en compte de l'évolution temporelle permet de mieux percevoir l'évolution des dimensions des plantes et du temps nécessaire à leur croissance. Cette évolution est discutée dans la plupart du temps oralement avec usage des supports comme des croquis et des vidéos. Il arrive parfois que certains enquêtés fassent des visites de parcelles existantes. Lors des discussions, les enquêtés discutent d'un pas de temps variable allant de moins de 10 ans à 60 ans.

## **2.12. Les difficultés auxquelles sont confrontés les conseillers dans le processus de conception.**

Les difficultés auxquelles font face les porteurs de projet agroforestier sont nombreuses.

La première difficulté est un manque réel de connaissance malgré l'ancienneté de cette pratique.

Les connaissances manquantes sont généralement d'ordre scientifique où l'on manque de résultats statistiques fiables et des retours d'expérience. De plus, il y a un manque de parcelles agroforestières à visitées comportant des arbres adultes. Lorsque les parcelles existent, il nous a été relevé des difficultés logistiques pour se rendre sur ces domaines. Avec la pluralité des cultures qui existe, les agriculteurs ou porteurs de projets agroforestiers ont des difficultés à mobiliser des cultures sur une même parcelle. Cette complexité entraîne la plupart du temps un temps assez long dans la réalisation d'un processus de conception.

Dans le processus, il est soulevé également un manque de visualisation temporelle et spatiale, des difficultés de se projeter dans le temps pour imaginer l'évolution de la parcelle, d'estimation financière et en temps de travail nécessaire.

Il existe aussi un problème d'approvisionnement une fois le choix des espèces non invasives ou non exotiques fait.

Pour finir cette rubrique, le vol d'animaux est un problème récurrent auquel les porteurs de projets font face dans leur quotidien face auquel les porteurs de projets aimeraient qu'on apporte une attention particulière.

### **Les interactions**

Les interactions qui peuvent avoir lieu entre les espèces associés sur la parcelle ne sont pas représentées, elles sont juste expliquées.

### **3. LES VOIES D'AMELIORATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION**

Face aux nombreuses difficultés auxquelles font face les porteurs de projet de même que les conseillers agroforestiers, les enquêtés ont eu à proposer des voies d'amélioration. Les voies d'amélioration tournent autour de la question de formation, de la connaissance scientifique, des outils.

Le premier point sur lequel tout le monde est unanime est la question de connaissance scientifique qui manque dans la gestion de systèmes agroforestiers en général et pour le maraichage en particulier. La question de la modélisation de croissance a été mentionnée comme nécessaire.

Concernant la formation, nombreux enquêtés ont insisté sur le fait que les conseillers et techniciens doivent au préalable se former avant d'exercer leur métier. La formation dont parle-les enquêtés ne concerne pas seulement les conseillers et techniciens mais aussi les agriculteurs.

Sur les outils, il faut un outil de reporting reliant plusieurs sources de données, permettant de faire du géo-référencement, un dimensionnement temporel et économique à long terme tout en fournissant la liste d'essence à utiliser. L'outil doit permettre de faire une évolution temporelle de la parcelle, prendre en compte l'ombrage, les interactions qui peuvent exister sur la parcelle et l'impact que peut subir le système dans le temps.

#### **4. La réalité augmentée : une nouvelle voie pour améliorer la conception de systèmes agroforestiers ?**

##### **4.1. Définition de la réalité augmentée**

La notion de la réalité augmentée est connue par 2 enquêtés sur les 15 qui ont accepté de se prononcer sur cette question même si un petit groupe parmi eux font une confusion avec la réalité virtuelle. Seulement 2 enquêtés savent concrètement ce qu'est la réalité augmentée.

## **4.2. L'utilité de la réalité augmentée dans la conception de systèmes agroforestiers**

Après explication de ce qu'est une réalité augmentée à nos enquêtés suivi d'une démonstration, les enquêtés ont pu nous donner leur avis sur son utilité potentielle. Pour certains, la réalité augmentée, pourrait être une aide à la projection voire permettre de visualiser l'évolution de la parcelle, de faciliter l'accompagnement des agriculteurs en aidant les conseillers à mieux communiquer, servir d'aide à la motivation et à la prise de décision. Pour d'autres, la réalité augmentée pourrait être nécessaire aussi lors de l'animation collective et de la formation.

