



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique

Rapport de la thématique 2

« Renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation »

Version finale

1^{er} février 2022

avec la participation de



Ce document regroupe les productions de la thématique 2 « Renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation » du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique.

Sommaire

INTRODUCTION.....	7
1. Rappel du contexte et de la mission du GT2	7
2. Modalités de travail du GT2.....	8
PARTIE 1: Vers des stratégies d’adaptation au changement climatique des filières et des territoires.....	9
1.1. État des lieux, attentes et vision des filières – Synthèse des contributions.....	9
1.2. Attentes et propositions des parties prenantes	13
1.3. Approche territoriale	17
PARTIE 2 : Les facteurs de résilience face au changement climatique.....	27
2.1. État des connaissances sur les leviers permettant de s’adapter au changement climatique	27
2.2. Focus sur le levier génétique	33
2.3. Focus sur l’amélioration de l’efficacité de l’irrigation.....	40
2.4. Agricultures de résilience, exemples, perspectives, enseignements.....	46
PARTIE 3 : Les livrables de la thématique 2 et perspectives	61
3.1. Les livrables de la thématique 2.....	61
3.2. Les perspectives de la thématique 2.....	61
Conclusions et recommandations de la thématique 2.....	67
Recommandations de la thématique 2	69
Liste des sigles et abréviations utilisés.....	73
Références	75
Annexes.....	77
Annexe 1. Note méthodologique adressée aux filières.....	77
Annexe 1 bis. Questionnaire adressé aux parties prenantes	81
Annexe 2. Quelques exemples de leviers identifiés par les filières pour chacune des catégories.....	83
Annexe 3. Liste des leviers identifiés dans les retours des parties prenantes,	85

Annexe 4. Critères d'évaluation des leviers retenus dans le cadre des travaux menés par la Cellule RIT et le RMT ClimA.....	88
Annexe 5. Les diagnostics territoriaux.....	89
Annexe 6. Économies d'eau potentiellement réalisables par un changement de matériel d'irrigation (d'après Serra-Wittling et Molle, 2017).	90
Annexe 7. Profils des participants aux conférences thématiques.....	92
Annexe 8. Experts consultés et intervenants aux conférences thématiques.....	94

INTRODUCTION

1. Rappel du contexte et de la mission du GT2

Voulu par le président de la République et organisé par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et le ministère de la Transition Écologique, le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique vise à redonner du sens et des perspectives au projet agricole français à l'heure du changement climatique. Ce dernier a des conséquences directes sur les agriculteurs, qui en sont les premières victimes. La récurrence des épisodes de sécheresse, ou encore plus récemment de gel, révèle de manière exacerbée la nécessité et l'urgence d'engager un plan d'actions permettant à la fois une bonne gestion et un partage équilibré des ressources, une meilleure adaptation des exploitations et des filières agricoles au changement climatique et un accompagnement plus efficace du monde agricole.

Julien Denormandie, ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation, et Bérangère Abba, secrétaire d'État auprès de la Ministre de la Transition Écologique, chargée de la Biodiversité, ont lancé le 28 mai 2021 les travaux du Varenne. À cette occasion, trois groupes thématiques ont été mis en place, avec pour objectif d'aboutir, dès janvier 2022, à une feuille de route commune et opérationnelle pour l'adaptation et la protection de notre agriculture aux défis du changement climatique.

Les travaux visent plusieurs objectifs et obéissent à plusieurs principes :

- **Rechercher une vision partagée de l'eau en agriculture** : dans la continuité des orientations définies par les Assises de l'eau, le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique doit servir à consolider une vision partagée et à ouvrir sur des solutions pragmatiques.
- **S'appuyer sur la connaissance scientifique** : les conclusions émises par les différents groupes de travail devront être basées sur les analyses et les hypothèses des experts reconnus dans les domaines du climat, de l'agronomie et de l'environnement, en prenant en compte les incertitudes inhérentes à chaque discipline.
- **Prendre en compte les enjeux de souveraineté alimentaire** : l'ensemble des problématiques relatives aux politiques agricole et alimentaire devra être pris en compte tout au long des travaux, à savoir : les enjeux de souveraineté alimentaire, de sécurité sanitaire et de santé publique, de création de valeur ajoutée et d'emplois, de maillage des espaces ruraux, de renouvellement des exploitations et de protection de l'environnement.
- **Accélérer l'adaptation de l'agriculture** : face aux défis et à l'urgence du changement climatique, il sera indispensable pour l'ensemble des acteurs de rechercher une vision partagée de l'eau telle que proposée dans le cadre du Pacte des Assises de l'eau, en tant qu'élément de patrimoine à protéger et à valoriser et en tant que ressource nécessaire aux cultures et aux cheptels, et de mettre en place des feuilles de route d'adaptation de notre agriculture.
- **S'inscrire dans le cadre général du droit européen**, en particulier la directive cadre sur l'eau, et dans sa déclinaison nationale de gestion de l'eau. **Le GT2**

(groupe de travail 2) du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique vise à renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale, en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation.

2. Modalités de travail du GT2

Le GT2, sous la présidence d'Anne-Claire Vial, présidente de l'ACTA, avec l'appui de François Champanhet du CGAAER, rapporteur, s'est doté d'un comité de pilotage multi-acteurs qui s'est réuni à fréquence hebdomadaire plus de 25 fois depuis le lancement du travail. Il a supervisé, avec l'appui technique du cabinet Eurogroup Consulting, les actions conduites, avec la participation de représentants des structures suivantes : INRAE, ACTA, APCA, MAA (Cabinet, CGAAER, DGER, DGPE, lycée agricole) et MTE (DGALN).

Les actions mises en place par le comité de pilotage du GT2 sont les suivantes :

- élaboration d'une note méthodologique de questionnement (Annexe 1) et exploitation des contributions des filières ;
- élaboration et exploitation d'un questionnaire d'enquête auprès des parties prenantes (Annexe 1bis) ;
- organisation de 3 conférences sur l'adaptation au changement climatique :
 - o 8/11/2021 : quelles contributions de la génétique pour l'adaptation au changement climatique ?
 - o 17/11/2021 : quels leviers pour une irrigation efficace ?
 - o 30/11/2021 : quelles agricultures résilientes face au changement climatique ?

Les enregistrements vidéos, les supports de présentation et les réponses aux questions posées lors des conférences sont disponibles sur le site du MAA à l'adresse suivante : <https://agriculture.gouv.fr/mots-cles/varenne-de-leau> ;

- organisation par l'APCA des remontées d'informations concernant les diagnostics de territoire face au changement climatique ;
- création par la cellule RIT en collaboration avec le RMT ClimA d'une matrice des leviers de résilience pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique et d'une infographie présentant les leviers de résilience ;
- contribution à l'élaboration de la charte d'engagements État/Filières/Territoires ;
- organisation par l'ACTA d'un Hackathon dans le cadre de la thématique 1 (système assurantiel) : <https://agriculture.gouv.fr/hackathon-du-varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au-changement-climatique> ;
- formulation de recommandations sur l'adaptation au changement climatique.

PARTIE 1: Vers des stratégies d'adaptation au changement climatique des filières et des territoires

1.1. État des lieux, attentes et vision des filières – Synthèse des contributions

Les interprofessions ont produit 26 contributions qui sont analysées dans ce qui suit en reprenant l'ordre du questionnaire.

- *Quels impacts majeurs, liés au changement climatique, anticipez-vous pour vos filières, de l'amont (production agricole) à l'aval (transformation) ?*

Même si l'attribution au changement climatique d'une modification de la fréquence et de l'intensité des aléas climatiques demeure délicate, plusieurs filières (fruits et légumes, grandes cultures, viticulture et élevage de ruminants notamment) ont signalé être d'ores et déjà exposées à une augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité **d'évènements extrêmes** (vagues de chaleurs, canicules, gel, sécheresse ou au contraire excès d'eau, orages violents, crues...), parfois très localisés, avec des impacts quantitatifs et qualitatifs sur les productions et associés à des coûts économiques élevés.

Les **scénarios climatiques** sur lesquels se basent les projections sont rarement détaillés, mais ils reprennent pour l'essentiel les éléments habituels : hausse des températures, réduction du gel hivernal, évolution et répartition différente de la pluviométrie (manque d'eau en période estivale/pluies plus importantes en hiver), vents plus puissants, hausse de l'évapotranspiration...

Les conséquences anticipées du changement climatique à venir sont nombreuses. Dans le domaine des **productions végétales**, il s'agit notamment d'une altération de la croissance et d'une modification de la phénologie des plantes (pouvant parfois induire une vulnérabilité accrue aux aléas climatiques), voire d'un dépérissement ou d'une mortalité dans le cas des pérennes. Le stress abiotique rend aussi les plantes plus sensibles aux bioagresseurs actuels (dont la pression s'accroît par ailleurs, tout en étant de moins en moins prévisible), sans parler de l'émergence de nouveaux bioagresseurs. Au bilan, les principaux impacts attendus concernent : les rendements en quantité et en qualité (poids spécifique, taux de protéine, etc.), la variabilité interannuelle croissante de la production, impactant les revenus des agriculteurs mais aussi l'approvisionnement en matières premières des entreprises de l'aval avec un renchérissement des coûts de production, des modifications des pratiques et des systèmes de culture pour répondre aux aléas avec notamment des besoins en irrigation accrus, un décalage global vers le nord de la production, avec des conséquences possibles en terme de capacités de production et de mobilisation des agriculteurs, voire parfois la disparition de certaines cultures dans certaines régions ; de nouvelles problématiques dans le domaine de la conservation des récoltes. Peu d'opportunités sont mentionnées dans les réponses.

Dans le domaine des **productions animales**, les préoccupations concernent en premier lieu le stress thermique et ses conséquences (baisse de production par

diminution de la prise alimentaire, altération de la fertilité) mais aussi l'augmentation possible de la sensibilité aux pathogènes ainsi que de la fréquence du parasitisme et des maladies (extension vers le nord des pathologies à vecteur). Au niveau des prairies, des opportunités sont identifiées (mise à l'herbe plus précoce, allongement de la période de production d'herbe, augmentation des rendements des premières coupes de printemps...) mais d'importants effets négatifs des aléas (sécheresse en particulier) sont attendus (ralentissement de la croissance de certaines espèces, dégradation du rendement estival et des états hydriques et azotés des prairies...) générant un besoin de sécurisation des apports fourragers.

S'agissant de la pisciculture, les sécheresses estivales et l'augmentation des températures extrêmes font anticiper notamment des risques de dégradation de l'approvisionnement des installations et une dégradation de la qualité des eaux, avec une diminution de l'oxygène dissous et un accroissement de la pression parasitaire. La hausse des températures moyennes peut, en revanche, rendre les côtes françaises plus favorables à l'élevage de certaines espèces méditerranéennes.

De manière transversale, une augmentation de l'érosion des sols liée aux fortes précipitations hivernales est attendue. Enfin, certaines réponses mentionnent une fragilisation économique des exploitations liée à la fréquence des incidents climatiques mais aussi du fait du coût des mesures d'adaptation nécessaires et d'une hausse de la pression foncière.

- *Quels sont les leviers amont (production agricole) et aval (transformation) que vous pensez/souhaitez mobiliser pour y faire face ?*

Les réponses à cette question ont été regroupées en 14 catégories selon leur nature (Figure 1). L'Annexe 2 présente de manière plus détaillée les leviers identifiés par les filières pour chacune des catégories mentionnées dans la Figure 1. **Trois leviers**, qui se concentrent sur l'amont, sont identifiés comme essentiels pour l'adaptation : pratiques ; sélection ; ressources en eau. Des actions en faveur de la R&D et de l'innovation sont aussi jugées nécessaires par de nombreux répondants. À noter aussi l'importance accordée aux acteurs (formation, partage/transfert des savoir-faire et des méthodes, appui technique). Des attentes sont aussi exprimées par certaines filières pour une évolution de la réglementation (ressources en eau, sélection...) et des politiques publiques. Enfin, plusieurs propositions concernent le modèle économique agricole au sens large (investissements, assurances, revenus...).

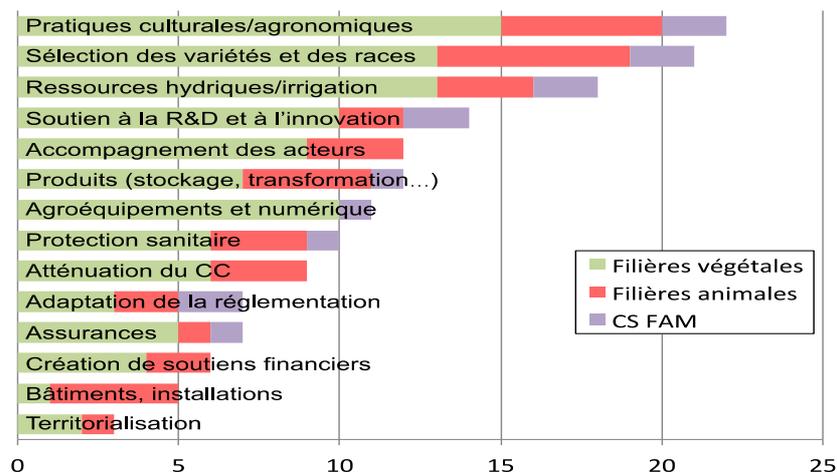


Figure 1. Fréquence des réponses relevant des 14 catégories définies lors de l'analyse globale des réponses aux questionnaires par les filières et les conseils spécialisés de FranceAgriMer (CS FAM).

- *Quels sont les besoins que vous identifiez pour accompagner cette nécessaire transition ?*

Les besoins identifiés par la majorité des filières relèvent de 4 catégories : partage des données et des connaissances acquises et diffusion vers les acteurs de la production mais aussi de l'ensemble des chaînes de valeur ; aide aux investissements nécessaires (bâtiments et infrastructures, stockage de fourrage, implantation de haies...), adaptation des dispositifs réglementaires (notamment en ce qui concerne l'utilisation des technologies d'édition du génome, la sécurisation des ressources en eau, la couverture assurancielle et la protection des cultures) et de la PAC, soutien à des programmes de recherche appliquée (sélection variétale, développement d'OAD, adaptation des méthodes culturales...).

Pour certains, il est aussi nécessaire de définir et de mettre en place des actions concertées avec d'autres acteurs afin de proposer des démarches plus systémiques, incluant par exemple les questions relatives à la transition énergétique, mais aussi d'avoir un débat plus apaisé notamment en ce qui concerne la question des ressources en eau.

- *Quels risques, quelles menaces, quels points d'attention ou quelles conditions souhaitez-vous signaler ? Y-a-t-il des opportunités à saisir ?*

Les réponses convergent pour identifier comme prioritaires les questions relatives aux ressources en eau, aux contraintes réglementaires, aux coûts induits par la mise en place de stratégies d'adaptation (intrants, énergie, investissements) entraînant une perte de compétitivité liée à l'augmentation des coûts de production et à la baisse des rendements (avec une incapacité de certaines entreprises à investir), aux modifications possibles des zones de production ainsi qu'à la réduction des moyens

de lutte contre les bioagresseurs du fait de l'interdiction de certaines substances. Des réticences sociétales sont anticipées, en particulier sur la génétique et les biotechnologies ou sur les aménagements hydrauliques, qui pourraient freiner sensiblement l'adaptation des filières. Enfin, la taille réduite de certaines filières pourrait constituer un frein aux investissements en leur faveur, notamment dans le domaine de la recherche et de la R&D.

Parmi les opportunités à saisir, sont évoquées la possibilité de nouveaux systèmes de culture intégrant 3 cultures en 2 ans ou l'introduction de cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE) ou multi-services (CIMS), ainsi que la production et la multiplication de nouvelles espèces en France ou l'augmentation des surfaces de multiplication de certaines espèces (sorgho) à la faveur des conditions climatiques nouvelles. La mobilisation du plan France-Relance dans les territoires est aussi mentionnée. Certaines filières évoquent aussi le fait que, compte tenu de la dimension systémique de la problématique, c'est aussi l'occasion de définir et mettre en place des actions globales à l'échelle des territoires.

- *Quelles orientations envisagez-vous pour la feuille de route de votre filière ?*

Compte tenu du calendrier, les réponses à cette question ont été dans la plupart des cas relativement fragmentaires en dehors de celle des filières déjà engagées dans des démarches dédiées, qui ont annoncé vouloir poursuivre les actions en cours (par exemple, filières bovins- et ovins-lait). De son côté, la filière viticole a présenté au ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation le 26 août 2021 sa stratégie d'adaptation face au changement climatique.

Plusieurs filières ont évoqué une série d'actions à entreprendre (par exemple, développer les connaissances, la formation, des outils numériques, réflexion sur une relocalisation, adapter les pratiques de transformation, etc.) mais sans que cela ne constitue en l'état une feuille de route en tant que telle.

1.2. Attentes et propositions des parties prenantes

Les 58 répondants appartiennent à 6 catégories, avec une majorité d'usagers économiques de l'eau du secteur agricole (62 %; Figure 2) et une faible proportion d'usagers non économiques de l'eau et de collectivités (<4 % pour chacune des deux catégories). Une analyse détaillée des réponses est présentée dans l'Annexe 3.

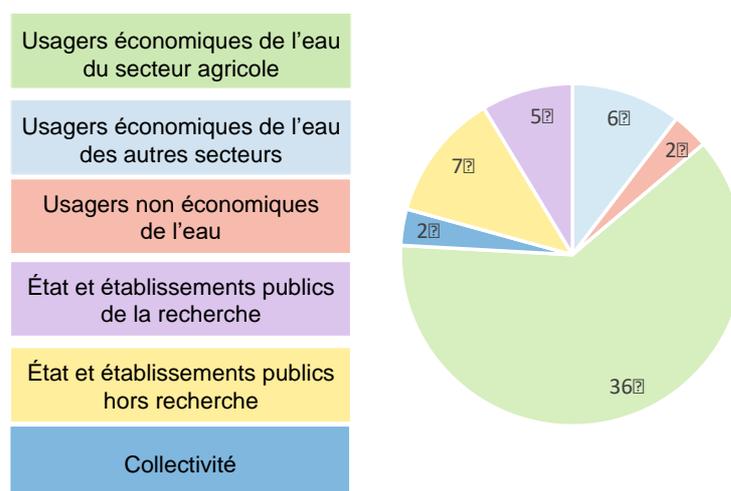


Figure 2. Répartition des répondants au questionnaire des parties prenantes de la thématique 2

- Impacts positifs ou négatifs pour l'agriculture (production et transformation) liés au changement climatique

Les rapports du GIEC (notamment celui de 2019 sur les terres), le portail DRIAS, le projet CLIMATOR, les études ORACLE, le rapport CGEDD-CGAAER de juillet 2020 ainsi que les rapports issus du programme Life AgriAdapt sont les sources les plus citées.

Quatre grandes **évolutions majeures** sont identifiées par les répondants avec une majorité de réponses concernant l'augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes. La hausse de la variabilité interannuelle des conditions climatiques, l'augmentation de la concentration en CO₂ et celle du niveau de la mer sont aussi citées, mais de manière beaucoup moins fréquente.

Les conséquences envisagées et les besoins identifiés concernent les ressources (eau et terres agricoles), la capacité de production des exploitations, la rentabilité économique des filières sur les marchés ainsi que la nécessité d'évolutions réglementaires. Les conséquences du changement climatique sont parfois mentionnées comme pouvant être cycliques ou se conjuguer, avec des interactions entre grands domaines (par exemple, ressources et capacités de production).

Sur les ressources, les répondants identifient presque exclusivement des impacts négatifs, la diminution globale des ressources en eau étant la plus fréquemment citée. Une multiplication des conflits entre protection et utilisation des ressources est

mentionnée par certains. Dans le domaine des productions, ce sont là aussi majoritairement des impacts négatifs qui sont envisagés, notamment du fait d'une augmentation des stress hydriques et thermiques ainsi que des risques sanitaires. Quelques opportunités sont toutefois mentionnées, dont celles liées à la mise à disposition de nouvelles variétés/espèces, ainsi que celle liée à l'impact favorable de la hausse de la concentration en CO₂ sur la production de biomasse végétale. À l'échelle globale, le changement climatique se traduirait par une plus forte instabilité des systèmes et un besoin renforcé en réglementation, même si des opportunités pour de nouvelles filières et de nouveaux marchés sont aussi mentionnés.

- *Actions à envisager pour réduire les impacts du changement climatique sur l'agriculture*

Quinze types d'actions ont été identifiés, avec à chaque fois des propositions concrètes, pour un total de 145 propositions différentes (Figure 3).

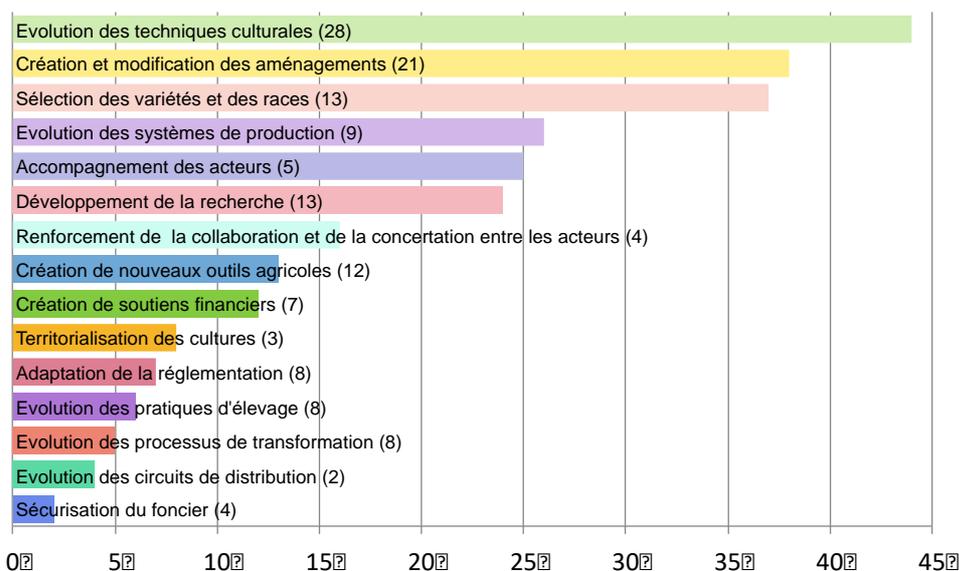


Figure 3. Répartition du nombre de répondants par type d'action. Les nombres entre parenthèses correspondent au nombre d'actions différentes proposées pour chaque type.

Les actions **d'adaptation et de transformation des techniques culturales** sont celles qui les plus fréquemment citées : (i) évolutions des itinéraires techniques afin de préserver les ressources et d'assurer l'accès à l'eau pour les cultures (simplification du travail du sol, renforcement de la structure du sol, irrigation raisonnée...) et de permettre la protection des cultures contre les bioagresseurs ou les aléas climatiques ; (ii) transformation des modalités de gestion des cultures (adaptation de l'organisation temporelle et/ou spatiale des cultures aux nouvelles conditions, diversification, cultures de protection...); et (iii) mobilisation de solutions basées sur la nature (renforcement de la biodiversité spontanée, utilisation des services écosystémiques).

Dans le domaine de la **création/modification d'aménagements** pour protéger et sécuriser les ressources, les propositions portent sur : (i) la création d'infrastructures pour protéger les productions des effets climatiques (adaptation des bâtiments), pour sécuriser l'accès à l'eau (retenues collinaires, installations de recyclage des eaux...) et pour développer de nouvelles activités économiques (production d'énergie); (ii) le déploiement de solutions fondées sur la nature afin de fournir une protection naturelle aux cultures tout en favorisant la biodiversité (installation/restauration de haies, de zones humides...); et (iii) des dispositifs mixant infrastructures et solutions fondées sur la nature, notamment pour le développement du stockage d'eau.

La **sélection des races et des variétés** est vue comme un outil central, avec des priorités sur le renforcement de la résistance face aux nouvelles conditions climatiques, la mise en valeur de nouveaux critères de sélection (races/variétés économes en eau, résistance à la salinité des sols) et le renforcement de la résistance aux risques sanitaires.

Les **systèmes de production** diversifiés sont présentés comme des modèles à suivre, les systèmes les plus fréquemment mentionnés étant l'agroforesterie, l'agroécologie et l'agriculture de conservation.

- *Transformations politiques à entreprendre*

Trois grands types de réponses se dégagent : (i) modification de politiques publiques existantes; (ii) propositions d'axes de développement de nouvelles politiques publiques; et (iii) amélioration de la transversalité entre politiques publiques. Bien que la Politique Agricole Commune concentre les demandes de modifications de politiques existantes (e.g. réorientation des aides PAC, nouvelles mesures...), certaines réponses font aussi référence aux PTGE/SDAGE, à la PPE ou bien encore à des dispositifs plus spécifiques (e.g., CIR, plan de relance...).

En synthèse, les répondants proposent 14 axes de développement de futures politiques (Figure 4). Selon eux, les stratégies à développer passent principalement par un renforcement de la recherche, un assouplissement réglementaire et par des mesures incitatives. Une mise en cohérence des politiques publiques est aussi attendue, afin de décroiser les initiatives et renforcer l'agilité des soutiens publics. Les leviers d'actions cités sont : (i) politiques (création de soutiens financiers, développement de dispositifs d'accompagnement, etc.); (ii) administratifs et réglementaires (revue des réglementations sur l'usage des ressources, simplification et réduction des délais des démarches administratives, etc.); et (iii) fiscaux (revue de la TVA, soutiens fiscaux, etc.).

