



7^{ème} Colloque des Biotechnologies Végétales
organisé par le Conseil Scientifique de l'AFBV

Les biotechnologies végétales répondent-elles aux attentes des filières agricoles et agroalimentaires ?

Mardi 17 octobre 2017
9h00 – 17h00

- **Programme**
- **Présentation des orateurs**
 - **Curriculum vitae**
 - **Résumé des interventions**

« Les biotechnologies végétales répondent-elles aux attentes des filières agricoles et agroalimentaires ? »

Mardi 17 octobre 2017

9h00 – 17h00

Goethe-Institut, 17 avenue d'Iéna, 75116 PARIS

8h30 Accueil

9h00 Introduction, Alain Deshayes - Président de l'AFBV

Les attentes des filières agricoles et agroalimentaires :

9h15 La Meunerie, Bernard Valluis - ANMF

(Association Nationale de la Meunerie Française)

9h35 La filière maïs-sorgho, Josiane Lorgeou - Arvalis Institut du Végétal

9h55 La filière oléo-protéagineuse, Xavier Pinochet - Terre Inovia

10h15 La filière fruits et légumes, Sandrine Codarin - CTIFL

(Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes)

10h35 La filière agroalimentaire des produits végétaux, Elisabeth Chanliaud - Limagrain

10h55 Pause

11h25 Les Biotechnologies végétales : Quoi de neuf ? Panorama de la dynamique mondiale, Peter Rogowsky - INRA

12h05 - 14h15 Déjeuner libre

14h15 Les initiatives nationales en biotechnologies végétales, Pascual Perez - Limagrain

14h45 Table-ronde animée par Georges Freyssinet - Membre du Conseil Scientifique de l'AFBV

Biotechnologies végétales et filières

Avec la participation de **Thierry Candresse - INRA ; Mathilde Causse - INRA ; Olivier Lucas - RAGT ; Bruno Poupard - Limagrain Europe ; Michel Renard - INRA ; Jean-Pierre Renou - INRA**

16h00 Discussion générale

16h15 Synthèse, Carole Caranta - INRA

17h00 Fin du colloque

Curriculum vitae des orateurs et résumé de leur présentation

Alain DESHAYES

Alain Deshayes est Ingénieur Agronome et ancien Directeur de Recherche à l'INRA où il a fait l'essentiel de sa carrière. Adjoint au Directeur Scientifique des Productions Végétales de 1986 à 1993, il fut, en particulier, en charge des biotechnologies végétales.

Après une année passée à la Direction des Stratégies Industrielles au Ministère de l'Industrie, il a rejoint la R&D d'un grand groupe de l'agroalimentaire.

Il est Président de l'AFBV.

André GALLAIS

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.

Bernard VALLUIS

Bernard Valluis est Président Délégué de l'Association Nationale de la Meunerie Française (ANMF) depuis 2009. Il est également Président du Centre d'Information des Farines et du Pain (CIFAP) et, à ce titre, co-préside l'Observatoire du pain. A l'international, il a été élu à la présidence de European Flour Millers Association (EFM) en mai 2016.

Après un début de carrière comme chercheur (INRA-Economie), il a été Chargé de mission au Ministère de l'Economie et des Finances (1974-1978), puis Directeur de l'Association Générale des Producteurs de Maïs (AGPM), avant de rejoindre le groupe Soufflet en 1990.

Les attentes des filières agricoles et agroalimentaires : la filière de la meunerie

La sélection végétale fait l'objet d'une très grande attention de la part de la meunerie française qui participe aux travaux de la section « Céréales à paille » du CTPS et qui évalue les qualités technologiques des variétés inscrites, en coopération avec Arvalis.

La fiche « Blés meuniers », diffusée chaque année par l'ANMF, présente les listes actualisées des VRM (variétés recommandées par la meunerie) et des BPMF (blés pour la meunerie française). Il s'agit des résultats d'analyse des qualités technologiques en meunerie et en panification des variétés inscrites au catalogue.

D'ores et déjà, ces obtentions végétales bénéficient des biotechnologies dans l'application des méthodes traditionnelles de sélection, et plus récemment dans la mise en œuvre des techniques d'hybridation.

La non acceptation des OGM a bloqué les recherches et inscriptions de variétés de blé obtenus par ces techniques, mais la connaissance du génome du blé et les différentes techniques du type « édition de gènes » ouvrent des

perspectives nouvelles qui permettront de combiner les critères recherchés actuellement par la filière blé-farine-pain :

- Variétés productives à bas niveau d'intrants
- Résistances aux maladies (réduction des risques de mycotoxines)
- Satisfaction des critères VRM et BPMF
- Variétés d'intérêt nutritionnel

Aussi, la qualification juridique des NBT par les instances européennes représente un enjeu majeur pour la meunerie française.

Josiane LORGEOU

Josiane Lorgeou, écophysiologiste et agronome, est évaluatrice de variétés de maïs et sorgho depuis 1986 à AGPM-Technique et, depuis 2003, à ARVALIS Institut du végétal.

Représentante d'Arvalis au CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection Végétale), Section Céréales à paille, Commissions VATE (Valeur Agronomique Technologique et Environnementale) et Section maïs et sorgho.