## **4.3 Qu'est-ce que la réalité augmentée peut représenter ?**

Dans le processus de conception de systèmes agroforestiers, les enquêtés ont souhaité que la réalité augmentée puisse représenter beaucoup d'éléments surtout ceux qui sont considérés comme étant les caractéristiques les plus essentielles des systèmes agroforestiers.

Parmi les souhaits énumérés, le premier élément porte sur la représentation du sol nu, du sous sol de la parcelle, et les interactions (souterraines) qui peuvent exister entre l'association de cultures, d'arbres et d'animaux faites sur la parcelle. Dans cette catégorie, il est demandé de représenter la direction du vent au sein de la parcelle.

En deuxième lieu, vient la représentation de la biodiversité. En effet, bon nombre d'enquêtés ont souhaités que la réalité augmentée représente l'emplacement des différentes essences d'arbres qui sont utilisées en fonction de leur taille suivant les différentes saisons de même que leur ombre portée. Il est demandé qu'on représente les animaux qui sont associés au système et dans la mesure du possible faire ressortir l'emplacement du poulailler sur la parcelle dans le cadre où le système conçu associe l'élevage des poules.

En troisième lieu, il faudrait représenter sur la parcelle l'itinéraire d'accès à l'eau et la logistique d'alimentation de la parcelle en eau surtout en présence des animaux. Suivant la structure de la parcelle, il serait intéressant de faire apparaître les zones d'eau stagnantes dans le cas où elles existent.

Dans la quatrième catégorie, il est non seulement demandé de représenter la clôture ou les éléments de protection de l'ensemble du système mais aussi de faire apparaître les éventuelles incohérences qui peuvent exister dans le projet en fonction des différentes associations faites.

### **4.3. Les supports de la réalité augmentée**

Comme support à la réalité augmentée, la tablette est la plus privilégiée par les enquêtés car un bon nombre de conseillers en possède déjà. A défaut de la tablette, les smartphones peuvent prendre la seconde position et être utilisées malgré le fait qu'ils sont plus petits et donc la lisibilité sera plus difficile. D'autres ont suggéré dans la mesure du possible l'usage des lunettes 3D et de casque.

## **CHAPITRE 4 : DISCUSSION**

Cette étude a permis de faire premièrement l'état de l'art des pratiques actuelles de la conception de systèmes agroforestiers en France. Deuxièmement, elle nous a permis de connaître la place des outils numériques dans la conception de systèmes agroforestiers. Pour finir, cette étude nous a permis de collecter les réels besoins de la conception de systèmes dans le contexte agroforestier français et les voies d'amélioration.

### **1. LES MOTIVATIONS POUR LE PASSAGE A L'AGROFORESTERIE**

Il ressort que la mise en place de l'agroforesterie est plus liée à l'urgence climatique. En effet, c'est un système résilient face au changement climatique (Dupraz & Liager, 2011; Torquebiau, 2022). De plus, ces systèmes permettent de réintroduire de la biodiversité au sein des parcelles agricoles ce qui permet de meilleures régulations biologiques. Cela peut aussi avoir pour conséquence une réduction de l'emploi de produits phytosanitaires. L'agroforesterie est source de fertilité des sols et permet de lutter contre l'érosion des sols. Elle favorise le stockage de carbone sur l'exploitation agricole. Nos résultats confirment les travaux menés par Dupraz & Liagre (2011) et Vigan (2018).

De plus, l'agroforesterie joue un rôle économique très important. Elle permet d'améliorer la rentabilité de la parcelle à travers la diversification de la production agricole ; ce qui accroît le bénéfice économique (chiffre d'affaires) sur une surface donnée. On peut donner l'exemple des arbres qui ont vocation à bois d'œuvre qui sur le long terme ont une valorisation économique. Ce bénéfice économique a été évoqué en 1929 par Russell Smith (1929), dans son livre ayant pour titre *Tree Crops. A Permanent Agriculture*. En effet, Russell Smith a trouvé que des cultures (maïs, coton et le tabac) qui donnent chacune 75% de leur rendement mais une fois combiné, ce rendement est de 150%. La question d'amélioration de rendement a été abordée par Dupraz & Liagre (2011); Dupraz, (2006) qui ont conditionné cet augmentation avec la bonne orientation des arbres qui fournira une croissance homogène à la parcelle.

