



HAL
open science

Recherche et développement sur la noix - Des projets pour un nouvel élan

Fabrice Lheureux, Agnes Verhaeghe, Anthony Bernard, Elisabeth Dirlewanger, Marine Delmas

► To cite this version:

Fabrice Lheureux, Agnes Verhaeghe, Anthony Bernard, Elisabeth Dirlewanger, Marine Delmas. Recherche et développement sur la noix - Des projets pour un nouvel élan. Infos CTIFL, 2018, 342, pp.22-31. hal-03321484

HAL Id: hal-03321484

<https://hal.inrae.fr/hal-03321484>

Submitted on 17 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LA NOIX

DES PROJETS POUR UN NOUVEL ÉLAN

RÉSUMÉ

Face aux nouvelles contraintes économiques, sociétales, environnementales et à l'apparition de nouveaux bioagresseurs, la filière nucicole française doit s'adapter rapidement. Le CTIFL, en association avec les stations expérimentales régionales et l'INRA, ambitionne de redonner un souffle nouveau à la recherche et développement à travers un programme d'expérimentation sur la noix coordonné par le CTIFL et l'utilisation de nouvelles technologies. C'est ainsi que de nouveaux projets ont vu le jour ou sont en cours de construction : nouveau protocole d'évaluation des nouvelles variétés, le rapprochement des programmes des deux stations expérimentales, et surtout le lancement d'un programme d'innovation variétale dans le cadre du projet « INNOV'noyer ».

RESEARCH AND DEVELOPMENT ON WALNUT : PROJECTS TO GIVE RENEWED MOMENTUM

Faced with new economic, social and environmental constraints as well as the outbreaks of new pests and diseases, the French walnut industry must adapt quickly to overcome these challenges. The CTIFL, together with the regional experimental stations and Inra, aim to boost research and development through an experimental programme on walnut, which is coordinated by the CTIFL, and the use of new technologies. This is how new projects were set up or are in the process of being set up : a new evaluation protocol for new varieties, cooperation between the two experimental stations regarding current research programmes, and above all, the launch of a new varietal innovation programme within the framework of the « INNOV'noyer » (INNOV'walnut) project.

Le maintien de la compétitivité de la filière nucicole française vis-à-vis des autres pays producteurs de noix tant sur le marché national qu'à l'exportation repose sur de nombreux paramètres. Un programme de recherche et de développement y contribuera et permettra aux équipes de recherche françaises de se positionner parmi les acteurs majeurs.



> PARCELLE DE NOYERS LA PLUS ANCIENNE DE LA COLLECTION À L'INRA BORDEAUX NOUVELLE-AQUITAINE



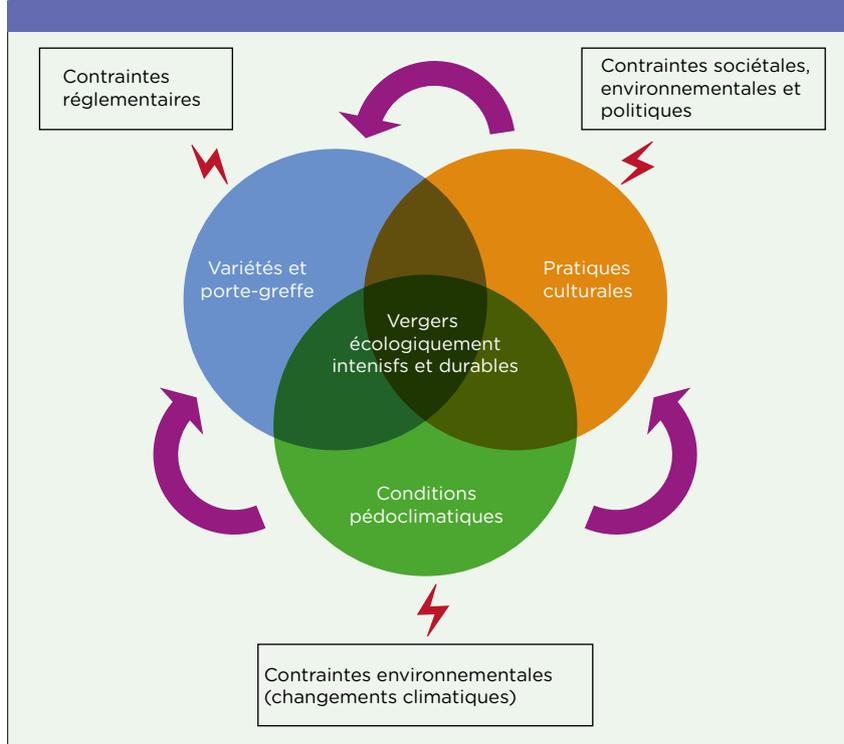
UNE PRODUCTION FRANÇAISE VAILLANTE

Depuis une vingtaine d'années, la production française de noix affiche une progression de près de 26 %, avec 39 000 tonnes récoltées par an en moyenne entre 2014 et 2016, positionnant la France au 7^e rang des principaux producteurs de noix au monde (Source Agreste 2016 ; Scandella et Serrurier 2014 ; Lheureux 2015). Le verger métropolitain consacré à cette culture représente 21 000 hectares (deuxième verger de France en surface), dont 45 % sont concentrés en région Auvergne-Rhône-Alpes, 44 % en Nouvelle-Aquitaine et 11 % en Occitanie (Source Agreste 2016). La zone de production est d'ores et déjà en train de s'étendre au-delà des deux bassins d'origine symbolisés par les AOC Noix du Périgord et Noix de Grenoble. Cette dynamique s'est appuyée jusqu'en 2007 sur une organisation en termes de recherche et développement (R&D) qui reposait sur une recherche fondamentale et appliquée incarnée par l'INRA, ainsi qu'une recherche et une expertise technique apportées par le CTIFL, les stations expérimentales de Creysse et de la SENUA. Cependant, en 2007 suite à la décision de l'INRA de se concentrer sur des espèces fruitières modèles, le programme d'amélioration de la noix que portait l'institut a été abandonné. Cet arrêt a conduit à l'essoufflement de la R&D sur la noix et plus particulièrement de la création variétale.