Impliquée et actrice de nombreux programmes de recherche collaboratifs du CASDAR (Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural) Semences, FSOV (Fond de Soutien à l'Obtention Végétale), FAM (France Agrimer) et ANR (Agence Nationale pour la Recherche).

Animatrice des travaux et de l'équipe « Variétés, Génétique et Semences » d'ARVALIS Institut du végétal et du groupe « Innovations Variétales du GIS GC HPEE ».

Les attentes des filières agricoles et agroalimentaires : la filière maïs-sorgho selon Arvalis

Les biotechnologies végétales ne sont pas une fin en soi pour les producteurs de maïs et sorgho. Elles figurent parmi les moyens de recherche et de création d'innovations génétiques et techniques (conduite de culture et valorisation de la production). Plus que le processus d'obtention d'une innovation, c'est l'évaluation et l'intérêt de cette innovation au regard de critères agronomiques, technico-économiques et environnementaux, qui, pour la plupart des agriculteurs, priment pour son adoption après, bien entendu, que sa mise en marché ait été autorisée.

Dans un contexte de réchauffement et d'aléas climatiques, d'un encadrement plus restrictif de l'accès à l'eau, l'azote et la protection phytosanitaire, ainsi que de concurrence commerciale entre pays, le levier « génétique » focalise de nombreuses attentes sous forme de listes des caractères à satisfaire. Les efficacités de valorisation de l'offre pédoclimatique, de l'eau, et plus globalement de tous les intrants, doivent contribuer, au-delà d'une utilisation parcimonieuse, à la minimisation des coûts de production à la tonne pour rester compétitif sur le marché intérieur, intracommunautaire et pays tiers du maïs et sorgho, dont les prix payés aux producteurs sont indexés sur les cours mondiaux. La résistance aux stress abiotiques ou l'aptitude à limiter les pertes rendements en situations de déficits hydriques et d'excès de température sont stratégiques en matière de régularité de la production. Alors que le maïs et sorgho font partie des espèces à faibles IFT (indice de fréquences de traitements), ils sont concernés par des dégâts de ravageurs qui causent des pertes significatives de rendement, voire de qualité sanitaire des grains, difficiles à maîtriser par les leviers agronomiques de prophylaxie et sans le recours à la protection phytosanitaire de plus en plus remise en question.

Les caractères recherchés simultanément dans les variétés de demain sont donc nombreux et complexes. Ils justifient de mobiliser l'ensemble de l'arsenal des biotechnologies pour espérer relever l'ampleur des défis actuels et à venir. Les producteurs sont favorables aux recherches relatives aux new breeding technologies qui permettent de décrypter les génomes et d'accélérer le progrès pour en faire des variétés issues ou non de transgénèse, pourvu qu'elles soient vertueuses et restent diversifiées pour répondre aux différents contextes et systèmes de production.

Les croisements interspèces ont permis de créer des espèces qui aujourd'hui sont considérées comme rustiques, telles que le triticale dont la valeur nutritionnelle en alimentation animale a aussi participé à son développement. La première variété de blé tendre cultivée en agriculture biologique, Renan, qui est entrée dans la généalogie de nombreuses variétés d'aujourd'hui, a été obtenue avec un ensemble de méthodes qui seraient aujourd'hui classées

en génie génétique. Alors que ces deux types d'innovations ont été rapidement adoptés et profitent à tous les types d'agriculture, la majorité des agriculteurs ne comprennent pas pourquoi se priver demain de nouveautés de ce type qui résulteraient de biotechnologies végétales. De plus, de leur point de vue, la diversité des attitudes des pays matière d'expérimentation de validation d'effets de gènes putatifs et de variétés issues de biotechnologies, d'accès à l'innovation et de confiance dans les scientifiques, a des conséquences à moyen et long terme de distorsion de concurrence économique.

Xavier PINOCHET

Xavier Pinochet est né en 1959 (58 ans).

Formation initiale en Agronomie à l'ENITA Dijon 1981 (aujourd'hui Agrosup), suivie d'un DEA et d'une Thèse en écologie microbienne du sol (Université Lyon I Claude Bernard).

Début de carrière (1983-1993) à l'INRA à Montpellier au Laboratoire de Recherche sur les Symbiotes des Racines comme spécialiste de l'écologie des rhizobiums.

Rejoint le CETIOM en 1993, avec différentes fonctions successives sur les questions relatives à l'évaluation variétale, la génétique et l'amélioration des plantes, puis à la protection des cultures oléagineuses. A ce titre, a représenté la filière oléagineuse dans différentes instances, dont le CTPS, Promosol, et Genoplante depuis son origine.

Les attentes des filières agricoles et agroalimentaires : la filière oléo-protéagineuse

La filière oléagineuse a déjà largement bénéficié des acquis des biotechnologies. On peut rappeler quelques acquis marquants :

- les HD qui ont permis de créer rapidement et à faibles coûts des lignées. Ceci a permis d'induire l'arrivée de nombreux acteurs semenciers sur le marché des semences de colza,
- la fusion de protoplaste qui a abouti à un système de stérilité male cytoplasmique, pour dans une étape ultérieure arriver jusqu'à une production d'hybrides restaurés qui représentent aujourd'hui la quasi-totalité du marché,
- la mutagénèse avec les tournesols oléiques ou les hybrides demi-nains en colza,
- les stratégies OGM en protection des cultures, en particulier pour lutter contre le sclérotinia ou les insectes.

