

Vague C :  
campagne d'évaluation 2016-2017

Structure Fédérative

Dossier d'évaluation

Le dossier comprendra de 10 à 50 pages en fonction de la taille de la structure fédérative.

## 1. Informations administratives

(dans la configuration prévue au 1<sup>er</sup> janvier 2018)

### Intitulé complet de la structure fédérative

#### Responsable

M./M <sup>me</sup>	Nom	Prénom	Corps	Établissement d'enseignement supérieur d'affectation ou organisme d'appartenance
M.	URBAN	Laurent	PR1	UAPV 0840685N

#### Type de demande

- Renouvellement  
 Restructuration  
 Création ex nihilo

En cas de renouvellement ou de restructuration, préciser les labels, n° et intitulés des structures en 2018 :

#### Établissement(s) de rattachement de la structure (tutelles)

##### Établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche

Établissement : UAPV 0840685N

##### organisme(s) de recherche

organisme : INRA  
département ou commission de rattachement :

Préciser l'établissement ou organisme responsable du dépôt du dossier : UAPV 0840685N

(sauf exception, le dossier est déposé par l'établissement hôte de la structure fédérative)

Préciser le cas échéant le délégué unique de gestion : UAPV 0840685N

#### Autres partenaires de la structure :

Établissement(s) d'enseignement supérieur et de recherche : Université de Montpellier, Aix-Marseille Université

Organisme(s) de recherche : CNRS

Entreprise(s) :

Autres :

## Classement thématique

### Domaine(s) scientifique(s)

Indiquer, en début de ligne, "P" pour le domaine scientifique principal, "S" pour le ou les domaine(s) scientifique(s) secondaire(s) éventuel(s).

- S Sciences humaines et sociales (SHS)
- S Sciences et technologies (ST)
- P Sciences de la vie et de l'environnement (SVE)

### Sous-domaine(s) HCERES (cf. nomenclature)

Indiquer, à gauche du sigle, "P" pour le domaine scientifique principal, "S" pour le ou les domaines scientifiques secondaires éventuels.

### ST Sciences et technologies

- ST1 Mathématiques
- ST2 Physique
- ST3 Sciences de la terre et de l'univers
- S ST4 Chimie
- ST5 Sciences pour l'ingénieur
- ST6 Sciences et technologies de l'information et de la communication

### SVE Sciences de la vie et de l'environnement

- P SVE1 Agronomie, Biologie Végétale, Écologie, Environnement, Évolution
- S SVE2 Biologie Cellulaire, Imagerie, Biologie Moléculaire, Biochimie, Génomique, Biologie Systémique, Développement, Biologie Structurale
- S SVE3 Microbiologie, Immunité
- SVE4 Neurologie
- S SVE5 Physiologie, Physiopathologie, Cardiologie, Pharmacologie, Endocrinologie, Cancer, Technologies Médicales
- S SVE6 Santé Publique, Épidémiologie, Recherche Clinique

### Mots-clés

Libres : agronomie, environnement, génie des procédés, physiologie, qualité des aliments (5 maximum)

### Domaine applicatif, le cas échéant

Indiquer, en début de ligne, "P" pour le domaine principal, "S" pour le ou les domaine(s) applicatif(s) secondaire(s) éventuel(s).

- S Santé humaine et animale
- P Alimentation, agriculture, pêche, agroalimentaire et biotechnologies
- Nanosciences, nanotechnologies, matériaux et procédés
- T Technologies de l'information et de la communication
- P Production de biens et de services et nouvelles technologies de production
- Énergie nucléaire
- Nouvelles technologies pour l'énergie
- S Environnement (dont changement climatique)
- Espace
- Amenagement, ville et urbanisme
- T Transport (dont aéronautique) et logistique
- Cultures et société
- Économie, organisation du travail
- Sécurité
- Autres