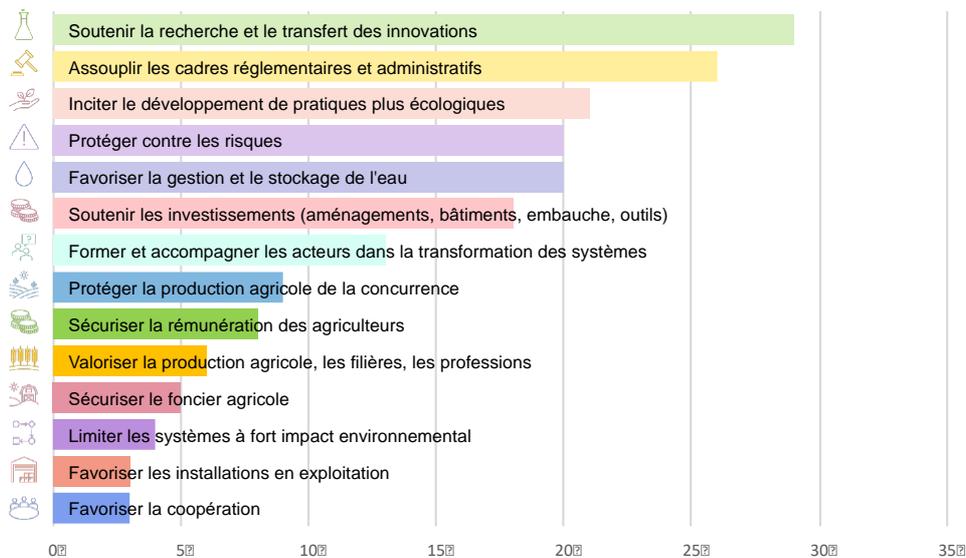


Figure 4. Répartition du nombre de répondants par axe de développement de futures politiques

- *Moyens à mobiliser*

Les stratégies doivent avant tout être appuyées par des moyens financiers, par la formation et l'accompagnement des acteurs et par la recherche. À noter que l'analyse coûts-bénéfices des actions proposées n'a été que très peu réalisée.

- *Difficultés identifiées*

L'acceptabilité sociale ressort comme la difficulté majeure pour la mise en place de solutions, notamment du fait d'une méconnaissance des sujets qui conduit à des positions « dogmatiques ». Les participants soulignent aussi les difficultés à réaliser des investissements nécessaires et le fait que les réglementations sont vues comme des éléments bloquants et contraignants. La complexité des enjeux apparaît aussi comme une source de difficulté.

- *Actions engagées*

Les actions les plus citées correspondent à de la production de connaissances et du développement de méthodes. Certaines se retrouvent plusieurs fois dans les réponses. C'est le cas des programmes Laccave et LIFE Agri-Adapt, du projet ClimaLait, du dispositif Oracle et des outils Clima-XXI.

1.3. Approche territoriale

Au sein du GT2, les Chambres d’agriculture ont eu la responsabilité de la réalisation des diagnostics territoriaux de vulnérabilité au changement climatique. Ce travail a été réalisé par les Chambres régionales d’agriculture, dans le cadre d’une coordination nationale APCA et en s’appuyant sur les connaissances scientifiques acquises (projets de R&D, observatoires...) et en associant les acteurs locaux (collectivités locales, services de l’État, acteurs de la recherche, du développement et de la formation, acteurs des filières...) afin d’évaluer et partager les impacts du changement climatique sur les productions agricoles en région. La Figure 5 présente le bilan global de cette action. Les premières pages des diagnostics sont illustrées dans la Figure 6.



Figure 5. Bilan global de l’action coordonnée par l’APCA.c

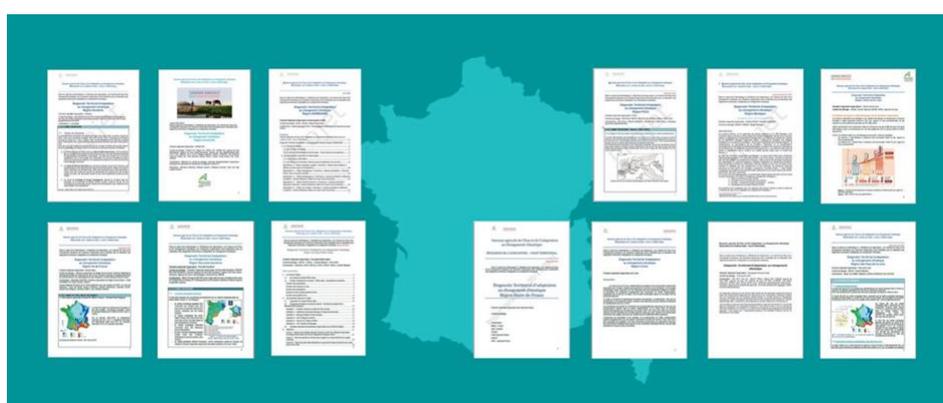


Figure 6. Vue d’ensemble des documents présentant les 13 diagnostics territoriaux

Ce travail de diagnostic a permis :

- d'avoir une image objectivée, documentée et territorialisée de l'impact du changement climatique en région et d'évaluer les points de vulnérabilité des principales productions régionales ;
- d'engager une concertation avec les acteurs locaux, en partageant le travail de diagnostic, pour réaffirmer et/ou lancer des dynamiques régionales qui puissent servir de base pour des plans d'actions régionaux d'adaptation au changement climatique.

1.3.1. Un diagnostic territorial dans chaque région

En région, une concertation a été initiée par les Chambres d'agriculture avec les Conseils régionaux, les services déconcentrés de l'État, les opérateurs de la R&D agricole en région (INRAE, Instituts Techniques Agricoles, Universités, Pôles de compétitivités...), les représentants des filières et les organisations professionnelles agricoles.

Cette phase de concertation a été une étape importante pour mobiliser les contributions des acteurs locaux et partager un constat commun sur l'impact du changement climatique dans les territoires.

Dans de nombreuses régions, des réflexions antérieures et/ou des actions territorialisées en agriculture ou dans d'autres secteurs d'activité comme les transports ou l'énergie préexistaient. La dynamique « Varenne » a permis à la fois de mettre en valeur et soutenir les dynamiques régionales déjà lancées et de donner une impulsion pour en initier de nouvelles, notamment dans les régions où la question climatique a été jusqu'alors moins investie.

Les partenaires en région ont été largement associés aux travaux, en particulier au sein de comités de pilotage pour :

1. Partager avec les acteurs en région, en mobilisant les données acquises, les évolutions climatiques significatives déjà observées et décrire les grandes tendances.
2. Réaliser et partager des projections climatiques (via des indicateurs climatiques et agroclimatiques) dans le futur proche et lointain (respectivement 2050 et 2100).
3. Prioriser les couples filières de production agricole à fort enjeu (économique, environnementale, sociale...) sur des territoires donnés à étudier.
4. Illustrer les impacts du changement climatique sur des filières pour la région en fonction des impacts du changement climatique et de la disponibilité des connaissances mobilisables.

5. Mener une analyse avec les acteurs locaux, sur les points de vulnérabilité des filières étudiées (réalisation des analyses AFOM – atouts-faiblesses-opportunités-menaces) mais aussi les nouvelles opportunités en région via l’implantation des filières émergentes et/ou des filières non présentes en région. Dans cette étape, les Chambres ont pu également identifier des leviers d’adaptation mobilisables ou des solutions opérationnelles pour l’adaptation au changement climatique.

Cette action territoriale, menée par les Chambres, s’inscrit en grande complémentarité avec le travail mené par les filières au niveau national. Chaque région élabore sa feuille de route opérationnelle partagée avec les parties prenantes permettant des fournir aux agriculteurs des pistes d’actions concrètes pour faire face au changement climatique.

Une plaquette de communication a été éditée par l’APCA afin de promouvoir les diagnostics territoriaux et les démarches territoriales qui ont amené à leur réalisation (Figure 7).



Figure 7. Plaquette de communication éditée par l’APCA pour la promotion des diagnostics territoriaux.

1.3.2. Méthode de travail

Au niveau régional

Les Chambres régionales ont assumé la réalisation des diagnostics, en mobilisant les Chambres départementales et en coordonnant les contributions des acteurs locaux.

Pour la réalisation du diagnostic, un cahier des charges commun aux Chambres a été mis en place, comprenant les volets suivants :

- **Les évolutions climatiques en région : observations et projections**

Les observatoires et les outils d'analyse des données climatiques, issus des travaux de R&D menés par les Chambres d'agriculture en collaboration avec les partenaires (Météo-France, ADEME, ...), ont permis d'analyser l'évolution du climat à l'échelle locale, en particulier :

- d'objectiver les évolutions climatiques grâce aux données collectées depuis une soixantaine d'années par les stations Météo—France (échelle départementale) ;
- de modéliser ces données afin de réaliser des projections sur l'évolution du climat futur, proche et lointain¹.

Les outils employés (Oracle, AP3C, ClimA XXI, AgriClim...) mobilisent les données climatiques (températures, précipitations, ETP, etc.) et permettent de calculer des indicateurs climatiques et agroclimatiques, spécifiquement conçus pour le secteur agricole. Ces indicateurs permettent d'identifier les points de vulnérabilité des filières de production en lien avec l'évolution climatique.

Les régions Île-de-France, Hauts-de-France, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse ont déployé, partiellement ou pas, des outils climatiques dans les territoires. Grâce à la mobilisation des partenaires locaux, une analyse d'indicateurs climatiques a pu être menée à l'échelle de la région.

- **Les impacts sur les productions agricoles**

Afin d'illustrer les impacts du changement climatique, dans chaque région, des filières de production emblématiques ont été identifiées par les Comités de pilotage (Chambres régionales, Conseils régionaux et services de l'État). Cette démarche a conduit à l'identification de couples filières-territoires. Chaque filière retenue a été étudiée dans un territoire identifié (voir Figure 8 pour un exemple). Le choix des filières et des territoires a été propre à chaque région et a été fait en considérant :

¹ Les données sont basées sur la plateforme Drias de Météo-France (modèle Aladin). Les indicateurs sont construits sur 2 pas de temps : le futur proche (2021-2050) et le futur lointain (2071-2100) selon 2 scénarios (RCP 4.5 et 8.5).

- les enjeux économiques et sociaux de la filière dans le territoire considéré ;
- l'impact du changement climatique sur la filière et le territoire retenu ;
- la disponibilité des données climatiques et les travaux préexistants.

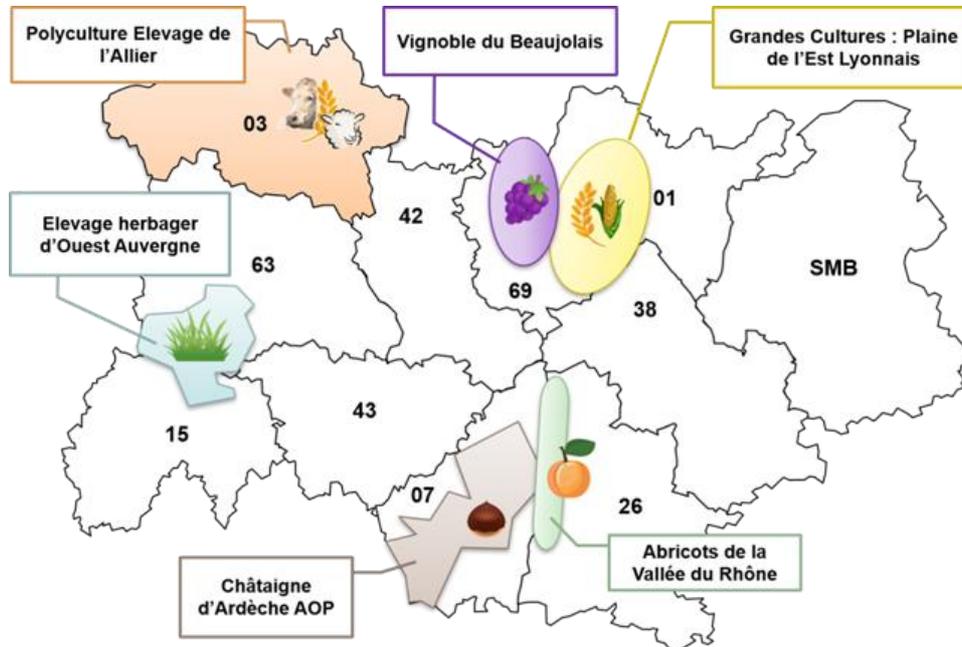


Figure 8. Exemple des filières et territoires étudiés dans le diagnostic territorial (Région AuRA)

- **L'analyse des forces et faiblesses des filières en région**

Pour chaque filière étudiée, une analyse AFOM (atouts-faiblesses-opportunités-menaces) a été conduite en concertation avec les acteurs du territoire. Pour chaque couple filière-territoire, des ateliers de travail (en présentiel et/ou en ligne) ont été organisés afin de réfléchir collectivement sur les points de vulnérabilité mais également sur les opportunités liées aux productions dans le territoire.

En complément de ces trois volets, les Chambres avec les partenaires et en fonction des données et travaux disponibles ont également travaillé sur :

- o **Les ressources en eau en région.** Avec l'appui des DRAAF et des Agences de l'eau, une description de la situation hydrologique de la région a été réalisée, en fonction des données disponibles.
- o **L'identification des nouvelles opportunités d'implantation de filière en région.** Les conséquences du changement climatique peuvent, dans certains territoires, donner des nouvelles opportunités pour la production agricole comme pour la mise en place de nouvelles filières émergentes et/ou l'implantation des filières non encore présentes dans le territoire.
- o **Pré-identification des leviers d'adaptation.** Quand cela était possible, les Chambres avec les acteurs locaux ont également identifié et fait remonter dans

les diagnostics territoriaux les leviers d'adaptation qui pourraient être mis en œuvre au niveau de l'exploitation agricole et des territoires.

Au niveau national

L'APCA a mis en place et animé un comité des référents régionaux « Varenne GT2 » (une à deux personnes par Chambre régionale). Ce groupe de travail se réunit à une fréquence hebdomadaire avec plus d'une vingtaine de réunions depuis juillet 2021.

Le travail de coordination de l'APCA a permis :

- une harmonisation méthodologique entre les chambres régionales,
- un lien avec les autres actions du « Varenne »,
- un lien avec les acteurs de la R&D *via* en particulier la cellule RIT et le RMT ClimA
- la valorisation et la communication du travail engagé en région.

1.3.3. Outils et ressources mobilisées

De nombreux travaux sont conduits par les Chambres d'agriculture sur les impacts du changement-climatique sur les productions agricoles, l'ensemble des filières et les territoires. Les questions climatiques nécessitent des actions à l'échelle locale pour pouvoir expliciter la problématique et agir auprès des exploitations agricoles. Dans cette optique, les Chambres d'agriculture ont développé plusieurs outils pour sensibiliser les agriculteurs et décideurs pour la mise en œuvre de stratégies d'adaptation à différents pas de temps et échelles (exploitation, territoire, filières; Figure 9). Les travaux conduits, facilement appropriables par tout conseiller, constituent une première étape vers l'adaptation de l'agriculture. Ces travaux sont complétés par des démarches de R&D pour améliorer les références et tester les démarches d'adaptation en agriculture.

- **ORACLE** : les Observatoires Régionaux sur l'Agriculture et le Changement climatique (ORACLE) sont portés par les Chambres d'agriculture et l'ADEME pour l'adaptation au changement climatique au niveau local. Ils mesurent les évolutions climatiques et agricoles constatées en région (passé récent) et aident à l'identification des voies d'adaptation (actuelles). La démarche d'observation mise en œuvre dans ORACLE s'appuie sur des observations "réelles" à l'échelle régionale. Les données et l'expertise climatique sont fournies par Météo-France. Chaque dispositif est doté d'un comité de pilotage qui réunit des établissements publics nationaux (ADEME, Météo-France, INRAE...) et des acteurs régionaux (Conseil Régional, DRAAF, Instituts Techniques Agricoles en région, ONVAR, Agences de l'eau...). Les ORACLE sont financés principalement par les Chambres d'agriculture, les Conseils Régionaux et l'ADEME.

- **ClimA-XXI** : cet outil décrit l'évolution climatique et agro-climatique attendue au cours du XXIème siècle à partir de projections climatiques de type GIEC (scénarios). Cela permet donc d'analyser l'évolution future de la faisabilité de productions agricoles départementales sous influence du changement climatique projeté. Cet outil de projection climatique a été développé par les Chambres d'agriculture en partenariat avec l'école d'ingénieurs en agriculture UniLaSalle de Rouen. Il permet de calculer une série d'indicateurs climatiques et agroclimatiques avec les projections issues de DRIAS². La démarche ClimA-XXI mobilise principalement des financements des Chambres d'agriculture.
- **Le Projet AP3C** (Adaptations des Pratiques Culturelles au Changement Climatique) vise à obtenir des informations localisées permettant une analyse fine des impacts du changement climatique sur le territoire, en vue d'adapter les systèmes de production et de sensibiliser l'ensemble des acteurs. Le projet adopte une approche combinant l'expertise climatique, agronomique et systémique des ingénieurs de 11 Chambres d'agriculture. Ces projections mobilisent les données d'une centaine de stations dans le Massif Central et proposent une analyse fine et localisée de l'évolution climatique.

<https://www.sidam-massifcentral.fr/developpement/ap3c/>

- **AgriClim**. Les données utilisées dans cette base de données proviennent du portail « DRIAS - Les futurs du climat » de Météo-France, mis en graphique grâce à l'outil AgriClim des Chambres d'agriculture de Normandie, Bretagne et Pays de la Loire. L'outil permet d'obtenir les indicateurs passés et futurs du changement climatique en agriculture pour 60 lieux en Normandie (1 lieu tous les 25 km). Trois horizons de temps sont disponibles : 1977-2006, 2020-2049 et 2070-2099. Le modèle climatique utilisé est ALADIN63_CNRM-CM5 de 2020, en projection RCP 4.5 pour le futur. La Base des données AgriClim est développée et utilisée par les Chambres de Pays de la Loire, Bretagne et Normandie.

<https://playplay.com/app/share/chambre-dagriculture-de-normandie/t2kch6nhr46cr38w>

² DRIAS est un portail web qui met à disposition du public des projections climatiques régionalisées. Elles sont calculées à partir des travaux des laboratoires français de modélisation du climat. On y trouve des données climatiques type température, précipitations... Celles-ci sont projetées selon les divers scénarios du GIEC. La maille des projections est de 8 x 8 km. On peut donc calculer les indicateurs à l'échelle d'une commune.

Outil Chambre	ORACLE	ClimA-XXI	AP3C
Périmètre	10 régions	67 départements	Massif Central (11 départements)
Multifilières			
Pilote	Chambres régionales d'agriculture	Chambres départementales d'agriculture	SIDAM, Chambres d'agriculture Lozère et Creuse
Objet	Observation des évolutions climatiques et agricoles avérées	Analyse de la faisabilité future des pratiques et productions agricoles	
Échelle	Régionale	Départementale et locale	
Horizon de temps	Passé : 1960 – 2020	Moyen + long terme : 1976-2005 / 2021-2050 / 2071-2100	Moyen terme : 1980-2015 et 2015-2040
Contenu	Indicateurs climatiques et agroclimatiques Représentation cartographique Courbes de tendance		
Séries climatiques	Météo–France		
Valorisation dans le cadre du Varenne	Identification des territoires et filières à fort enjeux en matière d'adaptation	Identification des enjeux climatiques (risques, opportunités) pour les filières et territoires choisis	

Figure 9. Outils développés par les Chambres d'agriculture pour sensibiliser les agriculteurs et décideurs pour la mise en œuvre de stratégies d'adaptation au changement climatique.

1.3.4. Calendrier

La réalisation des diagnostics territoriaux a été conduite sur un pas de temps très court et en mobilisant les connaissances déjà acquises par les Chambres d'agriculture et leurs partenaires.

L'action des Chambres d'agriculture, au niveau national comme régional, a été découpée en trois phases :

<p>Phase 1 (juillet – août 2021) Mobilisation en région et coordination nationale</p>	<p>Cette phase a servi à lancer le chantier "Varenne GT2" dans chaque région :</p> <p>Au niveau national, l'APCA a fortement opéré pour mobiliser le réseau des Chambres, coordonner les actions des Chambres et impliquer les collectivités locales et les services de l'État en région.</p> <p>Dans ce sens l'APCA a :</p> <ul style="list-style-type: none"> - rédigé une note de cadrage et de travail pour la réalisation du diagnostic territorial ; - réalisé un webinaire pour informer et sensibiliser le réseau des Chambres et notamment les Présidents et les Directeurs des Chambres ; - réalisé un inventaire des actions et des travaux des Chambres dans la lutte face au changement climatique ; ce travail, rendu possible grâce aux remontées régionales, a permis d'identifier les connaissances mobilisables, mais également les lacunes et les manques de données dans certaines régions. <p>Au niveau local, les Chambres régionales ont identifié les outils et les ressources mobilisables pour la réalisation du diagnostic en pré-identifiant les possibles filières de production à étudier en région. En parallèle, elles ont pris contact avec les acteurs locaux notamment les Conseils régionaux et les DRAAF afin de lancer une action commune dans le cadre du Varenne.</p>
<p>Phase 2 (septembre – novembre 2021) Pilotage régional et réalisation des diagnostics territoriaux</p>	<p>Dans chaque région, un comité de pilotage a été mis en place incluant a minima le Conseil régional, les DRAAF et la Chambre régionale. Certaines régions (Occitanie, Nouvelle Aquitaine et Grand Est) ont choisi d'élargir cette instance aux autres acteurs locaux (filières, interprofessions, recherche fondamentale et appliquée...) en fonction des contextes régionaux. Ces comités se sont réunis à plusieurs reprises dans chaque région, pour suivre et valider l'avancement des travaux et les rendus finaux.</p> <p>Pour la réalisation du diagnostic, en fonction des productions locales et des connaissances disponibles, les Chambres, avec la validation des comités de pilotage, ont identifié des territoires pour illustrer les impacts du changement climatique en calculant des indicateurs (climatiques et agroclimatiques) de vulnérabilité. Ce travail a fourni une analyse des vulnérabilités et des opportunités des filières de production agricole en région.</p> <p>Au niveau national, l'APCA a poursuivi son travail d'animation, coordination et appui au réseau des Chambres en faisant le lien entre la réflexion nationale et les initiatives régionales. Au cours de cette phase, les Chambres ont pu participer et contribuer aux Conférences</p>

	<p>thématiques (sélection génétique, irrigation et résilience) et un temps d'échange sur le travail de cartographie des leviers identifiés dans les contributions filières, opéré par la Cellule RIT, a eu lieu (19 novembre 2021).</p> <p>Les Chambres d'agriculture ont été également impliquées dans le séminaire annuel du RMT ClimA des 9 et 10 décembre 2021 et notamment lors des ateliers de travail consacrés au GT2 du Varenne.</p>
<p>Phase 3 (décembre 2021 - janvier 2022) Dépôt de diagnostics et réflexion sur la Feuille de route régionale</p>	<p>Cette phase a permis la finalisation des diagnostics territoriaux, notamment via la réalisation des derniers ateliers de travail en région et la collecte et la consolidation du travail au national. Au niveau national, l'APCA a contribué aux actions de la cellule RIT, du RMT ClimA et à la finalisation des travaux dans le cadre du GT2. Au niveau local, certaines Régions (PACA, Pays de la Loire, Normandie...) ont organisé des événements d'animation autour du Varenne (sous divers formats : séminaire, conférence, webinaire...) pour présenter, partager et débattre le travail de diagnostic et lancer une réflexion commune entre les parties prenantes sur les suites du Varenne et notamment sur les besoins des territoires, les liens avec les initiatives des filières et la pré-identification des actions à inscrire dans les futurs plans d'adaptation régionaux.</p>

1.3.5. Prolongement 2022

Les diagnostics territoriaux, réalisés dans le cadre du Varenne, sont une première étape pour aller vers des plans d'actions régionaux d'adaptation au changement climatique. Dans chaque région, des réflexions sont en cours sur la manière de poursuivre la dynamique lancée par le Varenne. Un travail d'identification des besoins en innovation, R&D, investissements (exploitation et infrastructures), formation... doit être mené entre les acteurs locaux et les actions à engager dans les futurs plans d'actions seront à hiérarchiser en fonction des spécificités et des stratégies régionales. Pour la réalisation des Plans d'Adaptation Régionaux (prévus dès janvier 2022), il est important qu'une réflexion sur le soutien des politiques publiques soit menée afin de donner les moyens pour atteindre les ambitions régionales d'adaptation.

L'APCA poursuivra son travail d'animation et coordination du réseau des Chambres d'agriculture afin de suivre la mise en place des plans d'actions régionaux et donner un appui méthodologique. Ces travaux pourront s'appuyer sur le travail de la cellule RIT et l'action du RMT ClimA.

