HAL
open science

Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les living labs et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation

Jacques-Eric Bergez, Mehdi Sine, Muriel Mambrini

To cite this version:

Jacques-Eric Bergez, Mehdi Sine, Muriel Mambrini. Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les living labs et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation. Annales des Mines - Enjeux Numériques, 2022, 19, pp.103-121. hal-03773267

HAL Id: hal-03773267

https://hal.inrae.fr/hal-03773267v1

Submitted on 9 Sep 2022

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

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

Les voies de l'innovation en agriculture numérique : les *living labs* et Digifermes®, des dispositifs pour la co-innovation

Par Jacques-Eric BERGEZ,
AGIR, Univ Toulouse, INRAE, Castanet-Tolosan, France

Mehdi SINÉ
ACTA - les instituts techniques agricoles, Paris, France

& Muriel MAMBRINI
Collège de Direction, INRAE, Paris, France

La transition agroécologique nécessite des changements profonds des systèmes de production, de transformation et de consommation, qui requièrent des modes de gouvernance nouveaux. Les laboratoires vivants proposent un schéma de co-développement d'innovation responsable et partagé. Cependant, l'aspect intrinsèquement pluriel des données, des connaissances, des dispositifs, etc. milite pour la mobilisation de solutions numériques nouvelles. Notre hypothèse est que les laboratoires vivants pour la transition agroécologique vont ouvrir, dans le domaine du numérique, des capacités à se saisir de questions plus complexes, et des occasions pour mettre l'usager au centre. En tout état de cause, ce sera un numérique ayant en perspective le service au bien commun, un numérique responsable. À travers un cadre d'analyse et l'opérationnalisation de ce cadre sur deux exemples (les Digifermes® et Occitanum), nous montrons les propriétés émergentes de ce numérique et les leviers qu'il reste à franchir pour un bénéfice partagé et durable.

Introduction

Nous connaissons tous les grands défis que notre planète a à affronter tels que le changement climatique (IPCC, 2022), le défi alimentaire (de Schutter, 2014), la raréfaction des ressources naturelles (FAO, 2021), l'extinction de la biodiversité (Pörtner *et al.*, 2021). Agir pour répondre à ces défis demande une transformation radicale de nos usages des ressources naturelles (passer du minier au durable), de nos pratiques de production (du global au local, du lissage au spécifique) et de consommation (sobriété, circuits courts).

Les acteurs de la production agricole et alimentaire jouent un rôle particulier, à la fois usagers de ressources naturelles et producteurs de ressources alimentaires, énergétiques et de services écosystémiques. L'agroécologie en tant que discipline scientifique (Caquet *et al.*, 2020), mouvement social (Altierri, 1989) et orientation aux politiques publiques (projet agroécologique pour la France, 2012) peut aider à mener cette transformation.

Le principe de l'agroécologie est de tirer parti des processus biologiques pour répondre aux attentes des agrosystèmes, et ainsi de réduire le recours aux intrants (https://dicoagroecologie.fr/).

Opérationnaliser un tel cadre nécessite de proposer des productions, transformations, commercialisations locales avec une plus grande diversité de produits agricoles à inclure dans une chaîne alimentaire renouvelée (processus de transformation, distribution et jusqu'aux nouveaux régimes alimentaires). Les changements dans la gouvernance des chaines agri-alimentaires font partie de la refonte et de ces changements transformationnels. À la suite des approches post-normales développées dans les années 1980 (Funtowicz et Ravetz, 2003), l'implication des producteurs/consom-acteurs dans l'innovation apparaît comme une voie des plus souhaitables à la construction d'outils, de services, d'usages, mais aussi, si nous nous repositionnons face aux enjeux globaux et à ce que peut permettre l'agroécologie, de savoirs en situation.

Les nouvelles possibilités de collecte de données provenant de sources de connaissances hétérogènes, leur transformation en informations utiles, puis en services partagés par le plus grand nombre militent pour mobiliser les solutions numériques comme leviers. Nous reprendrons la définition de l'agriculture numérique proposée par Bellon-Maurel *et al*. (2022) : « agriculture et, au-delà, système alimentaire, qui utilisent les sciences et technologies du numérique telles que les sciences des données et technologies d'acquisition (satellites, capteurs, objets connectés, *smartphones*…), de transfert et de stockage (couverture 3G/4G/5G, réseaux bas débit terrestres ou satellitaires, *clouds*) et les technologies de traitement embarquées ou déportées (supercalculateurs accessibles par des réseaux de communication très haut débit, intelligence artificielle), ceci à toutes les échelles de la production agricole et de son écosystème : exploitation, services d'accompagnement, territoire, chaîne de valeur. »

L'innovation dans le numérique et le "*digital farming*" semble rester trop *top-down*, ancrée dans un solutionnisme technologique (Morozov, 2013). Afin d'éviter un plan Marshall 2.0, l'innovation numérique doit se faire au sein des fermes avec les acteurs principalement concernés que sont les agriculteurs. Depuis les années 2000, les technologies de l'information et de la communication ont été le secteur où se sont développés des dispositifs d'innovation ouverte élaborés pour consolider les innovations à partir des expériences des usagers, les laboratoires vivants. Leurs principes sont simples, ils regroupent des acteurs impliqués par l'innovation, pour co-concevoir, en conditions réelles. Fin des années 2010, les laboratoires vivants font leur entrée au sein des agroécosystèmes, avec l'objectif de renforcer la résilience des productions (McPhee *et al*., 2021). Un numérique différent est-il alors possible ?

Cet article décrit deux dispositifs d'innovation ouverte menés en France, afin de faciliter la transition agroécologique au sein de fermes en mobilisant des outils numériques. Nous commencerons par présenter un cadre d'analyse des produits numériques sur l'innovation ouverte. Puis nous prendrons deux exemples assez différenciés pour montrer les spécificités du numérique co-développé dans ces laboratoires vivants. Dans une dernière partie, nous listerons certains avantages et inconvénients de cette agriculture numérique.

Le potentiel de l'innovation ouverte, cadre d'analyse

Les laboratoires vivants, (*living labs*, LL) sont des dispositifs d'innovation ouverte fonctionnant sur trois principes : l'implication des usagers, la co-création, en conditions réelles (et avec des communautés réelles). Ils sont à la fois des organisations axées sur la pratique et l'échange de connaissances, des environnements ou des arènes de la vie réelle où sont menées des expériences, où de nouvelles solutions sont développées, et où les processus d'innovation par et avec les utilisateurs peuvent être étudiés. Les LL sont réputés produire trois types de valeurs : des affaires, du social et des connaissances.

Les LL ont été initialement conçus pour renforcer la place de l'usager dans les innovations liées au développement des technologies de l'information et de la communication. Ils ont ensuite trouvé leur place dans d'autres secteurs d'activité, tels la *e*-santé, les villes durables, les nouvelles ruralités. Chaque secteur d'activité, voire chaque proposition locale, interprète à sa manière les trois grands principes sur lesquels les LL sont fondés, et possède des caractéristiques spécifiques.