MATÉRIEL VÉGÉTAL, UN CHOIX STRATÉGIQUE

Le noyer (*Juglans regia*) est une espèce à grand développement et à durée de vie importante (plus de 20 % des vergers ont plus de 30 ans : source Agreste, inventaire des vergers 2013). Le choix variétal dans l'implantation d'un verger revêt alors une importance cruciale et est déterminante pour l'avenir du verger et de son potentiel productif. En effet, la première production se fait en moyenne entre la 6^e et 8^e année et ce n'est qu'entre la 10^e et 15^e année que l'optimum de production est obtenu. Ce choix doit s'inscrire dans une réflexion globale faisant intervenir l'ensemble des facteurs et contraintes dans lesquels la ou les variétés vont évoluer. Il est

FIGURE 1 : Vergers écologiquement intensifs et durables : optimum de production



important d'intégrer les variétés et plus largement l'amélioration végétale dans l'ensemble du processus de production et de connaître ou comprendre les interactions avec l'ensemble des pratiques mises en œuvre au sein d'une exploitation dans le cadre du processus de production. Le matériel végétal doit être réfléchi comme une composante des systèmes de production (Huyghe C., 2013). En effet, le matériel végétal ne constitue pas une fin en soi. La variété (avec ou sans porte-greffe) fait partie intégrante d'un système dont il ne faut négliger aucun facteur. La plante idéale n'existe pas. L'objectif est de tirer le meilleur parti des ressources génétiques, qu'ils s'agissent des variétés actuelles ou de celles à venir, et en fonction de l'environnement auquel sont et seront confrontées les variétés, adopter des techniques et itinéraires culturels qui leur permettront d'exprimer pleinement leur potentiel et d'assurer un revenu aux producteurs. Schématiquement, l'optimum de production sera obtenu à travers la synergie et l'équilibre de trois leviers principaux que sont le matériel végétal (couple variété/porte-greffe), les pratiques culturelles et le contexte pédo-climatique. Les contraintes qui agiront sur l'un ou l'autre des leviers déséquilibreront l'édifice et seules les actions sur

les autres leviers permettront d'évoluer vers un autre état d'équilibre conduisant à l'optimum de production (Figure 1).

UN PARTENARIAT EXPÉRIMENTAL RATIONNEL

Avec la volonté de redonner un souffle nouveau à la filière noix et de permettre à cette dernière de faire face aux nouvelles contraintes économiques, sociétales, environnementales et à l'apparition de nouveaux bioagresseurs, le CTIFL, en partenariat avec l'INRA et les stations expérimentales de Creysse et de la SENUA, met en œuvre concrètement la feuille de route établie au travers du programme national rédigé en 2014. Cela prend la forme d'actions engagées tant sur les plans de la recherche et développement, que de l'organisation et de la gouvernance du tissu expérimental. Les actions de recherche sont menées sur différentes thématiques et notamment sur le matériel végétal, la santé des plantes et la qualité. Le fil rouge de ce programme est la mise en place d'un nouveau projet « INNOV'noyer » piloté par le CTIFL et qui constitue les bases de l'innovation variétale. Comme nous venons de le voir, le progrès génétique n'est qu'un des leviers



qui permet d'apporter des solutions aux contraintes auxquelles la filière doit et devra faire face et, les réponses qu'il pourra apporter ne porteront leurs fruits qu'à plus long terme. Toutefois, comme cela va être décrit plus en détail dans la présentation du projet « INNOV'noyer », la relance du travail de création variétale recrée cette dynamique de recherche qui vise, d'une part, à comprendre les interactions entre le matériel végétal, les contextes pédoclimatiques et les pratiques culturales et, d'autre part, innover sur ces mêmes pratiques lorsque le levier génétique ne peut pas apporter de solutions aux contraintes à court comme à longs termes.

Le CTIFL prend pleinement part à cette dynamique dans le cadre de sa mission de coordination du Réseau national d'expérimentation fruits et légumes qui vise à coordonner les méthodes et moyens techniques mis en œuvre pour l'expérimentation régionale, destinés à l'acquisition de références fiables et ce, de façon à éviter la dispersion des efforts en la matière. Concernant la noix, cette coordination est mise en œuvre auprès des deux stations régionales spécialisées : la station expérimentale de la noix de Creysse et la station d'expérimentation nucicole Rhône-Alpes (SENuRA). En effet, dans un contexte économique de plus en plus contraignant avec des baisses de dotation de la part des pouvoirs publics (FranceAgriMer) ou encore des régions, il est apparu indispensable de remettre

en place une coordination plus étroite entre les deux stations en s'appuyant sur les compétences intrinsèques et acquises des stations et de leurs ingénieurs. En effet, depuis quelques années la station de la SENuRA a pris le leadership sur tous les aspects pathologies du noyer. La région Sud-Est a généralement la primeur des nouveaux bioagresseurs et la pression y est plus importante en raison entre autres d'une structure de verger plus dense. D'un autre côté, la station de Creysse a pris la gestion de tout ce qui concerne le matériel végétal lié entre autres à sa proximité avec le site INRA du domaine des Jarres où est implanté le matériel végétal de base (hybrides issus des deux programmes de création variétale INRA et Germplasm). Cependant, les mêmes problèmes pathologiques s'étendent sur les deux bassins de production et il émane également une demande du Sud-est de retrouver une activité plus en amont du matériel végétal. Dans ce contexte, des groupes techniques constitués des représentants professionnels des deux bassins et animés par les ingénieurs des deux stations et les deux ingénieurs CTIFL ont été créés. Ces groupes techniques se répartissent selon cinq thématiques : matériel végétal, ravageurs, maladies, conduite et alimentation. L'objectif de ces groupes est de faire remonter les problématiques de la filière et définir ainsi le programme national. La coordination des actions de recherche défi-

nies sur chaque thématique est portée par l'une ou l'autre des deux stations, la deuxième apparaissant alors comme partenaire, l'ensemble étant coordonné par un ingénieur CTIFL référent filière Noix.