Les biotechnologies et les disciplines connexes (bioanalyse informatique, physiologie moléculaire) ont continué à progresser avec des évolutions spectaculaires de leurs outils (séquençage, les Omics, puces, chaînes d'analyses, traitement de gros volumes de données, modèles, transformations ou mutations ciblées). Les attentes de la filière oléo-protéagineuse se situent principalement dans deux grandes directions :

1. La protection des cultures, pour répondre aux demandes sociétales de réduction de l'usage des produits phytosanitaires, tout en satisfaisant les besoins de protection vis-à-vis des bio-agresseurs de toute nature. Les solutions à promouvoir peuvent être l'amélioration génétique de la plante, avec de la mutagénèse ciblée, et à partir d'une connaissance fine des voies métaboliques impliquées dans les échanges de signaux entre plante et bioagresseur. Nous avons également besoin de nouveaux outils de diagnostics plus pratiques, rapides ou précis pour guider les interventions nécessaires.
2. L'obtention de produits à haute valeur économique pour l'alimentation ou la santé. Face aux réserves exprimées sur les nouvelles technologies ciblées, il est probablement préférable de choisir des cibles qui concernent principalement des améliorations de la santé : réduction des allergies, profils d'acides gras favorables (EHA, DHA), sphingolipides.

Ces objectifs nécessitent des investissements dans la durée et dans un cadre réglementaire stable.

Sandrine CODARIN

Doctorat de biologie, spécialité physiologie de la morphogenèse, Unité Mixte de Recherche Sciences Agronomiques Appliquées à l'horticulture INRA-Institut National d'Horticulture-Université d'Angers (1999-2003).

Ingénieur des techniques horticoles et paysagères option horticulture ornementale, INH, Angers (1997-99).

Diplôme d'études approfondies en Biologie forestière (physiologie et écophysiologie des arbres forestiers), Nancy (1996-97).

Ingénieur Agrocampus-Ouest travaille au centre de Lanxade du CTIFL. Son domaine d'activité porte sur l'évaluation variétale de variétés et porte-greffe de fruits à pépins. Elle est responsable du pôle thématique R&D Matériel Végétal au CTIFL et coordinatrice du réseau d'évaluation des variétés et porte-greffe pommier et poirier dans le cadre de la charte variétés.

Les attentes des filières agricoles et agroalimentaires : la filière fruits et légumes

La filière fruits et légumes rassemble une diversité importante d'espèces que ce soit par leur cycle de culture (pérenne, annuelle, bisannuelle), par leur utilisation (légumes racines, fruits,...), par leur mode de culture (plein champ, sous abri). Cette filière est constituée également d'une diversité de métiers depuis la sélection variétale, la multiplication de plants et semences jusqu'à l'expédition, et la distribution.

A l'image d'autres filières agricoles, la filière F&L se doit de répondre aux exigences des consommateurs et du marché dans un contexte de compétitivité économique accrue. L'anticipation des évolutions de différentes natures : réglementaires, environnementales et climatiques font partie des priorités.

Parmi les leviers utilisables, le levier variétal (progrès génétique) est l'un des plus importants pour plusieurs raisons :

- il génère une diversité de produits innovants pouvant répondre aux attentes des consommateurs : diversité de goûts, de saveurs, de formes, de couleurs ...
- il participe à l'évolution des systèmes de culture :
 - plus faciles à conduire en générant des coûts de main d'œuvre moins importants et moins d'écueils techniques,
 - plus tolérants à des conditions de culture limitantes tout en maintenant une production régulière (variétés résistantes aux pathogènes, moins exigeantes en intrants / eau),
 - peu d'évolution en post-récolte (limitation des pertes).

Dans cette optique, la réduction de la durée de sélection figure parmi les attentes en matière de biotechnologies. La mise en œuvre des programmes d'amélioration variétale est longue et coûteuse (10 à 20 ans selon les espèces). Les biotechnologies peuvent ouvrir la possibilité d'augmenter la diversité des caractéristiques présentes chez une espèce ou d'introduire des caractéristiques non connues chez une espèce. L'une des contraintes majeures est la difficulté rencontrée lors de la culture in vitro de certaines espèces réfractaires.

L'authenticité variétale est un préalable à une production performante. A ce titre, les méthodes permettant d'identifier les variétés sur la base de leur génotype sont précieuses pour gagner en efficacité et en rapidité. Si elles tendent à se développer dans le secteur des plantes pérennes, il subsiste des verrous sur les clones qui ne sont pas identifiables sur la base des marqueurs moléculaires.

D'autres leviers sont utilisés pour modifier l'environnement des cultures notamment dans le cadre de la lutte biologique. Ainsi, les biotechnologies peuvent apporter des solutions pour la régulation des populations d'insectes ravageurs (ex : lâchers de mâles stériles).

Dans un contexte où la filière Agriculture Biologique se développe de façon exponentielle, la filière se trouve à la croisée des chemins sur la question du rôle et de l'utilisation des biotechnologies. Des débats de fonds sur l'utilisation de certaines nouvelles technologies sont déjà ouverts et leur orientation conduira à cadrer les possibilités d'intervention dans ce domaine

Elisabeth CHANLIAUD

Elisabeth Chanliaud est docteur ingénieur en Sciences des Aliments (AgroParisTech/INRA).