Les LL des agrosystèmes ont des propriétés communes avec les LL des villes durables et des nouvelles ruralités : ils sont « situés », façonnés par les lieux ou les territoires au sein desquels ils entrent en action. Ils œuvrent pour une plus grande résilience des systèmes au sein desquels ils opèrent. Ils naissent souvent d'une volonté politique, réunissent des financements publics et privés, et combinent des préoccupations autour de biens publics, privés et communs. Au-delà, ils ont de véritables particularités en termes d'objectifs spécifiques, d'activités, de types de participants, et au regard du contexte au sein duquel ils s'établissent (Mc Phee *et al*., 2021). Cela offre une bonne idée des orientations à donner aux composantes de la dynamique d'innovation pour réussir leur ouverture. Dans le projet européen ALL-Ready qui pose le cadre du futur réseau européen des laboratoires vivants et des infrastructures de recherche pour la transition agroécologique (www.all-ready-project.eu), Mambrini *et al*. (2022) ont identifié les particularités de LL à même d'accélérer la transition agroécologique (voir le Tableau 1, pp. 106-107). Ce cadre doit permettre de repérer les conditions d'un numérique différent, façonné pour la transition agroécologique.

Chacune de ces particularités fait écho à de nouveaux usages du numérique, et soulève aussi des enjeux de taille, tels que la capacité à opérer à différentes échelles, à combiner des données et des connaissances hétérogènes. Nous les avons soulignés dans le Tableau 1.

Notre hypothèse est que les LL pour la transition agroécologique vont ouvrir, dans le domaine du numérique, des capacités à se saisir de questions plus complexes, et des occasions pour mettre l'usager au centre. En tout état de cause, ce sera un numérique ayant en perspective le service au bien commun, un numérique responsable.

Nous pouvons d'ores et déjà avancer sur cette hypothèse en analysant les origines et particularités de deux expériences emblématiques, visant au développement numérique au sein des agroécosystèmes, ayant en perspective la contribution à la transition agroécologique.

La particularité du numérique au sein des dispositifs d'innovation ouverte

Le dispositif DIGIFERMES

Origine et réalisations

Dans le but d'accompagner le mouvement de numérisation des exploitations agricoles, les instituts techniques agricoles ont dédié, depuis 2016, quelques fermes expérimentales à la mise en application des technologies numériques les plus récentes (https://digifermes.com). Ces fermes ont deux vocations principales : évaluer ces technologies et accompagner les entreprises innovantes à les développer à l'échelle de l'exploitation agricole (Bouttet *et al*. 2017). Ces dispositifs de terrain baptisés les Digifermes® ont depuis été étendus à plusieurs filières végétales et animales, et comprennent désormais quinze unités expérimentales réparties sur le territoire métropolitain et d'outre-mer (voir la Figure 1 page suivante).

Sur ces exploitations, qui préfigurent d'une certaine manière des « fermes d'avenir », les données produites sont à l'origine d'un cycle de prise de décision aboutissant à des

Tableau 1 : les particularités des laboratoires vivants pour favoriser la transition agroécologique de l'agri-*food* chaine

Particularités	**LL des agroécosystèmes**	**À considérer en plus pour accélérer la transition agroécologique**
Objectif	L'objectif général est d'œuvrer pour une plus grande durabilité et la résilience du système au sein duquel le LL opère. L'innovation peut s'exprimer sous forme de nouvelles pratiques, de management de l'activité ou de process.	L'option pour y parvenir est la prise en compte constante de la biodiversité sur le site et dans les environs. L'ancrage dans les « territoires » est essentiel. Les dispositifs ont des origines très diverses (des nouvelles pratiques de terrain aux cadres politiques expérimentaux), ainsi que les communautés impliquées (agriculteurs, décideurs politiques, consommateurs, citoyens...). En conséquence, hétérogénéité et quantité de connaissances produites sont particulièrement remarquables (des pratiques aux politiques).
Activités	La quantité et le niveau d'usage des données sont particulièrement élevés. Ils sont liés au besoin d'évaluer les performances associées aux propositions innovantes. La cyclicité des opérations est très particulière, les cycles d'innovation sont saisonnés et peuvent parfois être très longs. Lié à des facteurs externes et non contrôlables, le niveau d'incertitude des expérimentations et des essais est élevé. Le besoin de porter les résultats locaux à une échelle plus grande, en dehors du périmètre strict du laboratoire vivant est très important. Les nouvelles pratiques issues d'un LL doivent pouvoir servir au moins une filière.	Les résultats, quelle que soit la localité du LL, s'évaluent au niveau du système (chaîne de valeur, paysage, territoire) et de la transformation de ce dernier. Le besoin d'obtenir et d'enregistrer des données au niveau du système global est très élevé. Ces LL sont particulièrement gourmands en connaissances, les connaissances à mobiliser sont notamment hétérogènes (tacites et explicites, transgénérationnelles). Compte tenu de la diversité des parties prenante, il est nécessaire que le dispositif sache éviter le fardeau de l'information, dispose d'une gouvernance agile tenant compte des conflits d'intérêts, où la co-création est orchestrée. Comme les propositions plus agroécologiques amènent des produits plus divers sur l'ensemble de la filière, la démonstration et l'itération exigent un effort important, pour lequel l'expérience et le savoir-faire des processus d'innovation multi-acteurs sont un atout. S'agissant des connaissances produites, le rôle du LL pour renforcer les capacités des acteurs de l'écosystème est remarquable. Il permet également le partage de connaissances non encore stabilisées. Ces LL doivent s'inscrire sur le temps long. L'agroécologie ouvre la perspective de reconception du système de production et, car les propositions doivent s'adapter à un environnement changeant, emporte une source supplémentaire d'incertitude.

Particularités	LL des agroécosystèmes	À considérer en plus pour accélérer la transition agroécologique
Participants	La participation du secteur public est particulièrement déterminante. L'implication des chercheurs est particulièrement élevée. Le rôle des usagers peut être divers et évoluer dans le temps. En raison du nombre relativement élevé et de la diversité des partenaires impliqués, en plus de fournir des connaissances scientifiques, le schéma de gouvernance des LL est complexe afin de maintenir l'engagement des divers acteurs clés dans les territoires et tout au long de la chaîne de valeur. Les chercheurs interviennent également dans la conception du fonctionnement du LL.	La diversité des participants est assez élevée. La notion d'utilisateur est plus diverse, il peut s'agir du conseiller, de l'agriculteur, du consommateur, du citoyen ; leur rôle est fortement évolutif, par exemple l'agriculteur peut être soit l'utilisateur de l'innovation, soit le fournisseur d'une nouvelle pratique. L'ouverture du dispositif vers le consommateur est la préoccupation majeure. Le schéma de gouvernance est encore plus complexe pour maintenir l'engagement des divers acteurs clés dans les territoires et tout au long de la chaîne de valeur. Les flux d'information sont plus complexes et englobent plus d'échelles. La décision est plus décentralisée. Ces LL produisent une combinaison de biens privés, publics et communs, et au service des biens communs, ce qui justifie un soutien gouvernemental et en recherche plus prégnant.
Contexte	C'est l'agroécosystème qui est considéré. Il est fait appel à de la recherche plus inter- et trans-disciplinaire.	Le contexte considéré est celui des enjeux du changement climatique et de la souveraineté alimentaire, au-delà de l'agroécosystème considéré, mis à l'échelle du territoire concerné. La demande de développer des approches inter- et trans-disciplinaires est encore plus forte. Connaître l'origine des dispositifs, qui trace ce qui aura incité à la confiance entre porteurs d'enjeux et à la mise en partage des valeurs est encore plus essentiel pour caractériser l'activité. Il en est de même pour le cadre réglementaire et les politiques qui auront incité à l'émergence du LL. Cela aide à suivre la trajectoire du LL et à identifier les conditions de sa longévité, et donc de sa contribution à la transition agroécologique.