**Coordonnées de la structure fédérative**

Localisation et établissement : Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse  
 Numéro, voie : 301, rue Baruch de Spinoza  
 Boîte postale : 21239  
 Code postal et ville : 84916 Avignon cedex  
 Téléphone : 0490 84 2 214  
 Adresse électronique : [laurent.urban@univ-avignon.fr](mailto:laurent.urban@univ-avignon.fr) ; [tersys@univ-avignon.fr](mailto:tersys@univ-avignon.fr)  
 Site web : <http://tersys.univ-avignon.fr/>

**Unités membres de la structure fédérative au 1er janvier 2018**

Label et n°	Intitulé de l'unité	Responsable	Établissement de rattachement support	Domaine scientifique HCERES principal (cf. nomenclature)	Unité porteuse / unité associée (*)
UMR 7263	Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale (IMBE)	Thierry Tatoni	CNRS	Sciences agronomiques et écologiques	Unité associée
UR 406	Abeilles et Environnement	Yves Leconte	INRA	Sciences agronomiques et écologiques	Unité associée
UR 1115	Plantes et Systèmes Horticoles (PSH)	Hélène Gautier	INRA	Sciences agronomiques et écologiques	Unité porteuse
UMR 95	Qualisud	Dominique Pallet	UAPV	Sciences agronomiques et écologiques	Unité porteuse
UR 1052	Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes (GAFL)	Véronique Lefèbre	INRA	Sciences agronomiques et écologiques	Unité porteuse
UR 407	Pathologie végétale	Marc Bardin	INRA	Sciences agronomiques et écologiques	Unité porteuse
UMR 408	Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale (SQPOV)	Catherine Renard	INRA	Chimie	Unité porteuse
UMR 5247	Institut des Biomolécules Max Mousseron (IBMM)	Pascal Dumy	CNRS	Chimie	Unité associée
EA 4278	Laboratoire de Pharm-Ecologie Cardiovasculaire (LAPEC)	Agnès Vinet	UAPV	Biologie, médecine, santé	Unité porteuse
UMR 1260	Nutrition, Obésité et Risque Thrombotique (NORT)	Marie-Christine Alessi	INRA	Biologie, médecine, santé	Unité porteuse
EA 3788	Biens, Normes et Contrats	Pierre-Henri Morand	UAPV	Sciences de la Société	Unité associée
UR 767	Ecodéveloppement (ECODEV)	Marc Tchamitchian	INRA	Sciences agronomiques et écologiques	Unité porteuse

(\*) Unité porteuse : plus du tiers des ETP de l'unité intervient dans la structure fédérative

**Liste des personnels affectés en propre à la structure fédérative**

Nom	Prénom	H/F	Année de naissance	Fonction au sein de la structure fédérative	Établissement ou organisme d'appartenance
URBAN	Laurent	H	1960	Directeur	UAPV (40 %)
BERTIN	Nadia	F	1966	Directrice adjointe	INRA (20 %)
LAURANT	Pascal	H	1962	Directeur adjoint	UAPV (10 %)
GIRERD-POTIN	Caroline	F		Gestionnaire (jusqu'en avril 2016)	UAPV (50 %)
BLUSZTAJN	Claire	F	1985	Gestionnaire (à compter du 1 <sup>er</sup> septembre)	UAPV (50 %)

Surfaces recherche (en m<sup>2</sup> SHON\*) prévues spécifiquement pour la structure fédérative au 1er janvier 2018Hors surfaces occupées par les unités de recherche membres de la structure

Établissement(s) d'enseignement supérieur et/ou organisme(s) prenant en charge les coûts d'infrastructure « recherche » de la structure	Ventilation des surfaces SHON en m <sup>2</sup>
Établissement de rattachement support :	
Établissement de rattachement :	
Établissement de rattachement :	
Organisme de recherche :	
Organisme de recherche :	
Autres (hôpitaux, CHU, CHR, autre à préciser) :	
<b>TOTAL des surfaces</b>	

\* Surface hors œuvre nette. Surface SHON = surface utile x 1,4.