PARTIE 2 : Les facteurs de résilience face au changement climatique

2.1. État des connaissances sur les leviers permettant de s'adapter au changement climatique

2.1.1. Présentation de la cellule RIT et du RMT ClimA

La **Cellule RIT (Recherche, Innovation, Transfert)** a été créée en février 2018 dans le cadre d'un partenariat entre INRAE-ACTA-APCA, avec pour mission principale d'accélérer le transfert de l'innovation et des connaissances acquises et d'identifier les travaux de recherche-innovation nécessaires pour combler les lacunes identifiées. Elle a déjà fonctionné dans cet état d'esprit pour rendre plus visibles les savoirs actionnables dans plusieurs domaines :

- les alternatives au glyphosate, répertoriées sous forme de fiches, témoignages, études... dans une plateforme communément nommée « Centre de Ressources » ;
- la gestion de l'enherbement et la réduction des herbicides ;
- l'optimisation des utilisations du cuivre en protection fongicide de la vigne et des arbres fruitiers ;
- le mode d'emploi des plantes de service ;
- les techniques permettant de renforcer l'autonomie protéique et fourragère.

Dans le cadre du Varenne, la cellule RIT a mis en œuvre deux actions :

- l'organisation d'un Hackathon, pour la thématique 1, afin de faire émerger des innovations permettant de mieux gérer les aléas climatiques ;
- la contribution à l'inventaire des leviers contribuant à accroître la résilience des activités agricoles par rapport au stress hydrique et thermique.

Pour la thématique 2, il s'agissait de constituer un inventaire des leviers disponibles pouvant aider à répondre, de façon individuelle ou combinée, à cette problématique. Dans une première étape, les leviers analysés portent sur la problématique des stress hydrique et thermique et non sur l'ensemble des impacts possibles du changement climatique comme la pression parasitaire. À l'enjeu concernant le stress hydrique a été ajouté l'enjeu stress thermique notamment pour les animaux. D'abord, parce que les deux phénomènes sont souvent liés, ensuite pour prendre en compte les priorités des filières animales pour lesquelles le stress thermique des animaux d'élevage est un axe de préoccupation majeure. Ces mêmes filières sont aussi concernées par le stress hydrique, au travers de l'alimentation en fourrages et aussi en eau d'abreuvement.

Les informations recueillies pourront être valorisées par les filières et les territoires pour approfondir leurs plans stratégiques. Elles seront aussi utiles aux réflexions de la thématique 3 pour réévaluer les besoins en eau après la mobilisation des leviers techniques de résilience.

Le **RMT (réseau mixte technologique) ClimA**, porté par l'APCA en coanimation avec ARVALIS-Institut du végétal, a démarré ses activités en janvier 2021. Il a pour objectif

général d'accélérer le transfert des travaux de R&D pour une adaptation conjointe et efficace des productions, des filières et des territoires agricoles au changement climatique et ce, en cohérence avec la multi-performance des exploitations agricoles et les enjeux d'atténuation du changement climatique. Il rassemble pour ce faire plus de 30 partenaires techniques de la recherche finalisée, de la recherche appliquée, du développement, de l'enseignement et des organisations économiques agricoles (Figure 10).



Figure 10. Partenaires du RMT ClimA co-animé par l'APCA et ARVALIS.

Son action s'inscrit sur une durée de 5 ans (Figure 11), plus longue que celle allouée aux travaux du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique.

Dans son programme de travail, le RMT ClimA a prévu d'appuyer la mise au point et la diffusion des leviers d'adaptation au changement climatique (identification et qualification des leviers, boîtes à outils de références permettant de les mettre en œuvre...), dans ses nombreuses composantes : stress hydrique, excès hydrique, stress thermique, pression parasitaire, aléa climatique... Dans le cadre du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique, le RMT ClimA contribue par une priorisation des premiers travaux sur les enjeux concernant le stress hydrique et le stress thermique.

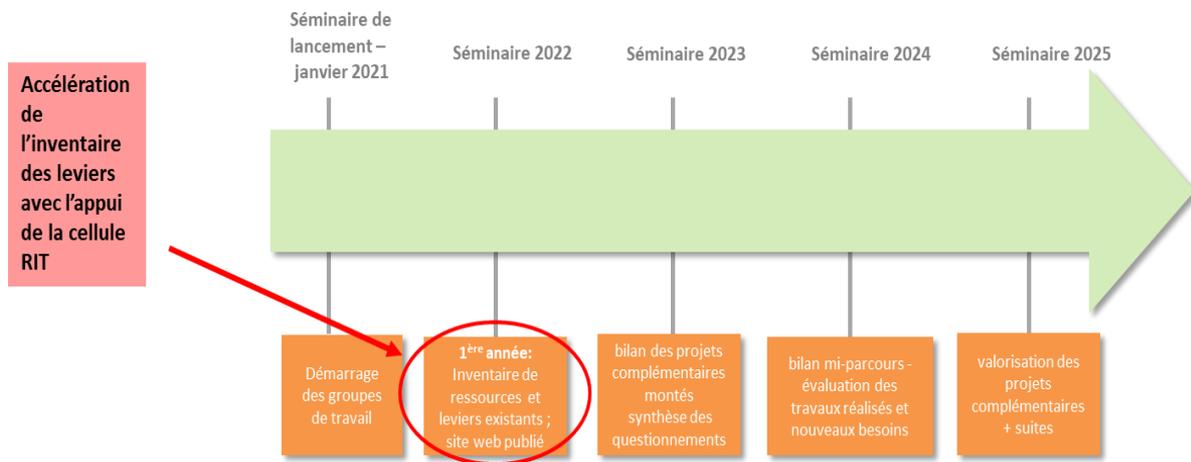


Figure 11. Programme de travail du RMT ClimA.

2.1.2. Cartographie des leviers de résilience

La cellule RIT en partenariat avec le RMT ClimA a établi une première cartographie des leviers de résilience vis-à-vis des stress hydrique et thermique en productions végétales et animales (Figure 12).

A l'occasion du séminaire annuel du RMT ClimA, des 9 et 10 décembre 2021, une séquence de travail a été consacrée au Varenne. Lors des quatre ateliers de travail, respectivement sur l'agronomie végétale, l'élevage des ruminants, la génétique végétale et l'irrigation et le stockage d'eau, les membres du RMT ClimA ont pu contribuer à l'évaluation et caractérisation des leviers identifiés.

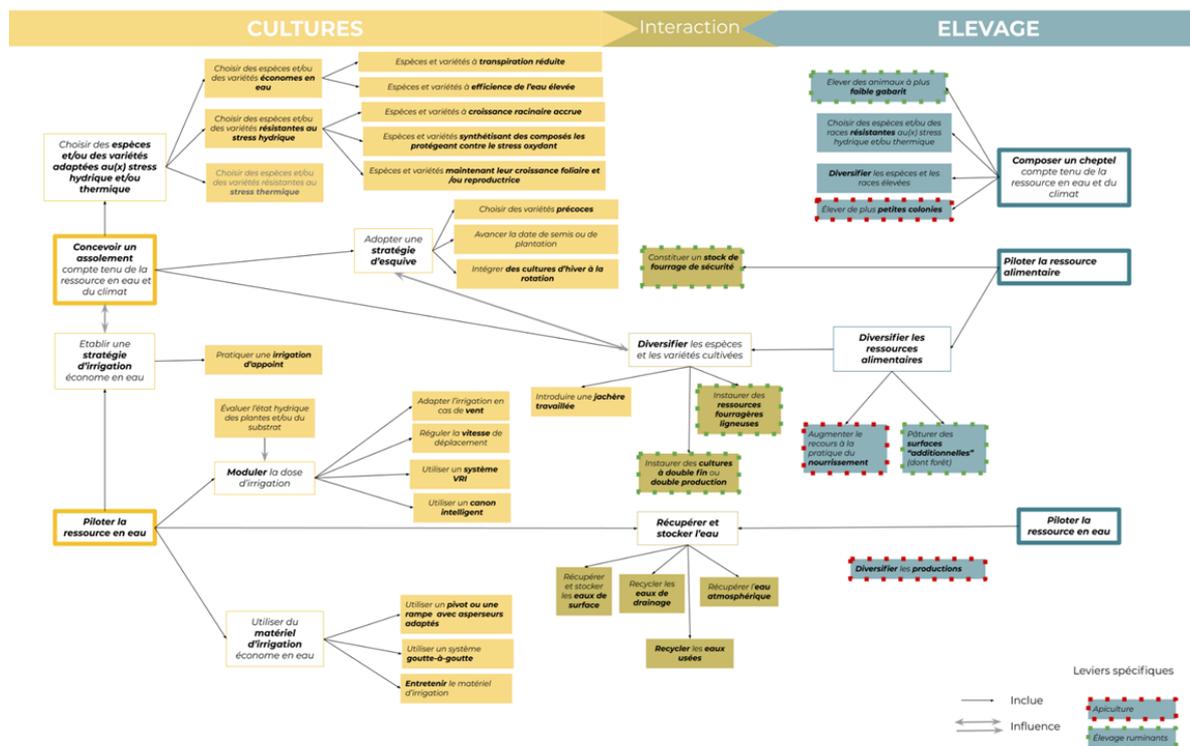


Figure 12. Exemple de schéma synoptique illustrant les liens entre différents leviers d'adaptation.

Le travail d'inventaire des leviers, au niveau du système d'exploitation ou au niveau de la plante et de l'animal, est un chantier continu qui va se poursuivre au cours des 5 prochaines années, mais les références actuelles permettent déjà de documenter 90 leviers différents au moyen de 15 critères quantitatifs ou textuels (Figure 13). Les leviers identifiés et les critères d'évaluation sont présentés dans les Annexes 3 et 4.

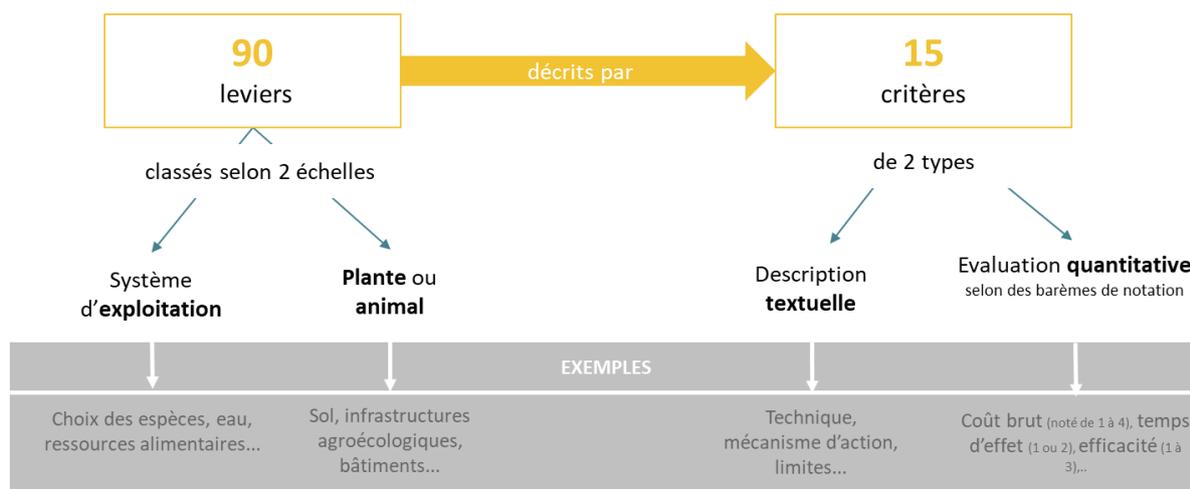


Figure 13. Éléments de base pour la classification et la description des leviers d'adaptation recensés.

En 2022 :

- La Cellule RIT

Au cours du premier semestre 2022, la cellule RIT avec l'appui du RMT ClimA :

- finalisera le travail de caractérisation des leviers (issus des contributions filières et des diagnostics territoriaux) avec le support du RMT ClimA. La cartographie initiale des leviers pourra s'enrichir du retour du terrain, via les diagnostics territoriaux, sur des leviers plus spécifiques et des combinaisons pertinentes en vue de reconcevoir des systèmes de production bien adaptés à leur contexte ;
- poursuivra la valorisation de la cartographie et les éléments d'analyse disponibles sous forme de fiches, retours d'expérience et autres supports dans GECO (<https://geco.ecophytopic.fr/>) et grâce aux supports de communication du RMT (Site web, séminaires scientifique et technique...);
- réalisera une analyse critique des leviers d'action proposés par les filières et les territoires. Il s'agit de réaliser une analyse critique de l'ensemble des leviers identifiés au regard des connaissances scientifiques disponibles et des apports des diagnostics filières et de territoires. Ce travail pourra permettre, en outre d'établir des priorités de recherche ;
- poursuivra son action de transfert en valorisant les productions issues du Varenne (infographie, matrice des leviers, ...) via la réalisation de webinaires.

- **Le RMT ClimA**

Dans les prochains mois, le RMT ClimA :

- poursuivra et appuiera le travail engagé par la Cellule RIT en alimentant la base de données des leviers d'adaptation caractérisés selon plusieurs critères ;
- construira la boîte à outil des solutions opérationnelles ;
valorisera le travail mené *via* la rédaction de documents techniques et scientifiques et de supports de diffusion et transfert.

2.2. Focus sur le levier génétique

2.2.1. Place de la génétique dans la réponse de l'agriculture au changement climatique

Trois points-clés doivent être rappelés en préambule :

- Quelle que soit l'espèce considérée, la variabilité génétique est une ressource qu'il faut préserver pour l'avenir : sans variabilité et existence au sein de cette variabilité d'allèles favorables à la sélection, pas de sélection ni de progrès génétique.
- La sélection est un processus lent. En dépit des progrès réalisés, il faut toujours compter en moyenne 10 ans pour développer une nouvelle variété végétale, notamment du fait de la nécessité de réaliser des observations dans des réseaux d'essais multi-locaux lors d'étapes-clefs du processus de sélection (et ce bien que les techniques de sélection génomique et de sélection assistée par marqueurs génétiques aient déjà apporté de grandes avancées méthodologiques). En sélection animale, même si les progrès sont aujourd'hui plus rapides grâce à la sélection génomique, ils restent lents au regard d'autres leviers comme les adaptations de systèmes de production.
- La génétique peut beaucoup mais pas tout à la fois (= pas de miracle à attendre). Ce n'est que l'un des leviers pour l'adaptation, qui doit être combiné avec d'autres.

Pour les **productions végétales**, une bonne part de la vulnérabilité des espèces aux impacts du changement climatique, notamment aux aléas thermiques et hydriques, repose sur des déterminants génétiques et le levier génétique est fréquemment évoqué comme une option privilégiée d'adaptation aux futures conditions, notamment aux épisodes de sécheresse. Cette vision se heurte à deux difficultés. La première est liée au statut physiologique des plantes qui varie beaucoup au cours de la journée, avec une forte activité de transpiration et des variations importantes de la température des tissus, et donc la nécessité de sélectionner des génotypes susceptibles de tolérer cette variabilité. La seconde découle du fait qu'il s'agit de chercher à optimiser des contradictions. En effet, diminuer la transpiration des plantes en agissant sur la fermeture des stomates revient à réduire la photosynthèse et donc la croissance et la production de biomasse (et par contrecoup les rendements). Cela peut se résumer par la formule « pas de transpiration, pas de croissance ».

De manière schématique, 4 stratégies peuvent être identifiées, que les sélectionneurs peuvent mobiliser :

- « Résister » (= survivre et récupérer) : c'est la stratégie des plantes des lieux arides. Elle repose sur l'existence de gènes de résistance.
- « Échapper » (= cultiver au bon moment) : il s'agit d'échapper aux phases de stress, notamment au travers d'un raccourcissement du cycle de croissance (en sachant qu'il existe un compromis entre rendement et durée du cycle). Ceci implique d'organiser et étendre la variabilité de la durée de cycle des variétés afin d'offrir un catalogue large aux agriculteurs. Les études menées sur le maïs

montrent que les agriculteurs sont à même de développer des stratégies d'adaptation performantes s'ils disposent d'une offre *ad hoc* de variétés (Parent *et al.*, 2018).

- « Éviter » (= économiser de l'eau) : la génétique peut aussi offrir des opportunités (mais elles sont limitées) au travers de l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Des possibilités existent par exemple au travers de la réduction de la transpiration nocturne pour laquelle des gènes d'intérêt ont été identifiés (e.g. chez la vigne ; Coupel-Ledru *et al.*, 2016).
- « Produire quand même » (= obtenir le meilleur rendement possible) : les progrès réalisés dans les analyses au niveau du génome entier permettent, par des approches de génétique d'association, d'identifier les effets d'un même gène/région du génome sur le phénotype, notamment le rendement.

Dans le cas des **animaux d'élevage**, les impacts associés au changement climatique varient selon les espèces, les races ou les systèmes d'élevage. Ils sont pour l'essentiel liés à la hausse des températures dont les conséquences sont multiples (augmentation de la consommation d'eau, baisse des performances de production et de reproduction, baisse de la qualité des aliments – même si la croissance de certaines espèces peut être stimulée – et de l'ingestion, altération de l'état de santé, baisse de la longévité et accélération des réformes). L'augmentation de la variabilité de la disponibilité en eau (sécheresses) et celle de la concentration en CO₂ ont aussi des conséquences indirectes, notamment en termes de modifications de la quantité et de la qualité des fourrages. Un autre élément important à prendre en compte est le rôle que joue l'élevage dans les émissions de GES à l'origine du changement climatique (environ 14,5 % des émissions mondiales, la fermentation entérique chez les ruminants et la production des aliments destinés aux animaux d'élevage représentant plus de 80 % des émissions liées à l'élevage ; FAO, 2021). Cette fois encore, une partie des réponses va dépendre de facteurs génétiques.

Du point de vue de la sélection, il s'agit d'accompagner le passage de systèmes axés sur l'efficacité productive des animaux et économique du système, aux systèmes du futur, plus diversifiés et durables et qui mobilisent une plus grande combinaison d'aptitudes chez les animaux. Il lui faut pour cela relever plusieurs défis : (i) revisiter la diversité génétique pour adapter les populations et les systèmes ; (ii) adapter les animaux à mieux utiliser une plus grande variabilité des ressources et améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau ; (iii) améliorer la résilience des animaux (longévité, reproduction, résistance aux maladies...) et leur résistance aux stress abiotiques (thermotolérance) ; et (iv) contribuer à la mise en place de systèmes améliorant le bien-être animal.

La variabilité génétique des caractères que l'on souhaite sélectionner est bien connue pour les caractères d'efficacité économique pour les grandes races dans les systèmes de production actuels. Les connaissances sont beaucoup plus partielles pour les caractères liés à l'impact environnemental (incl. émissions CH₄), au bien-être animal et aux aspects non marchands, ainsi que sur l'aptitude au croisement et plus globalement sur les effets non additifs des gènes.

2.2.2. Les progrès déjà réalisés et leur diffusion

La France est au cœur de la R&D en Europe pour la sélection végétale pour les plantes de grandes cultures, avec une part importante du chiffre d'affaires des entreprises consacrée à la recherche. Conserver ce leadership est important pour l'avenir de notre agriculture.

Au niveau national, le Comité Technique Permanent de la Sélection des plantes cultivées (CTPS) établit le catalogue officiel français (<https://www.geves.fr/catalogue/>) et met en œuvre les règlements techniques d'inscription et de certification dont il propose aussi des évolutions. L'élargissement des critères de sélection a été au cœur de différents plans nationaux successifs : « Semences et Agriculture Durable » (2011 ; principale orientation : réduction des intrants) ; « Semences et Plantes pour une Agriculture Durable » (SPAD, 2016 ; principale orientation : agroécologie) ; « Semences et Plantes pour une Agriculture Durable » révisé (SPAD 2, 2021 ; principale orientation : réponses aux ODD dont ODD 13).

Les entreprises de sélection végétale intègrent déjà dans leurs programmes de nombreux critères pour répondre aux enjeux des différents maillons des filières : stabilité du rendement, résistance aux ravageurs, tolérance aux stress climatiques (froid, manque d'eau...), adaptation aux process industriels, qualité. Les protocoles d'évaluation intègrent aussi des conditions telles que la conduite bas-intrants (incl. irrigation). La contribution du progrès génétique est déjà visible pour la **tolérance aux maladies et aux insectes**, l'**adaptation aux contraintes climatiques** ou la contribution à l'**entretien des sols** (plantes de services). La diffusion est accélérée par le développement d'outils de choix variétaux multicritères et interactifs, notamment portés par les Instituts Techniques Agricoles de plus en plus dans le cadre d'un continuum inscription-post-inscription.

Dans le domaine des productions animales, l'organisation française de la sélection a permis de doter toutes les filières des outils les plus performants pour adapter la génétique des animaux à leurs conditions de production. C'est en particulier le cas de la **sélection génomique** (lecture du génome et prédiction des effets sur les caractères en fonction des allèles des gènes ou des marqueurs génétiques portés par les individus) qui a permis d'accroître l'efficacité de la sélection et de faciliter la sélection de caractères difficiles à mesurer à grande échelle. Disponible pour les ruminants, le porc, la volaille, le cheval et les poissons, elle permet plus de progrès génétique et de manière plus rapide que la sélection classique par croisement. Cette organisation a démontré son efficacité au travers des résultats des programmes de sélection mis en œuvre sur le terrain, avec des progrès génétiques significatifs sur les index fonctionnels. Ces index évoluent depuis une vingtaine d'années pour intégrer une palette de plus en plus large de caractères fonctionnels et d'adaptation (e.g. santé, fertilité, longévité...). De nombreux résultats ont été obtenus (production laitière bovine, indice de consommation chez le porc, efficacité alimentaire chez la truite arc-en-ciel...), avec des co-bénéfices sur des performances importantes vis-à-vis du changement climatique.

Les évolutions du niveau génétique des animaux sélectionnés se répercutent sur tous les élevages, grâce à une diffusion efficace du progrès génétique. Par ailleurs, les bases de données de grande taille constituées depuis les années 60, grâce à un dispositif collectif de gestion des informations, peuvent être interfacées avec les données climatiques. Ces analyses croisées ont déjà été expérimentées et se développent fortement dans des programmes de R&D. Elles permettent de mettre en œuvre des travaux fins pour mieux comprendre et interpréter les relations entre climat et production des animaux et leurs évolutions dans le temps.

2.2.3. Perspectives

L'analyse des performances (sur la base du rendement) dans des conditions contrastées, y compris les plus défavorables, des variétés de plantes de grandes cultures (colza, blé, maïs) sélectionnées depuis les années 1950 montre que la sélection a produit des variétés efficaces pour toutes les situations, y compris en conditions sèches. Cela ne présage toutefois en rien de leur comportement pour les sécheresses futures. Les variétés qui supporteront le mieux les conditions futures ne sont pas nécessairement celles qui auront les meilleurs rendements.

Les quatre stratégies décrites plus haut peuvent être mobilisées pour progresser mais avec des potentiels très différents. L'introduction de gènes de résistance identifiés chez des espèces des zones désertiques dans le génome d'espèces d'intérêt agronomique pourrait avoir un intérêt pour favoriser la survie de plantes prairiales ou de couverture (graminées en particulier), mais pas pour augmenter les rendements. L'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par contrôle de la transpiration pourrait s'avérer ponctuellement intéressante mais l'intérêt est généralement limité (car moins de transpiration = moins de photosynthèse).

Le futur de la sélection végétale passe sans doute pour une part par un renforcement des efforts de couplage entre prédiction génomique et modélisation (Figure 14 ; Millet *et al.*, 2019).

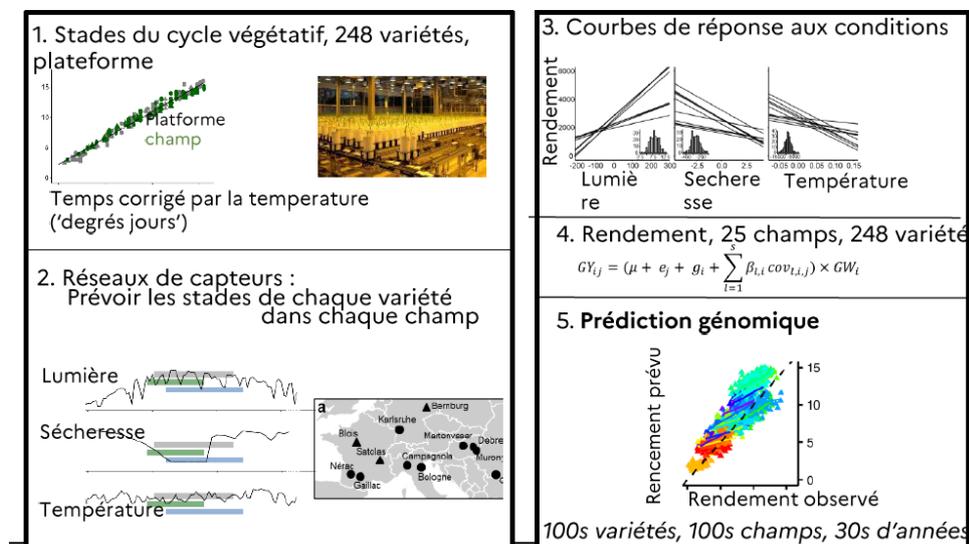


Figure 14. Représentation schématique des démarches couplant prédiction génomique et modélisation.