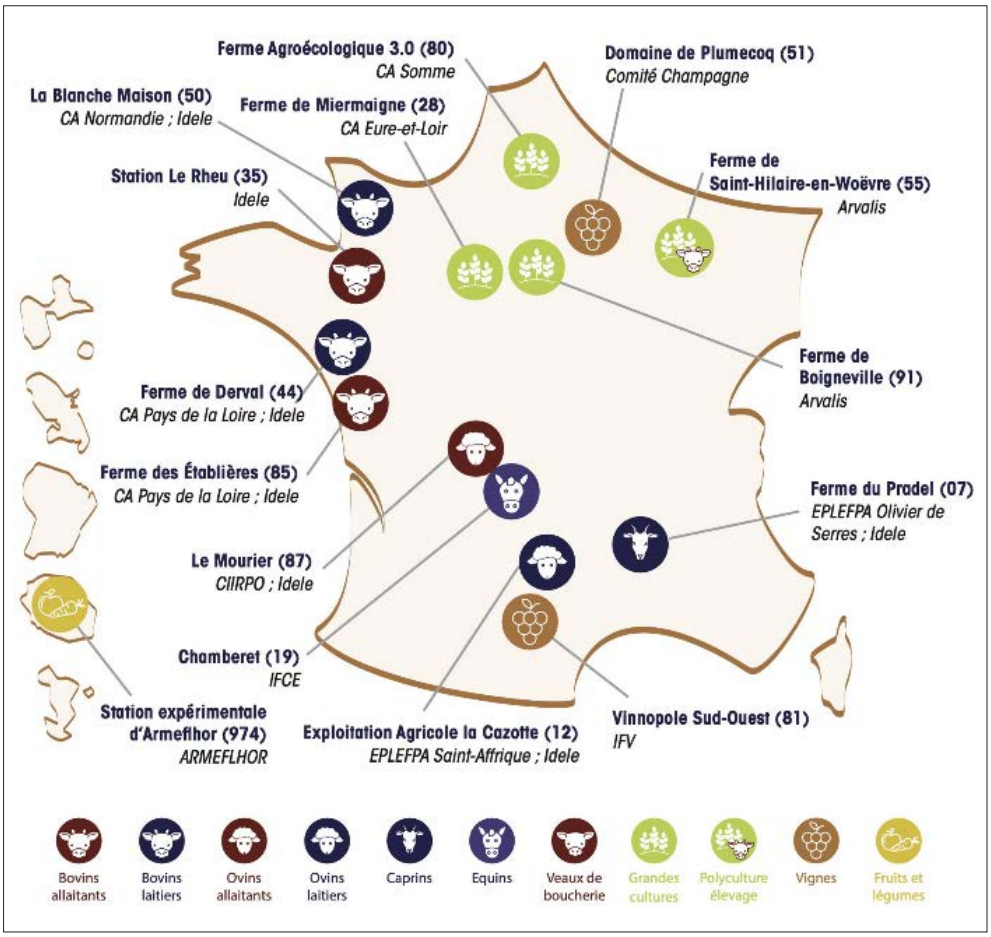

Figure 1 : Répartition des Digifermes en France
(Source : Digifermes.com)

interventions techniques qui sont donc « guidées par les données » (*data-driven*). Ce cycle passe par plusieurs phases de la collecte des données (capteurs), à leur transmission (réseaux), puis à leur stockage (*cloud*, IoT), leur traitement (algorithmes, intelligence artificielle), leur interprétation et leur visualisation (applications, OAD) dans le but d'aboutir à un processus de décision, et enfin à l'action qui peut être déclenchée par l'agriculteur lui-même ou déléguée à une machine (robotisation, agroéquipement de précision). Ce qui caractérise les Digifermes, c'est de travailler sur l'entièreté de ce cycle en veillant toujours à conserver au cœur du système les besoins des agriculteurs, notamment sur les aspects de confort de travail, de la multiperformance (économique, environnementale et sociale…) et de maîtrise des processus.

Le réseau des Digifermes constitue à ce titre un réseau d'innovation en agriculture numérique original, qui complète une offre assez large de dispositifs de recherche-développement-innovation-formation (UMT, RMT, chaires, pôles de compétitivité, SATT, villages de *start-up*…). Son positionnement sur l'échelle TRL se situe entre 6 et 9, c'est-à-dire dans les phases de maturation finale des technologies en pré-marché / pré-série ou au stade de technologies matures et disponibles pour les agriculteurs. Les Digifermes permettent de tester ces innovations numériques *in situ*, dans des conditions de fermes

réelles mais disposant de ressources humaines techniques et scientifiques permettant de tester des solutions dans le cadre de protocoles expérimentaux ouverts et rigoureux. Cela offre aux entreprises présentes sur le territoire de rayonnement des Digifermes un terrain d'accueil pour éprouver leurs solutions et les inscrire dans des systèmes de production permettant une évaluation multicritères et systémique. Ces dispositifs facilitent ainsi une prise de risque que ne peut pas se permettre un agriculteur souhaitant disposer de solutions déjà éprouvées sur le terrain et dont la valeur d'usage lui aura été démontrée notamment par les organisations de recherche et développement en qui il a confiance (instituts techniques, Chambres d'agriculture…).

