



HAL
open science

Génétique du blé dur : Quelles orientations de recherche ? Quelles relations avec la filière ? Livre blanc 2017-2022

Nathalie Chantret, Jacques David, Martin Ecartot, Hélène Fréville, Laurène Gay, Brigitte Gouesnard, Marie-Helene Muller, Jean-Marie Prospero, Vincent Ranwez, Joelle Ronfort, et al.

► To cite this version:

Nathalie Chantret, Jacques David, Martin Ecartot, Hélène Fréville, Laurène Gay, et al.. Génétique du blé dur : Quelles orientations de recherche ? Quelles relations avec la filière ? Livre blanc 2017-2022. 2016, 17 p. hal-02801788

HAL Id: hal-02801788

<https://hal.inrae.fr/hal-02801788>

Submitted on 5 Jun 2020

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.

**2017-
2022**

Equipe Ge2pop
UMR Agap
Montpellier

**Génétique du blé dur :
Quelles orientations de
recherche ? Quelles
relations avec la filière ?**



[LIVRE BLANC]

FEVRIER 2017

[Sommaire]

1 ^{ère} Partie - Notre identité : compétences, outils et objets de recherche	4
2 ^e Partie -: Etat des lieux des relations avec la recherche nationale & internationale et avec la filière blé dur	6
1. La recherche publique	6
2. Relations avec la filière.....	9
3 ^e Partie - Vers le futur : Quelles priorités ? Quel partenariat ? Quelles actions ?	11
1. Priorités stratégiques	11
2. Quelles collaborations ?	13
3. Quelles actions ?	13
Conclusions.....	16

[A propos de ce livre blanc]

La réunion en janvier 2016 avec Christian Huyghe alors DS adjoint 'Agriculture' a ouvert cette réflexion sur les collaborations entre laboratoires INRA et filière blé dur et notamment les actions possibles dans le domaine de la génétique.

L'année 2016 a été le temps des échanges et de la maturation de ce projet ; tous les chercheurs de l'équipe Ge2pop s'y sont impliqués. Dès le printemps les éléments phares étaient identifiés et une 1ere version de ce livre blanc était écrite mais ... malheureusement non diffusable.

Pour esquisser notre projet, nous nous sommes basés sur nos compétences et nous avons analysé nos collaborations dont beaucoup ont été renouvelées ces 2 dernières années. Nous espérons que ces quelques pages rendront notre projet accessible et vous permettront de partager notre réflexion.



Version 1 du livre blanc (Mars 2016)

En vous souhaitant une bonne lecture

Nathalie Chantret, Jacques David, Martin Ecarnot, Hélène Fréville, Laurène Gay, Brigitte Gouesnard, Marie Hélène Muller¹, Jean Marie Prospero, Vincent Ranwez, Joëlle Ronfort, Pierre Roumet¹, Sylvain Santoni, Muriel Tavaud.

¹ Animateurs & coordinateurs de rédaction

1^{ère} Partie - Notre identité : compétences, outils et objets de recherche

L'équipe Ge²pop (organigramme, Figure 1) a une forte identité scientifique autour de l'étude de la **diversité génétique** et de la **biologie évolutive** appliquée aux espèces cultivées : elle maîtrise différents champs disciplinaires centrés sur la génétique (moléculaire, des populations, quantitative et évolutive) et permettant la description de la diversité génétique à différents niveaux (du génome aux couverts végétaux, de l'intra à l'interspécifique) et la compréhension des processus qui sous-tendent son évolution.

Sur le blé dur, ses programmes s'appuient sur une **très bonne connaissance de l'espèce** et une maîtrise des opérations de culture et de croisement. Ils s'enrichissent également de l'accumulation des connaissances sur la génomique complexe du blé dur et des espèces qui lui sont apparentées. Ces connaissances sont mobilisées pour décrire la variabilité du fonctionnement de la plante dans son environnement biotique et abiotique et mettre en place des **dispositifs expérimentaux** ainsi que des opérations d'introgession et de sélection (croisements, pépinière, essais). Un effort particulier a été réalisé ces dernières années pour créer et/ou développer :

- i) des outils robotisés en adaptant des technologies non destructives à la collecte en masse de données phénotypiques sur des sites de plein champ et sur grains²,
- ii) des méthodes de génotypage permettant de réduire la complexité génomique et d'accéder au transcriptome,
- iii) l'utilisation de la bio-informatique grâce aux recrutements d'un professeur SupAgro et de CDDs qui ont permis le développement de procédures d'analyse de données de séquençage type RNASeq et de conforter les programmes d'évolution moléculaire.

Les travaux sur le blé dur ont été publiés dans 105 articles de revue de rang A au cours des 7 dernières années. L'encadré 1 précise la nature des compétences de l'équipe GE²pop mobilisées sur le blé dur ainsi que leurs domaines d'application.

Ces compétences sont mises à profit dans plusieurs axes thématiques structurants pour l'INRA, notamment dans celui de la préservation et de la valorisation de la biodiversité des espèces agronomiques et dans l'exploration de nouvelles méthodes de production s'appuyant sur la diversité, intra ou interspécifique. L'équipe développe des questions de recherche majoritairement fondamentales et fait preuve d'une sensibilité marquée pour des enjeux de société (agriculture durable, agroécologie, résilience, etc). Elle se singularise par une culture de convivialité et d'interactions fortes entre ses membres, dépassant les différences entre modèles d'étude (Blé dur, Maïs, *Medicago truncatula*).

En terme de matériel végétal, le laboratoire a accumulé ou produit des ressources végétales variées pour instruire ces questionnements à différentes échelles taxonomiques : collection d'accessions représentant les Triticées et plus spécifiquement les différents taxons de *Triticum turgidum* correspondant aux phases successives de l'histoire évolutive du blé dur, populations de lignées recombinantes ciblant des caractères d'intérêt (nutrition azotée, architecture, maladies), population

²La coordination scientifique des projets DiaPhen –Plateforme instrumentée de plein champ- et Arcad –plateau semences- est faite par deux chercheurs de l'équipe

