

INVESTIR MAINTENANT DANS L'INNOVATION VÉGÉTALE POUR PRÉPARER LES AGRICULTURES DE DEMAIN



Synthèse de la réflexion prospective et propositions du GIS Biotechnologies Vertes (GIS BV) pour un programme de recherche collaborative autour de la production végétale

CHIFFRES-CLÉS DU SECTEUR DES SEMENCES, EN FRANCE*

La France est le **premier exportateur** mondial & le premier producteur européen,

Le secteur génère **3,3 milliards d'Euros de chiffre d'affaires** & 950 millions d'Euros d'excédent commercial

13% du chiffre d'affaires est investi dans la **R&D**

556 nouvelles variétés inscrites au catalogue national

Afin d'assurer leur durabilité et productivité, les agricultures de demain devront répondre à des impératifs de performances, économique, sociale, environnementale et sanitaire. Cette ambition invite à repenser les modes de production dans un contexte d'autant plus difficile que la demande alimentaire continue d'augmenter et de se diversifier au niveau mondial, et que les effets du changement climatique global commencent à se manifester.

L'ensemble des membres du GIS BV s'accorde à penser que c'est de la mobilisation coordonnée de toutes les composantes des productions, en particulier végétale, que naîtront les solutions et innovations permettant de relever ces défis. Ainsi, le levier génétique jouera un rôle majeur aux côtés de l'agronomie, du numérique, des agroéquipements et du biocontrôle.

Les objectifs sont partagés : il s'agit de réduire l'usage des pesticides en particulier, et des intrants en général, d'augmenter la production tout en enrichissant la biodiversité cultivée et associée, de participer à la captation du carbone dans les sols et de favoriser les usages alimentaires et non-alimentaires des productions végétales pour servir tous les besoins de la bioéconomie.

Afin de transformer ces objectifs en questions de recherche puis en innovations, le GIS BV a consulté ses membres, publics et privés, ainsi que d'autres acteurs concernés par les productions végétales. Ainsi, 61 entités publiques et privées [1] ont participé à cette réflexion collective. Ce travail a permis de définir **6 thématiques de recherche prioritaires pour l'innovation végétale**, sur lesquelles les acteurs consultés sont prêts à se mobiliser collectivement :

- **Diversité génétique et pre-breeding** pour favoriser l'adaptation au changement climatique
- **Lutte génétique contre les pathogènes et les parasites** pour réduire l'usage des pesticides
- **Maîtrise de la recombinaison** pour accélérer l'innovation variétale
- **Edition des génomes** pour enrichir et accélérer le progrès génétique
- **Métabolites secondaires des plantes** pour répondre aux besoins de la bioéconomie
- **Photosynthèse, architecture de la plante et racines** pour combiner productivité et captation du carbone

Ce document présente chacune des thématiques en les replaçant dans leur contexte socio-économique, en explicitant les enjeux et priorités de recherche et en listant les espèces (potagères, grandes cultures, orphelines, etc.) qui pourraient en bénéficier.



Diversité génétique et pre-breeding

Conserver, caractériser et optimiser la diversité génétique : un levier essentiel pour le progrès génétique et l'amélioration des plantes

Animateurs : **Mathilde Causse (INRA) & Alain Murigneux (Limagrain)**

● Contexte socio-économique

Le progrès génétique est un levier majeur des divers types d'agriculture pouvant être mis en œuvre. Il est fortement conditionné par la présence de diversité génétique dans le matériel sélectionné et l'utilisation de schémas de sélection adaptés. Aujourd'hui, les besoins cumulés du développement de la bioéconomie ainsi que les ambitions de conduire une production agricole performante pour l'économie, l'environnement, la société et la santé exercent de nouvelles pressions sur les variétés existantes et futures. Ce contexte rend indispensable le développement de nos capacités à puiser dans le plein potentiel des collections de ressources en vue de produire des variétés adaptées aux multiples enjeux des agricultures de demain.

