



Saisine du Comité Scientifique CTPS

Quelles variétés pour l'agroécologie ?



Aurélia Gouleau, Arnaud Gauffreteau, Patrice This, Delphine Tailliez, Julie Gombert, David Gouache, Bénédicte Bakan, Stéphane Cordeau, Jérôme Enjalbert, Anne Laperche, Valérie Leclère, Christel Leyronas, Fabrice Lheureux, Valérie Mazza, Frédéric Moquet, Anne Wagner, Marie-Hélène Bernicot, Laurence Fontaine, Virginie Bertoux, Christian Huyghe

Novembre 2021

Table des matières

Liste des abréviations	3
Résumé exécutif	4
Abstract	7
Introduction	10
1. Evolution des espèces, variétés, semences et plants, et diversité génétique nécessaires à un modèle agricole reposant sur l'agroécologie	15
1.1. Les services attendus des cultures dans les systèmes agroécologiques	15
1.2. Les évolutions des systèmes de culture au cœur de l'agroécologie	17
1.3. Quelles conséquences de la transition agroécologique sur les espèces cultivées ?	19
1.4. Quelles caractéristiques variétales faut-il sélectionner ?	20
1.5. Quelle diversité génétique pour l'agroécologie et à quelle échelle doit-on la réfléchir ?	25
1.6. Comment l'agroécologie impacte-t-elle la sélection, l'évaluation et la production des variétés et semences ?	27
2. Place des démarches participatives pour la création variétale en agroécologie	31
2.1. Cadre théorique des démarches participatives	31
2.2. Les démarches participatives dans le domaine de la sélection et l'évaluation des variétés végétales	35
2.3. Cadres réglementaires et administratifs pour les approches participatives	40
3 Modalités d'évaluation des variétés pour l'agroécologie et incidences sur l'inscription des variétés	42
3.1. Modalités d'inscription et d'évaluation des variétés pour les différentes espèces	42
3.2. Comment mieux évaluer les variétés pour l'agroécologie ?	42
3.3. Quelles adaptations des règles pour l'inscription de variétés pour des systèmes agroécologiques ?	46
4 Mise à disposition des résultats de l'innovation aux utilisateurs	53
4.1. Traitement de l'information sur les variétés	53
4.2. Généricité et diffusion des résultats variétaux obtenus lors de l'inscription	55
4.3. Semences et plants, vecteurs de diffusion de l'innovation	60
Conclusion	62
Références bibliographiques	64
Annexe 1 : Lettre de cadrage de la saisine	75

Liste des abréviations

AB : Agriculture Biologique

AE : Agroécologie

CASDAR : Compte d'Affectation Spécial « Développement Agricole et Rural »

CIMS : Culture Intermédiaire Multi-Services

CISAB : Commission Inter-sections dédiée à l'évaluation des variétés pour l'Agriculture Biologique

CISPS : Commission Inter-Sections Plantes de Services

COV : Certificat d'Obtention Végétale

COV : Composé Organique Volatile

CTPS : Comité Technique Permanent de la Sélection des plantes cultivées

DHS : Distinction, Homogénéité, Stabilité

DPI : Droit de Propriété Intellectuelle

FAO : Organisation pour l'alimentation et l'agriculture

GEVES : Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés Et des Semences

GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique

GxE : Génotype x Environnement

H2020 : Horizon 2020

IBEB : International Bremia Evaluation Board

IGE : Interaction Génotype-Environnement

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

ITA : Institut Technique Agricole

MHB : Matériel Hétérogène Biologique

NODU : NOmbre de Doses Unités

PPR : Programme Prioritaire de Recherche

RNE : Réseau National d'Expérimentation

RSP : Réseau de Semences Paysannes

SPAD2 : Semences et Plants pour une Agriculture Durable 2

TCS : Technique Culturelle Simplifiée

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

UE : Union Européenne

VATE : Valeur Agronomique, Technologique et Environnementale

VCU : Value for Cultivation and Use

Quelles variétés pour l'agroécologie ?

Saisine du Comité Scientifique du CTPS

Résumé exécutif

La transition agroécologique est aujourd'hui perçue comme une voie offrant de nombreuses possibilités pour améliorer la durabilité et la résilience des systèmes agricoles. De nombreuses politiques et plans de relance agricoles mettent l'accent sur cette voie.

L'agroécologie par la maximisation de l'usage des processus écologiques et notamment des interactions positives entre les plantes ainsi qu'entre les plantes et leur environnement abiotique ou biotique (micro-organismes du sol notamment) permet la minimisation du recours aux intrants de synthèse (engrais et pesticides). Pour cela, il ne suffit pas de rechercher le meilleur usage possible des ressources, ce qui conduirait à une agroécologie « faible », mais il faut également réaliser un saut qualitatif sur l'efficacité d'utilisation des intrants, et de reconcevoir des systèmes de production sobres en énergie faisant explicitement appel à des processus biologiques qui favorisent la fertilité des sols ou la régulation de bioagresseurs, afin d'aller vers une agroécologie « forte » (Duru *et al.*, 2014).

Le Comité Plénier du CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection des plantes cultivées) a sollicité le Comité Scientifique du CTPS afin qu'il éclaire, sur la base de la littérature scientifique et technique, ce qu'implique la transition agroécologique en termes d'espèces de variétés, de sélection, d'évaluation et de production de semences et de plants.

Besoins et diversité d'espèces, de variétés, de semences et de plants dans un modèle reposant sur l'agroécologie

L'agroécologie étant largement basée sur un accroissement des services rendus par les cultures, elle entraîne un besoin de plus d'espèces, de variétés et de diversité fonctionnelle. La diversité peut être obtenue en cultivant des associations d'espèces ou de variétés, mais également en agençant une plus grande diversité de variétés et d'espèces dans l'espace et dans le temps. Les espèces mineures, les plantes de service et les espèces de printemps ont un rôle important à jouer dans cette diversification. L'agroécologie est caractérisée par l'augmentation de la dépendance des variétés aux conditions locales. Davantage de variétés seront donc à sélectionner et à évaluer, pour des adaptations à des situations singulières.

Les traits importants à sélectionner et à évaluer en agroécologie sont nombreux. Ils concernent notamment la vigueur, la phénologie, et l'aptitude à l'association. D'autres traits, diversifiés, sont également à prendre en compte (dont les résistances aux maladies et autres bioagresseurs), et le compartiment souterrain est très peu exploré aujourd'hui. Enfin, les interactions entre la plante et son environnement prennent une importance particulière en agroécologie, en particulier les interactions entre variétés et microbiotes qui conduisent à élargir la caractérisation des variétés à leur holobionte.

La transition agroécologique multiplie les axes de sélection (services) et renforce le besoin d'accès à une diversité facilement modulable et adaptable, ce qui va nécessairement faire sortir l'agriculture du concept dominant de l'homogénéité, de la variété unique ou de la variété pure. Il pourra donc être utile de sélectionner une diversité de profils variétaux, complémentaires les uns des autres plutôt que de rechercher un nombre très limité de profils optimaux et ainsi permettre la constitution de portefeuilles de variétés plus stables et résilients capables de mieux valoriser des ressources fluctuantes dans le temps et de limiter voire de compenser l'impact de stress ponctuels peu prédictibles. Par exemple, disposer de profils de précocité variés au sein d'une même parcelle ou d'une même exploitation peut être une stratégie intéressante pour valoriser les ressources sur une plus longue période et éviter les accidents en cas de stress forts et ponctuels.

Si l'évaluation des variétés est aujourd'hui généralement multicritère (la productivité des variétés étant évaluée en fonction de leur qualité, de leur résistance à certains bioagresseurs, voire de leur mode de production), l'évaluation des variétés pour des systèmes agroécologiques suppose un accroissement sans précédent du nombre de critères à considérer. Cette évaluation devra considérer l'ensemble des

services attendus des cultures (dont l'accroissement de la fertilité des sols, le stockage du carbone ou la capacité à réguler la flore adventice), la diversité des usages possibles des récoltes (y compris les « petites » filières), des pratiques et des environnements de culture, cette diversité étant une spécificité des systèmes agroécologiques.

Place des démarches participatives pour la création variétale et l'agroécologie

Une approche participative consiste pour une personne en charge de résoudre un problème ou de concevoir une innovation à impliquer dans sa démarche les acteurs directement concernés par le résultat de son travail (Hazard et Audouin, 2016). Les démarches participatives peuvent intervenir à différentes étapes d'un processus d'innovation : au début du processus lors de la conception, ou tout au long du processus jusqu'au déploiement de l'innovation conçue. La spécificité des démarches participatives repose sur la diversité des acteurs et la diversité de leur mode d'intervention dans le processus d'innovation. Ainsi, définir un cadre commun est un facteur clé de succès de la réussite des démarches.

L'ensemble des démarches participatives repose sur la définition d'un objet et d'un objectif commun, i.e. une vision partagée du futur (Schmid et Mambrini, 2019). Dans le cas de l'innovation variétale et de la mise en œuvre de la sélection participative, cette dimension est essentielle. Aujourd'hui, ceci se produit notamment au travers des instances du CTPS, de façon très implicite au travers de la définition des critères d'inscription. L'innovation variétale construite autour de la transition agroécologique dessine un contexte nouveau, favorable à l'innovation variétale ouverte. Depuis plus de 15 ans, plusieurs programmes et expériences de sélection participatives ont été initiés en France, généralement plusieurs programmes et expériences de sélection participatives ont été initiés en France, généralement co-construits entre des équipes de recherche INRAE et des associations paysannes et citoyennes (Desclaux et al 2019). Ces programmes visent à répondre à une diversité de besoins en termes d'adaptation à des pratiques d'agriculture biologique et/ou agroécologiques, à des débouchés nouveaux et des conditions pédo-climatiques très variées.

Le déploiement de l'agroécologie à grande ampleur peut bénéficier des démarches participatives : la création variétale pour l'agroécologie devra introduire ces démarches pour les phases de sélection, d'évaluation, de caractérisation, et de conservation. Ces démarches pourraient répondre à la complexité engendrée par l'agroécologie, et aussi être créatrices de valeurs pour les différents acteurs impliqués (valeurs intellectuelle, financière, sociale). Des initiatives récentes au niveau européen, pour l'agriculture biologique notamment en céréales, sont autant de retours d'expériences à utiliser pour accélérer les démarches participatives dans le processus de création variétale.

Les démarches participatives sont complémentaires d'autres méthodes de sélection et d'évaluation. De plus, ces démarches semblent appropriées pour des espèces orphelines ou pour des situations agro-climatiques peu couvertes par les méthodes de sélection classique. Des verrous sont identifiés : financiers, organisationnels (accompagnement des démarches par une animation adaptée) et parfois méthodologiques. La mise en œuvre de telles démarches participatives pourra s'appuyer sur la « data science », ou encore le partage de nouveaux savoirs et savoir-faire dans les nombreux collectifs impliqués en sélection participative.

Les questions posées par les démarches participatives au niveau de l'inscription concernent la description des règles d'inscription, l'évaluation d'un matériel végétal plus hétérogène, l'intégration du « participatif » dans la réglementation, les dispositifs à activer afin d'obtenir un maximum d'information sur le comportement variétal, les garanties pour les sélectionneurs et les utilisateurs, l'analyse de données de l'évaluation participative, sans oublier le partage de valeurs générées.

Modalités d'évaluation des variétés pour l'agroécologie et incidences sur l'inscription des variétés

Les réseaux d'essais et les dispositifs devront évoluer pour considérer davantage de services, de milieux et de pratiques agricoles. L'évaluation des variétés reposera sur une combinaison d'essais au champ dont certains en agroécologie visant à caractériser l'adaptation des variétés à différents systèmes de cultures et d'essais en conditions contrôlées dédiés à l'étude de caractéristiques d'intérêt (allélopathie, résistance à des stress biotiques ou abiotiques...). Ces réseaux d'essais doivent être conçus en considérant le risque de perte d'essais qui peut être accru du fait d'un moindre recours à des

intrants de synthèse et le temps d'adaptation et de formation à de nouvelles pratiques pour les équipes mettant en œuvre les expérimentations (temps de transition).

Les règles d'inscription seront amenées à évoluer pour être en mesure d'inscrire des variétés pour des systèmes agroécologiques. Cela passera à la fois par l'intégration de nouveaux caractères dans la cotation et par la pondération donnée aux différents caractères. Compte-tenu de la diversification des conditions de culture et d'utilisation des variétés, l'agilité dans les règles d'inscription sera particulièrement importante.

Il faudra veiller à mener ces réflexions en gardant en tête la compétitivité des systèmes d'inscription des variétés au sein de l'UE (Union Européenne) et à maintenir l'attractivité du catalogue officiel français.

Intégration et diffusion des résultats variétaux pour l'agroécologie

Dans un contexte agroécologique qui implique toujours plus de diversité et demande d'évaluer toujours davantage de caractères, le CTPS a un rôle de tiers de confiance et d'orientation à jouer via la diffusion et l'intégration des données variétales dans un contexte agroécologique, du fait de sa capacité à intégrer les résultats au niveau national, en lien avec le continuum (données pré et post inscription) et en lien avec des données européennes. L'intégration de données variétales au niveau européen nécessitera d'avoir des critères communs évalués en lien avec l'agroécologie, tout en gardant des spécificités nationales en lien avec les besoins spécifiques actuels des filières et en insistant sur les adaptations locales. La plus-value de l'inscription et du CTPS pourrait être de se focaliser sur l'évaluation de caractères spécifiques essentiels aux biens communs apportés par les variétés (résistances aux bioagresseurs, tolérances à des conditions extrêmes...), ou sur l'évaluation de performance globale de variétés dans des situations en agroécologie, afin d'orienter vers une agriculture plus durable et d'inciter à la sélection de variétés plus adaptées à l'agroécologie.

Les semences et plants vont également jouer un rôle particulier, notamment en devenant potentiellement les vecteurs de microbiotes spécifiques, importants à la transition agroécologique. En conséquence, l'ensemble des activités associées aux semences et plants seront revisitées pour apporter les technologies nouvelles indispensables.

Dans le cadre de la transition agroécologique des systèmes agricoles, il sera ainsi nécessaire de penser et créer, et donc d'évaluer une variété dans son système de production, conduisant à combiner plus finement l'amélioration génétique, l'agronomie, mais aussi et plus largement l'ensemble des modalités et des ressources pour la conduite et la protection de ces couverts agroécologiques.

Le champ des succès possibles est considérable, et le CTPS, par la richesse des communautés qui y contribuent, aura un rôle clé à jouer dans l'atteinte de ces succès.

Which varieties for agroecology?

Abstract

Agroecological transition is now seen as a pathway with many opportunities to improve the sustainability and resilience of agricultural systems. Many agricultural policies and recovery plans emphasize this pathway.

Agroecology, by maximizing the use of ecological processes and particularly positive interactions between plants and between plants and their abiotic or biotic environment (soil microorganisms in particular), allows the minimization of the use of synthetic inputs (fertilizers and pesticides). To achieve this, it is not enough to seek the best possible use of resources, which would lead to a "weak" agroecology, but it is also necessary to make a qualitative leap in the efficiency of input use, and to redesign low-energy production systems in order to explicitly call upon biological processes that promote soil fertility or the regulation of pests and diseases, in order to move toward a "strong" agroecology (Duru *et al.*, 2014).

The Plenary Committee of the CTPS (Permanent Technical Committee on Plant Breeding) asked the Scientific Committee of the CTPS to shed light, based on the scientific and technical literature, on what the agroecological transition implies in terms of variety species, breeding, evaluation, and seed and plant production.

Needs and diversity of species, varieties, seeds and plants in an agroecology-based model

As agroecology is largely based on increased crop services, it leads to a need for more species, varieties and functional diversity. Diversity can be achieved by growing varietal associations or mixtures of species, but also by arranging a greater diversity of varieties and species in space and time. Minor species, intercropping, and spring species have an important role to play in this diversification. Agroecology is characterized by the increasing dependence of varieties on local conditions. Therefore, more varieties will have to be selected and evaluated for adaptation to specific situations.

There are many important traits to select and evaluate in agroecology. They include vigour, phenology, and ability for association. Other diversified traits are also to be considered (including resistance to diseases and other pests). The root compartment is little explored today. Finally, the interactions between the plant and its environment are of importance in agroecology, especially the interactions between varieties and microbiota, which are leading to a broadening of the characterisation of varieties to their holobionts.

The agroecological transition multiplies the goals of selection (services) and reinforces the need for access to easily modulated and adaptable diversity, which will necessarily move agriculture away from the dominant concept of homogeneity, single variety or pure variety. It may therefore be useful to select a diversity of varietal profiles that are complementary to each other, rather than seeking a very limited number of optimal profiles, and thus enable the creation of more stable and resilient variety portfolios able to make better use of resources, that fluctuate over time, and to limit the impact of occasional stresses that are difficult to predict. For example, having a variety of earliness profiles within the same plot or farm can be an interesting strategy for making the most of resources over a longer period and avoiding accidents in the event of strong and specific stresses.

While the evaluation of varieties is generally multi-criteria today (the productivity of varieties is evaluated according to their quality, their resistance to certain pests, or even their production mode), the evaluation of varieties for agroecological systems implies an increase in the number of criteria to be considered. This evaluation will have to take into account all the services expected from crops (including increased soil fertility, carbon storage or the ability to regulate weeds), the diversity of possible uses of crops (including "minor" sectors), practices and growing environments, this diversity being a specificity of agroecological systems.

Place of participatory approaches in plant breeding and agroecology

A participatory approach is, for a person in charge of solving a problem or designing an innovation, to involve in his or her approach the actors directly concerned by the outcome of his or her work (Hazard and Audouin, 2016). Participatory approaches can take several forms in innovation processes: at the beginning of the process in the design phase, or throughout the process until deployment. The specificity of participatory approaches lies in the diversity of actors and the diversity of their mode of intervention in the innovation process. Thus, defining a common framework is a key factor in the success of these approaches.

All participatory approaches are based on the definition of a common object and objective, i.e. a shared vision of the future (Schmid and Mambrini, 2019). In the case of varietal innovation and the implementation of participatory breeding, this dimension is essential. Today, this occurs in particular in the CTPS, in a very implicit way through the definition of registration criteria. Varietal innovation built around the agroecological transition is creating a new context, favourable to open varietal innovation. For more than 15 years, there have been participatory breeding programs and experiments in France, generally co-constructed between INRAE research teams and farmers' and citizens' associations (Desclaux *et al* 2019). These programs aim to respond to a diversity of needs in terms of adaptation to organic and/or agroecological farming practices, new markets, and very varied pedo-climatic conditions.

The deployment of agroecology on a large scale may benefit from participatory approaches: variety creation for agroecology will have to introduce these approaches for the selection, evaluation, characterization and conservation phases. These approaches could respond to the complexity generated by agroecology, and also create value for the different actors involved (intellectual, financial, social value). Recent initiatives at the European level, particularly in organic agriculture and cereals, provide feedback that can be used to accelerate participatory approaches in the varietal creation process.

Participatory approaches are complementary to other selection and evaluation methods. Moreover, these approaches seem to be appropriate for orphan species or for agro-climatic situations that are not well covered by conventional selection methods. Barriers have been identified: financial, organizational (support of the approaches by an adapted animation) and sometimes methodological, as "data science" can be a real opportunity for the success of participatory approaches, or the sharing of new knowledge and know-how among the many groups involved in participatory breeding.

Questions raised by participatory approaches at the level of registration concern the description of registration rules, the evaluation of more heterogeneous plant material, the integration of "participatory" into the regulations, the devices to be activated in order to obtain a maximum of information on varietal behaviour, the guarantees for breeders and users, the analysis of participatory evaluation data, without forgetting the sharing of the values generated.

Variety evaluation methods for agroecology and impact on variety registration

The trial networks and systems will have to be adapted to consider more services, environments and agricultural practices. Variety evaluation will be based on a combination of field trials, some of which will be agroecological, aimed at characterising the adaptation of varieties to different cropping systems, and trials under controlled conditions dedicated to studying characteristics of interest (allelopathy, resistance to biotic or abiotic stresses, etc.). These trial networks must be designed taking into account the risk of loss of trials, which may be increased due to the reduced use of chemical inputs, and the adaptation and training time for new practices for the teams carrying out the experiments (transition time).

Registration rules will have to evolve in order to be able to register varieties for agroecological systems. This will involve both the integration of new characteristics into the rating and the weighting given to the different characteristics. Given the diversification of the conditions of cultivation and use of varieties, agility in the registration rules will be particularly important.

It will be necessary to carry out these reflections keeping in mind the competitiveness of the variety registration systems within the EU (European Union) and to maintain the attractiveness of the French official catalog.

Integration and dissemination of varietal results for agroecology

In an agroecological context that implies more and more diversity and requires the evaluation of more and more characteristics, the CTPS has a role of trusted third party and guidance to play through the dissemination and integration of varietal data in an agroecological context, because of its ability to integrate results at the national level, in relation to the continuum (pre and post registration data) and in relation to European data. The integration of varietal data at the European level will require common criteria evaluated in relation to agroecology, while maintaining national specificities in relation to the current specific needs of the sectors and insisting on local adaptations. The added value of registration and of the CTPS could be to focus on the evaluation of specific characteristics essential to the common goods provided by the varieties (resistance to pests, tolerance to extreme conditions, etc.), or on the evaluation of the global performance of varieties in agroecological situations, in order to orientate towards more sustainable agriculture and to encourage the selection of varieties better adapted to agroecology.

Within the framework of the agroecological transition of agricultural systems, it will be necessary to think, create, and thus evaluate, a variety in its production system, leading to a more refined combination of genetic improvement, agronomy, but also and more broadly, all the modalities and resources for the management and protection of these agroecological crops.

The field of possible successes is considerable, and the CTPS, through the richness of its contributing communities, will have a key role to play in achieving them.

Introduction

Le CTPS, Comité Technique Permanent de la Sélection des Plantes Cultivées, est une commission administrative à caractère consultatif assurant une mission de conseil et d'appui technique auprès du ministère chargé de l'agriculture en matière de politique variétés, semences et plants. Le CTPS est également chargé de l'établissement du catalogue officiel des espèces et variétés de plantes cultivées, et de l'instruction et du suivi de l'application des règlements techniques concernant la production, le contrôle et la certification variétale et sanitaire des semences et plants (Code rural). Le CTPS mobilise plus de 800 personnes, représentants de l'administration, experts scientifiques, et professionnels de l'obtention de nouvelles variétés, de la multiplication des semences et plants, de la production ou de l'utilisation des produits de récolte, sur une large gamme d'espèces (espèces forestières, vigne, légumières, ornementales, fourragères et agricoles). Cette participation large aux réflexions du CTPS permet aux pouvoirs publics français de mettre en œuvre une réglementation en matière de variétés, semences et plants co-construite, à la croisée entre les ambitions des pouvoirs publics en matière de politiques publiques, la réalité des professionnels et l'éclairage scientifique. L'élaboration par le CTPS d'un projet de plan ministériel « Semences et Plants pour une Agriculture Durable », homologué dans sa première version en 2016, et ayant fait l'objet d'une révision en 2021, illustre l'action d'appui et de conseil technique exercée par le CTPS pour le compte du Ministère chargé de l'agriculture. Organisé en 14 sections constituées par groupe d'espèce, une section dédiée à la conservation des ressources phytogénétiques, deux commissions inter-sections dédiées aux plantes de services et à l'Agriculture Biologique, et un Comité Plénier, le CTPS peut s'appuyer sur un Comité Scientifique, mobilisé pour apporter un éclairage scientifique utile aux travaux du CTPS ou aux autorités françaises en amont de l'élaboration de la réglementation. C'est dans ce cadre que le Président du Comité Plénier du CTPS a formellement saisi en février 2021 le Président du Comité Scientifique du CTPS pour éclairer les travaux du CTPS, en parfaite cohérence avec le plan ministériel « Semences et Plants pour une Agriculture Durable » révisé.

Ce rapport présente les travaux du Comité Scientifique du CTPS sur l'évaluation des variétés pour l'agroécologie, en réponse à cette saisine du Comité Plénier du CTPS.

Transition agroécologique et évaluation des variétés

La transition agroécologique est aujourd'hui perçue comme une voie offrant de nombreuses possibilités pour améliorer la durabilité et la résilience des systèmes agricoles, et de nombreuses politiques et plans de relance agricoles mettent l'accent sur cette voie.

L'agroécologie est décrite par Wezel *et al.* (2009) comme étant à la fois une discipline scientifique, des pratiques agronomiques et un mouvement social voire politique. Le rapport des experts FAO (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture) (HLPE, 2019) décrit comment ces différentes composantes se sont déployées au fil du temps, la discipline scientifique émergeant au début des années 1930, tandis que la dimension politique n'apparaît qu'au milieu des années 2010. L'agroécologie repose sur un changement de paradigme conduisant à considérer les systèmes cultivés, de la parcelle, à l'exploitation et au territoire, comme des écosystèmes où l'on peut gérer la diversité en fonction des objectifs que l'on veut atteindre. L'agroécologie propose une approche holistique de l'agriculture durable, fondée sur l'interaction entre les connaissances traditionnelles et la science moderne, afin non seulement de réduire les incidences sur l'environnement, mais aussi de répondre aux besoins socio-économiques des agriculteurs et de la société (Altieri, 1989). D'un point de vue scientifique, Martin et Sauerborn (2013) définissent l'agroécologie comme la science des relations entre les organismes, dans un environnement transformé, voire construit par l'homme à des fins de

productions végétales ou animales. Au niveau des pratiques agronomiques, Poux et Aubert (2018) soulignent l'intérêt de maximiser l'usage des processus écologiques dans le fonctionnement des agroécosystèmes, en vue d'atteindre une alimentation durable, saine, de qualité et accessible à tous. Pour cela, il ne suffit pas de rechercher seulement le meilleur usage possible des ressources, ce qui conduirait à une agroécologie « faible », mais également de réaliser un saut qualitatif sur l'efficacité d'utilisation des intrants, et de reconcevoir des systèmes de production sobres en énergie, faisant explicitement appel à des processus biologiques qui favorisent la fertilité des sols ou la régulation de bioagresseurs, afin de minimiser l'usage d'intrants (fertilisants ou pesticides), afin d'aller vers une agroécologie « forte » (Duru *et al.*, 2014). L'agriculture biologique, en tant que mode de production ayant recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels, peut être considérée comme un des prototypes de l'agroécologie (Bellon, 2016), puisque les régulations biologiques ont été mobilisées pour obtenir la santé des cultures et une fertilité des milieux agricoles et notamment la fourniture d'azote et, plus difficilement, de phosphore soluble. Ce laboratoire d'expérimentation de l'agroécologie, déjà mis en œuvre, pourra à ce titre servir d'illustration et d'exemples dans ce rapport.

La transition agroécologique pourra s'accompagner d'une transition alimentaire, allant vers la généralisation de régimes alimentaires plus sains, moins riches en produits animaux et faisant une plus grande place aux fruits et légumes (Poux et Aubert, 2018), et qui favorisera le développement des circuits courts. Selon ces auteurs s'appuyant sur un travail de modélisation à l'échelle de l'Europe, ceci permet de répondre aux besoins alimentaires tout en assurant la préservation de l'environnement. Nous focaliserons essentiellement notre approche de l'agroécologie sur la transition des systèmes agricoles.

La minimisation du recours aux intrants de synthèse, à certaines pratiques très déstructurantes pour le sol et consommatrices en énergie fossile (comme le labour) ou à l'irrigation dans des zones et à des périodes où la ressource en eau est limitée, génère le besoin de reconcevoir en profondeur les systèmes de culture pour la régulation des bioagresseurs (maladies, insectes, ravageurs, adventices), la fertilisation des cultures (N, P, K, S...) et la gestion de la ressource en eau. Cette thématique est au cœur du plan SPAD2 (Semences et Plans pour une Agriculture Durable) et de son ambition d'inscrire délibérément l'innovation variétale comme un levier majeur de la transition agroécologique.

Aussi, le Comité Plénier du CTPS a sollicité le Comité Scientifique du CTPS (Annexe 1) afin qu'il éclaire, sur la base de la littérature scientifique et technique, ce qu'implique la transition agroécologique en termes d'espèces de variétés, de sélection, d'évaluation et de production de semences et de plants.

Questions traitées dans la saisine

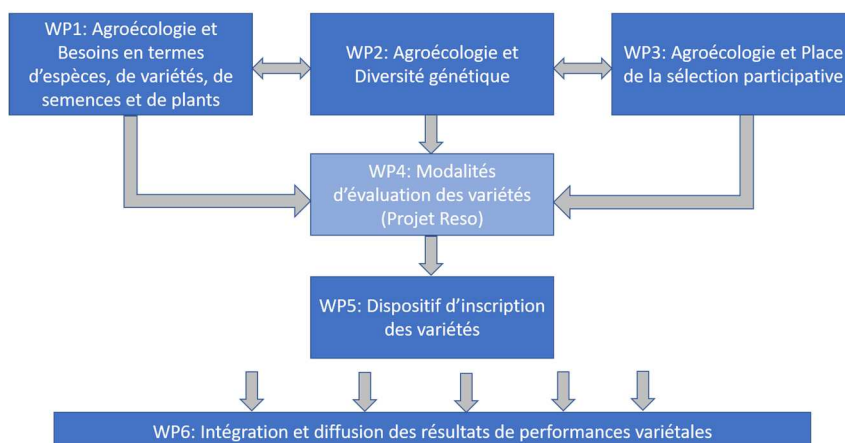
Les questions posées dans le cadre de cette saisine sont les suivantes :

- Quelles seront les agricultures qui existeront dans un modèle reposant sur l'agroécologie, et quels seront leurs besoins en termes d'espèces, de variétés, de semences et de plants ? Cette question est très vaste et elle pourra s'appuyer sur de nombreuses publications scientifiques et de nombreux travaux de réflexion prospective conduits sur l'agroécologie. Ceci conduira à analyser la diversité des successions culturales, la place des couverts végétaux et des plantes de service, le rôle que pourront jouer les associations d'espèces et les mélanges de variétés.
Les conséquences en besoins d'espèces, en idéotypes culturels et en idéotypes variétaux pourront être dressées. Cela conduira également à analyser les incidences en termes de qualité des environnements dans lesquels les cultures seront amenées à se développer.
- Si l'agroécologie conduit à des modalités d'agriculture différentes (et ce sera très vraisemblablement le cas), il faut s'interroger sur la diversité génétique disponible aujourd'hui au sein des pools en sélection et sa capacité à répondre à ces demandes nouvelles. Comment dès lors rechercher une diversité génétique nouvelle, au sein des collections de ressources phytogénétiques ou en analysant ce qui pourrait être attendu des techniques d'édition des génomes ? Quelle pourrait être l'évolution des structures de variétés ?
- Faut-il envisager d'autres processus de sélection, de multiplication et d'évaluation du matériel végétal, et notamment une place accrue donnée aux démarches participatives ? Celles-ci pourraient jouer un rôle pour prendre en compte la dépendance augmentée aux conditions locales, du fait de l'agroécologie.
- Quels seront les dispositifs de tests qu'il conviendra de déployer à la fois chez les obtenteurs et dans les réseaux d'évaluation variétale à l'inscription ou en post-inscription pour évaluer ces variétés ? Quels seront les besoins de caractérisation des milieux (envirotypage) ? Est-il possible d'analyser les traits recherchés au travers de proxys obtenus en conditions contrôlées ?
- Quelles seront les incidences sur les dispositifs pour l'inscription des variétés, les règles de décision et sur le fonctionnement du CTPS ? Quel pourrait être le rôle de chaque maillon du continuum de l'évaluation variétale, de la pré-inscription à la post-inscription ?
- L'agroécologie conduit à augmenter la dépendance aux conditions locales, puisque les régulations biologiques qui seront recherchées et obtenues dépendent du milieu. En conséquence, il conviendra de s'interroger sur la généralité des conclusions obtenues lors de l'inscription, la façon de les diffuser et la façon de les intégrer avec d'autres sources de données.

Déroulement de la saisine

Cette saisine s'est déroulée de septembre 2020 à octobre 2021.

Une journée de réflexion du Comité scientifique a été consacrée aux aspects relatifs aux besoins en termes d'espèces, variétés, semences et plants, diversité génétique, et la place de la sélection participative en agroécologie. Des groupes de travail impliquant les membres du Comité Scientifique du CTPS ont été constitués, afin de traiter les différents aspects de cette saisine (Figure 1).



Les groupes de travail consacrés aux besoins en termes d'espèces, variétés, semences et plants, diversité génétique, la place des démarches participatives en agroécologie, et modalités d'évaluation des variétés se sont réunis à l'automne 2020.

Une journée commune de réflexion a été organisée en décembre 2020, afin d'échanger sur les résultats obtenus et sur les premières propositions de modalités d'évaluation des variétés.