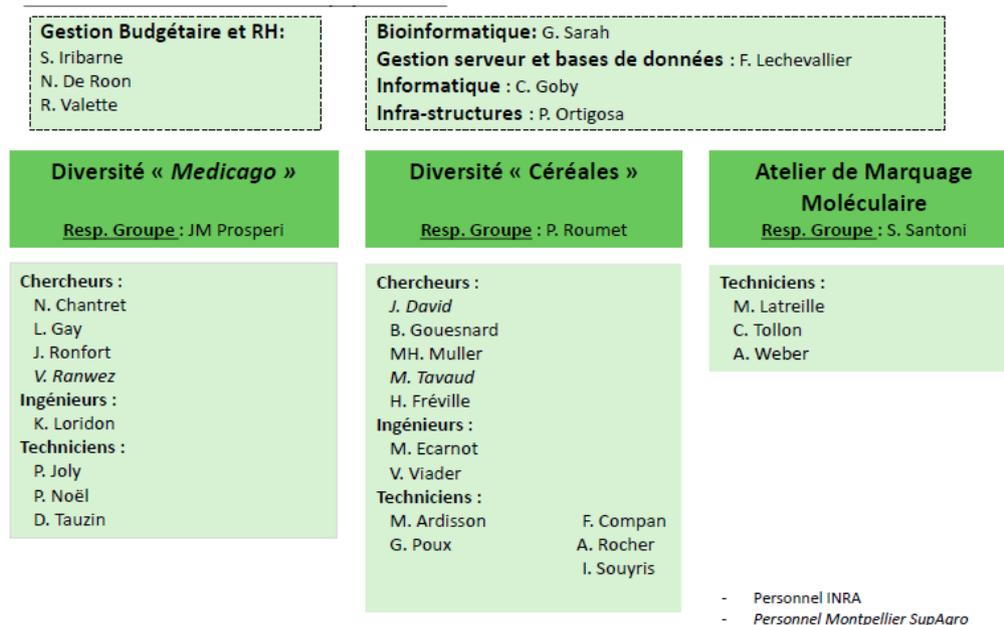


Figure 1 : Organigramme fonctionnel de l'équipe GE²pop

Encadré 1 : Compétences de l'équipe GE²pop et domaines d'application

Cet encadré privilégie des illustrations au sein de l'espèce blé dur et des espèces qui lui sont apparentées. Du fait des échanges formels ou informels au sein de l'équipe, il concerne aussi les scientifiques n'ayant pas le blé dur pour modèle d'étude principal.

Génétique et génomique des populations : de l'exploration de la diversité du génome complexe du blé dur à l'inférence de mécanismes évolutifs dans des populations cultivées diversifiées

- Production de ressources génomiques originales par une conjugaison de diverses technologies issues des nouvelles générations de séquençage et d'une expertise en bioinformatique pour la gestion et l'exploitation des données : transcriptomes de référence, bases de polymorphismes géniques sur de larges panels, cartes génétiques denses ont été produites et mis à disposition des partenaires, tant privé que public.
- Evolution moléculaire sur des profondeurs phylogénétiques variées : composition en bases des Triticées, identification de gènes sous sélection au cours de la domestication, impact du système de reproduction sur la diversité moléculaire.
- Génétique et génomique des populations mises en œuvre dans des populations de plantes très autogames afin d'étudier leur diversité génétique et d'inférer les mécanismes évolutifs à l'œuvre (flux de gènes, sélection et adaptation, mutation). Ces études concernent des populations naturelles (*Medicago truncatula*), des populations cultivées dans des systèmes d'agriculture traditionnelle, des populations expérimentales (populations de pré-breeding et bi-parentales).
- Génétique et biologie évolutive appliquée à l'étude des interactions entre génotypes dans des populations hétérogènes : étude des mécanismes permettant d'expliquer les relations diversité/performance dans les populations (voir aussi ci-dessous).

Analyse de la plante entière en interaction avec son environnement climatique, biotique, cultural

- Génétique quantitative et étude du fonctionnement plante entière en collaboration avec des éco-physiologistes : variabilité de différents traits impliqués dans l'efficacité d'utilisation et de mobilisation des ressources (en particulier l'azote), analyse des interactions Génétique*Environnement, Génétique*Génétique, et de leurs bases génétiques.
- Développement de méthodes de phénotypage non destructives et non invasives basées sur la spectroscopie visible et proche infrarouge couplée, ou non, à de l'imagerie et couvrant différentes échelles depuis la feuille, le grain jusqu'au couvert.

de pré-breeding, lignées de sélection, cultivars traditionnels issus de prospections au Maroc. Le rapatriement de la collection de ressources génétiques du blé dur, transférée dans les années 2000 au CRB de Clermont Ferrand, fait l'objet d'une réflexion dans le cadre de notre déménagement sur le campus de Lavalette (bâtiment Arcad) où seraient présentes des activités de service pour des CRB. Une gestion locale de ces ressources positionnerait l'équipe en tant que pôle international de production, de documentation et de distribution de ressources génétiques (semences, séquences, données de phénotypage).

2^e Partie - : Etat des lieux des relations avec la recherche nationale & internationale et avec la filière blé dur

1. La recherche publique

a. Un environnement 'recherche' local très riche

A Montpellier, le contexte de partenariat s'est fortement enrichi ces dernières années. De nombreux laboratoires de recherche s'intéressent désormais au blé dur (Ecophysiologie & Ecologie fonctionnelle –UMRs LEPSE, CEFE-, interactions plante/pathogène –UMR BGPI-, nutrition minérale –UMR BPMP-, mélanges variétaux –UMRs Eco&Sols, CEFE-). Les discussions engagées se sont concrétisées par la soumission de projets de recherche communs (tableau 1) : les projets ERC '*Constraints*' et H2020 '*SoIACE*', « Chercheurs d'avenir Région Languedoc-Roussillon » ont été acceptés en 2015 et 2016 et 5 nouveaux projets sont en cours d'évaluation par la fondation Agropolis.

Ces projets confortent nos questionnements avec des champs disciplinaires nouveaux et nous permettent de mettre en œuvre des approches mécanistiques. C'est le cas de la biologie translationnelle dans les projets avec les UMRs BPMP & BGPI (nutrition phosphatée H. Rouached ; accumulation de Zinc dans le grain, P. Berthomieu ; interactions plantes pathogènes D. Tharreau). Les concepts d'écologie fonctionnelle basés sur les relations entre 'traits' sont utilisés pour documenter la variabilité intra spécifique et, en particulier, le syndrome de domestication (Col. UMR CEFE -C Violle-, LEPSE –D Vile- et Agroécologie –L Philippot-). Ces approches s'appuient sur l'exploitation de ressources génétiques originales de blé dur dont nous disposons (populations de pre-breeding, transect de domestication), notre expertise du génome du blé dur et notre capacité de production d'analyse de données à haut débit –phénotypage et génotypage- pour des approches de type GWAS). Sur un plan mécanistique, l'analyse des exsudats racinaires, (BPMP,- H. Sentenac-) nous permettra de tester si ces composés sont impliqués, ou pas, dans les mécanismes de reconnaissance entre plantes et entre plante-microbiome, précisant ainsi l'importance de l'hypothèse de sélection de parentèle pour expliquer les interactions plante*plante.