● Enjeux scientifiques pour la recherche et l'innovation

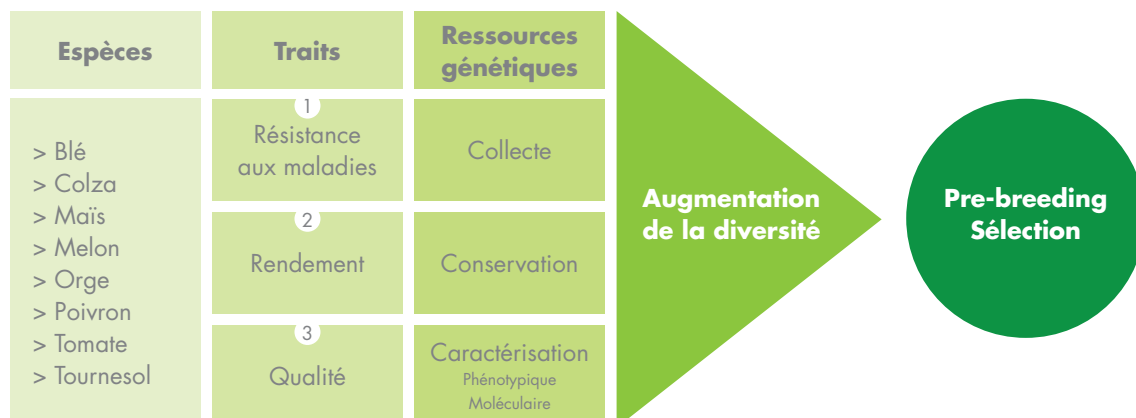
Dans cet objectif, sur des espèces porteuses d'un enjeu, il est nécessaire que les centres de ressources génétiques caractérisent finement leurs collections, tant au niveau moléculaire que phénotypique et structurent l'accès aux données disponibles, y compris pour les espèces orphelines. Cette caractérisation sera d'autant plus riche que les capacités actuelles permettent un génotypage dense, ainsi qu'un phénotypage classique et instrumenté. La biologie translationnelle, qui autorise le passage des espèces modèles vers les espèces d'intérêt, ainsi que les développements méthodologiques acquis dans le cadre des PIA 1*, en particulier concernant la sélection génomique, permettent d'envisager la mise en œuvre de schémas de pre-breeding et de sélection novateurs et efficaces. Il est possible d'envisager l'accès aux caractères complexes ou encore mal connus et donc peu ou pas sélectionnés jusqu'alors.

● Axes prioritaires de recherche

1. Assurer la caractérisation génotypique et phénotypique ainsi que la conservation des ressources génétiques
2. Optimiser les méthodes de valorisation et d'introduction de la diversité dans les schémas de sélection
3. Développer la recherche translationnelle et exploiter ses résultats en sélection d'espèces mineures ou orphelines

● Synthèse des priorités de recherche pour le partenariat public-privé

Schéma synthétisant le recueil d'intérêt des partenaires publics et privés



* 1^{ère} vague du programme Investissements d'Avenir



Lutte génétique contre les pathogènes et les parasites

Dans un contexte d'environnement changeant et de limitation des produits phytosanitaires, les cultures doivent être protégées de manière durable et intégrée

Animateurs : **Véronique Decroocq (INRA)** & **Grégori Bonnet (Syngenta)**

● Contexte socio-économique

Alors que les maladies classiques provoquent chaque année d'importantes pertes de production agricole, de nouvelles maladies apparaissent suite au changement climatique et aux échanges internationaux. De plus les attentes sociétales incitent à une meilleure préservation de l'environnement par une réduction de l'utilisation des pesticides. Seule une lutte intégrée associant génétique végétale, biocontrôle et pratiques culturales permettra de contrôler durablement les maladies des plantes et les systèmes de protection.