En mars 2021, un séminaire a rassemblé les membres du Comité Scientifique, les présidents et les secrétaires techniques des sections et commissions inter-section du CTPS, afin de partager les éléments de réflexion et les propositions concernant les besoins en termes d'espèces, de variétés, de semences et de plants, la diversité génétique nécessaire, la place de la sélection participative, et les modalités d'évaluation des variétés pour l'agroécologie, issues de la saisine et du projet CASDAR (Compte d'Affectation Spécial « Développement Agricole et Rural ») Reso « Quels réseaux d'évaluation variétale pour identifier et inscrire des variétés adaptées à l'agroécologie ? », réalisé en 2021.

Sur la base de ces échanges, les réflexions concernant l'évolution du dispositif réglementaire d'inscription des variétés, sa mise en œuvre, et la diffusion des résultats d'inscription ont été menées jusqu'en août 2021.

Les conclusions de cette saisine ont été présentées au Comité Plénier du CTPS en novembre 2021.

Plan du rapport

Ce rapport présente les conclusions de l'étude réalisée par le Comité Scientifique du CTPS.

La première partie présente les besoins en termes d'espèces, de variétés, de semences et de plants adaptés à l'agroécologie, sur la base de scénarios et d'hypothèses publiées dans la littérature scientifique concernant les systèmes de culture à mettre en place pour une transition agroécologique. Cette première partie traite également de la question de l'agroécologie et de la diversité génétique, en précisant si la diversité génétique disponible au sein des pools de sélection actuels semble suffisante pour répondre à la transition agroécologique, et en proposant des structures variétales et des méthodes de sélection permettant d'aboutir à une diversité génétique inter et intra variétale plus grande.

La deuxième partie du rapport aborde la question de la place de la sélection, multiplication et évaluation participative en agroécologie : Faut-il envisager d'autres processus de sélection et notamment une place accrue donnée aux démarches participatives ?

La suite du rapport est consacrée aux modalités d'évaluation des variétés pour l'agroécologie et à l'étude de leur incidence sur l'inscription des variétés.

Enfin, la généricité et la manière de diffuser les résultats variétaux obtenus lors de l'inscription au catalogue officiel français dans un contexte agroécologique qui maximise les régulations biologiques et les interactions sont discutées, ainsi que les potentialités d'intégration de ces résultats de performances variétales avec d'autres sources de données.

1. Evolution des espèces, variétés, semences et plants, et diversité génétique nécessaires à un modèle agricole reposant sur l'agroécologie

1.1. Les services attendus des cultures dans les systèmes agroécologiques

Les services attendus des cultures sont en constante évolution depuis la fin de la seconde guerre mondiale. Durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle, l'objectif de l'agriculture française est d'accroître la production, pour couvrir les besoins alimentaires nationaux et européens via une intensification de l'usage des intrants de synthèse dans les conduites de culture (Meynard et Girardin, 1991), une spécialisation des systèmes agricoles (Mignolet *et al.*, 2012) et la recherche de variétés capables d'atteindre le potentiel de rendement permis par le sol et le climat. De nouveaux enjeux apparaissent à partir des années 1980. Ils visent à améliorer la qualité technologique et nutritionnelle des productions (qui s'était quelque fois dégradée du fait de la primauté du rendement maximum) et à réduire les impacts négatifs avérés des cultures sur l'environnement (MEA, 2005) et la biodiversité (Diaz *et al.*, 2019). Se développent alors des outils d'aide à la décision, des itinéraires techniques à bas niveau d'intrants (Meynard, 1991) et une agriculture de précision qui permettent de mieux raisonner les applications d'engrais et de pesticides, sans modifier le système de culture. En cohérence avec cette évolution des pratiques, les espèces et variétés sont sélectionnées et évaluées pour la qualité des productions, la résistance aux bioagresseurs (principalement les maladies et insectes) et l'efficacité d'utilisation des ressources, principalement l'azote (voir par exemple Gauffreteau *et al.*, 2014 sur blé). Cette évolution des pratiques, des espèces cultivées et des outils visant une optimisation sans remise en cause des systèmes de culture en place correspond à ce que Duru *et al.* (2014) qualifient de « faible modernisation écologique ». Il lui oppose une nécessaire « profonde modernisation écologique » qui suppose de repenser les systèmes en profondeur afin de substituer aux intrants de synthèse les services rendus par la diversité biologique des agroécosystèmes (Duru *et al.*, 2014) via notamment les interactions positives entre plantes ainsi qu'entre les plantes et leur environnement abiotique et biotique. Cette agroécologie dite « forte » qui fait l'objet de cette réflexion repose largement sur une diversification des services apportés par les cultures à l'agroécosystème via une augmentation de la diversité fonctionnelle (Altieri, 2002 ; Ratnadass *et al.*, 2012 ; Wezel *et al.*, 2013). Au-delà du service de production (en quantité et en qualité) qui reste l'objectif premier des systèmes agricoles, les cultures devront aussi fournir les services suivants :

- Protection contre le lessivage et l'érosion des sols ;
- Amélioration et/ou conservation de la structure des sols ;
- Amélioration de la fertilité chimique des sols (quantité et qualité de la matière organique, quantité des différents éléments nutritifs essentiels) ;
- Accroissement et/ou maintien de la biodiversité des sols et des milieux agricoles notamment celle utile au développement des cultures ;
- Stockage du carbone ;
- Régulation des insectes et des maladies notamment par une meilleure efficacité et durabilité des résistances, avec mobilisation massive des démarches de prophylaxie ;
- Contrôle des adventices ;
- Création d'un environnement plus favorable ou plus stable pour les cultures de rente par mécanisme de facilitation et complémentarité (par exemple couvert végétal en agroforesterie)

Un enjeu de la transition agroécologique est d'identifier et d'organiser dans le temps et dans l'espace un ensemble d'espèces susceptible de rendre durablement les services précédemment listés. Pour les espèces pérennes fruitières ou maraichères pour lesquelles on a classiquement recours au greffage, certaines caractéristiques pourront être apportées par le greffon, d'autres par le porte-greffe. La réflexion est donc systémique et s'opère à l'échelle d'un territoire particulier et d'une rotation culturale. L'idée n'est pas pour une espèce donnée de sélectionner des variétés sur l'ensemble des services précédents, certaines espèces étant plus attendues sur certains services que sur d'autres. Toutefois, la conception des systèmes de culture agroécologiques peut nécessiter de connaître les performances et contre-performances des différentes espèces et variétés sur l'ensemble de ces services afin d'identifier au mieux les espèces et variétés à combiner dans des systèmes multi-performants. Le besoin de caractérisation est donc ici différent du besoin de sélection et doit faire l'objet d'une évaluation multicritères.

Au-delà des services attendus des cultures, les pratiques agroécologiques vont créer des environnements de culture différents de ceux dominants aujourd'hui (sols froids et couverts, compétition accrue...) et appellent donc une adaptation des cultures à ces nouveaux environnements cibles qui devront être clairement redéfinis pour le sélectionneur. De manière générale, la réduction des intrants de synthèse, du travail du sol ou de l'irrigation en agriculture devraient entraîner une moindre anthropisation et standardisation des conditions de culture et une plus grande dépendance aux conditions locales (pédologiques notamment) et annuelles (climatiques) et ainsi une diversification des conditions de culture dans l'espace et dans le temps. Cette diversification des conditions de culture pourrait s'accompagner d'un accroissement des interactions Génotype x Environnement (GxE) comme cela est quelques fois observé au sein des systèmes en Agriculture Biologique (AB) (Murphy, 2007 ; Campion et al., 2014 ; Fontaine *et al.*, 2021) et appelle une adaptation des variétés aux pratiques et conditions locales ainsi qu'une stabilité interannuelle des performances. Cette adaptation des cultures aux conditions locales ainsi que la stabilité des systèmes agroécologiques, voire leur résilience, reposent largement sur la diversité des espèces et de variétés disponibles et cultivées dans les exploitations (Paut *et al.*, 2019). C'est donc à ces échelles (plusieurs variétés ou plusieurs espèces) que devront être réfléchies ces questions de stabilité et de résilience.

Plus globalement, l'agroécologie et l'accroissement attendu de la variabilité des conditions de culture dont une bonne partie est non prédictible au moment du semis repose la question du compromis entre performance et stabilité/résilience des systèmes et notamment des variétés. Dans ses travaux sur la sous-optimalité, Olivier Hamant, chercheur à INRAE (Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement), souligne que « la sous-optimalité est un formidable soutien aux capacités d'adaptation des êtres vivants : les systèmes vivants peuvent contourner les difficultés, non pas parce qu'ils sont bien préparés, mais plutôt parce qu'ils sont toujours dans un état dynamique, explorant les possibles ». En agroécologie, c'est la résilience, c'est-à-dire la capacité à survivre aux fluctuations de l'environnement et à se transformer si les conditions l'exigent, qui prime sur la performance (Haman, 2020). Dans ces travaux, l'exemple du développement de l'utilisation des mélanges variétaux illustre l'importance de la sous-optimalité en agroécologie. Les mélanges représentent « une version sous-optimale des grandes cultures. En effet, en semant des variétés de blé différentes, le rendement n'est pas maximal. Mais la diversité génétique du champ permet aux plantes de faire mieux face aux aléas environnementaux : les interactions entre espèces permettent des synergies pour lutter contre des pathogènes ou contre la sécheresse (Barot et al., 2017). Le rendement n'est pas maximal, mais il est plus stable. » La variabilité adaptative (GxE) pourrait être une information spécifique à diffuser concernant cette sous-optimalité.

1.2. Les évolutions des systèmes de culture au cœur de l'agroécologie

L'agroécologie n'est pas seulement un concept théorique. Différents modes de production (agriculture biologique, agriculture de conservation des sols, agroforesterie, permaculture...) mettent en œuvre des pratiques qui suivent les grands principes de l'agroécologie. Ces pratiques sont aujourd'hui adoptées par un nombre croissant d'agriculteurs notamment en Europe et en France (Kleijn *et al.*, 2019). Adoptant une démarche pragmatique et opérationnelle et sans pour autant viser l'exhaustivité, nous avons identifié ci-dessous quelques évolutions fortes des systèmes de culture engagés dans la transition agroécologique qui ont et auront des conséquences sur les besoins en espèces et en variétés cultivées.

Moins d'intrants de synthèse, d'énergies fossiles et utilisation durable de la ressource en eau

La durabilité des systèmes agroécologiques repose largement sur la minimisation du recours aux intrants de synthèse, à certaines pratiques très destructurantes pour le sol et les communautés qu'il héberge et consommatrices en énergie fossile (comme le labour) ou à l'irrigation dans des zones et à des périodes où la ressource en eau est limitée. La diminution des intrants pourrait cependant accroître le recours à des pratiques de substitution comme le désherbage mécanique et les décalages de semis pour le contrôle des adventices qui sont fréquemment mises en œuvre dans l'agriculture biologique par exemple.

Recours à des produits de biocontrôle et de biostimulation

Les produits de biocontrôle/biostimulation pour réguler les bioagresseurs ou faciliter la croissance des plantes (lutte biologique, substances de base, stimulateurs de défenses naturelles, stimulateurs de croissance...) tendent à se développer ces dernières années (Le Mire *et al.*, 2016). L'utilisation de ces produits en substitution des intrants de synthèse ne remet pas en cause l'organisation actuelle des systèmes de production et les filières, qui les environnent. Toutefois cette approche du biocontrôle/biostimulation par substitution est aussi constitutivement une limite à la maximisation de son efficacité. En effet, dans la mesure où le biocontrôle et la biostimulation ont moins une vertu biocide qu'une vertu de régulation des bioagresseurs, les conditions permettant de maximiser les possibilités du biocontrôle/biostimulation doivent être recherchées par une reconception des systèmes de production.

Diversification des cultures et allongement des rotations

La diversité des espèces dans l'espace et la rotation permet d'entraver le développement des nombreux bioagresseurs en coupant leur cycle de reproduction à l'échelle parcellaire et au-delà en limitant/dispersant la ressource trophique dans le paysage (Rimbaud *et al.*, 2021). Par ailleurs, cette diversification permet aussi une régulation des différentes espèces d'adventices (Sharma *et al.*, 2021) en combinant alternances de cultures à cycles de reproduction contrastés et actions de contrôle telles que la couverture du sol, les faux semis et le désherbage mécanique, en évitant l'émergence de résistances, à la différence de ce qui se passe dans les systèmes dominés par les herbicides chimiques. Enfin, la complémentarité entre les espèces cultivées permet une meilleure résilience et stabilité des systèmes de production (Renard et Tilman, 2019 ; Paut *et al.*, 2019) face à des environnements moins contrôlés et donc probablement plus variables d'une année sur l'autre.

Maximisation du temps de couverture du sol

Le maintien d'une couverture du sol tout au long de l'année permet de limiter l'érosion des sols, d'accroître leur fertilité (matière organique et microorganismes), d'améliorer leur structure et de limiter les pertes d'éléments nutritifs par lessivage (e.g. Blanco-Canqui *et al.*, 2015). Dans

les systèmes sans travail du sol, cette couverture du sol permet aussi de limiter le développement des adventices (Buchanan *et al.*, 2016). Dans le cas d'une rotation de cultures annuelles, cet allongement du temps de couverture du sol peut s'obtenir de différentes façons : (i) par des couverts pérennes dans lesquels sont semées les cultures de rente dans le cas de systèmes en semis sous couvert permanent, (ii) par le semis d'intercultures qui participent aussi à la régulation des bioagresseurs ou (iii) par la pratique de doubles cultures ou de cultures en relais qui pourraient se développer dans certaines régions (Baron *et al.*, 2017) et qui permettraient en plus des services précédemment cités de sécuriser la production dans un contexte de changement climatique (Meza *et al.*, 2008). Notons cependant que les plantes de couverture peuvent offrir des refuges à certains bioagresseurs (notamment dans le cas de repousses maintenues en inter-culture) (Djian-Caporalino *et al.*, 2020), et qu'en conséquence, le choix des espèces est critique.

Accroissement des associations d'espèces (jusqu'aux associations agro-forestières) et de variétés

Les associations de variétés ou d'espèces durant tout ou partie de leur cycle de développement connaissent un essor important ces dernières années. Elles présentent de nombreux avantages potentiels par rapport aux espèces ou variétés cultivées en culture pure, quand le choix des espèces est fait de façon adéquate (Malézieux *et al.*, 2009 ; Bedoussac *et al.*, 2015) : limitation du développement des insectes nuisibles, des maladies (Wolfe, 1985 ; Borg *et al.*, 2018 ; Ditzler *et al.* 2021 ; Drakopoulos *et al.* 2021) et des adventices (Stomph, 2020), atténuation des risques de verse (Creissen, 2016) et accroissement de la production (Kiær *et al.*, 2009 ; Bedoussac *et al.*, 2014 ; Reiss et Drinkwater, 2017) notamment par une meilleure valorisation des ressources (Zhang and Li, 2003). Par ailleurs, ces associations d'espèces sont un levier efficace pour la conception de couverts multi-performants (Pelzer *et al.*, 2012) et pour stabiliser la production (Kaut *et al.*, 2009). Notons que la pratique des mélanges ou associations d'espèces ou de variétés peut nécessiter des adaptations des pratiques chez les agriculteurs, les collecteurs ou les transformateurs (tri/séparation (Bedoussac *et al.*, 2013), adaptation des procédés de transformation, création de nouvelles filières...) qui doivent être prises en compte dans tout le processus d'évaluation.

Accroissement des interconnexions entre cultures et élevages

Si les scénarios pour la transition agroécologiques et surtout de la transition alimentaire tablent généralement sur une réduction de l'élevage (Poux et Aubert, 2018), cet élevage sera plus extensif avec des animaux plus longtemps au pâturage. Il est aussi possible de faire pâturer les cultures à certaines périodes précoces de leurs cycles (déprimage). Cette pratique permet de limiter le développement des adventices ou de réguler le développement de certaines espèces associées et d'enrichir les sols en éléments nutritifs et en matière organique. Plus largement, l'introduction de prairies dans les successions culturales et dans les paysages agricoles permet de modifier le cycle des adventices et des bioagresseurs.

Maximisation de l'utilisation de la biomasse

La biomasse joue un rôle clef dans la transition énergétique et notamment celles des systèmes agricoles via son rôle dans la fertilisation des cultures (amendements organiques) mais aussi dans la production d'énergie (biocarburants, méthanisation, incinération...) ou de molécules biosourcées (Bakan *et al.*, 2021). Cette utilisation de la biomasse est importante dans le contexte du développement conjoint de la bioéconomie (Thérond *et al.*, 2017; D'Amato *et al.*, 2020; Fritsche *et al.*, 2021). La question qui se pose dès lors est celle de l'équilibre entre l'exportation de ces cultures pour des usages de transformation de la biomasse et la restitution au sol. Cet équilibre est encore largement en débat dans les communautés scientifiques et techniques, en particulier au regard de la teneur en matière organique et de la contribution des sols à la mitigation du changement climatique via le programme 4/1000.

1.3. Quelles conséquences de la transition agroécologique sur les espèces cultivées ?

La nécessaire diversification fonctionnelle des espèces en agroécologie suppose le développement d'espèces aujourd'hui mineures ou de nouvelles espèces complémentaires des espèces majeures et qui peuvent par ailleurs présenter certains avantages comme une bonne compétitivité vis-à-vis des adventices par exemple (Chanvre, sarrasin...) ou une bonne capacité à capter et partiellement restituer des éléments minéraux comme le phosphore solubles via des interactions avec les micro-organismes du sol (c'est le cas pour le sarrasin) ou via des sécrétions racinaires (le lupin blanc par production d'acide citrique).

La baisse du contrôle des bioagresseurs et de la fertilisation par les intrants de synthèse, à la fois par la réduction du nombre de molécules disponibles et par l'apparition de résistances aux molécules utilisées (Massi *et al.*, 2021), invite à accroître les efforts sur les espèces de services. Ces espèces qui n'ont pas un objectif de production fournissent différents services dont les bénéfices sont largement reconnus dans la littérature scientifique (e.g. Schipanski *et al.*, 2014 ; Garcia *et al.*, 2018) : contrôle des maladies et des insectes (Conibertia *et al.*, 2018), régulation des adventices (Lorin *et al.*, 2015 ; Shah *et al.*, 2021), amélioration de la fertilité des sols (enrichissement de la matière organique, captation et restitution des éléments nutritifs, enrichissement du sol en azote), de leur structure (Garcia *et al.*, 2018)... Ces espèces de services peuvent être cultivées en association (se développant au sein de la culture de rente durant tout ou partie de son cycle) ou en interculture (nommées dans ce cas Cultures Intermédiaires Multi-Services ou CIMS).

Les légumineuses ont un rôle central dans les systèmes de production et d'alimentation agroécologiques (Poux et Aubert, 2018). Elles sont nécessaires tant à l'alimentation animale et humaine qu'à l'enrichissement des sols en azote pour les cultures suivantes. Elles sont aujourd'hui centrales dans les systèmes biologiques où elles sont cultivées en culture pure et en association, la fertilité azotée étant un facteur limitant majeur de la croissance en agriculture biologique. Leur surface devrait donc croître significativement au cours des prochaines années. Il est nécessaire de disposer d'une plus grande diversité d'espèces de légumineuses, certaines destinées à la vente d'autres à rendre un service (amélioration de la fertilité des sols notamment par l'enrichissement en azote pour la culture suivante, contrôle des adventices...). L'accroissement global des légumineuses dans la sole pose cependant le problème de la gestion des bioagresseurs et de la tolérance à des stress abiotiques (manque ou excès d'eau par exemple,) qui affectent cette famille (Graham et Vance, 2003, Nadeem *et al.*, 2019) et pourraient rapidement devenir problématiques.

Le développement des CIMS, des pratiques de double culture ou de culture relais, la gestion des adventices par des pratiques de désherbage non chimiques associées à une alternance de cultures d'automne et de cultures de printemps et plus globalement la diversification des espèces dans les rotations génère un besoin accru en espèces de printemps et à cycles courts.

Le développement de l'élevage extensif devrait entraîner l'accroissement des surfaces en prairies temporaires et nécessite de faire perdurer voire d'amplifier la sélection sur les espèces prairiales.

Le développement des pratiques de mélanges d'espèces mais aussi de double culture, de culture relais où plusieurs espèces se partagent une ressource une même année et l'évolution climatique actuelle tendant vers une réduction de la ressource en eau à certaines périodes de l'année, donne une importance toute particulière à la gestion du stress hydrique au cours du temps. Il faudra donc réfléchir les espèces à favoriser en fonction de leur besoin en eau au

cours de leur cycle cultural et particulièrement durant la phase d'implantation de la culture. Il pourrait être intéressant pour certaines zones de culture d'aller explorer les espèces actuellement cultivées dans les pays soumis à de fortes contraintes hydriques. Par ailleurs, la période et l'intensité des stress hydriques pouvant varier fortement d'une année sur l'autre, il est important de disposer d'espèces qui ne soient pas toutes sensibles à ce stress au même moment de l'année de manière à minimiser les risques d'accident climatique.

En conclusion, la transition agroécologique va donc reposer sur une plus grande diversité d'espèces utilisées que l'on soit en couvert pluri ou monospécifique. En complément des espèces majeures, la diversification des espèces se fera par le développement :

- d'espèces mineures ou de nouvelles espèces complémentaires des espèces majeures
- d'espèces de service et des Cultures Intermédiaires Multi-Services (CIMS)
- d'espèces de printemps
- d'espèces de légumineuses
- d'espèces prairiales
- dans les zones les plus sèches, d'espèces actuellement cultivées dans les pays à fortes contraintes hydriques

Nous avons décrit ci-dessus quelques évolutions probables des pratiques agricoles et des espèces cultivées dans les systèmes agroécologiques futurs à l'échelle nationale. Toutefois, la transition agroécologique s'opère localement et les transformations dépendront fortement des spécificités des territoires et des exploitations tant pédoclimatiques que techniques, sociales ou économiques. Ceci interroge sur la façon dont l'amélioration génétique, l'évaluation et le conseil variétal pourront prendre en compte cette dépendance aux conditions locales.

1.4. Quelles caractéristiques variétales faut-il sélectionner ?

Le présent chapitre va s'intéresser aux variétés et leurs caractéristiques spécifiquement liées à la transition agroécologique. Nous tenons cependant à porter l'attention sur le fait que le travail a été réalisé à un temps donné avec les connaissances actuelles. Des nouveaux besoins, notamment des besoins locaux, pourront être exprimés à l'avenir ce qui nécessiterait une mise à jour du document.

L'agroécologie invite à réfléchir la fourniture de services à l'échelle du système de culture avant d'identifier les caractéristiques favorables pour chaque espèce qui le compose. Ainsi, pour un service donné, il sera important de réfléchir aux caractéristiques variétales (incluant pour les espèces pérennes les caractéristiques du couple variété / porte-greffe) recherchées en fonction des leviers spécifiques (recours à de nouvelles espèces) et techniques (évolution des pratiques) disponibles. Par exemple, un système de culture valorisant les interactions agriculture x élevage va engendrer une amélioration de la fertilité des sols via un enrichissement de la matière organique. Les variétés recherchées dans ce cas devront donc être adaptées à des milieux pauvres en azote qu'à des milieux riches en matière organique où la dynamique de minéralisation de l'azote génère des carences et des abondances en azote dans le temps différentes de celles observées dans les systèmes de culture ayant recours à une fertilisation minérale.

Nous listons ci-dessous quelques caractéristiques variétales qui nous semblent utiles à la transition agroécologique des systèmes de culture. Nous avons d'abord identifié les caractéristiques variétales participant à la fourniture d'un service particulier : amélioration de la nutrition des plantes et de la fertilité des sols d'une part, régulation des bioagresseurs d'autre

part. Dans un second temps, nous identifions des caractéristiques variétales participant à l'adaptation à des pratiques courantes en agroécologie. Enfin nous revenons plus en détail sur quelques caractéristiques clés et transversales dans l'adaptation des variétés aux systèmes agroécologiques, et sur le cas particulier des plantes greffées.

1.4.1. Caractéristiques des variétés impliquées dans la fourniture d'un service particulier

1.4.1.1. Caractéristiques permettant d'améliorer l'efficience de la nutrition des plantes, la fertilité des sols et de réduire la dépendance aux engrais de synthèse

- Pour les légumineuses : capacité à produire et restituer l'azote minéral dans le sol (traits d'architecture du système racinaire [Ali *et al.*, 2020], densité des nodosités...)
- Pour les CIMS : capacité à piéger et restituer les éléments minéraux lessivables (N, P, S...) (traits d'architecture racinaire, phénologie...)
- Pour les cultures de rente :
 - o Capacité à valoriser les éléments minéraux disponibles et l'eau : La capacité des plantes à produire avec moins d'engrais de synthèse ou moins d'eau dépend de leur capacité à valoriser les ressources du milieu. Cette capacité peut être mesurée par l'efficience d'utilisation des éléments minéraux (comme différentes formes d'azote par exemple) ou de l'eau. Toutefois elle devrait être établie aussi sur la base de l'utilisation d'engrais et amendements organiques non immédiatement disponibles pour la plante (adapter la phénologie au cycle de minéralisation) et mieux tenir compte de la capacité des plantes à interagir avec les micro-organismes du milieu. Lors d'une utilisation en mélange, des espèces ayant des profondeurs d'enracinement différentes pourront aussi favoriser des mécanismes de complémentarité.
 - o Capacité à maintenir la valeur d'usage des cultures : par exemple à teneur en protéines constante, des modifications de composition en protéines peuvent avoir lieu, avec un impact sur les valeurs nutritionnelle ou technologique *e.g.* ratio gliadine/gluténines du blé (Costanzo *et al.*, 2021 ; Takač *et al.*, 2021), ratio viciline/légumine du pois (De Santis *et al.*, 2021)
- Pour l'ensemble des couverts :
 - o Capacité à coloniser le sol (systèmes racinaires plus efficaces, plus étendus...) ce qui participe à une amélioration de la structure des sols et limite son érosion.
 - o Capacité à capter et restituer les éléments minéraux parfois peu accessibles (P, K...) notamment au travers l'interaction avec les micro-organismes du sol (architecture racinaire, aptitude à la mycorhization...), l'interaction avec le porte-greffe dans le cas des espèces greffées.
 - o Capacité des plantes à stocker du carbone et à enrichir le sol en matière organique (biomasse racinaire et aérienne non exportée...) utile à la biodiversité des sols et à leur structuration. Il a été montré qu'au sein d'une même espèce, le génotype de la plante pouvait être un déterminant de la sélection de la communauté microbienne, sans que l'on soit en mesure de préciser si ceci est un déterminant de la capacité de restitution de C au sol via les exsudats racinaires.
 - o Capacité à interagir avec la micro et macro-faune du sol afin par exemple de maintenir une densité plus importante de vers de terre (Noguera *et al.*, 2011) pour la gestion des éléments minéraux et la matière organique (Lavelle *et al.*, 2006)

1.4.1.2. Caractéristiques participant à la régulation des bioagresseurs

- Tolérance/résistance variétales aux maladies. Ce caractère déjà largement sélectionné et évalué pour de nombreuses espèces reste primordial, notamment dans le cas d'espèces appelées à se développer et aujourd'hui particulièrement sensibles à certaines maladies et très dépendantes des pesticides. C'est le cas de certaines légumineuses majeures qui sont particulièrement sensibles aux bioagresseurs (Graham et Vance, 2003) et actuellement très dépendantes des pesticides. Il est donc nécessaire d'identifier des espèces de légumineuses peu sensibles aux bioagresseurs ou en tout cas à ceux qui affectent les espèces majeures actuelles, d'accroître la résistance des espèces de légumineuses actuellement cultivées, en prenant en compte les possibilités d'évolution des pratiques culturales susceptibles de moduler et réduire la pression parasitaire. Mesurer la résistance des variétés aux maladies peut se faire directement via une analyse des symptômes de la maladie mais aussi sur la base de certaines caractéristiques des variétés sous-jacentes à cette résistance comme leur résistance aux enzymes hydrolytiques produites par les agents pathogènes pour dégrader les parois du végétal.
- Allongement de la durabilité des résistances qui peut être obtenue au niveau du gène, du génotype, de la population (Delval et Ligot, 2018) voire même du paysage (Rimbaud et al., 2021a). Au niveau du génotype, la durabilité de la résistance est obtenue notamment au travers du pyramidage en associant plusieurs facteurs de résistance au sein d'une même variété, ayant des cibles ou des mécanismes différents (Palloix et al 2009) ou associant dans une même variété résistance qualitative et quantitative (Brun *et al.*, 2010 ; Cowger et Brown 2019) ou des mécanismes de lutte physiques comme les poils, cuticule (Abad et Favery, 2012) ou les barbes du blé (Stuthman *et al.* 2007).
- Capacité à repousser les insectes (émission de Composés Organiques Volatiles ou COV...), à les contrôler (sécrétion d'alkaloïdes (Leuchtman *et al.*, 2000), production de glucosinolates dans le cas de biofumigation...), voire à les attirer (dans le cas de plantes de services impliquées dans des stratégies push-pull).
- Capacité des plantes à héberger et attirer des parasitoïdes (production de nectar à certaines périodes du cycle du parasitoïde...).
- Capacité des plantes à réguler les adventices et repousses, par allélopathie (Khan *et al.*, 2016 ; van der Meulen et Chauhan 2017), production de glucosinolates dans le cas de biofumigation ou via la compétition (Pakeman *et al.*, 2020) pour les ressources lumineuses (traits d'architecture et de croissance aérienne et phénologie), hydriques et minérales (traits d'architecture et de croissance racinaires).
- Tolérance aux autres ravageurs : effet mécanique répulsif (blé barbu moins apprécié par le gibier par exemple), aptitude aux semis profonds rendant la graine peu accessible aux oiseaux.

1.4.1.3. Caractéristiques participant à l'adaptation à des pratiques agroécologiques

Nous avons listé plus haut quelques pratiques centrales dans les systèmes agroécologiques. L'efficacité de ces pratiques dépendra quelques fois fortement des variétés qui leurs sont associées et nécessite donc de caractériser l'adaptation des variétés à ces pratiques.

- Tolérance au désherbage mécanique : Nous rechercherons ici des caractéristiques d'architecture aérienne, de port foliaire, de phénologie et d'enracinement compatibles avec l'utilisation de différents outils (herse-étrille, houe rotative, bineuse, écimeuse, robots). Ces

caractéristiques pouvant être défavorables à une bonne couverture du sol (par exemple, les variétés de petite taille sont mieux adaptées au passage d'une écimeuse), un compromis devra être recherché pour assurer une concurrence suffisante aux adventices (au moins sur le rang)

- Aptitude aux associations d'espèces ou de variétés : Cette pratique étant amenée à beaucoup se développer dans les systèmes agroécologiques, il est nécessaire de pouvoir mesurer la capacité des variétés à valoriser les interactions plante-plante dans les mélanges variétaux ou associations d'espèces. Il s'agira d'évaluer la capacité des variétés à produire ou à faire produire en association selon que l'espèce est une espèce de rente ou de service (Haug *et al.* 2021). Evaluer cette aptitude nécessite d'explorer la compétition, la facilitation (Hauggaard-Nielsen et Jensen 2005) et la complémentarité entre espèces et variétés. Les interactions peuvent bénéficier (ou parfois nuire) aux différents services, avec au premier chef le contrôle des bioagresseurs, l'utilisation de l'eau et des nutriments, et la résilience face à des stress abiotiques plus récurrents avec le changement climatique. Les associations améliorent également la capacité de la culture à recruter les bactéries du sol (Pivato *et al.* 2021). Les traits qui contrôlent ces interactions restent encore à identifier (Granier et Navas, 2012 ; Martin et Isaac, 2018) ; toutefois, la phénologie, la vigueur, l'architecture aérienne et racinaire ainsi que leur mise en place dans le temps sont des paramètres qui devront être considérés. Par ailleurs, mélanger des variétés et des espèces offre la possibilité de corriger les défauts de certaines composantes ou au contraire de cumuler des avantages au sein du couvert, l'évaluation des variétés devrait tenir compte de cela et ne pas peser trop fort sur certains critères qui pourraient être corrigés en mélange. Ceci est particulièrement le cas pour la résistance aux maladies fongiques, dont la pression dans les couverts diminue rapidement dès lors que des espèces sont associées.
- Facilité de destruction du couvert : Les CIMS occupent une place importante dans les systèmes agroécologiques. Une caractéristique importante pour ces CIMS est d'être faciles à détruire et de préférence sans ou avec peu d'herbicide pour ne pas venir en compétition de la culture de rente suivante (caractère gélif d'une culture par exemple). Cette caractéristique pourrait aussi s'appliquer aux cultures de rente pour la destruction des repousses.
- Réponse aux produits de biocontrôle : Pour que les produits agroécologie-compatibles visant à limiter l'impact des bioagresseurs ou faciliter la croissance des plantes (lutte biologique, substances naturelles « biocides », stimulateurs de défenses naturelles, stimulateurs de croissance...) puissent se développer et exprimer leur plein potentiel, il sera utile, voire nécessaire de tester la sensibilité/réactivité des variétés à ces produits afin d'identifier celles qui les valorisent le mieux. La réponse de la variété à ces produits pouvant dépendre de l'état de la plante, de la conduite appliquée et des ressources disponibles, des avancées méthodologiques seront nécessaires à ce type d'évaluation.