Elle a travaillé pendant 6 ans en Angleterre pour Bristish Sugar (groupe ABF) puis pour Unilever Research dans le domaine végétal (betterave à sucre, tomate, thé, coton).

Elle a intégré le groupe Limagrain en 2001 où elle occupe le poste de Directrice R&D de Limagrain Céréales Ingrédients depuis 2012. Au sein du groupe, elle a principalement travaillé sur la qualité des céréales (blé et maïs), son déterminisme génétique, sa sélection ainsi que sur le développement d'ingrédients céréaliers pour l'industrie agro-alimentaire.

Elle est également au conseil d'administration d'une JV Franco-Australienne (Arista Cereal Technology entre LCI et le CSIRO) et membre des comités scientifiques de VetAgroSup et d'Arvalis.

Les attentes des filières agricoles et agroalimentaires : la filière agroalimentaire des produits végétaux

Les filières agro-alimentaires ont besoin d'innovation pour répondre aux attentes toujours plus grandes et diversifiées des consommateurs.

Les attentes vis-à-vis des nouvelles biotechnologies végétales peuvent se décliner au travers de 3 caractéristiques générales :

- Les évolutions marché sont aujourd'hui beaucoup plus rapides que les cycles d'amélioration des plantes. Les biotechnologies végétales doivent nous aider à raccourcir le temps de mise sur le marché de nouvelles variétés, de nouvelles caractéristiques valorisables par l'utilisateur final auprès de ses clients ;
- Les caractères agronomiques ou qualitatifs attendus sont souvent de nature génétique complexe et les nouvelles biotechnologies devront appréhender cette complexité, au minimum à l'échelle multigénique ;
- Une attente importante vis-à-vis des biotechnologies végétales est enfin un environnement réglementaire clair et si possible harmonisé au niveau continental voir mondial pour répondre aux besoins d'acteurs alimentaires de plus en plus concentrés et multinationaux.

De façon plus spécifique, les innovations attendues doivent contribuer à la compétitivité économique des agriculteurs. Pour cela, le rendement est toujours un élément clé, mais la stabilité du comportement agronomique aux aléas climatiques est également un facteur important pour la sécurisation des filières dans un contexte de changement/instabilité climatique.

La diminution des intrants et des actifs chimiques au sens large sont aujourd'hui un prérequis dans la plupart des chartes qualité et des filières à destination de populations particulières (baby food, demain senior food...). La résistance des plantes aux maladies et aux insectes est donc un élément important pour permettre de répondre aux attentes sociétales et environnementales fortes et à la diminution des solutions chimiques qui en découlent.

La qualité des produits végétaux devra suivre les évolutions des systèmes de distribution des produits alimentaires (locavore, Amazone Epicerie...), et celles des industries agro-alimentaires, toujours à la recherche de gain de productivité ou de levier de différenciation.

Les qualités nutritionnelles sont enfin un enjeu de demain, dans un contexte de vieillissement global de la population (tout du moins dans les pays développés) et de besoin de prévention des maladies dans des systèmes de santé publique de plus en plus fragilisés par l'augmentation des coûts de la médecine curative.

Georges PELLETIER

Ingénieur Agronome (1967) et Docteur ès Sciences (1978), ses travaux scientifiques chez les plantes supérieures ont porté sur la transmission de l'information génétique nucléaire et cytoplasmique au cours de processus sexués ou parasexués comme l'androgénèse, la transformation génétique ou l'hybridation somatique.

Directeur de Recherche honoraire de l'INRA, il fut Directeur de l'Unité de Génétique et Amélioration des Plantes de Versailles (1991- 1999) et Adjoint à la Direction du Département Génétique et Amélioration des Plantes (1993-1999). Il présida le Directoire Opérationnel puis le Comité Exécutif du G.I.S GENOPLANTE de 2001 à 2011.

Membre de l'Académie des Sciences (2004) et de l'Académie d'Agriculture de France (2004), il préside le Conseil Scientifique de l'AFBV.

Peter ROGOWSKY

Peter Rogowsky a commencé sa carrière par un doctorat en génétique bactérienne en 1985 à Ratisbonne, en Allemagne. Lors de ses séjours postdoctoraux à Davis (USA), Adélaïde (Australie) et Toulouse (France), ses intérêts ont évolué via l'interaction hôte/pathogène vers la génétique des plantes. En 1993, il a été recruté par l'INRA à Lyon, où il a démarré son activité de recherche sur le développement du grain de maïs par des approches de génomique fonctionnelle.

Il est le coordinateur du projet PIA1 GENIUS (2012-2019), dans lequel 10 laboratoires publics et 4 sociétés privées implémentent la technologie CRISPR-Cas9 dans 9 espèces cultivées végétales. Depuis 2013, il est Chef de Département Adjoint du Département Biologie et Amélioration des Plantes de l'INRA, depuis 2015 Co-animateur du groupe de travail sur les technologies en agriculture de l'EPSO et depuis 2017, Président du Directoire Opérationnel du GIS-BV.

Les biotechnologies végétales : Quoi de neuf?