En s'appuyant sur les outils de phénotypage à haut débit en conditions contrôlées ou en champ, il est possible de caractériser des centaines de génotypes sur leurs réponses (croissance, architecture aérienne, développement racinaire...). L'établissement de courbes de réponse du rendement aux conditions (lumière, sécheresse, température...) permet de modéliser la sensibilité des génotypes et d'établir des équations de prédiction du rendement à partir de la connaissance des interactions génétique x environnement. Il devient alors possible d'identifier les meilleures combinaisons d'allèles pour chaque scénario climatique.

Comme dans le cas des animaux d'élevage, la sélection génomique appliquée aux plantes cultivées permet de réduire le temps de sélection et une réduction des coûts de phénotypage. Elle rend aussi possible la sélection aux stades précoces ainsi que la prise en compte de la variabilité entre individus le long du génome. La prise en compte des interactions génotype x environnement reste encore un point important à travailler.

Le recours à la sélection phénotypique (i.e. caractérisation des individus par des méthodes non destructives telle que la spectroscopie proche infrarouge) pourrait permettre d'atteindre des performances comparables à celle de la sélection génomique pour un coût moindre mais il est encore nécessaire d'approfondir certains points, notamment en ce qui concerne l'influence de l'environnement sur les caractéristiques mesurées.

Parmi les nouvelles techniques d'amélioration des plantes (NPBT pour *New Plant Breeding Techniques*), l'édition des génomes est une autre voie possible, popularisée notamment par les développements permis par l'utilisation de « ciseaux moléculaires » comme la nucléase CRISPR/Cas9.

Cette enzyme permet en théorie de modifier n'importe quel gène dans le génome et la technique est à la portée de la majorité des laboratoires. Selon les objectifs recherchés, sa mise en œuvre peut conduire à l'inactivation ciblée d'un gène, à la modification ponctuelle d'un gène (= édition) ou à l'intégration d'un fragment d'ADN exogène (= transgène ; Figure 15). Il est donc possible par exemple d'obtenir une plante dont un gène a été édité, ce qui correspond à une mutation qui pourrait être présente dans le pool génétique de l'espèce. Elle ne peut pas être distinguée, ni phénotypiquement, ni moléculairement, d'une plante qui aurait été obtenue par sélection classique.

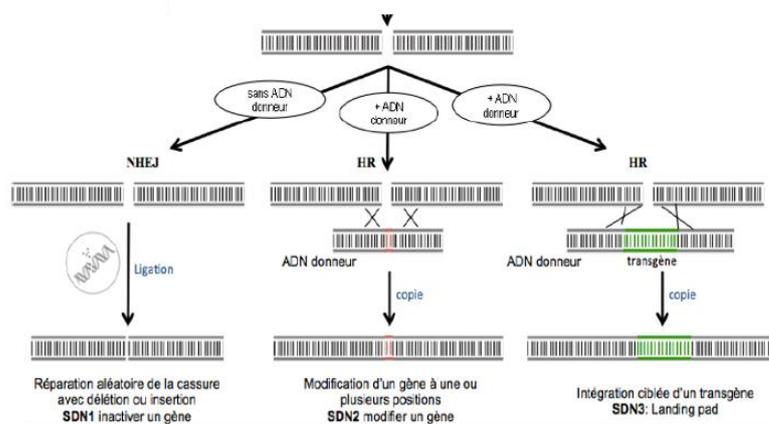


Figure 15. Représentation schématique des trois possibilités de réparation d'une coupure induite par CRISPR/Cas9.

L'édition du génome présente plusieurs propriétés intéressantes pour l'amélioration des plantes : annulation du risque d'introgession de caractères indésirables dans la nouvelle variété, contournement des difficultés de croisements et de la barrière de la compatibilité sexuelle (possibilité d'aller chercher des gènes d'intérêt chez d'autres espèces), assemblage des allèles/gènes d'intérêt plus rapide, opportunité pour augmenter la diversité génétique en l'absence de variabilité (concept de « rewilding »). Des pistes d'applications ont déjà été explorées : résistance à certaines maladies, propriétés des graines (teneur en gluten, en acide oléique...) mais aussi rendement en conditions de stress hydrique.

Il y a toutefois des difficultés de nature variée. Certaines sont d'ordre technique : des espèces s'avèrent « récalcitrantes », nécessitant encore des améliorations techniques ; la connaissance du génome est nécessaire pour la modification du/des caractère(s) d'intérêt ; des possibilités de mutations hors cible ne sont pas à écarter.

Surtout, la réglementation est un sujet central et sensible. En effet, l'arrêt du 25 juillet 2018 de la Cour de Justice de l'Union Européenne indique que tous les organismes obtenus par mutagenèse sont des organismes génétiquement modifiés (OGM) et que seuls ceux issus de techniques traditionnelles de mutagenèse développées antérieurement à l'adoption de la directive n° 2001/18 sur les OGM sont exclus de son champ d'application. Les variétés dont le génome est modifié par les technologies d'édition du génome sont donc soumises aux procédures d'évaluation des risques, d'autorisation, de traçabilité et d'étiquetage des OGM, ceci même si les modifications ne se traduisent pas par l'introduction d'un fragment d'ADN exogène (transgène). Ce point est crucial mais aussi clivant entre acteurs, voire entre pays.

Selon les sélectionneurs, des soutiens à l'amélioration des plantes sont nécessaires si la France souhaite conserver son rôle de leader dans l'obtention variétale végétale : cadre réglementaire adapté aux progrès scientifiques (incl. NPBT), dispositifs

d'incitation à encourager/renforcer (CIR, CASDAR) ; développement d'outils d'aide à la sélection, partenariats public-privé.

Dans le domaine de la sélection animale, de nombreux programmes de recherche sont en cours pour accélérer le progrès sur des critères relatifs aux émissions de GES, à la résistance aux stress biotiques ou abiotiques ou à la robustesse et à la résilience des individus qui vont conduire à des applications en élevage à court (1-2 ans) ou moyen terme (4-5 ans). D'autres restent à engager pour des retombées à plus long terme (5-10 ans).

L'ordre de grandeur des progrès réalisables est une variation des performances des animaux de l'ordre 10 à 20 % des performances moyennes actuelles sur un pas de temps d'une quinzaine d'années, comme cela a déjà été observé par le passé pour la diminution des émissions de gaz à effet de serre en élevage bovin laitier. Par le passé ce progrès était dû essentiellement à une augmentation de la productivité ; il le sera dans le futur majoritairement par une meilleure prise en compte des critères fonctionnels et d'adaptation.

Il faut aussi noter la prise en compte croissante de l'épigénétique et des connaissances des métagénomomes (i.e., prise en compte des microbiomes qui ont un rôle dans divers processus comme la production de CH₄, l'immunité, etc. et dont la composition peut avoir une base génétique) qui pourrait permettre d'accroître l'efficacité de la sélection.

L'existence dans les territoires ultra-marins de productions animales de ruminants suivies dans le cadre de l'amélioration génétique ou de la conservation offre des opportunités d'anticipation du réchauffement climatique par des études sur la résistance ou la sensibilité au stress thermique ou au parasitisme. Par ailleurs, les collaborations internationales donnent aujourd'hui accès à des données collectées dans des conditions climatiques qui préfigurent celles qui devraient exister en France dans les prochaines décennies, ce qui nous donne des leviers d'anticipation d'évolution des populations bovines laitières (Holstein, Montbéliarde, Brune) et allaitantes (Charolais et Limousin) aux conditions climatiques.

Les progrès sont lents mais ils sont cumulatifs, c'est là toute leur force : les gains se transmettent de génération en génération. Cette efficacité est cependant conditionnée par le maintien de programmes de sélection fondés sur un nombre suffisant d'individus pour lesquels les performances sont collectées, gérées et analysées. Dans la durée, la meilleure exploitation des outils existants, l'intégration rapide et efficace des résultats des recherches en cours, au service de programmes de sélection optimisés, permettront une meilleure adaptation des populations animales sélectionnées à leur environnement et la diminution de leur impact sur le changement climatique. Une amplification est nécessaire autour de 4 axes : (i) la caractérisation génomique et phénotypique de toutes les populations et races dans leurs conditions d'élevage, afin de mieux connaître et valoriser la diversité allélique ; (ii) caractériser l'adaptation (robustesse, efficacité, thermotolérance, santé...) et sa variabilité ; (iii) « phénotyper » les milieux d'élevage afin de pouvoir identifier les interactions génotype x environnement et en déduire les combinaisons (inter- et intra-race) favorables et ;

(iv) référencer les différentes stratégies génétiques et systèmes pour gagner en résilience.

Au-delà des défis scientifiques et techniques, il faut aussi relever un défi de transfert et d'appropriation par les acteurs.

2.3. Focus sur l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation

2.3.1. L'irrigation en France et en Europe

Avec 500 Mds de m³ de précipitations annuelles, dont 320 Mds repartent vers l'atmosphère par évaporation et transpiration, la France dispose de ressources non négligeables (180 Mds de m³ de réserves renouvelables disponibles) qui la placent au deuxième rang en Europe après la Norvège.

En termes d'intensité d'exploitation des ressources en eau (i.e., le rapport entre volume prélevé annuellement et ressource renouvelable), la France en exploite 17 %, contre 22 % pour l'Allemagne, 23 % pour l'Espagne, 32 % pour l'Italie et 46 % pour la Belgique.

En France, seuls 11 % des prélèvements d'eau sont utilisés pour l'irrigation agricole (centrales électriques : 59 % ; eau potable : 19 % ; industrie : 11 %), ce qui correspond à 3 Mds de m³ prélevés sur les 180 Mds disponibles, soit 1,7 % de la ressource renouvelable disponible.

Après avoir considérablement augmenté en France entre 1970 et 2000, la surface irriguée (1,4 Mha) stagne depuis 2000 et n'a augmenté que de 0,03 %, alors que pendant la même période, la moyenne européenne a progressé de 13,4 %. Avec la modernisation des équipements, le développement des systèmes d'aide à la décision, des pratiques culturales adaptées et l'amélioration variétale, on estime que l'efficacité de l'irrigation a augmenté de 30 % en France sur les 20 dernières années.

Le volume moyen d'irrigation par ha irrigué en France est de l'ordre de 1700 m³/ha/an et se place en 9^{ème} position, derrière la moyenne européenne qui est de 4000 m³/ha/an (statistiques 2010 ; Figure 16).

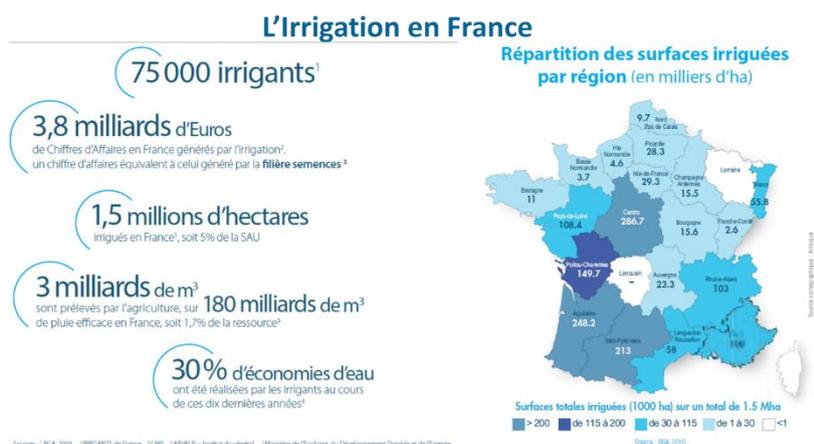


Figure 16. Données générales sur l'irrigation en France.

2.3.2. L'enjeu autour des matériels d'irrigation

Les matériels d'irrigation par aspersion dominent les utilisations en France avec la répartition suivante en pourcentage des surfaces équipées (enquêtes Agreste de 2011 et de 2017) :

- Enrouleurs : 70 %
- Pivots et rampes frontales : 20 %
- Couverture intégrale : 2-5 %
- Irrigation localisée : 5-7 %

Une étude réalisée par IRSTEA en 2017 à la demande du ministère de l'agriculture a permis de compiler 96 expérimentations contrôlées pour mesurer les économies d'eau possibles par le choix du matériel et les modes de conduite de l'irrigation (Serra-Wittling et Molle, 2017). Une synthèse des résultats est présentée en Annexe 6.

Il ressort de cette étude plusieurs constats importants :

- Les économies d'eau sont d'autant plus fortes qu'on se situe dans une année « pluvieuse » à faible déficit hydrique. Lors d'années « sèches » à fort déficit hydrique, tous les systèmes d'irrigation sont dans une situation d'irrigation suboptimale.
- Le passage d'un matériel ancien à un matériel du même type neuf, souvent plus performant, induit une économie d'eau d'environ 10 %.
- Les économies attendues dépendent aussi du type de culture. Par exemple le passage d'un enrouleur au goutte à goutte de surface génère une économie d'irrigation de 10 à 20 % en grandes cultures et de 20 à 35 % en arboriculture.
- L'utilisation d'un outil d'aide à la décision pour optimiser les apports permet une économie d'eau de 10 à 40 % selon les situations.

2.3.3. L'accompagnement des irrigants

Dans les régions où l'irrigation est fortement développée, les chambres d'agriculture proposent des services aux irrigants en vue d'améliorer l'efficacité des équipements :

- Diagnostic et réglage des matériels d'irrigation,
- Diagnostic des stations de pompage et des réseaux de distribution,
- Service d'aide à la conduite de l'irrigation (avertissements, télégestion des équipements, capteurs sol, capteurs plantes...),
- Formation des irrigants.

Les experts estiment que les économies d'eau résultant du fonctionnement des équipements peuvent atteindre 5 à 10 % mais uniquement sur les installations les plus anciennes qui ne bénéficient pas des améliorations techniques récentes. Cet écart devrait donc se réduire avec le temps et le renouvellement des équipements.

La Figure 17 récapitule l'ensemble des leviers disponibles pour optimiser l'irrigation.



Figure 17. Ensemble des leviers disponibles pour optimiser l'irrigation

2.3.4. Perspectives pour le pilotage de l'irrigation

L'aide à la décision pour optimiser les apports d'eau met en œuvre plusieurs technologies :

- Le bilan hydrique à la parcelle issu d'un calcul d'une part de l'évapotranspiration de la culture et d'autre part de l'épuisement de la réserve hydrique du sol.
- Les "capteurs sols" qui évaluent la disponibilité de l'eau dans le sol (sondes tensiométriques, capacitatives...).
- Les "capteurs plantes" comme la dendrométrie utilisée en arboriculture ou la croissance des bourgeons terminaux pour la vigne.

D'autres technologies comme la télédétection sont parfois utilisées pour compléter l'information au service souvent d'un bilan hydrique à la parcelle plus précis.

Il existe également des réseaux d'information issus de capteurs sols disposés dans un territoire délivrant des conseils généraux sur l'irrigation. Ces réseaux, bien implantés dans les régions où l'irrigation représente un enjeu important, sont généralement animés par les chambres d'agriculture et touchent un grand nombre d'irrigants.

Les données issues du projet EDEN 2015-2016 montrent que le pilotage de l'irrigation via des systèmes d'aide à la décision peut permettre de réaliser dans certains cas des économies d'eau et dans d'autres cas de réajuster la dose d'irrigation aux besoins (Figure 18). Il semble donc plus pertinent de les considérer comme des systèmes permettant d'optimiser la ressource en eau que comme des outils d'économie stricte.

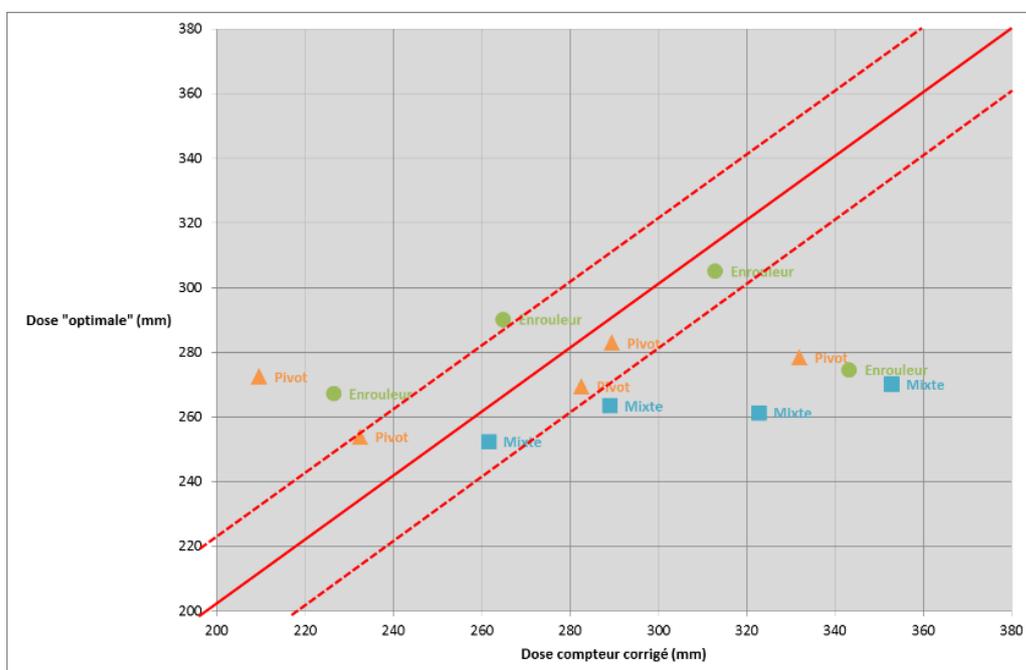


Figure 18. Données issues du volet irrigation du projet EDEN 2015-2016. Animation Arvalis, Partenaires CA31, INRAE (ex-IRSTEA), CRAO, CACG.

2.3.5. L'irrigation en conditions limitantes

L'aide à la décision se pose d'une autre manière lorsque le volume d'eau disponible pour l'irrigation est contraint. Dans ce cas, la question consiste à trouver la meilleure utilisation de l'eau répartie sur différentes cultures de l'exploitation à différentes périodes. La résolution se fait par comparaison de scénarios possibles d'utilisation de l'eau au niveau d'une exploitation ou d'un territoire. Les outils tels que ASALEE (à l'exploitation - Figure 19) ou SIMULTEAU (au territoire) peuvent apporter des réponses générales qui doivent ensuite être adaptées à chaque cas particulier d'exploitation.

Ces outils sont actuellement destinés à un usage collectif, permettant à un conseiller de donner des préconisations générales concernant l'utilisation de l'eau dans un contexte pédoclimatique et socioéconomique donné.

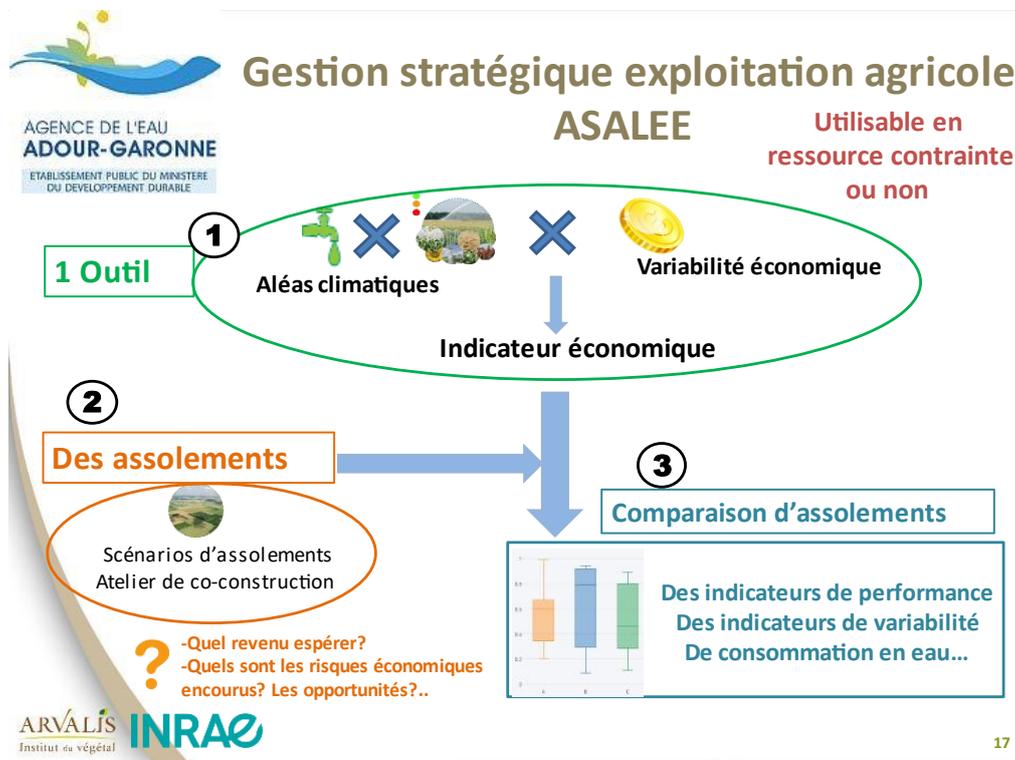


Figure 19. Schéma général du fonctionnement de l'outil ASALEE.

2.3.6. Réflexion sur les freins pour la mise en place d'équipements économes en eau

- *Frein économique*

Le principal frein au développement de l'irrigation est **le montant des investissements nécessaires ainsi que la valeur des amortissements** du matériel, qui ne sont pas toujours compensés par les augmentations de rendements espérées ; d'après Bruno Molle (INRAE), les investissements vont de 800 €/ha pour le système simple d'irrigation par enrouleur (70 % des irrigants) à 4 000 €/ha pour le goutte-à-goutte enterré (5 à 7% des irrigants). Le montant des amortissements peut varier entre 300 et 900 €/ha/an. À cela s'ajoute le prix de l'énergie, qui dans certains départements comme celui de la Drôme, peut représenter à lui seul 50 % du coût annuel de l'irrigation.

- *Frein technique*

La souplesse d'utilisation des matériels d'irrigation, notamment lorsqu'on veut se ménager la possibilité d'irriguer différentes cultures de l'exploitation, est un critère clé pour le choix du matériel. Si la majorité des équipements en grandes cultures est assuré par l'enrouleur, c'est probablement à cause de son niveau d'investissement par unité de surface, l'un des plus faibles, et sa souplesse d'utilisation.

À contrario, les besoins de main d'œuvre pour l'installation et le démontage des équipements fixes comme le quadrillage intégral ou le goutte à goutte, sans compter le niveau d'investissement supérieur, réservent ces matériels préférentiellement aux cultures pérennes (vigne, arboriculture...).

2.4. Agricultures de résilience, exemples, perspectives, enseignements

2.4.1. Concepts et définitions

Issue du latin *resilire* (« sauter en arrière »), la notion de résilience en science est d'abord apparue dans les sciences de l'ingénieur. Elle a ensuite gagné l'écologie scientifique puis la psychologie. Le concept est utilisé, avec des définitions différentes et parfois incohérentes, dans des domaines variés comme la gestion des écosystèmes et des ressources naturelles, la gestion ou la prévention des risques naturels, la psychologie du trauma, les politiques de développement, la santé publique, etc.

Le point commun de tous ces usages est le fait que la résilience s'applique toujours à un **système** dont elle constitue une **propriété émergente**. Elle est reliée à de nombreux **concepts connexes** dont l'adaptation, la vulnérabilité, la durabilité, mais aussi l'apprentissage (Reghezza-Zitt et al., 2012 ; Figure 20).

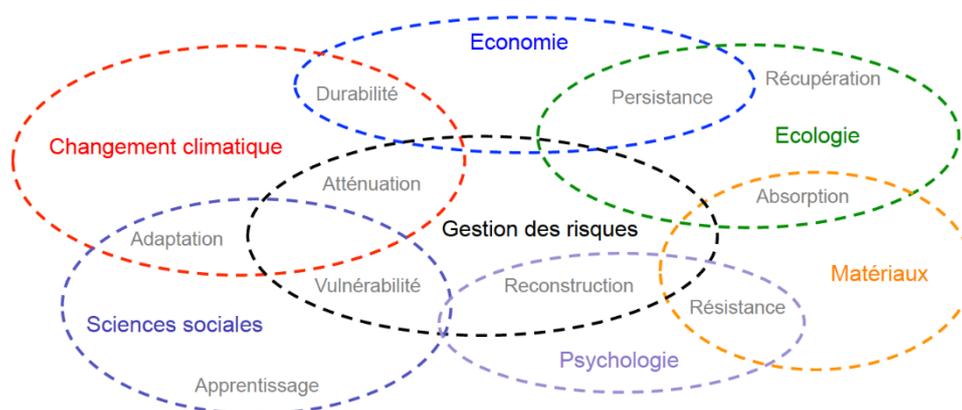


Figure 20. Exemples de concepts associés à la résilience dans différents domaines disciplinaires (d'après Reghezza-Zitt et al., 2012).