● Enjeux scientifiques pour la recherche et l'innovation

La mise en place de systèmes intégrés de protection des cultures nécessitera de connaître les mécanismes biologiques et le déterminisme génétique qui est à l'origine des défenses des plantes. Les mécanismes mis en œuvre par les organismes issus de l'environnement biotique ayant une interaction positive avec la plante, ou bien encore les interactions entre stress biotiques et abiotiques, doivent être étudiés afin de concevoir des pratiques culturales tendant à limiter l'incidence des maladies (pluri-cultures, rotations, adaptations des filières...), et cela dans un contexte de changement climatique et de diminution des apports hydriques en particulier.

● Axes prioritaires de recherche

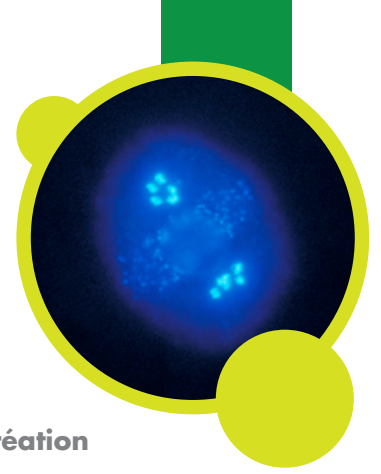
1. Découvrir des résistances génétiques durables issues ou non de la biodiversité, à large spectre et dans un contexte d'environnement multi-stress et changeant, étudier les mécanismes biologiques associés et leur durabilité/stabilité
2. Etudier le phytobiome et intégrer les connaissances générées dans des stratégies de protection
3. Mettre en place des outils de phénotypage adaptés à l'étude des systèmes de protection
4. Investiguer des pratiques culturales adaptées en concertation avec les acteurs
5. Modéliser le fonctionnement des systèmes de culture et des patho-systèmes, pour la construction d'idéotypes adaptés à la gestion intégrée et pour prédire et prendre en compte les maladies émergentes

● Tableau récapitulatif

Issu d'une enquête synthétisant le recueil d'intérêt des partenaires publics et privés

Espèces	Traits							
	Diversité des résistances	Interactions avec l'environnement, les systèmes de culture	Durabilité des résistances	Résistance quantitatives	Cumul des résistances	Stimulateurs de défense	Vecteurs des maladies	Mécanismes biologiques
Céréales, grandes cultures	●	●	●●	●●	●●	●		●●
Oléoprotéagineux	●●	●●	●●	●●	●	●●●	●	●●
Potagères	●●	●●●	●●	●		●●	●	●●
Arbres fruitiers, vigne	●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●		●●●
Orphelines	●●●	●●●	●●	●●●	●●	●●	●	●●

● Maladies fongiques ● Maladies bactériennes ● Maladies virales, parasites et nématodes



Maîtrise de la recombinaison

Modulation d'un mécanisme biologique fondamental pour une création variétale plus flexible et rapide

Animateur : **Eric Jenczewski (INRA)**

● Contexte socio-économique

Accélérer le développement d'une large gamme de variétés dédiées à des productions et/ou pratiques culturales spécifiques est un enjeu majeur pour répondre aux besoins croissants d'une agriculture plurielle. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de tirer le meilleur profit de la diversité génétique existant au sein des espèces cultivées ou de leurs espèces apparentées, en combinant au sein d'une même plante les caractères les mieux adaptés aux types de produits ou d'agricultures souhaités. Cela impose de maîtriser le processus biologique qui génère ces nouvelles combinaisons : la recombinaison méiotique.