1.4.2. Caractéristiques clés pour l'adaptation aux nouvelles pratiques agroécologiques

Cette catégorie regroupe quelques caractéristiques centrales pour la transition agroécologique car ayant un effet sur plusieurs services. Elles pourront nécessiter des essais dédiés pour leur évaluation.

- Phénologie : la phénologie joue un rôle important dans la capacité des variétés à
 - o Éviter toute ou partie des attaques de maladies ou d'insectes ;
 - o Être compétitives face aux adventices ou aptes à la culture en association ;

- Valoriser au mieux les ressources du milieu en évitant notamment que les phases de développement où la demande de la plante est importante correspondent à des périodes de stress hydriques ou minéraux ou de fortes températures ;
- Vigueur précoce : la vigueur à la levée et dans les phases précoces du cycle de culture est importante à plusieurs titres :
 - Elle est un élément important de la compétitivité face aux adventices et de l'aptitude à une conduite en association ;
 - Elle explique en partie la tolérance des plantes aux insectes ou aux ravageurs et aussi leur adaptation aux pratiques de déprimage ;
 - C'est aussi une caractéristique nécessaire à la levée et au développement de la culture dans des sols froids, moins travaillés, en couvert permanent ou mulché
- Capacité à valoriser, recruter des macro et micro-organismes favorables notamment de la rhizosphère (Phillipot *et al.*, 2013) : Ces interactions avec les micro et macro-organismes est centrale dans la nutrition des plantes, le contrôle et la protection contre les bioagresseurs mais aussi dans le maintien de la biodiversité aérienne et sous-terrine. La capacité des plantes à valoriser ces interactions repose sur de nombreux traits qu'il faut encore identifier. Cette identification est rendue difficile par les nombreuses composantes possibles de l'interaction plante/micro-organismes qui pourraient donner lieu à une amélioration. On peut étendre la question du recrutement des micro-organismes à leur apport au travers des traitements de semences.

La vigueur à la levée et la capacité à recruter une communauté favorable dépendront du génotype de la plante (création variétale), mais aussi de la qualité et de la technologie des semences. Ceci conduit dès à présent à introduire la notion d'holobionte, à savoir le fait de prendre en compte en une approche unique la plante, son génotype et la communauté microbienne recrutée, ceci définissant le phénotype et le métabolisme (Arif *et al.* 2020).

Plus largement sur l'ensemble des caractéristiques listées ci-dessus, dans cette nouvelle approche visant à caractériser les « variétés » au sens large du terme en lien spécifiquement avec la transition agroécologique, pour les espèces pérennes, c'est le couple variété / porte-greffe qu'il sera nécessaire de prendre en considération (Rasool *et al.*, 2020 ; Warschefsky *et al.*, 2016) étant donné que les services pourront être apportés par l'un ou l'autre des deux éléments, mais qu'il faut également prendre en compte l'interaction (Clingeffer *et al.*, 2019). En effet, aujourd'hui, la plupart des espèces fruitières pérennes dépendent du greffage avec un porte-greffe, et plus récemment, le greffage d'espèce maraîchère a augmenté, en particulier chez les cucurbitacées et les solanacées (Bie *et al.*, 2017). Cette pratique, aujourd'hui bien établie, permet d'associer deux entités génétiques dans un seul individu, le porte-greffe (ou hypobionte) et le scion/greffon (ou épibionte), pour influencer favorablement les caractères de productivité et faciliter la propagation asexuée (Kumari *et al.*, 2015). En fonction des disponibilités des deux entités, les combinaisons peuvent être en théorie multiples et apporter une grande flexibilité aux producteurs. Plusieurs études ont documenté les relations entre divers paramètres physiologiques des arbres greffés et la qualité des fruits (Naor *et al.*, 1995 ; Shackel *et al.*, 1997 ; Naor 1998 ; Jensen *et al.*, 2012). Ces relations sont importantes d'un point de vue horticole, car elles fournissent une base pour sélectionner la meilleure combinaison de greffons pour des conditions environnementales particulières et une qualité de fruit élevée. La sélection d'une combinaison de greffons appropriée est cruciale en arboriculture fruitière, car l'interaction « greffon/porte-greffe » influence les relations hydriques,

l'échange de gaz foliaire, l'absorption des minéraux, la taille de la plante, la floraison, le moment de la nouaison, la qualité des fruits et l'efficacité du rendement, le développement racinaire (Schmitt *et al.*, 1989 ; Nielsen et Kappel 1996 ; Gonçalves *et al.*, 2003 ; Tandonnet *et al.*, 2010 ; Kocsis *et al.*, 2014 ; Clingeleffer *et al.*, 2019 ; Tietel *et al.*, 2019). De même, le porte greffe peut influencer la tolérance de la plante à la sécheresse (Serra *et al.*, 2014 ; Zhang *et al.*, 2016),

1.5. Quelle diversité génétique pour l'agroécologie et à quelle échelle doit-on la réfléchir ?

La diversité génétique qu'elle soit intra-spécifique ou interspécifique est un levier majeur pour la transition agroécologique : en effet la diversité et la complémentarité des variétés et des espèces disponibles et potentiellement cultivées dans une parcelle ou une exploitation sont à la base de la stabilité (Van Franck *et al.*, 2020) et de la résilience des systèmes agroécologiques (Prieto *et al.*, 2015 ; Hazard *et al.*, 2016). Elles permettent un maintien des rendements (Tamburini *et al.*, 2020) voire une meilleure production (Isbell *et al.*, 2017). Elles permettent également de réduire l'impact environnemental des cultures (Gaba *et al.*, 2015) et peuvent avoir des effets sur la biodiversité associée, la qualité de l'eau et des sols (Beillouin *et al.* 2021), et l'adaptation aux conditions de production locales (Hazard *et al.* 2016).

L'exemple du déploiement des résistances pour assurer leur efficacité et durabilité (Rimbaud *et al.*, 2021a, Figure 1 ci-dessous) permet d'illustrer l'intérêt de la diversité et ses niveaux d'application. Une stratégie de gestion des résistances efficace associe la sélection appropriée de sources de résistance génétique (par exemple, qualitatives ou quantitatives, complètes ou partielle), et leur déploiement spatio-temporel à l'échelle de la plante (pyramidage), de la parcelle (que ce soit dans le cadre de rotations ou de mélanges) jusqu'à l'échelle du paysage (mosaïques) dans le but d'atténuer la propagation et l'évolution des agents pathogènes. Ce déploiement peut être complété par des pratiques agronomiques comme l'ajustement de la phénologie des variétés notamment en mélange, ou la lutte biologique. De même, des plantes en meilleure santé plus vigoureuses, plus résistantes aux stress abiotiques seront moins sensibles à certains bioagresseurs. Toutefois, certains agents pathogènes biotrophes ou hemibiotrophes (comme les rouilles du blé ou la pyriculariose du riz) se développent mieux quand le couvert est dense et bien alimenté en azote (on parle alors de « nitrogen induced susceptibility » ; Ballini *et al.*, 2013).

La diversité peut donc être apportée dans l'espace à l'échelle du champ (mélanges ou associations, Matériel Hétérogène Biologique, peuplement à base génétique large), de l'exploitation, voire du paysage (mosaïques paysagères, Gestion spatiale des résistances) et dans le temps (Rotation des cultures, des variétés voire des résistances variétales). La question est alors posée de l'identification du niveau de diversité nécessaire et de son maintien au fil des années.

L'exemple des variétés composites (Composite Cross Populations) est également illustratif. Les variétés composites sont des variétés créées par le croisement entre différents parents et soumises à sélection dans différentes conditions environnementales. L'étude de CCP de blé montrent que l'utilisation d'une diversité génétique accrue au sein d'une même culture peut produire des cultures de blé présentant une meilleure stabilité de rendement dans des environnements de culture variables et imprévisibles (Döring *et al.*, 2015). Ce terme 'imprévisible' est ici utilisé à dessein car il interroge la capacité que l'on a à prédire les aléas futurs, du fait soit d'une réduction des intrants et d'une mobilisation accrue des régulations biologiques, soit des effets engendrés par le changement climatique, dont Valiorgue (2020) mentionne qu'il fait passer l'agriculture d'une situation à risques à une situation incertaine. A

la différence d'une situation à risques, l'incertitude conduit à ne pas connaître la nature des aléas qui seront rencontrés, leur intensité et leur fréquence (situation non-ergodique). Ce changement de paradigme vient réinterroger la question de la stabilité du comportement des variétés.

Enfin, la transition agroécologique multiplie les axes de sélection (services) et renforce le besoin d'accès à une diversité facilement modulable et adaptable, ce qui va nécessairement faire sortir l'agriculture du concept de la variété unique ou de variété pure. Il pourra donc être utile de sélectionner une diversité de profils variétaux, complémentaires les uns des autres plutôt que de rechercher un nombre très limité de profils optimaux. Par exemple, disposer de profils de précocité variés au sein d'une même parcelle ou d'une même exploitation peut être une stratégie intéressante pour valoriser les ressources sur une plus longue période et éviter les accidents en cas de stress forts et ponctuels.

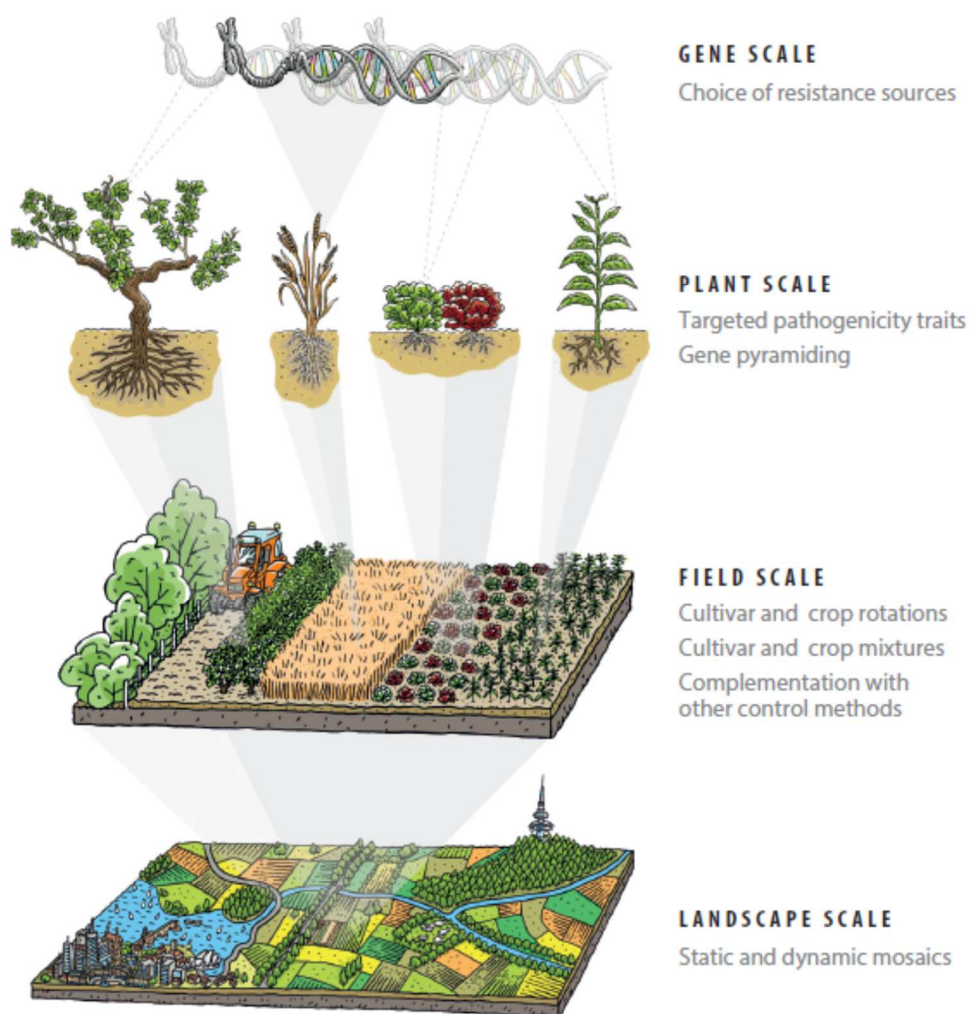


Figure 1

Nested scales of plant resistance deployment. A global deployment strategy is a combination of, first, the appropriate selection of effective genetic resistance sources (e.g., qualitative or quantitative, complete or partial) and, second, their spatiotemporal deployment at plant, field, and landscape scales with the aim of mitigating pathogen spread and evolution. Such deployment may be complemented by agronomic practices, biological control, and chemical treatments. Possible options available at each scale are indicated.

Figure 1 : Déploiement des résistances à différentes échelles (tirée de Rimbaud *et al.* 2021b)

1.6. Comment l'agroécologie impacte-t-elle la sélection, l'évaluation et la production des variétés et semences ?

Le besoin de multiservices, de variétés adaptées à des conditions locales va sans doute avoir des conséquences sur le métier de sélectionneur et de semencier, qui devront adopter des schémas de sélection différents et des stratégies commerciales différentes :

Pour le sélectionneur, il faut être plus réactif, et sélectionner une plus grande diversité de variétés pour un plus grand nombre d'espèces. Ceci crée une situation inédite, où la rentabilité des schémas de création variétale devra être réinterrogée, activité où la recherche d'économie d'échelle a conduit à se concentrer sur un nombre réduit d'espèces et à rechercher des profils variétaux et des variétés à large adaptation. C'est donc aussi le modèle économique et le modèle de rémunération de l'activité créatrice qui doit être intégré à cette réflexion.

Cela nécessitera de renforcer globalement les activités de sélection afin d'être plus efficace pour créer plus de profils.

Cela veut dire plus de programmes afin de sélectionner plus de variétés (et plus d'espèces), diversifier les programmes de sélection, multiplier et faire évoluer les entreprises...

Cela nécessitera aussi une évolution des méthodes utilisées pour la sélection :

- Avoir recours à la sélection génomique (Crossa *et al.*, 2017, 2021) ou phénotypique (Rincent *et al.*, 2017, Krause *et al.*, 2019), au speed-breeding (Watson *et al.*, 2018) pour accélérer les cycles et intégrer dans ces méthodes la prise en compte des interactions Génotypes x Environnement pour prédire les composantes de la stabilité ou de l'adaptation dans différents environnements cibles.
- Augmenter la diversité génétique réellement disponible pour les programmes de sélection, que ce soit
 - par une intensification du pré-breeding, en valorisant mieux les ressources génétiques, notamment celles disponibles dans les banques de gènes (Brumlop *et al.*, 2013, Allier *et al.*, 2020, Wang *et al.*, 2017)
 - par des méthodes de génie génétique (Quist *et al.*, 2013 ; Lotz *et al.*, 2020) ou d'édition pour par exemple lever les barrières au croisement entre espèces et ainsi disposer de plus de diversité génétique pour l'amélioration (projet CASDAR Melopen « Ouvrir l'accès à une biodiversité inexploitée pour élaborer de nouvelles résistances aux maladies du sol chez le melon »), et ce pour créer de nouveaux traits notamment de résistance
 - en travaillant sur les caractères de domestication (Osterberg *et al.*, 2017, Zsögön *et al.*, 2018, même chez les espèces orphelines (Lemmon *et al.*, 2018) ou à l'élargissement de la diversité génétique disponible (Rodriguez-Leal *et al.*, 2017, Jacob *et al.*, 2018,)
 - en augmentant la recombinaison (Mieulet *et al.*, 2018)
- Avoir recours à plus de participatif notamment pour les variétés hétérogènes (Sperling *et al.*, 2001, van Franck *et al.*, 2020), les variétés composites (Rivière *et al.*, 2015, Thomas *et al.*, 2015), et pour améliorer la sélection de variétés mieux adaptées à des systèmes à faibles intrants présentant une très forte hétérogénéité de conditions environnementales (Dawson *et al.*, 2008).

La sélection en mélange pour les résistances par exemple a jusqu'à présent consisté à sélectionner un pool de résistances dans des variétés différentes et ensuite d'évaluer le mélange. Pour l'agroécologie, il faut donc :

- Développer de nouvelles méthodes de sélection pour sélectionner des variétés plus adaptées aux associations d'espèces et de variétés (Litrico et Violle, 2015, Sampoux *et al.*, 2019) ou des approches intégrées (Lammerts van Bueren *et al.*, 2018). Une voie encore plus disruptive est la sélection de populations hétérogènes, dont la variabilité intravariétale doit permettre de s'adapter aux environnements et aux pratiques des

agriculteurs (van Franck *et al.*, 2020). Ces pistes sont explorées dans le projet MoBiDiv « Mobilizing and breeding intra and inter-specific crop diversity for a systemic change towards pesticide-free agriculture », du PPR (Programme Prioritaire de Recherche) « Cultiver et Protéger Autrement ».

- Intégrer la diversité d'environnements dans les processus de sélection et d'évaluation, en caractérisant mieux les environnements de prédilection des variétés en sélection (environnements actuels et futurs) et en anticipant l'impact du changement climatique.

Les semenciers quant à eux devront donc gérer, dans les schémas de multiplication et dans la logistique de distribution, encore plus de variétés différentes et pour plus d'espèces, et moins de vente par variété, et devront mieux conseiller les agriculteurs sur les conditions environnementales favorables ou défavorables à chaque variété. Les semenciers gèrent déjà de nombreuses variétés, certaines pour des volumes de vente très limités, et un grand nombre d'espèces. Les acteurs du secteur des espèces fourragères sont particulièrement habitués à cette situation. La question peut dès lors se poser de savoir s'il existe une limite au-delà de laquelle la situation devient très, voire trop contraignante.

Comme mentionné plus haut, cette évolution des besoins en variétés doit s'accompagner d'une réflexion sur le modèle économique actuel pour la sélection et la multiplication des variétés et d'une possible évolution de ce modèle afin de permettre une création variétale adaptée aux systèmes agroécologiques tout en assurant la juste rémunération des entreprises qui la supportent.

De même, la transition agroécologique va avoir des conséquences sur l'inscription des variétés. De nouvelles méthodes devraient être développées pour mesurer les nouveaux services. Se pose également la question de savoir si les tests des nouvelles variétés devraient également être plus locaux ?

- Est-ce qu'une variété à destination d'un déploiement local doit forcément être évaluée en local, ou est-ce que le jeu de critères caractérisant l'environnement local permet de maintenir une évaluation plus mutualisée ?
- La question des démarches localisées, ou situées (pour utiliser un langage en sciences de gestion) se retrouve aujourd'hui dans l'ensemble des démarches d'innovation ouverte et en particulier dans les Living Labs en agriculture (Agroecology Living Labs) (McPhee *et al.* 2021). La question de la répliquabilité des observations et résultats obtenus dans ces dispositifs locaux doit être posée. Les travaux de sélection participative montrent qu'une évaluation variétale décentralisée est possible, et demande de développer des méthodes expérimentales et analytiques dédiées (, Rivière *et al.*, 2015b).
- Si la caractérisation/inscription des variétés est localisée, peut-on encore orienter le progrès génétique ? Est-ce que l'objectif de l'inscription en ce cas n'est pas plutôt un maintien de la diversité et de fait, pose la question de l'évolution de la notion de VATE (Valeur Agronomique, Technologique et Environnementale) et du niveau minimum d'informations que doit produire l'inscription pour le choix variétal des agriculteurs et conseillers agricoles. La VATE détaillée pourrait alors être substituée par une indication formulée par la post-inscription en local pour un groupe d'agriculteurs. Ne faut-il pas repenser le rôle des évaluation pré- et post-inscription dans le système semencier ?

S'ajoute ici, dans le cas de l'inscription des variétés dont un des objectifs est de contribuer à une transaction marchande et loyale, la question du tiers de confiance capable d'assurer cela. A ce jour, ce rôle est assuré par le CTPS. La question pourrait être étendue à la question des semences, enrichies au non avec une communauté microbienne.

Si l'évaluation des variétés est aujourd'hui multicritère, l'agroécologie implique une forte augmentation du nombre de critères à considérer. Cette évaluation devra prendre en compte les différents usages possibles des récoltes (nutrition humaine et animale, utilisation

industrielle et artisanale...), les différents modes de culture (associations d'espèces et de variétés, double culture, culture relais, TCS, agroforesterie...) et l'ensemble des services attendus. Dans le cas de cultures de rente, il ne s'agira pas seulement d'évaluer le service de production, mais aussi d'autres services d'intérêt dans les systèmes agroécologiques décrits précédemment (régulation des adventices, amélioration de la fertilité des sols...). Cette évaluation devra intégrer l'innocuité et la digestibilité dans le cas de variétés destinées à la nutrition humaine ou animale.

Nous ne serions pas complets si nous ne considérions pas les fortes incertitudes sur les systèmes de culture agroécologiques de demain. Ils dépendront des techniques qui se développeront mais aussi des constructions économiques et sociales autour de ces systèmes agroécologiques (organisation des filières...). Cela pointe le besoin d'une organisation agile, flexible et réactive pour la sélection, la production et l'évaluation des variétés et une prise en compte accrue de la dépendance aux conditions locales (pédo-climatiques et de marché).

Il y a donc tout intérêt à développer une vision prospective sur les systèmes de culture de demain pour orienter le progrès génétique vers des idéotypes adaptés aux modes de production de demain et limiter les risques de fixation autour d'un nombre limité de caractéristiques/traits sur lesquelles la technicité pour la sélection et l'évaluation des variétés est actionnable facilement. Le CTPS doit s'emparer de ces sujets comme il l'a fait aujourd'hui par exemple au travers des expérimentations menées sur le Matériel Hétérogène Biologique ou les variétés biologiques adaptées à l'AB.

Enfin, plus largement, la question du modèle économique de l'agroécologie doit également être posée, ce qui permet de situer la question de l'amélioration génétique et de la création variétale dans un ensemble plus large où la transition agroécologique est construite.

Le travail de Thérond *et al.* (2017) peut pour une part être traduit dans la figure 2 ci-dessous. En effet, les auteurs proposent de positionner les systèmes agricoles et alimentaires selon le degré d'agroécologisation (services écosystémiques vs intrants (Axe Y)) et la relation avec le contexte socio-économique (circuits longs vs territorialisation (Axe X)). L'illustration ci-dessous donne l'impression qu'il y a une relation tendancielle avec plus d'agroécologisation en cas de circuits courts et de démarches territorialisées. Mais on peut aussi citer des exemples de circuits courts totalement dépendants des intrants (cas de la production de fraises en caissons pour vente directe). A contrario, dans les systèmes agricoles actuels, il est plus difficile d'identifier des systèmes à forte valence agroécologique en circuits longs. La création et le déploiement de variétés adaptées à l'agroécologie vont venir alimenter les systèmes reposant sur les services écosystémiques, situés vers le haut de l'axe des ordonnées. Cette représentation permet alors de réfléchir aux marchés qui seraient accessibles pour des variétés dites agroécologiques, et d'en déduire la taille des marchés potentiellement accessibles. Cette simple figure propose un cadre permettant de réfléchir le type de marchés potentiellement accessibles pour les variétés adaptées à l'agroécologie.

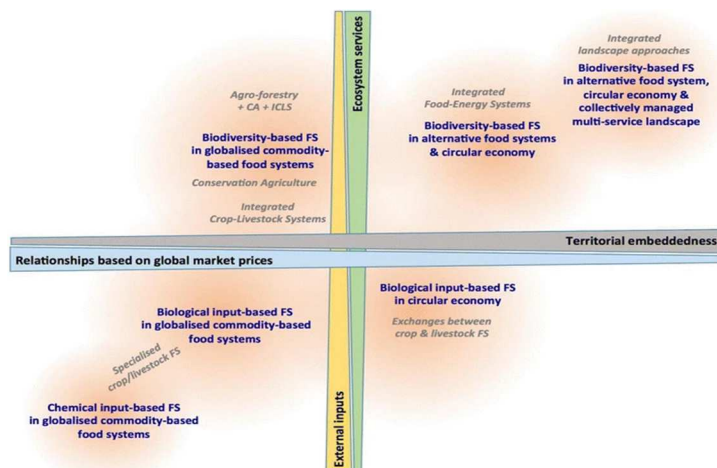


Figure 2 : Positionnement de différents systèmes agricoles et alimentaires (d'après Thérond *et al.*, 2017)

En conclusion, l'agroécologie par la maximisation de l'usage des processus écologiques et notamment des interactions positives entre les plantes ainsi qu'entre les plantes et leur environnement abiotique ou biotique (micro-organismes du sol notamment) en substitution de l'usage des intrants permet la minimisation du recours aux intrants de synthèse (engrais et pesticides). Etant largement basée sur un accroissement des services rendus par les cultures, elle entraîne un besoin de plus d'espèces, de variétés et de diversité fonctionnelle. La diversité peut être obtenue en cultivant des associations d'espèces ou de variétés, mais également en agençant une plus grande diversité de variétés et d'espèces dans l'espace et dans le temps. Les espèces mineures, les plantes de service et les espèces de printemps ont un rôle important à jouer dans cette diversification. L'agroécologie est caractérisée par l'augmentation de la dépendance des variétés aux conditions locales. Davantage de variétés seront donc à sélectionner et à évaluer, pour des adaptations à des situations singulières.

Les traits importants à sélectionner et à évaluer en agroécologie sont nombreux. Ils concernent notamment la vigueur, la phénologie, et l'aptitude à l'association. D'autres traits, diversifiés, sont également à prendre en compte (dont les résistances aux maladies et autres bioagresseurs). Le compartiment souterrain est très peu exploré aujourd'hui. Enfin, les interactions entre la plante et son environnement prennent une importance particulière en agroécologie, en particulier les interactions entre variétés et microbiotes qui conduisent à élargir la caractérisation des variétés à leur holobionte.

La transition agroécologique multiplie les axes de sélection (services) et renforce le besoin d'accès à une diversité facilement modulable et adaptable, ce qui va nécessairement faire sortir l'agriculture du concept dominant de l'homogénéité, de la variété unique ou de la variété pure. Il pourra donc être utile de sélectionner une diversité de profils variétaux, complémentaires les uns des autres plutôt que de rechercher un nombre très limité de profils optimaux et ainsi permettre la constitution de portefeuilles de variétés plus stables et résilients capables de mieux valoriser des ressources fluctuantes dans le temps et de limiter voire de compenser l'impact de stress ponctuels peu prédictibles. Par exemple, disposer de profils de précocité variés au sein d'une même parcelle ou d'une même exploitation peut être une stratégie intéressante pour valoriser les ressources sur une plus longue période et éviter les accidents en cas de stress forts et ponctuels.

Si l'évaluation des variétés est aujourd'hui généralement multicritère (la productivité des variétés étant évaluée en fonction de leur qualité, de leur résistance à certains bioagresseurs, voire de leur mode de production), l'évaluation des variétés pour des systèmes agroécologiques suppose un accroissement sans précédent du nombre de critères à considérer. Cette évaluation devra considérer l'ensemble des services attendus des cultures (dont l'accroissement de la fertilité des sols, le stockage du carbone ou la capacité à réguler la flore adventice), la diversité des usages possibles des récoltes (y compris les « petites » filières), des pratiques et des environnements de culture, cette diversité étant une spécificité des systèmes agroécologiques.

2. Place des démarches participatives pour la création variétale en agroécologie

2.1. Cadre théorique des démarches participatives

2.1.1. Définitions et exemples

Une approche participative consiste pour une personne en charge de résoudre un problème ou de concevoir une innovation à impliquer dans sa démarche les acteurs directement concernés par le résultat de son travail (Hazard et Audouin, 2016). Les démarches participatives font appel à une gamme élargie d'acteurs, dont les utilisateurs finaux, qui sont considérés comme étant des experts pour identifier des problèmes et besoins et proposer des solutions (Gouillart, 2014). Les approches participatives impliquent de co-définir les objectifs puis de déléguer ou sous-traiter ou co-traiter des tâches, traditionnellement effectuées par des entreprises, à un grand groupe de personnes externes aux dites entreprises (Figure 3). Ces approches permettent de valoriser un plus large éventail de compétences que celles présentes au sein des entreprises concernées (Bartl *et al.*, 2010).



Figure 3 : Principes des démarches participatives

Les nouveaux acteurs peuvent ainsi travailler conjointement avec les entreprises, dans le but de développer un produit ou service qui sera mieux adapté aux attentes de l'utilisateur final. Un des exemples les plus emblématiques des démarches participatives est la plateforme Décathlon Création, lancée par l'entreprise française Décathlon : cette plateforme permet aux membres de « *participer à la création des produits sportifs de demain* » (Décathlon) pour être en phase avec le slogan « *qui mieux que le sportif sait ce dont il a besoin pour améliorer sa pratique ?* ». C'est ainsi que sont nées de nombreux produits (Tente Quechua).

Pour l'innovation, les démarches participatives peuvent prendre plusieurs formes :

- Les démarches d'innovations participatives peuvent se distinguer par le type d'instigateur (entreprise, chercheur, citoyen, ...), la nature des acteurs embarqués ou encore l'innovation visée. Si on s'intéresse aux instigateurs de la démarche :
- De nombreuses innovations sont co-conçues dans le cadre de programmes de recherche participative, où des équipes de recherche initient et animent la démarche et mobilisent des citoyens, entreprises, dans des fonctionnements allant du crowd-sourcing (accès à de l'information large par un réseau de citoyens), à des programmes de recherche co-construite (questions de recherche et démarches définies lors d'échanges)

- Dans les processus politiques, les consultations citoyennes (convention citoyenne pour le climat par exemple) sont de nouveaux outils au service de la démocratie, initiés par l'état pour faire émerger des propositions de lois et de règlements et appuyer la politique publique.
- Quand l'entreprise est au cœur de la dynamiques participative, on peut distinguer 3 cas de « Lab »
 - Le Living Lab est un label qui repose à la fois sur l'innovation ouverte avec la collaboration entre plusieurs organismes privés et/ou publics, et sur la co-crédation avec la collaboration avec des utilisateurs finaux. L'innovation ouverte est l'utilisation des flux de connaissances entrantes et sortantes afin d'accélérer l'innovation interne, et d'élargir l'utilisation de l'innovation aux marchés extérieurs (Chesbrough *et al.*, 2006) : elle suppose que les entreprises peuvent et doivent utiliser des idées extérieures autant que des idées internes ainsi que les débouchés externes et internes de la même manière qu'elles cherchent à faire progresser leur technologie. Le living lab propose donc une recherche collaborative impliquant de nombreux acteurs. En agriculture, les caractéristiques et spécificités des Living Labs (ou Agroecosystem Living Lab) ont été précisées par McPhee et al (2021). Le Mas Numérique est un exemple de living lab agricole : dédié à l'innovation numérique en Vigne, ce lieu au cœur du domaine viticole de l'Hérault, réunit depuis 2016 secteurs publics et privés sur du suivi numérique de la vigne (Le Mas Numérique, 2016).¹ Les 24 territoires d'innovation, validés par le gouvernement français, dont 10 dans le domaine agricole et alimentaire, répondent à ces caractéristiques.
 - Le Fab Lab est un « laboratoire de fabrication » : fabriquer, réparer, concevoir toutes sortes d'objet en partageant des connaissances et des compétences, voire des ressources, sont les conditions de réussite du Fab Lab (Eychenne, 2012). La démarche proposée par les Fab labs vise à créer une autre relation à l'innovation en impliquant les utilisateurs dès le début de la conception. De nombreux exemples existent dans le monde du digital et du web, notamment aux Etats Unis. En France, près de 400 Fab Labs sont répertoriés (Réseau Français des Fab labs).² Agrilab, porté par Unilasalle Beauvais, est un exemple en agriculture (Plaquettes de présentation AgriLab).
 - L'Open Lab est un lieu et une démarche portés par des acteurs divers, en vue de renouveler les modalités d'innovation et de création par la mise en œuvre de processus collaboratifs et itératifs, ouverts et donnant lieu à une matérialisation physique ou virtuelle » (Mérindol *et al.*, 2016). En agriculture, les Fermes DEPHY sont un exemple d'Open Lab : initiée à la suite du Grenelle de l'Environnement et de sa déclinaison en agriculture, les Fermes DEPHY réunissent 3000 exploitations en France, toutes productions. Une démarche de progrès est co-construite localement : la démarche de progrès permettant une réduction de l'utilisation de pesticides prend en compte les systèmes de culture et d'exploitation (Présentation Fermes Dephy, portail du Ministère de l'Agriculture). Ce concept est aujourd'hui étendu en agriculture pour définir les on-farm experiments (OFE), dont de nombreux cas existent à travers le monde, la consolidation théorique étant récente, et a bénéficié de la convergence des modalités de mise en œuvre (Lacoste *et al.*, 2021).