Appliquée à l'agriculture, la résilience repose sur un potentiel d'anticipation et un processus dynamique qui mobilisent une multiplicité de leviers afin de conférer aux systèmes considérés une capacité de résistance face à des perturbations, tout en favorisant leurs capacités d'adaptation, d'apprentissage et de transformation³. Des retours d'expérience suggèrent que plusieurs des leviers d'adaptation au changement climatique (diversification, amélioration des sols, partage d'expérience...) sont

³ GIEC : « Capacité de résistance d'un système socio-écologique face à une perturbation ou un événement dangereux, permettant à celui-ci d'y répondre ou de se réorganiser de façon à conserver sa fonction essentielle, son identité et sa structure, tout en gardant ses facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation. »

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_WGII_glossary_FR.pdf ; FAO : « Capacité à prévenir les catastrophes et les crises ainsi qu'à anticiper, absorber les chocs et adapter ou rétablir la situation d'une manière rapide, efficace et durable. » <https://www.fao.org/capacity-development/resources/good-practices/resilience/fr/>.

favorables à la résilience des systèmes agricoles vis-à-vis des chocs induits par le changement climatique (Leippert et al., 2020). Quelle que soit la démarche adoptée, il est essentiel de rappeler que **la recherche de la résilience ne doit en aucun cas être une incitation à ne pas s'attaquer à l'origine des stress et perturbations** (et donc à l'atténuation du changement climatique).

2.4.2. Les leviers fondés sur la biodiversité et les écosystèmes

▪ Les solutions fondées sur la nature

Les solutions fondées sur la nature (SfN) ont été définies par l'UICN de la façon suivante: « Actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société, dont l'adaptation au changement climatique, de manière efficace, durable et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité. » Parmi les SfN, celles qui répondent plus spécifiquement aux enjeux posés par les effets du changement climatique par le volet de l'adaptation sont appelées SafN (Solutions d'adaptation au changement climatique fondées sur la Nature).

Concrètement et à titre d'exemple, quelques exemples de SfN mobilisables pour accroître la résilience de l'agriculture au changement climatique :

- promotion de l'arbre et de l'arbuste au sein des systèmes agricoles (haies, bosquets, alignements d'arbres, arbres isolés, agroforesterie, agro-sylvopastoralisme),
- couverture végétale des sols (couverture permanente, choix des couverts végétaux, intercultures, bandes enherbées, enherbement du rang et de l'inter-rang, prairies permanentes ou temporaires,
- adaptation des pratiques culturales (choix des variétés et des cultures, adaptation et diversification dans la rotation, association de cultures, limitation du travail du sol),
- actions en lien avec les milieux aquatiques et humides (ripisylves, mares, bandes tampons, restauration hydromorphologique, zones d'expansion de crues...).

Dans le cadre du projet Life Artisan coordonné par l'OFB, un collectif d'acteurs régionaux s'est mobilisé pour mettre en place sur 10 sites démonstrateurs des solutions fondées sur la nature en vue de s'adapter au changement climatique. À titre d'exemple, sur le site pilote du bassin versant du Néal (35), le projet s'est traduit par une restauration des milieux aquatiques en tête de bassin versant. Sur la communauté de communes Cingal Suisse Normande (14), le projet a conduit à la remise en place de haies bocagères et de plantations en vue de réduire les pertes de rendement des productions agricoles.

- **Les pratiques agroécologiques, l'agriculture de conservation des sols..., sont-elles adaptées au changement climatique ?**

Pour faire face aux pluviométries abondantes et violentes :

- réduire l'énergie cinétique des pluies notamment par la présence d'un couvert végétal ;
- stabiliser les agrégats du sol en remontant par exemple la teneur en carbone des sols ;
- accroître les capacités d'infiltration (les techniques sans labour y contribuent) ;
- recréer des ruptures de pente ou réduire la longueur des parcelles ;
- réintroduire ou maintenir des infrastructures agroécologiques en périphérie des parcelles (haies, bandes enherbées, agroforesterie...).

Pour s'adapter aux sécheresses et températures extrêmes :

- reconcevoir des systèmes de culture plus diversifiés, avec des cultures moins consommatrices / plus efficaces dans l'utilisation de l'eau ;
- adapter les itinéraires techniques, par exemple les stratégies d'esquive ;
- maintenir les sols couverts par un végétal vivant ou un mulch ;
- améliorer la rétention en eau des sols.

Des premières mesures sur des parcelles conduites en « agriculture de conservation des sols » montrent un gain sur la capacité d'infiltration du sol, une meilleure stabilité des agrégats et une légère amélioration de la réserve utile d'environ 10 à 15 % sur les horizons de surface (0-10 cm).

- **Réponse de l'AB au changement climatique**

L'Agriculture Biologique est exposée comme toutes les activités agricoles aux conséquences du changement climatique et on peut considérer que les enjeux pour l'agriculture biologique sont à peu près les mêmes que ceux des autres modes de production. L'ITAB considère cependant que l'AB possède des atouts pour s'adapter aux changements climatiques :

- une diversité plus importante des cultures et des activités au sein d'une exploitation en AB qui devrait atténuer les conséquences des changements climatiques ;
- des sols plus riches en matières organiques que ceux d'autres modes de production lui confèrent une meilleure résistance à la sécheresse ;
- une moindre dépendance des systèmes de culture en AB à l'irrigation du fait aussi d'une plus faible fréquence de cultures de printemps.

Enfin l'ITAB considère qu'il faut mener de front la recherche de solutions visant l'atténuation et en même temps l'adaptation aux changements climatiques, ce qui en soi s'applique à l'ensemble des modes de production.

Sur la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou, exposée à des sécheresses estivales chroniques, les ingénieurs de la chambre d'agriculture, en prévision des changements climatiques, ont dû adapter les méthodes de production des fourrages et la conduite du troupeau allaitant en AB :

Fourrages : avancement des dates de semis, prairies multi espèces, mélanges de céréales et protéagineux en remplacement du maïs, implantation de prairies sous couvert... mise en place d'un stock fourrager de sécurité

Conduite du troupeau : réduction du chargement à l'hectare, double période de vêlage stricte, autonomie alimentaire et rationnement économe.

Des recherches sont en cours pour tester de nouvelles modalités de conduite : réduire l'âge au premier vêlage, réduire la compétition feed/food, accroître la valorisation de l'herbe au pâturage.

▪ Que peut-on attendre de l'épigénétique ?

Selon l'INSERM, « l'épigénétique correspond à l'étude des changements dans l'activité des gènes, n'impliquant pas de modification de la séquence d'ADN et pouvant être transmis lors des divisions cellulaires. Contrairement aux mutations qui affectent la séquence d'ADN, les modifications épigénétiques sont réversibles. »

Dans les exemples communs, on cite souvent le cas de l'abeille qui, par une alimentation surabondante en gelée royale, peut faire d'une simple larve d'abeille une reine.

Chez les bovins, on identifie plusieurs types de conditions externes pouvant influencer sur l'expression des gènes : les conditions d'élevage, la nutrition, les conditions climatiques, l'exposition aux pesticides.

L'épigénétique permet d'envisager de nouveaux outils pour une gestion optimisée de l'élevage :

- définir au mieux les besoins de l'animal pour assurer bien-être, santé et performances ;
- évaluer toutes les conséquences des changements environnementaux et évolution des pratiques à court et long termes.

Elle peut fournir aussi de nouvelles informations à intégrer dans les évaluations génétiques notamment concernant la plasticité génétique des animaux qui peut leur conférer un certain degré d'adaptation à leur environnement et en faire des animaux plus résistants aux stress (résilience).

▪ **L'agroforesterie peut-elle être une réponse au changement climatique ?**

D'après l'Association Française d'Agroforesterie, l'introduction de l'arbre dans les systèmes agricoles apporte des réponses aux conséquences du changement climatique sur deux plans.

En termes d'atténuation :

- stockage de carbone dans les sols et dans les arbres,
- diminution des émissions de gaz à effet de serre par l'amélioration du bilan énergétique des fermes.

En termes d'adaptation :

- protection des cultures et des élevages face aux excès climatiques,
- amélioration des bilans hydriques.

La fonction d'ombrage de l'arbre peut apporter une protection aux animaux, aux cultures et aux bâtiments en période de fortes chaleurs. Les haies d'arbres jouent aussi un rôle dans l'atténuation du vent et la protection des cultures qui y sont exposées.

Sur le plan hydrologique, les lignes d'arbres favorisent l'infiltration de l'eau en période humide et peuvent permettre de réduire les risques d'érosion hydrique sur les longues parcelles en pente.

2.4.3. Les leviers technologiques

▪ **Les bâtiments d'élevage du futur**

L'élevage d'animaux en bâtiments, notamment les porcins, est exposé, avec le changement climatique, au problème des températures extérieures élevées pouvant avoir un impact sur le bien-être des animaux et les performances de l'élevage. Une des voies possibles, étudiée par l'IFIP, consiste à maintenir les animaux dans une zone de confort thermique en s'affranchissant au maximum des conditions climatiques externes tout en garantissant un renouvellement suffisant de l'air. Plusieurs pistes d'adaptation sont testées et d'autres déjà opérationnelles : le *cooling*, la brumisation, le brassage de l'air, le *drip cooling*, les échangeurs thermiques, les sols thermorégulés... mais aussi la gestion des coups de chaleurs par le décalage de la distribution d'aliment, l'adaptation des rations aux températures, des bâtiments d'élevage avec plus de surface par animal, des bâtiments d'élevage avec des accès extérieurs... et encore beaucoup de questions sur les types d'élevage dans le futur.

▪ Les fruits et légumes sous abris autonomes

Les fruits et légumes, comme les autres productions sont exposés directement (cultures de plein champ) ou indirectement (cultures sous abris) aux conséquences des changements climatiques. Le CTIFL travaille plusieurs pistes d'adaptation et à titre d'exemple :

- variétés et porte-greffes : adaptation vis-à-vis des besoins en froid par exemple ;
- équipements de protection : ombrage pilotable en culture maraîchère, protection des vergers (bâches, filets) ;
- capteurs connectés : par exemple pilotage de l'irrigation en verger ;
- agroécologie : par exemple projet ALTO ;
- efficacité énergétique des serres ;
- ravageurs : Techniques des Insectes Stériles (TIS), nouveau laboratoire au CTIFL.

Concernant la production sous serres, divers aménagements sont ou ont été étudiés afin de réguler la température intérieure (Figure 21).

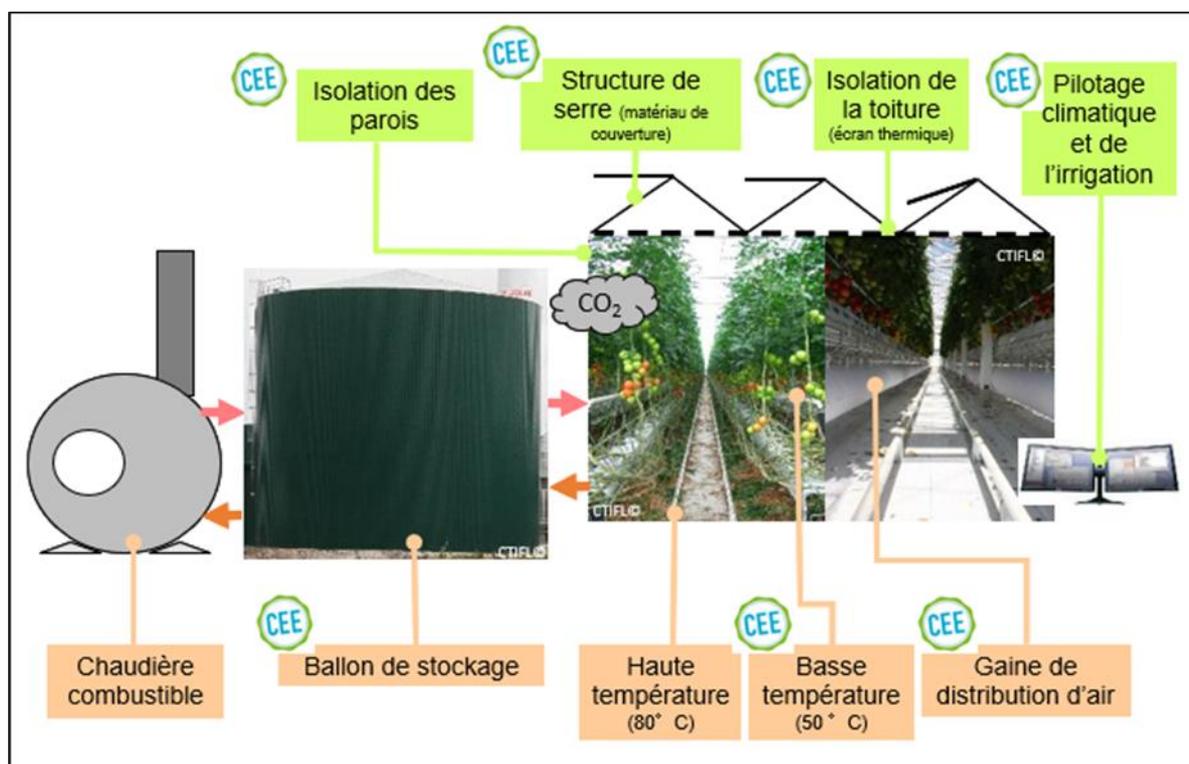


Figure 21. Schéma des adaptations possibles sur les serres en vue des changements climatiques.

De nouveaux concepts apparaissent, notamment celui des abris semis fermés avec un pilotage automatisé à partir de modèles et de capteurs procurant plus d'autonomie, mais cela ne représente aujourd'hui en France qu'une centaine d'hectares.

- L'agrivoltaïsme peut-il apporter des réponses au changement climatique ?

Une définition réglementaire de l'agrivoltaïsme est donnée dans le cahier des charges de l'appel d'offres innovation (DGEC/CRE). Il s'agit d'installations permettant de coupler une production photovoltaïque secondaire à une production agricole principale en permettant une synergie de fonctionnement démontrable.

Une illustration des différents types d'agrivoltaïsmes est proposée dans l'étude ADEME «Caractériser les projets photovoltaïques sur terrain agricole et l'agrivoltaïsme» (Céline Mehl et Nicolas Tonnet, ADEME ; Figure 22).

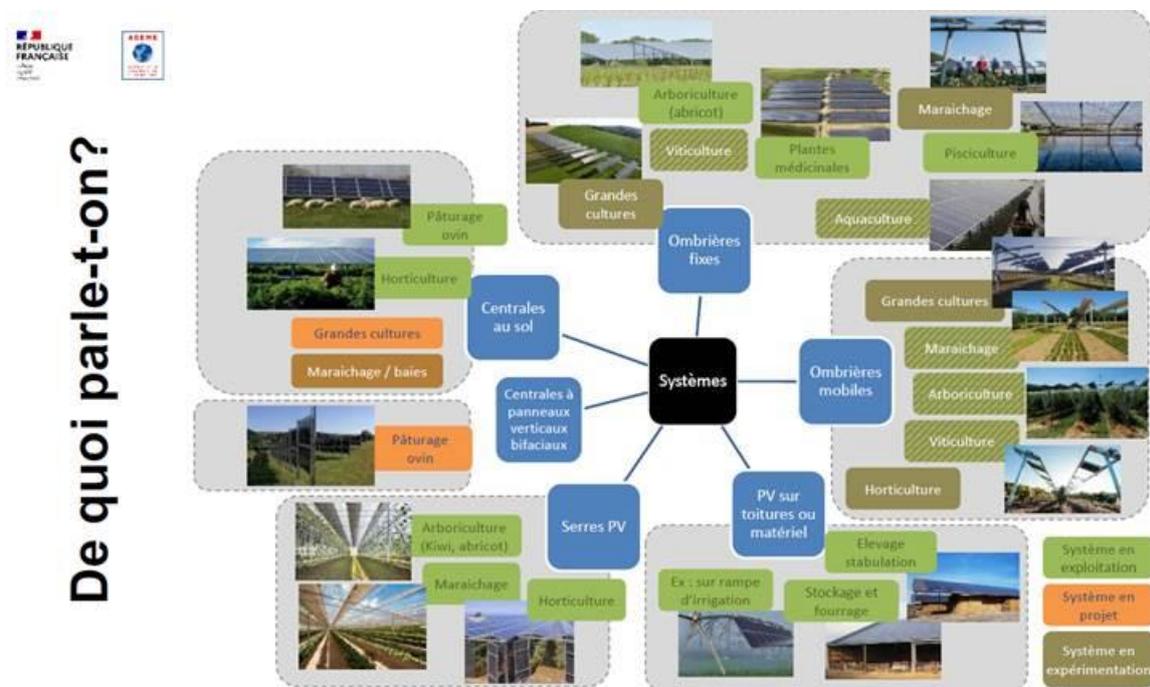


Figure 22. Représentation des différents types d'agrivoltaïsme.

L'exemple d'un producteur maraîcher en Charente-Maritime, M. Yoann Bernardin, illustre concrètement les performances techniques permises par une installation de serres photovoltaïques, couplant la production maraîchère et la production d'électricité.

▪ **Organisation collective pour la réutilisation des eaux usées en région AURA**

L'ASA de Limagne Noire utilise (ou recycle) une partie des eaux usées de la ville de Clermont Ferrand depuis 1998 pour l'irrigation de 750 ha répartis sur 50 exploitations.

La réglementation française actuelle (arrêté 2/8/2010) fixe un certain nombre de règles :

- suivi qualitatif hebdomadaire de l'eau ;
- traçabilité des volumes utilisés sur parcelles ;
- une qualité définie de l'eau pour chaque usage ;
- des contraintes supplémentaires pour l'irrigation (distances, vent, pente, aspersion...).

Un nouveau règlement européen (25/5/2020), applicable à partir du 20/06/2023 va renforcer le niveau d'exigence sur les niveaux de qualité de l'eau et l'établissement d'un plan de gestion des risques précisant l'organisation, les barrières selon les usages...

Le retour d'expérience par le président de l'ASA est à ce jour le suivant :

Avantages	Inconvénients
Absence de conflit d'usage sur la ressource, Traitement tertiaire, Qualité de l'eau, Eau déjà taxée, Consensus grand public, Substitution au prélèvement « eau naturelle », Lieu de R&D.	Réglementation complexe, Système basé sur « système de précaution » à son paroxysme, Surveillance qualitative coûteuse, Suivi traçabilité lourd, Dichotomie avec absence de contraintes sur prélèvement en rivière, Utilisation d'eau parfois constitutive du débit du cours d'eau récepteur, Traitement tertiaire pouvant être coûteux si pas de lagunage.

2.4.4. Adaptations à l'échelle des exploitations, des filières et des territoires

- **Systèmes de culture prospectifs, dispositif Syppre**

Le dispositif Syppre à l'initiative de 3 instituts techniques (ARVALIS, Terres Inovia, ITB) est composé de 5 plateformes expérimentales dans des milieux pédoclimatiques différents dont l'objectif est d'évaluer les performances de systèmes de culture prospectifs, visant à concilier agronomie et écologie pour produire davantage et en qualité, en étant rentable et compétitif, d'une manière respectueuse de l'environnement. Après 4 campagnes d'expérimentation, des premiers résultats sont disponibles (Figure 23).

Résultats 2017-2020		Picardie	Champagne	Berry	Lauragais	Béarn T3	Béarn I1
Technique et Env.	↘ 20% N Min						
	↘ 50% IFTréf*						
	↘ 20% EGES						
	≥ Stock MO						
	↘ 20% Cons. NRJ						
Rentabilité	≥ Marge D. / ha						
	≥ EBE / UTH						
Productiv.	≥ Prod° NRJ						
	≥ Efficience NRJ						

Figure 23. Performances des systèmes innovants par rapport au système de référence.

Code couleur : blanc : résultats non significatifs, vert au rouge : résultats significatifs favorables à défavorables

Béarn I1 : couvert – maïs/orge – soja/blé – cive

Béarn T3 : Cive maïs/couvert - soja

Les premières conclusions apportent les indications suivantes :

- l'objectif de la multi-performance n'est pas atteint mais quelques situations sont prometteuses.
les performances techniques et environnementales s'améliorent au détriment de la productivité et de la rentabilité
- la maîtrise des techniques culturales est encore imparfaite.
- l'effet « système », susceptible d'apporter de la résilience n'est pas encore observé.

- Du diagnostic de situation à des programmes d'actions régionaux ; exemple, le projet AP3C dans le Massif central et Clima-XXI dans le Gard

À l'initiative des chambres d'agriculture, des diagnostics territoriaux ont été établis afin d'identifier à partir d'indicateurs, les conséquences locales du changement climatique afin de reconstruire des systèmes de production adaptés et plus résilients. Ce travail est détaillé au paragraphe 1.3. À ce jour, le diagnostic territorial est terminé dans ces deux territoires et les services de conseil de la Chambre d'agriculture proposent déjà un accompagnement individualisé :

Le projet Clima-XXI a permis de sensibiliser plus de 600 agriculteurs et d'étudier 40 situations individuelles avec un conseil de plan d'actions.

Le projet AP3C propose aujourd'hui des documents de conseil pour les agriculteurs du périmètre concerné.



GOUVERNEMENT

 Liberté

 Égalité

 Fraternité

VARENNE AGRICOLE

 EAU | CHANGEMENT CLIMATIQUE

AP3C: Quel transfert des résultats aux acteurs du territoire ?

Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement climatique

- Des formations auprès des agriculteurs
- Mobilisation des résultats dans l'accompagnement des collectifs
- Des formations auprès des conseillers
- Transfert auprès des structures d'enseignement agricole
- Colloques, vidéos, articles de presses, ...
- Vulgarisation des résultats : plaquettes Mas central, plaquettes départementales, plaquettes cultures départementales, fiches témoignages, ...





10

Figure 24. Exemple de conseils agriculteurs issus du projet AP3C.

- Les systèmes fourragers face au changement climatique**

Une mission d'étude en cours au CGAAER conduite par Françoise Lavarde et Christophe Patier a été lancée avant l'ouverture du Varenne de l'eau sur l'analyse des systèmes fourragers face au changement climatique

Elle vise à établir un état des lieux de la recherche et du développement sur les leviers d'adaptation des systèmes fourragers et de l'élevage des ruminants au changement climatique et sur la vulgarisation des travaux des organismes de développement.

Parmi ces leviers, on trouvera sélection d'espèces végétales, adaptation des élevages, races adaptées, conduite des troupeaux, valorisation des produits, techniques de pâturages et de conservation des fourrages, autonomie fourragère.

La mission inclut également un examen des conséquences du changement climatique sur les territoires d'élevage (du point de vue d'une part des initiatives et solidarités territoriales, d'autre part des paysages et de l'espace), et de la capacité des acteurs à s'adapter.

Les conclusions provisoires de cette mission relèvent les points suivants :

- Il existe des solutions éprouvées (sans préjudice de l'effort de R&D à maintenir), dont la diffusion mériterait d'être mieux cernée et organisée. En dépit d'un accès aisé, la profusion de sources et l'absence de solution unique généralisable pénalisent l'appropriation.
 - L'engagement des filières est réel et soutenu.
 - La participation des exploitants à des groupes de pairs ou de développement et le diagnostic climatique de l'exploitation et de son environnement constituent des clés pour engager des transitions.
 - Les coûts d'investissement et les risques pris en engageant des transitions appellent un accompagnement.
 - Les acteurs publics ont un rôle à jouer dans l'animation et l'accélération des transformations, au-delà de l'orientation par le caractère structurant des aides, sur tous les leviers d'adaptation identifiés.
- Penser l'adaptation au changement climatique non seulement à court terme mais au-delà de l'horizon de 2035, tant du point de vue du climat que de l'aménagement du territoire.

2.4.5. Sondage des participants à la conférence « Quelles agricultures de résilience ? » : résultats et interprétation

La conférence sur les agricultures de résilience a réuni 198 participants d'horizons divers (Figure 25) mais pour moitié des usagers de l'eau du secteur agricole et a fait l'objet d'un sondage dont les résultats sont présentés ci-après (Figures 26 à 28).

