



11ème Colloque AFBV
Organisé par le Conseil Scientifique

BIOTECHNOLOGIES VÉGÉTALES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Mardi 11 octobre 2022
9h - 17h



BIOTECHNOLOGIES VÉGÉTALES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

11 octobre 2022 | Institut-Gœthe

8h30 Accueil

9h00 Introduction

9h20 Evolution du climat : des causes aux manifestations attendues en France dans les décennies qui suivent

Agnès Ducharne | CNRS, UMR METIS, IPSL, Paris et AAF

10h00 Changement climatique et agriculture : des impacts aux solutions adaptatives

Philippe Gate | ex Arvalis, AAF

10h40 - 11h | Pause-café

11h00 Amélioration de la tolérance des plantes cultivées au déficit hydrique par les biotechnologies

Christophe Sallaud | Limagrain

11h40 Améliorer la résistance des plantes aux bio-agresseurs : de nouvelles voies ouvertes par les biotechnologies

Thierry Langin | INRAE

12h20 - 14h00 | Déjeuner libre

14h00 Comment améliorer la photosynthèse à l'aide des biotechnologies ?

Michaël Hodges | IPS, UPS, CNRS

14h40 Biotechnologies et réduction de l'utilisation des engrais azotés

Bertrand Hirel | CNRS, INRAE

15h20 L'adaptation des variétés de blé au changement climatique par la sélection conventionnelle et les biotechnologies

Jacques Le Gouis | INRAE

16h00 L'adaptation des arbres forestiers au changement climatique par la sélection conventionnelle et les biotechnologies

Catherine Bastien | INRAE

16h40 Conclusion

Georges Freyssinet | AFBV

17h00 Fin du Colloque

CURRICULUM VITAE DES ORATEURS ET RÉSUMÉ DE LEUR PRÉSENTATION

Georges FREYSSINET | Président - AFBV



Docteur d'Etat, Georges Freyssinet a été enseignant/chercheur à l'Université (France et Amérique du Nord) pendant une vingtaine d'années. Il a rejoint Rhône-Poulenc (RP) Agro en 1984 pour y développer la biologie cellulaire et moléculaire végétale.

En 1992, il est nommé Conseiller Scientifique à la Direction Scientifique de RP. En 1998, il prend la Direction Générale de RhoBio, une entreprise commune à RP Agro et Biogemma.

Il est un des fondateurs de LemnaGene SA, une société de BioManufacturing dont il assure la Direction Générale de 2003 à 2005.

En 2006, il rejoint la Direction Scientifique du Groupe Limagrain puis est nommé, en 2011, Directeur Général de Genective, une entreprise commune aux Groupes Limagrain et KWS développant des maïs OGM.

A la retraite depuis 2014, il assure, en parallèle, des activités de consultant dans le domaine des biotechnologies végétales.

Il est Président de l'AFBV depuis mars 2019.

Animateur : André GALLAIS | Professeur Honoraire, AgroParisTech – Vice-président du Conseil scientifique de l'AFBV

André Gallais est Professeur Honoraire d'AgroParisTech, membre de l'Académie d'Agriculture de France.

C'est un spécialiste de la génétique des caractères quantitatifs et des méthodes d'amélioration des plantes. De 1982 à 2005, il a enseigné ces disciplines à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon (maintenant AgroParisTech) et a été responsable de programmes de génétique et d'amélioration du maïs à la Station de Génétique Végétale du Moulon (INRA, Université de Paris-Sud, CNRS, AgroParisTech).

Il est l'auteur de plusieurs ouvrages sur l'amélioration des plantes.

Il est membre du Conseil Scientifique de l'AFBV.

Agnès Ducharne | Directrice de recherche CNRS, METIS-IPSL, Paris

Ancienne élève de l'Ecole Normale Supérieure, Agnès Ducharne est Directrice de recherche au CNRS, affectée depuis 2000 au laboratoire Metis (Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols), un des 10 laboratoires de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL). Ses recherches portent sur les liens entre l'hydrologie des surfaces continentales et le système climatique, avec un accent particulier sur les eaux souterraines et les pressions anthropiques (changement climatique et changements d'utilisation des terres). Elle est membre correspondante de l'Académie d'Agriculture de France depuis 2014, et fut lauréate en 2021 du Grand prix scientifique franco-taiwanais de l'Académie des Sciences (France) et du Ministère des Sciences et Technologie (Taiwan).

Évolution du climat : des causes aux manifestations attendues en France

Dans cet exposé, je rappellerai le principe du changement climatique anthropique, je présenterai les changements déjà discernables dans le monde et en France, en m'arrêtant sur le cas de l'été 2022, avant d'aborder les changements attendus dans le futur, et comment leur intensité est directement reliée aux émissions globales en gaz à effet de serre.

Philippe GATE | Ex-ARVALIS

D'abord sélectionneur, Philippe GATE a effectué une grande partie de sa carrière à l'ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages) puis à ARVALIS - Institut du végétal en tant qu'écophysiologiste puis Directeur scientifique pendant plus de 10 ans. Tout au long de son parcours, il s'est attaché à mieux comprendre le fonctionnement des plantes dans leur milieu avec le souci de proposer des solutions et des outils pour les producteurs et leurs conseillers. Le fruit de son travail a profité à des applications opérationnelles : modèles de croissance et de développement pour prévoir les stades de développement des céréales, application de la télédétection pour l'ajustement de la conduite des cultures (offre de service FARMSTAR), indicateurs de phénotypage à destination des sélectionneurs, diagnostic de la stagnation des rendements avec propositions de solutions pour s'adapter au dérèglement climatique

Philippe GATE est un fervent partisan des approches pluridisciplinaires pour résoudre les grands enjeux auxquels devra faire face l'agriculture de demain. Depuis de nombreuses années, il défend une agronomie sans frontières, de la génétique jusqu'au numérique, avec une agro-écologie multi-performante comme modèle agricole afin que les innovations servent au plus grand nombre d'agriculteurs.

Philippe GATE est membre de l'Académie d'Agriculture, co-animateur scientifique de l'Association de Sélectionneurs Français.

Dérèglement climatique : diagnostic, conséquences et solutions adaptives dans le domaine des grandes cultures

En dépit d'un progrès génétique qui n'a pas fléchi, le rendement de nombreuses espèces stagne depuis la fin des années 1990. Au-delà du plafonnement de la production, une très forte variabilité à la fois interannuelle et entre les régions s'exprime de plus en plus. Cette évolution récente associe des tendances lourdes (il fait et fera plus chaud, avec des sécheresses plus sévères) et des événements plus variables et moins prédictibles (présence d'épisodes avec de très faibles rayonnements, des excès d'eau, émergence ou extension de certains bioagresseurs).