Les enquêtés ont fait allusion à l'azote et au carbone séquestré par l'agroforesterie qui peut être source de revenu suite à leur vente. Une séquestration approuvée par Dupraz & Liagre (2011) et Theriez, et al. (2017) qui affirment que les systèmes agroforestiers sont d'importants puits de séquestration de carbone. Les primes payées pour la mise en place de systèmes agroforestiers ont été données comme argument de motivation. Cela n'est pas toujours le cas. Par exemple, le verger maraîcher fait partie des systèmes agroforestiers mais n'est pas reconnu officiellement aujourd'hui au niveau Européen comme un système d'agroforesterie.

Un argument en faveur de l'agroforesterie est l'amélioration du bien-être animal dans le cas de systèmes impliquant les animaux. Cette source de motivation est venue à plusieurs reprises lors des entretiens. L'agroforesterie apporte de l'ombrage dans la parcelle, ce qui peut offrir une condition agréable de travail. Elle apporte de l'ombrage dans la parcelle, ce qui peut offrir une condition agréable pour les animaux lors du pâturage et pour les travailleurs. Dans certaines régions, notamment dans le nord de la France où les résidents sont majoritairement chasseurs, l'agroforesterie pourrait faire revenir la faune sauvage.

Il est évoqué que les animaux se sentent plus en sécurité sous les arbres contre les prédateurs aériens, les rapaces. Un argument qui n'est pas forcément vrai aussi parce qu'il est constaté qu'il y a énormément d'attaques de rapaces, même sous les arbres (Selon un enquêté).

Pour finir, l'agroforesterie améliore l'appréciation du paysage ce qui est bénéfique pour accueillir du public sur la ferme ou pour la vente de leurs produits directement sur l'exploitation. Cet impact sur le paysage améliore donc non seulement l'image de l'exploitation mais permet une meilleure commercialisation.

- **Le rôle joué par la conception dans la mise en place de système agroforestier et ces étapes.**

En se basant sur les résultats de nos enquêtes, la conception permet de mener une réflexion approfondie sur le système à mettre en place en prenant en compte le

contexte local et les relations qui peuvent exister entre les différentes composantes (arbres, cultures, animaux) de la ferme. La phase conception permet d'aboutir à un système plus adapté à la parcelle mobilisant les ressources disponibles pour fournir de meilleurs rendements tant environnemental, économique que social.

Toutefois, c'est un processus complexe et long qui nécessite un certain degré de technicité et de connaissance agronomiques.

En France, la conception de systèmes agroforestiers est faite sous deux formats : du conseil individuel et atelier de co-conception. Le choix du format dépend de beaucoup de facteurs dont l'objectif du projet, du temps disponible et de l'expérience du conseiller. L'atelier de co-conception a pour avantage de permettre un partage d'expérience entre les acteurs présents. Malheureusement, il demande beaucoup de temps (préparation animation de l'atelier, rédaction de compte-rendu). Le conseil individuel est plus performant qu'un atelier mais la qualité du processus (connaissances disponibles, explication, diagnostic de parcelle) est tributaire de l'expérience du conseiller.

## **2. LES RAISONS LIEES A LA RETICENCE OU AU NON UTILISATION DES OUTILS NUMERIQUES DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE SYSTEMES AGROFORESTIERS.**