La Digiferme va couvrir trois espaces d'innovation :

- L'espace de co-conception est l'espace où se noue le lien avec les *start-up* et les entreprises innovantes (plus d'une centaine ont déjà collaboré avec des Digifermes). Les Digifermes nouent des partenariats avec les entreprises innovantes des nouvelles technologies de l'agriculture (AgTech) qui souhaitent améliorer et accélérer leurs processus de conception et de maturation technologiques. Cela peut s'inscrire dans des projets de R&D disposant de co-financement public-privé.
- L'espace de test est l'espace où vont être évaluées des solutions matures en pré-série ou déjà sur le marché selon la démarche expérimentale. Les utilisateurs finaux – le plus souvent les agriculteurs eux-mêmes – souhaitent disposer d'avis neutres et s'appuyant sur une démarche méthodologique rigoureuse les aidant à apprécier la valeur ajoutée des technologies qui leur sont disponibles. Ici sont mobilisés les dispositifs expérimentaux terrain, l'expertise technique des agents des Digifermes et l'appui de méthodes et d'outils d'évaluation multicritères permettant de mesurer des indicateurs de la multiperformance (notamment économiques, sociaux et environnementaux). La valeur ajoutée du réseau est le partage des protocoles et des connaissances acquises.
- L'espace d'utilisation s'appuie sur la démonstration, la formation et l'accompagnement au déploiement. C'est ici que s'opère le lien avec les réseaux d'agriculteurs du territoire dans lequel s'inscrit la Digiferme, qui devient le lieu donnant à voir l'intégration des technologies et de mise en pratique. Cet espace permet de mesurer les freins à l'adoption aux technologies numériques, qui sont liés à différents aspects : l'ergonomie des solutions, leur coût d'accès, les questions d'interopérabilité, la confiance et la sécurisation des données, la nécessité de formation ou d'apprentissage, l'obsolescence, les problèmes de pannes et de connectivité… Cet espace doit aussi offrir des possibilités d'itérations avec les entreprises (évolution des usages, *feedback* utilisateur).

Analyse

Voir le Tableau 2, pp. 110-111.

Le dispositif Occitanum

Origine et réalisations

Occitanum, lancé en 2020, se définit comme le LL qui met le numérique au service de l'innovation collective dans les territoires agricoles (https://www.occitanum.fr/). Occitanum a émergé sur le territoire d'Occitanie pour mettre en place et développer un dispositif d'innovation visant à participer à la convergence et à l'accélération des transitions de l'agriculture et de l'alimentation en mobilisant les technologies numériques. Déployé sur un archipel de sites, il propose d'expérimenter en grandeur nature avec l'ensemble des acteurs (recherche, développement, entreprises, agriculteurs, citoyens) l'apport des

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Objectifs	- Prise en compte constante de la biodiversité ; - Hétérogénéité et quantité de connaissances produites : L'ancrage au niveau du système d'exploitation est la particularité du dispositif. Chaque Digiferme se positionne comme un « phare » (*lighthouse*) au sein d'un territoire (LL) ; - La mise en réseau permet la production et la dissémination des connaissances sur les technologies.	La force des Digifermes réside dans son effet réseau, offrant ainsi une diversité des situations pédo-climatiques, une diversité des filières couvertes, et des compétences variées pour des porteurs offrant ainsi des spécificités locales et une interconnexion produisant des connaissances qui vont se confronter les unes avec les autres et permettre d'imaginer des transferts de technologies d'une filière à l'autre. En termes de productions : - documentation pour l'expérimentation (protocoles expérimentaux, plans de gestion de données…) ; - partages sur les technologies testées (stations météo, capteurs, logiciels...).	Une caractérisation fine des environnements des Digifermes dans leur territoire est à réaliser (SIG…). Beaucoup d'indicateurs sur la multiperformance ont été établis et permettent d'évaluer en multicritères les systèmes d'exploitation, mais assez peu sur la biodiversité.
Activités	- Évaluation du système ; - Production de connaissances / données ; - Apprentissage ; - Gestion des aléas.	L'évaluation est multicritères (mise au point d'une boîte à outils EMC à l'échelle de l'exploitation agricole), intégration des innovations numériques comme "*input*", mais aussi "*output*" du système d'exploitation. Les protocoles expérimentaux sont partagés ainsi que les synthèses des essais. Le renforcement des compétences fait partie de l'agenda (journées portes ouvertes, formations, séminaires…). Les applications sont co-développées et permettent ainsi de mieux gérer les aléas (climatiques, économiques…), les échanges aident au choix dans une diversité de solutions (le type OAD, ou couplage capteurs/actionneurs sur robot, matériels d'irrigation, de gestion des bâtiments d'élevage…).	- Étudier davantage le pouvoir transformant du numérique dans l'exploitation agricole (dépasser l'optimisation et la substitution pour explorer davantage la reconception) ; - Mieux partager les données produites.

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Participants	- La notion d'utilisateur est plus diverse ; - Gouvernance complexe et décentralisée ; - Orientation vers les biens communs.	Au sein des Digifermes participent des ingénieurs et techniciens, chefs d'exploitation agricole, des chercheurs, des entreprises. Les projets sont le plus souvent co-financés sur fonds publics et fonds privés, et correspondent donc à la croisée des attentes professionnelles et sociétales. Les questions de confidentialité, de secret des affaires, de concurrence et de confiance sont au cœur des préoccupations dans une gouvernance qui peut être complexe avec des positions opposées sur l'ouverture des résultats et des données par exemple, mais qui sont le plus souvent levées. Le financement public, national ou européen, de nombreux projets permettent de développer l'*open data* et l'*open source*, et donc vont vers le bien commun informationnel et des connaissances produites dans le réseau.	- Traiter de quand et pour quel objectif privatiser la fermeture des plateformes collectant des données.
Contexte	- Accueil d'approches inter- et trans-disciplinaires ; - Origine du dispositif, facteurs de confiance et de mise en partage des valeurs.	Les projets mis en œuvre réunissent des compétences variées et permettent surtout de rapprocher les agronomes et les métiers de l'informatique, mais aussi de plus en plus les *data scientists*, les ergonomes, les économistes et les spécialistes des questions environnementales (mesures d'impact, analystes des cycles de vie, énergie…). À noter aussi le développement dans ces projets des métiers de la communication et du marketing impliqués de plus en plus tôt. Le positionnement en TRL élevé au niveau des Digifermes implique davantage les sciences et techniques appliquées que la recherche académique.	- Intégrer davantage des compétences et questionnements dans le champ des sciences humaines et sociales dans les projets ; - Poser la question de la sobriété numérique, sujet encore situé au tout début des préoccupations et des développements.

technologies numériques pour le renforcement de l'agroécologie, l'accès à une alimentation locale et durable pour tous, l'amélioration des revenus des agriculteurs et le développement économique territorial. L'objectif d'Occitanum est de proposer une agriculture exemplaire, nourrissant le premier circuit alimentaire de proximité en France :

- Côté agriculture, les résultats attendus sont la création d'un écosystème entrepreneurial et une adoption plus rapide des technologies numériques du fait de leur co-conception, ainsi que l'amélioration de l'accompagnement par la formation et la démonstration. Dans les territoires concernés, ceci se traduira par la réduction de l'empreinte environnementale des productions (réduction globale visée de 20-30 %), l'adaptation au changement climatique, l'amélioration du revenu des agriculteurs et de l'attractivité des métiers agricoles. Occitanum contribuera à reconstruire le lien agriculture-société et l'image de l'agriculture en région Occitanie et au-delà, grâce à la réplicabilité de l'expérience et la généralisation des innovations.
- Côté alimentation, le résultat attendu est l'accès à une alimentation locale grâce au couplage d'une plateforme de produits locaux et d'une logistique efficace et durable, qui serait une première française.