D'autre part, le CTIFL, à travers ses propres compétences en recherche et développement, contribue également à l'amélioration des connaissances concernant les leviers techniques. Cela est mis en œuvre dans le cadre de projets. L'ensemble de ces projets et actions contribuent à répondre aux problématiques de la filière exprimées au sein des groupes de travail décrits précédemment.

LUTTE CONTRE LE COLLETOTRICHUM SP.

Au sein du groupe « maladies » la priorité a été donnée à la lutte contre l'agent pathogène *Colletotrichum* sp. responsable de la maladie des noix noires. Le projet Aventuria, porté par le centre opérationnel CTIFL de Lanxade de 2015 à 2018 « Détection précoce des maladies fongiques : tavelure du pommier et anthracnoses (*Colletotrichum* sp et *Gnomonia leptostyla*) du noyer par imagerie hyperspectrale », vise à proposer un outil de détermination précoce de l'infection sur les feuilles en utilisant une caméra hyperspectrale (Vaysse *et al.*, 2015). L'utilisation de cet outil pourra conduire à une détection



> FEUILLE IMPARIPENNÉE AVEC FOLIOLES LANCÉOLÉES



> FEUILLE IMPARIPENNÉE AVEC FOLIOLES LACINIÉES



> FEUILLE POURPRE



précoce permettant la prise de décision anticipée pour la lutte contre les maladies fongiques au verger et limiter ainsi les intrants phytosanitaires. Ce projet fait suite aux travaux de recherche sur les moyens de lutte directe entrepris depuis trois ans par Agnès Verhaeghe (Ctifl/SENuRA) et Michel Giraud (CTIFL) au laboratoire de pathologie du centre opérationnel CTIFL de Lanxade, mais également au projet de Partenariat européen pour l'innovation (PEI) ClimArbo « Changement climatique et maladies cryptogamiques émergentes en arboriculture en Rhône-Alpes ». Ce projet dont le CTIFL est partenaire vise à développer des solutions adaptées à la lutte contre le monilia sur fruits à noyaux et le *Colletotrichum* de la noix. Il porte sur la caractérisation aux niveaux moléculaire et phénotypique de ces maladies, l'étude des périodes de contamination au verger et l'identification des facteurs de risque. La connaissance du climat du territoire et de son évolution

au cours des prochaines décennies fait partie du projet et ce afin de proposer des solutions durables permettant d'anticiper les problématiques d'avenir liées aux maladies cryptogamiques. Ces travaux feront l'objet d'une prochaine publication décrivant l'ensemble des actions concernant les maladies et ravageurs du noyer pilotées par le CTIFL. Dans le cadre des problématiques liées aux pratiques culturales et à la réduction des intrants le projet MycoAgra « Intérêts de la MYCORhization dans les pratiques AGRicoles », déposé en 2016 (durée trois ans) par la chambre d'agriculture de Dordogne et dont le CTIFL est partenaire pour les activités de recherche sur le noyer, vise à étudier l'intérêt de la mycorhization dans les pratiques agri-

coles et d'agroforesterie chez le noyer et le maïs. Le projet MycoAgra a pour but d'obtenir et diffuser des indicateurs agroécologiques facilement accessibles aux agriculteurs et aux organismes de conseil et de développement du monde agricole. Ces indicateurs permettront d'intégrer l'intérêt des processus de mycorhization dans les problématiques fondamentales actuelles, à savoir : (1) la limitation de la contingence aux réserves hydriques ; (2) la raréfaction des ressources minérales disponibles en phosphore ; (3) le renforcement de la capacité de résilience des sols par le développement de la vie microbienne ; (4) la recherche de traitement alternatif des cultures pour pallier la réduction des produits pesticides ; et (5) le maintien, voire l'accroissement de la productivité par l'amélioration de la structure des sols, notamment les plus pauvres. Il sera un élément de réponse au maintien et à l'amélioration de la compétitivité des exploitations agricoles.



FIGURE 2 : Schéma de construction d'idéotypes (Debaeke et Quillot-Turion, 2014)