Une des plus grandes difficultés est le danger de se réfugier derrière l'outil, resté dans un automatisme qui éloignerait le côté humain. En science sociale, plusieurs travaux de recherche ont ainsi porté sur ce sujet qui traite de l'impact de la révolution numérique et de nouvelles technologies sur l'homme. On peut ainsi citer les travaux qui ont étudié si la « machine sépare l'homme de la matière » à travers la données (Lagneaux et Servais, 2014). Le numérique pourrait donc distendre le lien de l'homme à la nature (Bellon-Maurel et al. 2021). Le développement du numérique en agriculture entraîne selon Marquet et al. (2019) des conséquences environnementales comme l'épuisement des ressources, ou l'accélération du changement climatique, ce qui est la crainte de nos enquêtés sur son impact environnemental. Des réflexions autour de l'impact environnemental commencent à atteindre les politiques en 2019,

le Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires parle de « L'éco-conception »<sup>3</sup>. C'est une approche préventive de problème environnementaux mise en œuvre dans plusieurs secteurs comme l'électronique, l'automobile... Elle a pour objectif de fournir des gains environnementaux portant sur la préservation des ressources et de la biodiversité. Elle permet une réduction des impacts environnementaux entre 10% et 40%.

### **3. LES PISTES D'AMELIORATION**

Le processus de conception peut être amélioré de plusieurs façons.

Premièrement, c'est de fournir plus de connaissances scientifiques pour combler le manque qui existe dans la gestion de systèmes agroforestiers. En parlant de manque, on peut évoquer les ressources scientifiques techniques sur l'adaptation des modèles au changement climatique ou des notions de production de biomasse par rapport aux conditions pédoclimatiques. Sur le plan économique produire des connaissances qui permettraient de connaître des bénéfices réels économiques, sociaux et environnementaux.

Deuxièmement, instaurer des séances de formation aux conseillers. Concernant les outils, fournir une liste de l'existant des essences qui s'informatisent. Il faut un outil qui permettrait de gagner du temps, faisant du reporting reliant plusieurs sources de données, permettant de faire du géo-référencement, un dimensionnement temporel et économique à long terme. L'outil doit permettre de faire une évolution temporelle de la parcelle, prendre en compte l'ombrage, les interactions qui peuvent exister sur la parcelle.

---

<sup>3</sup> [L'éco-conception des produits | Ministères Écologie Énergie Territoires \(ecologie.gouv.fr\)](https://ecologie.gouv.fr/)

## **CONCLUSION**

Les outils numériques ne jouent pas encore un rôle important dans les processus de conception des systèmes agroforestiers en France. Cette étude exploratoire détermine la place des outils numériques dans la conception des systèmes agroforestiers en France. Nous avons montré la diversité des processus de conception des systèmes agroforestiers et identifier les outils utilisés.

Dans un avenir proche, cette étude sera utilisé pour le développement d'un outil de visualisation en réalité augmentée qui sera tester et évaluer à plus grande échelle.

Pour l'amélioration de la conception, les résultats montrent que les outils numériques sont prometteurs à condition qu'ils apportent des informations agronomiques et économiques globales sur l'évolution de la parcelle.

## REFERENCES

Agogué, M., Arnoux , F., Brown, I. & Hooge, S., 2013. *Introduction à la conception innovante: Elements théoriques et pratiques de la théorie C-K*. 1  d. Paris: Presses des Mines.

Anon., s.d. *Agriculture et numérique. Tirer le meilleur du numérique pour contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables*. s.l.:s.n.

Aubin-Auger, I., Mercier, A., Baumann, L. & Lehr-Drylewicz, A.-M., 2008. Introduction à la recherche qualitative. *Recherche Méthode*, 19(84: 142), p. 4.

Augis, A., 2017. *DEXi AF : outil d'aide à la conception et à l'évaluation multicritère de systèmes agroforestiers performants. Analyse critique et amélioration d'un outil préexistant pour les systèmes agroforestiers grandes cultures / bois d'oeuvre*, Rennes: AgroCampus Ouest.

Bellon Maurel, V. et al., 2022. Agriculture and Digital Technology: Getting the most out of digital technology to contribute to the transition to sustainable agriculture and food systems. *Agriculture and Digital Technology*, 10 mars, Issue 6, pp. 1-185.

Bellon-Maurel, V. & Huyghe, C., 2016. L'innovation technologique dans l'agriculture. *G o conomie*, 80(3), pp. 159-180.

Bellon-Maurel, V. & Piot-Lepetit, I., 2021. Le numérique : levier de l'agriculture durable. *Les Cahiers du Cercle des économistes, Le Cercle des économistes*, 21 Avril, pp. 29-35.