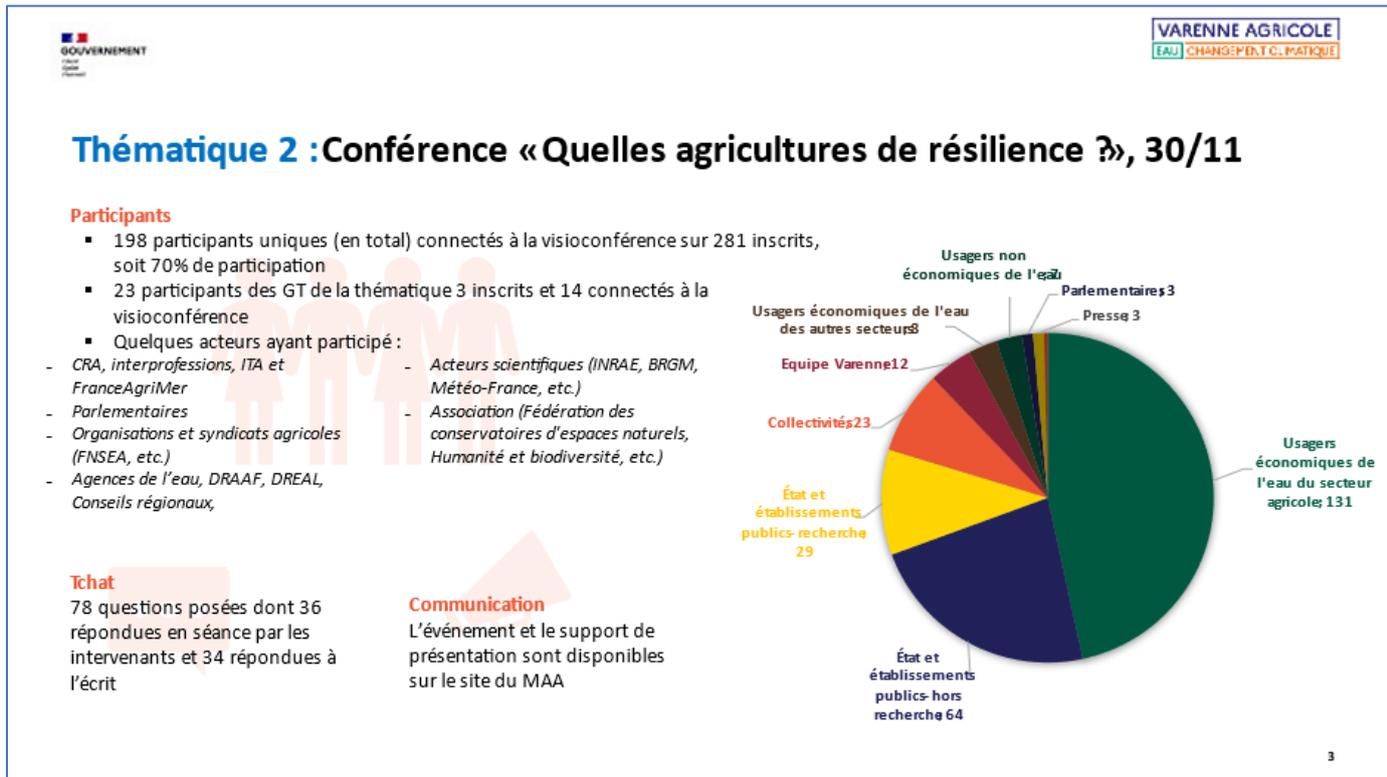


Figure 25. Répartition des profils des participants à la conférence « Quelles agricultures de résilience ? ».

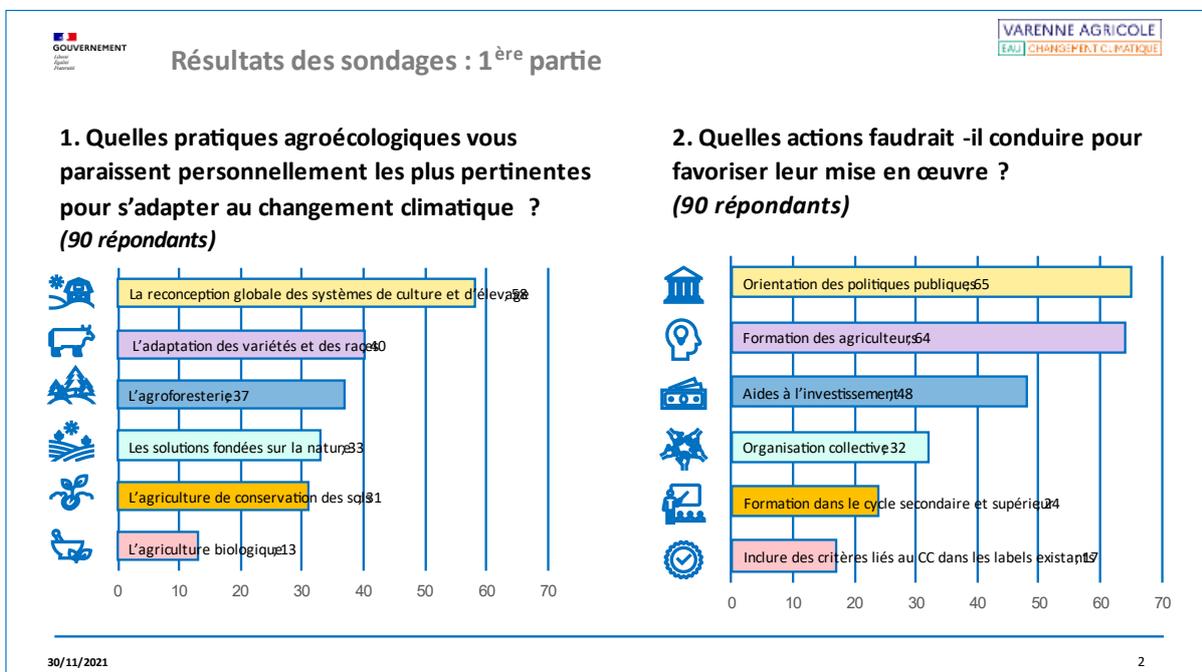


Figure 26. Résultats du sondage sur la première partie de la conférence.

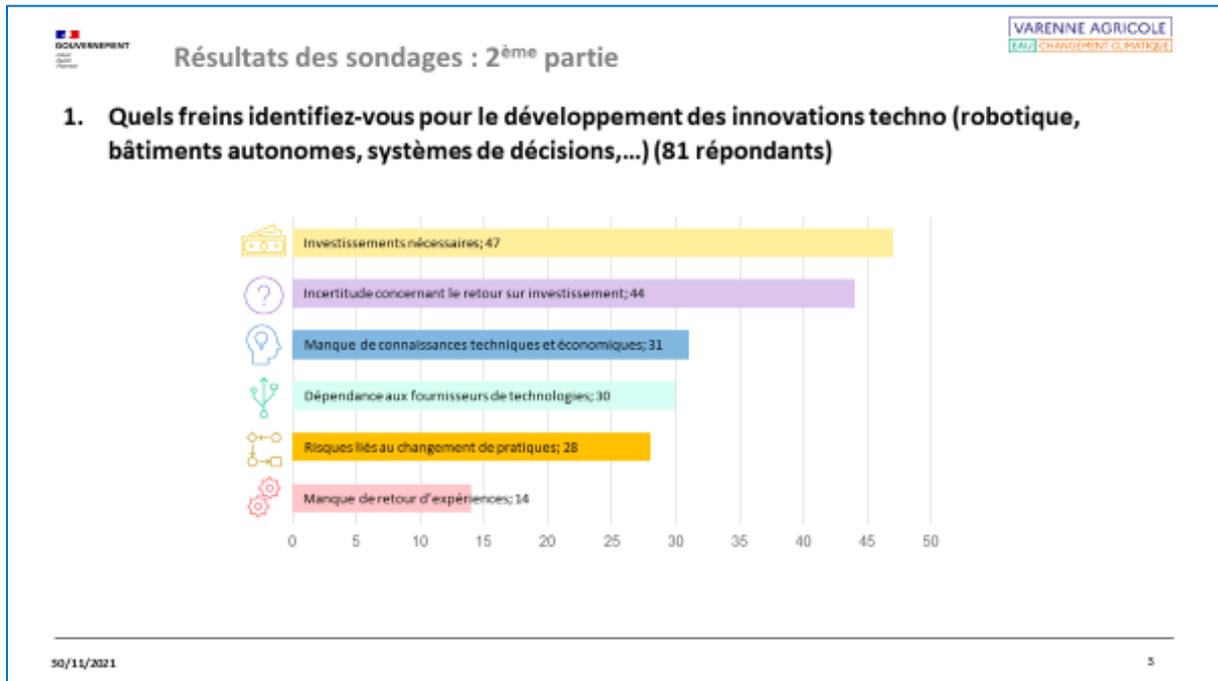


Figure 27 : Résultats du sondage sur la deuxième partie de la conférence.

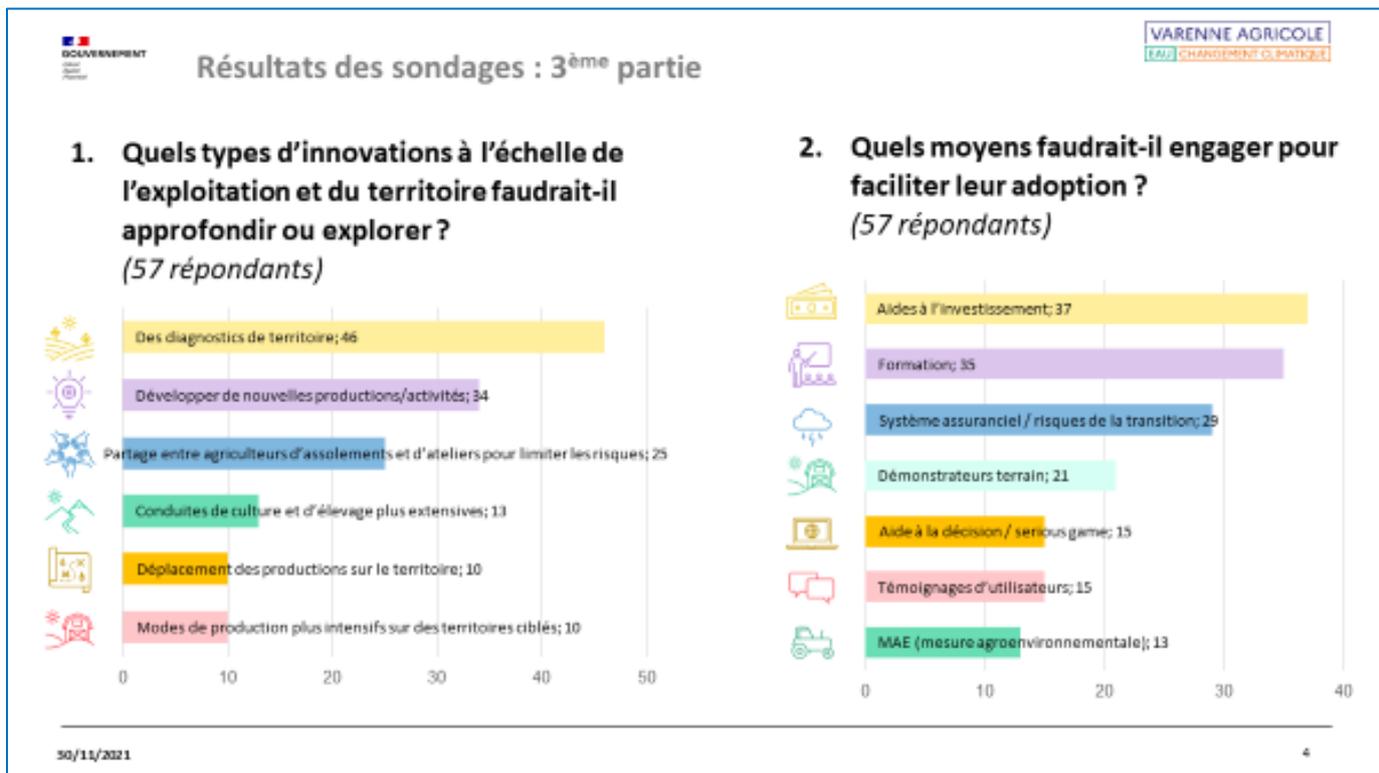


Figure 28. Résultats du sondage sur la troisième partie de la conférence.

En synthèse des sondages :

- La reconception globale des systèmes de culture et d'élevage est considérée comme la voie la plus pertinente pour l'adaptation au changement climatique.
- Les actions à conduire pour aller dans cette voie sont à égalité avec les orientations des politiques publiques et la formation des agriculteurs.
- Les investissements apparaissent comme des freins pour la mise en œuvre des innovations technologiques.
- Les diagnostics de territoire sont identifiés comme les priorités à mettre en œuvre.
- L'aide à l'investissement et la formation sont les moyens à prioritaires à engager.

PARTIE 3 : Les livrables de la thématique 2 et perspectives

3.1. Les livrables de la thématique 2

Le groupe de travail et ses partenaires (cellule RIT et RMT ClimA) de la thématique 2 du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique ont produit plusieurs types de livrables, disponibles en plus du présent rapport de synthèse :

- les supports des conférences thématiques (vidéos, diapositives et réponses aux questions, disponibles sur le site du ministère de l'agriculture) ;
- une charte d'engagements réciproques État/Filières/Territoires ;
- la matrice des leviers d'adaptation au changement climatique (coproduction RMT ClimA et Cellule RIT), infographie pédagogique et fiches GECO ;
- la synthèse des attentes des filières et des parties prenantes ;
- 13 Diagnostics territoriaux ;
- les recommandations du GT2 (voir conclusions du rapport).

3.2. Les perspectives de la thématique 2

Après la clôture des travaux du Varenne de l'eau, un certain nombre de travaux vont se poursuivre :

- poursuite des activités de la cellule RIT et du RMT ClimA (voir § 2.1.2) ;
- poursuite des diagnostics territoriaux vers les plans d'actions (voir § 1.3.5) ;
- des actions de communication valorisant la base de données (webinaires, infographies, séminaires...);
- la mise en place d'un suivi des travaux conduits par les filières, assuré par FranceAgriMer ;
- des projets de recherche et développement pour l'accompagnement des dynamiques territoriales (par exemple, démonstrateurs territoriaux) ;
- des plans d'actions régionaux, issus du croisement entre filières et territoires ;
- un accompagnement financier par les grandes politiques publiques mobilisant des crédits de divers fonds (PIA4, CASDAR, Horizon Europe...).

Accompagnement financier par les grandes politiques publiques

Pour accompagner les transitions nécessaires induites par le changement climatique, plusieurs politiques publiques et leviers existent ou se mettent en place.

Le compte d'affectation spéciale « développement agricole et rural » (CASDAR)

Cet outil a vocation à être mobilisé pour soutenir la recherche d'innovations opérationnelles au service de l'adaptation au changement climatique et de l'atténuation de ses conséquences, dans le cadre du PNDAR 2022-27 qui comprend, parmi ses thématiques prioritaires la lutte contre le changement climatique en participant à en atténuer l'ampleur et en s'adaptant à ses effets, et la préservation de la qualité de l'eau, de l'air et du sol.

Le PNDAR pourra ainsi accompagner les acteurs du développement agricole, notamment les instituts techniques agricoles (ITA), dans les travaux de R&D nécessaires pour éclairer les effets du changement climatique, pour explorer des voies d'adaptation, pour concevoir et tester des innovations qui conjuguent adaptation au changement climatique, atténuation et mise en œuvre des principes de l'agroécologie en visant la re-conception des systèmes agricoles. Cet accompagnement du PNDAR pourra ainsi venir en soutien des axes de R&I identifiés par les filières, à travers les programmes pluriannuels proposés par les ITA ou des projets dédiés. Il favorisera les approches multi-acteurs qui ont fait leurs preuves dans le cadre de la précédente programmation, en stimulant les collaborations entre instituts techniques, chambres d'agriculture, ONVAR, recherche et enseignement, groupes de terrain tels que les GIEE. Tous les leviers du CASDAR sont susceptibles d'être mobilisés, et en particulier les 3 appels à projets définis dans le cadre de la nouvelle programmation : AAP connaissances, AAP co-conception et AAP démultiplication.

Pour l'année 2022, une enveloppe dédiée de 2M€ a d'ores et déjà été annoncée par le ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation pour les projets issus de ces AAP sur le thème de l'adaptation au changement climatique.

Le PNDAR apporte également un soutien pluriannuel au RMT (réseau mixte technologique) ClimA, renforcé en 2021-22 par un soutien à la cellule RIT (APCA-ACTA-INRAE) pour construire une boîte à outils pour l'ensemble des filières et territoires.

Le programme Horizon Europe

Le programme Horizon Europe comprend, dans le cadre de son pilier II « Les problématiques mondiales et la compétitivité industrielle européenne », différents outils permettant un financement de projets en lien avec les thématiques du Varenne :

- Les AAP de la « Destination : La terre, l'océan et l'eau pour l'action climatique » du Cluster 6 « Alimentation, bioéconomie, ressources naturelles, agriculture et environnement » d'Horizon Europe permettent de financer des projets partenariaux et multi-acteurs s'appuyant sur des cas d'études et expériences territoriales. Des AAP annuels sont ouverts depuis 2021 et jusqu'en 2027.
- La Mission « Adaptation au changement climatique » qui a vocation à soutenir des recherches orientées vers des solutions pour la société et les secteurs d'activités concernés. L'objectif général de la Mission est de soutenir au moins

150 régions et communautés européennes vers la résilience climatique d'ici 2030. Les acteurs agricoles en région pourront s'appuyer sur la dynamique du Varenne pour s'inscrire dans des projets candidats. Les activités de la Mission ont été lancées en 2021 et monteront en puissance jusque 2030.

- Le Partenariat Européen « Water4All » associant la Commission, les États Membres, des Régions Françaises et Instituts de Recherche, a pour objectif de concentrer les efforts de recherche et d'innovation et les financements relatifs aux problématiques de l'eau en Europe afin d'assurer la sécurité de l'eau pour tous et sur le long terme, en stimulant les transformations et les changements systémiques dans l'ensemble de la chaîne de recherche et d'innovation ainsi qu'en favorisant la mise en relation entre ceux qui rencontrent des problèmes et les fournisseurs de solutions. Le Partenariat lancé en janvier 2022 financera de façon récurrente des projets de R&I dans les différents territoires européens.

France Relance : dès aujourd'hui, un accompagnement des filières sur l'adaptation et l'atténuation du changement climatique avec

- Une aide à l'investissement en matériel de protection individuelle contre les gel, la grêle, la sécheresse, dotée d'une enveloppe de 120 M€. La 3ème vague de cette aide est ouverte depuis le 13 décembre 2021. Elle est complétée d'une aide à des investissements collectifs pour lesquelles deux enveloppes, respectivement de 20 M€ et 12 M€, ont été ouvertes, afin d'accompagner le financement de 36 projets d'irrigation collectifs.
- Le Plan protéines végétales : plus de 150 M€ qui contribuent à l'autonomie alimentaire des élevages et à la réduction de la déforestation importée par le développement des protéines végétales
- Le programme « Plantons des haies » qui a pour objectif de favoriser la biodiversité autour et à l'intérieur de leurs cultures en reconstituant les haies bocagères qui les entourent et en implantant des alignements d'arbres (agroforesterie intraparcellaire), doté d'une enveloppe de 50M€
- Le bon « Bilan carbone » avec une enveloppe de 10 M€ a pour objectif d'offrir la possibilité aux agriculteurs nouvellement installés depuis moins de 5 ans, de réaliser un diagnostic carbone suivi d'un plan d'actions et d'un accompagnement personnalisé de leur exploitation, pour s'engager dans la transition agroécologique et de se mobiliser dans la lutte contre le changement climatique.

Le PIA et France 2030 au service des stratégies de filières et des territoires

Pour l'accompagnement financier des stratégies de filière et des territoires, les dispositifs et outils financiers du PIA 4 et de France 2030 pourront également être mobilisés.

Le PIA 4 joue un rôle d'anticipation et de démonstration pour les 5 à 10 ans qui viennent. Il soutient d'ores et déjà :

- ✓ les actions de recherche et d'innovation en faveur de la transition écologique, y compris en matière de gestion durable de la ressource en eau (Figure 29) ;
- ✓ les porteurs d'innovations de toutes natures (technologiques, numériques, agronomiques et organisationnelles), éprouvées et utiles aux filières territorialisées confrontées aux enjeux du Varenne, ont plusieurs opportunités qui s'offrent à eux.
 - **L'appel à manifestations d'intérêt "démonstrateurs territoriaux", doté de 87 M€** pour les projets de la stratégie agricole du PIA 4, qui vient d'être lancé. Il permettra de soutenir des approches d'innovation territoriale en lien avec les enjeux de la gestion de l'eau sous contraintes. Ces projets, pouvant durer jusqu'à 5 ans et pouvant mobiliser jusqu'à 10 M€ de subvention, devront être portés par un consortium d'acteurs incluant des collectifs d'agriculteurs, des collectivités, des acteurs de l'amont et de l'aval, la société civile, des structures de formation, de recherche et d'innovation. Une première échéance de dépôt est fixée au 1^{er} juin 2022 suivie d'une seconde le 2 décembre 2022.
 - **L'appel à projets dit Agri Tech lancé le 5 novembre 2021, doté de 90 M€ pour sa partie agricole.** Il permet d'accompagner des projets portant essentiellement sur des innovations technologiques et numériques indispensables pour aider à prendre des décisions tactiques et stratégiques en lien avec le besoin en eau des plantes et des animaux. Ces projets peuvent être déposés par une entreprise ou par un collectif comprenant des entreprises dans le cadre des deux échéances fixées le 24 mars et le 16 juin prochains.
 - **L'appel à manifestation d'intérêt sur les compétences et métiers d'avenir lancé 16 décembre 2021** par le Premier ministre et qui va se décliner sur le volet agricole, doté **au moins de 22 M€ sur 3 ans**. Il offre la possibilité de préparer les compétences de demain indispensables pour gérer une ressource mal répartie dans le temps et dans l'espace, pour gérer l'aléa climatique et, au final, pour prendre des risques en situations d'incertitude.
 - **Le premier appel à projets sur les légumineuses, vient d'être lancé et est doté de 25 M€.** Il complète le plan annoncé il y a un peu plus d'un an. Pour le Varenne, il présente un intérêt à moyen terme : il va permettre d'allonger les rotations et d'améliorer progressivement la résilience des sols agricoles concernés. Il sera clos le 28 avril 2022.

Enfin, dans le prolongement de ces approches et pour les faire connaître voire pour les répliquer à bon escient, **France 2030** permettra de soutenir les exploitations agricoles engagées dans des démarches d'optimisation de la ressource en eau et les

projets visant à structurer des filières innovantes répondant aux enjeux du changement climatique.

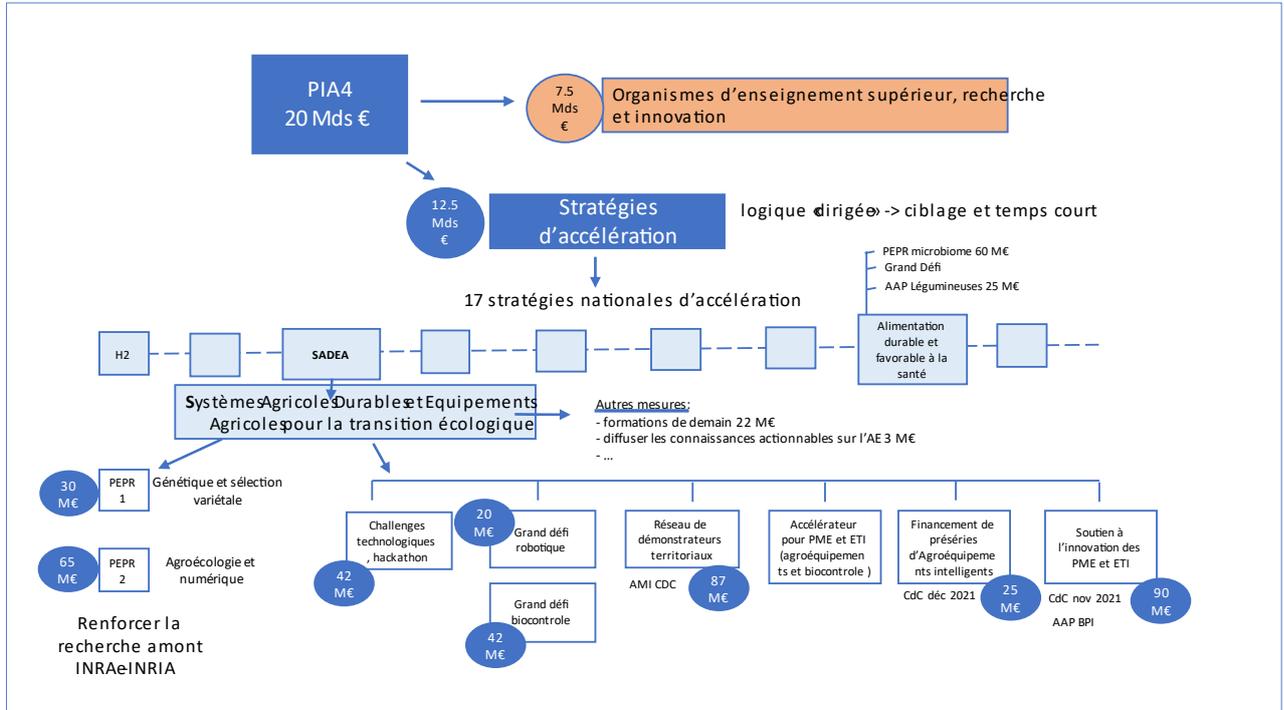


Figure 29. Représentation schématique de financements mobilisables dans le cadre du PIA4.

Conclusions et recommandations de la thématique 2

Les conséquences du changement climatique sont multiples et impactent déjà toutes les activités agricoles. Le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique regarde la question au travers du prisme de l'eau, au sens large, mais nous savons que les conséquences du changement climatique portent aussi sur de nombreux autres points, en particulier :

- la pression parasitaire de plus en plus forte avec des parasites émergents toujours plus nombreux ;
- les productions végétales et animales qui baissent en volume, victimes souvent d'évènements climatiques extrêmes, plus fréquents d'après Météo-France ;
- la perturbation des cycles de production qui désorganise les approvisionnements et les marchés ;
- la qualité des produits fortement dégradée dans certains cas, incitant à revoir dans certains cas les procédés de transformation.