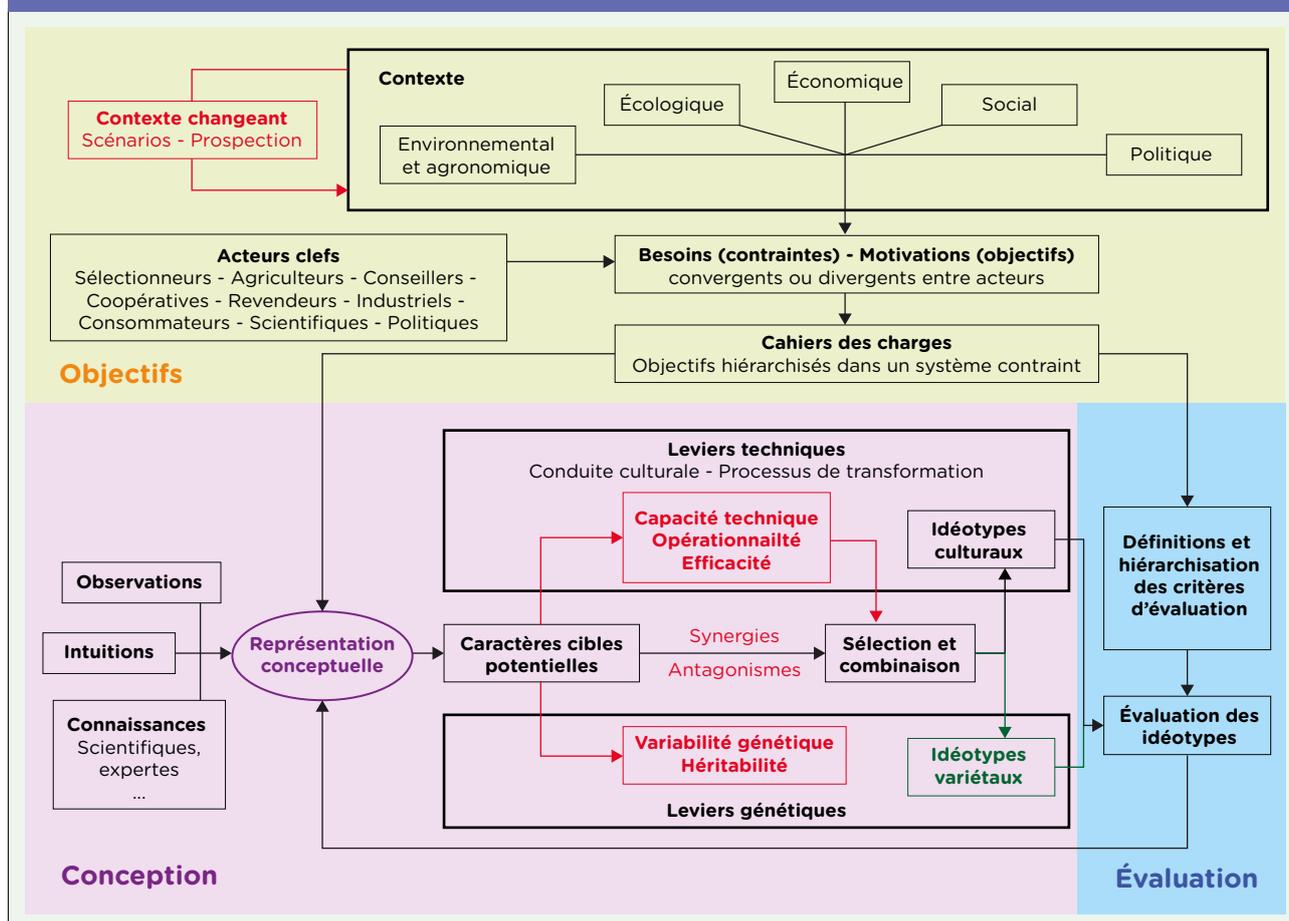




TABLEAU 1 : CONTEXTES ÉCONOMIQUE, SOCIAL ET POLITIQUE

Économique				
	Débouchés	Filières et acteurs économiques ciblés	Propriétés technologiques attendues	producteurs
Sud-Ouest et Sud-Est	<ul style="list-style-type: none"> Noix de table Noix mixte Cerneau Huile 	<ul style="list-style-type: none"> Producteurs Transformateurs Metteurs en marché 	<ul style="list-style-type: none"> Gros calibre Qualité nutritionnelle Rendement 	<ul style="list-style-type: none"> Renouvellement de vergers (frein économique)
Social et politique				
	Réglementation en vigueur	Orientation politique à prendre en compte	Urbanisme	
Sud-Ouest	<ul style="list-style-type: none"> Réglementation française par rapport à l'usage des produits phytosanitaires 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des intrants et de la panoplie des substances 		
Sud-Est	<ul style="list-style-type: none"> Réglementation française par rapport à l'usage des produits phytosanitaires Interrogation sur la faisabilité d'introduction de nouvelles variétés dans l'appellation 	<ul style="list-style-type: none"> Réduction des intrants et de la panoplie des substances Noix AOC élite 	<ul style="list-style-type: none"> Noyeraies en zone urbaine et péri-urbaine 	

PRIORITÉ AU MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le changement climatique et l'évolution du cadre réglementaire vis-à-vis des contraintes environnementales ont amené les organismes de recherche publics et privés du monde entier à s'intéresser à l'innovation variétale qui représente un levier incontournable pour répondre à ces enjeux. Chez le noyer, deux projets de création variétale ont été menés par l'INRA entre 1977 et 2002. Les critères de sélection ont porté sur le caractère de fructification sur brindilles latérales pour l'obtention d'une mise à fruit plus rapide, d'un rendement supérieur à 3 t/ha, un débourrement tardif pour éviter les dégâts de gel printanier, et des critères de qualité de cerneau comprenant sa taille (les gros fruits sont recherchés pour la noix de table, principal débouché de la production française) et une bonne qualité organoleptique proche des variétés traditionnelles. À ce jour, sept variétés de noyer ont été inscrites ces 35 dernières années et la majorité des plantations aujourd'hui se font autour de quatre variétés (Franquettes, Fernor, Lara et Chandler). Ces variétés provenant de la sélection des tout derniers croisements de l'INRA ne permettent plus de répondre aux nouvelles contraintes et aux évolutions climatiques. Pour cette raison, le CTIFL, en partenariat avec

l'INRA, a décidé de poser les bases et les jalons d'un nouveau programme d'innovation variétale, non pas tel que nous l'avons connu précédemment (sélection traditionnelle) mais plutôt en utilisant la biologie moléculaire, telle que la Sélection assistée par marqueurs (SAM). Mais comme cela a été évoqué précédemment, la variété prend toute sa valeur dans un système complexe. La création variétale doit par conséquent s'inscrire dans une démarche plus globale qui vise à concevoir des idéotypes, dans laquelle le projet INNOV'noyer est une composante.

DÉFINITIONS D'IDÉOTYPES

La construction d'idéotypes se décline en trois phases. La première consiste à définir un ou plusieurs cahiers des charges pour les idéotypes, la deuxième va consister à concevoir et construire des idéotypes et la troisième consistera à évaluer l'adéquation entre les idéotypes construits et les cahiers des charges (Figure 2) (Debaeke et Quilot-Turion, 2014). Cette démarche est motivée par la production de nouvelles variétés adaptées à un territoire et/ou une utilisation définie.

Avec le concours des professionnels de la filière, le CTIFL a défini les cahiers des charges pour chaque bassin de production. Ces derniers se définissent comme l'ensemble hiérarchisé des objectifs fixés pour les variétés, permettant dans

un contexte donné de répondre aux attentes des acteurs de la filière (producteurs, pépiniéristes, transformateurs, metteurs en marché...). Pour cela il a été défini pour chaque bassin (1) les contextes d'utilisation des nouvelles variétés : environnemental et agronomique, économique, social, politique et réglementaire, et (2) les contraintes et motivations des acteurs qui concernent généralement les propriétés ou valeurs d'usage pour lesquelles il est attendu une amélioration.