Cet exposé se limite volontairement à l'édition des génomes par CRISPR-Cas9, la biotechnologie végétale la plus médiatisée actuellement.

a) Généralités

L'édition des génomes se fait en deux étapes, la première contrôlée par l'homme, la deuxième sous contrôle de la cellule végétale. (i) La coupure du génome à un endroit prédéterminé nécessite la conception et production de la "site directed nuclease" (SDN) Cas9, puis son introduction dans la cellule et le noyau. (ii) La réparation de la coupure peut se faire par trois machineries cellulaires différentes : la réparation parfaite, la réparation imparfaite, qui provoque une mutation aléatoire au site prédéterminé (SDN1) ou la recombinaison homologue, qui utilise une matrice de réparation présentée simultanément avec la Cas9 pour éditer la séquence du génome en copiant la matrice offerte (SDN2).

- **Limitations** : La technologie CRISPR-Cas9 nécessite des connaissances préalables (quel(s) nucléotide(s) modifier dans quel(s) gène(s) pour un trait agronomique d'intérêt?) ainsi que la maîtrise de l'ingénierie cellulaire dans l'espèce et le génotype d'intérêt, idéalement sans introduction d'ADN dans le génome.
- **Promesses** : La technologie CRISPR-Cas9 permet l'obtention d'allèles (variantes) de gènes absents dans la variabilité naturelle de l'espèce mais utile pour un trait d'intérêt. Elle permet entre autres la domestication accélérée ou le "rewilding". Par ailleurs, la technologie est d'ores et déjà un outil très puissant en recherche pour la connaissance.

b) Nouveautés technologiques

- **Transgénèse** : Des progrès notables dans la transgénèse d'espèces, génotypes ou tissus récalcitrants ont été faits au niveau des outils génétiques (système Babyboom/Wuschel chez les céréales), de la transformation in planta (Setaria, peuplier) et de l'amélioration en culture in vitro (récalcitrant, médicinales).
- **CRISPR-Cas9 sans transgénèse stable** : Il s'agit soit d'une expression transitoire de gènes codant pour la Cas9 et l'ARN guide, soit du transfert de complexes ribonucléoprotéiques (RNP) assemblés in vitro entre la protéine Cas9 et un ARN guide. RNP a été mis en œuvre en SDN1 chez le blé, le maïs, le riz, le pommier, la vigne, le tabac, le Pétunia et Arabidopsis, en SDN2 seulement chez le maïs (acetolactate synthase).
- **Multiplexe** : Des vecteurs ont été conçus pour 14 ARN guides (14 unités de transcription en répétition directe), l'auto-clivage d'un seul transcrit contenant plusieurs cibles et la mutagenèse du génome de riz.

- **Balance entre réparation imparfaite (SDN1) et recombinaison homologue (SDN2)** : Même en présence d'une matrice de réparation, la réparation imparfaite reste beaucoup plus fréquente que la recombinaison homologue. La suppression au moins partielle de la réparation imparfaite (mutations lig4 et/ou polQ, fusion de la Cas9 à une exonucléase), mais aussi augmentation matrice de réparation par vecteur viraux avec dispersion systémique ont permis d'augmenter la fréquence de la recombinaison homologue.
- **Exploitation de la dCas9 (forme sans activité nucléase)** : La dCas a été utilisée pour la mutagenèse localisée (fusion à une cytidine déaminase), pour marquage fluorescent en cytogénétique ou biologie cellulaire (fusion à une GFP). Sont en cours également des modifications épigénétiques ciblées (fusion à des DNA (dé)méthylases, histone (dé)acétylases ou histone (dé)méthylases) ou des modifications ciblées des sites de recombinaison (fusion à Spo11 chez la levure).

c) Applications en agriculture

En théorie, la technologie CRISPR-Cas9 peut être utilisée pour une large gamme de traits : la résistance aux maladies, l'utilisation efficiente des nutriments, la tolérance aux stress abiotiques, la conversion de la biomasse, la biofortification ou des traits agro-écologiques comme l'aptitude à l'association. On peut s'attendre à ce que les traits monogéniques seront plus accessibles à la technologie que des traits polygéniques. Enfin, il semble souhaitable que la commercialisation de nouveaux traits soit accompagnée de conseils concernant leur utilisation dans des systèmes de culture, ce qui sous-entend une co-conception entre génétique et autres disciplines, notamment agronomie.

- **Preuve de concept SDN1** : La mutation aléatoire à un endroit prédéterminé d'un gène est aujourd'hui maîtrisée chez de nombreuses espèces : Résistance aux maladies (mildiou chez le blé, TYLCV chez le tabac, potyvirus chez le concombre), architecture de la plante (nanisme chez l'orge), qualité des produits (l'huile chez le soja et l'amidon chez le maïs) ou dispersion des graines (meilleure adhésion chez le colza).
- **Preuve de concept SDN2** : L'édition des gènes reste actuellement techniquement délicate. Le seul exemple qui ne concerne pas la résistance à l'herbicide (nombreuses espèces) est le rendement maïs sous contrainte hydrique. L'engouement pour la résistance à l'herbicide s'explique par le fait que cela permet de trouver (sélection positive) l'évènement rare que représente le SDN2 (< 1/10000 transformants).
- **Commercialisation** : Aux USA, l'homologation est en cours pour un maïs avec amidon sans amylose, un champignon de Paris qui ne brunît pas et une pomme de terre qui ne brunît pas.