Les conférences interactives organisées sur 3 thématiques (génétique et sélection végétale/animale; irrigation efficiente; agricultures de résilience) éclairent nos réflexions sur plusieurs points :

- Nous disposons d'une recherche fondamentale et appliquée, publique et privée, active sur ces sujets, souvent en avance sur la scène internationale, donnant des perspectives réelles et dans des pas de temps échelonnés entre le court et le long terme.
- Cette recherche doit être encouragée et accompagnée pour accélérer la production de livrables opérationnels.
- Il y a aussi des initiatives privées portées par des agriculteurs pionniers qui donnent à voir des pistes intéressantes dont il faudra évaluer la portée et la généralité.
- L'adaptation aux conséquences du changement climatique questionne les exploitations qui doivent s'adapter en envisageant parfois une reconception du système de production. C'est un processus de transition qui prendra du temps et qui aura besoin d'accompagnement en conseils, en financements et en références technico-économiques.
- La thématique 2 du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique a travaillé en complémentarité avec la cellule Recherche Innovation Transfert (INRAE-ACTA-APCA) et le Réseau Mixte Technologique ClimA qui rassemble tous les experts sur l'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Ce dernier travaille en particulier sur l'élaboration d'une boîte à outils des leviers permettant aux exploitations de s'adapter au changement climatique. Plus de 90 leviers, de nature différente, sont aujourd'hui identifiés et caractérisés avec chacun 15 critères d'évaluation technique, économique et organisationnelle, soit plus de 1000 informations les concernant. Les premiers éléments de cette matrice sont déjà valorisés au travers de la diffusion d'une

infographie, d'un webinaire dédié, afin d'aider les agriculteurs dans leur transition agroécologique.

- Les conférences organisées par la thématique 2 mettent en évidence l'intérêt de l'innovation et des solutions fondées sur les connaissances et la science pour accompagner les agriculteurs dans la transition climatique.
- Le livrable de ces conférences, c'est d'abord la mobilisation des meilleurs experts sur les questions agronomiques et zootechniques en lien avec le changement climatique, c'est le recueil de leurs analyses et de leurs réflexions disponibles en vidéo et en diaporama librement sur le site du ministère avec les réponses aux questions posées en direct. C'est aussi le résultat des sondages faits en séance montrant une forte attente vis-à-vis des innovations techniques et d'un accompagnement des agriculteurs dans la transition.
- Ces trois conférences nous livrent des conclusions riches à bien des égards mais attirent notre attention sur quelques points clés :
 - o l'alimentation hydrique des plantes est incontournable pour faire face au changement climatique et permettre la continuité des filières végétales et d'élevage ;
 - o il est nécessaire aussi d'actionner des leviers de résilience qui permettront d'augmenter l'efficacité de l'eau et des ressources en général ;
 - o le premier d'entre eux est celui d'une génétique végétale et animale mieux adaptée aux conditions climatiques à venir ;
 - o les techniques d'irrigation ont déjà beaucoup évolué en 20 ans mais il est possible encore de progresser sur le pilotage de l'irrigation et la gestion optimisée de la ressource en eau au sein d'une exploitation et d'un territoire ;
 - o l'évolution des systèmes d'exploitation doit se faire en partant d'un diagnostic de territoire identifiant les facteurs climatiques limitants propres à chaque périmètre agricole ;
 - o les innovations culturelles, zootechniques, technologiques, numériques, organisationnelles, etc. devront être combinées de façon pertinente et à plusieurs échelles pour apporter de vraies solutions aux agriculteurs.

Recommandations de la thématique 2

À l'issue de 6 mois de travail avec l'appui du Comité de Pilotage et s'appuyant sur plusieurs avis et témoignages d'experts dans divers domaines, le groupe de travail de la thématique 2 du Varenne de l'eau et de l'adaptation au changement climatique émet 11 recommandations :

1- Appréhender toutes les conséquences du changement climatique (stress hydrique et thermique, gel, tempêtes, excès hydriques, pression sanitaire, crues...) en valorisant les diagnostics territoriaux et les travaux menés par les filières

Les suivis météorologiques permettent de fournir des informations en temps quasi réel sur différents facteurs de stress pour les productions végétales ou animales, voire d'alimenter le calcul d'indicateurs et la production de divers services climatiques. Tout en poursuivant l'effort de collecte et de mise à disposition de ces données, il est nécessaire de développer des systèmes d'information qui permettent de caractériser, y compris de manière quantitative, les impacts des différentes dimensions du changement climatique sur divers indicateurs (rendements, qualité des produits, bien-être animal ...), afin de fournir une aide aux acteurs pour la définition de leur stratégie.

2- Améliorer le suivi de la disponibilité en eau à des échelles pertinentes pour les territoires

La disponibilité en eau (pour tous ses usages) apparaît, dans les échanges avec les experts, comme une condition essentielle pour le maintien de l'agriculture face au changement climatique qui, dans ses grandes tendances en métropole, va augmenter l'évapotranspiration (donc les besoins) et diminuer les précipitations estivales. Les leviers techniques de résilience vont permettre d'atténuer les conséquences du changement climatique mais ne permettent pas de pallier complètement la réduction de la disponibilité en eau. Le maintien des activités agricoles implique de disposer de données fiables et actualisées quant à la disponibilité de l'eau qui tiennent compte de tous ses usages. Il s'agit de compléter lorsque c'est pertinent les suivis actuels, par des suivis adaptés à des territoires agricoles.

3- Traduire les diagnostics en plans d'actions pour l'adaptation au changement climatique à l'échelle des territoires et des exploitations

Loin de se résumer à des tendances générales, les changements climatiques auront des impacts variés selon les territoires et les orientations des exploitations agricoles. Il est donc nécessaire de considérer les conséquences du changement climatique comme une mosaïque de situations différenciées par leur histoire, mais aussi par leur projet dans un nouveau cadre climatique tout en étant en cohérence avec la transition agroécologique. Il est donc important de s'appuyer sur un diagnostic et des hypothèses d'évolution à l'échelle territoriale.

Il est tout aussi pertinent d'accompagner les agriculteurs par des diagnostics et des projections à l'échelle de l'exploitation, pour les aider à concevoir et réussir leur plan d'adaptation au changement climatique. Pour accompagner les territoires et les exploitations agricoles, un soutien technique et financier sera nécessaire en mobilisant les financements locaux, nationaux et européens, de l'innovation et du développement agricole et rural (France 2030, PIA 4, Plan de Relance, *FAM appui aux filières, Feader, CasDAR, Ecophyto, financements régionaux, agences de l'eau...*)

4- Renforcer les moyens sur l'amélioration génétique végétale et animale en valorisant, sur les axes de recherche prioritaires, les méthodes de sélection les plus performantes

L'amélioration des variétés et des races est un enjeu majeur vis-à-vis du changement climatique sur lequel tous les experts s'accordent. Ceci passe par un élargissement du champ des critères de sélection (productivité, qualité, résistance aux bioagresseurs, résistance aux stress abiotiques dont la sécheresse et les stress thermiques, ...), la sélection d'espèces peu cultivées en France, ainsi que la préservation et la valorisation de la diversité génétique des races. Il s'agit aussi de mettre en œuvre les méthodes de sélection les plus appropriées en s'appuyant sur des outils et infrastructures performants (phénotypage et génotypage haut débit, sélection assistée par marqueurs, sélection génomique, NBT,...) et fondées sur l'analyse des interactions entre les génotypes des êtres vivants, leur expression et leur environnement pour apporter des réponses plus rapidement qu'autrefois aux besoins croissants de l'agriculture. En particulier, les démarches de modélisation, basées sur la prédiction génomique des réponses, doivent être soutenues.

5- Accompagner l'évolution des systèmes de production, notamment en améliorant les services rendus par le sol

Les systèmes de culture et d'élevage vont devoir s'adapter aux changements climatiques annoncés en modifiant parfois profondément leur organisation, leur fonctionnement et leur orientation. Il s'agit en particulier de mobiliser les services rendus par le sol (infiltration, résistance à l'érosion, capacité d'enracinement, réserve utile en eau, résistance à la sécheresse, stockage de carbone). Ceci nécessite un accompagnement technique et financier sur le terrain, mobilisant :

- d'une part des AAP de soutien à la recherche et à l'innovation (CASDAR – FAM, des conseils régionaux, France Relance, Horizon Europe...);
- d'autre part un appui en formation et des compétences nouvelles en matière de conseil afin de permettre, de manière opérationnelle, la transition agroécologique des systèmes d'exploitation et d'accompagner les agriculteurs dans l'évolution des pratiques culturales et de la conduite des élevages. L'impact sur l'économie des filières doit être anticipé afin que les conséquences de ces changements soient intégrées dans l'évolution des débouchés et les marchés.

6- Agréger et formaliser les connaissances sur l'adaptation de l'agriculture au changement climatique sous une forme capitalisable et interopérable avec les autres ressources existantes

L'ensemble des leviers techniques identifiés par le RMT ClimA et la cellule RIT au cours des travaux du Varenne constitue une première ressource générale et mobilisable par tous les acteurs afin d'accompagner la transition des systèmes⁴. Cette base de connaissances sera enrichie au cours du temps en fonction des nouvelles références produites. Il est nécessaire de la rendre visible et disponible à long terme, sous une forme capitalisable (fiches GECO) et interopérable avec des sites ou plateformes partenaires complémentaires afin d'optimiser le partage de l'information et l'utilisation des ressources.

7- Confier au RMT ClimA, avec l'appui de la cellule RIT, l'animation thématique et la concertation sur les leviers de résilience au changement climatique

L'élaboration et la diffusion de références sur les leviers de résilience des activités agricoles vis-à-vis du changement climatique doivent faire l'objet d'une gestion concertée à l'échelle nationale afin d'éviter des constructions parallèles et redondantes. Il s'agit aussi d'identifier les manques de connaissances, les priorités de recherche ou de R&D et de favoriser l'élaboration de nouveaux projets, notamment via un travail de concertation et d'accompagnement des acteurs. Ceci pourrait être assuré par le RMT ClimA avec l'appui de la cellule RIT.

8- Favoriser les synergies entre les acteurs du continuum recherche-innovation-transfert

Il s'agit de mettre en place, lorsqu'ils n'existent pas ou de renforcer s'ils existent déjà, des lieux d'échanges et de concertation (par exemple, démonstrateurs, *living labs*, consortiums public-privé...) sur le continuum qui va de la recherche fondamentale au transfert et à l'innovation, incluant les agriculteurs, pour accélérer les trajectoires vers l'innovation et l'impact.

⁴ Une première version de la matrice et des fiches de synthèse sera disponible fin janvier 2022 ; ce travail pourra être poursuivi par la Cellule RIT via son action de transfert et avec l'appui du réseau des experts du RMT ClimA

Ainsi, il serait pertinent de favoriser :

- d'une part, des espaces de collaboration impliquant des agriculteurs aux côtés des acteurs de la R&D et du transfert, en s'appuyant sur de nouvelles approches participatives et en visant une mise en œuvre dans différentes Régions ;
- d'autre part, des projets partenariaux entre recherche académique et recherche appliquée, notamment en mobilisant ensemble les fonds de recherche du PIA4 (par exemple les PEPR « sélection variétale avancée » et « agroécologie et numérique ») qui doivent anticiper et faciliter l'implication des acteurs de R&D au-delà de la recherche académique pour la transformation des travaux de recherche en innovations.

9- Mobiliser les financements dédiés à l'innovation (PIA4, France 2030, Horizon Europe, ...) sur les axes identifiés comme prioritaires issus des plans d'actions, régionaux ou de filières, d'adaptation au changement climatique

Plusieurs dispositifs de financement peuvent être mobilisés pour accompagner l'émergence de l'innovation: démonstrateurs territoriaux, projets agritech, compétences et métiers d'avenir, AAP légumineuses... mais il convient de servir en priorité les projets identifiés comme des enjeux majeurs d'innovation et d'intérêt collectif.

10- Enseigner la démarche d'adaptation aux changements climatiques dans les formations agricoles initiales et continues et associer les apprenants à la réalisation des projets régionaux d'adaptation

Les conséquences du changement climatique et les évolutions nécessaires pour s'adapter à de nouvelles conditions de production, soulèvent de nouveaux besoins de formation à plusieurs niveaux: enseignants, étudiants, conseillers, agriculteurs... Il est souhaitable que cette approche de l'adaptation au changement climatique soit clairement intégrée, de façon transversale et interdisciplinaire, dans les programmes de formation initiale et dans la formation continue des professionnels de l'enseignement du conseil et de la production. Les apprenants doivent être associés en région à des projets d'expérimentation et d'innovation. De même, la rénovation des référentiels des diplômes ainsi que la participation de structures de l'enseignement agricole au RMT ClimA constituent des exemples d'opportunités à saisir.

11- Assurer la cohérence des politiques publiques d'accompagnement

Les politiques publiques en matière agricole orientent le devenir des filières et des exploitations au regard de différents enjeux: compétitivité, répartition de la valeur, protection de l'environnement, stratégie bas carbone, biodiversité, adaptation au changement climatique... Il est important de veiller à la cohérence d'ensemble de ces politiques aux différentes échelles, afin d'éviter d'éventuels antagonismes ou contradictions et de favoriser les synergies.

Liste des sigles et abréviations utilisés

AAP	Appel à projets
ACTA	Association de coordination technique agricole
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AFOM	Atouts, faiblesses, opportunités, menaces
AgriClim Change	Base de données des indicateurs agro-climatiques CA Bretagne, Pays-de-la-Loire et Normandie
ALTO	Systèmes en Arboriculture et Transition agroécologique
AP3C	Adaptations des pratiques culturales au changement climatique
APCA	Assemblée permanente des chambres d'agriculture
ASA	Association syndicale autorisée
AURA	Auvergne-Rhône-Alpes
CACG	Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne
CASDAR	Compte d'affection Spécial au Développement Agricole et Rural
Cellule RIT	Cellule recherche Innovation transfert
CGAAER	Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CIMS	Culture intermédiaire multi-services
CIR	Crédit d'impôts recherche
CIVE	Culture intermédiaire à vocation énergétique
ClimA-XXI	Climat et Agriculture au XXIème siècle
CRAO	Chambre régionale d'agriculture d'Occitanie
CRISPR/Cas9	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats associated protein 9
CS FAM	Conseil spécialisé de FranceAgriMer
CTIFL	Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes
CTPS	Comité Technique Permanent de la Sélection des plantes cultivées
DGALN	Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature
DGEC	Direction générale de l'Energie et du Climat
DGER	Direction de l'enseignement et de la recherche
DGPE	Direction générale de la performance économique et environnementale des entreprises
DRAAF	Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DRIAS	Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement
EDEN	Entrepôts de Données spatiales au service de l'évaluation des performances ENergétique des entreprises agricoles
FAM	FranceAgriMer
FAO	Food and agriculture organisation

GECO	Site collaboratif GEstion des COnnaissances
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IRSTEA	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
ITA	Institut Technique Agricole
ITB	Institut Technique de la Betterave
LACCAVE	Long term Adaptation to Climate ChAnge in Viticulture and Enology
LIFE Agr-Adapt	L'Instrument Financier pour l'Environnement Adaptation de l'agriculture au changement climatique
MAA	Ministère de l'agriculture et de l'alimentation
MTE	Ministère de la transition écologique
NBT	New Breeding Techniques
NPBT	New Plant Breeding Techniques
OAD	Outil d'aide à la décision
ODD	Objectifs du développement durable
OGM	Organisme génétiquement modifié
ONVAR	Organisme national à vocation agricole et rurale
ORACLE	Observatoire Régional sur l'Agriculture et le Changement <i>cLimatiquE</i>
PAC	Politique agricole commune
PACA	Provence-Alpes-Côte-d'Azur
PEPR	Programmes et équipements prioritaires de recherche
PIA 4	4ème Programme d'Investissements d'Avenir
PNDAR	Programme National de Développement Agricole et Rural
PPE	Programmation pluriannuelle de l'énergie
PTGE	Projet de territoire pour la gestion de l'eau
RMT ClimA	Réseau Mixte Technologique Adaptation des exploitations agricoles au changement climatique
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SIDAM	Service interdépartemental pour l'animation du Massif central
SPAD	Semences et plants pour une agriculture durable
Syppre	SYstèmes de Production Performants et Respectueux de l'Environnement
TVA	Taxe à la valeur ajoutée

Références

CoupeL-Ledru A., Lebon E., Christophe A., Gallo A., Gago P., Pantin F., Doligez A., Simonneau T., 2016. Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, **113**, 8963–8968. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600826113>

FAO, 2021. Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM). <https://www.fao.org/gleam/results/en/>

Leippert F., Darmaun M., Bernoux M., Mpheshea M. 2020. *The potential of agroecology to build climate-resilient livelihoods and food systems*. Rome. FAO and Biovision. <https://doi.org/10.4060/cb0438en>

Millet E.J., Kruijer W., CoupeL-Ledru A., Alvarez Prado S., Cabrera-Bosquet L., Lacube S., Charcosset A., Welcker C., van Eeuwijk F., Tardieu F., 2019. Genomic prediction of maize yield across European environmental conditions. *Nat. Genet.*, **51**, 952–956. <https://doi.org/10.1038/s41588-019-0414-y>

Parent B., Leclere M., Lacube S., Semenov M.A., Welcker C., Martre P., Tardieu F., 2018. Maize yields over Europe may increase in spite of climate change, with an appropriate use of the genetic variability of flowering time. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, **115**, 10642–10647. <https://doi.org/10.1073/pnas.1720716115>

Reghezza-Zitt M., Rufat S., Djament-Tran G., Le Blanc A., Lhomme S., 2012. What resilience is not: uses and abuses. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <http://journals.openedition.org/cybergeo/25554>

Serra-Wittling C., Molle B., 2017. Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation. Etude réalisée avec le soutien du MAA, 149 pp.

<http://www.g-eau.fr/index.php/fr/umr-geau/actualites/item/758-etude-irstea-2017-sur-l-evaluation-des-economies-d-eau-potentielles-a-la-parcelle-realises-par-la-modernisation-des-systemes-d-irrigation-c-serra-wittling-et-b-molle>

Annexes

Annexe 1. Note méthodologique adressée aux filières

Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique

Travaux de la thématique 2

« Renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales et d'élevage, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation »

Note méthodologique pour le questionnement des filières

De quoi s'agit-il ?

Le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique se fixe pour ambition de déterminer les contours d'une stratégie d'anticipation et d'adaptation du secteur agricole au changement climatique. Trois axes de travail ont été établis. La présente note définit la méthodologie de travail pour aborder le questionnement des filières sur la thématique 2 : « **Renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales et d'élevage, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation.** » (Cf. Présentation des axes du Varenne agricole en annexe)

Le groupe de travail de la thématique 2 a organisé la réflexion en combinant 2 approches complémentaires, à la demande des ministres :

- L'une concerne le questionnement des filières agricoles pour évaluer leur projection sur un horizon long terme (idéalement 2050) qui nécessitera une véritable transformation des pratiques et des activités. En fonction des informations climatiques disponibles, une situation intermédiaire à 2035 pourra être ajoutée. Selon les questions, il conviendra de placer la réflexion dans un scénario à forte contrainte sans ressource d'eau supplémentaire ou dans un scénario ouvrant la possibilité d'une irrigation de résilience.
- L'autre concerne le diagnostic des conséquences du changement climatique à l'échelle des territoires à l'horizon 2050 (avec la contribution des DRAAF, des DREAL et des Chambres Régionales d'agriculture, avec l'appui de l'APCA) et les actions adaptatives qui sont envisagées.

Le croisement des projections filières et des déclinaisons territoriales sera fait au cours de l'année 2022 afin d'obtenir une matrice de travail opérationnelle prenant en compte les enjeux à une échelle territoriale pertinente.

Une cohérence sera recherchée avec les objectifs fixés dans les plans de filière adoptés suite aux États Généraux de l'Alimentation.

Pour en savoir plus, veuillez accéder au [dossier de presse](#) du Varenne agricole de l'eau.

Modalités générales

La consultation des filières se fait par un **guide de questionnement adressé aux interprofessions et aux Conseils Spécialisés de FranceAgriMer**, permettant d'organiser les retours autour de 5 grandes questions.

Les filières sont invitées à remonter sous forme de **note synthétique (5-10 pages)** leurs analyses et leurs propositions à **échéance du 30 septembre** afin de permettre un temps de consolidation. Elles devront s'appuyer, autant que possible, sur des études prospectives existantes. Les références à ces éventuelles études devront être jointes au dossier (*par exemple : lien internet ou références bibliographiques*).

La vision et la projection des filières par rapport au sujet de la thématique 2 est, bien sûr, un exercice ouvert leur permettant de pointer ou remonter les éléments qui leur paraissent pertinents en essayant autant que possible de les hiérarchiser. Cependant nous attirons l'attention sur quelques points clés de l'exercice :

- Il est fortement conseillé de **solliciter l'appui des instituts techniques agricoles** qui pourront eux-mêmes solliciter des expertises externes pour valider certaines hypothèses ou pour enrichir le champ des possibles. La cellule Recherche Innovation Transfert, fruit de la collaboration INRAE-ACTA-APCA pourra aussi être sollicitée via les instituts techniques.
- Les propositions doivent rester dans le **domaine du réalisable** et ne pas se contenter de lister ce qui serait souhaitable sans évaluer les moyens nécessaires. Pour donner plus de poids aux scénarios projetés, les propositions peuvent aussi faire référence à des études ou des travaux scientifiquement argumentés. Les propositions devront prendre en compte les scénarios climatiques disponibles à l'horizon 2050 (avec un point d'étape facultatif à 2035) y compris avec une baisse significative de l'eau disponible.
- Même si l'atténuation n'est pas au cœur de nos travaux elle doit être prise en considération. Les leviers susceptibles de répondre aux objectifs de la thématique 2 (résilience de l'agriculture) doivent aussi rester compatibles avec l'objectif de la neutralité carbone, donc contribuer aussi à réduire les émissions de gaz à effet de serre ou avoir un effet neutre.

Dans cet exercice il pourra être pertinent de conduire une réflexion inter-filière (avec les filières proches) pour assurer une meilleure cohérence d'ensemble.

Guide de questionnement

1) Quels impacts majeurs, liés au changement climatique, anticipez-vous pour vos filières de l'amont (production agricole) à l'aval (transformation) ?

La réponse peut être déclinée sur plusieurs plans comme par exemple : sur les productions, la qualité des produits, les approvisionnements, les impacts économiques à des échelles micro et macro, les outils de transformation, les impacts sur les marchés, la souveraineté alimentaire, etc.

- La réponse devra prendre en compte les scénarios climatiques du GIEC disponibles. Les impacts devront être anticipés à l'horizon 2050 avec la possibilité de préciser un point d'étape à 2035.
- Quels sont les travaux déjà menés par votre filière sur le changement climatique ? Avez-vous déjà établi des scénarios prospectifs et si oui lesquels ? Dans ce cas, quelles hypothèses de travail avez-vous retenues : scénario du GIEC, types de sols, etc. ?
- Préciser ce qui relève d'impacts déjà constatés et objectivés (résultats d'études ou de travaux à l'appui si possible) de ce qui relève d'impacts supposés à partir de scénarios prospectifs.

2) Quels sont les leviers amont (production agricole) et aval (transformation) que vous pensez/souhaitez mobiliser pour y faire face ?

La réponse peut faire intervenir plusieurs types de leviers comme : l'évolution des pratiques culturales, des techniques d'élevage, l'amélioration de l'efficacité de l'eau, l'adaptation des variétés/races, l'évolution des bâtiments d'élevage, l'évolution du panier d'espèces cultivées/élevées, la re-conception des systèmes de production, le développement des infrastructures agroécologiques et solutions fondées sur la nature (par ex., maintien des zones humides), l'évolution des conseils techniques, le déplacement géographique de certaines productions/activités de transformation, de nouveaux investissements à l'échelle des exploitations, de nouvelles infrastructures à l'échelle des territoires ou des filières, des évolutions des procédés de transformation des moyens de formation des acteurs, etc.

- Ces leviers sont-ils compatibles avec l'objectif d'atténuation sur les émissions de GES ?
- Identifiez-vous des situations d'impasse ? Lesquelles ? Sur quels territoires ? Pour quelles raisons ?
- Dans ce cadre, comment pourrait être valorisée, en gérant les priorités, une irrigation de résilience ? (Cf. [présentation du principe de l'irrigation de résilience présenté dans le rapport CGAAER-CGEDD 2020](#))

3) Quels sont les besoins que vous identifiez pour accompagner cette nécessaire transition ?

La réponse peut faire appel à des attentes de nature différente : recherche/développement, innovations techniques/technologiques/organisationnelles, sélection de nouvelles variétés, nouvelles races, équipements, nouveaux procédés de transformation, formation, etc.

4) Quels risques, quelles menaces, points d'attention ou conditions souhaitez-vous signaler ? Y a-t-il des opportunités à saisir ?

Comme par exemple la perte de compétitivité des activités agricoles, des contraintes réglementaires, les orientations politiques, les attentes sociétales, l'accès à l'eau, etc.