Occitanum est organisé en sept "*open labs*", qui abordent chacun les questions relatives à une filière agricole, distribués en un « archipel » de territoires pilotes. Sur les territoires de chaque *open lab*, des projets innovants sont co-construits par divers acteurs, et des

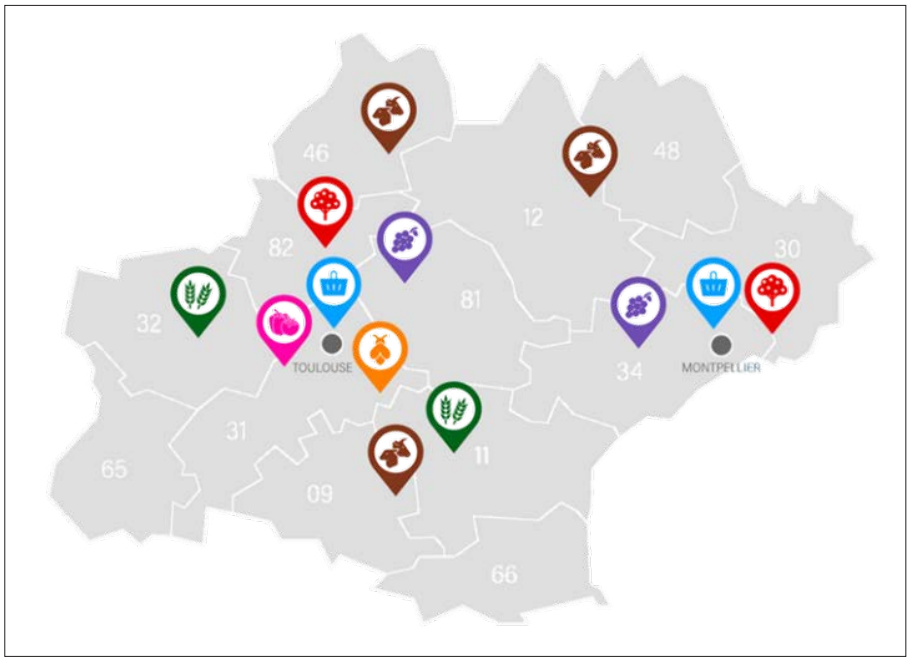

Figure 2 : Répartition des sites des *open labs* en Occitanie.
Construire l'approvisionnement local par une logistique durable ;
Aider l'apiculture professionnelle et la mobiliser au service de la biodiversité et de l'agroécologie ;
Produire avec sobriété (en intrant) en arboriculture et diversifier les revenus ;
Améliorer le bien-être animal et valoriser les systèmes d'élevage produisant à l'herbe ;
Accompagner les grandes cultures vers l'agroécologie et diversifier les revenus ;
Articuler "*low tech*" et "*high tech*" pour les exploitations en maraîchage ;
Préparer la viticulture aux enjeux climatiques et environnementaux
(Source : www.occitanum.fr).

solutions numériques sont déployées et évaluées quant à leur impact environnemental, leur valeur d'usage et leur conséquence économique, et améliorées par une interaction directe entre les acteurs impliqués dans le projet innovant (entreprise AgTech / usager / recherche / acteurs du territoire).

L'*open lab* est lui-même composé de plusieurs sites, pour être au plus près des réseaux d'acteurs mobilisés dans les projets innovants (unité d'œuvre d'Occitanum). Le processus d'innovation ouverte suit une démarche permettant partage et démocratie (voir la Figure 2 ci-dessous).

Ce processus est complété par un certain nombre de méthodes et d'outils permettant traçabilité et réplicabilité des approches malgré la diversité des filières. L'ensemble de ces méthodes et outils est regroupé dans une entité nommée le CORE, qui est le centre de valorisation et organe de pérennisation du projet, et permet animation, impulsion de nouveaux projets, formation, capitalisation, réplication, valorisation des données, expertise AgTech, interface avec les dispositifs de recherche.

Analyse

Voir le Tableau 3, pp. 114-115.

Le numérique en innovation ouverte pour l'agroécologie, un pas vers le numérique responsable

Le cadre proposé pour relever les particularités du développement du numérique en agriculture *via* l'innovation ouverte – les caractéristiques uniques des laboratoires vivants à même d'accélérer la transition agroécologique – a été fertile. Il a permis de mettre l'accent sur la valeur transformative de programme en cours et de repérer les inflexions à donner pour un numérique responsable.

En termes d'objectifs, ces dispositifs « touchent au vivant », s'enrichissent de la prise en compte de la diversité et savent faire face à la plus grande hétérogénéité et quantité de connaissances produites

Digifermes, comme Occitanum, ont réussi à consolider un système intégré aux localisations multiples, à avoir à la fois un ancrage territorial fort, des dispositifs localement spécialisés, et dont les spécialisations se complètent dans une vision intégrée. Co-conception, ouverture aux usagers, flexibilité des organisations sont des principes communs qui rendent le dispositif bien vivant. De fait, c'est une forme de valorisation de la diversité du vivant que ces dispositifs intègrent jusque dans leur mode de fonctionnement et de gouvernance. Dès lors, la valorisation des processus biologiques demande de nouvelles façons de modéliser, de recueillir des données et de repenser en profondeur la chaîne agroalimentaire et son organisation en territoires, en fonction des besoins de consommation, comme un processus adaptatif qui se construit en avançant sur une trajectoire ne pouvant être définie à l'avance.

Certes, la modélisation pour la transition agro-écologique ajoute un niveau de difficulté supplémentaire, en cela elle mobilise de multiples niveaux d'organisation qui interagissent fortement entre eux. On peut par exemple distinguer une grande variété de niveaux d'échelle : l'échelle moléculaire et cellulaire, qui est celle de l'étude génétique ; l'échelle des organismes, de la physiologie et de l'expression phénotypique ; celle de la parcelle et de l'exploitation agricole ; et enfin, l'échelle des paysages et des communautés mobilisant l'écologie et les dynamiques des populations. Les modalités de