d) Règlementation

- **Monde** : Les pays favorables aux OGM ont tendance à exempter l'édition des génomes de la réglementation OGM (aux USA décision USDA 2017, en Israël décisions NCTP 2017).
- **Europe** : Attente du jugement de la Cour de Justice Européenne (attendue 2018, appel probable) sur la base du rapport du SAM rendu au printemps 2017, les positions des Etats membres et les opinions des parties prenantes (sociétés savantes, semenciers, ONG).
- **France** : Avis (officieux?) de l'HCB au printemps 2016.

e) Propriété intellectuelle

- **PI sur la technologie CRISPR-Cas9** : Il existe un risque de verrouillage de la technologie par les leaders mondiaux, qui se sont associés avec les deux leaders mondiaux qui sont Broad Institute/MIT/Harvard (licence Monsanto) et University of California Berkeley/Caribou (PI grandes cultures pour DuPont-Pioneer).
- **PI sur les traits obtenus** : A l'heure actuelle, les plantes obtenues par CRISPR-Cas9 (mais pas les variétés végétales) sont clairement brevetables car on dépasse le processus essentiellement biologique (= croisement sexué).

f) Conclusion

On peut établir deux scénarios extrêmes concernant l'avenir de la technologie CRISPR-Cas9 :

- **Fort impact** si (i) le réservoir de "leads" est suffisant (essor de la recherche fondamentale, décortication génétique des traits complexes), (ii) des avancées technologiques arrivent vite (transgénèse efficiente chez toutes les espèces et tous les génotypes, maîtrise du SDN2) et (iii) il y a dérégulation en Europe.

- **Faible impact** si (i) le nombre de gènes exploitables reste trop limité, (ii) l'efficacité du SDN2 sans sélection positive reste trop faible et (iii) SDN1 et/ou SDN2 seront régulés en Europe.

Pascual PEREZ

Pascual Perez commence sa carrière par un DEA en génétique moléculaire à l'Université Paul Sabatier, à Toulouse. Enthousiasmé par les avancées dans le domaine du génie génétique, il participe au développement de la première équipe de Biotechnologie Végétale du Groupe Limagrain qu'il rejoint en 1985 et au sein duquel il poursuit sa carrière.

De 1990 à 1996, il est Responsable de Projets R & D utilisant tout d'abord Arabidopsis puis le Maïs et la Tomate où il clone divers gènes impliqués dans la fertilité mâle.

En tant que Directeur Adjoint, il participe au GDR Biomove créé entre le CNRS, l'Université Blaise Pascal et le Groupe Limagrain.

De 1996 à 2007, il occupe la fonction de Coordonnateur de Recherche et devient Directeur du laboratoire Biogemma situé à Clermont-Ferrand et regroupant 60 personnes. Durant cette période, il dirige des équipes de recherche travaillant en transgénèse maïs et en génomique fonctionnelle et collabore aussi bien avec des laboratoires européens, australiens et américains qu'avec des laboratoires français, notamment au travers du programme Génoplante.

De 2007 à 2011, il occupera la fonction de Directeur Général de la société de Biotechnologie Biogemma.

Il est désormais Directeur Recherche Trait Discovery chez Limagrain Grandes Cultures. Il étend ses compétences au rôle de Key Account Manager dans la société Genective, une Joint-Venture de R&D entre KWS et Limagrain focalisée sur le développement de Traits OGM chez le maïs. Depuis 2011, il est aussi Président du Comité de Direction de GENOPLANTE-VALOR et Vice-Président du Directoire Opérationnel du GIS Biotechnologies Vertes.

Il est également membre de différents comités de conseils, scientifiques et exécutifs notamment : SAB Labex Saclay Plant Science, Comité Scientifique de la Direction de l'ANR Défi 5 (Sécurité Alimentaire et Défi Démographique), Comités exécutif et stratégique de Biogemma, Comité de Pilotage I Site-CAP2025, Comité consultatif scientifique Genective, Comité scientifique Limagrain et les comités propres à Génoplante Valor et GIS Biotechnologies Vertes.

Les initiatives nationales en Biotechnologies Végétales

a) Un historique de partenariats public privé

La création de Génoplante, en 1999, permet aux instituts publics et à certaines entreprises semencières associées de relever le défi de la Génomique Végétale tout au long de la décennie 2000-2010. Les outils de la robotique et de la bio-informatique s'imposent dans les centres de recherches et sont utilisés dans les nombreux programmes de recherche en partenariats aussi bien sur les espèces modèles (Arabidopsis et Riz) que sur des espèces d'intérêts (Maïs, Blé, Colza, Tournesol, Pois, Melon, ..). La grande majorité de ces programmes bénéficient de gros efforts en génétique utilisant des mutants et des QTLs sur divers types de caractères agronomiques et qualitatifs. Ces efforts sont poursuivis à la fin de la décennie grâce aux programmes Génomiques développés par l'Agence Nationale de la Recherche. Des cartes génétiques, des séquences de gènes exprimés, des marqueurs moléculaires, des mutants, des QTLs, des validations de fonctions de gènes sont les grands livrables conduisant à de nombreuses publications et des brevets, mais aussi que les uns et autres, dans le public et dans le privé, utilisent pour leurs programmes de recherche et de création variétale.