¹ <https://lemasnumerique.agrotic.org/>

² <http://www.fablab.fr/l-association/>

2.1.2. Un cadre théorique

La littérature décrit les initiatives de démarches participatives, et d'innovation collaborative notamment sur le numérique. Le cadre théorique est cependant, à date, peu modélisé. Nous retiendrons quelques points clés utiles à la question posée : « *Agroécologie : Place des démarches participatives dans la sélection, l'évaluation et la multiplication des variétés ?* »

Une démarche participative est une démarche multi-acteurs, reposant sur l'intelligence collective. Les acteurs pourront être du domaine public, privé, impliquant des sociétés et/ou organisations à géométrie variable (sociétés privées, associations, collectifs non structurés, collectivités territoriales, etc.). Une démarche participative est souvent basée sur une co-construction, avec interactions entre acteurs et itérations. Les apports des différents acteurs peuvent revêtir plusieurs formes : intellectuels, financiers, ou en nature (mise à disposition de compétences, de matériels, ou d'infrastructures).

Les démarches participatives placent l'utilisateur au cœur du système. Pour mettre en place ce type de démarche, il convient donc de bien définir quels sont les utilisateurs du produit ou service concerné, et de définir le meilleur moyen d'impliquer les utilisateurs : selon les cas, il pourra être pertinent de mobiliser des utilisateurs individuels, ou bien une institution les représentant. Dans les deux cas se pose la question de la représentativité des utilisateurs mobilisés, et de la capacité à identifier des éléments génériques utiles à la démarche. La notion de mise en œuvre de l'innovation sur le terrain est importante dans une démarche participative. Enfin les approches participatives peuvent aboutir à une large gamme de transformations, scientifiques, techniques, organisationnelles ou encore sociales.

Les dimensions à prendre en compte dans une démarche participative pour co-crée sont de l'ordre de 6 : l'objectif (pour quoi ?), les acteurs impliqués (qui ?), le(s) lieu(x) (où ?), l'implication (comment ?), le planning (quand ?), les motivations (pourquoi ?) (De Fillipi *et al.*, 2014).

Le point clé du participatif est donc la multiplicité des acteurs : leur participation peut être graduée, allant de la consultation au partage du risque, en passant par une participation collaborative ou collégiale (Figure 4).

L'échelle de la participation de Sherry ARNSTEIN - 1969		
8	Contrôle citoyen : une communauté locale gère de manière autonome un équipement ou un quartier.	Pouvoir effectif des citoyens
7	Délégation de pouvoir : le pouvoir central délègue à la communauté locale le pouvoir de décider un programme et de le réaliser.	
6	Partenariat : la prise de décision se fait au travers d'une négociation entre les pouvoirs publics et les citoyens	
5	Conciliation : quelques habitants sont admis dans les organes de décision et peuvent avoir une influence sur la réalisation des projets.	Coopération symbolique (tokenisme)
4	Consultation : des enquêtes ou des réunions publiques permettent aux habitants d'exprimer leur opinion sur les changements prévus.	
3	Information : les citoyens reçoivent une vraie information sur les projets en cours, mais ne peuvent donner leur avis.	
2	Thérapie : traitement annexe des problèmes rencontrés par les habitants, sans aborder les vrais enjeux	Non-participation
1	Manipulation : information biaisée utilisée pour « éduquer » les citoyens en leur donnant l'illusion qu'ils sont impliqués dans le processus.	

Figure 4 : Echelle de Participation (Arnstein, 1969)

Quand la démarche est initiée par une entreprise, elle peut mobiliser à différentes étapes des collectifs pour effectuer de la co-crédation (Figure 5).

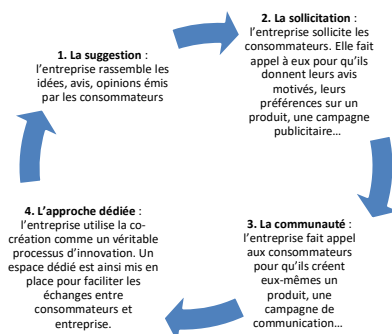


Figure 5 : les étapes de la co-crédation (selon Maillet, 2009)

Enfin, il est à noter une convergence sur un bénéfice induit des démarches participatives : la montée en compétences via le partage des connaissances des différents acteurs (Houllier *et al.*, 2017 ; rapport HAS, 2020).

En synthèse, les conditions de réussite des démarches participatives, quel que soit le secteur d'activités, nécessitent :

- Un cadre « défini et partagé »
- Une gouvernance dédiée
- Une animation forte du collectif
- La convergence des intérêts autour d'un objet commun
- Le suivi et l'entretien de la dynamique engendrée
- Des outils pour l'animation, le partage des connaissances et des savoir-faire

Les difficultés rencontrées sont :

- le coût et le retour sur investissement des démarches participatives quand une entreprise porte leur animation
- le pas de temps de ces démarches, peu compatibles avec la gestion de crise par exemple ou une urgence (identification puis mobilisation des acteurs, etc.)
- l'importance de l'animation, et la difficulté de garder mobilisés certains acteurs du collectif sur la durée

Les démarches participatives peuvent intervenir à différentes étapes d'un processus d'innovation : au début du processus lors de la conception, ou tout au long du processus jusqu'au déploiement de l'innovation conçue. La spécificité des démarches participatives repose donc sur la diversité des acteurs et la diversité de leur mode d'intervention dans le processus d'innovation. Ainsi, définir un cadre commun est un facteur clé de succès des démarches participatives.

L'ensemble des démarches participatives repose sur la définition d'un objet et d'un objectif commun, i.e. une vision partagée du futur (Schmid et Mambrini, 2019). Dans le cas de l'innovation variétale et de la mise en œuvre de la sélection participative, cette dimension est essentielle. Le développement de différents collectifs impliqués en sélection participative (dont beaucoup sont membres du Réseau Semences Paysannes), sur de nombreuses espèces, illustre cette convergence d'intérêt de certains agriculteurs sur la création de semences et plants. L'innovation variétale construite autour de la transition agroécologique dessine un contexte nouveau, favorable à l'innovation variétale ouverte.

2.2. Les démarches participatives dans le domaine de la sélection et l'évaluation des variétés végétales

La recherche participative dans le domaine de la sélection et gestion de la diversité cultivée peut être définie comme une démarche visant deux principaux objectifs (Desclaux *et al.*, 2019): (i) un objectif fonctionnel ou pragmatique consistant, par exemple, à obtenir des variétés mieux adaptées aux besoins des agriculteurs et, au-delà, d'une filière, (ii) un objectif procédural contribuant à renforcer le rôle des acteurs (agriculteurs, consommateurs, etc..) et leurs capacités techniques et organisationnelles, dans le domaine des semences, en partageant des méthodes, des savoirs.

L'originalité de la Sélection Participative repose sur une triple innovation : technique avec la conception de dispositifs de sélection décentralisée et de méthodes pour gérer et analyser les données, organisationnelle avec l'intégration de ces techniques dans une diversité de conditions de production, et sociale en valorisant savoirs académiques et savoirs empiriques (Christinck *et al.*, 2005 ; Neef et Neubert, 2011).

Il s'agit d'une démarche souvent à l'initiative des agriculteurs (Sperling *et al.*, 2001), avec une grande diversité d'approches et de mises en place, avec cependant quelques points communs :

- Le cahier des charges est largement co-construit avec tous les acteurs
- Les ressources génétiques mobilisées sont diverses (variétés de pays, populations, mélanges variétaux) ;
- Les méthodes de sélection utilisées sont diversifiées : massale / généalogique/ récurrente ;
- L'évaluation vise souvent des environnements spécifiques et des adaptations aux conditions, systèmes et usages locaux.

2.2.1. Deux exemples en création variétale pour l'Agriculture Biologique

2.2.1.1. Liveseed : projet multi-acteurs H2020 pour l'Agriculture Biologique

Le projet européen Liveseed « Boosting organic seed and plant breeding across Europe » est un projet de recherche européen H2020, conduit entre 2017 et 2021, réunissant 49 partenaires couvrant 18 pays européens. L'objectif de Liveseed est « d'améliorer la transparence et la compétitivité du secteur des semences et de la sélection biologiques, et d'encourager à une plus large utilisation des semences biologiques » (plaquette de présentation Liveseed, 2017)³. Les conclusions de Liveseed ont été éditées en février 2021.

Le Work Package 2 « Improving cultivar testing, seed multiplication & health for high quality seeds for the organic sector » conclut que les infrastructures actuelles en Europe permettent un développement « restreint » de nouveaux cultivars adaptés en agriculture biologique (Rey *et al.*, 2021) et que des innovations de rupture seront nécessaires pour répondre à l'adaptabilité nécessaire à la production en agriculture biologique (plus d'aléas) et ainsi apporter aux agriculteurs et consommateurs une réponse quant à leurs besoins. Les recommandations proposées par le Consortium peuvent être synthétisées en 9 points dont plusieurs directement liés aux démarches participatives :

³ https://www.liveseed.eu/wp-content/uploads/2018/02/LIVESEED_french_leaflet.pdf

- Les approches participatives apparaissent essentielles pour couvrir le large éventail des besoins et des conditions environnementales de l'agriculture biologique
- Contrairement aux approches traditionnelles, officielles et centralisées, un réseau efficace d'essais pour l'agriculture biologique doit être conçu en fonction des besoins des agriculteurs.
- Ce réseau d'essais de cultivars pour l'agriculture biologique doit être un réseau de collaboration décentralisé.
- La coordination et l'animation d'un réseau d'essais collaboratif sont des domaines qui requièrent des compétences et des méthodes de recherche participative appropriées et appellent une attitude nouvelle de la part des acteurs scientifiques, techniques.
- Le Data Management (collecte et analyse de données) devra permettre une fluidité et une lisibilité dans les conclusions amenées par les réseaux d'essais collaboratifs
- L'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) peut être un levier pour faciliter la mise en place d'essais collaboratifs pour l'agriculture biologique,
- Les modèles économiques devront aussi être innovants, intégrant les différents acteurs dans la chaîne de valeur

Les conclusions de Liveseed détaillent ainsi les approches participatives comme un prérequis indispensable aux développements de nouveaux cultivars adaptés en agriculture biologique.

2.2.1.2. La sélection participative en blé dur en Agriculture Biologique (AB)

Dès 2001, un projet d'envergure impliquant agriculteurs, industriels, sélectionneurs et chercheurs a été initié pour répondre aux besoins d'un matériel végétal blé dur adapté à l'agriculture biologique (adaptation locale, diversité génétique, amélioration des connaissances des parties prenantes au projet) (Desclaux *et al.*, 2006). Le projet a identifié 3 étapes structurantes :

- un premier temps d'évaluation participative qui aura permis aux acteurs de se comprendre et d'identifier le cadre des futurs travaux
- un deuxième temps de sélection participative : la modélisation de la pluralité d'Agriculture Biologique (Desclaux *et al.*, 2008) a initié deux filières collectives, embrassant ainsi la diversité agroécologique de l'agriculture biologique : Le projet a démontré qu'il n'existait pas une mais « plusieurs agricultures biologiques » car plusieurs territoires de production avec des spécificités pédoclimatiques bien distinctes, rassemblées pour le blé dur en 2 filières d'approvisionnement pour l'industriel concerné.
- un troisième temps de recommandations pour les systèmes d'innovation et réglementaires

Le retour d'expériences de ces 8 ans de programme illustre quelques principes clés pour la réussite de démarches participatives dans la création variétale : la collaboration pluridisciplinaire, le temps « long » de dialogue et de compréhension des différents acteurs avec un nécessaire accompagnement en sociologie, et des méthodes d'analyse adaptées aux nombreux enseignements issus de la pluralité des sites d'essais (Desclaux *et al.*, 2009).

Les démarches participatives peuvent être adaptées à la création variétale en Agriculture Biologique, permettant ainsi de répondre à la diversité des besoins des utilisateurs et des situations agronomiques. Les retours d'expérience démontrent une nécessaire adaptation du cadre de travail des acteurs, des méthodes d'analyse, de l'innovation et du cadre réglementaire. Le fort besoin d'animation de ces réseaux apparaît aussi comme élément essentiel dans la mise en œuvre de ces démarches.

2.2.2. Les démarches participatives appliquées à l'agroécologie et à la création variétale

2.2.2.1. Intérêts et opportunités

Les démarches participatives sont déjà utilisées pour trouver des solutions pertinentes dans les démarches environnementales et climatiques (Nicholas *et al.*, 2020) : identifier et prioriser des adaptations technologiques et sociales pour répondre aux nombreuses incertitudes, et à la complexité sont des défis auxquels sont aujourd'hui confrontés nombre de secteurs. Par définition, l'agroécologie est une façon de concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes (site du Ministère de l'Agriculture) : ceci implique une spécificité de raisonnement et de mise en œuvre par lieu de production. Aléas et complexité des systèmes de production sont donc deux éléments clés à prendre en compte pour élaborer un matériel végétal adapté à l'agroécologie. Comme l'instruit le projet Liveseed (Rey *et al.*, 2021), les démarches participatives pour la création variétale seraient un moyen d'embrasser la complexité et les aléas inhérents au développement de l'agroécologie. En effet la diversité des acteurs impliqués dans ces activités de sélection, avec notamment des utilisateurs finaux (paysans-boulangers par exemple) et la diversité de leurs motivations induit une diversité de pratiques de sélection (choix des espèces, critères considérés, méthodes employées, Mazé *et al.*, 2021). Cette diversité de pratiques, si elle n'a pas l'optimalité des schémas de sélection du secteur semencier, est donc potentiellement garante de la prise en compte de contextes de production ou d'utilisation marginaux, pour lesquels le retour sur investissement n'est pas envisageable en sélection privée. L'efficacité de la sélection participative a fait l'objet de différentes études (e.g. Witcombe *et al.*, 2006 ; Goldringer *et al.*, 2021 ; Bhargava and Srivastava, 2019), et si son coût a été rarement analysé (voir cependant Manglione *et al.* 2006), son efficacité économique a été soulignée (Witcombe *et al.*, 2006), et mériterait d'être mieux étudiée pour éclairer la question des alternatives économiques au financement de la création variétale.

A l'instar d'autres secteurs, le développement de démarches participatives dans le domaine de la sélection, l'évaluation et la multiplication des variétés végétales, pourrait à terme créer de la valeur pour les différents acteurs impliqués dans le processus : financièrement, sous forme de services environnementaux rendus par les variétés, par le développement de produits adaptés aux utilisateurs, par une montée en compétence ou encore par la mise en place de nouvelles organisations et de nouveaux métiers dans le sélecteur semencier.

Enfin, les démarches participatives, appliquées à la sélection, peuvent être menées en lien avec une conservation des ressources génétiques *in situ* (Dawson et Goldringer, 2012 ; Rhoné *et al.*, 2008 ; Thépot *et al.*, 2015). Cette organisation permet un criblage rapide et facilité des ressources génétiques dans l'optique d'une adaptation à un changement environnemental ou des pratiques culturelles nouvelles. Elle permet aussi une évaluation multicritère des ressources génétiques par un collectif large, avec pour exemple l'implication de milliers de jardiniers dans la caractérisation d'accessions de haricots (projet européen Increase « Intelligent Collections of Food Legumes Genetic Resources for European Agrofood System »). Elle offre également la possibilité de développer de larges panels pour l'étude d'interactions génotype x environnement permettant ainsi d'améliorer les connaissances du déterminisme génétique de certains caractères d'intérêt (Enjalbert *et al.*, 2011). Les démarches de sélection participatives et classiques pourraient être complémentaires, les dispositifs participatifs permettant de repérer des adaptations remarquables (résistance à une maladie émergente, adaptation environnementale, variant dans un critère de qualité, ...), ou d'acquérir rapidement des connaissances sur des caractères d'intérêt pour la filière, et les démarches de sélection classiques permettant une amélioration rapide de ces caractères.

2.2.2.2. Démarche : qui impliquer ?

Des démarches participatives existent déjà dans le domaine de l'innovation variétale, à travers l'intervention des utilisateurs en amont des processus de sélection pour définir les idéotypes, ou le recueil de l'avis des producteurs et transformateurs (par exemple boulangers et pasteurs pour le blé tendre, le blé dur) sur les plantes en cours de sélection, ou la réalisation tests consommateurs hédonistes en aval de la sélection, dans de nombreux programmes de sélection. Pour certaines espèces (céréales), des agriculteurs sont impliqués dans le choix des croisements et la sélection des variétés au côté de la recherche publique (Mazé *et al.*, 2021, ; Colley *et al.*, 2021). Depuis plus de 15 ans, il existe de nombreux programmes et expériences de sélection participatives en France, co-construits entre des équipes de recherche INRAE et des associations paysannes et citoyennes (Desclaux *et al.*, 2019). Ces programmes visent à répondre à une diversité de besoins en termes d'adaptation à des pratiques d'agriculture biologique et/ou agroécologiques, à des débouchés nouveaux et des conditions pédo-climatiques très variées.

L'évaluation des variétés en vue de leur inscription au catalogue officiel français, implique également les utilisateurs, à travers leur participation dans les sections CTPS. En effet, l'élaboration de la liste des caractères à évaluer, des dispositifs d'expérimentation (dispositifs d'expérimentation qui reposent sur l'apport de nombreux partenaires sous coordination du GEVES (Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés Et des Semences)) et des règles de décision est l'aboutissement de la construction collective permise par la participation collégiale au CTPS. Ces démarches existantes pourraient être complétées par des démarches participatives plus volontaristes, impliquant davantage les agriculteurs, utilisateurs, diffuseurs des variétés et transformateurs dans le phénotypage des variétés et les processus itératifs de codécision.

Ce type de démarche est à encourager pour les espèces orphelines ou peu couvertes par le conseil classique, ou bien pour sélectionner du matériel végétal destiné à des conditions de culture ou à des marchés spécifiques, pour lesquelles les démarches classiques de sélection, évaluation et multiplication des variétés n'apporte pas les innovations souhaitées par les utilisateurs, soit parce que le marché est trop réduit, soit parce que les conditions et les traits demandés sont très atypiques. Elles peuvent également être développées en vue d'une diversification du matériel végétal (à travers des sélections spécifiques par chaque utilisateur), ou d'une diversification des conditions de culture dans lesquelles le matériel végétal peut être testé et utilisé.

Comme évoqué, les acteurs impliqués pourraient être nombreux : les utilisateurs des variétés à considérer sont les agriculteurs, les consommateurs, les transformateurs et les citoyens. Il convient de trouver le bon dosage entre représentation institutionnelle de chaque type d'utilisateurs, et représentation individuelle : le défi consisterait à parvenir à la fois à capter et préciser les divers besoins des utilisateurs, et à mettre au point des innovations qui conviennent à un grand nombre d'utilisateurs.

Les approches digitales mises en œuvre par des start-up, les applications inspirées de ce qui a été proposé dans le projet Liveseed (Liveseed, 2021) ou à travers l'application Yuka pourraient inspirer un cadre « data » pour récolter et analyser les données issues de démarches participatives, comme cela a été fait à travers Shinemas, une base de données dédiée à la sélection participative en France (De Oliveira *et al.*, 2020). L'application Seedlinked, évoquée en illustration dans le programme Liveseed (<https://seedlinked.com/>) peut être citée comme une référence de plateforme participative de partage de données d'évaluations de variétés.

2.2.2.3. Difficultés et verrous à lever

Le retour d'expériences des démarches participatives, quel que soit le secteur d'activités, a illustré des difficultés dans la mise en œuvre. Tout d'abord, la définition claire et partagée par tous les acteurs concernés de l'objet traité par les démarches participatives est un prérequis à ne pas négliger : rappelons ici que les démarches participatives sont un des moyens à activer pour répondre à un objectif précis.

Les moyens humains à mobiliser, pour la coordination des démarches participatives pourraient être aussi un frein : les démarches participatives, nécessitent une animation forte. En dehors du temps à y allouer, des compétences dédiées sont nécessaires (animation, synthèse, coordination d'acteurs différents, etc.).

La durée des projets sollicitant les démarches participatives peut aussi être un frein : en effet, comme toute démarche collective, le temps de l'accord et du consensus est un temps « plus » long que des démarches gérées dans un cercle plus restreint. Le « turn over » de certains acteurs pourra aussi être une source de « frein » (formation et motivation des nouveaux entrants).

- L'accord sur les ressources financières à mobiliser par chacun des acteurs pourra être un réel frein (notamment la ressource d'animation ou le partage des investissements si investissement il doit y avoir),
- La disponibilité en quantité limitée des semences ou des plants d'un matériel végétal issu de la sélection participative conduit à s'interroger sur le dispositif à utiliser afin d'obtenir un maximum d'information sur le comportement variétal.
- L'évaluation des variétés de manière participative implique un grand nombre d'essais, décentralisés, avec moins de répétitions, et avec du phénotypage réalisé par les agriculteurs (Rey *et al.*, 2021).

Enfin, alors que les dispositifs classiques d'évaluation des variétés reposent sur l'agrégation d'essais multi-locaux, reposant sur un phénotypage standardisé, parfois combiné avec des données de génotypage, afin de garantir la fiabilité des résultats, il convient d'apprendre à analyser des données plus hétérogènes et issues de dispositifs déséquilibrés, afin de parvenir à tirer des généralités, tout en étant à même d'évaluer l'adaptabilité des variétés à des conditions locales.

Les expériences acquises sur des réseaux participatifs seront à ce titre intéressantes à mobiliser comme le mentionnent le projet européen Diversifood « Embedding crop diversity and networking for local high quality food systems » (Chable *et al.*) ou la Prospective interdisciplinaire Agroécologie (Caquet *et al.*, 2020), à la fois sur le bénéfice social et éthique de faire progresser une communauté autour d'un intérêt commun « de la semence à l'assiette » mais aussi sur des méthodes pour organiser et analyser des données issues d'expérimentations nombreuses (Rivière *et al.*, 2015a, 2015b ; David *et al.*, 2020 ; van Frank *et al.*, 2019).

Le déploiement de l'agroécologie à grande ampleur peut bénéficier des démarches participatives : la création variétale pour l'agroécologie devra introduire ces démarches pour les phases de sélection, d'évaluation, de caractérisation, et de conservation. Ces démarches pourraient répondre à la complexité engendrée par l'agroécologie, et aussi être créatrices de valeurs pour les différents acteurs impliqués (valeurs intellectuelle, financière, sociale). Des initiatives récentes au niveau européen, pour l'agriculture biologique notamment en céréales, sont autant de retours d'expériences à utiliser pour accélérer les démarches participatives dans le processus de création variétale.

Les démarches participatives sont complémentaires d'autres méthodes de sélection et d'évaluation. De plus, ces démarches semblent appropriées pour des espèces orphelines ou pour des situations agro-climatiques peu couvertes par les méthodes de sélection classique.

Des verrous sont identifiés : financiers, organisationnels (accompagnement des démarches par une animation adaptée) et parfois méthodologiques,

La mise en œuvre de telles démarches participatives pourra s'appuyer sur la « data science », ou encore le partage de nouveaux savoirs et savoir-faire dans les nombreux collectifs impliqués en sélection participative.

2.3. Cadres réglementaires et administratifs pour les approches participatives

2.3.1. Sélection participative et réglementation sur les semences

Les échanges de semences/plants pratiqués par les réseaux de sélection participative en France sont restés de nombreuses années en marge de la réglementation, mais depuis 2016, les échanges de semences/plants sont autorisés entre agriculteurs, pour des variétés non protégées par un COV (Certificat d'Obtention Végétale) (Loi Biodiversité, 2016). Les agriculteurs peuvent échanger des semences/plants de variétés connues et inventoriées, mais également des populations créées par des agriculteurs ou dans le cadre de programmes de recherche (cas de nombreuses populations de blé tendre créées en collaboration entre RSP (Réseau de Semences Paysannes) et INRAE).

La question de la propriété intellectuelle de ces nouvelles populations ne se pose généralement pas. En effet, c'est la reconnaissance des semences en tant que bien commun (au sens Ostrom, 1990) qui prône dans ces collectifs. Ainsi le RSP déclare : « par principe, la privatisation du vivant qui découle de l'utilisation d'un DPI (Droit de Propriété Intellectuelle) (COV et/ou brevet) est remise en cause par les principes de base qui sous-tendent les semences paysannes ».

Toutefois une évolution récente de la réglementation au niveau Européen (Règlement 2018/848), en application en janvier 2022, concerne le Matériel Hétérogène Biologique, et permet la commercialisation d'un tel Matériel Hétérogène Biologique, préalablement décrit dans ses caractéristiques biologiques et son mode d'obtention (les semences d'un Matériel Hétérogène Biologique doivent être produites en Agriculture Biologique). Cette réglementation va permettre de commercialiser de tels Matériels Hétérogènes Biologiques, notamment obtenus par sélection participative, démarche entreprise par certaines coopératives semencières bio pour les céréales (des initiatives existent aussi en espèces légumières). Ces nouvelles voies de commercialisation pourraient offrir un levier pour une diffusion plus large de certaines de ces Matériels Hétérogènes Biologiques, modifiant/diversifiant l'offre variétale, et répondant ainsi aux enjeux d'accès à une plus grande gamme de semences/plants posés par l'agroécologie.

Les démarches participatives pour la création variétale soulèvent deux notions à questionner : la sélection collective (cadre d'inscription et de diffusion, garanties associées) et la propriété intellectuelle. Ainsi, un cadre de référence pour la propriété intellectuelle d'un matériel végétal issu de démarches participatives pourrait être proposé.

Un fonctionnement en réseau fermé (« club ») ne repose pas sur une garantie par la puissance publique de la loyauté des échanges. Dès lors qu'une mise en marché publique intervient, l'intérêt d'un tiers de confiance est souligné.

2.3.2. Le CTPS et les démarches participatives

Par essence, le CTPS est une instance participative : sa composition avec 800 experts/scientifiques, sa parité publique privée, la participation d'acteurs issus des secteurs publics et privés, les nombreux organismes et parties prenantes qui y sont représentés définissent le « participatif » du CTPS.

L'ensemble de la filière y est représenté, du créateur à l'utilisateur de la semence/plant, en passant par les multiplicateurs et les transformateurs. Aujourd'hui, une part importante des choix sur l'orientation de la création variétale en France s'effectue au sein des instances du CTPS, au travers de la définition des critères d'inscription. Ces critères sont débattus de façon collégiale, dans un processus participatif « méconnu ».

Se posent néanmoins les questions :

- de l'intégration de nouvelles expertises (microbiote du sol, statistique, etc.) pour répondre aux besoins cités dans la partie 1 et 3 de ce document.
- de l'intégration de l'innovation variétale ouverte dans les process actuels d'inscription
- de la possibilité de rester représentatif si les systèmes agricoles et les filières qui les environnent sont plus localisés et donc plus nombreux

Les questions posées par les démarches participatives au niveau de l'inscription concernent l'évaluation d'un matériel végétal plus hétérogène, les dispositifs à activer afin d'obtenir un maximum d'information sur le comportement variétal, les garanties pour les sélectionneurs et les utilisateurs, l'analyse de données de l'évaluation participative, sans oublier le partage de valeurs générées.

3 Modalités d'évaluation des variétés pour l'agroécologie et incidences sur l'inscription des variétés

Repérer et caractériser les variétés adaptées aux systèmes agroécologiques est nécessaire pour favoriser leur inscription au catalogue officiel français et faciliter les choix des utilisateurs.

3.1. Modalités d'inscription et d'évaluation des variétés pour les différentes espèces

Pour les espèces agricoles et la vigne, l'inscription au catalogue officiel français garantit à l'utilisateur que la variété qu'il choisit est parfaitement identifiable et distincte de toute autre variété connue (DHS pour Distinction, Homogénéité, Stabilité) et qu'elle possède, à la date de l'inscription, une valeur culturale et d'utilisation satisfaisante (VATE pour Valeur Agronomique Technologique et Environnementale). Les études VATE reposent sur des réseaux d'essais multi-locaux appelés réseaux d'inscription CTPS ou RNE (Réseau National d'Expérimentation), complétés d'expérimentations particulières menées en conditions contrôlées, semi-contrôlées ou au champ. Pour chaque espèce, le réseau d'essais principal a principalement pour but d'évaluer la performance globale des variétés (rendement, caractères technologiques, et parfois tolérance à des maladies) et d'autres réseaux vont s'attacher à l'évaluation d'autres caractères : résistance à divers bioagresseurs, tolérance au froid ou à la verse, ou toutes autres caractéristiques particulières. Les réseaux de performance globale visent jusqu'à présent à être représentatifs des grandes zones de culture de l'espèce étudiée et généralement de la conduite culturale majoritaire. Par conséquent, il est légitime de s'interroger sur leurs capacités à identifier des variétés aux finalités variées et adaptées à des systèmes agroécologiques beaucoup plus diversifiés en termes d'espèces, de pratiques et d'environnements, et sur leur capacité à renseigner sur les traits pertinents pour la transition agroécologique.

Pour les autres espèces, les épreuves d'inscription contribuent à acquérir de l'information descriptive fiable sur les variétés, qui permettra ensuite aux acteurs du référencement des variétés après inscription d'affiner leurs recommandations, en consolidant les données acquises lors de l'inscription. L'enjeu d'amélioration de ce dispositif réside toutefois en un renforcement de caractères d'intérêt pour les utilisateurs à qualifier lors de cette phase d'inscription, et à la transmission / valorisation de ces informations.

3.2. Comment mieux évaluer les variétés pour l'agroécologie ?

3.2.1. Intégrer l'évaluation de nouvelles caractéristiques variétales pour des systèmes agroécologiques lors de l'inscription

Les études VATE constituent un outil pour orienter le progrès génétique avec des objectifs de performance sur des critères de valeur au champ et d'utilisation combinés à une valeur environnementale (Masson et Leclerc, 2014). Le travail de réflexion du Comité Scientifique du CTPS et les sorties d'entretiens auprès d'acteurs menés dans le cadre du projet RESO ont permis de lister de nombreuses caractéristiques variétales à sélectionner et évaluer pour des systèmes agroécologiques. Il ressort particulièrement de ces travaux l'importance d'évaluer l'aptitude à l'association, la vigueur et la compétitivité vis-à-vis des adventices. Il s'agit à

présent de traduire ces caractéristiques en traits mesurables et d'explorer comment ils peuvent être intégrés aux études d'inscription, DHS ou VATE, au vu des contraintes rencontrées à la fois techniques, logistiques et économiques. Plusieurs projets de recherche en cours permettront d'avancer rapidement sur ces points pour différentes espèces étudiées. (Projets CASDAR VIGO « Comprendre et phénotyper la vigueur du colza à l'automne pour proposer des variétés adaptées à des conduites agroécologiques » et RESO2 « Incidence de la transition agroécologique sur les modalités d'évaluation des variétés et la conception des réseaux d'essais », et FSOV adventices III « Amélioration de la compétitivité des variétés de blé tendre vis-à-vis des adventices en agriculture biologique », démarrés en 2021...).

Par ailleurs, la place des plantes de service dans ces systèmes a particulièrement été soulignée, des traits spécifiques étant attendus pour répondre aux objectifs de leur mise en place (ex. restitution d'azote, structuration du sol) et aux spécificités de leur conduite (ex. implantation rapide, destruction par le gel). Ceci conduit à alimenter et enrichir les travaux de la CISPS (Commission Inter-Section du CTPS dédiée aux Plantes de Services) dont la large couverture spécifique et l'analyse de l'offre variétale vis-à-vis d'une large diversité de services environnementaux constituent d'ores et déjà des contributions significatives à la transition agroécologique. Au-delà, c'est la question de l'évaluation de plantes aux usages potentiellement multiples qui se pose, réclamant une évaluation multicritère, et une discussion des poids respectifs des différents critères.

3.2.2. Explorer davantage de diversité dans les réseaux d'essais d'inscription

La diversité des espèces, des services et des environnements à considérer pose clairement la question du dimensionnement des dispositifs expérimentaux nécessaires à l'évaluation des variétés : explorer une plus large gamme de milieux, contraintes et modes de production réclamerait un nombre de situations trop important par rapport aux possibilités offertes par les réseaux actuels, limités en nombre de sites et moyens. Les réseaux d'inscription actuels devront donc évoluer pour permettre à la fois de tester les variétés dans des essais représentatifs de la diversité des milieux de culture, d'évaluer des traits ciblés et des services apportés par les variétés, importants pour la production et la valorisation dans des systèmes agroécologiques.

Pour explorer une plus large gamme de milieux dans les réseaux d'essais, des conduites AE (Agroécologie) suffisamment représentatives (AB, travail du sol réduit, conduite associée...) pourront être intégrées au réseau. Si la part de ces essais en conditions AE, ou leur poids dans la cotation VATE et la prise de décision d'inscription, reflète la réalité de ces pratiques en France, elle sera donc amenée à évoluer dans les années futures avec le développement pressenti de l'AE. A titre d'exemple, le réseau triticales a intégré 4 essais en Agriculture Biologique (AB) dans son réseau 2022 pour renforcer la diversité des contraintes (azote notamment) et prendre en compte la diversité des systèmes de production du triticales en France. En effet, les surfaces de triticales en agriculture biologique sont significatives en France (31 076 ha en 2019), soit environ 10% des surfaces françaises en triticales. Cette réflexion a conduit à une évolution de la cotation avec l'intégration des résultats des essais AB à hauteur de 10% . Ces évolutions du réseau et de la cotation triticales ont été validées par la section Céréales à Paille en juillet 2021 et entrent donc en vigueur à partir des dépôts d'août 2021. Par ailleurs, en colza, des réflexions sont en cours au sein de la section CTPS Colza et autres crucifères et de la commission VATE pour intégrer du colza associé au réseau d'inscription à hauteur de 20%, part que représente aujourd'hui cette pratique en France (en termes de surfaces).