DES CONTEXTES NOMBREUX ET VARIABLES

Les contextes économiques, sociaux et politiques (Tableau 1) sont identiques pour chaque bassin. Ils correspondent à des orientations nationales. Les producteurs ont réaffirmé leur volonté de produire et commercialiser principalement la noix en coque, avec toutefois une inflexion vers une augmentation de la production et la commercialisation de cerneaux et d'huile de noix, avec des variétés à haut rendement. Les deux bassins ont réaffiché la volonté de promouvoir leurs labels d'appellation d'origine contrôlée : AOC Noix de Grenoble et AOC Noix du Périgord qui constituent la vitrine de la production française, avec le désir également d'y introduire de nouvelles variétés. Malgré un IFT faible (5-6, et tendant à augmenter en raison de l'apparition



TABLEAU 2 : CONTEXTES ENVIRONNEMENTAL ET AGRONOMIQUE

	Zones géographiques	Conditions biotiques et pédoclimatiques	Variabilité spatiale et temporelle de ces conditions environnementales	Système de production ciblé
Sud-Ouest	Bassin aquitain	<p>Sol</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grande diversité de sols, extension des plantations sur les plaines <p>Climat : océanique aquitain</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hivers plutôt doux (quelques gelées pouvant être sévères) • Étés chauds et orageux • Précipitations régulières (minimum persistant en été et maximum au printemps). Pluies plus modérées au centre du bassin • Ensoleillement moyen (~ 1 950 h/an) • Brouillard ou nuage bas hivernaux assez fréquents • Vents modérés. Fortes tempêtes restent possibles • Gel d'hiver et de printemps plus prononcés 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation globale des températures pour les quatre saisons et diminution globale des pluies. • Augmentation des accidents climatiques: inondations et sécheresses (Rapport du GIEC 2013). 	<ul style="list-style-type: none"> • Intensif • Biologique
Sud-Est	Vallée de l'Isère	<p>Sol : limoneux sableux/alluvion/coteaux argilo-calcaire</p> <p>Climat : continental¹ au Nord et méditerranéen au Sud</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vent violent, tempétueux (Mistral) • Pluies fortes sous forme d'orage avec plus de grêles • Pluies irrégulières et concentrées 	<ul style="list-style-type: none"> • Intensif (monoculture noix) • Biologique • Agroforesterie (zones plus aérées)
	Diois/Royans	<p>Sol : limoneux argilo-calcaire</p> <p>Climat : continental</p>		
	Drome des Collines	<p>Sol : sablo-limoneux calcaire / limoneux argileux à tendance acide</p> <p>Climat : continental</p>		
	Plaine de Valence	<p>Sol : argilo-calcaire</p> <p>Climat : méditerranéen² et venteux</p>		

¹ Le climat continental présente une forte amplitude thermique. Les hivers sont très froids, commencent tôt et durent longtemps. Les saisons intermédiaires (automne et printemps) sont réduites, on passe très rapidement de l'hiver à l'été et inversement

² Le climat méditerranéen est un type de climat tempéré, qui se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides

de nouvelles maladies) au regard des autres espèces (Zavagli *et al.*, 2011), les nouvelles réglementations en matière d'usage de produits phytosanitaires (plan Ecophyto II) pèsent fortement sur la production. La raison est, d'une part, du faible nombre d'usages autorisés (même homologués bio) et, d'autre part, de l'existence de peu de moyens de lutte alternatifs et enfin l'urbanisation croissante à proximité des vergers (touche plus particulièrement le bassin Sud-Est en raison de sa situation géographique). La définition de ces contextes s'appuie également sur l'étude économique rédigée par le CTIFL (Scandella et Serrurier, 2014). Des divergences très nettes apparaissent entre les deux bassins de

production pour les contextes environnementaux et agronomiques. En effet, comme le montre le **tableau 2**, il apparaît, d'une part, une grande diversité de type de sol entre les bassins et au sein même des bassins. Cette tendance à la diversification des sols tend à augmenter en raison de l'extension des bassins de production, voire à l'apparition de nouvelles zones de production. Le succès grandissant de la noix conduit à l'installation de vergers sur des sols moins favorables à la culture du noyer. D'autre part, les conditions climatiques divergent également nettement entre les deux bassins avec un climat principalement océanique pour le bassin Sud-Ouest et un climat continental et méditerranéen pour le Sud-Est. Toute-

fois, il est à noter pour les deux bassins une tendance à l'augmentation des accidents climatiques, qui se traduit par une augmentation des températures et des besoins en eau du noyer qui seront plus compliqués à satisfaire, avec des risques de sécheresse ou d'excès d'eau en raison de pluies fortes et irrégulières. Même s'il est prématuré d'associer ces changements ou dérèglements climatiques observés par les nuciculteurs aux projections du GIEC, ces derniers n'en demeurent pas moins inquiets de l'impact et des conséquences de ces perturbations sur la physiologie du noyer (date de débourrement, floraison et donc rendement) et/ou provoquant l'apparition de nouveaux bioagresseurs.



CONTRAINTES ET MOTIVATIONS

Sur les deux bassins, la productivité reste un critère essentiel qui est associé à un type de fructification particulier : la fructification sur brindilles latérales. Au-delà de

ce prérequis indispensable aux nouvelles variétés et quelle que soit la finalité, les critères priorités sont les mêmes : la résistance ou tolérance aux bioagresseurs, la mise à fruit rapide, la résistance aux gels

de printemps et d'automne et un cassage et énoisage plus faciles. Ce dernier critère associé à un rendement au cassage supérieur à 50 % est mis davantage en avant pour les variétés destinées à la production

TABLEAU 3 : MOTIVATIONS ET CONTRAINTES (CRITÈRES)