- Quelles seraient les transformations des politiques agricoles à entreprendre pour que l'agriculture (ou le cas échéant la filière concernée) puisse s'adapter au changement climatique ?

5) Quelles orientations envisagez-vous pour la feuille de route de votre filière ?

Précisez les priorités d'action, le calendrier, les moyens à mobiliser, le pilotage/gouvernance, les conditions de réussite, les risques d'échec etc.

Annexe 1 bis. Questionnaire adressé aux parties prenantes

Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique

Travaux de la thématique 2

« Renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales et d'élevage, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation »

Questionnaire en ligne à destination des parties prenantes

De quoi s'agit-il ?

Ceci est un questionnaire permettant de recueillir les avis et propositions des parties prenantes dans le cadre de la thématique 2 du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique : « Renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales et d'élevage, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation »

L'objectif du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique s'appuie sur quelques principes énoncés par le ministère de l'agriculture et de l'alimentation :

- Rechercher une vision partagée de l'eau en agriculture dans la continuité des Assises de l'eau ;
- S'appuyer sur la connaissance scientifique ;
- Prendre en compte les enjeux de souveraineté alimentaire ;
- Accélérer l'adaptation de l'agriculture est nécessaire dans ce contexte ;
- S'inscrire dans le cadre général du droit européen, en particulier la directive cadre sur l'eau et d'une politique de gestion de l'eau.

Ce questionnaire est adressé à la structure interrogée et, de ce fait, il n'est attendu qu'une seule réponse par organisme sollicité.

Une synthèse des éléments remontés sera faite après la clôture de la consultation et analysée pour compléter les travaux des filières et des territoires.

- Ouverture de la consultation : 20 juillet
- Fermeture de la consultation : 30 septembre

Les réponses sont limitées dans chaque rubrique à 800 mots. Tout dépassement n'est pas pris en compte par le questionnaire.

Pour en savoir plus, veuillez accéder au [dossier de presse](#) du Varenne agricole de l'eau.

Questions

6) Quels impacts positifs ou négatifs pour l'agriculture (production et transformation) liés au changement climatique vous paraissent prioritaires à prendre en compte ?

- Préciser votre réponse, si possible, à l'horizon des 15 ans à venir (2035) et à l'horizon des 30 ans à venir (2050)
- Sur quels éléments (études scientifiques, références, etc.) fondez-vous votre analyse ? (Veuillez indiquer le lien URL vers ces travaux)

7) Quelles actions prioritaires faudrait-il conduire, selon vous, pour réduire les impacts du changement climatique sur l'agriculture ?

Il s'agit de mettre en avant les leviers techniques, au niveau de la production et de la transformation, qui permettraient d'adapter l'agriculture aux effets du changement climatique. Vos propositions peuvent combiner plusieurs leviers de nature différente : techniques culturales, pratiques d'élevage, choix de variétés, espèces, races d'animaux, systèmes de production, procédés de transformation, équipements agricoles, industriels, etc.

8) Quelles seraient les transformations des politiques agricoles à entreprendre pour que l'agriculture puisse s'adapter au changement climatique ?

La question vise à identifier les évolutions d'ordre politique, réglementaire, administratif, fiscal, qu'il faudrait prévoir pour accélérer/faciliter les transformations. Il conviendra de mettre en avant des propositions responsables sur les plans légal et financier.

9) Quels moyens faudrait-il mobiliser pour accompagner la mise en place de ces actions visant à réduire les impacts du changement climatique ?

- Il s'agit de lister les moyens nécessaires à déployer sur le plan des financements, des ressources humaines, des compétences, savoir-faire, etc.
- Avez-vous évalué le rapport bénéfice-coût de ce plan d'actions et sa temporalité (calendrier de mise en place) ?
- Si oui, pouvez-vous préciser les éléments de ce rapport bénéfice-coût ?

10) Quelles difficultés majeures identifiez-vous pour mettre en œuvre ces propositions ?

Par exemple d'ordre financier, sur la compétitivité des exploitations, des filières, l'acceptabilité sociétale, réglementaire, etc.

11) Quelles sont les actions auxquelles vous participez ou seriez prêt à participer ?

- Avez-vous connaissance d'actions engagées intéressantes à dupliquer pour accompagner l'adaptation de l'agriculture au changement climatique ?
- Quelles actions seriez-vous prêt à engager en ce sens ?

12) Avez-vous d'autres propositions à faire valoir ?

Annexe 2. Quelques exemples de leviers identifiés par les filières pour chacune des catégories

- *Pratiques culturales/agronomiques* : décalage/allongement des cycles de culture ; semis en période de moindre vulnérabilité ; travail du sol (rétention d'eau, cultures de protection, gestion de l'inter-rang...) ; gestion des ressources fourragères (composition prairies, gestion du pâturage et des stocks, diversification des ressources) ; conduite des troupeaux ; aménagements paysagers fonctionnels (haies, bosquets, zone tampons...) pour augmenter le stockage du carbone et d'eau dans le sol, épurer les eaux, limiter l'érosion, favoriser la biodiversité...
- *Sélection des variétés et des races* : critères de sélection nouveaux/à renforcer généraux (races/variétés économes en eau, tolérantes aux stress thermiques incl. gel/froid ; résistance aux bioagresseurs/maladies) ou spécifiques (végétaux : précocité/cycle court, résistance à la salinité, variétés fixatrices de carbone ; animaux : efficacité alimentaire ; robustesse/résilience ; races à cycles de reproduction modifiés) ; mise en valeur des races/variétés rustiques/locales ; élargissement des programmes à des « petites espèces » (e.g., légumineuses à graines, lin oléagineux...) ; meilleur interfaçage des bases de données...
- *Ressources hydriques/irrigation* : utilisation de nouvelles ressources (eaux pluviales, eaux traitées des industries...) pour l'irrigation ; limitation de l'évapotranspiration et usage optimisé de l'eau (matériels plus efficaces ; meilleur raisonnement des apports (OAD, stratégies d'évitement/esquive ; irrigation de précision ; mise en œuvre d'une irrigation de résilience).
- *Soutien à la R&D et à l'innovation* : favoriser les travaux collectifs/trans-filières ; poursuite/extension des actions initiées dans le cadre des PIA (e.g., PHENOME-EMPHASIS, BreedWheat, Amaizing, PeaMust...) ; mobilisation de l'ensemble des technologies disponibles, incl. édition du génome ; financement public de la recherche et expérimentation/projets R&D (pérennisation Crédit Impôt Recherche – CIR, incitations fiscales, consortiums public-privé...)
- *Accompagnement des acteurs* : renforcement de la formation, du transfert des savoir-faire et méthodes et de l'appui technique aux acteurs ; structuration territoriale des acteurs, de la production à la mise en marché ; adaptation des cahiers des charges des transformateurs et des distributeurs pour tenir compte des aléas climatiques (incl. partage des risques climatique entre producteurs et opérateurs) ; gestion des ressources humaines (nouvelle organisation du travail, fidélisation des saisonniers, travail de nuit, EPI...)
- *Produits (stockage, transformation)* : adaptation des processus de traitement ; développement des outils industriels (extension des capacités industrielles pour gérer les imprévus, développement du tri à l'usine...) ; nouveaux moyens logistiques pour transporter la production provenant de nouvelles zones géographiques...
- *Agroéquipements et numérique* : OAD et capteurs pour le pilotage de la fertilisation, de la protection des plantes, de l'irrigation... ; machinisme (adaptation aux conditions humides, tri, technologies de traitements ciblés, pilotage de la température...) ; soutien aux investissements dans les équipements innovants...

- *Protection sanitaire* : biocontrôle ; adaptation des rotations (couverts, nouvelles cultures et plantes de service) ; désherbage mécanique ; protection physique (palissage, filets, bâches, serres semi-fermées...) ; outils d'application ciblée et raisonnée (OAD, imagerie numérique...) ; déplacement de la production vers des zones à moindre risque sanitaire.
- *Atténuation du changement climatique* : pratiques et modes de conduite favorisant la captation du carbone par les sols et l'optimisation bilan carbone des exploitations ; déploiement des outils en appui aux stratégies d'atténuation ; limitation consommation énergétique et réduction de l'empreinte carbone ; optimisation de la logistique et modes de transport bas carbone...
- *Adaptation de la réglementation* : alignement sur les politiques des pays voisins ; harmonisation des politiques ; réglementation sur les eaux grises, eaux de recyclage, eaux pluviales... ; évolution des protocoles d'inscription des variétés/adaptation du cadre réglementaire ; cadre réglementaire stable et favorable à l'innovation (incl. NBT) ; conservation de la maîtrise des pratiques réglementées...
- *Assurances* : développer une offre assurantielle accessible financièrement et adaptée à toutes les cultures et exploitations ; renforcer les organisations de producteurs pour répartir les risques et mutualiser les résultats ; adapter le mode de calcul du rendement assuré pour ne pas pénaliser les exploitations sinistrées et prendre en compte les spécificités des cultures contractuelles ; inciter les opérateurs économiques à se prémunir contre les aléas climatiques (variabilité de la production et des coûts de production)...
- *Soutiens financiers* : aide aux investissements ; mettre le changement climatique en priorité 1 des AAP CASDAR ; promouvoir les dispositifs d'aide visant à l'adaptation et à l'atténuation du changement climatique ; amplifier le soutien public à la recherche (pérennisation du CIR) ; assurer aux acteurs une marge suffisante pour investir, amortir les aléas et soutenir l'image et l'attractivité des métiers.
- *Bâtiments, installations* : éco-conception des bâtiments ; meilleur confort thermique des animaux ; optimisation de la consommation d'énergie (doubles écrans thermiques ; gestion climatique par informatique ; récupération d'énergie thermique fatale ou cogénération, chaudière biomasse, chauffage solaire, pompe à chaleur...) ; rôle dans la production d'énergie...
- *Territorialisation* : amélioration de la connaissance des zones de production dans le contexte du changement climatique pour anticiper.

Annexe 3. Liste des leviers identifiés dans les retours des parties prenantes,

Ces leviers non hiérarchisés et avant validation, ont nourri la réflexion des experts du RMT ClimA et de la cellule RIT pour compléter la matrice des leviers de résilience.

Recycler l'eau des sucreries

Adapter la hauteur du feuillage (viticulture)

Adapter l'orientation des rangs (viticulture)

Planter des bandes enherbées et/ou fleuries

Appliquer des biostimulants

Stimuler la croissance racinaire

Améliorer le contrôle du climat sous serre

Mettre à disposition des aliments appétants

Élever des animaux à plus faible gabarit

Instaurer des ressources fourragères ligneuses

Pratiquer une irrigation d'appoint

Recycler des eaux issues de productions industrielles ou "non conventionnelles"

Récupérer et stocker les eaux de surface

Constituer un stock de fourrage de sécurité

Vérifier les conditions d'abreuvement

Réduire le rayonnement direct et indirect du soleil dans les bâtiments

Améliorer la ventilation naturelle

Installer une ventilation mécanique

Installer la brumisation et le douchage

Utiliser des capteurs et des OAD pour anticiper et évaluer le stress thermique

Recycler l'eau issue du lait

Pâturer des surfaces "additionnelles"

Adapter la composition des prairies

Adapter les stratégies et calendriers de reproduction compte tenu des risques climatiques

Rafraîchir l'eau avec des pompes ponctuelles

Utiliser des matériaux isolants pour les infrastructures d'élevage

Utiliser des ressources alimentaires alternatives (aquaculture)

Augmenter le recours à la pratique du nourrissage (apiculture)

Choisir des substrats augmentant la capacité de rétention de l'eau (horticulture)

Choisir des espèces et/ou des variétés résistantes au(x) stress hydrique et/ou thermique

Choisir des espèces et/ou des races résistantes au(x) stress hydrique et/ou thermique

Diversifier les espèces et les races élevées

Diversifier les espèces et les variétés cultivées

Couvrir le sol (cultures intermédiaires)

Couvrir le sol (paillage)

Réduire le travail du sol

Apporter de la matière organique dans le sol

Effectuer un bartbuttage (pommes de terre)

Enherber (cultures pérennes)

Cultiver sous abri/ombrage

Instaurer de l'ombrage aux animaux

Pratiquer l'agroforesterie

Planter des haies

Inoculer ou favoriser le développement de mycorhizes

Limiter l'impact des passages d'engins (limiter le tassement)

Concevoir un assolement compte tenu de la ressource en eau

Utiliser des outils de mesure de l'état hydrique du substrat

Établir une stratégie d'irrigation

Utiliser un système d'irrigation au goutte-à-goutte

Utiliser un pivot ou une rampe frontale avec des asperseurs adaptés

Choisir des variétés précoces

Adapter la densité du couvert

Avancer la date de semis ou de plantation

Utiliser un "canon intelligent"

Biner le sol

Adapter l'irrigation en cas de vent

Réguler la vitesse de déplacement du système d'irrigation

Utiliser un système de modulation de la dose (VRI : Variable Rate Irrigation)

Intégrer des cultures d'hiver à la rotation
Maintenir ou créer des talus
Entretien du matériel d'irrigation
Récupérer l'eau atmosphérique
Choisir des variétés au système racinaire profond
Choisir des variétés à efficacité de l'eau élevée
Choisir des variétés à indice foliaire modéré ou à conductance stomatique faible
Choisir des variétés maintenant leur croissance foliaire et/ou reproductrice (tolérance)
Appliquer de l'argile blanche
Introduire une jachère travaillée
Effectuer un sous-solage
Améliorer la qualité de la plantation
Planter perpendiculairement à la pente (viticulture)
Apporter du charbon végétal au sol (viticulture)
Planter de manière à favoriser le bon développement des racines (viticulture)

Annexe 4. Critères d'évaluation des leviers retenus dans le cadre des travaux menés par la Cellule RIT et le RMT ClimA

- Définition
- Comment mettre en place ce levier ?
- Par quel mécanisme ce levier agit-il sur le stress hydrique ou thermique ?
- Sous quelles modalités ce levier est-il efficace ?
- Quelles filières abordent ce levier ?
- Ce levier est-il imbriqué avec d'autres ?
- Ce levier est-il spécifique à une filière ?
- Quels sont les potentiels freins au développement de cette pratique ?
- Quelles sont les actions R&D en cours concernant ce levier, en lien avec les stress hydrique et thermique en France ?
- Quel est le temps nécessaire pour mesurer la capacité de cet effet à stabiliser (ou améliorer) le résultat économique de l'exploitation en situation de stress ?
- Quel est le temps nécessaire pour mesurer la capacité de cet effet à améliorer le bilan C ?
- Quelle est la capacité de ce levier à maintenir (ou augmenter) la marge de l'agriculteur en situation de stress ?
- Quel est le potentiel impact de ce levier sur l'atténuation du changement climatique ?
- Quel est le coût brut de ce levier pour l'agriculteur ?
- Temps nécessaire à la recherche et temps nécessaire au développement et à l'appropriation du levier ? (état des lieux actuel)
- Quel est le taux d'utilisation de ce levier (actuellement) ?
- A quelle échelle spatiale agit ce levier ? Quel est le niveau de détail de ce levier ?

Annexe 5. Les diagnostics territoriaux

Les diagnostics territoriaux réalisés par les Chambres d'agriculture en concertation avec les acteurs locaux.

1. Auvergne-Rhône-Alpes
2. Bourgogne-Franche-Comté
3. Bretagne
4. Centre Val de Loire
5. Corse
6. Grand Est
7. Hauts-de-France
8. Ile-de-France
9. Normandie
10. Nouvelle Aquitaine
11. Occitanie
12. Pays de la Loire
13. Provence-Alpes-Côte d'Azur

Pour accéder aux documents, cliquez [ici](#)



Annexe 6. Économies d'eau potentiellement réalisables par un changement de matériel d'irrigation (d'après Serra-Wittling et Molle, 2017).

Tableau 11. Economies d'eau potentiellement réalisables par un changement de matériel d'irrigation

MAÏS ET AUTRES GRANDES CULTURES

économie d'eau (%) ➡	Nouveau				
Ancien	Enrouleur	Couverture intégrale	Pivot basse pression	Goutte-à-goutte de surface	Goutte-à-goutte enterré
Enrouleur	10	10	5 - 20*	10 - 20*	15 - 35*
Couverture intégrale	--	10	5 - 20*	15 - 25*	20 - 25*
Pivot / Rampe	--	--	5 - 10	5 - 15	10 - 25
Goutte-à-goutte de surface	--	--	--	10 - 20	15 - 20
Goutte-à-goutte enterré	--	--	--	--	10 - 20

ARBORICULTURE

économie d'eau (%) ➡	Nouveau				
Ancien	Aspersion sur frondaison	Aspersion sous frondaison classique	Aspersion sous frondaison Microjet	Goutte-à-goutte de surface	Goutte-à-goutte enterré
Aspersion sur frondaison	10	10	15 - 30*	20 - 35*	25 - 35*
Aspersion sous frond Microjet	--	--	10 - 20	15 - 25	15 - 30
Goutte-à-goutte de surface	--	--	--	10 - 20	5 - 15
Goutte-à-goutte enterré	--	--	--	--	10 - 20

MARAICHAGE DE PLEIN CHAMP

économie d'eau (%) ➡	Nouveau		
Ancien	Couverture intégrale	Mini-aspersion	Goutte-à-goutte de surface
Couverture intégrale	10	5 - 10*	5 - 15*
Mini-aspersion	--	10 - 20	10 - 30
Goutte-à-goutte de surface	--	--	10 - 20

* augmenter les valeurs hautes et basses des intervalles de +5 en région ventée

Tableau 11 (suite). Economies d'eau potentiellement réalisables par un changement de matériel d'irrigation

CULTURES HORS-SOL

économie d'eau (%) ➔	Nouveau
Ancien	Avec recyclage de la solution nutritive
Sans recyclage de la solution nutritive	25

Tableau 12. Economies d'eau potentiellement réalisables par l'acquisition et l'utilisation d'un matériel de pilotage (en comparaison d'une irrigation sans matériel de pilotage)

	Tensiomètres Sondes capacitives	Tensiomètres + dendromètre	Cartographie de sol + logiciel
AUTRES GRANDES CULTURES			
	15 - 40	--	20 - 35
ARBORICULTURE			
	10 - 20	15 - 30	
MARAICHAGE DE PLEIN CHAMP			
	15 - 40	--	

Annexe 7. Profils des participants aux conférences thématiques

Thématique 2 : Conférence « Sélection génétique », 8/11

Participants

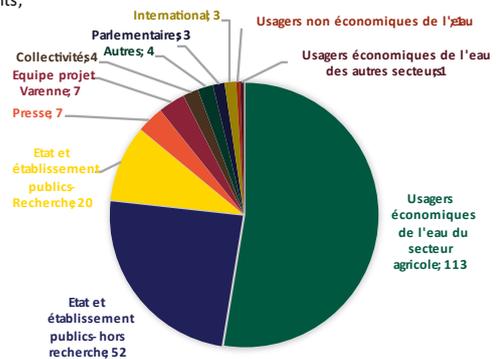
- 169 participants uniques (en total) connectés à la visioconférence sur 217 inscrits, soit 78% de participation
- Quelques acteurs ayant participé :
 - CRA, interprofessions et ITA
 - Organisations et syndicats agricoles, semenciers (Felcoop, FNSEA, Jeunes agriculteurs, etc.)
 - Agences de l'eau, DRAAF, DREAL, Conseils régionaux, conseils départementaux
 - Acteurs scientifiques (INRAE, BRGM, etc.)
 - Association (Grésivaudan Nature Environnement (réseau FNE))

Tchat

48 questions posées dont 33 répondues en séance par les intervenants et 15 qui seront répondues à l'écrit

Communication

L'événement et le support de présentation seront disponibles sur le site du MAA



1

Thématique 2 : Conférence « Irrigation », 17/11

Participants

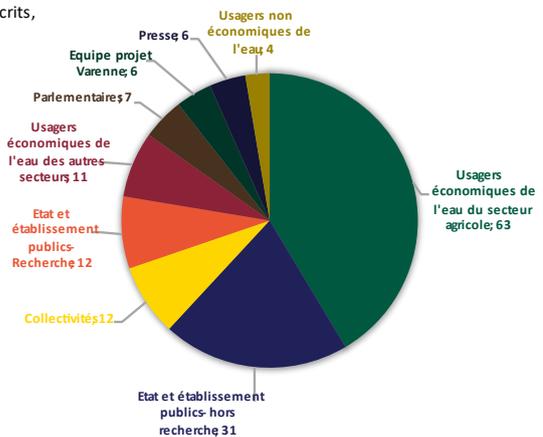
- 124 participants uniques (en total) connectés à la visioconférence sur 152 inscrits, soit 82% de participation
- Quelques acteurs ayant participé :
 - CRA, interprofessions, ITA et FranceAgriMer
 - Parlementaires
 - Organisations et syndicats agricoles (Confédération paysanne, FNSEA, etc.)
 - Agences de l'eau, DRAAF, DREAL
 - Conseils régionaux, Collectivité Territoriale
 - Acteurs scientifiques (INRAE, BRGM, CNRS, etc.)
 - Association (France Nature Environnement)

Tchat

35 questions posées dont 15 répondues en séance par les intervenants et 20 qui seront répondues à l'écrit

Communication

L'événement et le support de présentation sont disponibles sur le site du MAA



2

Thématique 2 : Conférence « Quelles agricultures de résilience ? », 30/11

Participants

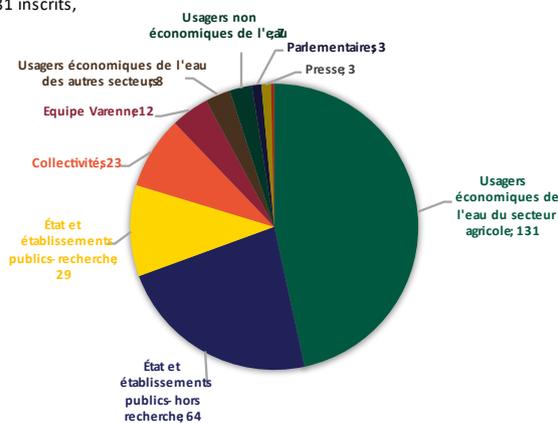
- 198 participants uniques (en total) connectés à la visioconférence sur 281 inscrits, soit 70% de participation
- 23 participants des GT de la thématique 3 inscrits et 14 connectés à la visioconférence
- Quelques acteurs ayant participé :
 - CRA, interprofessions, ITA et FranceAgriMer
 - Acteurs scientifiques (INRAE, BRGM, Météo-France, etc.)
 - Parlementaires
 - Association (Fédération des conservatoires d'espaces naturels, FNSEA, etc.)
 - Agences de l'eau, DRAAF, DREAL, Conseils régionaux,

Tchat

78 questions posées dont 36 répondues en séance par les intervenants et 34 répondues à l'écrit

Communication

L'événement et le support de présentation sont disponibles sur le site du MAA



Annexe 8. Experts consultés et intervenants aux conférences thématiques

Alletto Lionel (INRAE, DR UMR AGIR)

Astier Anne (CA Gard, chargée de mission changement climatique)

Balaguer Fabien (Association Française d'Agroforesterie, directeur)

Bergez Jacques-Eric (INRAE, DR UMR AGIR)

Bernardin Johan (Agriculteur maraîcher en Charente Maritime)

Bidanel Jean-Pierre (INRAE, chef de département adjoint Génétique Animale)

Bordes Jean-Paul (ACTA, directeur)

Brochard Mickael (IDELE, responsable du département Génétique et Gestion des Populations Animales)

Caquet Thierry (INRAE, directeur scientifique environnement)

Cautier Christophe (ASA Limagne Noire AURA, président)

Daveau Bertrand (Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou, ingénieur recherche appliquée)

Estienne Marie (Arvalis Institut du végétal, ingénieur)

Faure Solène (OFB, animatrice régionale du projet Life Artisan)

Fortin Julien (Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou, ingénieur recherche appliquée)

Frétilière Eric (Irrigants de France, président)

Gendre Sophie (ARVALIS, ingénieur irrigation, responsable pôle agronomie)

Grisey Ariane (CTIFL, ingénieur environnement-énergie)

Jammes Hélène (INRAE, DR UMR BREED)

Jézéquel Stéphane (Arvalis Institut du végétal, directeur scientifique)

Journaux Laurent (France Génétique Elevage, directeur)

Larrieu Thomas (CA Gironde, expert irrigation)

Leschiutta Marine (SIDAM, animatrice du projet AP3C)

Litrice-Chiarelli Isabelle (INRAE, cheffe du département de Biologie et Amélioration des Plantes)

Lucas Olivier (RAGT Semences, directeur scientifique et qualité)

Marcon Michel (IFIP, directeur scientifique et numérique)

Molle Bruno (INRAE, ingénieur chercheur UMR G-Eau)

Moulinier Alain (CTPS, président)

Patier Christophe (CGAAER, inspecteur général de l'agriculture)

Pèlerin Isabelle (Lycée agricole de Carpentras, directrice)

Rabe Julien (CA Landes, expert irrigation)

Sautereau Natacha (ITAB, responsable Pôle Durabilité)

Tardieu François (INRAE, DR UMR LEPSE)

Tourand Olivier (CA Creuse, agriculteur)

Touzanne Serge (Directeur de la ferme du lycée agricole d'Albi)