Ce dérèglement climatique bouleverse la croissance des espèces que nous cultivons. L'analyse et le diagnostic des conditions climatiques observées en France ces dernières années permettent d'identifier les traits génétiques d'adaptation à améliorer en priorité au sein des espèces de grandes cultures. A ce titre, les dispositifs de phénotypage à haut débit seront à valoriser encore davantage pour augmenter la capacité d'adaptation des variétés, en termes de tolérance mais aussi d'efficacité et de sobriété, vis-à-vis des intrants et des ressources du milieu. Face aux stress et aux aléas climatiques nombreux, préjudiciables et de moins en moins inféodés à une aire géographique particulière, le seul levier génétique restera majeur mais malgré tout insuffisant. Il sera utile d'imaginer d'autres calendriers pour les plantes de demain (phénologies), et d'aller chercher des gains de résilience complémentaires dans de nouvelles pratiques agronomiques et aussi par l'utilisation d'outils numériques de pilotage tactique des parcelles et stratégiques, à l'échelle de l'exploitation et du territoire. L'accès à l'eau via la création de nouvelles ressources et le recyclage de l'eau deviendra stratégique pour stabiliser les productions, réduire les inégalités et permettre la diversification des espèces et des débouchés. Le changement climatique offre également des opportunités : il permet potentiellement de diversifier les espèces, d'innover dans les

pratiques, avec des variétés qui seront adaptées aux nouveaux systèmes de culture. Les zones de productions des cultures pourraient évoluer et s'enrichir.

Animateur : Alain TOPPAN | Ex-Responsable du développement des OGM pour le groupe Limagrain - Ex-Directeur de Biogemma – Membre du Conseil d'administration de l'AFBV

Après une formation universitaire, intègre le CNRS et mène des recherches sur le végétal et les interactions plantes-pathogène. Il participe ensuite à des projets appliqués, puis dirige le laboratoire d'un groupe industriel privé, pharmaceutique et semencier, qui a investi très tôt dans la transformation génétique. La cession des activités semencières de ce groupe lui permet de rejoindre des groupes coopératifs agricoles, Euralis puis Limagrain au travers du laboratoire Biogemma créé en 1997. Fortement impliqué depuis lors dans des projets de développement d'OGM pour des espèces de grande culture, d'abord en Europe puis au niveau mondial.

Christophe SALLAUD | Coordinateur de recherche sur la découverte de gènes pour des applications en biotechnologie chez Limagrain Europe dans le département « Trait&Technologies » pour les grandes cultures - Membre du Conseil scientifique de l'AFBV

Christophe Sallaud a obtenu un doctorat en pathologie moléculaire de l'Université d'Orsay en 1994 et un Master de Bio-Informatique en 2003 à l'université de Montpellier. Il a travaillé dans différents laboratoires de recherche public pendant une 15aine d'années avant d'intégrer le secteur privé en 2003 dans la start-up Librophyt puis dans différentes filiales du groupe Limagrain. La majorité de ses recherches a été consacrée à l'utilisation des biotechnologies pour améliorer les performances agronomiques des plantes de grandes cultures (riz, maïs, et blé principalement). Pendant 4 ans, il travaille dans la start-up Librophyt sur l'engineering des terpènes chez le Tabac. Lorsqu'il intègre la société de Biotechnologie Biogemma en tant que coordinateur de recherche responsable des activités de transgénèse maïs et blé, il a en charge le développement d'un pipeline de transgénèse pour évaluer des gènes candidats pour améliorer les performances agronomiques chez ces 2 espèces. Une grande partie des travaux sont focalisés sur la stabilité du rendement sous contrainte (tolérance au déficit hydrique, efficacité d'utilisation de l'azote) par des approches de surexpression ou de répression. Les évaluations agronomiques des plantes transgéniques sont réalisées aux USA sous sa coordination. Une partie de son activité a également été consacrée au développement d'évènements transgéniques maïs pour la tolérance aux insectes pour la biotech Genective dans laquelle il évolue en tant que Chef De Projet. Il a mis en place un pipeline de découverte de toxines à partir de génomes bactériens ainsi qu'un laboratoire pour cribler l'activité de ces toxines.

Depuis 2015, il a en charge l'animation d'une équipe dédiée à la découverte de gènes. Il encadre plus particulièrement les projets liés aux domaines de l'amélioration de la tolérance aux insectes et aux maladies virales et fongiques.

Depuis quelques années, il s'intéresse plus particulièrement aux approches biotechnologiques liés à l'édition du génome (CRISPR/Cas9) et aux outils de prédiction de structure 3D comme support à l'engineering des protéines.

Amélioration de la tolérance au déficit hydrique par les biotechnologies

L'adaptation des plantes cultivées au changement climatique est un défi majeur pour l'agriculture. La diminution des quantités d'eau potentiellement disponibles dans certaines régions fait de la tolérance au déficit hydrique une thématique majeure en sélection des plantes de grandes cultures comme le maïs, le blé, ou le colza. Cependant, la stabilité du rendement sous contrainte hydrique est un trait agronomique

complexe à améliorer dans la mesure où de multiples facteurs génétiques et environnementaux impactent ce trait. Cette question scientifique est largement abordée par la recherche scientifique qui a beaucoup utilisé les plantes modèles comme Arabidopsis mais qui est de plus en plus abordée sur des plantes agronomiques. Cette présentation a pour objectif de passer en revue les résultats obtenus par des approches biotechnologiques qui sont développées depuis 20 ans pour comprendre et améliorer ce trait agronomique : de la génétique quantitative à l'utilisation des nouvelles technologies d'édition du génome en passant par des stratégies OGM. La problématique du phénotypage et de l'évaluation en condition agronomique au champ sera également abordée.

Thierry LANGIN | Directeur de Recherche CNRS, membre du conseil scientifique de l'AFBV



Responsable de l'équipe « Maladies des céréales (MDC) » au sein de l'UMR 1095 Génétique Diversité Ecophysiologie des Céréales à Clermont-Ferrand, Unité dont il a assuré la direction de 2012 à 2020. Les projets développés par l'équipe MDC s'inscrivent dans le cadre général de l'identification et la caractérisation de nouvelles sources de résistance durables aux principales maladies du blé. Ces projets se structurent autour de trois axes complémentaires : Déterminisme et fonctionnement des résistances, Identification de gènes de sensibilité et impact de facteurs environnementaux sur la résistance du blé (microbiome, stress abiotiques).

Améliorer la résistance des plantes aux bio-agresseurs : de nouvelles voies ouvertes par les biotechnologies

Une des conséquences du changement climatique est le risque accru d'épisodes épidémiques, en lien avec l'évolution rapide du cortège parasitaire (apparition régulière de souches ou d'espèces plus agressives, émergence de nouvelles maladies, déplacement d'espèces exotiques de pathogènes et de ravageurs). Dans ce contexte, assurer un contrôle efficace des bioagresseurs, et réduire la dépendance vis-à-vis de l'utilisation des pesticides, passe par la mobilisation de l'ensemble des leviers disponibles, parmi lesquels, les biotechnologies, transgénèse et maintenant NBT (New Breeding Techniques), représentent des outils puissants d'amélioration de la résistance des plantes aux bioagresseurs. Que ce soit, par leur capacité à générer une diversité génétique originale, à faciliter le transfert d'informations acquises sur des plantes modèles vers des plantes cultivées (biologie translationnelle), ou à rendre possible la construction de génotypes difficiles, sinon impossibles, à obtenir par les méthodes d'amélioration variétale classiques, et ce, en limitant le temps et le coût de construction. La présentation a comme objectif d'illustrer, au travers d'exemples choisis, les apports des biotechnologies, anciennes (transgénèse) ou plus récentes (NBT), à l'amélioration de la résistance des plantes aux bioagresseurs.

Animateur : Thierry HARDY | Membre du Conseil scientifique de l'AFBV

Après un diplôme d'ingénieur agronome (INA-PG 79) et une thèse sur les cultures cellulaires en bioréacteur, il intègre l'industrie agrochimique pour contribuer au développement des solutions biologiques (sélection végétale et biotechnologie) à travers divers postes de recherche, développement et gestion de projets. Actuellement actif dans l'enseignement et la formation en lien avec les semences et les biotechnologies vertes.