● Enjeux scientifiques pour la recherche et l'innovation

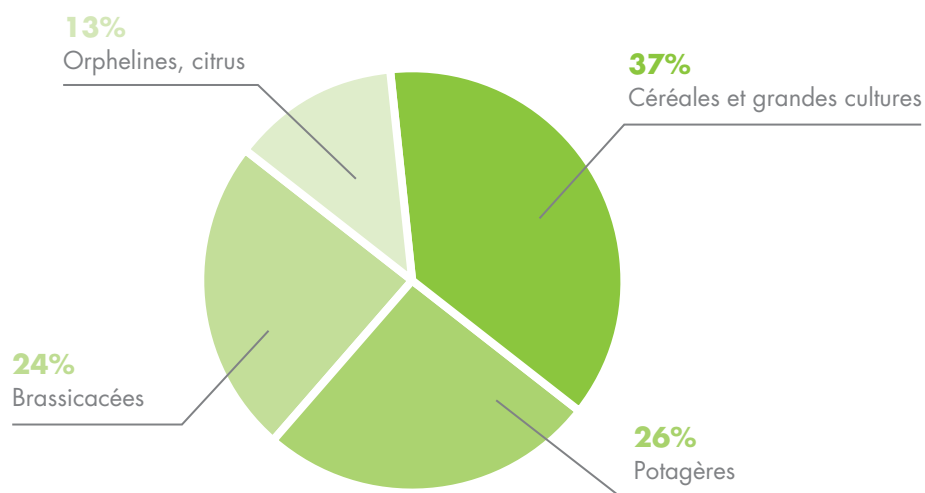
La recombinaison génétique conduit à des échanges de grands fragments d'ADN entre chromosomes maternels et paternels au cours de la méiose. Ce faisant, elle génère la variabilité génétique sur laquelle reposent les programmes de sélection variétale. La compréhension et la maîtrise des mécanismes régulant la fréquence et la distribution des événements de recombinaison constituent donc une piste de recherche majeure pour améliorer les schémas de sélection variétale actuels. Avec plusieurs équipes de recherche reconnues au niveau international dans ce domaine, la France est un des leaders mondiaux dans ce champ thématique, position qu'il convient de conforter et de renforcer.

● Axes prioritaires de recherche

1. Augmenter le taux de recombinaison pour accélérer le pre-breeding et/ou l'identification de gènes de valeur agronomique
2. Favoriser la recombinaison entre régions chromosomiques divergentes pour valoriser les gènes d'intérêt présents au sein des espèces apparentées aux plantes cultivées
3. Maîtriser la distribution des événements de recombinaison, notamment dans les zones réfractaires, pour augmenter la diversité génétique disponible pour la sélection variétale

● Espèces d'intérêt pour le partenariat de recherche public-privé

Répartition des priorités de recherche identifiées par catégorie d'espèces



Edition des génomes



Une rupture technologique pour la création variétale, un vecteur de compétitivité et d'innovation pour les secteurs semencier, agricole et agroalimentaire français

Animateurs : **Pierre Hilson (INRA) & Sébastien Praud (Biogemma)**

● Contexte socio-économique

L'édition de génomes est un nouveau pilier du levier génétique pour l'adaptation des espèces aux contextes climatique et agricole du XXI^{ème} siècle. Accompagnés par des explications factuelles pour la société civile, les efforts engagés dans le cadre du programme GENIUS (PIA 1*) doivent être concrétisés et élargis pour permettre à la communauté de recherche publique-privée française d'accroître continuellement son savoir-faire de haut niveau en ingénierie cellulaire végétale, et ainsi de rester compétitive dans un secteur très concurrentiel au niveau international à très fort potentiel d'innovation.

● Enjeux scientifiques pour la recherche et l'innovation

Les procédés d'édition des génomes constituent une réelle rupture pour la recherche et pour l'innovation. Maîtriser les techniques d'édition du génome est la condition pour mener à bien la réflexion sur leur utilisation. Ces techniques concernent aujourd'hui 44 espèces cultivées et permettent de travailler sur un grand nombre de caractères présentant un intérêt i) agronomique (résistance durable aux pathogènes, adaptation à l'environnement, augmentation de la biomasse, etc.), ii) technologique (meilleure adaptation aux process « de la fourche à la fourchette ») et iii) pour le consommateur (qualité organoleptique, valeur ajoutée alimentaire). L'édition du génome devient l'outil incontournable pour enrichir les marchés et la diversité génétique (y compris celle des espèces orphelines de recherche), la domestiquer et bénéficier ainsi de tout son potentiel.