b) Le grand succès des Programmes Investissements d'Avenir 1

L'expertise développée dans le partenariat public privé Génoplante et ses succès avec en ligne de mire l'opportunité des Programmes Investissements d'Avenir 1, conduisent la communauté à se structurer plus largement au travers du GIS Biotechnologies Vertes créée en 2011. Cet engagement permet de construire et lancer 8 grands projets de recherche (AKER, Amaizing, BreedWheat, PeaMUST, RapsodyN, Sunrise, Biomass for the Future, GENIUS) et de mettre en place une infrastructure de Phénotypage (PHENOME). Ces projets, d'une durée moyenne de 8 ans, sont soutenus à hauteur de plus de 90 millions d'euros par le Commissariat Général à l'Investissement. Ils impliquent 93 partenaires différents (dont 33 impliqués dans plusieurs projets), avec 40 laboratoires de recherche publique, 13

entreprises semencières et 31 partenaires qui ne sont pas des membres du GIS Biotechnologies vertes. Cet ensemble cohérent de projets sur la majorité des espèces clefs de notre agriculture et sur des technologies émergentes permet de développer à grande échelle des connaissances et des savoirs indispensables autour du génotypage, du phénotypage, de la séquence des génomes conduisant notamment à l'utilisation de la sélection génomique. Les réalisations majeures de ces projets et leurs incidences sur le développement des cultures seront présentées. Enfin, il faut noter qu'ils permettent une forte reconnaissance au niveau international de notre communauté et génèrent des pousses de projets satellites soutenus par diverses agences, dont l'ANR.

c) Développement des nouvelles initiatives

Fort des conclusions et orientations de la mission Agriculture Innovation 2025 qui avait reconnu l'effectivité du partenariat public privé français en Biotechnologies Végétales, le GIS Biotechnologies a organisé des réunions et ateliers de travail sur les grandes thématiques nécessaires pour aider à répondre aux enjeux d'une agriculture multi-performante et innovante. Ainsi, la priorité a été donnée à l'édition des génomes, la caractérisation des ressources génétiques et l'usage de la biodiversité présente ou induite, l'amélioration de la recombinaison génétique, la compréhension et optimisation de la photosynthèse et du développement de la plante pour atteindre le 4/100, la production de métabolites secondaires à forte valeur ajoutée, et la lutte génétique contre les maladies et parasites des plantes. La préparation de grands projets pour répondre à des initiatives européennes et/ou celles qui pourraient voir le jour autour des Programmes investissements d'Avenir 3 est en cours. Ces initiatives seront discutées et placées dans un contexte de recherche et développement plus systémique pouvant associer l'agronomie, le bio-contrôle et l'usage de l'agriculture numérique et les big-data.

Georges FREYSSINET

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 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 membre du Conseil Scientifique de l'AFBV.

Thierry CANDRESSE

Thierry Candresse a une formation initiale d'ingénieur agronome spécialisé en protection des plantes. Il a réalisé une thèse en virologie végétale à l'Université de Bordeaux 2 puis un stage post-doctoral sur la biologie moléculaire des viroïdes dans le laboratoire de T.O. Diner à Beltsville, USA.

Recruté à l'INRA, il a rejoint la Station de Pathologie Végétale de Bordeaux puis l'Institut de Biologie Végétale Moléculaire où il dirige depuis quelques années l'Unité Mixte de Recherche 1332 Biologie du Fruit et Pathologie.

De 1998 à 2006 il a été Chef de Département Adjoint Santé de Plantes et Environnement.

L'activité de l'équipe de virologie qu'il anime se développe selon deux axes principaux : l'étude des mécanismes mis en jeu dans les interactions plantes-virus, avec un effort particulier autour des gènes et des mécanismes de résistance ou de sensibilité des plantes et, en miroir, des gènes et mécanismes permettant le contournement de ces résistances par les virus. Le second volet porte sur le développement et la mise en œuvre de techniques de détection et de caractérisation des virus phytopathogènes, appliquées à l'étude de la diversité virale (métagénomique) et à la recherche des agents associés à des maladies d'étiologie inconnue avec des sorties en diagnostic.

Depuis 2009, il est également membre du Panel on Plant Health de l'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) et contribue à l'évaluation des risques associés aux agents pathogènes et aux espèces invasives.

Mathilde CAUSSE

Mathilde Causse est Directrice de Recherche à l'INRA.

Elle a obtenu son doctorat en génétique végétale de l'Université de Paris, mais a fait tout son projet de recherche en Côte d'Ivoire sur les ressources génétiques du riz africain. Ensuite, elle a réalisé un postdoc sur la cartographie du génome du riz dans le laboratoire de Steve Tanksley (Cornell University, États-Unis).

En 1990, elle a été recrutée à l'INRA pour travailler sur la génétique du maïs. En 1995, elle a rejoint l'Unité de génétique et amélioration des fruits et légumes à Avignon pour développer un programme sur la qualité des tomates. De 2004 à 2012, elle a dirigé l'Unité.

Ses principaux centres d'intérêt scientifique sont l'amélioration des plantes, la diversité génétique des traits complexes et l'utilisation de marqueurs moléculaires et de la génomique pour l'amélioration des plantes. Elle a coordonné plusieurs projets scientifiques sur la génétique des tomates et publié une centaine d'articles scientifiques.

Elle est membre correspondante de l'Académie d'Agriculture de France.

Olivier LUCAS

Olivier Lucas est ingénieur agronome, une formation complétée par un doctorat en biologie cellulaire et moléculaire végétale.