Surface utile : surface d'une pièce mesurée à l'intérieur des murs porteurs et des cloisons.

Surface hors œuvre nette : surface administrative utilisée lors du dépôt du permis de construire qui correspond à la somme des surfaces délimitées par les périmètres extérieurs de la surface horizontale de chaque étage clos ou sous-sol aménagé déduction faite des surfaces non exploitables (balcons, terrasses, volumes non clos).

**Pour les plateformes technologiques seulement****Gros équipements (hors équipements spécifiques des unités)**

Nature	Année d'achat	Coût d'achat	Coût annuel de fonctionnement
Plateforme analytique (3A + PROMET)	2016-2017	2308 k€	
Plateforme de contrôle de l'environnement (3A)	2016-2018	465 k€	
Plateforme de physiologie animale et humaine (3A)	2016	397 k€	

**Appartenance à un réseau national ou international (préciser lequel)**

## 2. Dossier scientifique

### Résumé

L'objectif de la SFR TERSYS est de fédérer de manière transversale des unités de recherche de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse et du centre INRA d'Avignon pour construire une offre de recherche cohérente et performante, capable d'aborder de manière complémentaire et coordonnée les principales questions scientifiques soulevées par les « produits naturels » et leur développement. Les produits naturels sont compris ici dans le sens de produits issus de modes de production respectueux de l'environnement, et de méthodes de transformation ou d'extraction « douces », capables de préserver au mieux leurs propriétés originelles.

Le projet scientifique est décliné en quatre axes complémentaires. Le premier vise à étudier les impacts des systèmes de production sur l'environnement et les effets de la restauration. Le deuxième axe a pour objectif l'étude de la manière dont les facteurs environnementaux et génétiques, de même que les pratiques culturelles et les techniques de transformation et d'extraction influencent les critères de qualité initiale et finale des produits. L'accent est particulièrement mis sur la concentration en micronutriments de type métabolites secondaires des fruits et légumes. L'axe trois concerne l'évaluation des effets biologiques (« valeur-santé ») des produits plus riches en micronutriments. Il est également attendu de l'axe trois qu'il fournisse des cibles en termes de concentrations en micronutriments pour l'axe deux. L'objectif de l'axe quatre est, en se fondant, entre autres, sur les acquis des axes un, deux et trois, de favoriser le développement d'une production et d'une transformation identitaires et éco-responsables à l'échelle des territoires, en aidant à la reconnaissance, en particulier marchande, des qualités objectives des « produits naturels » et des services environnementaux rendus par les formes éco-responsables de production, de transformation, voire de distribution, en émergence.

Les principaux acteurs économiques et de développement aux niveaux régional et national, en particulier le pôle de compétitivité TERRALIA, sont partenaires associés de la SFR TERSYS au sein de laquelle ils participent au Conseil d'Orientation Stratégique.

Sur le plan scientifique, les originalités et points forts de TERSYS sont, au delà de la combinaison unique de compétences autour de la qualité des fruits et légumes, la mise en avant d'une approche globale et intégrée, attestée sur le plan méthodologique par un engagement important dans la modélisation, et le choix de lier fortement la question de l'élaboration des critères de qualité micronutritionnelle à celle de l'évaluation des effets biologiques.

TERSYS est conçue comme une structure évolutive, ouverte et fortement communicante, qui suscite et facilite les projets collaboratifs en recherche, en enseignement et en développement, avec l'objectif double de générer des résultats cognitifs originaux, notamment à l'interface des disciplines, et d'impacter positivement le développement des régions et des filières.

### Executive summary

The objective of the Federative Research Structure (FRS) TERSYS « Development of natural plant products. Quality and Environment » is to bring together several research units of the University of Avignon and of the National Institute of Agronomic Research (INRA) center of Avignon to address in a global and integrated approach the scientific issues of « natural plant products », i.e. plant products obtained through environmental-friendly methods, preserving their intrinsic quality.