Bene, J. G., Beall, H. W. & Côté, A., 1977. Trees, food and people : land management in the tropics. *IRDC (International Development Research Centre)*, Issue 084e, p. 52.

Brundtland, G. H. & Khalid, M., 1987. *Notre avenir à tous. Rapport Brundtland*, Montréal: Edition du fleuve.

Buttoud, G., 1994. Les systèmes agroforestiers dans les pays en développement : quels enseignements?. *Revue forestière française*, 46(S), pp. 152-164.

Castel, L. et al., 2020. Concevoir et exp rimer des vergers agroforestiers en Agriculture Biologique (VERTiCAL). *Innovations*, 17 Février, p. 18.

Chieze, B., Casagrande, M. & Alaphilippe, A., 2021. *Guide pratique de Co-conception*, Materne: INRAE.

Christophe SOTTEAU – AGROECO Expert, 2022. *Expertise-conseil en agroforesteries et agroécologie*. [En ligne]

Available at: <http://www.agroeco-expert.fr/>  
[Accès le 4 Juin 2022].

Della Rossa, P., Mottes, C., Cattan, P. & Le Bail, M., 2022. Une nouvelle méthode pour co-concevoir des systèmes agricoles à l'échelle territoriale - Application to reduce herbicide pollution in Martinique. *Systèmes agricoles*, 196(1), p. 15.

Depommier, D., 1985. Note de synthèse sur la "D and D methodology". Une méthodologie de diagnostic et de conception de systèmes agroforestiers. *Les Cahiers De La Recherche Développement*, 8(1), pp. 70-74.

Dupraz, C., 2006. *Agroforesterie: Quand les arbres font leur retour dans les champs*, Montpellier: AGRAVALOIR.

Dupraz, C. & Liager, F., 2011. *Agroforesterie: Des arbres et des cultures*. 2 éd. Paris: Groupe France Agricole.

Dupraz, C. & Liagre, F., 2011. *Agroforesterie: Des arbres et des cultures*. 2e éd. Paris: Groupe France Agricole.

Encyclopedie\_francaise, 2022. *L'encyclopédie Française*. [En ligne] Available at: <https://www.cnrtl.fr/definition/concevoir>  
[Accès le 27 Août 2022].

Fagerholm, N., Torralba, M., Burgess, P. J. & Plieninger, T., 2016. A systematic map of ecosystem services assessments around European agroforestry. *Ecological Indicators*, Issue 62, pp. 47-65.

Fida, T., 2020. *Évaluation des performances des cultures annuelles en agroforesterie Méditerranéenne sous différents régimes hydriques: Cas des systèmes agroforestiers à base d'oliviers au Maroc*, Montpellier: these.fr.

Gosme, M., 2021. *Agroécologie et numérique - quels outils pour comprendre et concevoir des systèmes durables*. 1 éd. Montpellier: Hal INRAE.

Göbel, A., 2016. *Ecosystem services in agroforestry systems of Europe*. Freiburg: Albert Ludwigs University.

Hatchuel, A., 2015. Apprentissages collectifs et activités de conception. *Revue française de gestion*, 41(253), pp. 121-137.

Husson, O. et al., 2015. Co-designing innovative cropping systems that match biophysical and socio-economic diversity: The DATE approach to Conservation Agriculture in Madagascar, Lao PDR and Cambodia.. 2015. *Co-designing innovative cropping systems that match biophysical and socio-economic diversity* *Renewable Agriculture and Food Systems*, Issue 31.

Jeanneaux, P., 2018. Agriculture numérique: quelles conséquences sur l'autonomie de la décision des agriculteurs?. *Agronomie et agriculture numérique*, 8(1), pp. 13-22.

Jeuffroy, M. H., Prost, L. & Scopel, E., 2021. *La conception de systèmes agricoles: perspective historique et enjeux actuels en lien avec la transition agroécologique (TAE)*. Paris, Séminaire interdépartement AgroEcoSystem et ACT.

Jose, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview, *Agroforestry systems*. 76(1), pp. 1-10.

King, K. F., 1979. Agroforestry and the utilisation of fragile ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 2(1), pp. 161-168.

Lamanda, N., 2011. *Evaluation agronomique et conception de systèmes de culture agroforestiers*. s.l.: s.n.