Ces collaborations nous permettent également de développer des méthodologies d'analyse originales des composants dans les mélanges (UMR GDEC, -V. Allard-) et de préciser les domaines de validité des hypothèses de sélection de parentèle et de complémentarité de niche *via* la constitution

Tableau 1 : Liste des contrats obtenus par l'équipe Ge²pop depuis 2009. Les cases surlignées en jaune, vert et rose correspondent respectivement aux contrats en cours, aux projets 'blé dur' et à ceux en cours d'évaluation.

Période	Intitulé	Responsable Scientifique dans GE ² pop	Implication de l'équipe	Partenaires
Projets Européens				
2015-2022	Constraints ERC Coord. C Volle Cefe	P. ROUMET / H. FREVILLE	participant	10 partenaires Internat.
2017-2021	Solutions for improving Agroecosystem and Crop Efficiency for water and nutrient use. SoIACE Coord. P. Hinsinger Eco&Sol	J. DAVID/ H. FREVILLE/ P. ROUMET	participant	24 partenaires EU
Projets Agropolis Fondation				
2009-2014	Arcad : Coord: JL Pham IRD			
2009-2014	Arcad SP1 "Comparative population genomics"	J. DAVID	responsable SP	UMRs ISEM, AGAP, DIADE
2009-2014	Arcad SP2 "Crop adaptation to climate change"	J. RONFORT	responsable WP	UMRs DIADE, AGAP
2009-2014	Arcad SP3 "Cereals in Africa"	P. ROUMET	Co-responsable WP	UMRs AGAP, DIADE
2009-2014	Arcad SP5 "DNA bank"	S. SANTONI	responsable WP	UMR AGAP
2015-2017	Bourse de thèse GARRIC2 coord G Rabatel Irstea	M. ECARNOT/ P. ROUMET	Co-encadt	UMR ITAP
Projets ANR				
2010-2013	ANR GENOPEA Coord. J Burstin Agroecol.	J.M PROSPERI	responsable WP	UMR LEG Dijon,
2010-2014	ANR PHENOBLE coord. K Beauchêne Arvalis	P.ROUMET	responsable WP	UMRs GDEC, Arvalis, UMR EMMAH, Biogemma , UMR BFP,
2010-2014	ANR IMMUNITAE coord C Jacquet univ P Sabatier	N. CHANTRET	responsable WP	UMRs LRSV, APBV, URGV
2011-2019	ANR AMAIZING Coord. A. Charcosset GQE	B. GOUESNARD		
2012-2015	ANR BLANC TRANS Coord. S Glémin Isem	N. CHANTRET	responsable WP	UMRs ISEM, GEPV, LBBE, ADMIM
2014-2017	ANR SEAD Coord. L Gay Agap	L. GAY	coordinateur	UMR ISEM, CEFÉ
2015-2019	ANR Regulég J Buintink IRHS	J.M. PROSPERI	responsable WP	UMR IRHS Angers, UMR Leg Dijon
Ministères, Europe et collectivités territoriales				
2016-2018	Languedoc-Roussillon "Chercheur d'Avenir " coord. H. Rouached BPMP	J. DAVID	responsable WP	UMR BPMP
2012-2014	Campus France (ex Egide) coord. P. Roumet Agap	P. ROUMET/ M H MULLER	Co coordinateur	Inst Agron. & Veter. Hassan II (IAV Rabat)
BRG et Programmes de soutien spécifique INRA				
2011-2013	AIP INRA EPO-Durum Coord. M. Tavaud Agap	M. TAVAUD	coordinateur	
2012-2015	Metaprog SelGen CropDL Coord G. Charmet Gdec	J. DAVID / M. TAVAUD	responsable WP	UMRs GDEC , BIA, Agroécologie
2013-2015	Metaprog. ACCAF SELFAADAPT Coord. L. Gay Agap	L. GAY	coordinateur	UMR CBGP
2014-2015	AIP INRA Sechelles. Coord. H. Fréville Agap	H. FREVILLE	coordinateur	
Secteur professionnel et partenariat avec des entreprises privées				
2009-2011	GIE SOJA coord. P. Roumet Agap	P. ROUMET	coordinateur	GIE Soja, Cetiom, Oniol,
2010-2014	Syngenta Seeds_ Thèse Cifre coord. P. Roumet Agap	P. ROUMET	coordinateur	Syngenta Seeds
2011-2020	ABBAH coord J Legouis Gdec	J. DAVID / J.M. PROSPERI	responsable WP	Vilmorin, RAGT, Florimond-Desprez, Arvalis
2011-2017	Agri Obtentions coord. P. Roumet Agap	P. ROUMET	coordinateur	Agri Obtentions
2013-2016	Casdar Gie Blé dur Fusariose coord. P. Roumet Agap	P. ROUMET	coordinateur	UMR MYCSA, GIE Blé dur , Arvalis,
2013-2016	Tram coord D. Gouache Arvalis	J.DAVID	coordinateur	Arvalis, Desprez, Ragt
2017-2019	Casdar Signe coord. C. Sereno IFV	M. ECARNOT/ P. ROUMET	responsable WP	IFV, Agap, Sicarex Beaujolais
2017-2020	FSOV- ArchiRac Coord. R Rincint GDEC	P. ROUMET	responsable WP	GDEC, Arvalis, Biogemma
2017-2020	FSOV- Gpdur coord. D. Hourcade Arvalis	P. ROUMET	participant	Arvalis, Limagrín, Ragt, Syngenta
2017-2020	FSOV- Virus coord P Lonnet Flor. Desp.	J.DAVID	coordinateur	Desprez, Arvalis
Soutien Projets d'Equipements				
2009-2011	GIS IBISA	S. SANTONI		
2011-2013	CNOC - DiaPhen coord. P. Roumet	P. ROUMET	coordinateur	UE Diascope
2012-2015	Feder-DiaPhen M Rossignol Bmp / P. Roumet Agap/ F Tardieu Lepse	P. ROUMET	co-coordonateur	Lepse-UE Diascope
2013-2020	Investissement d'Avenir Phenome DiaPhen coord J Legouis Gdec/ F Tardieu lelse	P. ROUMET	responsable WP	UMR Lepse, Agri, Lepse, BIA Emmah, Gdec, Agroécologie, BFP, Misteau, URGE, Arvalis, Terr. Innov.
2013-2015	Feder Batiment Arcad coord. JL Pham IRD / JM Prospéri AGAP	JM PROSPERI	co-coordonateur	Fondation Agropolis/AGAP
Projets déposés en cours d'évaluation au 1/2/ 2017				
2017-2018	Micsomatos-France Agrimer Coord. P. Roumet	P. ROUMET	coordinateur	UMR Gdec
2017-2018	Idiome-INRA-BAP-EA coord L. Philippot agroecol/ P. Roumet Agap	P. ROUMET	co-coordonateur	UMRs Agroécologie, Lepse, Cefe
2017-2018	Besef-INRA-BAP Coord. P. Berthomieu BPMP	J. DAVID	co-coordonateur	UMR BPMP
2017-2019	SAADA-Agropolis coord. K. Barkaoui System	P. ROUMET	responsable WP	UMR System, Icarda, IAV Rabat
2017-2019	Intwheat-Agropolis coord. H Sentenac Bmp	H. FREVILLE / P. ROUMET	responsable WP	UMR BPMP
2017-2019	RECHARGE-Agropolis coord. O. Rounsard Eco&Sol	M. ECARNOT	responsable WP	UMR Eco & Sol > 10 partenaires
2017-2019	ResisToMot-Agropolis Coord. D Tharreau Bgpi	J. DAVID	responsable WP	UMR BGPI, Univ GRM Bolivie, INIA Uruguay
2017-2019	AgroWindTunnel-Agropolis coord. D. Bougherara Lameta	J. DAVID	responsable WP	UMRs Moisa, Lameta, Lisah.