● Axes prioritaires de recherche

1. Investiguer, développer et implémenter les nouvelles méthodes d'édition génomique pour disposer d'outils de sélection variétale opérationnels, efficaces et libres d'accès
2. Produire des variétés mieux adaptées à leur environnement et plus durables en optimisant des caractères agronomiques majeurs, en satisfaisant les aspirations des consommateurs pour une agriculture plus respectueuse de l'environnement
3. Evaluer l'impact de ces nouvelles variétés aux niveaux i) socio-économique, ii) environnemental et iii) sanitaire

● Espèces et traits d'intérêt pour le partenariat de recherche public-privé

Tableau synthétisant le recueil d'intérêt des partenaires publics et privés.

Espèces	Traits							
	Architecture	Reproduction, Outils de sélection	Maladies	Adaptation à l'environnement	Qualité (process)	Qualité (alimentation)	Cycle de vie	Molécules à haute valeur
Céréales, grandes cultures								
Oléoprotéagineux								
Potagères								
Arbres fruitiers, vigne								
Ornementales								
Forestières								
Microalgues								

* 1^{ère} vague du programme Investissements d'Avenir

Métabolites secondaires des plantes



Une haute valeur ajoutée entre la culture de la plante et la molécule active, touchant divers marchés

Animateurs : **Adnane Boualem (INRA) & Christophe Masson (Cosmetic Valley)**

● Contexte socio-économique

Les molécules issues du métabolisme secondaire des plantes sont de nature et de fonction très diverses ; on estime qu'il en existe plus de 100 000. Certains de ces métabolites ont été exploités dans les secteurs agroalimentaire, sanitaire, de la parfumerie et de la cosmétique. Par exemple des molécules anti-cancéreuses sont régulièrement extraites de végétaux et génèrent des chiffres d'affaire considérables. Ainsi, le taxol anti-cancéreux issu de l'if commun a généré 3,4 milliards d'Euros de chiffre d'affaires depuis sa découverte en 1989. L'investissement des entreprises pour l'identification de molécules à caractère olfactif et gustatif est aussi important dans l'industrie. Par ailleurs la demande du consommateur pour des produits d'origine naturelle est telle que les extraits végétaux comportant des molécules actives et stabilisées ont un avantage considérable sur le marché. Le marché de la vanilline d'origine biologique devrait atteindre, à lui seul, quelque 200 millions d'Euros (soit une augmentation de 3 à 500 % en 10 ans) à l'horizon 2024.

● Enjeux scientifiques pour la recherche et l'innovation

Les défis posés par les métabolites secondaires sont de les identifier, les inventorier et de mettre à jour leurs propriétés, y compris leurs fonctions biologiques d'intérêt pour l'homme et son bien-être. Ils peuvent aussi être utilisés pour la santé des plantes, dans le secteur du biocontrôle. Il sera nécessaire de produire les molécules d'intérêt en grande quantité, dans des compartiments cellulaires accessibles qui permettent leur extraction à un coût raisonnable. Les types d'espèces à étudier sont vastes, ils comprennent des espèces sauvages, des plantes aromatiques et à parfum ainsi que des espèces orphelines. Les disciplines scientifiques à mobiliser sont aussi plurielles, allant de l'écologie à la chimie analytique, de la génomique à la biologie végétale.

● Axes prioritaires de recherche

1. Explorer et exploiter la diversité biologique et génétique, naturelle et induite, pour l'identification de nouvelles molécules et l'amélioration des rendements
2. Comprendre les voies de biosynthèse et du développement des organes producteurs de molécules d'intérêt
3. Etudier les activités biologiques des métabolites et développement de cribles biologiques
4. Développer des bioréacteurs végétaux et microbiens et de nouveaux procédés d'extraction pour la production de molécules d'intérêt

● Tableau récapitulatif

Issu d'une enquête synthétisant le recueil d'intérêt des partenaires publics et privés