Dans une telle structuration, l'incidence qu'il y aurait à considérer l'holobionte est totalement omise. Si le développement des travaux de recherche en cours démontrait l'effet du microbiote, et notamment les projets DEEP-IMPACT « Deciphering plant-microbiome interactions to enhance crop defenses to pests » et SUCSEED « Stop the use of pesticides on seed » du PPR (Programme Prioritaire de Recherche) « Cultiver et Protéger Autrement », les éléments discutés ci-dessus devraient être amendés et enrichis dans des modalités qu'il est à ce jour difficiles de préciser. Deux orientations pourraient être suivies :

- Si le recrutement du microbiote est déterminé par le génotype de la plante, alors, ceci conduirait à devoir prendre en compte une variable supplémentaire, en l'occurrence les caractéristiques de la communauté microbienne exogène que l'on peut apporter à la plante. Ceci viendrait renforcer l'ensemble des considérations précédentes ;
- Si au contraire, le microbiote apporté, par exemple en traitement de semences, joue un rôle déterminant dans l'adaptation aux conditions pédo-climatiques, et en particulier dans l'acquisition de nutriments en situations limitantes ou dans la résistance à des bioagresseurs, la modulation du microbiote permet de rechercher l'adaptation locale, le génotype de la plante ayant alors une valeur plus générique et une adaptation large. Cela viendrait alors atténuer les considérations précédentes.

3.2.3. Combiner différents types d'essais

L'évaluation de variétés adaptées à des systèmes agroécologiques peut se faire au travers de différents types d'essais qui vont chacun apporter des éléments contribuant à une meilleure description des variétés.

Les **essais en conditions agroécologiques** permettent d'exprimer le comportement des variétés dans des conditions d'usage et leur adaptation à des pratiques spécifiques. Ces conditions agroécologiques peuvent correspondre à des conduites en Agriculture Biologique ou en agriculture de conservation des sols, des cultures en association, ... Actuellement peu représentées dans les réseaux d'inscription, ces conditions d'essais permettent d'évaluer certains comportements variétaux comme par exemple la compétitivité aux adventices en blé biologique qui est évaluée par le taux de couverture et la hauteur (Fontaine *et al.*, 2017), ou encore, les performances en rendement et qualité, les conditions de nutrition azotée étant très différentes de celle du réseau d'essais CTPS « classique » (Fontaine *et al.*, 2021). On peut aussi citer le cas des associations pois-blé, pour lesquelles les premiers résultats de projets de recherche montrent la nécessité d'évaluer le rendement et certains caractères du pois (ex. hauteur en fin de cycle) en conduite associée, leur mesure en pur n'étant pas prédictive des mesures faites en association (Moutier *et al.*, 2018).

Les **essais dédiés** visent à caractériser la réponse des variétés face à un stress biotique ou abiotique, ils sont spécifiques à un trait particulier. Certains essais sont mis en place au champ comme dans le cas de la résistance des variétés de pomme de terre face au mildiou, alors que d'autres sont réalisés en conditions contrôlées, au laboratoire comme par exemple les nombreux tests maladies réalisés sur les espèces légumières. Ce type d'essais visant à caractériser le niveau de résistance d'une variété sera amené à se développer et devra prendre davantage en compte les niveaux de résistance intermédiaire afin de renforcer la durabilité des résistances. Par ailleurs, même si peu présents actuellement lors des études d'inscription, ce type d'essais devra être étendu à des stress abiotiques (stress hydrique, stress azoté, stress thermique...). Dans le cas du stress hydrique, certaines infrastructures de phénotypage haut débit qui permettent de contrôler les apports en eau (plateformes PHENOFIELD, Phéno3C...) pourraient être utilisées pour l'évaluation variétale.

Les **essais en conditions raisonnées** se caractérisent par des apports d'engrais minéraux, de produits phytosanitaires et d'eau peu limitants (mais souvent inférieurs à l'optimum agronomique) afin de s'affranchir autant que possible des principaux facteurs limitant la production végétale (stress azoté, stress hydrique, maladies, ravageurs...). Ces conduites correspondent aux pratiques culturales majoritaires des années 1990 au début des années 2000 et présentent l'intérêt de limiter l'erreur expérimentale en limitant l'hétérogénéité de terrain et d'ainsi limiter le risque de rejeter des essais coûteux. Ils ne sont pas représentatifs de conduites agroécologiques. Ces essais révèlent les performances potentielles des variétés tout en permettant de caractériser des traits phénotypiques et phénologiques héritables comme par exemple, respectivement, la hauteur et la précocité de floraison ou la résistance à la verse. Ainsi, certains traits variétaux mesurés/obtenus dans des essais en conditions optimales peuvent contribuer à l'évaluation des variétés pour des systèmes agroécologiques, car porteurs d'information pour les utilisateurs. D'autres caractéristiques moins héritables (taux de couverture par exemple) ou impossibles à évaluer dans ces conditions (compétitivité vis-à-vis des adventices par exemple) ainsi que la performance globale des variétés (rendement et qualité) dans des systèmes agroécologiques nécessitent probablement une proportion plus importante d'essais dédiés ou en conditions agroécologiques. En culture, en conditions réelles, la situation de production optimale pourra être approchée en mobilisant de nombreux leviers (agronomie, technique de culture, régulation de bioagresseurs...) performants et adaptés à la situation locale pour réussir la production végétale en agroécologie. Ces essais en conditions raisonnées peuvent donc également être prédictifs de performance variétale en agroécologie maîtrisée.

L'équilibre entre ces différents essais est à déterminer pour d'une part permettre l'inscription de variétés adaptées aux systèmes agroécologiques et, d'autre part, renseigner au mieux l'utilisateur quant aux caractéristiques de ces variétés. Par ailleurs, la transition des dispositifs expérimentaux devra être progressive afin d'assurer une continuité de l'information dans le temps, de former les expérimentateurs à l'application de nouvelles pratiques culturales et expérimentales et d'ainsi minimiser les risques d'échecs expérimentaux.

3.2.4. Améliorer l'articulation entre les différents réseaux d'évaluation des variétés

Caractériser des variétés pour des systèmes agroécologiques va donc conduire à mesurer de nouveaux traits, à mettre en place différents types d'essais, à explorer davantage de milieux qui devront être finement caractérisés. L'évaluation des variétés dans le cadre de l'inscription ne sera pas à même de mettre en place l'ensemble de ces évolutions. Les acteurs de l'ensemble du continuum de l'évaluation variétale (obtenteurs, inscription, instituts techniques, référencement commercial, groupements de transformateurs, chambre d'agriculture, réseaux d'agriculteurs...) devront être mobilisés. Pour cela, un état des lieux de l'ensemble des dispositifs d'évaluation variétale en France sera nécessaire et veillera à (i) identifier les synergies et économies de moyens possibles entre les différents dispositifs d'évaluation et (ii) renforcer la complémentarité et la circulation des informations.

A titre d'exemple, les réseaux « fusionnés » où les évaluations d'inscription et de post-inscription sont menées dans les mêmes essais sont une piste à explorer. Des réseaux « fusionnés » existent déjà pour quelques espèces (soja, féverole, avoine, lin...) et la possibilité de les étendre à d'autres espèces doit être explorée.

Par ailleurs, la prise en compte de données obtenues par d'autres évaluateurs, y compris l'obtenteur, constitue également une piste à explorer. Explorée dès 2016 en maïs, la prise en compte de données fournies par les obtenteurs, sous réserve de concordance avec les données officielles CTPS et de respect d'un protocole de test proche de celui du CTPS, permet

de diminuer la marge d'erreur statistique de l'évaluation variétale lors de l'inscription, grâce à l'intégration d'un jeu de données plus étendu.

Il semble également opportun d'explorer la construction de réseaux « mixtes », c'est-à-dire contenant des dispositifs parallèles, complémentaires, moins encadrés, qui mixent des essais en blocs, à répétitions, avec suivi de protocoles approfondis, couplés à des essais en bandes, chez des agriculteurs, avec observations relevant de protocoles plus légers à mettre en œuvre (notion d'évaluation participative, nécessitant un minimum d'animation). Dans certaines espèces, la multiplication des semences chez les agriculteurs se fait en grandes bandes au sein d'une même parcelle. Elle présente donc cet avantage, par rapport à la multiplication classique, qu'elle pourrait aider à l'évaluation des variétés. Il faudrait alors un petit investissement pour exploiter les données variétales récoltées dans ces bandes, ce qui peut poser quelques difficultés techniques.

Ces réseaux mixtes offriraient des possibilités d'évaluation pour des adaptations locales, attendues par des utilisateurs de variétés adaptées à l'agroécologie, en permettant d'explorer plus d'environnements et de modes de culture pour certaines variétés.

La répartition entre essais pour l'inscription et en post-inscription, citée plus haut, y prend tout son intérêt.

A noter que pour ces modèles, la disponibilité en semences devient une contrainte forte, amenant à la considérer comme un facteur primordial dans les scénarios à travailler mixant inscription et post-inscription. Cette démarche nécessite de plus le développement d'approches statistiques adaptées pour en valoriser les résultats.

3.3. Quelles adaptations des règles pour l'inscription de variétés pour des systèmes agroécologiques ?

3.3.1. Rôle de l'inscription

L'inscription au catalogue officiel français est intégrée dans la réglementation « Variétés, Semences & Plants » dont l'objectif historique est de garantir à l'utilisateur une semence ou un plant sain(e), loyal(e) et marchand(e). En France, cet objectif est doublé d'une volonté de fixer collectivement les règles d'inscription au catalogue officiel français : le CTPS accompagne et oriente l'innovation variétale en faisant évoluer ses règlements techniques d'inscription, où sont définies les règles de décision. Ces règles visent à la meilleure adéquation entre les objectifs des utilisateurs de variétés, les attentes de la société civile et les orientations des pouvoirs publics, tout en intégrant l'expertise des sélectionneurs. Ces règles vont donc être amenées à évoluer pour permettre et encourager l'inscription de variétés pour des systèmes agroécologiques tout en répondant aux objectifs fondamentaux que sont la productivité, la régularité et la qualité de la production, pour assurer la rentabilité et la pérennité de ces systèmes agroécologiques.

Les réflexions sur le rôle de l'inscription révèlent :

- Un tiraillement entre la tentation de la dérégulation, pour permettre l'inscription d'une diversité variétale suffisante pour un certain nombre de caractéristiques variétales, donc sans filtres « centralisés » a priori et donc sans protection pour l'utilisateur, et la volonté d'orientation du progrès génétique, qui nécessite au contraire des filtres ou barrières à l'inscription.
- La prise en compte de l'inscription comme un des maillons de l'ensemble du système socio-technique d'amélioration des plantes. L'inscription ne fait donc pas tout, et il convient lors des réflexions de s'interroger sur la possibilité qu'un objectif d'évolution du système

d'amélioration des plantes soit aussi pris en charge par d'autres maillons. Toutefois, elle a souvent été considérée comme un levier d'auto-renforcement du système socio-technique, tel que défini par Geels (2004). Mais dans la mesure où le CTPS est une composante du paysage socio-technique, il peut alors via son fonctionnement, sa composition, être un élément majeur de transformation (Ollivier *et al.*, 2018).

- Le fait que les participants au système CTPS et au système socio-technique entier de l'amélioration des plantes ne se recoupent pas totalement : la représentation insuffisante des entreprises de distribution et de collecte (coopératives, négociants...) de semences/plants pouvant interpeller.

3.3.2. Hypothèses de travail

Les réflexions menées dans le cadre de la saisine se basent sur l'augmentation possible du nombre de traits variétaux d'intérêt dans le cadre d'une transition agroécologique. En effet, de nombreuses fonctions jusqu'alors assurées par des intrants exogènes doivent dans ce cadre être assurées par les autres composantes de l'agroécosystème, et particulièrement par le peuplement végétal. Plusieurs travaux d'idéotypage attestent de cela (Garcia *et al.*, 2019 ; Abbai *et al.*, 2020, Weiner *et al.*, 2010 ; Gauffreteau, 2018). Une partie des fonctions ainsi attendues peut montrer une diversité génétique, et dès lors potentiellement être l'objet d'une volonté d'amélioration génétique. La transition agroécologique peut donc potentiellement amener le CTPS à s'intéresser à de nouveaux traits, en grand nombre.

Une autre hypothèse forte de travail est celle d'une augmentation de la dépendance au milieu des performances des cultures : les fonctions initialement assurées par des intrants exogènes sont désormais assurées par les composantes de l'agroécosystème, et sont donc issues d'un déterminisme d'interactions complexes entre le milieu physique et les composantes biologiques du système. La traduction de ce phénomène dans le domaine de l'amélioration des plantes est étudiée par la notion d'interaction génotype-milieu (milieu étant pris au sens de Sebillote (1990), donc comme une résultante des caractéristiques pédoclimatiques ET de conduite). L'accroissement de cette dépendance n'a pas été étayé quantitativement. Or, le niveau d'Interaction Génotype-Environnement (IGE) est très variable suivant les traits observés (les héritabilités pouvant osciller de plus de 0,9 pour de la phénologie, à 0,3, en passant par des niveaux voisins de 0,7 comme pour le rendement (Cormier *et al.* 2013 ; Touzy *et al.*, 2019). La question de la quantification de cet enjeu de dépendance accrue au milieu reste peu documentée. On peut citer comme exception notable les travaux menés dans le cadre du projet CASDAR ECOVAB « Évaluer le comportement des variétés en AB : construire aujourd'hui les outils pour demain » (Fontaine *et al.*, 2021), ayant trait à l'évaluation variétale en agriculture biologique. Ceux-ci montrent une variance due aux IGE équivalente, en valeur absolue, quoique légèrement supérieure dans les réseaux conduits en agriculture biologique, comparativement au conventionnel. Toutefois, rapporté à la moyenne du rendement, cette variance représente une proportion 2 fois plus élevée de l'espérance moyenne de rendement. Ce résultat montre que la question de la dépendance des résultats d'évaluation variétale aux conditions de milieu interroge aussi les objectifs que nous assignons à cette évaluation (quelle ambition de prise en compte de la variabilité comme critère de décision ou au moins information sur les variétés ?). Les réflexions de la saisine se basent donc sur une hypothèse d'accroissement de ces phénomènes d'IGE, sans pour autant avoir de référentiel permettant de situer l'amplitude de cet accroissement par rapport au niveau d'IGE déjà existant, et dont l'ensemble du dispositif d'amélioration des plantes, CTPS inclus, s'accommode aujourd'hui. Cependant, les IGE ne doivent pas être le seul critère pour juger de la dépendance des cultures et des variétés aux milieux. Le niveau des IGE au sein d'un réseau d'essais dépend des variétés qui y sont testées et de leur diversité de comportement vis-à-vis des conditions

de cultures qui s'y expriment. Si cette diversité est trop faible, ce qui n'est pas exclu pour les variétés proposées à l'inscription une année donnée, alors les IGE seront faibles elles aussi. Il peut être plus utile de s'intéresser aux variations moyennes des performances entre essais et à la diversité des stress et des ressources qui les expliquent. Des études de ce type permettraient certainement de mieux mesurer et comparer la diversité des environnements générées par différents systèmes agricoles et la possibilité ou non de les explorer au sein d'un réseau d'essais variétaux. Par ailleurs, la tendance à privilégier des sites d'essais spatialement homogènes (sols plus profonds) induit aussi un biais de représentativité (Barbet-Massin, 2011). La généralisation de l'utilisation de méthodes statistiques avancées (issues notamment du projet CASDAR Optires « Optimiser les réseaux d'essais variétés par des méthodes permettant, en particulier, de mieux contrôler l'hétérogénéité spatiale dans un essai », mené entre 2016 et 2020.) couplées à des caractérisations des sites d'expérimentation doit toutefois permettre de considérer des environnements moins favorables (Deswarte *et al.*, 2015).

3.3.3. Dans le cadre de la transition agroécologique : quoi et comment évaluer à l'inscription ?

Deux approches sont retenues, et sont vues comme complémentaires.

3.3.3.1. Des nouveaux caractères, ciblés, à évaluer avec des expérimentations et observations dédiées

A l'image d'observations ou de caractérisations existantes aujourd'hui, il est possible d'intégrer aux épreuves d'inscription des caractérisations sur des critères ciblés.

L'identification et le choix des critères relèvent déjà des discussions des Sections. Il peut en cela être appuyé par des travaux scientifiques, et des réflexions, notamment d'idéotypage.

Les objectifs de cette caractérisation peuvent être variés : suivant l'objectif, l'exploitation de cette caractérisation dans le règlement technique doit être ajustée :

- Si on considère que le critère a une importance qui peut être très variable selon les systèmes de culture ou contextes pédoclimatiques, et qu'il relève avant tout de choix très contexte dépendants, l'évaluation en question peut n'être qu'informatrice, et ne pas rentrer dans les règles de décision d'inscription. Dès lors, on compte sur la diffusion d'informations de qualité dans le continuum inscription-post-inscription, et, au-delà sur les mécanismes de marché, pour que ce critère soit exploité et valorisé. C'est notamment cette voie qui peut être explorée pour des espèces dont l'inscription au catalogue officielle ne repose pas sur des épreuves VATE.
- Toujours dans le cas d'un trait dont l'intérêt est contexte-dépendant, il se peut qu'il existe néanmoins une volonté pour faciliter l'inscription de variétés portant cette caractéristique. Dans de tels cas de figure, l'attribution de bonus ou les rubriques différentes, au sein d'une espèce, sont un outil à mobiliser. Les variétés possédant la même caractéristique ou le même usage y sont comparées entre elles. Les rubriques ont déjà été utilisées pour des critères relevant globalement de la transition agroécologique, comme la résistance à certains pathogènes. En phase transitoire, il peut être ménagé des possibilités de laisser la section proposer à l'inscription des variétés ayant une cotation inférieure aux témoins si elles présentent une caractéristique souhaitable et innovante pour ce marché : ce type de mécanisme est régulièrement mis en œuvre dans la Section Protéagineux par exemple.
- S'il existe une volonté forte d'orientation du progrès sur le critère en question, l'intégration de celui-ci dans la cotation VATE est évidemment le mécanisme de choix, sous forme de bonus / malus, voire de seuil éliminatoire.

3.3.3.2. L'intégration dans les réseaux d'essais conduits de manière « agroécologique »

Il existe aujourd'hui de nombreux exemples de section qui mettent en œuvre des essais aux conduites différenciées qui rentrent dans la cotation : potentiel de rendement modéré/élevé en sorgho ; essais sur la plateforme CASYS d'INRAE Bourgogne, essais en AB dans les réseaux triticales et soja, essais sans traitement de semences néonicotinoïdes en betterave. Le retour d'expérience de ces nombreux exemples montre que ce type d'évolution est souvent longue à mettre en place, notamment par crainte, fondée, d'une moindre précision des résultats expérimentaux. Ce risque peut être géré par la mise en œuvre plus ambitieuse des méthodes de caractérisation de site et d'analyse statistique avancée (cf. plus haut, projet Optires). Les réflexions menées dans le cadre de la saisine conduisent aux recommandations suivantes.

Les sections et leurs commissions d'experts doivent être capables de proposer des conduites d'expérimentation visant :

- A minima à être représentatifs de certaines conduites de culture de la « ferme France » : c'est ce qui conduit à la plupart des exemples listés ci-dessus.
- Eventuellement, être pro-active vis-à-vis de certaines conduites marginales mais d'intérêt pour la transition agroécologique : c'est ce que propose aujourd'hui CASYS, de manière extrême.
- Dans tous les cas, il conviendrait d'élaborer une règle, transversale à l'ensemble des sections concernées, qui qualifierait le niveau d'écologisation des sites et des réseaux, comme le proposent Thérond *et al.* (2017) pour les systèmes agricoles.

L'objectif attendu de cette intégration d'essais avec des conduites différentes est donc un effet d'orientation à moyen long terme du progrès génétique : cette prise en compte favorisera, progressivement, des génotypes qui s'adaptent bien aux différentes conduites composant le réseau, mais elle ne pourra pas, dans la configuration actuelle des moyens, permettre d'identifier spécifiquement les variétés particulièrement adaptées à ces conduites.

3.3.4. Faisabilité des évolutions nécessaires à la prise en compte de la transition agroécologique : innovations méthodologiques et partenariales pour réussir à « faire plus »

Comme développé plus haut, la transition agroécologique va impliquer de « faire plus » : plus de critères, plus de diversité de conduites. Bien que la variété soit un des leviers qui a le plus fait ses preuves pour contribuer aux évolutions de l'agriculture, nous n'envisageons pas, (à grands regrets), que les moyens consacrés soient significativement augmentés. Dans un contexte et une hypothèse de moyens relativement constants il existe des réflexions à engager.

3.3.4.1. Renforcer les moyens sur les critères difficiles et/ou innovants

En s'appuyant sur un état des lieux des réseaux d'évaluation variétale pré et post-inscription (dispositifs, caractères évalués) en France, une hypothèse de travail pourrait être de transférer une partie des moyens consacrés à l'évaluation variétale pour l'inscription vers plus d'évaluation de caractères d'intérêt pour l'agroécologie et complexes à caractériser. Un tel transfert de moyens devrait néanmoins se faire en maintenant une capacité au moins équivalente à celle d'aujourd'hui à fournir une évaluation sur caractères déjà décrits par ailleurs, par d'autres intervenants, et de manière fiable. L'objectif de maintenir cette capacité sur les critères simples est double. Premièrement, il s'agit de maintenir un niveau

d'informations aux agriculteurs et utilisateurs, sachant que ces critères restent aujourd'hui la principale source d'intérêt, et donc d'attractivité, pour les données de l'inscription. Deuxièmement, il s'agit, pour bon nombre de ces critères, de maintenir un niveau de pression de sélection sur ces critères, qui restent pertinents, même en contexte de transition agroécologique. Les pistes évoquées pour réussir ce maintien sont les suivantes :

- **s'appuyer sur les réseaux de pré-référencement privés, qui se développent aujourd'hui en parallèle du dispositif d'inscription.**

Ces réseaux déploient en général une grande quantité d'essais, qui permettrait largement de compenser la réduction des essais dits « simples » mis en œuvre pendant l'inscription. Quatre points font aujourd'hui obstacle à cette utilisation. Le premier concerne les listes variétales, qui sont généralement construites dans le cadre de négociations commerciales. Le déséquilibre du dispositif statistique ainsi généré doit cependant pouvoir être géré avec les techniques statistiques existantes, comme cela a pu être testé dans le cadre des projets CASDAR DonObt « Étude de la faisabilité et des modalités de prise en compte des données produites par les obtenteurs pour l'inscription des variétés » et DonObt2 « Prise en compte des Données des Obtenteurs pour permettre d'accélérer l'Inscription et améliorer l'Information destinée aux Utilisateurs ». Le second obstacle, plus politique et commercial, relève de la volonté de mise en commun des données ainsi générées. Lever cet obstacle nécessiterait une approche concertée de la profession semencière et des parties prenantes du CTPS. Un troisième point, plus technique, est celui du « contrôle qualité » des données : celui-ci doit trouver un équilibre entre gain d'information apporté au réseau et coût du « tri » : il y aura une nécessaire adaptation des procédures issues des projets DonObt, qui visent des essais de sélection, au cas d'essais de référencement commerciaux. Une piste serait la mise en place de 'bonnes pratiques d'expérimentation variétale', afin d'habiliter les expérimentateurs fournissant des données, pour se reposer sur des partenaires fiables.

- **« emprunter » de l'information issue d'autres essais et d'autres variétés via la modélisation.**

L'utilisation de modèles de prédiction du comportement variétal, en complément des expérimentations menées pour l'inscription des variétés, pourrait permettre d'apporter des informations complémentaires sur le comportement des variétés dans des conditions dans lesquelles elles n'ont pas été testées. Ceci nécessite toutefois de s'appuyer sur des modèles pertinents et sur un envirotypage adapté des essais.

3.3.4.2. Améliorer la mobilisation des opérateurs de l'aval dans le dispositif d'inscription

Pour certains critères qualité, essentiels à l'aval, le financement des tests de qualité technologique sont pris en charge par les opérateurs de l'aval, en finançant l'acquisition des données dès l'inscription (qualité pastière en blé dur), ou en les complétant lors de la post-inscription (aptitude en malterie). Cette implication est à la hauteur de l'enjeu pour ces filières, qui imposent par ailleurs leurs exigences variétales au travers de cahiers des charges. Or, les enjeux de transition agroécologique sont aujourd'hui de plus en plus mis en avant par les opérateurs de l'aval (démarche « agriculture régénératrice » de Danone, adhésion de la grande distribution à des démarches similaires). Impliquer ces acteurs dans le CTPS, pour aider celui-ci à développer et financer les moyens nécessaires et contribuer à leurs attentes et aux attentes des consommateurs, paraît cohérent. Les mécanismes réglementaires ou économiques permettant de stimuler l'implication de ces structures sont en revanche à étudier et imaginer.

3.3.4.3. Favoriser l'agilité dans les règles de décisions

Besoin d'agilité dans les règles de décision

Le système d'inscription actuel permet déjà quelques adaptations en particulier avec les expérimentations spéciales qui permettent d'évaluer des innovations variétales (par exemple la tolérance à un ravageur, une maladie, un usage ...) qui ne sont pas prévues dans les règlements techniques. Par ailleurs plusieurs sections ont inscrit des zones de discussion permettant d'examiner avec attention les variétés non significativement meilleures que les témoins dans les dispositifs classiques d'étude du CTPS, amenant ainsi à s'intéresser à des profils particuliers mal pris en charge par les index multi-critères.

Pour aller plus loin et autoriser davantage de diversité dans le système d'inscription, les règles de décision (cotations) devront elles aussi être plus diverses en permettant :

- la prise en compte de nouveaux caractères dans la cotation : intégrer des caractéristiques variétales intéressantes à considérer mais pour le moment non décrites au moment de l'inscription (ex. compétitivité vis-à-vis des adventices).
- une pondération différente : quel poids donner au rendement et aux autres caractères pour favoriser les valeurs agroécologiques des variétés ? Peut-on imaginer des pondérations variées, adaptées selon les environnements et modes de culture visés ?
- Le rendement : faut-il maintenir un seuil minimal ou autoriser plus de souplesse ?

L'incidence de ces évolutions sur les progrès génétiques sera à évaluer. Le terme « progrès génétique » sera à préciser, un « progrès » pour un système de production donné ne l'étant pas systématiquement pour d'autres. On cherchera davantage à évaluer des services en parallèle du rendement (dont l'importance devrait de fait être amoindrie), mais aussi à qualifier des disservices.

Par ailleurs, il faudra veiller à mener ces réflexions en gardant en tête la compétitivité des systèmes d'inscription des variétés au sein de l'UE (Union Européenne) et à maintenir l'attractivité du catalogue officiel français.

Intégrer de manière agile des données des déposants et de la littérature pour des nouveaux critères agroécologiques

La Commission Inter-Section du CTPS dédiée aux Plantes de Services (CISPS), dans le cadre du plan SPAD2, a avancé certaines propositions qui répondent à un double enjeu identifié dans cette saisine : (1) la faisabilité de l'évaluation d'une multiplicité de critères ; (2) la volonté que l'évaluation du CTPS crée suffisamment d'espace pour des propositions innovantes de critères. Ainsi, la CISPS envisage de construire une démarche générique pour l'évaluation de services écosystémiques non encore évalués au CTPS, s'appuyant notamment sur la littérature grise et technique et les données fournies par les déposants, et une mise en œuvre nécessaire et suffisante d'expérimentation sous supervision du CTPS.

Cette démarche pourrait être étendue à d'autres espèces, pour prendre en compte l'évaluation à l'inscription de nouveaux critères agroécologiques.

En conclusion, Les réseaux d'essais et les dispositifs devront évoluer pour considérer davantage de services, de milieux et de pratiques agricoles. L'évaluation des variétés reposera sur une combinaison d'essais au champ dont certains en agroécologie visant à caractériser l'adaptation des variétés à différents systèmes de cultures et d'essais en conditions contrôlées dédiés à l'étude de caractéristiques d'intérêt (allélopathie, résistance à des stress biotiques ou abiotiques...). Ces réseaux d'essais doivent être conçus en considérant le risque de perte d'essais qui peut être accru du fait d'un moindre recours à des intrants de synthèse et le temps d'adaptation et de formation à de nouvelles pratiques pour les équipes mettant en œuvre les expérimentations (temps de transition).

Les règles d'inscription seront amenées à évoluer pour être en mesure d'inscrire des variétés pour des systèmes agroécologiques. Cela passera à la fois par l'intégration de nouveaux caractères dans la cotation et par la pondération donnée aux différents caractères.

Compte-tenu de la diversification des conditions de culture et d'utilisation des variétés, l'agilité dans les règles d'inscription sera particulièrement importante.

Il faudra veiller à mener ces réflexions en gardant en tête la compétitivité des systèmes d'inscription des variétés au sein de l'UE (Union Européenne) et à maintenir l'attractivité du catalogue officiel français.

4 Mise à disposition des résultats de l'innovation aux utilisateurs

L'agroécologie conduit à augmenter la dépendance aux conditions locales, puisque les régulations biologiques qui seront recherchées et obtenues dépendent de pratiques culturales plus variées et en forte interaction avec le milieu. En conséquence, il convient de s'interroger sur la manière de traiter les informations acquises sur les variétés, ainsi que sur la généralité des conclusions obtenues lors de l'inscription, la façon de les diffuser et la façon de les intégrer avec d'autres sources de données au niveau national et européen.

La réflexion élaborée précédemment et traduite ci-après quant à ses implications sur la diffusion des résultats est surtout basée sur la situation des espèces agricoles, espèces herbacées annuelles ou pérennes. Mais les déclinaisons sont possibles soit vers les espèces maraîchères à cycle plus court, à fort turn-over et où les conditions de production sont souvent beaucoup plus standardisées, mais également appelées à évoluer vers un usage réduit d'intrants de synthèse. La réflexion est également valide pour les espèces fruitières et forestières, car elle pourra guider les travaux des professionnels et de la section CTPS pour définir leur propre feuille de route, tout en intégrant les spécificités biologiques des espèces concernées.

4.1 Traitement de l'information sur les variétés

L'évaluation des variétés pour la transition agroécologique nécessite une caractérisation plus fine de leur comportement dans différentes conditions, de leur manière d'interagir avec leur environnement et de valoriser les différentes composantes du milieu et les pratiques culturales. Il ne sera pas possible à coût constant de toutes les tester expérimentalement et encore moins de répéter ces essais plusieurs fois. Il sera donc nécessaire de faire évoluer autant les dispositifs expérimentaux que les méthodes pour traiter l'information qu'ils produisent.

La construction de réseaux « mixtes », c'est-à-dire contenant des dispositifs complémentaires, qui mixent des essais en blocs, à répétitions, avec suivi de protocoles approfondis, couplés à des essais en bandes, chez des agriculteurs, avec observations relevant de protocoles plus légers à mettre en œuvre nécessite le développement d'approches statistiques adaptées pour en valoriser les résultats. Il faudra notamment développer des méthodes de traitement des données permettant de livrer des informations pertinentes sur les variétés, sur la base de données expérimentales différentes ou hétérogènes. La généralisation de l'utilisation de méthodes statistiques avancées (issues notamment du projet Optires) couplées à des caractérisations des sites d'expérimentation doit permettre de considérer des environnements moins favorables (Deswarte *et al.*, 2015).

La prise en compte de co-facteurs ou co-variables décrivant l'environnement de la variété sera nécessaire, afin de permettre d'extraire des informations pertinentes dans des dispositifs avec des modalités de cultures variées, peu de répétitions, et parfois déséquilibrés. Là encore, des travaux scientifiques, spécifiques à chaque section, de prototypage de systèmes, et/ou d'enquêtes sur les pratiques et systèmes existants, peuvent venir nourrir la réflexion. Il convient aussi de s'interroger sur la manière de prendre en compte l'impact de ces pratiques dans l'analyse statistique des expérimentations individuelles : sur ce point les travaux du projet CASDAR Optires notamment ouvrent la voie à une meilleure gestion d'hétérogénéités induites. Des travaux montrent qu'il est possible de conduire des plateformes d'évaluation

variétale (et de sélection⁴) en conduites particulières, par exemple d'agriculture de conservation. Il importe d'être prudent sur l'interprétation faite des données acquises sur les plateformes d'évaluation explorant différentes pratiques agronomiques. En effet, le dimensionnement actuel des réseaux ne permet pas d'envisager leur segmentation en plusieurs sous-réseaux sans risque que la cotation dans chaque sous-réseau soit fortement dépendante des spécificités des milieux d'essais, et que l'effet génotypique ainsi évalué sur un petit échantillon de lieux soit peu prédictif de l'effet génotypique réel au sein de la zone de regroupement. Des sous-réseaux permettraient tout de même de repérer des variétés qui se démarquent franchement des autres avec des seuils plus forts qui tiendraient compte du nombre de lieux plus faibles pour chaque type de pratique. Des sous-regroupements sont actuellement pratiqués dans certaines espèces (à dire d'experts, ou selon un diagnostic agronomique plus élaboré), comme la betterave, mais encore insuffisamment exploités en termes de règles de décision.