et l'analyse de référentiels expérimentaux sur les mélanges variétaux (UMRs Eco&Sol -P. Hinsinger-, System -K. Barkaoui-).

Cette ouverture du partenariat de recherche complète les relations anciennes que nous avons avec l'UMR IATE (qualité du grain & aptitude à la transformation), et les échanges soutenus que nous avons depuis une bonne dizaine d'années avec l'ISEM (phylogénie, évolution des systèmes de reproduction, domestication ; prog. ARCAD, ANR Trans) et avec l'IRSTEA (spectrométrie couplée à l'imagerie, UMR ITAP ; Prog. Garicc & Garicc2) avec, dans chacun de ces 2 cas, plusieurs co-encadrements de thèses.

b. Un lien fort avec l'enseignement supérieur

Avec la présence dans l'équipe de 3 enseignants chercheurs de Montpellier SupAgro, enseignement-recherche sont couplés : les chercheurs sont impliqués fortement dans l'enseignement, et les flux réguliers et importants d'étudiants au sein de l'équipe donnent une bonne lisibilité de nos travaux. Nous sommes très liés à l'option d'ingénieurs de Montpellier SupAgro APIMET et son master associé SEPMET. Nous avons collaboré à la construction et l'animation de modules sur le phénotypage à haut débit par analyse d'image. Notre intégration dans la communauté d'enseignement universitaire montpelliérain nous permet également d'attirer des étudiants de l'université de Montpellier (Masters Darwin Evolution & de l'Institut d'électronique et des systèmes) et de tisser des liens avec les enseignants de disciplines très variées. Plusieurs bourses de thèses de l'école doctorale de Montpellier ont ainsi été attribuées au laboratoire, la plus récente au concours de 2016. Via ces partenariats et notre interaction avec l'IRSTEA, nous nous sommes porté candidats à la participation de l'initiative DIGITAG (master en construction, réponse à l'appel d'offre pour des co-encadrements de thèse en modélisation).

c. Un réseau de relations denses au niveau national

L'équipe Ge²pop a des relations avec des équipes de différents départements de l'INRA. Les relations avec nos collègues blé tendre (GDEC, Clermont Ferrand ; GQE, Le Moulon) sont pérennes et régulièrement renouvelées: nous avons été associés dans le métaprogramme Selgen et le programme ANR-Phenoblé ; nous le sommes actuellement dans le cadre des projets FSOV Archirac, H2020 SolACE pour ne citer que les plus récents. D'autres projets co-rédigés sont en cours d'évaluation (ex: FranceAgrimer *Micsomatos*). En relation avec le développement de la thématique Agro-Ecologie, des relations nouvelles ont été initiées avec les microbiologistes de l'UMR Agroécologie (L. Philippot, Dijon) pour aborder les interactions plante*microbiome (projet INRA-Idiome BAP-EA).

Nous sommes impliqués également dans plusieurs réseaux nationaux soit en tant que participant (réseaux « *Fusatox* », « *Nirs* » animés respectivement par F. Forget (UR Mycsa, Bordeaux) et M. Huart (UMR Agroécologie, Dijon) soit en tant que co-animateur (« *IGEC* », interaction génotype environnement conduite avec A Gauffreteau, -EA, Grignon- ; base de données nationale phénotypique « *Ephesis* », avec C Pommier, -URGI Versailles-).

a. Un réseau international émergent

L'écriture de plusieurs projets internationaux, non financés (Era-Caps, Arimnet, kbbe, H2020, fondations Agropolis-Cariplo) ou soutenus ARCAD (Agropolis), SolACE (H2020) nous ont permis de resserrer les liens avec des partenaires institutionnels notamment présents dans le pourtour méditerranéen (Italie, Maroc, CGIAR -Cimmyt & Icarda-). Certains de ces contacts (Univ. Hohenheim

& Boku-Wien) se sont poursuivis par des échanges de matériel et de réseaux expérimentaux. Plus récemment nous avons intégré le « *Working Group on Durum Wheat Genomics and Breeding* » qui émane de la « *Wheat initiative* ». Nous avons mis à la disposition de ce groupe 180 lignées issues de la population de pre-breeding EPO pour développer des études de génétique d'association. Enfin, notre expertise sur la production et l'analyse de données de séquences et le phénotypage nous a ouvert de nouvelles collaborations au niveau académique : étude de la domestication avec l'université d'Ancône, accueils de thèses pour des transferts technologiques (Univ. Bari, The Plant Accelerator Univ. Adelaïde).