Michael HODGES | Directeur de recherche CNRS

Directeur de recherche au CNRS, est responsable de l'équipe Metaboactions à l'Institut de Sciences des Plantes de Paris-Saclay, IPS2 (UMR9213), situé sur le campus de l'Université de Paris-Saclay à Gif-sur-Yvette. Il a commencé sa carrière de chercheur en Biologie végétale en développant des approches biophysiques pour comprendre l'adaptation de la photosynthèse à la lumière. Depuis son recrutement au CNRS, il vise à mieux comprendre les interactions entre des voies métaboliques primaires (la photosynthèse, la (photo)respiration, l'assimilation de l'azote et la biosynthèse des acides aminés), leur compartimentation, les propriétés des protéines associées ainsi que leurs régulations. Pour identifier les rôles de diverses enzymes, transporteurs et composants de signalisation dans les interactions entre métabolismes carbonés et azotés, il s'appuie sur la biochimie, la biologie moléculaire, la génétique inverse et des études fonctionnelles en physiologie et en métabolomique. Actuellement, son équipe développe des projets dans le contexte du changement climatique en se focalisant sur le métabolisme primaire, les mouvements stomatiques, et les bactéries bénéfiques.

Comment améliorer la photosynthèse à l'aide des biotechnologies

Le développement des techniques de sélection et la révolution verte ont permis à la production alimentaire de suivre la croissance démographique, mais ces avancées ont atteint leurs limites. De nouvelles stratégies sont désormais nécessaires pour nourrir une population mondiale en constante augmentation. Le rendement des plantes est déterminé par l'efficacité de la capture de la lumière et de sa conversion en biomasse, puis par la proportion de biomasse répartie dans les parties de la plante récoltées. La capture de la lumière et la répartition de la biomasse sont proches des attentes théoriques grâce à la sélection végétale au cours des dernières décennies. En revanche, la conversion de la lumière en biomasse n'a pas encore atteint sa limite biologique ; celle-ci dépend principalement de la photosynthèse. Les connaissances et des outils sont désormais disponibles pour aider à améliorer la photosynthèse. Un bref aperçu des concepts et stratégies actuels ciblant les processus associés à la photosynthèse pour l'améliorer sera présenté avant de se concentrer sur les avancées majeures. Sur la base d'une modélisation *in silico*, les principaux processus susceptibles de limiter la photosynthèse ont été identifiés, et plusieurs cibles ont déjà été testées. En plein soleil, les feuilles dissipent l'énergie lumineuse absorbée en excès sous forme de chaleur. Cette dissipation protectrice se poursuit pendant de nombreuses minutes lorsque les feuilles deviennent ombragées et ceci mène à une diminution du rendement potentiel pouvant atteindre 20 %. L'augmentation de la vitesse de carboxylation catalysée par la Rubisco aux niveaux actuels de CO₂ atmosphérique a conduit à une limitation au niveau de la régénération du RuBP, la molécule acceptrice de CO₂, dans des conditions de lumière non-limitantes. À l'avenir, ce phénomène devrait devenir plus important en raison de l'augmentation du niveau de CO₂ atmosphérique. La Rubisco possède aussi une activité oxygénase en concurrence avec son activité carboxylase assimilatrice de CO₂. C'est le point de départ d'un processus métabolique consommateur d'énergie appelé la photorespiration. Aux États-Unis, on estime que la photorespiration réduit les rendements du blé et du soja de 20 % et 36 %, respectivement. La photorespiration ne peut pas être éliminée, car les mutants photorespiratoires sont incapables de se développer normalement dans l'air. À ce jour, l'augmentation de la biomasse et du rendement des plantes par amélioration de la photosynthèse a été obtenue en optimisant la cinétique de la photoprotection, en améliorant la régénération du RuBP et en mettant en œuvre des « bypasses » photorespiratoires dans le chloroplaste. Chacune a été obtenue en surexprimant des enzymes sélectionnées d'origine végétale ou bactérienne. La cinétique de la photoprotection a été modulée en ciblant le cycle des xanthophylles via la surexpression de la violaxanthine dé-époxydase, de la zéaxanthine époxydase et du gène *PsbS* d'*Arabidopsis*. La régénération du RuBP a été améliorée par la surexpression d'enzymes limitantes du cycle de Calvin, comme la sedoheptulose-1,7-bisphosphatase, la fructose-1,6-bisphosphatase et/ou la fructose bisphosphate aldolase soit d'*Arabidopsis* soit de cyanobactéries. Plusieurs voies métaboliques ont été créées dans les chloroplastes en surexprimant des protéines bactériennes, algales ou végétales afin d'installer des voies métaboliques artificielles capable de cataboliser le glycolate produit par la photorespiration ainsi libérant

du CO₂ à proximité de la Rubisco sans aucune perte d'azote. Ces stratégies sont actuellement en cours de validation chez des espèces cultivées et testées en champs dans les conditions actuelles et dans les conditions prévues par le changement climatique. Une autre solution consiste à créer des plantes-C₃ capables d'augmenter considérablement les concentrations de CO₂ à proximité de la Rubisco, améliorant ainsi son activité de carboxylation et en même temps limitant la photorespiration. La nature a développé plusieurs stratégies pour réduire l'oxygénation du RuBP en séquestrant la Rubisco dans des compartiments qui peuvent concentrer le CO₂. Cela inclut les plantes-C₄ qui ont des propriétés biochimiques et anatomiques différentes par rapport aux plantes-C₃. Cette stratégie à plus haut risque, ainsi que la création de plantes contenant des voies métaboliques "théoriques" alternatives qui améliorent la capture du CO₂, seront également discutés en tant que scénarios potentiels pour la création de nouvelles plantes cultivées adaptées aux nouvelles contraintes climatiques.

Bertrand HIREL | Directeur de Recherche émérite du CNRS

Depuis 2022 : Directeur de Recherche CNRS émérite. INRAE centre de Versailles-Grignon.

Les objectifs de son travail de recherche ont consisté à faire progresser les connaissances sur l'assimilation de l'azote chez les plantes modèles et cultivées, non seulement du point de vue fondamental, mais également avec la préoccupation constante de transfert du savoir pour de futures applications agronomiques. Ces connaissances ont pour but de produire des variétés de plantes cultivées (céréales en particulier), à rendement élevé tout en réduisant les apports d'azote minéral ou organique dans le contexte d'une agriculture durable plus respectueuse de l'environnement. La recherche de Bertrand HIREL est principalement basée sur l'utilisation d'approches intégrées pour comprendre et améliorer la nutrition azotée des plantes combinant agronomie, biologie, génétique quantitative et moléculaire, modélisation métabolique et plus récemment, consacrée à l'étude des interactions avec les microorganismes bénéfiques du sol.

Biotechnologies et réduction de l'utilisation des engrais azotés

A l'heure actuelle, la réduction de l'utilisation des engrais azotés en agriculture est devenue une priorité, notamment en raison de leur impact négatif sur l'environnement et de leur coût de production.

L'amélioration génétique de l'efficacité d'utilisation de l'azote a pu être réalisée en utilisant des méthodes conventionnelles basées sur la sélection de génotypes ou variétés plus productives pour un certain niveau de fertilisation azotée. Cependant cette amélioration reste assez lente et d'une efficacité limitée à cause des interactions avec le milieu qui influent sur l'utilisation de l'azote. Elle a pu être accélérée en utilisant des techniques de marquage moléculaire et des manipulations génétiques. Cependant, leur application en sélection variétale et en agriculture reste relativement limitée voire inexistantes, dû à la fois à complexité des processus biologiques impliqués et aux problèmes liés à l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés.