Cette diversification des milieux d'évaluation est nécessaire, mais ne pourra être suffisamment valorisée sans un envirotypage fin, c'est-à-dire une caractérisation fine des conditions d'expérimentation. Prenons le cas du stress hydrique. Pour caractériser le comportement d'une variété vis-à-vis de la disponibilité en eau, il est nécessaire de disposer de situations contrastées en termes d'intensité et de période d'occurrence du stress. Ces situations que l'on peut rencontrer à la fois dans le réseau VATE classique (en raison de la distribution spatiale des essais) et dans des essais dédiés (avec des modalités contrastées pluvial / irrigué dans des lieux particulièrement exposés à la sécheresse) doivent être classifiées quant au stress hydrique rencontré. Cette classification nécessite une instrumentation des essais pour mesurer la disponibilité en eau dont le coût ne doit pas être négligé. Le même constat sera observé pour évaluer le comportement d'une variété par rapport à la ressource minérale (azote, phosphore, soufre...) qui nécessitera des situations contrastées et donc là encore finement caractérisées. Le coût lié à la caractérisation des conditions d'expérimentation est à prendre en compte.

Enfin, la modélisation, utilisée en complément des expérimentations variétales, permettrait d'explorer davantage de conduites et de milieux, et ainsi d'apporter des informations sur le comportement des variétés pour des situations dans lesquelles elles n'ont pas été testées. L'utilisation de modèles de prédiction du comportement variétal a fait l'objet de nombreux travaux au sein de la communauté scientifique environnant le CTPS. De manière générale, il a pu être constaté que, quelle que soit la méthodologie de modélisation utilisée, la capacité de prédiction des classements variétaux, donc des IGE, était assez limitée (Zub-Preudhomme *et al.*, 2016). Des outils existent aujourd'hui permettant de simuler le comportement de variétés, en intégrant, via les données génotypiques qui permettent d'estimer l'appareillement, des informations issues du comportement de données variétales déjà existantes (de los Campos *et al.*, 2020 ; Crespo-Herrera *et al.*, 2021). Il est aussi possible d'intégrer des données climatiques beaucoup plus nombreuses. Le travail sur ces modèles reste à poursuivre, afin qu'ils soient en mesure d'apporter des informations pertinentes sur le comportement des nouvelles variétés étudiées.

⁴ <https://twitter.com/fillobax/status/1072143699784679424> : plateforme ICARDA au Maroc en « zero till »

4.2 Généricité et diffusion des résultats variétaux obtenus lors de l'inscription

4.2.1 Généricité des résultats

Dans le cadre de l'évaluation des variétés, la généricité s'entend comme le potentiel d'extrapolation des résultats variétaux, afin qu'un grand nombre d'agriculteurs dispose d'informations permettant de juger de l'adaptation des variétés à leur contexte de production, et de leur potentiel dans leur ferme. La notion de généricité est donc à mettre en perspective des besoins des utilisateurs, dont les agriculteurs, qui seront détaillés plus loin dans ce chapitre.

Girard et Magda (2018) soulignent que les connaissances génériques doivent permettre d'exercer un jugement dans une nouvelle situation.

Compte tenu de l'augmentation de la diversité des pratiques et conditions de culture qu'engendre l'agroécologie, comment garantir la généricité des résultats variétaux obtenus lors de l'inscription, afin qu'ils apportent l'information nécessaire aux utilisateurs ?

Dans un contexte où la diversité des variétés augmente et où leur comportement dépend fortement des conditions de culture, le CTPS peut adapter le cadre générique en définissant les caractères à évaluer, ainsi que la démarche d'évaluation des variétés. Les dispositifs d'évaluation des variétés doivent être adaptés, afin de rendre les informations plus facilement extrapolables.

Ainsi, le fait de s'appuyer sur de grands réseaux d'essais, regroupant des essais menés dans différentes conditions de culture (conventionnel, agriculture biologique, essais dans des conditions extrêmes), permet d'assurer la généricité des résultats., et servira de support à la qualification de la dépendance aux conditions locales.

Par ailleurs, la définition de grandes zones pédoclimatiques pourrait apporter aux utilisateurs des variétés des informations plus adaptées, comme c'est le cas depuis quelques années pour les variétés de gazon (Lassalvy *et al.*, 2014).

L'agroécologie suppose d'être en mesure de développer des diagnostics plus fins, plus locaux (Mayen et Lainée, 2014), pour permettre d'apprécier l'importance de l'interaction variété x pratique x environnement (Murphy 2007). Pour mieux comprendre les stress et le comportement variétal qui ont été évalués, et gagner en puissance d'interprétation des données, il est indispensable de bien caractériser le milieu, l'environnement dans lequel les variétés ont été testées et de traduire cette caractérisation en éléments compréhensibles par l'agriculteur utilisateur des variétés et par les conseillers. Cela permettra d'aboutir à des sous-regroupements d'essais caractérisant des conditions de culture plus spécifiques, rassemblés autour d'une caractéristique commune ou d'un facteur limitant commun. Le recours aux modèles de culture ou au diagnostic agronomique pourrait être facilitant.

Dans ce contexte d'analyse des données dans des conditions particulières et avec un nombre d'essais réduit, la puissance de l'analyse statistique, ainsi que le traitement de la donnée dans l'optique de fournir des informations utiles à l'utilisateur, constituent des points cruciaux.

L'exemple des nouvelles modalités d'évaluation des variétés de sorgho est à ce titre illustratif. Ainsi, dans le réseau CTPS sorgho, des essais représentatifs de conduites à potentiel de rendement modéré et à potentiel de rendement élevé sont définis a priori. Le protocole de VATE stipule les recommandations à appliquer par les expérimentateurs pour la conduite des essais de sorgho afin de répondre aux 2 niveaux de potentiel de rendement souhaités. Selon les conditions de culture de l'année et les résultats de rendement observés, un classement *a posteriori* des essais de sorgho en 2 catégories, potentiel de rendement modéré et potentiel de rendement élevé, est proposé.

Un premier regroupement est ensuite effectué pour chacun des deux potentiels de rendement, modéré et élevé. Un coefficient est appliqué à la valeur moyenne de chacun des deux résultats des regroupements (0,7 pour la valeur moyenne du rendement des essais à potentiel modéré, et 0,3 pour la valeur moyenne du rendement des essais à potentiel élevé), coefficient proportionnel à la représentativité de ces potentiels de rendement sur la sole française de sorgho. La somme pondérée de ces deux premiers regroupements est effectuée afin d'obtenir la valeur du second regroupement, qui sera ensuite pondéré par la précocité. Enfin, un bonus est attribué aux variétés qui présentent une stabilité dans leur niveau de performance entre les deux regroupements établis par potentiel de rendement, modéré et élevé, des essais. L'ajustement des coefficients peut être une base de travail, potentiellement en co-construction avec les utilisateurs, pour répondre aux attentes des utilisateurs, dans une situation de transition agroécologique et d'anticipation des contraintes futures, par exemple liées au changement climatique.

La consolidation de ces données variétales et environnementales avec d'autres données, comme des informations sur les systèmes de culture, qui peuvent être apportées par d'autres acteurs et intégrées avec les données d'inscription permettra également la diffusion d'informations utiles aux utilisateurs de variétés.

Quel rôle le CTPS peut-il jouer dans la diffusion et l'intégration de ces données, au plan national et européen ?

Afin de pouvoir répondre à cette question, il convient tout d'abord de préciser l'intérêt et les besoins de diffusion et d'intégration des données variétales à ces deux échelles.

4.2.2 Quels besoins de diffusion et d'intégration des données variétales au niveau national ?

Pour définir les besoins de diffusion et d'intégration des données variétales au niveau national, il est indispensable d'identifier les besoins des différents acteurs de la filière semences, utilisateurs des variétés et des données variétales, que sont les agriculteurs, les obtenteurs impliqués dans la pré-inscription et les instituts techniques impliqués dans la post-inscription, les coopératives, négociants agricoles et groupements de producteurs, les transformateurs, les consommateurs.

Les agriculteurs ont besoin de faire un choix éclairé des variétés à utiliser dans leurs conditions et systèmes de culture. L'information sur les variétés doit pour cela être diffusée et mise en forme de manière adaptée pour être comprise. Il faut être en mesure de communiquer sur les performances variétales dans des sous-réseaux et en conditions d'adaptation à différents stress, de manière simple et accessible. Cette diffusion peut être assurée par les acteurs de la post-inscription, en intégrant des données d'inscription des variétés, comme cela est fait sur le blé tendre par exemple (<https://choix-des-varietes.arvalis-infos.fr/bletendre/>).

Il est nécessaire de tendre vers plus de participatif dans l'évaluation des variétés, tout au long de la vie d'une variété, pour maximiser les aléas rencontrés, les conditions de culture, et gagner en efficience. La construction d'un continuum fonctionnel avec les Instituts Techniques Agricoles (ITA) en est la première brique, pour agréger des données qualifiées sur les variétés.

Les données d'inscription peuvent être intégrées avec des données de post-inscription, comme cela se pratique depuis plusieurs années en blé tendre. Elles sont également associées avec des données obtenteurs, obtenues en pré-inscription, comme c'est le cas avec l'outil Varmaïs, site internet exposant les résultats acquis sur les variétés de maïs (www.varmais.fr). Ces données devraient également être intégrées 'automatiquement' dans l'ensemble des résultats pluriannuels pour les réseaux d'évaluation mutualisées inscription/post-inscription, et des outils d'aide à la décision, ce qui n'est pas toujours le cas aujourd'hui.

Dans le cadre de l'agroécologie, de nouveaux Outils d'Aide à la Décision destinés à imaginer des assemblages d'espèces et de variétés en fonction des conditions d'utilisation et des qualités recherchées pourraient être développés, afin de

- définir les meilleures variétés à assembler en fonction de l'objectif de production et de la qualité et des services environnementaux attendus, en fonction du milieu et des pratiques culturales envisagées
- proposer les associations de variétés et d'espèces les plus pertinentes, y compris en espèces compagnes
- réfléchir l'association d'un génotype végétal avec une communauté microbienne

Certains de ces outils sont en cours de développement : Optimix⁵ pour les mélanges variétaux, CAPS⁶ et ECOSYSTEMIX⁷ pour les mélanges d'espèces.

Les coopératives, négociants agricoles et groupements de producteurs, mettent en place des réseaux d'évaluation variétale, souvent en parallèle des réseaux d'inscription, et communiquent à leurs adhérents des informations sur le comportement des variétés. Comment les données variétales obtenues dans le réseau d'inscription au catalogue officiel français sont-elles utilisées par ces acteurs ? Et comment le seront-elles dans le contexte de la transition agroécologique ?

Il est difficile de savoir quel poids ont les données d'inscription dans les référencements faits par les coopératives agricoles. Pour certaines espèces (maïs, tournesol), l'inscription au catalogue officiel français n'est plus un outil de référencement (le référencement commercial par la distribution agricole ayant désormais une place prépondérante), contrairement à ce qui est observé chez d'autres espèces (chez le blé ou la betterave par exemple).

Les coopératives agricoles apprécient de mener leurs propres expérimentations en plus de celles réalisées lors de l'inscription et la post-inscription, en particulier pour obtenir des informations précises concernant le rendement des variétés, et pour choisir avant inscription les multiplications à réaliser. Certaines coopératives vont plus loin dans la caractérisation environnementale de ces essais que d'autres. Ces expérimentations en propre jouent aussi souvent un rôle de plateforme de démonstration utilisées à l'occasion de journées de visite par des agriculteurs. Les coopératives sont d'autant plus engagées qu'elles sont actrices de la distribution de semences et de la multiplication de semences.

Les données de résistance variétale acquises lors de l'inscription (et autres Facteurs de Régularité du Rendement) sont souvent considérées comme acquises et non retestées par les autres acteurs, alors que les résistances variétales mériteraient d'être testées dans des conditions plus larges. Des essais complémentaires sont toutefois parfois réalisés par les instituts techniques agricoles pour affiner les notes attribuées lors de l'inscription des variétés. Par ailleurs, dans les espèces où des contournements de résistance ou de nouvelles races ont été observées, des tests sont reconduits en post-inscription. Dans ces cas, les résistances variétales aux bioagresseurs continuent d'être évaluées au moins en post-inscription, comme pour la rouille du blé, ce qui permet d'obtenir des informations concernant le contournement des résistances.

Des travaux conduits par des organismes de recherche permettent d'éclairer l'évolution des résistances et donc la nécessité ou non d'avoir un tel retest. Un exemple de ces suivis au long cours est fourni par le cas du ray-grass anglais et de sa résistance vis-à-vis de la rouille dans des réseaux pilotés par Eucarpia. De façon intéressante, une stabilité remarquable des résistances a été observée, cela étant potentiellement lié à la large diversité génétique intra-

⁵ <http://moulon.inra.fr/optimix/>

⁶ <https://www6.versailles-grignon.inrae.fr/agronomie/Productions/Outils-et-modeles/Caps-Colza-associe>

⁷ <https://www.terresinovia.fr/documents/20126/726505/abstracts+v1.1+12-09.pdf/48559bd7-5117-505f-46f1-f4917cb5dc8f?t=1571814080332>

variétale chez cette espèce fourragère allogame et où les variétés sont des synthétiques (Baert *et al.*, 2010).

Pour les espèces légumières, les variétés sont retestées chez les producteurs en lien avec les obtenteurs. La diversité des systèmes de culture et les critères autour de la qualité du produit non pris en compte par l'inscription (qualité organoleptique par exemple) obligent la validation des produits directement chez des producteurs. Il serait souhaitable de pouvoir intégrer les données obtenues lors de ces essais avec les données d'inscription, afin d'enrichir l'information apportée aux utilisateurs. Dans le cas du Bremia de la laitue, l'évolution des races présentes sur le terrain est rapide. Les données liées à l'inscription sont rapidement incomplètes. La mise à disposition des informations concernant le comportement de ces variétés face à de nouvelles races (validées au niveau de l'IBEB (International Bremia Evaluation Board) est aujourd'hui réalisée par les semenciers.

La transition agroécologique implique un besoin de plus de diversité inter- et potentiellement intra-variétale, et le développement de nouveaux types variétaux, qui présentent davantage d'hétérogénéité. Quelle incidence ce changement de types variétaux peut-elle avoir sur la diffusion et l'intégration de l'information ? On pourrait toutefois atteindre cette même diversité en mélangeant des variétés dument caractérisées pour les traits fonctionnels où une diversité intra-couvert est recherchée. Les incidences sur l'intégration de l'information et sa diffusion serait alors différente.

4.2.3 L'intégration des données variétales au niveau européen

L'intégration et le partage des données variétales au niveau européen figurent comme actions du plan SPAD2, dans un souci d'efficience de l'évaluation variétale, pour des caractères bien calibrés en conditions contrôlées ou au champ (Action 3.1.3 du plan SPAD révisé).

L'intégration des données obtenues en lien avec les résistances et tolérances aux bioagresseurs peut également jouer un rôle dans l'épidémiosurveillance du territoire. Ainsi sur les rouilles, dans le cadre du projet européen Rustwatch « A European early-warning system for wheat rust disease » qui étudie l'évolution des races de rouille du blé, une base de données, DIVERCILAND, a été développée pour centraliser les données d'assolement des variétés en Europe, ainsi que leurs résistances aux rouilles identifiées dans le réseau VCU (Value for Cultivation and Use) Européen. Des outils de veille participative⁸ ont également été développés pour suivre l'évolution des épidémies et identifier les nouvelles variétés contournées

Un envirotypage harmonisé des essais variétaux est nécessaire afin de mieux caractériser les grandes zones agropédoclimatiques, et d'être en mesure d'améliorer l'intégration des données, vers la diffusion d'une information plus pertinente aux utilisateurs de variétés.

Actuellement, les systèmes d'inscription des variétés européens diffèrent sur les tarifs d'inscription, sur les caractères évalués, sur les dispositifs d'évaluation, et sur les seuils et règles d'inscription (Enquête VCU européenne, non publiée).

L'intégration de données variétales au niveau européen nécessitera d'avoir des critères communs évalués en lien avec l'agroécologie, tout en gardant des spécificités nationales en lien avec les besoins des filières et les adaptations locales.

Il y a donc un travail considérable à faire au niveau européen pour partager les réflexions conduites en France, les enrichir avec les travaux des instances et organismes homologues du CTPS et du GEVES et d'analyser dans quelle mesure elles contribuent à l'objectif global de durabilité, traduit dans le Green Deal européen, publié en 2020.

La participation du CTPS dans l'orientation de l'évolution des variétés et dans la définition de l'agroécologie, et notamment le lien entre inscription, sécurité alimentaire et agriculture durable

⁸ <https://survey123.arcgis.com/share/3ad3d31e0ef646a9930ce80abd909c0b>

ont été réaffirmés au niveau européen dans la politique de la ferme à la table, Farm to fork, qui décline pour l'agriculture et l'alimentation les objectifs ambitieux du Pacte vert pour l'Europe (EUR – Lex- 52020DC0381, 2020) : « Les systèmes alimentaires durables dépendent aussi de la sécurité et de la diversité des semences. Les agriculteurs doivent avoir accès à une gamme de semences de qualité de variétés végétales adaptée aux pressions du changement climatique. La Commission prendra des mesures pour faciliter l'enregistrement des variétés de semences, y compris de celles destinées à l'agriculture biologique, et pour faciliter l'accès au marché des variétés traditionnelles adaptées au terroir local. »

4.2.4 Rôle du CTPS pour assurer la généricité lors de la diffusion et l'intégration des données

La diffusion et l'ouverture des données variétales acquises lors de l'inscription ont été affirmées comme étant une priorité dans le plan SPAD2 (Action 3.1.2 du plan SPAD2). La mission de service public du CTPS implique la diffusion de l'information au plus grand nombre. Les synthèses des résultats des études VATE et DHS sont disponibles sur le site du GEVES, mais sous format pdf, elles sont peu interoperables. Il faut par conséquent s'assurer que la donnée publique soit ouverte et accessible. Des échanges de données vers les instituts techniques et les organismes de recherche sont historiquement pratiqués (la charte de mise à disposition des données acquises dans le cadre du CTPS, signée en 2012, a consacré cette pratique), mais doivent gagner en fluidité. Plus globalement, les données publiques acquises sur les variétés dans le cadre de l'inscription doivent gagner en lisibilité, et bénéficier à un plus grand nombre d'utilisateurs. Des initiatives en ce sens voient le jour (citons notamment les échanges avec le GIS PicLEG sur la diffusion des données DHS d'intérêt pour les utilisateurs des espèces légumières, et le projet VarEcophyto « Données VARIétales au service du plan ECOPHYTO » ou encore l'intégration des données issues de l'inscription dans le dispositif des CEPP (Certificats d'Economie des Produits Phytopharmaceutiques). Dans le cadre du continuum de l'évaluation variétale les instituts techniques ont accès aux données des essais (à la condition que ces données soient intégrées au système d'information du GEVES ce qui n'est pas encore le cas pour toutes les espèces). La plateforme d'échanges de données agricoles API-AGRO reste à ce jour un outil insuffisamment utilisé.

Le CTPS joue un rôle de tiers de confiance, en apportant des garanties sur la performance et la qualité des variétés. Il est également le garant d'une méthodologie, d'une démarche d'évaluation des variétés. Dans le contexte de l'agroécologie, le CTPS peut être garant d'un cadre sur la définition de l'agroécologie, en précisant les caractères variétaux à évaluer et la manière de les évaluer, pour les systèmes de culture actuels et à venir dans les prochaines décennies.

Dans certains dispositifs, ce rôle de tiers de confiance n'est pas assuré par le CTPS lors de l'inscription. En absence de tiers, c'est directement le fournisseur du matériel végétal qui est le seul garant. C'est le cas notamment pour le Matériel Hétérogène Biologique, qui pourra être commercialisé sans inscription au catalogue officiel français à partir de 2022, ou lors d'échanges de semences obtenues dans des dispositifs participatifs.

D'autres acteurs de la filière semences jouent un rôle de garant lors des ventes de semences. C'est par exemple le cas des coopératives agricoles, qui évaluent les variétés qu'elles proposent à leurs adhérents dans leurs réseaux et apportent des garanties aux utilisateurs via les informations variétales qu'elles diffusent.

Dans un contexte d'agroécologie, il est important de disposer d'un panel diversifié de variétés, ce qui entraîne la multiplication des caractères d'intérêt à évaluer. Il est difficile de sélectionner pour tous les systèmes de culture lorsqu'ils présentent trop de diversité. Etant donné le besoin de plus de diversité, et la difficulté d'évaluer les variétés pour tous les systèmes de culture potentiels, faut-il uniquement que l'inscription constitue une autorisation de mise en marché des variétés, ou peut-elle/doit-elle jouer malgré tout un rôle d'orientation du progrès

génétique ? Quel est le sens du mot Progrès en agroécologie ? En réalité, le progrès ne peut être mesuré que comme une marche en avant vers un objectif validé historiquement (le poids du rendement est aujourd'hui la trace de cela) ou co-construit. Comme la variété est une composante des systèmes agricoles et alimentaires, c'est l'orientation des systèmes agricoles et alimentaires qui va donner la cible et donc la métrique pour quantifier le progrès obtenu. Cette co-construction est essentielle et les sections du CTPS peuvent en être le berceau.

Ainsi, dans un contexte agroécologique qui implique toujours plus de diversité et demande d'évaluer toujours davantage de caractères, la plus-value de l'inscription et du CTPS pourrait être de se focaliser sur l'évaluation de caractères spécifiques (résistances aux bioagresseurs, tolérances à des conditions extrêmes, adaptation au changement climatique...) ou sur l'évaluation de performance globale de variétés dans des situations en agroécologie, afin d'orienter vers une agriculture plus durable et d'inciter à la sélection de variétés plus adaptées à l'agroécologie. Cela implique de s'appuyer sur d'autres acteurs de la filière semences pour compléter l'information variétale.

4.3 Semences et plants, vecteurs de diffusion de l'innovation

L'amélioration génétique et la création variétale constituent un levier central à l'évolution des systèmes de culture, comme ceci fut observé au cours des dernières décennies, que ce soit la révolution verte ou les Trente Glorieuses. Et ce sera encore le cas pour la réussite de la transition agroécologique. Cela tient à deux caractéristiques. **La première de ces caractéristiques** est que l'on dispose pour toutes les espèces cultivées ou à cultiver d'une large diversité génétique, conservée par une multitude d'acteurs (instituts de recherche publics, obtenteurs, associations régionales, passionnés...). Cette diversité est dument caractérisée et elle peut être élargie au travers de prospections et d'échanges à travers le monde, de croisements interspécifiques, de mutagenèse induite, voire par édition des génomes. **La seconde caractéristique**, que l'on tend à oublier, est que le levier génétique est une innovation encapsulée, dans le vecteur que constituent les semences et les plants. C'est donc une innovation dont l'adoption est particulièrement facile, car elle ne suppose un apprentissage particulier à sa mise en œuvre. Ceci conduit donc à des adoptions très rapides et efficaces, dès lors que le progrès génétique répond à une demande.

4.3.1 Semences et plants, supports de la variété

Comme les semences et les plants sont le support de la variété, ils sont l'objet d'une attention particulière pour remplir les conditions requises pour l'accès au marché. Pour cela, il faut que l'identité génétique soit assurée, que la qualité physiologique soit assurée (taux de germination pour les graines et reprise pour les plants) et que la qualité sanitaire soit bonne, avec absence de pathogènes et absence de graines de certaines espèces adventices dans les lots de semences. Ce sont sur ces bases que la réglementation sur les semences a été définie depuis les premiers dispositifs développés dès 1864 par Stebler dans le cas des espèces fourragères où le contrôle par l'agriculteur était difficile. La qualité des semences et plants vise donc d'abord à protéger l'utilisateur.

Mais les semences et plants peuvent également être vecteur d'autres ressources importantes pour l'agriculteur, et qui le seront demain pour la réussite de la transition agroécologique. Aujourd'hui, nombre de semences et plants font l'objet de traitements chimiques. L'analyse des NODU (Nombre de Doses Unités) liés aux traitements de semences montre ainsi que la plupart des semences reçoivent deux traitements à la dose homologuée pour protéger la culture contre différents bioagresseurs.

Dans le cadre de la transition agroécologique, où l'on mobilisera le microbiote aérien et racinaire pour mieux assurer la protection et la nutrition des cultures, la graine ou le plant peuvent devenir le véhicule pour l'inoculation de la culture avec les microbiotes adaptés.

Aujourd'hui, ceci est déjà pratiqué pour apporter une souche particulière, par exemple dans le cas des rhizobiums pour les légumineuses, les mycorhizes, ou encore l'inoculation des plants d'arbres truffiers. La découverte et la description des communautés microbiennes sur les graines (Barret *et al.*, 2015), et le recrutement du microbiote des plantes en provenance du sol et de la semence (Rochefort *et al.*, 2021) établissent un nouveau cadre pour réfléchir un nouveau rôle de la semence comme vecteur d'un microbiote. C'est ce que le projet SUCSEED conduit dans le cadre du Programme Prioritaire de Recherche Cultiver et Protéger Autrement s'attache à établir pour faire du microbiote des semences un levier pour la réduction d'usage des pesticides, et plus largement pour la transition agroécologique.

La question devrait clairement être étendue à la possibilité d'utiliser des endophytes, dont les exemples les plus connus sont les champignons endophytes des graminées, du genre *Neotyphodium*, dont certaines souches (comme la souche U2 de l'espèce *N. uncinata*) permettent de protéger les plantes contre les dégâts d'insectes qui dégradent les racines.

4.3.2 Réglementation semences et plants

Ceci appelle bien évidemment à une révision des réglementations sur les semences, en lien avec les réglementations sur la protection des cultures. Ainsi, comment rendre possible et généralisable l'utilisation de communautés microbiennes en traitement de semences, alors que ceci est clairement complexifié au regard du règlement 1107/2009 ? Comment rendre possible l'utilisation des endophytes dans la protection des cultures ?

4.3.3 Le rôle du producteur et du faiseur de semences et plants dans l'agroécologie

L'analyse du rôle des semences et plants dans la transition agroécologique souligne à quel point il est majeur de mobiliser cette profession au service de la transition agroécologique, tant leur savoir-faire est aujourd'hui spécifique et tant la transition agroécologique va mobiliser des modifications importantes de leurs activités. En effet, et à titre d'illustration, l'inoculation des semences avec une communauté microbienne dont on attend un service spécifique va exiger des développements technologiques aujourd'hui indisponibles. Elle va aussi conduire à avoir une évolution forte des modalités de contrôles.

En quelque sorte, si la transition agroécologique conduit à un changement du métier de sélectionneur, le changement est tout aussi profond en ce qui concerne ceux de producteur et de faiseur de semences et plants.

Dans un contexte agroécologique qui implique toujours plus de diversité et demande d'évaluer toujours davantage de caractères, le CTPS a un rôle de tiers de confiance et d'orientation à jouer via la diffusion et l'intégration des données variétales dans un contexte agroécologique, du fait de sa capacité à intégrer les résultats au niveau national, en lien avec le continuum (données pré et post inscription) et en lien avec des données européennes. L'intégration de données variétales au niveau européen nécessitera d'avoir des critères communs évalués en lien avec l'agroécologie, tout en gardant des spécificités nationales en lien avec les besoins spécifiques actuels des filières et en insistant sur les adaptations locales. La plus-value de l'inscription et du CTPS pourrait être de se focaliser sur l'évaluation de caractères spécifiques essentiels aux biens communs apportés par les variétés (résistances aux bioagresseurs, tolérances à des conditions extrêmes...) ou sur l'évaluation de performance globale de variétés dans des situations en agroécologie, afin d'orienter vers une agriculture plus durable et d'inciter à la sélection de variétés plus adaptées à l'agroécologie.

Les semences et plants vont également jouer un rôle particulier, notamment en devenant potentiellement les vecteurs de microbiotes spécifiques, importants à la transition agroécologique. En conséquence, l'ensemble des activités associées aux semences et plants seront revisitées pour apporter les technologies nouvelles indispensables.

Conclusion

Ce rapport de saisine à destination du Comité Plénier du CTPS constitue une contribution importante à la réflexion sur le futur de l'agriculture, la nécessaire évolution de l'offre variétale et de la façon de constituer cette offre et sur le rôle du CTPS pour l'orientation et l'évaluation du progrès génétique, et vient alimenter le plan SPAD2, récemment annoncé par le Ministre de l'Agriculture. Le rapport revient rapidement sur les enjeux majeurs, et particulièrement difficiles, auxquels l'agriculture française et européenne doit répondre, en conciliant des objectifs d'une part de performance économique et de production d'une alimentation saine, de qualité et accessible à tous et d'autre part de préservation de l'environnement, par l'adaptation et l'atténuation du changement climatique, la restauration de la qualité de l'air et de l'eau ainsi que la restauration de la biodiversité. En premier analyse, ces objectifs sont souvent considérés comme opposés. Or, il ne s'agit plus de chercher un compromis entre ces termes, mais bien de les concilier par une approche réellement nouvelle, reposant sur l'agroécologie, dont le paradigme est que l'augmentation de la diversité fonctionnelle conduit à augmenter les régulations biologiques, et ceci à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire. Ceci constitue une rupture profonde pour l'amélioration génétique et pour la création variétale, puisqu'elle conduit, comme le montre ce rapport, à explorer de nouvelles structures variétales et de nouvelles compositions spécifiques et variétales dans les communautés cultivées, à introduire de nouvelles espèces pour obtenir de nouveaux services écosystémiques, mais aussi à explorer de nouvelles structures de couvert, avec par exemple des plantes de service, des cultures compagnes ou de l'agroforesterie. Ces contextes nouveaux signifient de nouveaux traits à phénotyper au moment de la création variétale et à évaluer au moment de l'inscription, traits dont certains restent encore à préciser.

Ce rapport met également en avant la nécessité de penser et créer, et donc d'évaluer une variété dans son système de production, conduisant à combiner plus finement l'amélioration génétique, l'agronomie, mais aussi et plus largement l'ensemble des modalités et des ressources pour la conduite et la protection de ces couverts agroécologiques. Une interdisciplinarité repensée est indispensable. Elle conduit à repenser la plante au-delà de ce qu'induit son seul génome, ou même l'interaction génotype x environnement x conduite. En effet, la plante doit être pensée comme un holobionte, à savoir le végétal et son microbiote associé, celui-ci étant impliqué dans l'interaction avec les pathogènes, dans l'acquisition des nutriments ou encore semble-t-il dans les interactions plante-plante. Ceci ouvre un champ de recherche et d'innovation considérable, seulement émergent et au potentiel largement inconnu, et ceci pour toutes les espèces qu'elles soient propagées par semences ou par plants.

L'agroécologie et la maximisation des régulations biologiques conduisent également à augmenter la dépendance aux conditions locales. Ceci signifie que les compositions optimales des communautés cultivées seront vraisemblablement différentes d'un milieu à l'autre réduisant potentiellement la taille des marchés, ce qui ne manque pas de soulever des questions sur les modèles économiques de la création variétale, de l'évaluation des variétés ou encore de la production de semences. Ceci nous a conduit à analyser les possibilités offertes par les démarches participatives pour la création variétale, pour l'évaluation ou encore pour la production des semences et plants, soulignant le rôle positif que cette démarche participative peut jouer pour favoriser la transition agroécologique et l'adoption du progrès génétique et en insistant sur l'importance du rôle du tiers de confiance, qui est aujourd'hui largement joué par le CTPS, et qui, pour maintenir cette mission essentielle, devra faire sienne la démarche participative.

Au cœur de la fonction de tiers de confiance, se niche la qualité de l'information diffusée sur les caractéristiques des variétés (ou des holobiontes). Compte-tenu de la dépendance aux conditions locales inhérente à l'agroécologie, la question se pose de l'information générique diffusable et de la capacité des professionnels agricoles à l'utiliser pour assurer que les agriculteurs puissent en bénéficier. Il est également essentiel que les caractéristiques

technologiques soient connues des filières qui vont assurer la transformation des matières premières agricoles. Cette question s'insère parfaitement dans une des composantes du plan SPAD2.