2. Relations avec la filière

Historiquement, le cœur de nos relations avec la filière ont été centrées quasi exclusivement sur la sélection et la génétique. Elles impliquent donc principalement les établissements de sélection.

a. Le GIE Blé dur

A l'exception d'Agri-Obtentions, le GIE blé dur regroupe tous les établissements de sélection travaillant sur le blé dur en France. Depuis les années 80, un partenariat riche d'échanges répétés a été mis en place entre notre groupe et le GIE. Basé sur des flux de matériel végétal, de technologies et de connaissances, l'intensité de ce partenariat s'est progressivement distendue au fil des années et force est de constater que nous sommes arrivés au bout d'un cycle. Les raisons sont multiples.

- ✓ La limitation de l'ambition des programmes initiés dans le cadre du GIE ; elle est attribuable à :
 - Une compétition qui s'accroît entre les acteurs : Avec la concentration des entreprises de semences, le nombre d'acteurs de la sélection du blé dur a été réduit et la compétition entre eux accrue. L'intérêt de ces établissements à travailler ensemble diminuant, l'ambition des programmes retenus par le groupement a été impactée : ces programmes se définissent désormais autour d'un 'plus petit dénominateur commun' avec une opérationnalité la plus immédiate possible accroissant encore plus la compétition entre les acteurs.
 - Un renouveau insuffisant des bases de ce partenariat : alors qu'au cours des dernières décennies, la reconnaissance des laboratoires publics reposait de plus en plus sur la qualité de son questionnement scientifique, les attentes du GIE sont restées cristallisées sur des objets associés à la création variétale.
 - L'évolution des stratégies & thématiques de l'équipe : Notre équipe a le souci de rester attractive sur ses thématiques scientifiques et de gérer son partenariat en conséquence. Or, ces thématiques ne correspondent pas aux priorités opérationnelles du GIE énoncées ci-dessus : d'une part, les questionnements associés à la diversité se déclinent sur des échéances à trop long terme pour les sélectionneurs avec des rapports coûts/bénéfices insuffisamment attractifs. D'autre part, l'activité du GIE s'inscrit dans la continuité d'une création variétale destinée à une agriculture conventionnelle ; il reste peu sensible à la réduction de l'impact environnemental de la culture du blé dur et à la problématique des mélanges variétaux, qui sont deux thématiques émergentes dans l'équipe.

- Un problème de financement : Le blé dur n'étant ni une espèce stratégique ni très rentable pour ces entreprises, le GIE considère que les financements des projets doivent être apportés par les guichets extérieurs. Son propre apport financier reste minimaliste, basé pour l'essentiel sur des implications définies en termes de temps et de surface expérimentale. Cela limite le partenariat dans le cadre d'appels d'offres émanant de guichets (ANR, Europe) dans lesquels une implication plus forte du secteur privé est demandée.
- ✓ Des opportunités manquées
- l'une d'entre elles a eu, et a encore, des conséquences importantes sur le 'travailler ensemble' : le blé dur n'a pas bénéficié du soutien de la première vague des programmes 'Investissements d'avenir' qui ont permis à d'autres espèces de structurer le partenariat public privé autour de fortes ambitions technologiques et scientifiques.
- b. Une diversification du partenariat pour des actions Génétique-Sélection centrées
- ✓ A côté de ce partenariat collectif (GIE), émergent des collaborations bi ou trilatérales avec des acteurs de la filière présents, ou pas, dans le GIE qui s'associent avec nous à titre individuel; des tours de table à géométrie variable se sont ainsi constitués pour différents projets: programme TRAM virus (Arvalis + 2 obtenteurs), thèse Cifre sur économie de l'azote (I Vilmus, Syngenta). Le cadre de collaboration peut être élargi à des nouveaux acteurs ; c'est le cas dans les 3 projets FSOV retenus en 2016³ qui en plus d'Arvalis, des obtenteurs blé dur (différents selon le projet considéré), impliquent des partenaires étrangers ou des équipes travaillant sur le blé tendre.
 - ✓ Depuis 2008, une convention lie notre groupe à Agri Obtentions (AO): chaque année, des lignées F5 (n≈150) sont distribuées à AO qui les expérimente, les fixe et, s'occupe du dépôt au catalogue. Pour des raisons stratégiques, AO a décidé de ne plus reconduire cet accord au-delà de 2018.
- c. Le Comité d'Orientation Stratégique (COS Blé dur)
- Mis en place en 2013, ce COS a pour but de favoriser le développement de partenariats entre les différents acteurs de la filière et les disciplines de la recherche publique. La différence de positionnement entre les thématiques de notre laboratoire et les acteurs de la sélection privée sur les questions d'amont (priorité à l'utilisation des outils développés sur le blé tendre vs la mise en place d'outils génomique spécifiques au blé dur, mélanges variétaux vs lignées pures, élargissement des traits d'intérêt vs cibles spécifiques à court terme) n'ont jusqu'à présent pas permis de dégager clairement le rôle de notre équipe dans les perspectives du COS.
- Le renforcement des collaborations au sein de la communauté scientifique montpelliéraine autour du blé dur (cf. § 2^e Partie 1.a) structure de fait un partenariat plus fort et permet d'envisager la valorisation de la diversité dans des approches plus systémiques avec l'aval (agronomie, Arvalis) et avec des approches scientifiques ambitieuses en amont

³ Programmes portant sur l'étude de la variabilité de l'architecture racinaire, des relations rendement / teneur en protéines ou encore de la résistance au virus

(identification de gènes impliqués dans des fonctions de nutrition minérale, de résistance et de qualité, bases scientifiques des assemblages de génotypes pour la culture de variétés en mélange).

Le retour vers le GIE et les partenaires privés de la sélection pourra se faire par la mise à disposition de technologie de génotypage ou de marqueurs à déployer dans des programmes de sélection pour accélérer le progrès génétique (résistance aux maladies, NUE, architecture racinaire, aptitude au mélange).

Sur ces bases, les discussions avec les autres membres de la filière (producteurs, transformateurs, exportateurs) pourraient déboucher sur l'identification de priorités redéfinies dans le cadre d'une production plus durable intégrant des innovations synergiques entre la variété et des pratiques culturelles redéfinies.

3^e Partie - Vers le futur : Quelles priorités ? Quel partenariat ? Quelles actions ?