Des techniques agricoles alternatives basées sur des cultures en présence de couvert végétal sans labour et l'utilisation d'une nutrition organique constituent une approche possible pour réduire l'utilisation des fertilisants azotés. Ces techniques impliquent l'utilisation de légumineuses pour réaliser des rotations de cultures y compris celles faisant appel à des systèmes de culture en couvert végétal continu dans certaines régions du monde et quand les conditions climatiques le permettent.

Enfin, exploiter le potentiel des microorganismes bénéfiques et identifier des génotypes qui bénéficient d'associations symbiotiques, fait l'objet d'un nombre croissant d'études dans le but de réduire l'utilisation des engrais azotés. L'exemple le plus connu d'association symbiotique permettant de s'affranchir de l'utilisation d'engrais azotés est celui impliquant des espèces de Rhizobium et des légumineuses. Permettre aux non-légumineuses, céréales en particulier, de développer une association symbiotique fixatrice d'azote atmosphérique constitue également un challenge pour les chercheurs. Cependant, en

raison de la complexité des processus biologiques, et malgré les études poussées réalisés depuis des années dans le domaine, l'obtention de résultats exploitables en agriculture reste encore très éloignée.

La fixation de l'azote peut également se produire en présence de bactéries qui peuvent développer des associations non symbiotiques avec des plantes. Ce sont par exemple les bactéries du genre *Azospirillum*, *Azotobacter* et *Bacillus*, dont certaines sont commercialisées comme bio-inoculants. Les champignons mycorhiziens à arbuscules sont d'autres micro-organismes capables de développer des associations symbiotiques avec la plupart des plantes terrestres, favorisant ainsi l'accès aux nutriments comme l'azote dans un plus grand volume de sol grâce à leur mycélium extra-radical.

Au cours de cet exposé, sera présenté un aperçu des connaissances actuelles et des perspectives d'avenir concernant les possibilités d'amélioration de la nutrition azotée des plantes, notamment grâce à l'utilisation de bactéries et de champignons bénéfiques associés aux plantes à la fois individuellement ou en combinaison.

Jacques LE GOUIS | Directeur de recherche INRAE

Directeur de recherche INRAE, unité Génétique, Diversité et Ecophysiologie des Céréales à Clermont-Ferrand. Après avoir débuté sur la tolérance aux virus de l'orge, a initié des travaux sur la variabilité génétique du blé tendre pour l'efficacité d'utilisation de l'azote. Plus récemment a étendu les analyses à la tolérance aux stress abiotiques, dont la sécheresse et le stress thermique. Anime actuellement une équipe sur la qualité du grain du blé, dans un contexte de réduction d'intrants et de changement climatique.

L'adaptation des variétés de blé au changement climatique

Les rendements moyens nationaux du blé stagnent depuis la fin des années 90 dans plusieurs pays dont la France. Les causes de cette stagnation sont multiples mais l'augmentation des conditions climatiques défavorables est considérée comme la plus importante. Le progrès génétique est resté globalement constant mais ne peut que compenser les effets négatifs du changement climatique. Les deux contraintes environnementales majeures sont la faible disponibilité en eau durant la montaison et les fortes températures durant le remplissage du grain. Outre une augmentation moyenne en fréquence et intensité de ces stress, les prédictions liées aux différents scénarios climatiques futurs montrent aussi un risque accru d'événements extrêmes qui peuvent être une combinaison de facteurs environnementaux parfois contraires à la tendance générale. Le très faible rendement en 2016 (-30% par rapport aux années précédentes) est lié à un hiver très chaud qui a permis le développement des plantes et des pathogènes suivi d'un printemps anormalement pluvieux qui a favorisé les maladies, la verse et causé une stérilité des fleurs dû au faible niveau de rayonnement autour de la floraison.

Si on se concentre sur le stress thermique, les fortes températures peuvent directement impacter la fertilité des fleurs et le remplissage des grains. Il a été montré que des températures supérieures à 30°C au moment du développement des organes reproducteurs et de la floraison peuvent entraîner une stérilité des fleurs. De même, des températures supérieures à 25°C durant le remplissage vont limiter le développement du grain de blé. Il faut noter que l'effet des températures peut être plus marqué selon la durée du stress et en situation de sécheresse du sol ou de l'air. Pour limiter l'impact négatif des fortes températures plusieurs stratégies ont été proposées. Elles sont fondées sur des solutions agronomiques ou génétiques et correspondent globalement à des stratégies d'esquive ou de tolérance. Les stratégies d'esquive majeures sont les décalages de date de semis ou une modification du rythme de développement de la plante pour que les stades sensibles ne correspondent pas aux fortes températures. Une stratégie intermédiaire peut être d'étaler au sein du couvert les dates de floraison, par la sélection de variétés ayant par exemple un tallage important et des différences de floraison entre talles, ou plus simplement en associant des variétés avec des phénologies différentes. On peut aussi mentionner l'agroforesterie avec l'ombrage des arbres qui va avoir pour effet de limiter les températures extrêmes.

Il a toutefois été montré que ces stratégies d'esquive, en plus de demander des variétés avec des caractéristiques spécifiques, doivent être combinées avec une augmentation de la tolérance pour limiter les effets du changement climatique.

Le déterminisme génétique et écophysiologique du rythme de développement du blé est bien connu. Les allèles des gènes majeurs impliqués dans la réponse à la photopériode et à la vernalisation peuvent être suivis par des marqueurs moléculaires et leurs effets intégrés dans des modèles de culture. Cela permet de simuler le comportement de combinaisons alléliques existantes ou virtuelles dans des scénarios climatiques présents ou futurs et des systèmes de culture adaptés, notamment concernant les dates de semis. Il a aussi été montré une variabilité génétique pour la tolérance aux fortes températures et aux autres contraintes. Des génotypes plus ou moins tolérants ont été identifiés. La tolérance aux maladies est depuis longtemps prise en compte dans les programmes de sélection. La tolérance à une carence en azote est maintenant évaluée au niveau de l'inscription en France. Certains programmes de sélection, par exemple ceux des centres internationaux comme le CIMMYT, incluent des environnements stressants pour améliorer la tolérance au stress thermique ou hydrique. Contrairement à la phénologie, le déterminisme génétique de la tolérance aux contraintes abiotiques est complexe et déterminé par un nombre important de gènes. Des études de génétique d'association ont identifié des régions chromosomiques pour lesquelles le gène causal est très généralement inconnu. Des gènes candidats ont été identifiés et mais à ce jour les exemples validés en conditions agronomique sur blé tendre pour des contraintes abiotiques sont rares. Seule une variété transgénique de blé tendre pour la résistance à la sécheresse est commercialisée en Argentine. Avec le développement des méthodes d'édition des génomes, si elles sont autorisées, vont se poser des questions sur la meilleure façon d'intégrer de façon complémentaire sélection classique, sélection génomique et édition des génomes.