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Objectifs	- L'ancrage dans les « territoires » est particulièrement essentiel ; - L'hétérogénéité et la quantité de connaissances produites sont particulièrement remarquables (des pratiques aux politiques).	Occitanum crée en Occitanie un terrain d'expérimentation et de démonstration en vraie grandeur de l'apport des technologies numériques à l'agriculture et au développement économique territorial. Ceci est rendu possible grâce à la mise en place d'un dispositif de sites et d'animations permettant le co-design de solutions numériques sur des thématiques de filières variées.	- Renforcer le nombre de sites et dépasser la logique filière qui pour l'instant prévaut dans Occitanum (innovation couplée).
	- Prise en compte constante de la biodiversité	Les solutions proposées sont au service de la transition agroécologique, vue de manière assez large : réduction des intrants de synthèse par une meilleure connaissance des hétérogénéités et amélioration des services écosystémiques et du bien-être des agriculteurs et des animaux.	- Le lien à l'agroécologie est parfois ténu dans certaines innovations. Renforcer cette composante.
Activités	- Les résultats du LL s'évaluent au niveau du système ; - Activités renforcées de la capacité des acteurs ; - Dispositifs gourmands en connaissances, (connaissances sont en composition plus diverses, tacites et explicites).	Les solutions proposées doivent permettre aux populations d'avoir accès à une alimentation locale et durable. Pour ce faire, un *open lab* est ciblé sur l'alimentation de proximité. Les solutions numériques proposées doivent permettre aux agriculteurs de retrouver un revenu décent tout en ne les asservissant pas ; pour ce faire, un atelier mobile a été mis en place (mobilab, www.agrotic.org/mobilab/), qui est du type « atelier paysan » (www.latelierpaysan.org).	- L'*Open-Lab* centré sur l'alimentation de proximité cherche encore sa structure, sa thématique et son insertion territoriale. Sera à lier avec le développement des Plans alimentaires territoriaux : - L'évaluation des solutions numériques n'est pas encore finalisée. Les solutions étant diverses, les protocoles de recueil de données et d'analyse sont complexes. Les trois dimensions (environnementale, sociale et économique sont à prendre en compte).

	Enjeux	Réalisations effectives	À dépasser
Participants	- La diversité des participants est particulièrement élevée. La notion d'utilisateur est plus diverse.	Afin de créer les trois niveaux de valeurs (bien social, bien financier, connaissance), Occitanum privilégie de faire converser les agriculteurs et leurs conseillers, les dépositaires des solutions numériques (entreprises de l'AgTech) et les chercheurs. Cependant, en lien avec l'ancrage territorial recherché, les acteurs des gouvernances locales peuvent également être parties prenantes (communauté de communes, mairie...).	- Aller vers une implication des citoyens. Cela pourra se faire plus facilement dans l'*open lab* « alimentation de proximité ».
Contexte	- Développer des approches inter- et trans-disciplinaires ; - Connaître l'origine du partage des valeurs.	Occitanum mobilise : - Des ressources scientifiques pluridisciplinaires et rompues à la recherche-action ; - Une dynamique d'innovation ouverte associant entreprises, collectivités, recherche, agriculteurs, consommateurs, citoyens ; - Un tissu entrepreneurial particulièrement mobilisé ; - Un réseau d'*open labs* territoriaux, lieux d'expérimentation et de démonstration ; - Un dispositif d'apprentissage et de capitalisation pour la réplication de l'expérience ; - Des investissements dans des entreprises innovantes du numérique agricole ; - Une durée de huit ans pour mettre en place, expérimenter, évaluer et diffuser des innovations.	- Les questions inter- et trans-disciplinaires ne sont pas facile à traiter. La frilosité des chercheurs (qui peut se comprendre de par les critères d'évaluation) doit être dépassée. Cependant, toute question de terrain n'est pas obligatoirement une bonne question de recherche. Il faut une présence terrain parfois difficile à assumer.

travail des Digifermes, comme celles d'Occitanum, indiquent une marche pouvant être suivie : celle de tenter, localement dans un objectif commun ambitieux et environné, d'acquérir et d'opérationnaliser des connaissances apportées par l'agroécologie.

En retour, leur expérience vient impulser des évolutions à la démarche modélisatrice classique ; pour les Digifermes, la suite est d'aller vers une caractérisation encore plus fine de leur environnement, et en particulier de sa biodiversité ; pour Occitanum, il s'agit de multiplier le nombre de sites, d'abonder ainsi la logique de filière. La question des variations et des aléas est alors dépassée. La modélisation mathématique appliquée à l'agriculture doit donc chercher davantage à combiner les approches classiques (analyses de données, statistiques, méthodes probabilistes…) aux approches mécanistes et systémiques. L'apport des grands volumes de données (*big data*) et des algorithmes d'intelligence artificielle (*machine learning*…) est prometteur, et trouve déjà de nombreuses applications notamment *via* des couplages capteurs-outils d'aide à la décision. Mais ils sont aujourd'hui essentiellement appliqués à des outils d'optimisation tactiques, et beaucoup moins sur des outils de simulation permettant d'aider aux choix stratégiques visant la reconception de systèmes agri-alimentaires.

En termes d'activités, les dispositifs sont « à l'épreuve du terrain », ils savent prototyper, mettre en place des évaluations rapides et partagées, co-concevoir

Dans les Digifermes, comme pour Occitanum, tester en conditions réelles est de mise. Les solutions co-conçues sont expérimentées dans des dispositifs larges et connectés en réseau ou selon des protocoles rigoureux mettant en place des répétitions pour tenir compte de la diversité des situations (pédo-climatiques, économiques, sociales…). Les démarches de co-construction dans ces dispositifs s'appuient sur des développements adaptatifs basés sur des prototypages rapides et des tests successifs, ce qui nécessite de mettre au point des méthodes innovantes (traque aux innovations, ateliers de co-conception…) et d'accepter le déploiement de solutions imparfaites qui vont s'améliorer par itération ou être arrêtées si les retours utilisateurs ne sont pas concluants (apprentissage / capitalisation et retours d'expérience). Cela entraîne mécaniquement de pouvoir disposer d'un soutien et d'un accompagnement pour absorber la prise de risque et la partager au sein des parties prenantes et des usagers. Ces dispositifs sont en capacité de combiner une grande quantité et hétérogénéité de connaissances (ils en sont d'ailleurs « gourmands »), mais ce n'est pas leur seule caractéristique. Ceci est combiné à un véritable engagement à faire du renforcement des compétences une de leurs activités essentielles.

Leur préoccupation pour la suite ? Un investissement des communautés scientifiques et des décideurs dans l'étude du pouvoir transformant du numérique dans l'exploitation agricole, dans, plus largement, l'évaluation des solutions numériques dans leurs dimensions économiques, environnementales et sociales.

En termes de participants, ces dispositifs savent être centrés sur l'usager et partir des besoins, ils savent élargir la notion d'utilisateur en tant que de besoin, comme adapter l'ensemble de cette organisation, multi-centrée « par l'usage » et « en tant que de besoin »

Les Digifermes et Occitanum ont en commun la mise en avant et l'organisation du recueil des attentes des utilisateurs en se plaçant du point de vue des usagers, et non des fournisseurs de solutions technologiques. Cela passe par une implication directe des agriculteurs dans les processus de conception pour aboutir à des services réellement innovants,

utiles et ergonomiques. En intégrant les utilisateurs finaux dans les développements, dès les premières idées, le but est de créer des services plus personnalisés et adaptés aux usages opérationnels des acteurs de terrain. Ces recueils d'attentes permettent d'organiser la rencontre entre agriculteurs, recherche et entreprises pour veiller à l'adéquation entre offre et demande, et doivent s'intéresser à la « proposition de valeur » des services numériques, c'est-à-dire veiller à l'alignement entre services et fonctionnalités proposés et bénéfices et usages attendus.