	Noix de table et Mixte	Cerneaux
Sud-Ouest	<ol style="list-style-type: none"> 1. Résistance/tolérance au bio-agresseurs 2. Productivité (> 4,5 t/ha) et gros calibre 3. Mise à fruit rapide 4. Résistance gels de printemps et automne 5. Cassage et énoisage mécanique, aptitude à la manipulation (suture forte coque lisse) 6. Tolérance stress hydriques 7. Cassage et énoisage facile 8. Qualité organoleptique bonne à excellente (teneur en huile) cerneaux claire et bonne conservation 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Résistance/tolérance au bio-agresseurs 2. Productivité (> 4,5 t/ha) et gros calibre 3. Cassage et énoisage mécanique, aptitude à la manipulation (suture forte coque lisse) 4. Mise à fruit rapide 5. Résistance gels de printemps et automne 6. Tolérance stress hydriques 7. Qualité organoleptique bonne à excellente (teneur en huile) cerneaux claire et bonne conservation
Sud-Est	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mise à fruit rapide 2. Productivité 3. Résistance/Tolérance aux bioagresseurs 4. Résistance gel de printemps et automne 5. Port de l'arbre (taille mécanisable) 6. Qualité organoleptique bonne à excellente, cerneau clair 7. Résistance aux stress hydriques 8. Cassage et énoisage plus facile mais suffisamment solide pour supporter la récolte mécanisée et les opérations post-récolte (suture solide). Noix de préférence ronde et lisse 9. Régularité de production 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mise à fruit rapide 2. Rendement au cassage > 50 %. Cassage et énoisage plus facile mais suffisamment solide pour supporter la récolte mécanisée 3. Résistance/Tolérance aux bioagresseurs 4. Productivité (> 4,5 t/ha) 5. Qualité organoleptique bonne à excellente (teneur en huile) 6. Cerneau clair 7. Résistance aux gels de printemps et automne 8. Résistance aux stress hydriques

TABLEAU 4 : CONCEPTION GÉNÉRALISTE - PRINCIPAUX TRAITS ET OBJECTIFS RECHERCHES

Principaux traits	Objectifs
Débourrement entre 08/04 (Lara) et le 21/04 (Franquette)	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter les gels de printemps • Réduire la fenêtre d'attaque par les maladies bactériennes et fongiques (limiter la concordance entre le stade végétatif et les climats favorables aux pathogènes)
Cycle végétatif court à moyen pour éviter les gels d'automnes	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt de la végétation précoce et chute des feuilles fin octobre ou tout début novembre (caractéristique des variétés originaires de climats continentaux). À l'inverse, les variétés californiennes ont une défeuillaison plus tardive (deuxième partie de novembre). Les baisses de température (- 7 °C, - 8 °C) à cette époque peuvent provoquer des dégâts au niveau des assises cambiales qui seront visibles dès le mois de janvier au niveau des départs des charpentières et des extrémités des pousses annuelles mal aoûtées
Fructification sur brindilles latérales	<ul style="list-style-type: none"> • Productivité > 4,5 t/ha • Mise à fruit plus rapide
Port en axe semi érigé à semi-étalé (30° < angle d'insertion des branches < 60°)	<ul style="list-style-type: none"> • Taille mécanique • Meilleure fructification • Limiter les coups de soleil sur fruit
Pour les variétés de noix de table	<ul style="list-style-type: none"> • Gros calibre (> 32 mm), oblongue à ronde et très peu bosselée : meilleur nettoyage des noix en post-récolte et meilleur remplissage par le cerneau. Cerneau clair
Pour les variétés à cerneaux	<ul style="list-style-type: none"> • Calibre moyen (28 mm à 32 mm). Cerneau clair • Épaisseur coque moyenne à mince et soudure de la valve forte à moyenne (cassage et énoisage plus facile) • Rendement au cassage > 50 %
Tolérance ou résistance intrinsèque aux différents bioagresseurs	<ul style="list-style-type: none"> • Maladies cryptogamiques • Bactérioses



exclusivement de cerneaux. Même si les motivations ont été hiérarchisées par les professionnels, il est apparu au cours des discussions que les écarts entre chaque item étaient faibles. Les acteurs de la filière sont en attente de variétés plus abouties et ne répondant pas aux seuls critères de « gros calibre » et de « fructification sur brindilles latérales » tel que cela a été le cas dans le passé pour les précédents programmes de création (Tableau 3).

Au regard des contextes nationaux et régionaux et des critères mis en avant, les variétés de noyer peuvent être conceptualisées grossièrement comme indiqué ci-dessous. Toutefois cette conception généraliste qui dégage les principaux traits sera déclinée en idéotypes qui répondront essentiellement aux différences pédoclimatiques observées entre les bassins et au sein même des bassins de culture ainsi qu'à leur utilisation (Tableau 4).

CONCEPTION DES IDÉOTYPES...

À partir de cette représentation conceptuelle des variétés qui comprend l'ensemble des stratégies permettant de répondre aux cahiers des charges, la poursuite du travail va consister à la construction proprement dite des idéotypes. Pour cela, les caractères cibles, permettant de mettre en œuvre les stratégies, sont identifiés. Sur la base de nos connaissances actuelles,



> « LE BORDELAIS », FRANCE



> « TULARE », CALIFORNIE



> « MB CO 45 », ESPAGNE



> « MOYER », OREGON



> « CHEINOVO », BULGARIE



> « AS 1 », CHILI



> « MILOTAI N°10 », HONGRIE



> « IR 13-1 », IRAN



> « UK 11-4 », UKRAINE



> « FRANQUETTE », FRANCE



> « MARCHETTI », CALIFORNIE



> « FERADAM », FRANCE



de l'expérience et la connaissance des stations expérimentales et des actions programmées, les leviers techniques issus des pratiques culturales et les leviers génétiques mis en œuvre par la sélection seront utilisés pour agir sur les caractères d'intérêts.