Catherine BASTIEN | Directrice de recherche INRAE

Directrice de recherche à INRAE et aujourd'hui cheffe du département « Ecologie et Biodiversité », Catherine Bastien a une formation en génétique quantitative, mise très rapidement au bénéfice de l'étude de la variabilité génétique des arbres forestiers et de sa valorisation en amélioration génétique. Depuis son entrée à INRAE en 1985, elle a successivement travaillé sur plusieurs essences d'intérêts patrimonial et économique (Pin laricio, pin sylvestre, douglas, peupliers) à l'unité de recherche BIOFORA à Orléans. Les interfaces disciplinaires offertes par le contexte de cette unité et plus largement au sein de la communauté de chercheurs du département EFPA puis ECODIV lui ont permis de profiter des avancées rapides dans la connaissance des génomes et des déterminismes moléculaires de caractères d'intérêt pour la gestion des forêts. Depuis une quinzaine d'années, C. Bastien est fortement impliquée dans la participation et la coordination de projets de recherche européens visant à intégrer les informations génomiques, moléculaires mais aussi environnementales dans des modèles de prédiction des valeurs génétiques et de la plasticité phénotypique chez les arbres forestiers. Depuis 2018, elle est cheffe du département « Ecologie et Biodiversité d'INRAE qui rassemble 35 unités de recherche travaillant sur la structure, le fonctionnement et l'évolution d'écosystèmes forestiers, prairiaux et aquatiques afin de proposer et évaluer des options de gestion diversifiées pour répondre aux enjeux d'adaptation aux changements globaux, de maintien de la biodiversité et de bioéconomie dans les territoires. C. Bastien est membre de la section 2 de l'Académie d'Agriculture.

L'adaptation des arbres forestiers au changement climatique par la sélection conventionnelle et les biotechnologies

Production de bois, puits de carbone, réservoir de biodiversité, espaces de loisirs... les forêts offrent de multiples services aujourd'hui fortement questionnés par des perturbations climatiques sans précédents et des transitions en cours dans les territoires (usage des terres, enjeux de bioéconomie). Si la variabilité génétique des arbres forestiers tant au niveau interspécifique qu'intraspécifique est souvent très grande

et structurée par la sélection naturelle sur des aires de distribution vastes, les capacités d'évolution en quelques décennies des ressources génétiques d'intérêt sont questionnées. En France et plus largement en Europe, les matériels forestiers de reproduction utilisés pour le renouvellement des forêts de production sont aujourd'hui issus à plus de 80% de sélection conventionnelle. Le levier génétique est considéré comme un levier important pour augmenter la résilience et aussi accélérer l'adaptation des forêts au changement climatique dans un contexte économique où les tensions deviennent très importantes sur les différents usages du bois qui dépendent de propriétés partiellement sous contrôle génétique. La révolution apportée par le séquençage de génomes et la sélection génomique des bovins et espèces de grande culture a gagné les espèces forestières et change la donne sur les conduites de programmes de sélection. A travers des exemples choisis en Europe et à l'international, la présentation abordera les différentes biotechnologies en cours d'exploration pour simultanément accélérer les processus d'innovation variétale, préciser les cibles moléculaires d'une sélection multi-caractère, créer des phénotypes nouveaux mais aussi préparer des plants forestiers à une meilleure résilience. Seront notamment considérées les apports possibles de la transgénése, de l'édition des génomes et la mycorhization des plants forestiers.

BIBLIOGRAPHIE : CHANGEMENTS CLIMATIQUES VS AGRICULTURE VS BIOTECHNOLOGIES

Sécheresse exceptionnelle, température anormalement élevées, incendies de forêts ou fonte des glaciers, les éléments qui ont marqué les derniers mois ne manquent pas pour que les menaces liées aux changements climatiques se positionnent au cœur des préoccupations de notre société. Certes, les rapports du GIEC avertissaient sur les évolutions probables du climat dues aux actions humaines et ils nous alertaient, sans ambiguïté, sur la nécessité de mettre en œuvre des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Aujourd'hui, dans son rapport de 2022, le GIEC se fait plus insistant sur l'urgence des mesures à prendre, en même temps qu'il met en évidence les contributions différentes selon les régions et les secteurs d'activité économique.

Les secteurs concernés par « l'Agriculture, les Forêts et les autres utilisations des terres » (AFOLU : Agriculture, Forestry and Other Land Uses) sont globalement responsables de 13 à 21 % de la totalité des émissions de GES, mais, tout en insistant sur la nécessité de les réduire, le GIEC décrit la complexité de cette évaluation qui recouvre une variété d'activités responsables d'émissions et d'absorptions de GES. S'agissant de ce secteur, le GIEC conclut sur un besoin critique de recherches diversifiées et ciblées pour répondre à toutes les questions posées.

L'Union Européenne a marqué sa volonté collective de transformer son économie et sa société pour les placer sur une trajectoire plus durable en adoptant un Pacte vert (Green Deal) avec comme objectif de parvenir à une réduction des émissions de GES d'au moins 55 % d'ici à 2030. Concernant l'agriculture et l'alimentation, la Commission a précisé ses objectifs par un plan stratégique intitulé « de la ferme à l'assiette » (Farm to Fork). Parmi les recommandations de ce plan figurent quelques mesures chocs, telles que, la réduction drastique de pesticides et une progression significative de l'agriculture biologique. Cette stratégie « Farm to Fork » a engendré des controverses immédiates et nombreuses, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur l'UE.

En complément aux documents distribués lors du Colloque, le Conseil d'Administration a adopté le principe de joindre une liste de références bibliographiques pour permettre aux personnes intéressées d'avoir accès à des informations complémentaires. Alain Deshayes s'est chargé de la constitution de cette liste avec l'aide de Thierry Hardy.

Cette liste bibliographique ne prétend pas être exhaustive, même si le nombre de références peut paraître élevé. Elle a pour objet, au-delà des interventions au cours de ce colloque, de permettre un approfondissement de certains aspects. Les articles ont été classés en six catégories, afin de faciliter le choix du domaine à explorer.

Les articles retenus concernent des informations factuelles (textes officiels, articles scientifiques), mais également des avis et commentaires sur le domaine concerné. Ce choix de diversifier les angles d'approche se justifie par la complexité des questions abordées qui n'induisent aucune solution univoque mais qui doivent, au contraire, conduire à la prise en compte d'approches multiples.

Il importe de mentionner que cette liste a été constituée sans que les intervenants au colloque n'aient été consultés, elle n'engage donc que ceux qui l'ont établie.

Vous trouverez cette liste sur le site Web de l'AFBV : <https://www.biotechnologies-vegetales.com/changements-climatiques-vs-agriculture-vs-biotechnologies/>

Alain DESHAYES et Thierry HARDY

A - Rapports du GIEC et commentaires

1 - IPCC 2022 > Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Summary for Policymakers

<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>

2 - IPCC 2022 > Agriculture, Forestry and Other Land Uses. Chapter07

<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>

3 - Rapport du GIEC > Ce qu'il faut retenir du dernier rapport sur les solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre

<https://actu.geo.fr/environnement/rapport-du-giec-ce-qu'il-faut-retenir-du-dernier-rapport-sur-les-solutions-pour-reduire-les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-209121>

4 - Céline Guivrach *et al.* > Rapport du GIEC : Diviser les émissions de gaz à effet de serre par deux d'ici à 2030, c'est possible !