Lamanda, N., 2011. *Evaluation agronomique et conception de systèmes de culture agroforestiers*, Montpellier: CIRAD; UMR System.

Lançon, J. et al., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems.. *Agronomy for Sustainable Development*, I(27), pp. 101-110.

Méynard, J.-M., Dedieu, B. & Bos, A. P. (., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. *The New Dynamic*, pp. 405-429.

Notaro, M., 2019. *Apports des sciences participatives et des sciences agronomiques à la conception de systèmes agroforestiers complexes innovants.*, Montpellier: École doctorale GAIA; Unité de recherche UMR SYSTEM.

Palth, G. & Beitz, W., 1977. *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung*. 9 éd. Berlin: Springer Vieweg.

Pelzer, E. et al., 2012. Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi. *Ecological Indicators*, 18(1), pp. 171-182.

Prost, L. & Merot, A., 2021. *Les agriculteurs en TAE, des agriculteurs concepteurs: quelle contribution de la recherche agronomique ?*. Paris, AgroEcoSystem et ACT.

Reau, R. et al., 2018. Ateliers de conception de systèmes de culture. Guide pour leur réalisation avec des agriculteurs. 1(1), p. 33.

Reisner, Y., Filippi, R. D., Herzog, F. & Palma, J., 2007. Target regions for silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Engineering*, Issue 29, p. 401–418.

Rue, M., 2018. L'agroforesterie intraparcellaire au cœur d'une élaboration paysagère menée par l'agriculteur. *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, 01 Décembre, -(19), p. 435.

Russell Smith, J., 1929. *Tree Crops, A Permanent Agriculture*. 1 éd. News York: Harcourt, Brace and Company.

Sadok, W. et al., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(3), pp. 447 - 461.

Salembier, C., 2019. *Stimuler la conception distribuée de systèmes agroécologiques par l'étude de pratiques innovantes d'agriculteurs*, Paris: École doctorale n°581 : agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIES).

Santi, F. & de Coligny, F., 2021. *CAPSIS-EcoAF Tracer et planter*, Montpellier: .

Schnebelin, É., Labarthe, P. & Touzard, J.-M., 2021. How digitalisation interacts with ecologisation? Perspectives from actors of the French Agricultural Innovation System. *Journal of Rural Studies*, 86(&), pp. 599-610.

Somarriba, E. et al., 2020. *ShadeMotion : the analysis of tree shade patterns. Tutorial*. Serie Técnica. Manual Técnico éd. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Somarriba, E. et al., 2021. *ShadeMotion: Un outil d'analyse des configurations d'ombrage*. 5 éd. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Theriez, M., Penot, E., Uraiwan, T. & Chambon, B., 2017. De l'indifférence à la reconnaissance : potentiel de développement d'une plateforme d'innovation régionale sur les systèmes agroforestiers hévécocoles du sud de la Thaïlande.. *11e Journées de Recherches en Sciences Sociales*, 14-15 Décembre, p. 28.

Torquebiau, E., 2022. *Le livre de l'agroforesterie : Comment les arbres peuvent sauver l'agriculture..* 1er éd. Rio de MOURO((Emmanuel Torquebiau ; Le livre de l'agroforesterie : Comment les arbres peuvent sauver l'agriculture. Actes Sud, 2022): AÏTE BRESSON.

Torralba, M. et al., 2016. Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services?. *A meta-analysis, Agriculture, Ecosystems and Environment*, Volume 30, pp. 150-161.

Vall, E. et al., 2016. La co-conception en partenariat de systèmes agricoles innovants. *Cahiers Agricultures*, Issue 25.

Vallée, B., 2022. *Ligne intra-parcellaire et grande culture: Visualisation 2D et 3D par F Salévia CAPSIS-EcoAF*, Centre Vall de Loire: EcoAF.

Vigan , M., 2018. *Towards an agroforestry palaver tree. The qualitative multicriteria analysis model Terafor to consider the whole functions of treed area in agricultural landscapes*, Toulouse: Université de Toulouse - Institut national polytechnique de Toulouse.

## ANNEXE

*Figure 9: Exemples d'un atelier de Co-conception*



**Source : Auteur**