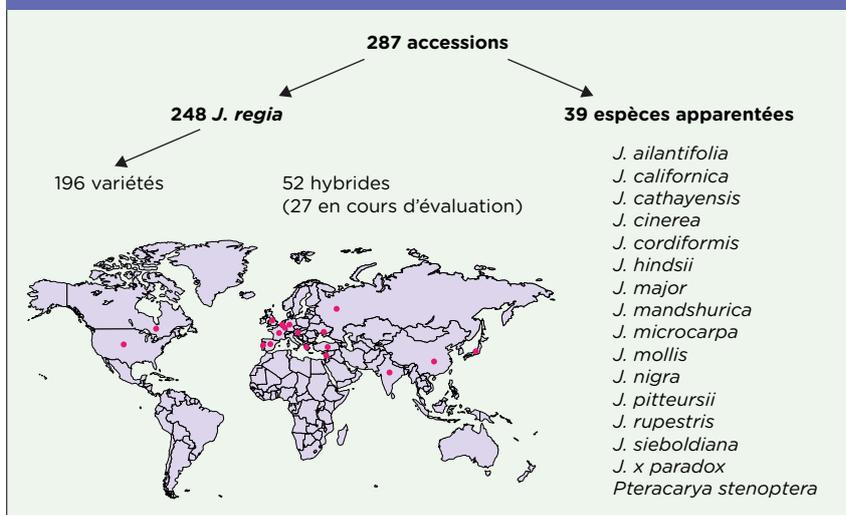
LES LEVIERS TECHNIQUES

Il s'agit principalement d'actions mises en œuvre à court, moyen et long termes par les principaux intervenants que sont le CTIFL et les deux stations expérimentales. Ces actions, détaillées précédemment pour certaines d'entre elles et qui impactent les caractères phénotypiques, concernent l'ensemble des pratiques culturales : la fertilisation, les traitements phytosanitaires, l'irrigation, la taille, le travail du sol, l'influence des porte-greffe, la densité de plantation, l'agroécologie...

LES LEVIERS GÉNÉTIQUES : PROJET INNOV'NOYER

Aujourd'hui, la biologie moléculaire permet d'appréhender les mécanismes moléculaires de l'expression des caractères et par conséquent, d'agir sur eux de façon plus précise. Le développement de la génomique, lié aux progrès des techniques de biologie moléculaire et de l'informatique, permet de localiser les gènes dans le génome (cartes génétiques, physiques), d'en connaître leur séquence, leur réseau de régulation, leur fonction biologique et leur variabilité au sein de l'espèce. Ces nouveaux outils permettent de conduire les programmes de Sélection assistée par marqueurs moléculaires (SAM), et de suivre plus facilement dans les descendance les caractères à sélectionner et donc de réduire le coût et la durée de la création de variétés nouvelles. Le CTIFL de Lanxade, en partenariat avec l'INRA de Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux et l'université de Davis en Californie, a l'ambition d'utiliser ces techniques modernes du sélectionneur, pour améliorer l'efficacité du processus de création variétale en un temps réduit. C'est

FIGURE 3 : Collection de ressources génétiques Juglans de l'INRA Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux



ainsi que le projet « INNOV'noyer » a pu voir le jour afin d'étudier les ressources génétiques disponibles en France. Ce projet financé par la région Nouvelle-Aquitaine et labellisé par le pôle de compétitivité « Agri Sud-Ouest Innovation » vise deux principaux objectifs : (1) évaluer et recenser la diversité génétique et phénotypique au sein de la collection de l'INRA de Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux ; et (2) identifier le déterminisme génétique de caractères d'intérêt agronomique. Le CTIFL est à l'origine de ce projet porté par Fabrice Lheureux (Ingénieur chargé de programme « fruits à coque et truffe »). À ce projet est associée une thèse visant à étudier les ressources génétiques du noyer menée par Anthony Bernard sous le co-encadrement de F. Lheureux et Elisabeth Dirlewanger, directrice de recherche de l'équipe A3C (Adaptation du cerisier au changement climatique) au sein de l'UMR 1332 Biologie du Fruit et Pathologie de l'INRA de Bordeaux. Le projet se décompose en trois tâches :

Caractérisation de la collection de ressources génétiques Juglans

La collection de ressources génétiques, est composée de 287 accessions dont 248 accessions *J. regia* (196 variétés et 52 hybrides) et 39 accessions d'espèces apparentées (Figure 3). L'ensemble du matériel végétal étudié dans ce projet a été phénotypé pendant de nombreuses années à l'INRA. Ce phénotypage concerne les caractères principaux relatifs à :

- la phénologie : date de débourrement, date de floraison, type de fructification, date de mise à fruit, date de défeuillage ;
- l'architecture de l'arbre : port, vigueur ;
- la qualité du fruit : rendement au casage, dureté de la coque, calibre, saveur du cerneau.

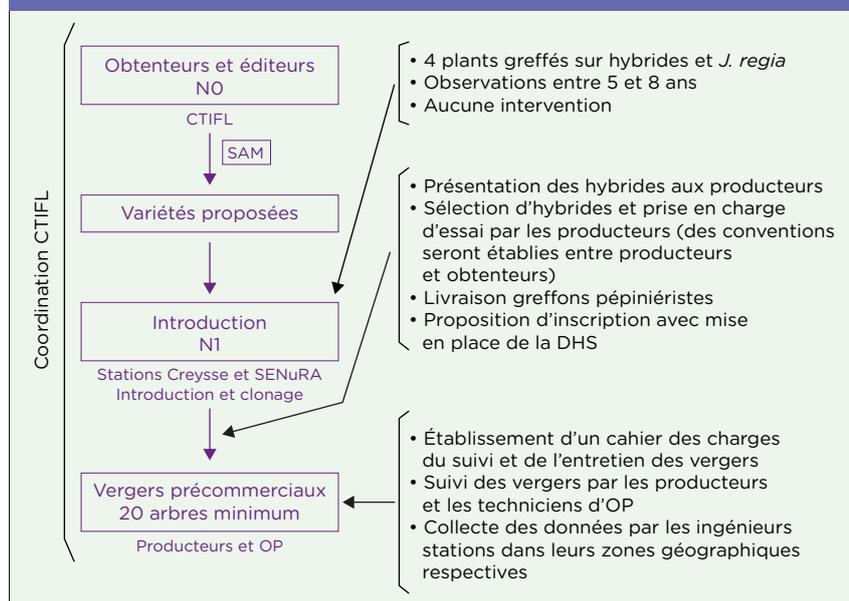
Il s'agit donc dans un premier temps de valoriser les archives issues des deux programmes d'innovation de l'INRA de Bordeaux. Ces données seront déposées dans les bases de données de l'INRA et du CTIFL. Elles seront actualisées et complétées avec la sensibilité aux principales maladies : la bactériose (agent pathogène : *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis*) et les Anthracoses liées à *Gnomonia leptostyla* et au complexe d'espèce *Colletotrichum acutatum*. La sensibilité à ces trois pathogènes sera étudiée par des observations dans le verger, complétées par des tests dans des conditions contrôlées en laboratoire.