<https://theconversation.com/rapport-du-giec-diviser-les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-par-deux-dici-a-2030-cest-possible-180513>

5 - Valérie Masson-Delmotte > Nous courons derrière le climat qui change

08/10/21

<https://www.alternatives-economiques.fr/valerie-masson-delmotte-courons-derriere-climat-change/00100660>

6 - Yannick Jadot > Le GIEC et la guerre en Ukraine disent l'urgence de la transition énergétique

09/03/22

<https://www.alternatives-economiques.fr/yannick-jadot-giec-guerre-ukraine-disent-lurgence-de-tran/00102532>

B - Green Deal, Farm to Fork et commentaires

→ Commission, Parlement

7 - Commission > Le pacte vert pour l'Europe. Communication de la commission au parlement européen, au conseil européen, au conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions

11/12/19

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_19_6691

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0640&from=FR>

8 - Commission > Le pacte vert pour l'Europe. ANNEXE de la communication de la commission au parlement européen, au conseil européen, au comité économique et social européen et au comité des régions

11/12/19

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fr/ip_19_6691

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0640&from=FR>

9 - Commission > Qu'est-ce que le pacte vert pour l'Europe ? (infographie)

11/12/19

<https://doi:10277540571>

10 - European Parliament > The European Green Deal. European Parliament resolution of 15 January 2020 on the European Green Deal

15/01/20

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0005_EN.html

11 - European Parliament > Legislative train 08.2022. A European green deal

20/08/22

<https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/carriage/recovery-and-resilience-facility/report?sid=6101>

12 - Commission > Farm to Fork Strategy. For a fair healthy and environmentally-friendly food system

20/05/20

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0381&from=EN>

13 - Conseil de l'UE > Conclusion du Conseil sur la stratégie De la Ferme à la table

19/10/20

<https://www.consilium.europa.eu/fr/press/press-releases/2020/10/19/council-prioritises-actions-for-sustainable-food-systems-conclusions-on-the-farm-to-fork-strategy/>

14 - Commission > Communication from the commission to the European parliament and the council. 2021 Strategic Foresight Report. The EU's capacity and freedom to act

08/09/21

https://ec.europa.eu/info/strategy/strategic-planning/strategic-foresight/2021-strategic-foresight-report_fr

15 - franceinfo > Pacte vert européen : Quatre questions sur le "paquet climat" sur lequel se sont échauffés les eurodéputés au Parlement de Strasbourg

08/06/22

https://www.francetvinfo.fr/monde/europe/union-europeenne/pacte-vert-europeen-quatre-questions-sur-le-paquet-climat-sur-lequel-se-sont-echauffes-les-eurodeputes-au-parlement-de-strasbourg_5184826.html

→ Commentaires

16 - Stéphanie Senet > L'agriculture a un rôle fondamental à jouer dans la lutte climatique

02/06/22

<http://www.journaldelenvironnement.net/article/l-agriculture-a-un-role-fondamental-a-jouer-dans-la-lutte-climatique,106439>

17 - USDA > Report Name: EU Green Deal - September 2020 Update

20/10/20

https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=EU%20Green%20Deal%20-%20September%202020%20Update_Brussels%20USEU_European%20Union_10-17-2020

18 - Henri Miller > The EU's Farm-2-Fork and Green Deal: Are They More than Happy Talk?

24/09/20

<https://www.europeanscientist.com/en/agriculture/the-eus-farm-2-fork-and-green-deal-are-they-more-than-happy-talk/>

19 - Henri Miller > Europe's pro-organic Farm to Fork policy will 'cripple' an already inefficient agriculture system

22/10/20

<https://geneticliteracyproject.org/2020/10/22/viewpoint-europes-pro-organic-farm-to-fork-policy-will-cripple-an-already-inefficient-agriculture-system/>

20 - USDA > Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European Union Green Deal - Farm to Fork and Biodiversity Strategies

11/20

<https://www.ers.usda.gov>

21 - UN Secretary-General > Secretary-General's Chair Summary, Statement of Action on United Nations Food Systems Summit

24/09/21

<https://reliefweb.int/report/world/secretary-general-s-chair-summary-statement-action-united-nations-food-systems-summit>

22 - Frédéric Hénin > Pour rendre l'économie française neutre en carbone en 2050, pourquoi l'agriculture française sera incontournable

25/12/21

<https://wikiagri.fr/articles/pour-rendre-leconomie-fran%C3%A7aise-neutre-en-carbone-en-2050-pourquoi-lagriculture-fran%C3%A7aise-sera-incontournable/22080>

23 - Alice Poiron > Why Attacks Against the EU Farm to Fork Strategy Completely Miss the Point

09/02/22

<https://www.slowfood.com/why-attacks-against-the-eu-farm-to-fork-strategy-completely-miss-the-point/>

24 - Delphine Jeanne > Pour la Conf', « le dogme du produire plus ne nourrira pas le monde »

11/03/22

<https://www.terre-net.fr/actualite-agricole/politique-syndicalisme/article/pour-la-conf-le-dogme-du-produire-plus-ne-nourrira-pas-le-monde-205-206587.html>

25 - Laurent Radison > Souveraineté alimentaire : les deux lectures de la guerre en Ukraine

11/03/22

<https://www.actu-environnement.com/ae/news/souverainete-alimentaire-guerre-ukraine-consequences-39248.php4>

26 - Justus Wesseler > The EU's farm-to-fork strategy: An assessment from the perspective of agricultural economics

31/12/22

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/aepp.13239>

27 - Laurent Radison > L'Europe acte la remise en culture de jachères et repousse la réforme des pesticides

22/03/22

<https://www.actu-environnement.com/ae/news/europe-remise-culture-jachere-reforme-pesticides-repoussee-39317.php4>

28 - Philippe Stoop > **Agriculture ou environnement ? Le faux « dilemme ukrainien »**

01/04/22

<https://www.europeanscientist.com/fr/opinion/agriculture-ou-environnement-le-faux-dilemme-ukrainien/>

29 - Maria Chaplia > **The U.S. Was Right to Warn the EU About Green Agriculture**

08/04/22

<https://www.iwf.org/2022/04/08/the-u-s-was-right-to-warn-the-eu-about-green-agriculture/>

30 - Justus Wesseler > **Academic study: EU's Farm-to-Fork would lead to higher prices and lower production**

12/04/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/04/12/academic-study-eus-farm-to-fork-would-lead-to-higher-prices-and-lower-production>

31 - Emmanuelle Ducros > **'What was already problematic before the war in Ukraine has become catastrophic' Europe's Farm-to-Fork agriculture policy would exacerbate global food crisis**

19/04/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/04/19/viewpoint-what-was-already-problematic-before-the-war-in-ukraine-has-become-catastrophic-europes-farm-to-fork-agriculture-policy-would-exacerbate-global-food-crisis/>

32 - Maria Chaplia > **The War in Ukraine is a Slap in the Face of the Green Agenda**

04/04/22

<https://consumerchoicecenter.org/the-war-in-ukraine-is-a-slap-in-the-face-of-the-green-agenda>

33 - Arthur > **La droite rompt la coalition de gouvernement européenne sur le Green Deal**

10/06/22

<https://www.sauvonsleurope.eu/la-droite-rompt-la-coalition-de-gouvernement-europeenne-sur-le-green-deal/>

34 - Matthieu Ansaloni > **Pourquoi le changement de modèle agricole est-il si difficile ? Un regard politique sur l'agriculture française**

12/05/22

Académie d'Agriculture : La transition agroécologique peut-elle nourrir la France et le monde ?