La transition agroécologique marque une rupture forte et dessine un horizon, sans qu'on puisse à ce stade identifier la durée de la période de transition. Ainsi, il est évident qu'il y aura coexistence entre différentes typologies de systèmes de cultures, certaines à forte valence agroécologique, et d'autres reposant sur une plus forte anthropisation des milieux, ces différentes catégories devant répondre à une diversité de marchés alimentaires. Au cours de cette période de coexistence, l'offre variétale devra répondre à ces segments différents. Mais l'offre variétale adaptée à l'agroécologie sera essentielle à la réussite de la transition, les variétés constituant une source d'externalités indirectes de réseaux, pour citer les travaux sur les rendements croissants d'adoption.

La réussite de cette transition majeure en matière d'offre d'espèces, de variétés, de semences et de plants nécessite que la dynamique ne soit pas seulement française, mais qu'elle soit européenne et internationale. Le travail en cours sur la réglementation européenne offre l'opportunité de l'alimenter avec les réflexions sur l'agroécologie, et pour qu'au niveau européen, le secteur des variétés, semences et plants soit un acteur majeur du succès du Green Deal. Il faudra donc que les acteurs nationaux, des Ministères de l'agriculture et de la Transition Ecologique, de la recherche publique, des obtenteurs, des professionnels agricoles et du secteur des semences et plants s'engagent de façon très volontariste au portage de cette ambition au niveau européen.

Le CTPS a devant lui le défi de la transition dans l'évaluation variétale, mais aussi celui de garder à bord tous les acteurs de cet écosystème extrêmement efficace aujourd'hui à la fois économiquement mais aussi techniquement. Comment éviter les stratégies individuelles d'acteurs jouant la carte du contournement de l'inscription française ? Si la convergence des différentes réglementations nationales peut limiter cette tentation par démarche comparative, c'est avant tout par l'adhésion collective que cet objectif sera atteint, en s'appuyant sur la puissance des organisations collectives françaises dans le domaine de la création variétale et des semences et plants.

Cette transition agroécologique, encore une fois indispensable pour répondre aux défis qui sont devant nous, va également requérir que toutes les technologies soient mobilisées au service de cet objectif. Tant pour la connaissance et l'utilisation du microbiote que pour l'édition des génomes, tout doit être mis en œuvre pour accélérer la réussite. Ce serait une erreur majeure que d'opposer d'une part l'agroécologie et les solutions fondées sur la nature et d'autre part les technologies. Il ne s'agit pas de croire à une confrontation entre Rousseau et Descartes. Il s'agit tout au contraire de mobiliser l'ensemble des technologies au service de cette transition, qui n'est ni une recherche d'efficacité ou de substitution, mais bien une reconception des systèmes de production et, en passant, une refondation du rôle du CTPS.

L'économie de l'ensemble de la filière Semences et Plants, comme de l'agriculture, se trouve interrogée par cette transition, qui doit conduire à produire plus de services écosystémiques, la production étant le premier de ces services. Il conviendra donc d'éclairer les incidences économiques de cette transition, mais aussi, par des travaux en économie industrielle de mesurer les incidences sur l'organisation de l'ensemble de ce secteur économique majeur. Ce secteur économique est marqué par la part considérable du chiffre d'affaires consacrée à la recherche. C'est donc bien le modèle économique de la recherche qui doit aussi être posé, en s'interrogeant sur les modalités de son financement dans le cadre de marchés moins génériques, avec des taux de semences de ferme inconnus à ce stade, et où une composante nouvelle émerge, à savoir l'apport de communautés microbiennes sur les semences et les plants.

Le champ des succès possibles est considérable, comme le souligne le présent rapport, et le CTPS, par la richesse des communautés qui y contribuent, jouera à n'en pas douter un rôle clé dans l'atteinte de ces succès.

Références bibliographiques

- **Abad P., Favery B.** (2012). L'arsenal immunitaire des plantes. *Pour la Science*, 77 : 24-31
- **Abbai R., Singh V.K., Snowdon R.J., Kumar A., Schnurbusch, T.** (2020). Seeking Crops with Balanced Parts for the Ideal Whole. *Trends in Plant Science*. 25-12, pp.1189-1193. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.08.011>
- **Aguilera, E., Díaz-Gaona, C., García-Laureano, R., Reyes-Palomo, C., Guzman, G.I., Ortolani, L., Sanchez-Rodríguez, M., Rodríguez-Estevez, V.** (2020). Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. *Agricultural Systems* 181, 102809. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102809>.
- **Ali M.Y., Krishnamurthy L., Saxena N.P., Rupela O.P., Kumar J., Johansen C.,** (2002). Scope for genetic manipulation of mineral acquisition in chickpea, *Plant and Soil* 245: 123–134
- **Allier, A., Teyssèdre, S., Lehermeier, C., Moreau, L., Charcosset, A.,** (2020). Optimized breeding strategies to harness genetic resources with different performance levels. *BMC Genomics* 21, 349. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6756-0>
- **Altieri M.A.** (1989). Agroecology: A New Research and Development Paradigm for World Agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 27, 37-46.
- **Altieri, M.A.** (2002). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93, 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- **Anadon, M.** (2007). La recherche participative. Multiples regards, Québec, *Presses de l'Université du Québec*
- **Arif I, Batool M, Schenk PM** (2020) Plant microbiome engineering: expected benefits for improved crop growth and resilience. *Trends Biotechnol* 38:1385–1396. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2020.04.015>
- **Arnstein, SR.** (1969). A Ladder of Citizen Participation, *JAIP*, Vol. 35, No. 4, 1969. pp. 216-224
- **Baert J, Ghesquiere A, Vandewalle M.** (2010). Consistency of crown rust evaluation in ryegrass cultivars. *Commun Agric Appl Biol Sci.* 2010;75(4):641-2. PMID: 21534471.
- **Bakan, B., Bernet, N., Bouchez, T., Boutrou, R., Choubert, J-M., Dabert, P., Duquennoi, C., Ferraro, V., García-Bernet, D., Gillot, S., Mery, J., Rémond, C., Steyer, J-P., Trably, E., Tremier, A.** (2021). Circular Economy Applied to Organic Residues and Wastewater: Research Challenges. *Waste Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01549-0>
- **Ballini, E., Nguyen, T.T., Morel, JB.** (2013). Diversity and genetics of nitrogen-induced susceptibility to the blast fungus in rice and wheat. *Rice* 6, 32. <https://doi.org/10.1186/1939-8433-6-32>
- **Barbet-Massin C.** (2011). Quelle représentativité des réseaux d'homologation variétale et de développement? Cas du tournesol. *Mémoire de fin d'étude*, El Purpan, Toulouse, 81 p
- **Baron B., Brun D., Deschamps T.** (2017). Systèmes de culture : le relay-cropping, un système innovant à l'essai. *Perspectives Agricoles* 450.
- **Barot, S., Allard, V., Cantarel, A., Enjalbert, J., Gauffreteau, A., Goldringer, I., Lata, J.-C., Le Roux, X., Niboyet, A., and Porcher, E.** (2017). «Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review.» *Agron. Sustain. Dev.* 37, 13.
- **Barret M., Briand M., Bonneau S., Preveaux A., Valiere S., Bouchez O., Hunault G., Simoneau P., Jacques M.A.,** (2015). Emergence Shapes the Structure of the Seed Microbiota. *Applied and Environmental Microbiology* 81, 4, 1257-1266. DOI10.1128/AEM.03722-14
- **Bartl, M., Jawecki, G., & Wiegandt, P.** (2010). Co-creation in new product development: Conceptual framework and application in the automotive industry. Paper presented at the *Conference Proceedings R&D Management Conference – Information, Imagination and Intelligence*, Manchester
- **Bedoussac L, Journet E-P, Hauggaard-Nielsen H, Naudin C, Corre-Hellou G, Prieur L, Jensen E, Justes E** (2014). Eco-functional Intensification by Cereal-Grain Legume Intercropping in Organic Farming Systems for Increased Yields, Reduced Weeds and Improved Grain Protein Concentration. In *Organic farming, prototype for sustainable agricultures*. pp 47-63. 10.1007/978-94-007-7927-3_3.
- **Bedoussac L, Triboulet P, Magrini M-B, Rambault G, Foissy D, Corre-Hellou G** (2013). Conséquences de l'introduction des cultures associées céréale-légumineuse à graines dans les filières. Analyse du point de vue des agriculteurs et des coopératives. *Innovations Agronomiques* 32, 199-212

- **Bedoussac, L., Journet, E.-P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E.S., Prieur, L., Justes, E.** (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 911–935. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7>
- **Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., & Makowski, D.** (2021). Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27, 4697– 4710. <https://doi.org/10.1111/gcb.15747>
- **Bellon S.,** (2016). Contributions de l'agriculture biologique à la transition agroécologique. *Innovations Agronomiques* 51, 121-138. <http://doi.org/10.15454/1.4721192167463855E12>
- **Bhargava, A., Srivastava, S.,** (2019). Participatory Plant Breeding: Concept and Applications. *Springer Singapore*, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7119-6>
- **Bie ZL, Nawaz MA, Huang Y, Lee JM, Colla G.** (2017). Introduction to vegetable grafting. In: Colla G, Perez Alfocea F, Schwarz D, eds. *Vegetable grafting principles and practices*. Wallingford, UK: CABI, 1–21.
- **Blanco-Canqui H, Shaver T, Lindquist J, Shapiro C, Elmore R, Francis C, Hergert G** (2015). Cover crops and ecosystem services: insights from studies in temperate soils. *Agron. J.*, 107, pp. 2449-2474
- **Bonciarelli, U., Onofri, A., Benincasa, P., Farneselli, M., Guiducci, M., Pannacci, E., Tosti, G., Tei, F.** (2016). Long-term evaluation of productivity, stability and sustainability for cropping systems in Mediterranean rainfed conditions. *Eur. J. Agron.* 77, 146–155.
- **Bonneuil, C., Demeulenaere, E.** (2007). Une génétique de pair à pair? L'émergence de la sélection participative. *Sci. Citoyennes Vigil. Collect. Rapp. Entre Profane Sci. Dans Sci. Nat.* 122–147.
- **Borg J, Kiaer L. P., Lecarpentier C., Goldringer I., Gauffreteau A., Saint-Jean S., Barot S., Enjalbert J.** (2018). Unfolding the potential of wheat cultivar mixtures: A meta-analysis perspective and identification of knowledge gaps. *Field Crop Research*. 221: 298-313
- **Borrelli, L., Castelli, F., Ceotto, E., Cabassi, G., Tomasoni, C.** (2014). Maize grain and silage yield and yield stability in a long-term cropping system experiment in Northern Italy. *Eur. J. Agron.* 55, 12–19.
- **Brumlop, S., Reichenbecher, W., Tappeser, B., Finckh, M.R.,** (2013). What is the Smartest way to breed plants and increase agrobiodiversity? *Euphytica* 194, 53–66. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-0960-9>
- **Brun H., Chèvre A.M., Fitt B.D.L., Powers S., Besnard A.L., Ermel M., Huteau V., Marquer B., Eber F., Renard M., Andrivon D.** (2010). Quantitative resistance increases the durability of qualitative resistance to *Leptosphaeria maculans* in *Brassica napus*. *New Phytologist* 185: 285–299 doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.03049.x
- **Buchanan AL, Kolb LN, Hooks CRR** (2016). Can winter cover crops influence weed density and diversity in a reduced tillage vegetable system? *Crop Protection* 90 (2016) 9e16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.006>
- **Campion, A.L., Oury, F.-X., Morlais, J.-Y., Walczak, P., Bataillon, P., Gardet, O., Gilles, S., Pichard, A., Rolland, B.** (2014). Is low-input management system a good selection environment to screen winter wheat genotypes adapted to organic farming? *Euphytica* 199, 41–56. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1172-7>
- **Caquet T., Gascuel-Oudou C., Tixier-Boichard M., Dedieu B., Détang-Dessendre C., Dupraz P., Faverdin P., Hazard L., Hinsinger P., Litrico-Chiarelli I., Médale F., Monod H. , Petit S. , Reboud X., Thomas A., Lescourret F., Roques L, Vries H., Soussana JF.**(2019). Réflexion prospective interdisciplinaire pour l'agroécologie. *Rapport de synthèse*
- **Chable V, Nuijten E, Costanzo A, Goldringer I, Bocci R, Oehen B, Rey F, Fasoula D, Feher J, Keskitalo M, Koller B, Omirou M, Mendes-Moreira P, van Frank G, Naino Jika AK, Thomas M, Rossi A.** (2020). Embedding Cultivated Diversity in Society for Agro-Ecological Transition. *Sustainability*. 2020; 12(3):784. <https://doi.org/10.3390/su12030784>
- **Chable V., Serpollay Besson E., Villard A.L., Klaedtke S.** (2016), Diversifood, outil numéro 3
- **Chesbrough. H, Vanhaverbeke W., West. J** (2006). Open Innovation: A New Paradigm for Understanding Industrial Innovation(pp. 1-12), 2006., *Oxford University Press*.
- **Chiffolleau Y., Desclaux D.** (2006). Participatory plant breeding: the best way to breed for sustainable agriculture? *International Journal of Sustainable Agriculture* 4 (2), 119-130.
- **Christinck, A., Weltzien, E., Hoffmann, V.** (2005). Setting Breeding Objectives and Developing Seed Systems with Farmers. A Handbook for Practical Use in Participatory Plant Breeding Projects. *Plant Breeding Projects. Weikersheim: Margraf Verlag*

- **Clingefer P., Moarles N., Davis H., Smith H.** (2019). The significant of scion x rootstock interaction. *OenoOne*. DOI: 10.20870/oenone.2019.53.2.2438
- **Code rural**, articles D661-1 à 11.
https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006071367/LEGISCTA000006168559/#LEGISCTA000006168559
- **Colley, M.R., Dawson, J.C., McCluskey, C., Myers, J.R., Tracy, W.F., Bueren, E.T.L. van,** (2021). Exploring the emergence of participatory plant breeding in countries of the Global North – a review. *The Journal of Agricultural Science* 1–19. <https://doi.org/10.1017/S0021859621000782>
- **Conibertia A., Ferraria V., Disegnaa E., García Petillo M., Laksoc A.N.** (2018) Complete vineyard floor cover crop to reduce grapevine susceptibility to bunch rot. *Eur. J. Agronomy*. 99:167-176
- **Cooper, R. G.** (2008). **Perspective: The stage-gates idea to launch process—update, what's new, and NexGen systems.** *Journal of product innovation management*, 25(3), 213-232.
- **Cormier F, Faure S, Dubreuil P, Heumez E, Beauchêne K, Lafarge S, Praud S, Le Gouis J** (2013). A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.* 2013 Dec;126(12):3035-48. doi: 10.1007/s00122-013-2191-9. Epub 2013 Sep 21. PMID: 24057081.
- **Costanzo, A., Amos, D., Bickler, C., and Trump, A.** (2021). Agronomic and genetic assessment of organic wheat performance in England: a field-scale cultivar evaluation with a network of farms. *Agronomy for Sustainable Development* 41(4), 1-19.
- **Cowger C., Brown J.K.M.,** (2019) Durability of Quantitative Resistance in Crops: Greater Than We Know? *Annual Review of Phytopathology* 57:253–77 <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100016>
- **Creissen HE, Jorgensen TH, Brown JK.** (2016). Increased yield stability of field-grown winter barley (*Hordeum vulgare* L.) varietal mixtures through ecological processes. *Crop Prot.* 85:1-8. doi: 10.1016/j.cropro.2016.03.001. PMID: 27375312; PMCID: PMC4862440.
- **Crespo-Herrera, L, Howard, R, Piepho, H-P, Pérez-Rodríguez, P, Montesinos-Lopez, O, Burgueño, J, Singh, R, Mondal, S, Jarquín, D, Crossa, J.** (2021). Genome-enabled prediction for sparse testing in multi-environmental wheat trials. *Plant Genome*. 2021:e20151. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20151>
- **Crossa J., Fritsche-Neto R., Montesinos-López O. A., Costa-Neto G., Dreisigacker S., Montesinos-López A Bentley A.R.** (2021) The Modern Plant Breeding Triangle: Optimizing the Use of Genomics, Phenomics, and Enviromics Data. *Frontiers Plant Sci.* 12 651480
- **Crossa J., Pérez-Rodríguez P., Cuevas J., Montesinos-López O.A. , Jarquín D., de los Campos G., Burgueño J, González-Camacho J.M., Pérez-Elizalde S., Beyene J., Dreisigacker S., Singh R., Zhang X., Gowda M., Roorkiwal M., Rutkoski J., Varshney7 RK** (2017) Genomic Selection in Plant Breeding: Methods, Models, and Perspectives. *Trends Plant Sci.* 22, 11 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2017.08.011>
- **D'Amato, D., Bartkowski, B., and Droste, N.** (2020). Reviewing the interface of bioeconomy and ecosystem service research. *Ambio* 49(12), 1878-1896. 10.1007/s13280-020-01374-0.
- **David O., van Frank G., Goldringer I., Rivière P., Turbet Delof M.** (2020) Bayesian inference of natural selection from spatiotemporal phenotypic data. *Theoretical Population Biology*, (131) 00-109
- **Dawson J.C., Murphy K.M., Jones S.S.,** (2008). Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. *Euphytica* 160:143–154 DOI 10.1007/s10681-007-9533-0
- **Dawson, J. C., and I. Goldringer.** (2012). “Breeding for Genetically Diverse Populations: Variety Mixtures and Evolutionary Populations.” *Organic Crop Breeding*, 77–98.
- **De Fillipi R., Roser T.** (2014) : Aligning the co-creation project portfolio with company strategy, Strategy and leadership, p 42.
- **de los Campos, G., Pérez-Rodríguez, P., Bogard, M., Gouache, D., Crossa, J.** (2020). A data-driven simulation platform to predict cultivars' performances under uncertain weather conditions. *Nat Commun* 11, 4876 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18480-y>
- **De Oliveira, Y., Burlot, L., Dawson, J.C., Goldringer, I., Madi, D., Rivière, P., Steinbach, D., van Frank, G., Thomas, M.,** (2020). SHiNeMaS: a web tool dedicated to seed lots history, phenotyping and cultural practices. *Plant Methods* 16, 98. <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00640-2>
- **De Santis, M.A., Rinaldi, M., Menga, V., Codianni, P., Giuzio, L., Fares, C., Flagela Z.** (2021). Influence of Organic and Conventional Farming on Grain Yield and Protein Composition of Chickpea Genotypes. *Agronomy* 11(2), 191.

- **Delval P., Ligot O.** (2018). La durabilité des résistances des plantes aux bioagresseurs. *Dossier EcophytoPIC*, 19, pp 12.
- **Desclaux D., Barbier, M., Couix N., Enjalbert J., Goldringer I., Masson J.,** (2019). Approches participatives pour la sélection et la gestion de la biodiversité. Rapport de synthèse INRAE - BAP. 49 pp.
- **Desclaux D., Nolot J.M., Chiffolleau Y.,** (2009). La sélection participative pour élaborer des variétés de blé dur pour l'agriculture biologique. *Innovations agronomiques* 7, 65-78.
- **Desclaux D., Nolot J.M., Chiffolleau Y., Gozé E. and Leclerc C.** (2008). Changes in the concept of genotype X environnement interactions to fit agriculture diversification and decentralized participatory plant breeding : pluridisciplinary point of view. *Euphytica* 163, 533-546.
- **Deswarte, J.-C., Beauchene, K., Arjaure, G., Jezequel, S., Meloux, G., Flodrops, Y., Landrieux, J., Bouthier, A., Thomas, S., De Solan, B., Gouache, D.** (2015). Platform development for drought tolerance evaluation of wheat in France. *Proc. Environ. Sci.* 29, 93–94. doi: 10.1016/j.proenv.2015.07.176
- **Díaz S, Settele J, Brondízio E, Ngo H, Guèze M, Agard J, Arneth A, Balvanera P, Brauman K, Butchart S, Chan K, Garibaldi LA, Ichii K, Liu J, Subramanian S, Midgley G, Miloslavich P, Molnár Z, Obura D, Pfaff A, Polasky S, Purvis A, Razaque J, Reyers B, Roy Chowdhury R, Shin Y-J, Visseren-Hamakers I, Willis K, Zayas C** (2019). The global assessment report on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. ISBN: 978-3-947851-13-3
- **Ditzler L., van Apeldoorn D.F., Schulte R.P.O., Tittone P., Rossing W.A.H.** (2021). Redefining the field to mobilize three-dimensional diversity and ecosystem services on the arable farm. *European Journal of Agronomy*, 122 : 126197
- **Djian-Caporalino C., Caravel C., Rhino B., Lavoie A.-V., Villeneuve F., Fournet S., Gautier H., Chave M, Cortesero AM, Nicot P., Romeo M. Delporte M., Berthelot C** (2020). Agrosystèmes légumiers : les plantes de service contre les bioagresseurs. *Infos CTIFL*, 23 p. hal-03043855
- **Dong, B., Evans, K. R., & Zou, S.** (2008). The effects of customer participation in co-created service recovery. *Journal of the academy of marketing science*, 36(1), 123-137.
- **Döring T.F., Annicchiarico P., Clarke S., Haigh Z., Jones H.E., Pearce H., Snape J., Zhan J, Wolfe M.S.,** (2015). Comparative analysis of performance and stability among composite cross populations, variety mixtures and pure lines of winter wheat in organic and conventional cropping systems. *Field Crops Research* 183:235–245 <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.08.009>
- **Drakopoulos D., Gimeno A., Kägi A., Jenny E., Bänziger I., Musa T., Forrer H.R., Vogelgsang S.** (2021). Innovative cropping systems to reduce Fusarium mycotoxins in wheat. *Agrarforschung Schweiz*, 12 : 16-23 DOI: 10.34776/afs12-16e
- **Duru M, Farès M, Théron O** (2014) Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain), la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires (in French). A conceptual framework for thinking now (and organising tomorrow) the agroecological transition at the level of the territory. *Cahiers Agricultures* 23:84–97
- **Enjalbert, J., Dawson, J.C., Paillard, S., Rhoné, B., Rousselle, Y., Thomas, M., Goldringer, I.** (2011). Dynamic management of crop diversity: From an experimental approach to on-farm conservation. *C. R. Biol.* 334, 458–468. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2011.03.005>
- **Eshel, G., Egozi, R., Goldwasser, Y., Kashti, Y., Fine, P., Hayut, E., Kazukro, H., Rubin, B., Dar, Z., Keisar, O., DiSegni, D.M.** (2015). Benefits of growing potatoes under cover crops in a Mediterranean climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 211, 1–9.
- **EUR – Lex- 52020DC0381** (2020). Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Economique et Social Européen et au Comité des régions. Une stratégie "De la ferme à la table" pour un système alimentaire équitable, sain et respectueux de l'environnement, 20 mai 2020.
- **Evans J., Scott G., Lemerle D., Kaiser A., Orchard B., Murray G. M. , Armstrong E. L.,** (2003). Impact of legume 'break' crops on the residual amount and distribution of soil mineral nitrogen. *Austr J agric Research* 54 : 763 – 776. <https://doi.org/10.1071/AR02149>
- **Eychenne F.** (2012). Fab Lab. L'avant-garde de la nouvelle révolution industrielle, *FYP éditions*, coll. « La fabrique des possibles », 2012.
- **Fabre F., Rousseau E., Mailleret L., Moury B** (2012) Durable strategies to deploy plant resistance in agricultural landscapes. *New Phytol.* (2012) 193: 1064–1075 doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.04019.x

- **Finckh M.R.** (2008) Integration of breeding and technology into diversification strategies for disease control in modern agriculture. In: *Collinge D.B., Munk L., Cooke B.M. (eds) Sustainable disease management in a European context. Springer, Dordrecht.* https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8780-6_19
- **Fontaine L., Le Campion A., Bernicot M.-H., Bonin L., du Cheyron P., Dehay G., Falchetto L., Gapin J.-C., Lein V., Mailliard A., Moreau D., Moralis J.-Y., Moulin V., Prieur L., Quirin T., Rolland B., Vidal R.** (2017). Caractérisation et sélection de variétés de blé tendre plus compétitives vis-à-vis des adventices ; *5ème Rencontre Scientifique du FSOV*, Paris le 23 mars 2017, 13p.
- **Fontaine L., Le Gall C., Gauffreteau A., Moutier N., du Cheyron P., Bernicot M.H.** (2021). EcoVAB - Evaluer le comportement des variétés en AB : construire aujourd'hui les outils pour demain. *Innovations Agronomiques* 84, 182-202. <https://doi.org/10.15454/emk1-5y19>
- **Fritsche, F., Brunori, G., Chiaramonti, D., Galanakis, C., Matthews, R., and Panoutsou, C.** (2021). "Future transitions for the Bioeconomy towards Sustainable Development and a Climate-Neutral Economy - Bioeconomy opportunities for a green recovery and enhanced system resilience."
- **Gaba S, Lescourret F, Boudsocq S., Enjalbert J, Hinsinger P, Journet EP, Navas ML, Wery J, Louarn G., Malézieux E., Pelzer E, Prudent M, Lafontaine HO** (2015). Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design *Agron. Sustain. Dev.* 35:607–623. DOI 10.1007/s13593-014-0272-z
- **Garcia L., Damour G., Gary C., Follain S., Bissonnais Y., Métais A.,** (2019). Trait-based approach for agroecology: contribution of service crop root traits to explain soil aggregate stability in vineyards. *Plant and Soil*, Springer Verlag 435 (1-2), pp.1-14. 10.1007/s11104-018-3874-4. hal-02063618
- **Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoche, A., Valdés-Gómez, H., and Metay, A.** (2018). Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 251, 158–170. doi: 10.1016/j.agee.2017.09.030
- **Garnier E, Navas ML** (2012). A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32:365–399 DOI 10.1007/s13593-011-0036-y
- **Gauffreteau A.** (2018). Using ideotypes to support selection and recommendation of varieties. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*. 25(6), D602
- **Gauffreteau A., Charmet G., Jeuffroy M.H., Le Gouis J., Meynard J.M., Rolland, B.** (2014). Variétés et itinéraires techniques du blé : une évolution vers la diversification. *AE&S - Agronomie, Environnement & Sociétés*, 4-2
- **Geels F.W.** (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* 33, 897-920
- **Girard, N. & Magda, D.** (2018). Les jeux entre singularité et généricité des savoirs agro-écologiques dans un réseau d'éleveurs. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 12,N2, 199-228. <https://doi.org/10.3917/rac.039.0199>
- **Gonçalves, B., A. Santos, A.P. Silva, J. Moutinho-Pereira and J.M.G. Torres-Pereira.** (2003). Effect of pruning and plant spacing on the growth of cherry rootstocks and their influence on stem water potential of sweet cherry trees. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 78:667–672.
- **Goldringer I., van Frank G., Bouvier d'Yvoire C., Forst E., Galic N., Garnault M., Locqueville J., Pin S., Bailly J., Baltassat R., Berthellot JF., Caizergues F., Dalmasso C., de Kochko P., Gascuel JS., Hyacinthe A., Lacanette J., Mercier F., Montaz H., Ronot B., Rivière P.** (2020) Agronomic Evaluation of Bread Wheat Varieties from Participatory Breeding: A Combination of Performance and Robustness. *Sustainability*, 1 (12) 128
- **Gouache D, Piraux F, Camus S, Briffaux G, Gate P** (2010). Framework and first results of a regional analysis of yield stagnation based on trial and weather data. *Congrès "Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et des Ecosystèmes" 20-22 octobre 2010 - Clermont-Ferrand, France*
- **Gouache D., Bogard M., Hourcade D., Le Bris X., Guillaume O., Lacaze X., Campos G.** (2016). Marker assisted genotype by environment models for adapting wheat to climate change. *Plant and Animal Genome Conference.* <https://www.researchgate.net/publication/290607426>
- **Gouillart, F. J.** (2014). The race to implement co-creation of value with stakeholders: five approaches to competitive advantage. *Strategy & leadership*, 42(1), 2-8.
- **Graham P.H., Vance C.P.** (2003). Legumes: Importance and Constraints to Greater Use. *Plant Physiology*, 131: 872–877. <https://doi.org/10.1104/pp.017004>

- Hamant, O. (2020) : https://www.liberation.fr/debats/2020/05/06/pour-s-adapter-il-faut-s-inspirer-du-vivant-et-cesser-d-optimiser-a-tout-prix_1787410/
- Haug B, Messmer MM, Enjalbert J, Goldringer I, Forst E, Flutre T, Mary-Huard T and Hohmann P (2021) Advances in Breeding for Mixed Cropping – Incomplete Factorials and the Producer/Associate Concept. *Front. Plant Sci.* 11:620400. doi: 10.3389/fpls.2020.620400
- Hauggaard-Nielsen H, Jensen ES (2005). Facilitative Root Interactions in Intercrops. *Plant and Soil* volume 274: 237–250
- Haute Autorité de Santé. (2020). Démarches participatives en France, juillet 2020.
- Hazard, L., Audouin, E., (2016). Approche participative : Définition. *Dictionnaire d'Agroécologie*, <https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/approche-participative/>
- Hazard, L., Gauffreteau, A., Borg, J., Deo, M., Enjalbert, J., Goutiers, V., Gressier, E. (2016). L'innovation à l'épreuve d'un climat et d'un monde changeant rapidement : intérêt de la co-conception dans le domaine des semences. *Fourrages* 225, 39–47
- HLPE. 2019. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. *A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security*, Rome
- Houllier F., Joly P.B, Merilhou-Goudard JB, (2017). Les sciences participatives : une dynamique à conforter, *Natures Sciences Sociétés* 2017/4 (Vol. 25), pages 418 à 423
- Hoyer, W. D., Chandy, R., Dorotic, M., Krafft, M., Singh, S. S. (2010). Consumer cocreation in new product development. *Journal of Service Research*, 13(3), 283-296.
- Isaac ME, Isakson SR, Dale B, Levkoe CZ, Hargreaves SK, Méndez VE, Wittman H, Hammelman C, Langill JC, Martin AR, Nelson E, Ekers M, Borden KA, Gagliardi S, Buchanan S, Archibald S, Gálvez Ciani A. (2018) Agroecology in Canada: Towards an Integration of Agroecological Practice, Movement, and Science. *Sustainability*. 2018; 10(9):3299. <https://doi.org/10.3390/su10093299>
- Isbell F., Adler P.R, Eisenhauer N., Fornara D., Kimmel K., Kremen C., Letourneau D.K., Liebman M., Polley H.W., Quijas S., Scherer-Lorenzen M. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *J. Ecol.*, 105, 871–879.
- Jensen P. J., Halbrecht N., Fazio G., Makalowska I, Altman N., Praul C., Maximova S. N., Ngugi H. K., Crassweller R. M., Travis J. W. McNellis T. W. (2012). Rootstock-regulated gene expression patterns associated with fire blight resistance in apple. *BMC Genomic* 13:9
- Jensen, E.S., Carlsson, G., Hauggaard-Nielsen, H. (2020). Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>
- Kaut A, Manson H, Navabi A, O'Donovan J, Spaner D, (2009). Performance and stability of performance of spring wheat variety mixtures in organic and conventional management systems in western Canada. *The Journal of Agricultural Science*, 147(2), 141-153. doi:10.1017/S0021859608008319
- Khan MA, Afridi RA, Hashim S, Khattak AM, Ahmad Z, Wahid F, Chauhan BS (2016). Integrated effect of allelochemicals and herbicides on weed suppression and soil microbial activity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Crop Protection* 90 .34e39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.018>
- Kiær LP, Skovgaard IM, Østergård H (2009) Grain yield increase in cereal variety mixtures: a meta-analysis of field trials. *Field Crops Res* 114(3):361–373. doi:10.1016/j.fcr.2009.09.006
- Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P. M., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., and van der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the gap between science and practice. *Trends Ecol. Evol.* 34, 154–166. doi: 10.1016/j.tree.2018.11.002
- Kocsis L.; Tarczal E.; Kocsisné G.M. (2014) Grape rootstock-scion interaction on root system development. *Acta Horticulturae* , 1136: 27-31 DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1136.4
- Krause M.R. González-Pérez L., Crossa J., Pérez-Rodríguez P., Montesinos-López O., Singh R.P., Dreisigacker S., Poland J., Rutkoski J., Sorrells M., Gore M.A., Mondal S. (2019) Hyperspectral Reflectance-Derived Relationship Matrices for Genomic Prediction of Grain Yield in Wheat. *G3* 9: 1231-1247
- Kumari, A, Kumar, J, Kumar, A, Chaudhury, A, and Singh, SP (2015) Grafting triggers differential responses between scion and rootstock. *PLoS One* 10:e0124438. doi: 10.1371/journal.pone.0124438
- Lacoste et al., 2021, *Nature food*, à paraître

- **Lammerts van Bueren ET., Struik, PC., van Eekeren, N., Nuijten, E.** (2018). Towards resilience through systems-based plant breeding. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 38:42. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0522-6>
- **Lassalvy S., Gensollen V., Straëbler M., Huyghe C.** (2014). How to assess suitability of turf varieties across a wide range of environments in Europe. *European Journal of Turfgrass Science*. ETS 2014 Special Edition. Pages: 97-98 Published: June 20.1
- **Lavelle P., Decaë T., Aubert, M. Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P., Rossi J.-P.,** (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol.*42:S3–S15.
- **Le Mire G., Nguyen M.L., Fassotte B., du Jardin P., Verheggen F., Delaplace P., Haissam Jijakli M.** (2016) Implementing plant biostimulants and biocontrol strategies in the agroecological management of cultivated ecosystems. A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20(S1):299-313
- **Leuchtmann A., Schmidt D., Bush L.** (2000). Different levels of protective alkaloids in grasses with stromaforming and seed transmitted *Epichloë* / *Neotyphodium* endophytes. *J. Chem. Ecol.*, 26, 1025-1036.
- **Litrico I., Violle C.** (2015). Diversity in plant breeding: A new conceptual framework. *Trends Plant Sci.*, 20, 604–613.
- **LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016** pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages
- **Lorin M., Jeuffroy MH., Butier A., Valantin-Morison M.,** (2015) Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulches to improve weed control. *Eur. J. Agronomy*, 71: 96-105
DOI10.1016/j.eja.2015.09.001
- **Lotz, L.A., van de Wiel, C.C., Smulders, M.J.** (2020). Genetic engineering at the heart of agroecology. *Outlook Agric* 49, 21–28. <https://doi.org/10.1177/0030727020907619>
- **Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., Tourdonnet, S. de, Valantin-Morison, M.** (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 43–62. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057> Martin AR, Isaac ME (2018). Functional traits in agroecology: Advancing description and prediction in agroecosystems *J Appl Ecol.* 2018;55:5–11.
- **Mangione, D., Senni, S., Puccioni, M., Grando, S., Ceccarelli, S.,** (2006). The cost of participatory barley breeding. *Euphytica* 150, 289–306. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-0226-x>
- **Martin, K., Sauerborn, J.** (2013). *Agroecology*. 10.1007/978-94-007-5917-6.
- **Massi F., Torriani SFF, Borghi L., Toffolatti SL** (2021) Fungicide Resistance Evolution and Detection in Plant Pathogens: *Plasmopara viticola* as a Case Study. *Microorganisms* 2021, 9(1), 119; <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010119>
- **Masson F. et Leclerc C.** (2014). L'inscription au catalogue officiel : un outil évolutif au service d'une agriculture durable. *Agronomie, environnement et sociétés*. 4 2, 37 45
- **Mayen, P., Laine, A.** (2014). Apprendre à travailler avec le vivant : développement durable et didactique professionnelle. Dijon : *Raison et Passions*.
- **Mazé, A., Calabuig Domenech, A., Goldringer, I.,** (2021). Commoning the seeds: alternative models of collective action and open innovation within French peasant seed groups for recreating local knowledge commons. *Agric Hum Values* 38, 541–559. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10172-z>
- **McPhee, C., Bancarz, M., Mambrini-Doudet, M., Chrétien, F., Huyghe, C., Gracia-Garza, J.** (2021). The Defining Characteristics of Agroecosystem Living Labs. *Sustainability* 2021, 13, 1718. <https://doi.org/10.3390/su13041718>
- **MEA (Millennium Ecosystem Assessment)** (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. *Island Press*, Washington, DC. 155 p
- **Mérindol V., Bouquin N., Versailles D.W., Capdevila I, Aubouin N., Chaffotec A.L, Chiovetta A., Voisin T.,** (2016). Le livre blanc des Open Labs
- **Meynard J.M., Girardin P.** (1991). Produire autrement. *Le Courrier de la cellule Environnement*, 15
- **Meynard, J.M.** (1991). Pesticides et itinéraires techniques. In: *P. Bye, C. Descloins and A. Deshayes (Editors), Phytosanitaires, Protection des Plantes, Biopesticides*. INRA, Paris, pp. 85–100
- **Meza F.J, Silva D., Vigil H.** (2008). Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agric.Syst.* 98, 21–30.