Dans les paragraphes suivants, nous détaillerons nos orientations vers l'agro-écologie, notre souci de reconnaissance par les pairs tant au niveau national qu'international, et enfin, notre volonté de mettre en place un transfert efficace vers un panel élargi d'acteurs de la filière. Ces choix prennent en compte notre prochain déménagement dans le bâtiment Arcad sur le campus de Lavalette à Montpellier (2019). Il nous offrira l'opportunité de regrouper sur un même site, les compétences, les outils et une capacité d'accueil 'recherche et enseignement' du fait de la présence d'enseignants chercheurs de Montpellier SupAgro dans l'équipe.

1. Priorités stratégiques

a. Mobiliser nos compétences sur des thématiques d'agro-écologie

Aujourd'hui, la durabilité des modes de production hérités directement de la révolution verte basés sur l'anthropisation des milieux, et l'utilisation de variétés mono génotypiques sont fortement questionnées dans un souci de conciliation des enjeux économiques, sociaux et environnementaux de l'agriculture (<http://2025.inra.fr>). Cette situation nous interroge sur notre capacité à faire évoluer ce modèle agricole pour produire mieux et sécuriser la production dans des gammes larges d'environnements incluant des environnements présentant des risques importants de stress biotiques ou abiotiques. La génétique et la création variétale sont interpellées directement pour préciser la nature des leviers susceptibles de relever ces défis. Parmi ces leviers, une utilisation élargie de la diversité génétique conduisant à une reconsidération des formules variétales actuelles ainsi que des innovations technologiques telles que la sélection génomique sont à considérer.

Dans cette orientation, deux domaines/thématiques de recherche sont au cœur de notre projet :

- i. L'impact d'une augmentation de la diversité des variétés cultivées sur la performance des peuplements, performance considérée d'un point de vue productif, écologique ou économique. Cette thématique est abordée sous l'angle de populations hétérogènes et

conduites comme telles, ou de mélanges variétaux constitués à partir de composantes rigoureusement choisies. La compréhension des performances de telles populations (production, efficacité d'utilisation des ressources, impact sur la résilience de la production) nécessite d'analyser les interactions génotype*génotype (G*G).

- ii. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation des ressources notamment dans les environnements où l'utilisation des intrants est réduite. La notion du phénotype de la plante est étendue à ses interactions avec son microbiome –agents pathogènes inclus-, et avec son environnement physique (climat, techniques culturales) et humain. L'analyse de ces interactions, leur impact sur les performances phénotypiques préciseront le périmètre du « phénotype étendu⁴ » à considérer pour comprendre et optimiser les performances de ces peuplements plus ou moins hétérogènes.

Pour instruire ces questions nous proposons de mobiliser notre savoir-faire en matière de génotypage et de phénotypage pour identifier les contributions de chaque composante des mélanges variétaux, notre connaissance de la diversité intra spécifique (collection représentative de l'histoire évolutive de l'espèce), et de coupler approches expérimentales et modélisation. Pour analyser cette complexité, la seule compétence du généticien ne suffit pas : des collaborations ont été mises en place afin d'analyser les composantes du phénotype étendu. C'est avec ce prisme qu'il faut considérer les projets conjoints récemment déposés avec les UMRs Agroécologie, CEFÉ, BGPI, BPMP, LEPSE, System, LISAH, MOISA. Enfin, nous nous appuyerons sur l'analyse de situations existantes dans des zones d'agriculture traditionnelle au Maghreb ou dans des réseaux d'agriculteurs pratiquant la sélection de populations hétérogènes, pour faire progresser notre connaissance sur le fonctionnement de systèmes basés sur des populations diversifiées.

b. Une logique de transfert efficace vers nos partenaires

Pour aider les acteurs de la filière et, en particulier les obtenteurs, à lever certains des verrous qui bloquent aujourd'hui la filière blé dur, nous proposons de faciliter l'accès à nos résultats et acquis méthodologiques. Les domaines de la génétique, de la génomique, du phénotypage ainsi que la connaissance de la variabilité génétique sur des traits clés comme les résistances aux maladies ou ceux impliqués dans l'efficacité d'utilisation de l'azote sont concernés.

Pour être efficaces dans cette opération de transfert de technologie, de connaissances et de ressources génétiques originales, le dispositif mis en œuvre dans le cadre du projet TRAM qui a financé un ingénieur de développement à l'interface sélectionneurs / Institut technique / INRA-SupAgro est une bonne ligne de base. Les développements méthodologiques du laboratoire ont été chaînés pour faciliter leur utilisation en routine, et les opérations de transfert de résultats vers la filière se sont faites rapidement et de façon très complète sans altérer le potentiel de recherche de l'équipe. Ce dispositif nous semble suffisamment robuste pour amorcer un transfert efficace dans le cadre de nouveaux périmètres collaboratifs: acteurs de la société civile, industriels, représentants d'une agriculture non conventionnelle.

⁴ Dawkins, Richard, *The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene* ; Oxford Univ Pr (T) ; [ISBN 978-0-19-286088-0](https://doi.org/10.1017/9780192860880) ; CDN\$ 31.50 ; 1989-12-01 ; 320 p.

2. Quelles collaborations ?

Ces collaborations sont mobilisées d'une part, pour le développement des thèmes d'agro-écologie, et d'autre part, pour générer le transfert de connaissances et de méthodologies permettant notamment le développement d'actions appliquées

a. Un partenariat historique maintenu

Comme nous l'avons précisé dans la seconde partie, les collaborations que nous avons depuis plusieurs années avec le CNRS (ISEM-Evolution moléculaire, CEFÉ-domestication-), l'IRSTEA (ITAP, - méthodologie de phénotypage-), le groupe blé tendre INRA (GDEC, GQE, azote, génotypage, mélanges variétaux-) seront maintenues en prenant en considération l'inflexion de notre réflexion vers l'Agroécologie.

b. Interdisciplinarité : un cercle d'échanges et de collaborations élargi

Cette inflexion se traduit par une plus grande importance accordée aux approches interdisciplinaires. De nouveaux projets basés sur un partenariat interdisciplinaire complètement renouvelé (UMRs BGPI, BPMP, System, Eco&Sol, Agroécologie) ont été déposés et, pour certains, soutenus au cours des 2 dernières années (tableau 1).

Sur un plan appliqué, notre objectif est de continuer d'infléchir nos liens avec la filière à travers des projets n'impliquant plus exclusivement le GIE mais séparément un, ou plusieurs, acteur(s) de cette filière conventionnelle afin de développer des actions plus ambitieuses, prenant en compte la diversité de questions posées par ces acteurs.