<https://www.academie-agriculture.fr/actualites/academie/seance/academie/la-transition-agroecologique-peut-elle-nourrir-la-france-et-le#:~:text=Dix%20ans%20apr%C3%A8s%2C%20il%20semble,et%20une%20vision%20plus%20or%C3%A9solument>

35 - Jane Cadwell > **'Difficult if not impossible': Why US organic standards fail farmers and consumers**

18/08/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/08/18/difficult-if-not-impossible-why-us-organic-standards-fail-farmers-and-consumers/>

C - Exemples de "changements"

36 - Teresa Armada Bràs *et al.* > **Severity of drought and heatwave crop losses tripled over the last five decades in Europe**

10/06/21

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf004>

37 - Laure Sauvage > **Le changement climatique en région méditerranée va bousculer les marchés**

25/01/22

<https://www.terre-net.fr/marche-agricole/actualite-marche-agricole/article/impact-sur-les-marches-du-rechauffement-en-afrique-du-nord-et-moyen-orient-1395-204989.html>

38 - Météo France > **Changement climatique : l'été 2022 et ses extrêmes météorologiques pourraient être la norme après 2050**

30/08/22

<https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/changement-climatique-lete-2022-et-ses-extremes-meteorologiques>

39 - European Commission > **Drought in Europe August 2022. GDO Analytical Report**

08/22

<https://joint-research-centre.ec.europa.eu/>

40 - Mika Rantanen *et al.* > **The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979**

08/22

<https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>

41 - Kamvar Razayi > **Les records de chaleur signifient qu'il faut changer le discours sur l'urgence climatique**

07/07/21

<https://theconversation.com/les-records-de-chaleur-signifient-quil-faut-changer-le-discours-sur-lurgence-climatique-163960>

D - Agriculture vs Changements climatiques

42 - Challinor A.J. *et al.* > **Current warming will reduce yields unless maize breeding and seed systems adapt immediately**

10/16

www.nature.com/natureclimatechange

43 - Pierre-Marie Aubert *et al.* > **Agroecology and carbon neutrality in Europe by 2050: what are the issues?**

04/19

IDDR, Study N° 02/19. ISSN: 2258-7535

<http://www.iddri.org>

44 - Hugues Ayphassorho *et al.* > **Changement climatique, eau, agriculture. Quelle trajectoire d'ici 2050 ?**

07/20

CGAAER

https://igedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Affaires-0011497/012819-01_rapport-publie.pdf

45 - UN News > **Food systems account for over one-third of global greenhouse gas emissions**

09/03/21

<https://news.un.org/en/story/2021/03/1086822>

46 - Marie-Cécile Damave > **Agriculture : concilier rentabilité économique et action climatique**

16/05/22

<https://www.agrideas.com/notes/agriculture-concilier-rentabilite-economique-et-action-climatique/>

47 - Philippe Stoop *et al.* > **Agriculture, productivité et biodiversité, les leçons du débat land sharing/land sparing**

18/06/22

<https://www.academie-agriculture.fr/publications/publications-academie/points-de-vue/agriculture-productivite-et-biodiversite-les-lecons>

48 - Philippe Stoop *et al.* > **Point de vue d'Académiciens : Agriculture, productivité et biodiversité, les leçons du débat land sharing/land sparing**

06/22

[20220615agricultureetbiodiversite20210516.pdf](https://www.academie-agriculture.fr/publications/publications-academie/points-de-vue/agriculture-productivite-et-biodiversite-les-lecons)

49 - Luisa Antunes > **European Parliament: Global meat consumption has doubled in two decades, exacerbating climate change. Sustainably growing animal protein with yeast and bacteria could help**

19/07/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/07/19/european-parliament-global-meat-consumption-has-doubled-in-two-decades-exacerbating-climate-change-sustainably-growing-animal-protein-with-yeast-and-bacteria-could-help/>

50 - Michel Duru *et al.* > **Agriculture, alimentation, environnement, santé : à quand des politiques enfin cohérentes ?**

25/07/22

<https://theconversation.com/agriculture-alimentation-environnement-sante-a-quand-des-politiques-enfin-coherentes-184097>

→ Sécheresse

51 - francetvinfo > **Comprendre la sécheresse exceptionnelle qui frappe la France hexagonale**

06/08/22

https://www.francetvinfo.fr/meteo/secheresse/l-article-a-lire-pour-comprendre-la-secheresse-exceptionnelle-qui-frappe-la-france-hexagonale_5289382.html

52 - Boris Hallier > **Il faut trouver des alternatives : en Île-de-France, des agriculteurs passent au sorgho pour économiser l'eau**

08/08/22

https://www.francetvinfo.fr/economie/emploi/metiers/agriculture/reportage-il-faut-trouver-des-alternatives-en-ile-de-france-des-agriculteurs-passent-au-sorgho-pour-economiser-l-eau_5299006.html

53, 54 - Sylvain Barone (INRAE) > **Il faut engager une réflexion inclusive sur le partage de l'eau**

14/08/22

Le Monde

55 - Brice Le Borgne > Agriculture, eau potable, centrales nucléaires... Comment l'eau est consommée en France en quatre graphiques

14/08/22

https://www.francetvinfo.fr/meteo/secheresse/infographies-agriculture-eau-potable-centrales-nucleaires-comprendre-comment-l-eau-est-consommee-en-france-en-quatre-graphiques_5302522.html

56 - FNSEA > Sécheresse et canicules : pas de semis administratif, mais du bon sens !

10/08/22

<https://www.fnsea.fr/communiqués-de-presse/secheresse-et-canicules-pas-de-semis-administratif-mais-du-bon-sens/>

57 - Marc Dufumier > Agriculture : une meilleure gestion de l'eau doit être encouragée

18/08/22

https://www.liberation.fr/idees-et-debats/tribunes/agriculture-une-meilleure-gestion-de-leau-doit-etre-encouragee-20220818_YGZ2OPQ6PVHCDCAJJI6TRV4I4/

58 - Mathieu Jublin > Sécheresse : la crise de l'eau ne fait que commencer

26/08/22

<https://www.alternatives-economiques.fr/secheresse-crise-de-leau-ne-commencer/00104296>

59 - Gilles Rivière-Weistein > Irrigation : pour en finir avec la décroissance

29/08/22

<https://www.agriculture-environnement.fr/2022/08/29/irrigation-pour-en-finir-avec-la-decroissanceMailjet>

60 - Delphine Luquet > Face à la sécheresse, innover pour transformer notre agriculture

04/09/22

<https://theconversation.com/face-a-la-secheresse-innover-pour-transformer-notre-agriculture-187324>

61 - Bill Hathawat > Common weed may be 'super plant' that holds key to drought-resistant crops

05/08/22

<https://news.yale.edu/2022/08/05/common-weed-may-be-super-plant-holds-key-drought-resistant-crops>

E - Biotechnologies vs Changements climatiques

62 - xxxxx > Un gène important permet aux plantes de s'adapter aux variations du climat

28/01/10

http://www.notre-planete.info/actualites/actu_2252.php

63 - ISAAA > Biotechnology and Climate Change

04/13

Global Knowledge Center on Crop Biotechnology.

[https://www.isaaa.org/resources/publications/pocketk/foldable/Pocket%20K43%20\(English\).pdf](https://www.isaaa.org/resources/publications/pocketk/foldable/Pocket%20K43%20(English).pdf)

64 - Agnès Ricoch > Les plantes biotechnologiques peuvent-elles répondre aux défis du XXI^e siècle, en particulier liés au changement climatique ?