Dans un deuxième temps, la diversité génétique de la collection sera évaluée tout d'abord à l'aide d'un ensemble de 15 marqueurs microsatellites déjà disponibles pour identifier et éliminer les accessions génétiquement trop proches. Les individus retenus suite à ce premier criblage seront ensuite génotypés à l'aide de la puce Affymetrix® de 700 000 SNP développée dans le laboratoire de David Neale à l'université de Davis en Californie (États-Unis). La structuration de la collection sera étudiée et le déséquilibre de liaison





FIGURE 4 : Organisation du réseau d'évaluation des variétés de noyers coordonnée par le CTIFL



sera évalué. Avec les données phénotypiques et génomiques obtenues précédemment, une étude d'association (GWAS : Genome-Wide Association Studys) sera réalisée afin de lier les marqueurs aux caractères phénotypiques d'intérêt listés précédemment. Enfin, il sera alors possible d'identifier une Core Collection (collection constituée d'un nombre réduit d'individus mais représentatifs de la diversité génétique existante) utilisable d'une part pour envisager la mise en place d'un programme de création variétale et d'autre part pour préciser les études de génétique d'association.

Caractérisation d'une descendance F1 issue du croisement Franquette x UK 6.2

Une population de descendants F1 issue d'un croisement entre la variété « Franquette » et la variété « UK 6.2 » (origine Asie) avait été créée par l'INRA de Bordeaux dans le but de réaliser une carte génétique du noyer. Cette population est constituée à ce jour de 85 individus qui ont été plantés en 2003. Les deux parents se distinguent sur un certain nombre de caractères phénotypiques, dont le type de fructification et la période de débourrement. Les 700 000 SNP seront utilisés pour le génotypage de la population. Avec les données génomiques obtenues précédemment, une cartographie génétique de ce croisement

sera réalisée. Une recherche de QTL liés aux caractères phénotypiques cités précédemment sera entreprise. Des marqueurs liés au type de fructification identifiés par l'équipe de l'université de Davis seront aussi testés sur cette population.

Obtention des outils nécessaires à une SAM et identification de gènes d'intérêt

Au sein de la Core Collection, il sera possible de déterminer des gènes d'intérêt pour de futurs croisements à réaliser dans le cadre d'un nouveau programme d'innovation variétale. L'obtention de marqueurs à partir de la F1 par la recherche de QTL ou la collection de ressources génétiques par la GWAS permettra d'initier une SAM. En combinant marqueurs disponibles et gènes d'intérêt, tous les outils nécessaires à un programme d'innovation variétale par SAM seront réunis.

ÉVALUATION DES IDÉOTYPES

Enfin, une fois conçu, chaque idéotype sera évalué par rapport aux objectifs spécifiés dans les cahiers des charges. Des critères d'évaluation seront définis et hiérarchisés sous forme de grille d'évaluation (méthode d'évaluation multicritère). L'utilisation de la SAM dans le nouveau projet d'innovation variétale Noyer va permettre la création de génotypes portant les critères majeurs recherchés plus rapidement et plus

finement. Toutefois, des observations complémentaires seront nécessaires en verger pour valider le comportement global des hybrides sélectionnés par la SAM. Pour permettre une évaluation du comportement plus rapide des hybrides, un nouveau schéma a été envisagé en s'inspirant du modèle d'étude mis en place par les équipes de sélection de l'université de Davis. Ce schéma a déjà été mis en place par le CTIFL dans le cadre de la charte nationale pour les hybrides actuellement suivis dans les stations de Creysse et de la SENuRA (Figure 4). Les résultats d'évaluation des variétés seront discutés au sein d'un groupe de travail national « Matériel Végétal » déjà en place (différent du groupe technique), dans le cadre de la charte nationale de caractérisation et de comportement des variétés et porte-greffe fruitiers. Ce groupe étudiera l'introduction des variétés en niveau un et en vergers précommerciaux. Le dispositif a d'ores et déjà été mis en place et a permis de proposer dix variétés en vergers précommerciaux et d'en proposer trois d'entre elles à l'inscription. ■

BIBLIOGRAPHIE

Debaeke Philippe (ed.), Quilot-Turion Bénédicte (ed.). *Conception d'idéotypes de plantes pour une agriculture durable*. 2014. Paris : INRA, 254 pp. (Écoles-chercheurs INRA, 1) ISBN 2-7380-1347-3.

Huyghe C. *Évolution de l'environnement sociétal de l'amélioration des plantes au cours des 50 dernières années*. 2013. *Le sélectionneur français* n° 64 : p. 11-22.

Lheureux F. *Dynamique de plantation et R&D - L'expérimentation s'investit dans la noix*. 2015. *Infos-Ctifl* n° 313 juillet-août : p. 40-45.

Scandella D. et Serrurier M. *Le marché de la noix française, attente et perception des distributeurs nationaux et européens*. 2014. *Infos-Ctifl* n° 304 septembre : p. 13-19.

Vaysse P., Giraud M., Lheureux F., Moronvalle A., Roger J., Gorreta N., Germain C., Keresztes B., Grenier G., Nouri M. *Tavelure du pommier et Anthracoses du noyer - Détection Précoce des maladies fongiques par imagerie hyperspectrale*. 2015. *Infos-Ctifl* n° 312 juin : p. 42-46.

Zavagli F., Villeneuve F., Tisiot R., Verhaeghe A., Brachet M.-L., *Les indicateurs de pression d'utilisation des produits phytosanitaires*. 2011. *Infos-Ctifl* n° 269 mars : p. 30-39.