- **Mignolet C., Schott C., Benoît M., Meynard J.-M.** (2012). Transformations des systèmes de production et des systèmes de culture du bassin de la Seine depuis les années 1970 : une spécialisation des territoires aux conséquences environnementales majeures. *Innovations Agronomiques* 22, 1-16
- **Moutier N., Floriot M., Le Gall C., Fintz C., Blériot O., Brun C., Conseil M., Deulvot C., Falchetto L., Heumez-Lévêque M., Lecomte C., Martin J., Lejeune-Hénaut I., Marget P., Hanocq E., Fontaine L., Baranger A.**, (2018). Sélection pour les associations blé-pois : les caractéristiques des variétés de pois en culture pure sont-elles prédictives de leur comportement en culture associée ? - *2èmes Rencontres Francophones Légumineuses*, Toulouse 17 et 18 octobre 2018.
- **Murphy, K.M., Campbell, K.G., Lyon, S.R., Jones, S.S.** (2007). Evidence of varietal adaptation to organic farming systems. *Field Crops Research* 102, 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.011>
- **Nadeem M, Li J., Yahya M., Sher A., Ma C., Wang X., Qiu L.**, (2019). Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. *Int. J. Molec. Sci.* 20: 2541 <https://doi.org/10.3390/ijms20102541>
- **Naor, A.** (1998). Relations between leaf and stem water potentials and stomatal conductance in three field-grown woody species. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73:431–436.
- **Naor, A., I. Klein and I. Doron.** (1995). Stem water potential and apple fruit size. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 120:577–582.
- **Neef, A., Neuber, D.**, (2011). Stakeholder participation in agricultural research projects: a conceptual framework for reflection and decision-making. *Agric. Hum. Values* 28 (2), 179e194.
- **Nicholas A., Cradock H., Blackett P., Hall M. Johnstone P., Teixeira E., Werford A.**, (2020). Climate adaptation pathways for agriculture : insights for a participatory process
- **Nielsen, G. and F. Kappel.** (1996). ‘Bing’ sweet cherry leaf nutrition is affected by rootstock. *HortScience* 31:1169–1172.
- **Noguera D, Laossi KR, Lavelle P, Cruz de Carvalho MH, Asakawa N, Botero C, Barot S** (2011). Amplifying the benefits of agroecology by using the right cultivars. *Ecological Applications*, 21(7), 2011, pp. 2349–2356 <https://doi.org/10.1890/10-2204.1>
- **Ollivier, G., Magda, D., Mazé, A., Plumecocq, G., Lamine, C.** (2018). Agroecological transitions: what can sustainability transition frameworks teach us? An ontological and empirical analysis. *Ecology and Society, Resilience Alliance*, 2018, 23 (2), 18 p. (10.5751/ES-09952-230205). (hal-02622145)
- **Ostrom E.** (1990), *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, New York, Cambridge University Press.
- **Pakeman RJ, Brooker RW, Karley AJ, Newton AC, Mitchell C, Hewison RL, Pollenus J, Guy DC, Schöb C** (2020). Increased crop diversity reduces the functional space available for weeds. *Weeds Res* 60: 121–131 DOI: 10.1111/wre.12393
- **Palloix A, Ayme V, Moury B** (2009). Durability of plant major resistance genes to pathogens depends on the genetic background, experimental evidence and consequences for breeding strategies. *New Phytologist* 183: 190–199 doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.02827.x
- **Paut R, Sabatier R, Tchamitchian M** (2019). Reducing risk through crop diversification: An application of portfolio theory to diversified horticultural systems. *Agricultural Systems* 168, 123–130
- **Pelzer E, Bazot M, Makowski D, Corre-Hellou G, Naudin C, Al Rifaï M, Baranger E, Bedoussac, Biarnès V, Boucheny P, Carrouée B, Dorvillez D, Foissy D, Gaillard B, Guichard L, Mansard MC, Omon B, Prieur L, Yvergniaux M, Justes E, Jeuffroy MH** (2012) Pea–wheat intercropping in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. *Eur J Agron* 40: 39–53
- **Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanneau, P., and van der Putten, W. H.**, (2013). Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nat. Rev. Microbiol.* 11, 789–799. doi: 10.1038/nrmicro3109
- **Pivato B, Semblat A, Guégan T, Jacquiod S, Martin J, Deau F, Moutier N, Lecomte C, Burstin J and Lemanneau P** (2021) Rhizosphere Bacterial Networks, but Not Diversity, Are Impacted by Pea-Wheat Intercropping. *Front. Microbiol.* 12:674556.doi: 10.3389/fmicb.2021.674556
- **Plan Semences et plants pour une agriculture durable 2 (SPAD2) (2021).** <https://agriculture.gouv.fr/lancement-du-nouveau-plan-semences-et-plants-pour-une-agriculture-durable>
- **Poux, X., Aubert, P.-M.** (2018). Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine. Enseignements d’une modélisation du système alimentaire européen, *Iddri-ASCA, Study N°09/18*, Paris, France, 78 p.

- **Pretty, J.**, (2008). Participatory learning for sustainable agriculture. *Sustain. Agric. Food* Vol. IV Policies Process. Inst.
- **Prieto I., Violle C., Barre P., Durand J.L., Ghesquiere M., Litrico I.** (2015). Complementary effects of species and genetic diversity on productivity and stability of sown grasslands. *Nature Plants*, 1, 15033.
- **Probst, K., Hagmann, J., Fernandez, M., Ashby, J.A.**, (2003). Understanding participatory research in the context of natural resource management – paradigms, approaches and typologies. *Agren Netw. Pap.* No 130 Agric. Res. Netw.
- **Quist, D.A., Heinemann, J.A., Myhr, A.I., Aslaksen, I., Funtowicz, S.** (2013). 19 Hungry for innovation: pathways from GM crops to agroecology. In: *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation, EEA Report No 1/2013, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.* <http://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2/late-lessons-chapters/>
- **Rasool A, Mansoor S, Bhat KM, Hassan GI, Baba TR, Alyemeni MN, Alsahli AA, El-Serehy HA, Paray BA and Ahmad P** (2020) Mechanisms Underlying Graft Union Formation and Rootstock Scion Interaction in Horticultural Plants. *Front. Plant Sci.* 11:590847. doi: 10.3389/fpls.2020.590847
- **Ratnadass A, Avelino J, Fernandes P, Letourmy P, Babin R, Deberdt P, Deguine JP, Grechi I, Naudin K, Rhino B, DeClerck F, Abdou Kadi Kadi H, Mahob R, Rabary B, Sahondra Rafaraso L, Lescourret F, Van Den Berg J** (2021) Synergies and tradeoffs in natural regulation of crop pests and diseases under plant species diversification. *Crop Protection* 146 (2021) 105658
- **Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R.** (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 273–303. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>
- **Reiss, E.R., Drinkwater, L.E.**, (2017). Cultivar mixtures: A meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield. *Ecological Applications*. <https://doi.org/10.1002/eap.1629>
- **Renard, D., Tilman, D.** (2019). National food production stabilized by crop diversity. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y>
- **Rey F., Rivière P., Flipon E., de Buck A., Feher J., Costanzo A, Lazzaro M,** (2021). *Liveseed, rapport D2-3*
- **Rhone, B., Remoue, C., Galic, N., Goldringer, I., Bonnin, I.** (2008). Insight into the genetic bases of climatic adaptation in experimentally evolving wheat populations. *MOLECULAR ECOLOGY* 17, 930–943.
- **Rimbaud L., Fabre F., Papa x J., Moury B., Lannou C., Barret L.G., Thrall P.H.** (2021b). Models of Plant Resistance Deployment, *Annu. Rev. Phytopathol.* 59:125–52 , <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-122134>
- **Rimbaud L., Papa x J., Fabre F.** (2021a). Strat gies paysagères pour déployer efficacement et durablement la résistance : modèles et pr dictions. In : *L'immunit  des plantes. Pour des cultures r sistantes aux maladies.* Editions Quae
- **Rincent R., Charpentier J.P., Faivre-Rampant P., Paux E., Le Gouis J., Bastien C., Segura V** (2018) Phenomic Selection Is a Low-Cost and High-Throughput Method Based on Indirect Predictions: Proof of Concept on Wheat and Poplar . *G3* 8 3961-3972
- **Rivière, P., Dawson, J.C., Goldringer, I., David, O.**, (2015b). Hierarchical Bayesian Modeling for Flexible Experiments in Decentralized Participatory Plant Breeding. *Crop Science* 55, 1053–1067. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.07.0497>
- **Riviere, P., Goldringer, I., Berthelot, J.-F., Galic, N., Pin, S., De Kochko, P., Dawson, J.C.**, (2015a). Response to farmer mass selection in early generation progeny of bread wheat landrace crosses. *Renewable Agriculture and Food Systems* 30, 190–201. <https://doi.org/10.1017/S1742170513000343>
- **Rocheft A., Simonin M., Marais C., Guillerme-Eckelboudt A.Y., Barret M, Sarniguet A.**, (2021). Transmission of Seed and Soil Microbiota to Seedling. *MSystems* 6, 3, Article Number e00446-21, DOI10.1128/mSystems.00446-21
- **Sampoux J.-P., Giraud H., Litrico I.** (2019). Which recurrent selection scheme to improve mixtures of plant species? Theoretical expectations. *Theor. Appl. Genet.* G3-Genes Genomes Genetics. 10. g3.400809.2019. DOI: 10.1534/g3.119.400809.
- **Schipanski, M. E., Barbercheck, M., Douglas, M. R., Finney, D. M., Haider, K., Kaye, J. P., Kemanian, A.R., Mortensen, D.A., Ryan, M.R., Tooker, J., White, C.** (2014). A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agric. Syst.* 125, 12–22. doi: 10.1016/j.agsy.2013.11.004

- **Schmid, A.F. et Mambrini, M.** (2019). Épistémologie générique. Manuel pour les sciences futures.
- **Schmitt, E.R., F. Duhme and P.P.S Schmid.** (1989). Water relations in sweet cherries (*Prunus avium* L.) on sour cherry rootstocks (*Prunus cerasus* L.) of different compatibility. *Sci. Hortic.* 39:189–200.
- **Sebillotte M.** (1990). Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : *L. Combe et D. Picard coord., Les systèmes de culture. Inra, Versailles* : 165-196
- **Serra I. ; Strever A. ; Myburgh PA. ; Deloire A.** (2014) The interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. *Aust. J. Grape Wine Res.* 20: 1-14. DOI: 10.1111/ajgw.12054
- **Shackel, K.A., H. Ahmadi, W. Biasi et al.** (1997). Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology* 7:23–29.
- **Shackelford, G.E., Kelsey, R., Dicks, L.V.** (2019). Effects of cover crops on multiple ecosystem services: Ten meta-analyses of data from arable farmland in California and the Mediterranean. *Land Use Policy* 88, 104204.
- **Shah TM., Tasawwar S., Bhat MA., Otterpohl R.** (2021) Intercropping in Rice Farming under the System of Rice Intensification-An Agroecological Strategy for Weed Control, Better Yield, Increased Returns, and Social-Ecological Sustainability. *Agronomy*, 11:1010. DOI:10.3390/agronomy11051010
- **Sharma, G.; Shrestha, S.; Kunwar, S.; Tseng, T.-M.** (2021). Crop Diversification for Improved Weed Management: A Review. *Agriculture*, 11, 461. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050461>
- **Sperling, L., Ashby, J.A., Smith, M.E., Weltzien, E., McGuire, S.,** (2001). A framework for analyzing participatory plant breeding approaches and results. *Euphytica* 122, 439–450.
- **Stomph T, Dordas C, Baranger A, de Rijk J, Dong B, Evers J, Gu C, Li L, Simon J, Steen Jensen E, Wang Q, Wang Y, Wang Z, Xu H, Zhang C, Zhang L, Zhang W-P, Bedoussac L, van der Werf W** (2020). Chapter One - Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles? *Advances in Agronomy*, Volume 160, Issue 1, Pages 1-50, <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.10.002>
- **Stuthman D.D., Leonard K.J., Miller-Garvin J.** (2007). Breeding crops for durable resistance to disease. *Advances in Agronomy*, 95 : 319-367 DOI: 10.1016/S0065-2113(07)95004-X
- **Takač, V., Tóth, V., Rakszegi, M., Mikić, S., Miroslavljević, M., and Kondić-Špika, A.** (2021). Differences in Processing Quality Traits, Protein Content and Composition between Spelt and Bread Wheat Genotypes Grown under Conventional and Organic Production. *Foods* 10(1), 156.
- **Tamburini G, Bommarco R, Wanger TC, Kremen K, van der Heijden MGA, Liebman M, Hallin S** (2020) Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Sci. Adv.* 6, eaba1715
- **Tandonnet J.P.; Cookson S.; Vivin P., Ollat N.** (2010) Scion genotype controls biomass allocation and root development in grafted grapevine. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16: 209-300 DOI: 10.1111/j.1755-0238.2009.00090.x
- **Thépot, S., Restoux, G., Goldringer, I., Hospital, F., Gouache, D., Mackay, I.J., Enjalbert, J.** (2015). Efficiently Tracking Selection in a Multiparental Population: The Case of Earliness in Wheat. *Genetics* 199, 609–623. <https://doi.org/10.1534/genetics.114.169995>
- **Thérond, O., Duru, M., Roger-Estrade, J., and Richard, G.** (2017). A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agronomy for sustainable development* 37(3), 1-24.
- **Thomas, M., S. Thépot, N. Galic, S. Jouanne-Pin, C. Remoué, I. Goldringer.** (2015) Diversifying mechanisms in the on-farm evolution of crop mixtures. *Molecular ecology* 24: 2937-2954
- **Tietel Z., Srivastava S., Fait A., Tel-Zur N., Carmi N., Raveh E.** (2019). Impact of scion/rootstock reciprocal effects on metabolomics of fruit juice and phloem sap in grafted *Citrus reticulata*. *PlosOne*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227192>
- **Tosti G., Benincasa P., Farneselli M., Tei F., Guiducci M.** (2013) Barley–hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. *European Journal of Agronomy*, 54: 34-39
- **Touzy G, Rincet R, Bogard M, Lafarge S, Dubreuil P, Mini A, Deswarte J-C, Beauchene K, Le Gouis J, Praud S,** (2019). Identifying drought tolerance specific QTLs in bread wheat (*T. aestivum* L.) using environmental clustering. *Theoretical and Applied Genetics* 132:2859-2880
- **Valiorgue B** (2020). Refonder l’agriculture à l’heure de l’anthropocène
- **van der Meulen A, Chauhan BS,** (2017). A review of weed management in wheat using crop competition *Crop Protection* 95: 38e44 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.004>

- **van Frank G., Goldringer I., Rivière P., David O.,** (2019). Influence of experimental design on decentralized, on-farm evaluation of populations: a simulation study. *Euphytica*, 7 (215) 126
- **van Frank, G., Rivière, P., Pin, S., Baltassat, R., Berthellot, J.-F., Caizergues, F., Dalmasso, C., Gascuel, J.-S., Hyacinthe, A., Mercier, F., Montaz, H., Ronot, B., Goldringer, I.,** (2020). Genetic Diversity and Stability of Performance of Wheat Population Varieties Developed by Participatory Breeding. *Sustainability* 12, 384. <https://doi.org/10.3390/su12010384>
- **Wang C, Hu S, Gardner C, L bberstedt T.** (2017). Emerging avenues for utilization of exotic Germplasm. *Trends Plant Sci.* 2017; 22:624–37
- **Warschefsky EJ, Klein LL, Frank MH, Chitwood DH, Londo JP, Von Wettberg EJB, Miller AJ, Rootstocks** (2016) Diversity, Domestication, and Impacts on Shoot Phenotypes. *Trends in Plant Science*, Volume 21, Issue 5, 2016, Pages 418-437, ISSN 1360-1385, doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.008.
- **Watson A, Ghosh S, Williams MJ, Cuddy WS, Simmonds J, Rey MD, Asyraf Md Hatta M, Hinchliffe A, Steed A, Reynolds D, Adamski NM, Breakspear A, Korolev A, Rayner T, Dixon LE, Riaz A, Martin W, Ryan M, Edwards D, Batley J, Raman H, Carter J, Rogers C, Domoney C, Moore G, Harwood W, Nicholson P, Dieters MJ, DeLacy IH, Zhou J, Uauy C, Boden SA, Park RF, Wulff BBH, Hickey LT** (2018). Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nat Plants*. 2018 Jan;4(1):23-29. <https://doi.org/10.1038/s41477-017-0083-8>
- **Weiner J, Andersen SB, Wille WKM, Griepentrog HW, Olsen, JM** (2010). Evolutionary Agroecology: the potential for cooperative, high density, weed-suppressing cereals. *Evolutionary Applications*. 3, 5-6, pp 473-479. 10.1111/j.1752-4571.2010.00144.x
- **Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., Davaid, C.** (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515 (2009). <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>
- **Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A., Peign , J.,** (2013). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- **Witcombe, J.R., Virk, D.S., Goyal, S.N., Singh, D.N., Chakarborty, M., Billore, M., Tiwari, T.P., Pandya, R., Rokadia, P., Pathak, A.R., Prasad, S.C.,** (2006). Participatory Plant Breeding: A Market-Oriented, Cost-Effective Approach, in: *Plant Breeding: The Arnel R. Hallauer International Symposium*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 107–119. <https://doi.org/10.1002/9780470752708.ch7>
- **Wolfe, M. S.** (1985). The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease control. *Annu. Rev. Phytopathology* 23:251-273
- **Wuest SE, Peter R, Niklaus PA,** (2021). Ecological and evolutionary approaches to improving crop variety mixtures. *Nature Ecology & Evolution* 5: 1068–1077
- **Zhang F, Li L,** (2003). Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant and Soil* 248, 305–312. <https://doi.org/10.1023/A:1022352229863>
- **Zhang L.; Marguerit E. ; Rossdeutsch L. ; OllatN. ; GambettaG.A.** (2016) The influence of grapevine rootstocks on scion growth and drought resistance Theor. Exp. Plant Physiol. 28: 143-157 DOI: 10.1007/s40626-016-0070-x
- **Zub-Preudhomme H., Gauffreteau A., Gravouelle J.M., Aurousseau F.** (2016). Analyser, interpréter et prédire le comportement des variétés de pommes de terre   travers l tude des interactions génotype x environnement x conduite. *Innovations Agronomiques*. 50. Pp. 69-85.

Annexe 1 : Lettre de cadrage de la saisine

Saisine Comité Scientifique CTPS 2020

Quelles variétés pour l'agroécologie ?

Contexte

Cette thématique est au cœur du plan SPAD2 et de son ambition d'inscrire délibérément l'innovation variétale comme un levier majeur de la transition agroécologique.

L'agroécologie est décrite par Wezel *et al.* (2009) comme étant à la fois une discipline scientifique, des pratiques agronomiques et un mouvement social voire politique. Elle repose sur un changement de paradigme conduisant à considérer les systèmes cultivés, de la parcelle, à l'exploitation et au territoire, comme des écosystèmes où l'on peut gérer la diversité en fonction des objectifs que l'on veut atteindre. Quand il s'agit d'associer la performance productive et environnementale, on peut alors mobiliser la diversité fonctionnelle, dont l'augmentation conduit à augmenter les régulations biologiques (régulations des bioagresseurs, fertilité des sols).

La diversité fonctionnelle d'un couvert végétal concerne les traits d'effet et les traits de réponse et s'analyse en prenant en compte les espèces végétales, mais aussi i) le microbiote qui environne les plantes au niveau des feuilles et des racines, et ii) les animaux qui peuvent 'perturber' un couvert.

Objectifs et questions posées

L'expertise scientifique qui sera conduite par le Comité Scientifique devra traiter six domaines :

- Quelles seront les agricultures qui existeront dans un modèle reposant sur l'agroécologie, et quels seront leurs besoins en termes d'espèces, de variétés, de semences et de plants ?

Cette question est très vaste et elle pourra s'appuyer sur de nombreuses publications scientifiques et de nombreux travaux de réflexion prospective conduits sur l'agroécologie. Ceci conduira à analyser la diversité des successions culturales, la place des couverts végétaux et des plantes de service, le rôle que pourront jouer les associations d'espèces et les mélanges de variétés.

Les conséquences en besoins d'espèces (diversification, plantes de cultures), en idéotypes cultureaux (cultures associées, cultures sur mulchs vivants ou morts) et en idéotypes variétaux (variétés pour des usages en mélanges, variétés hétérogènes pour des caractères particuliers) pourront être dressées. Cela conduira également à analyser les incidences en termes de qualité des environnements dans lesquels les cultures seront amenées à se développer (par exemple, moins de produits phytos et plus de prophylaxie, moins de fertilisants minéraux et plus d'apports organiques).

- Si l'agroécologie conduit à des modalités d'agriculture différentes (et ce sera très vraisemblablement le cas), il faut s'interroger sur la diversité génétique disponible aujourd'hui au sein des pools en sélection et sa capacité à répondre à ces demandes nouvelles. Comment dès lors rechercher une diversité génétique nouvelle, au sein des collections de ressources phytogénétiques ou en analysant ce qui pourrait être attendu des techniques d'édition des génomes ? Quelle pourrait être l'évolution des structures de variétés ? Vers plus de diversité génétique intra-variétale ?

- Faut-il envisager d'autres processus de sélection, de multiplication et d'évaluation du matériel végétal, et notamment une place accrue donnée aux démarches participatives ? Celles-ci pourraient jouer un rôle pour prendre en compte la dépendance augmentée aux conditions locales, du fait de l'agroécologie.

- Quels seront les dispositifs de tests qu'il conviendra de déployer à la fois chez les obtenteurs et dans les réseaux d'évaluation variétale à l'inscription ou en post-inscription pour évaluer ces variétés ? Quels seront les besoins de caractérisation des milieux (envirotypage) ? Est-il possible d'analyser les traits recherchés au travers de proxis obtenus en conditions contrôlées ?

- Quelles seront les incidences sur les dispositifs pour l'inscription des variétés, les règles de décision et sur le fonctionnement du CTPS ? Quel pourrait être le rôle de chaque maillon du continuum de l'évaluation variétale, de la pré-inscription à la post-inscription ?

- L'agroécologie conduit à augmenter la dépendance aux conditions locales, puisque les régulations biologiques qui seront recherchées et obtenues dépendent du milieu. En conséquence, il conviendra de s'interroger sur la généralité des conclusions obtenues lors de l'inscription, la façon de les diffuser et la façon de les intégrer avec d'autres sources de données.

Programme envisagé : structuration et calendrier

Structuration

Afin de répondre à ces questions, la réflexion sera structurée en différents Workpackages.

Le **WP1** s'attachera à définir les **besoins en termes d'espèces, de variétés, de semences et de plants** adaptés à l'agroécologie, sur la base de scénarios et d'hypothèses publiées dans la littérature scientifique concernant les systèmes de culture à mettre en place pour une transition agroécologique.

Le **WP2** traitera de la question de **l'agroécologie et de la diversité génétique**, en précisant si la diversité génétique disponible au sein des pools de sélection actuels semble suffisante pour répondre à la transition agroécologique, et en proposant des structures variétales et des méthodes de sélection permettant d'aboutir à une diversité génétique inter et intra variétale plus grande.

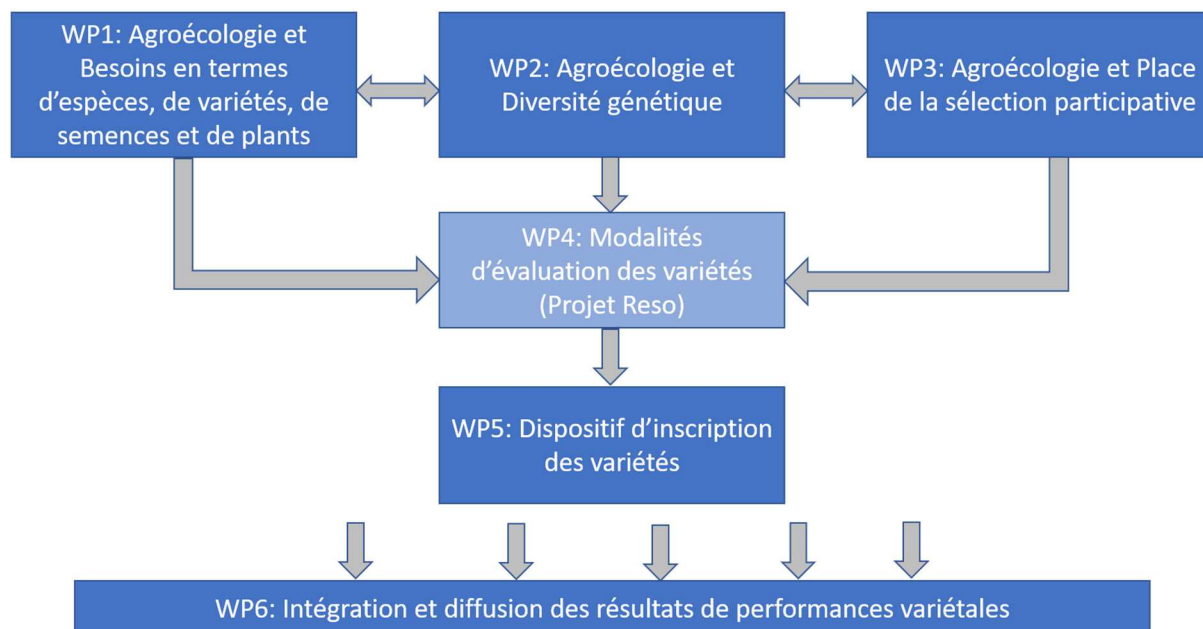
Le **WP3**, abordera la question de la **place de la sélection, multiplication et évaluation participative en agroécologie** : Faut-il envisager d'autres processus de sélection et notamment une place accrue donnée aux démarches participatives ?

Le **WP4** sera consacré à la définition des **modalités d'évaluation des variétés pour l'agroécologie**, en s'appuyant sur les résultats des WP1, 2 et 3. Cette réflexion sera conduite dans le cadre du **projet CASDAR Reso**, qui mobilise des acteurs de l'inscription des variétés, la post-inscription, des obtenteurs, et des chercheurs.

Les questions des WP1, WP2, WP3 et WP4 seront traitées par des sous-groupes du Comité Scientifique du CTPS.

En lien avec les sections CTPS, et sur la base des résultats issus des WPs précédents, le Comité Scientifique du CTPS étudiera dans le **WP5 l'incidence** des modalités d'évaluation proposées **sur l'inscription des variétés** et formulera des recommandations concernant le dispositif d'évaluation des variétés, les règles de décision et le fonctionnement du CTPS.

Le **WP6** traitera de la manière de **diffuser les résultats variétaux** obtenus lors de l'inscription au Catalogue national, de leur généricité dans un contexte agroécologique qui maximise les régulations biologiques et les interactions, et des potentialités d'intégration de ces résultats de performances variétales avec d'autres sources de données.



Calendrier

Cette saisine démarrera en septembre 2020.

Une journée de réflexion du Comité scientifique sera consacrée aux aspects besoins en termes d'espèces, variétés, semences et plants, diversité génétique, et la place de la sélection participative en agroécologie, le 2 octobre 2020. Les conclusions de cette journée permettront de poser les hypothèses de travail du projet Reso, dont l'objectif est d'apporter des éléments concernant les modalités d'évaluation des variétés (WP4), notamment sur l'aspect de la définition des besoins variétaux pour l'agroécologie et de leur traduction en traits recherchés.

Une journée commune de réflexion mobilisant les partenaires du projet Reso et le Comité Scientifique CTPS sera organisée le 17 décembre 2020, afin d'échanger sur les résultats obtenus et d'échanger sur les premières propositions de modalités d'évaluation des variétés.

En mars 2021, une école chercheur, organisée par le CTPS, rassemblera des scientifiques, les présidents et secrétaires techniques de sections du CTPS, et des acteurs de l'évaluation variétale, afin de partager les éléments de réflexion et les propositions concernant les besoins en termes d'espèces, de variétés, de semences et de plants, la diversité génétique nécessaire, la place de la sélection participative, et les modalités d'évaluation des variétés pour l'agroécologie, issues de la saisine et du projet Reso.

Sur la base de ces échanges les réflexions concernant l'évolution du dispositif réglementaire d'inscription des variétés, sa mise en œuvre, et la diffusion des résultats d'inscription seront menées jusqu'en août 2021.

Les conclusions générales de cette saisine seront rédigées et présentées au Comité plénier du CTPS à l'automne 2021.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
	sept-20	oct-20	nov-20	déc-20	janv-21	févr-21	mars-21	avr-21	mai-21	juin-21	juil-21	août-21
WP1: Besoins variétaux		CS 02/10		R 17/12			Ecole chercheurs					
WP2: Diversité génétique		CS 02/10		R 17/12								
WP3: Sélection participative		CS 02/10		R 17/12								
WP4: Modalités d'évaluation (projet Reso)				R 17/12								
WP5: Règles d'inscription												
WP6: Performances variétales												

Wezel, A., Bellon, S., Doré, T. *et al.* Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515 (2009). <https://doi.org/10.1051/agro/2009004>