19/11/15

Conférence à l'Institut Pasteur

<http://www.aaeip.fr/Downloads/Ricoch.pdf>

65 - Luis Herrera-Estrella > Genetically Modified Crops and Developing Countries

11/00

<https://academic.oup.com/plphys/article/124/923/6097506>

66 - Ning Fan > How AI and gene editing can combine to revolutionize climate-smart farming

29/07/21

<https://geneticliteracyproject.org/2021/07/29/how-ai-and-gene-editing-can-combine-to-revolutionize-climate-smart-farming/>

67 - Nicholas G. Karavolias *et al.* > Application of Gene Editing for Climate Change in Agriculture

07/09/21

<https://doi:10.3389/fsufs.2021.685801>

68 - Yumin Tao *et al.* > Enhanced photosynthetic efficiency for increased carbon assimilation and woody biomass production in hybrid poplar INRA 717-1B4

09/03/22

<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.02.16.480797v2>

69 - Frédéric Hénin > Réduire les émissions de GES et décarboner l'atmosphère, la voie des OGM s'impose !

21/02/22

<https://wikiagri.fr/articles/reduire-les-emissions-de-ges-et-decarboner-latmosphere-la-voie-des-ogm-simpose!/22191>

70 - Hubert Bosse-Platière > **Le CO2 vert capturé par le droit : le carbone en agriculture et en sylviculture**

04/04/22

<https://www.agrideas.com/ouvrages/le-co2-vert-capture-par-le-droit-le-carbone-en-agriculture-et-en-sylviculture/>

71 - Laura E. Dixon *et al.* > **MicroRNA-resistant alleles of *HOMEODOMAIN-2* modify inflorescence branching and increase grain protein content of wheat**

11/05/22

<https://www.science.org>

72 - Casey Crownhart > **Can carbon-sucking gene edited crops help address climate change?**

Jennifer Doudna thinks so

24/06/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/06/24/crispr-crops-can-carbon-sucking-gene-edited-crops-help-address-climate-change-jennifer-doudna-thinks-so/>

73 - Kevin Doxzen > **How engineered crops can fight climate change**

04/07/22

<https://www.weforum.org/agenda/2022/07/engineered-crops-can-fight-climate-change/>

74 - Sarah Garland *et al.* > **Turning promise into practice: Crop biotechnology for increasing genetic diversity and climate resilience**

26/07/22

<https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.3001716>

75 - Bibi-Aisha Wadvalla > **Faire progresser les biotechnologies pour résoudre les problèmes alimentaires de l'Afrique**

29/07/22

<https://www.nature.com/articles/d44148-022-00107-7>

76 - Helen Curry *et al.* > **How GMOs and crop gene editing can increase genetic diversity and help contain climate change**

03/08/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/08/03/study-how-gmos-and-crop-gene-editing-can-increase-genetic-diversity-and-help-contain-climate-change/>

77 - Jeff Mulhollem > **Plant molecular geneticists discover, and begin to crack, the epigenetic code**

16/08/22

<https://www.psu.edu/news/research/story/plant-molecular-geneticists-discover-and-begin-crack-epigenetic-code/>

→ Super gène ?

78 - Wenkang Chen *et al.* > **Convergent selection of a WD40 protein that enhances grain yield in maize and rice**

25/03/22

<https://www.science.org/doi/10.1126/science.abg7985>

79 - Shoabo Wei *et al.* > **A transcriptional regulator that boosts grain yields and shortens the growth duration of rice**

22/07/22

<https://doi.org/10.1126/science.abi8455>

80 - Erik Stockstadt > **Supercharged biotech rice yields 40% more grain Genetic tweak may boost photosynthesis and fertilizer absorption in wheat, other crops, too.**

22/07/22

<https://www.science.org/content/article/supercharged-biotech-rice-yields-40-more-grain>

81 - Shaobo Wei *et al.* > **Supplementary Materials for A transcriptional regulator that boosts grain yields and shortens the growth duration of rice**

28/07/22

<https://doi.org/10.1126/science.abi8455>

82 - Merritt Khaipho-Burch > **Claims that “supercharged biotech rice” yields massively more grain debunked**

14/08/22

<https://www.gmwatch.org/en/106-news/latest-news/20084-claims-that-supercharged-biotech-rice-yields-massively-more-grain-debunked>

83 - Claire Robinson *et al.* > **Study claims tweaking one gene could raise rice yields as much as 68%. Here's why you should be cautious about believing it**

29/08/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/08/29/viewpoint-study-claims-tweaking-one-gene-could-raise-rice-yields-as-much-as-68-heres-why-you-should-be-cautious-about-believing-it/>

➔ Intrants

84 - Guntur V. Subbarao *et al.* > **Enlisting wild grass genes to combat nitrification in wheat farming: A nature-based solution**

23/08/21

<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2106595118>

85 - Gilles Billen *et al.* > **Peut-on se passer des engrais azotés de synthèse ?**

18/03/22

<https://revue-sesame-inrae.fr/peut-on-se-passer-des-engrais-azotes-de-synthese/>

86 - Genengnews > **CRISPR-Engineered Rice Enhances the Natural Production of Fertilizer**

09/08/22

<https://www.genengnews.com/topics/genome-editing/crispr-engineered-rice-enhances-natural-production-of-fertilizer/>

87 - Laurent Radison > **Pendant des millénaires, l'agriculture s'est parfaitement passée d'engrais de synthèse**

10/08/22

<https://www.actu-environnement.com/ae/news/interview-gilles-billen-agriculture-engrais-40104.php4>

88 - Jeanette Kras > **Gene-edited rice can naturally fix nitrogen in the soil, vastly reducing the need for chemical fertilizers**

12/08/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/08/12/gene-edited-rice-can-naturally-fix-nitrogen-in-the-soil-vastly-reducing-the-need-for-chemical-fertilizers/>

89 - Genetic Engineering & Biotechnology News > **CRISPR gene-edited rice could help soil bacteria produce nitrogen fertilizer**

18/08/22

<https://geneticliteracyproject.org/2022/08/18/crispr-gene-edited-rice-could-help-soil-bacteria-produce-nitrogen-fertilizer-heres-how-it-works/>

90 - Dawei Yan *et al.* > **Genetic modification of flavone biosynthesis in rice enhances biofilm formation of soil diazotrophic bacteria and biological nitrogen fixation**

08/22

<https://doi.org/10.1111/pbi.13894>

F - Plateformes bibliographiques

91 - Plateforme documentaire du CTIFL

➔ changement climatique

<https://plateforme-documentaire.ctifl.fr/Record.htm?Record=241814606909&idlist=1>

➔ biotech

https://plateforme-documentaire.ctifl.fr/ListRecord.htm?list=table&global=on&table=3&field_all=on&what=biotech

➔ d'autres bases de données accessibles :

<https://plateforme-documentaire.ctifl.fr/ListRecord.htm?list=folder&folder=45&reload=on>

92 - Plateforme documentaire du CIRAD

➔ climat biotech édition génomique

https://agritrop.cirad.fr/cgi/search/archive/simple?order=-date%2Fcreators_name%2Ftitle&_action_search=Trier&screen=Search&dataset=archive&exp=0%7C1%7C%7Carchive%7C-%7Cq%3A%3AALL%3AIN%3Aclimat+biotech+%C3%A9dition+g%C3%A9nomique%0D%0A%7C-%7C

93 - Jean-Marc Jancovici > **Post à propos de la sécheresse 2022**

08/22

<https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6959537504257462273/>