Il occupe le poste de Responsable des Affaires Scientifiques chez RAGT Semences et dirige de nombreuses équipes de recherche transversales apportant un support scientifique aux activités de sélection végétale du groupe RAGT, en particulier dans les domaines de la génomique végétale, de la phytopathologie ou de l'analyse des données.

Dans la sphère interprofessionnelle, il intervient sur le sujet de l'innovation en sélection végétale en coordonnant les travaux au sein de l'Union Française des Semenciers (UFS) et en participant aux travaux aux échelons européen de l'European Seeds Association (ESA), et international via l'International Seeds Federation (ISF).

Bruno POUPARD

Titulaire d'un diplôme d'Ingénieur en Techniques Agricoles (2000), ainsi que d'un Diplôme d'Etudes Approfondies en Génétique Quantitative (2001), Bruno Poupard a effectué toute sa carrière au sein de l'entreprise semencière Limagrain.

Il y entre en 2002 en tant que Biostatisticien, avec pour mission d'apporter un soutien en statistiques aux équipes de sélection, avec un focus particulier sur l'analyse des réseaux d'essais.

De 2007 à 2008, il effectue un séjour à l'Université du Minnesota, dans le laboratoire du Dr Rex Bernardo. Il y étudie la mise en œuvre de la Sélection Génomique dans le cadre de programmes de sélection végétale.

De 2009 à 2013, il est basé sur la station de sélection de Verneuil l'Etang et aide le programme blé à développer et à mettre en œuvre les différentes méthodes de Sélection Assistée par Marqueurs (SAM).

Depuis 2013, il est basé en Auvergne et continue à œuvrer à la mise en œuvre de la SAM pour tous les programmes blé de Limagrain dans le monde. Il est membre du comité de direction de la recherche Blé.

Ses domaines d'expertise sont la Sélection Assistée par Marqueurs, l'analyse de données et l'optimisation des processus de sélection.

Michel RENARD

Chercheur INRA en génétique et amélioration des plantes dans le secteur des oléagineux, plus particulièrement du colza.

Laurier INRA 'Impacts de la recherche' en 2015.

Chef de département adjoint du DBAP pendant 10 ans.

Directeur de la génopole Biogenouest pendant 10 ans.

Retraité depuis avril 2015.

Chargé de missions INRA jusqu'en avril 2019.

Actuellement : membre du Comité Scientifique du HCB et de Terres Inovia, Président de la Commission Inter-Sections dédiée à l'Agriculture Biologique (CISAB) du CTPS, animateur de la réflexion INRA sur la diversification des espèces cultivées et des systèmes de culture afférents (DECOR) et président du comité stratégique de l'infrastructure nationale EMBRC dédiée aux ressources biologiques marines.

Jean-Pierre RENO

Jean-Pierre Renou, Biologiste moléculaire végétal, est diplômé du Département de Biologie de l'Université d'Angers en 1993.

Il a travaillé sur la génétique des plantes ornementales pour l'Institut National Français de Recherche Agronomique (INRA) de 1993 à 2000, puis sur la physiologie de la glande mammaire de souris (INRA Jouy-en-Josas, France et NIH-Bethesda MD-USA) de 2000 à 2003 et il s'est spécialisé sur la génomique fonctionnelle d'Arabidopsis de 2003 à 2010 au laboratoire de génomique des plantes, URGV d'Evry (France).

Il a rejoint ensuite le laboratoire GenHort d'Angers INRA/ACO/Université d'Angers, pour développer un nouveau projet de génomique fonctionnelle sur le pommier, grâce au séquençage récent du génome.

En 2012, il a pris la tête du nouvel Institut de Recherche sur l'Horticulture et les Semences (IRHS), un grand laboratoire de 235 membres et 3,4 M € de budget annuel. L'IRHS mène des recherches fondamentales et stratégiques de pointe sur la qualité et la santé des cultures horticoles et des semences.

Au cours de sa carrière, Jean-Pierre Renou a publié 102 Articles, ayant 5039 citations, un H-index de 42, a coordonné 6 projets de recherche et a eu un partenariat dans 20 autres, dont 5 internationaux.

Carole CARANTA

Depuis 2012, Carole Caranta dirige le département de biologie et amélioration des plantes (BAP) de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). BAP comprend une équipe de 1200 permanents répartie dans 41 unités de recherches. Les objectifs principaux sont : (i) produire de la connaissance et explorer les nouvelles frontières dans les secteurs du développement des plantes, de l'adaptation à l'environnement et de la qualité des produits, (ii) comprendre et exploiter le déterminisme génétique des traits d'intérêt agronomique, (iii) contribuer à la biologie intégrative, (iv) développer la recherche en biologie des plantes et (v) contribuer à la conservation et à la valorisation des ressources génétiques végétales et à la sélection de matériel végétal innovant.

Auparavant, Carole Caranta a travaillé dans le domaine des interactions plante x pathogène et plus spécifiquement sur la résistance des plantes aux virus. Elle a découvert un mécanisme de résistance largement répandu contre des virus d'ARN chez les monocots et les dicots, impliquant des facteurs de déclenchement de la traduction.

Elle a publié plus de 40 articles et revues, ainsi que plusieurs chapitres de livres et déposé trois brevets.

Elle était responsable de la coordination du projet RESISTVIR de FP6 UE, réunissant 49 partenaires.