Notre équipe est particulièrement sensible au développement de modes de production alternatifs (sélection locale des semences, augmentation de la diversité au sein des exploitations agricoles, prise en compte de la diversité des environnements locaux, transformation locale, etc). Afin de ne pas s'imposer les points de blocage des partenaires de la filière conventionnelle, l'élargissement de notre partenariat à de nouveaux acteurs est indispensable mais à la différence des 2 points précédents, notre investissement dans cette direction est au stade de la réflexion. Il nous faut encore intégrer la pluralité des acteurs, leurs analyses des priorités, leurs contraintes, fonctionnement, échéancier, moyens, et identifier au sein de cet ensemble les partenaires potentiels (réseaux d'agriculteurs, mouvements associatifs, micro industrie, etc). Nous ne sous-estimons pas l'énergie nécessaire pour aller au-delà des difficultés de dialogue/conciliation lors de la formalisation des questions ainsi que lors du choix des aspects méthodologiques. Pour nous aider, nous pourrions nous appuyer sur l'expérience d'I. Goldringer (UMR GQE), de M. Thomas (UMR AGAP équipe DDSE) et de P. Rivière (Réseau des Semences Paysannes). Nos actions dans ce domaine dépendront à la fois de notre capacité d'investissement et des retours de premières expériences. C'est sur cette base que nous pourrions dessiner les contours de notre future implication avec ces acteurs.

3. Quelles actions ?

Nous détaillons ci-dessous des actions en cours ou à mener pour répondre aux priorités que nous avons identifiées. En premier lieu il s'agit de mettre en place des actions de recherche cohérentes dont la finalité est de préciser l'apport des mélanges variétaux dans le cadre du développement d'une agriculture plus résiliente et adaptée à des pratiques moins intensives. Ce point est au cœur des

projets que nous développons. Un second cercle d'actions correspond au transfert de connaissances, matériel végétal, méthodologies afin de diffuser nos acquis à destination d'autres laboratoires ou de la filière et de créer des réseaux. Notre implication dans la réflexion d'un projet et/ou la mise en œuvre des actions sera modulable : prestation de service, accueil et formation, développement de projets de recherche conjoint, animation de projet sont autant de niveaux différents d'implication envisageables.

a. Diversité intra peuplement et efficience d'utilisation des ressources

L'objectif de notre projet est de tester dans quelle mesure la culture en mélange variétal peut constituer un nouveau mode de production qui puisse répondre aux enjeux socio-économiques et environnementaux de l'agriculture de demain.

Nos actions sont centrées sur les interactions G*G afin d'optimiser le choix des constituants des mélanges. Les travaux menés ont pour objectifs de *i)* quantifier ces interactions, *ii)* de les analyser en les confrontant aux attendus des hypothèses de complémentarité de niche et de sélection de parentèle, et, *iii)* d'identifier les mécanismes définissant les relations entre plantes voisines (communication chimique, etc...). Dans cette analyse, les mélanges considérés seront issus de parcelles d'agriculteurs et/ ou de mélanges dédiés. Pour traiter ces questions, des aspects méthodologiques permettant de qualifier / quantifier la contribution de chaque composante au sein du mélange sont développés. Enfin, avec l'adoption de la notion du phénotype étendu nous prenons en compte les interactions entre plantes et microbiome rhizosphérique. Sur le plan opérationnel, ces approches sont basées sur de la modélisation, des approches expérimentales réalisées à des échelles allant de la boîte Magenta, la plateforme de phénotypage instrumentée jusqu'à l'agro-système. L'essentiel des projets déposés récemment concernant cette thématique (SolACE, Constraints, Micsomatos, Intwheat, Saada, ResisToMot, Idiome).

b. Co-animation de projets avec un/ des acteurs de la filière conventionnelle

Plusieurs projets financés ou acceptés entrent dans ce cadre ; c'est le cas d'études génétiques de la résistance à la Fusariose, aux virus, de développement de techniques de phénotypage, et de 3 projets FSOV (tableau 1). Sur le plan disciplinaire, la plupart de ces projets restent construits autour de problématiques de génétique et d'amélioration des plantes. Ces collaborations se matérialisent par des flux de connaissances, de matériel végétal, des partages de ressources, de développements technologiques ou méthodologiques de l'INRA vers les partenaires. Différents aspects sont couverts : phénotypage & génotypage (technologies, traitement du signal), méthodes d'analyse (génétique des populations, bioinformatique). Le bénéfice est réciproque : appropriation de nouvelles technologies/ connaissances pour le partenaire et, pour le laboratoire, intégration de ses résultats de recherche dans un contexte appliqué. Comme mentionné ci-dessus, pour assurer un transfert efficace, la présence dans nos locaux d'un ingénieur de développement mis à disposition par le projet nous paraît être une solution très efficace et une condition *sine qua non* pour *i)* accompagner la dynamique de ces travaux de recherche appliqués avec les partenaires, *ii)* assurer le transfert de compétences vers l'aval et *iii)* maintenir le potentiel de recherche de l'équipe au contact de communautés de recherche développant des approches méthodologiques (analyse des génomes, génétique statistique).

c. Actions possibles avec de nouveaux partenaires de la filière

L'émergence de thématiques liées à l'agro-écologie et, à l'agriculture durable en général, nécessite la mise en place d'approches qui dépassent le cadre de la génétique et un travail avec des acteurs non issus de la filière conventionnelle. L'élargissement de notre réseau de collaboration est donc nécessaire.

A priori, nous pouvons envisager ces échanges à différents niveaux :

- Matériel végétal : Le laboratoire produit régulièrement du matériel végétal adapté à des faibles intrants (lignées résistantes à des stress biotiques -fusariose, virus, rouilles- ou abiotique –azote- / matériel non fixé de pre-breeding). Ce matériel pourrait être mis à disposition de ces réseaux. Les données correspondantes (phénotypes, génotypes) seront accessibles *via* des bases de données.
- Analyse du fonctionnement de couverts végétaux dans des environnements variés : Certains développements technologiques faits au laboratoire peuvent être délocalisés hors des stations expérimentales instrumentées (phénotypage frugal et agile basé sur du matériel transportable). La vocation de ces techniques est d'être mises à disposition de réseaux pour analyser les performances des génotypes dans des contextes de production extrêmement variables sur le territoire national mais également dans d'autres pays.