Espèces	Molécules				
	Défense des plantes	Activité pharmacologique	Arômes	Antibiotiques	Extraction, production
Médicinales					
A parfum					
Aromatiques					
Ornementales					
Oléoprotéagineux					
Potagères					
Arbres fruitiers					

Photosynthèse, architecture de la plante et racines



Maîtriser la photosynthèse et la séquestration du carbone : des enjeux au cœur de la bioéconomie et de l'agroécologie

Animateur : **Norbert Rolland (CEA, CNRS)**

● Contexte socio-économique

Les priorités de sécurité alimentaire, d'adaptation au changement climatique ainsi que le développement de la bioéconomie exercent une forte pression sur la production végétale. Celle-ci devra répondre aux besoins croissants des différents usages tout en maximisant ses effets positifs sur l'environnement, en particulier en augmentant sa capacité à séquestrer du carbone dans les sols afin de réduire les effets de l'activité humaine sur la concentration en dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. A la confluence de ces priorités se trouve la photosynthèse, caractère assez méconnu et donc peu sélectionné, mais pouvant jouer un rôle majeur dans la réponse à ces différents enjeux.

● Enjeux scientifiques pour la recherche et l'innovation

La photosynthèse est un mécanisme d'une grande complexité. Elle dépend de l'efficacité de la fixation du CO₂ qui résulte entre autres de l'architecture de la plante et de sa position dans le peuplement. Elle est également connectée à la capacité des puits de carbone, elle-même connectée à l'architecture racinaire. Aujourd'hui, l'état des connaissances en génétique et génomique sur des plantes et algues modèles, en physiologie, phénotypage, science des sols et agronomie nous permet d'envisager une approche systémique indispensable à la compréhension de l'efficacité de la photosynthèse. L'augmentation de la capacité de stockage des puits de carbone doit aussi être étudiée.

● Axes prioritaires de recherche

1. Optimiser la captation des rayonnements par l'architecture de la plante et la capacité de peuplement, contrôler la photorespiration et le stress oxydatif, et mesurer l'impact de la concentration du CO₂ atmosphérique et des stress de l'environnement sur la photosynthèse
2. Optimiser l'architecture racinaire, l'absorption de nutriments et d'eau et mesurer leur effet sur le développement du chloroplaste
3. Modéliser le fonctionnement intégré de l'appareil photosynthétique

● Synthèse des priorités de recherche pour le partenariat public-privé

Schéma synthétisant le recueil d'intérêt des partenaires publics et privés



[1] Liste des entités publiques et privées consultées

Aix-Marseille Université

- Agro Campus Ouest • AgroParisTech
- Alban Muller • Alkion BiolInnovations •
- Arvalis Institut-du-Végétal • Bayer CropScience •
- Biogemma • CATAR • CEA • CEP Innovation • Cirad
- CNRS • Cosmetic Valley • ENS Lyon • Euralis Semences
- Evonik Advanced Botanicals • Florimond Desprez •
- Gautier Semences • Génoplante-Valor • GIE Colza • Gnis •
- Greentech SA • Groupe Soufflet • HM Clause • IFV • INRA
- INRA Transfert • Institut Curie • IRD • Isipca Paris • Iteipmai •
- KWS Momont • LabEX Saclay Plant Sciences • Limagrain Europe •
- Maïsadour Semences • Meiogenix • Montpellier Sup Agro • Nestlé,
- Nor-Feed • Pépinières et Roseraies Georges Delbard • Plant
- Advanced Technologies • RAGT 2n • Rijk Zwaan France • Sakata
- Europe • Secobra Recherches • Sofiprotéol • Syngenta • Tereos
- Terres Inovia • Université d'Orléans • Université de Picardie
- Jules Verne • Université de Reims Champagne Ardenne
- Université de Tours • Université Grenoble Alpes •
- Université Lille 1 • Université Paris-Sud • Université
- de Saint-Etienne • Vegepolys • Vegenov •
- Vilmorin SA

Retrouvez-nous sur :



www.gisbiotechnologiesvertes.com