Leurs attentes ? Les moyens d'aller plus loin. D'un côté, il s'agira de se doter de règles de propriétés et de communautés, entre biens privés, publics et communs. Ceci est une question ouverte de recherche, mais, dans l'intermédiaire, anticipation des problématiques, logigrammes et partages d'expérience sont essentiels. D'un autre côté, la notion d'usager ne se limite plus au seul écosystème de l'innovation agricole, elle va jusqu'au citoyen, et là toute l'expérience des *living labs*, en particulier de ceux qui sont « situés » (villes durables, nouvelles ruralités), fera gagner du temps.

En termes de contexte, ils ne craignent pas de mobiliser un écosystème complexe incluant le regard sociétal, le digital responsable n'est pas un objectif supplémentaire, il se conçoit « en même temps »

Digifermes comme Occitanum font appel à des démarches interdisciplinaires, voire transdisciplinaires, en restant attentifs à ce que l'étape essentielle soit que toutes les parties prenantes s'accordent sur les valeurs. L'initiative des Digifermes fait se rapprocher les métiers de l'agronomie, de l'informatique, les ergonomes et les spécialistes des questions environnementales ; implique au plus tôt ceux qui normalement n'interviennent qu'une fois les produits finis (communication, marketing…). C'est une sorte de « recherche » ensemble.

Pour Occitanum, c'est aussi une combinaison de ressources, recherche-action, tissu entrepreneurial, réseaux d'acteurs du territoire, expérimentation, démonstration, apprentissage, investissements, capitalisation. De telles mobilisations demandent du temps et que ces dispositifs s'inscrivent dans la durée. La responsabilité se construit aussi au fur et à mesure de la confiance.

Leurs attentes ? Faire avec rigueur et sobriété. D'un côté, le souhait d'une implication du champ des sciences humaines et sociales, avec qui les questionnements pourraient également mieux se co-construire, et, d'un autre côté, consolider les moyens de penser « sobre » dès le début du cycle d'innovation. C'est la manière de faire que nous voudrions pointer dans le paragraphe suivant.

Pour aller plus loin, penser d'abord « sobre »

À l'aune de ces expériences, de leur analyse et de ce qu'il faut pour dépasser les limites actuelles, nous avons cherché à établir un *vade-mecum* du « comment penser "sobre" ».

Traiter la question de la donnée : pour qui, à qui, pour en faire quoi

En fonction du type de système numérique mobilisé, des données peuvent être envoyées vers différents stockeurs. La thématique des GAFAM (pour Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft) est une vraie question en agriculture (Rotz *et al.*, 2019 ; grain.org/fr/article/6596). Les données du fonctionnement des cultures, des élevages, des itinéraires techniques, des données climatiques, de comptabilité... sont très riches en expérience, en données personnelles, en potentialités de valorisation. Qui va bénéficier de ces données

et des produits qui pourraient en provenir ? Comment faire pour que l'agriculteur ait un retour sur ses propres données ? Comment faire pour que la valeur ajoutée en lien avec ces données soit reversée d'une manière ou d'une autre aux agriculteurs ? Il s'agit bien ici d'une question d'éthique de l'usage des données. Cette question peut parfois se traiter dès le début du processus de conception des innovations technologiques avec l'aide de chartes correctement rédigées (charte DataAgri, *Code of conduct* au niveau EU, loi sur les données "Data Act" 2022). Il ne s'agit pas d'en faire un frein à l'utilisation, mais bien de déterminer les conditions d'usage comme cela est d'ailleurs décrit dans les lois sur les données individuelles (livre blanc ACTA, 2016). Cependant, il est clair que ni les agriculteurs ni leurs conseillers, ou très peu, n'ont les compétences sur ces aspects juridiques autour du droit de la donnée. Il faut donc mettre en place et développer un soutien à ce processus. Des dispositifs tels que le Multipass est un début de solution (https://numerique.acta.asso.fr/multipass-5-charte/). Le projet Multipass lancé en 2018 visait à mettre à disposition des producteurs et des valorisateurs de données agricoles, un écosystème de gestion des consentements des agriculteurs protégeant les échanges de données des exploitations. En renforçant la confiance des producteurs nécessaire au partage de leurs données, le projet a permis de faire émerger de nouveaux services innovants (solution AgriConsent développée par AgDataHub). D'autres sont à co-construire.

Ne pas minimiser la fracture numérique : zones blanches et grises

La couverture numérique n'est pas totale en France. On y trouve encore, et surtout dans les campagnes, des zones blanches ou grises avec des accès difficiles, très limités ou inexistants aux réseaux numériques, et de ce fait des mobilisations en temps réel de la donnée difficiles pour l'action. L'utilisation de certains systèmes de transfert n'y est pas fonctionnelle. Quels sont les risques de « fracture numérique » dans les territoires ? Ces questions doivent être intégrées aux processus de co-conception des solutions numériques pour les rendre davantage inclusives. Des choix technologiques peuvent être faits pour pallier ces difficultés (sobriété réseau, *edge computing*…). Des innovations dans le transfert des données, dans le *edge computing*, sont à attendre pour favoriser ce numérique agricole. En regardant la valeur du local, tout en s'inspirant de ce qui se fait à l'étranger (ex. les pays en développement où le signal est très faible), nous pourrons encore escompter des progrès.

Évidemment, ne pas omettre le coût

En fonction du type d'outil numérique concerné (capteurs, outils d'aide à la décision, robots, agroéquipements connectés, plateformes numériques…), les coûts seront bien différents. Certains de ces coûts sont simples, mais d'autres peuvent être cachés tels que les abonnements pour les « applis » pour des outils Android ou progiciels, mais aussi les capteurs (des stations météo…), les plateformes de vente collaborative... Il est important de bien déterminer tous ces coûts au regard des économies que l'application du numérique peut engendrer. Pour diminuer les coûts, la collectivisation des outils numériques est possible dans certains cas (ex. de CUMA d'outils numériques). Mais on l'aura bien compris, la notion de coûts / bénéfices n'est pas qu'une question financière. Il s'agit également de coûts et de bénéfices environnementaux et sociaux. Ces derniers sont également complexes à mesurer. Nous proposons d'aller vers une évaluation des intrants numériques et intrants technologiques, et de penser recyclage tout en réduisant les obsolescences abusives.

Estimer les apprentissages : voir comment démystifier, en étant imaginatifs

Le numérique fait encore peur. Tout un travail reste nécessaire pour faire comprendre ce numérique. Ceci doit être mené dès les premiers cycles de formation (dans les lycées agricoles en lien avec les exploitations d'application) ou encore en formation pour adultes en lien avec VIVEA et les Chambres d'agriculture. Mais le numérique est un secteur qui évolue très rapidement (loi de Moore). Toutes les technologies ne sont pas au même niveau de maturité, et il y a beaucoup d'obsolescences ou d'innovations – qualifiées de très prometteuses au départ mais ne se concrétisant pas – ce qui peut démotiver les « pionniers » (ex. échec de Air Innov, SigFox...). Il est important d'aller vers de la formation, de la co-construction, à l'instar des ateliers paysans qui traitent expressément de l'asservissement à la technologie. Il serait souhaitable de développer des *fab-labs*, des mobilabs plus nombreux.