D'autres thématiques pourraient bénéficier de tels partenariats, mais faute de personnes disponibles actuellement, nous les mettrons en second plan :

- Circulation et évolution de la diversité génétique dans des réseaux d'agriculture paysanne, et plus généralement, relation diversité – efficacité/résilience dans les agro-systèmes.
- Méthodologie de sélection, sélection participative et offre variétale agile, qui peut se connecter également aux questions sur la diversité dans des systèmes d'agriculture paysanne.

d. Pro-activité dans les réseaux internationaux

Hormis le projet Arcad (Fondation Agropolis) qui s'est terminé en 2014, nos échanges réguliers avec différents partenaires européens (Italie -Univ Bologne, Ancone, CRA Foggia-, Maroc -IAV, INRA-, CGIAR -Cimmyt, Icarda-) n'ont pas bénéficié de dotation budgétaire du fait du manque de succès de nos projets aux guichets européens et bi-nationaux. Cela devrait s'infléchir avec le projet SolACE H2020 axé sur les mélanges variétaux, la génétique d'association et les opérations de pre-breeding. En Septembre 2015, nous avons mis à disposition de la communauté internationale une population de pre-breeding de 180 lignées (Evolutionary Pre breeding Population, EPO) génotypée à haute densité (RNAseq et puce Axiom Breedwheat dans le cadre de l'action CROPDL du programme SELGEN (resp. Gilles Charmet). Cette population possède des propriétés intéressantes en termes de diversité allélique et de déséquilibre de liaison. Elle a été multipliée par l'Icarda en 2016 dans le cadre d'une opération impliquant de très nombreux acteurs internationaux sur le blé dur et sera testée cette année en Italie, au Canada, au Maroc et au Mexique dans le cadre de la Wheat Initiative. Pour notre groupe, l'idée générale est de créer un réseau d'échange d'informations et de données de phénotypage pour de futurs travaux de génétique d'association.

Enfin, à moyen terme, nous aimerions répondre aux nombreuses demandes d'accueil qui nous parviennent. Pour cela, nous réfléchissons à la mise en place d'une plateforme d'accueil de chercheurs et d'étudiants étrangers afin qu'ils puissent venir utiliser les technologies disponibles au laboratoire. Cette initiative permettrait à nos collègues d'avoir un lieu pour développer leur programme et

pourrait être couplée à une offre d'enseignement. Pour que ce système fonctionne il nous faudra solliciter différents guichets pour obtenir des allocations afin de couvrir les frais d'accueil. Cette initiative nous semble particulièrement intéressante pour constituer des réseaux, générer des ressources nouvelles pour des collègues qui ne les trouveraient pas sur place et faire connaître notre savoir-faire.

Conclusions

En évolution constante, la dynamique scientifique d'un groupe redessine les contours de son partenariat, les modifiant plus ou moins profondément. Notre volonté est forte de structurer un partenariat solide et cohérent pour mettre des programmes multidisciplinaires novateurs sur les problématiques d'agro-écologie. Ce point nous paraît également essentiel pour être en capacité de proposer des approches plus systémiques susceptibles d'interpeller les acteurs de la filière.

Comme beaucoup d'autres laboratoires, nous essayons d'être actifs au sein de réseaux internationaux (très méditerranéens ici), nationaux et filière qu'elle soit conventionnelle ou pas. Cependant, pour un groupe relativement restreint comme le nôtre, cette combinatoire ne nous permet pas d'être présents de la même façon sur tous ces fronts. Si ce document indique nos orientations générales, nous sommes bien évidemment conscients que les financements obtenus privilégieront certaines questions de recherches et/ou certains partenariats.

Les ressources en personnel, que nous pourrions mettre à disposition de ces projets sont essentielles pour porter nos idées et garantir la pérennité de notre action scientifique : la dynamique interne du groupe et, notamment la qualité des relations entre les personnes, ainsi que le maintien de compétences au sein du collectif (par la formation et le recrutement de scientifiques et ITA) détermineront pour l'essentiel notre engagement.

Dans l'organisation du travail technique, nous recherchons un juste équilibre entre des compétences mutualisables pour le collectif et l'affectation à un programme résident. Cette dernière permet une appropriation du travail par le personnel technique avec des allers-retours fluides et des ajustements efficaces, ce qui est particulièrement adapté au développement de thématiques, de méthodes et de matériels innovants : création des populations d'étude de demain, dynamique de renouvellement technique des méthodologies de génotypage, de phénotypage, et de bio-informatique.

Sur le plan des recrutements, les équipes ont eu ces dernières années, une difficulté certaine de faire reconnaître la nécessité de maintenir en leur sein une compétence technique : le développement des plateformes (génotypage, phénotypage, bio-informatique) offre certes des services de qualité, mais ceux-ci sont formatés et somme toute assez proches de la prestation de service. Ils ne permettent pas aux équipes de mettre en œuvre l'innovation nécessaire au renouvellement de leur savoir-faire. Maintenir, au moins partiellement, ce personnel permanent dans les équipes c'est leur permettre de capitaliser sur leur expérience et de garantir cette dynamique d'innovation.

Compte tenu de ces orientations thématiques et des prochains départs, l'équipe a soumis plusieurs profils à l'arbitrage de l'UMR et du département BAP. Parmi ces profils, deux nous semblent particulièrement importants au regard de ce projet.

Le premier est un profil d'un ingénieur de recherche expert en méthodes mathématiques, algorithmiques, et en informatique pour analyser des données de masse issues des nouvelles méthodes de séquençage et de génotypage mais aussi de phénotypage moyen ou haut débit. Ce

profil est crucial/central pour *i*) renforcer de façon pérenne les travaux de l'équipe sur la dynamique de la diversité et le potentiel adaptatif des populations (projet ANR SEAD, impact de l'autofécondation sur la réponse à la sélection) et *ii*) accompagner l'émergence d'une plateforme multidisciplinaire sur le blé dur.

Le second est un profil d'assistant ingénieur ; il concerne la mise en place et le suivi de dispositifs instrumentés dans des couverts végétaux cultivés dans des environnements très divers, situés hors plateformes (serres, réseaux de champs d'agriculteurs, sites naturels). Pour mettre en place ces dispositifs 'agiles' et innovants, la personne aura en charge le développement et le chainage d'outils portables et automatisés pour mesurer les facteurs physiques du milieu (température, éclairement, teneur en eau du sol) et les principales caractéristiques architecturales et biochimiques du couvert (LAI, teneurs en chlorophylle, azote).