Se rendre compte de la surcharge cognitive

C'est un vrai sujet, par exemple pour les éleveurs qui peuvent avoir de très nombreuses applis de gestion et de pilotage dans leurs exploitations (robot de traite, alerte chaleur, robot d'alimentation, clôture virtuelle, etc.) qui fonctionnent en permanence et qui peuvent envoyer des alertes SMS H24 sur leur *smartphone*. Le risque pour l'éleveur est qu'il ne puisse plus jamais « couper ». Quel droit à la déconnexion pour les professionnels ? Il s'agit ici d'un véritable choix sociétal. Quelques travaux ont déjà été menés sur ces nouveaux outils (Hostiou *et al*., 2017 ; Martin *et al*., 2021).

Conclusion

Plutôt qu'une conclusion, nous préférons rappeler ou faire un appel aux différentes communautés de l'écosystème d'innovation agricole, aux chercheurs, aux enseignants, aux producteurs, aux conseillers, aux porteurs des politiques publiques, aux citoyens, pour qu'ils donnent la chance aux laboratoires vivants des agroécosystèmes de vraiment faire « œuvre ». Ce sont des dispositifs que l'on ne peut réduire à une définition, à un *process*. Ils ont pour seul principe la co-conception, en conditions de réalités, avec les usagers. C'est tout… et c'est extrêmement fertile.

Dans nos secteurs de la production et de la transformation agricoles, ils ont des particularités qui les rendent uniques par rapport à d'autres laboratoires vivants et au sein de notre écosystème d'innovation, uniques et avec un potentiel de transformation et, comme nous venons de le voir, d'innovation responsable bien efficace, qui peut se produire en « faisant ».

Nous en appelons aux différentes communautés pour, de concert, déployer un numérique sobre en levant les limites que nous avons identifiées :

- pouvoir projeter sur le temps long ;
- investir dans les apprentissages et le développement de capacités de co-conception ;
- trouver les modalités pour co-construire des propositions et questionnements avec les sciences humaines et sociales ;
- développer des travaux sur la manière de régler la question des propriétés et celle des valeurs dans un mélange de biens privés-biens publics, biens communs. Il y a là besoin d'innovation ;

- investir dans l'étude du pouvoir transformant du numérique dans l'exploitation agricole et, plus largement, l'évaluation des solutions numériques, dans leurs dimensions économiques, environnementales et sociales ; fournir les données et les modèles pour la sobriété.

Ce qui est en train de se passer localement, exemplifié par les Digifermes et Occitanum, est riche d'orientations sensées, pour peu que l'on ait le cadre pour les révéler. Et le modèle économique pour les faire vivre.

Références

« Accord de Paris » (2015) Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, Nations unies, https://fr.wikipedia.org/wiki/fr:Convention-cadre_des_Nations_unies_sur_les_changements_climatiques

ACTA (2016), « L'accès aux données pour la recherche et l'innovation en agriculture. Position des Instituts techniques agricoles », 46 p.

ALAM M. & PORRAS J. (2018), "Architecting and designing sustainable smart city services in a living lab environment", *Technologies*, 6(4), p. 99, doi: 10.3390/technologies6040099.

AGOGUÉ M. *et al.* (2013), "Managing innovative design within the health ecosystem : The living lab as an architect of the unknown", *Management & Avenir Santé*, n°1(1), pp. 17-32, doi: 10.3917/mavs.001.0017.

ALTIERI M. A. (1989), "Agroecology: A new research and development paradigm for world agriculture", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 27(1-4), pp. 37-46, doi: 10.1016/0167-8809(89)90070-4.

BELLON-MAUREL V. *et al.* (2022), « Agriculture et numérique : Tirer le meilleur du numérique pour contribuer à la transition vers des agricultures et des systèmes alimentaires durables », INRAE, livre blanc, 198 p.

BOUTTET D. & PIERSON P. (2017), « Digifermes® : Un laboratoire des technologies numériques », https://driaaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/GTagri-02_05b-DigifermeBG-Article_cle812835.pdf

CAQUET T., GASCUEL C. & TIXIER-BOICHARD M. (2020), *Agroécologie. Des recherches pour la transition des filières et des territoires*, Paris, Quae.

DE SCHUTTER O. (2014), « Le droit à l'alimentation, facteur de changement », rapport soumis par le Rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation », 10538.

FAO (2021), "The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point", Rome, synthesis report 2021, https://doi.org/10.4060/cb7654en

FUNTOWICZ S. O. & RAVETZ J. R. (2003), "Post-normal science", *Internet Encyclopaedia of Ecological Economics*, pp. 1-10, doi: 10.1007/978-3-8350-9053-8_13.

HOSTIOU N. *et al.* (2017), "Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review", *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.,* 21.

IPCC (2022), "Summary for Policymakers", *in* PÖRTNER H.-O. *et al.* (éd.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, Cambridge University Press.

MAMBRINI-DOUDET M. *et al.* (2022), "Vision for building the network of living labs and research infrastructures for agroecology", deliverable 1.1 of the European project ALL-Ready, submitted. ALL-Ready (2021-2024) has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No

101000349; the conceptual framework is accessible on the website https://www.all-ready-project.eu/all-ri.html

MARTIN T. *et al*. (2021), "Robots and transformations of work on farms: A systematic review", 2nd International Symposium on Work in Agriculture. Thinking the future of work in agriculture, March 29th – April 1rst, 2021, France: Clermont-Ferrand.

MOROZOV E. (2013), *To Save Everything, Click Here: The Folly of Technological Solutionism*, New York, PublicAffairs, 432 p.

MCPHEE C. *et al*. (2021), "The defining characteristics of agroecosystem living labs", *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), pp. 1-25, doi: 10.3390/su13041718.

PÖRTNER H. O. *et al*. (2021), "IPBES-IPCC co-sponsored workshop biodiversity and climate change", *IPBES and IPCC*, 115(4), pp. 608-609, doi: 10.5281/zenodo.4782538. IPBES.

ROCKSTRÖM J. *et al*. (2009), "Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity", *Ecology and Society*, 14(2), pp. 1-36, doi: 10.5751/ES-03180-140232.

ROTURIER C. (2019), « Les sciences et recherches participatives à l'INRA », *Revue Forestière française*, (2), p. 143, doi: 10.4267/2042/70625.

ROTZ S. *et al*. (2019), "The politics of digital agricultural technologies: A preliminary review", *Sociologia Ruralis*, 59(2), pp. 203-229, doi: 10.1111/soru.12233.