The FRS TERSYS is organized along four major research and development axes. Axis 1 aims at studying how cropping systems impact the environment and the effects of site remediation. Axis 2 aims at understanding the way environmental and genetic factors, as well as cropping, processing and extracting techniques influence the initial and final quality criteria of plant products. We put special emphasis on the concentrations in micronutrients such as secondary metabolites of fruits and vegetables. Axis 3 has the specific objective to assess the biological effects of fruits and vegetables with enhanced concentrations of micronutrients. It is also expected from axis 3 to provide axis 2 with targets in terms of concentrations in specific micronutrients. Axis 4 uses the results of axes 1, 2 and 3 to stimulate the development of industries using environmental-friendly growing or processing techniques by helping them to better exploit the positive image of natural products, especially those with a strong regional identity.

All the major economic and development players at both the regional and national levels are partners of the FRS TERSYS where they have a seat at the Strategic Council.

There are several scientific originalities and strength of the FRS, besides bringing together an unique set of competences capable to address the issue of quality of fruits and vegetables. Firstly, TERSYS clearly commits itself to a global and integrated approach as attested by the importance of modelling as a methodological tool. Secondly, TERSYS links tightly the issue of elaboration of nutritional quality criteria to the issue of evaluation of biological effects. TERSYS is designed as a flexible and open structure that communicates effectively, and that is at the origin of and facilitates collaborative projects in teaching, research and development with the ultimate goal of stimulating both cognitive interdisciplinary research, and the development of regions and industries.

---

## Rapport scientifique

### INTRODUCTION

La création de la Structure Fédérative de Recherche TERSYS en 2010, répond à plusieurs enjeux stratégiques et scientifiques :

- le besoin de l'Université d'Avignon de se doter d'un instrument opérationnel au service de l'un de ses deux axes identitaires, en l'occurrence celui des Agrosociétés ;
- une volonté de rapprochement de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (UAPV) et du centre INRA PACA, sur le site d'Avignon, dans le cadre d'une politique de site partagée, fortement ancrée dans les réalités, contraintes et attentes de l'écosystème local et régional, et répondant à un objectif de spécialisation intelligente sur le thème des Agrosociétés.

Sur le plan scientifique, TERSYS a pour ambition spécifique de mettre en synergie des unités de recherche de l'UAPV et du centre INRA d'Avignon pour construire une offre de recherche cohérente et performante, capable d'aborder de manière complémentaire et coordonnée les principales questions scientifiques soulevées par les « produits naturels » et leur développement.

TERSYS a été conçue comme une structure évolutive, ouverte et communicante, qui suscite et facilite les projets collaboratifs en recherche, en enseignement et en développement, avec l'objectif non seulement de générer des résultats cognitifs originaux à l'interface des disciplines, mais également d'impacter positivement le développement des régions et des filières.

### PERIMETRE

Les produits naturels sont compris ici dans le sens que leur donnent habituellement les consommateurs. Il s'agit donc de produits issus de modes de production, de transformation et d'extraction, respectueux de l'environnement et de leurs propriétés originelles.

On trouve dans le périmètre actuel de TERSYS les fruits et légumes, frais et transformés, mais aussi les produits végétaux extraits, comme, par exemple, les colorants. Si l'organisation de notre projet est essentiellement centrée sur les fruits et légumes, les problématiques scientifiques traitées permettent d'envisager une valorisation de la démarche et des résultats dans les domaines pharmacologique et cosmétique, ou encore au bénéfice de la filière des colorants végétaux.

Les critères de qualité retenus varient en fonction des produits. En ce qui concerne les produits alimentaires, nous nous plaçons essentiellement du point de vue du consommateur final. Par rapport aux 4 S traditionnels de la qualité (Sécurité, Service, Saveur et Santé), nous mettons avant tout l'accent sur la valeur-santé, la qualité gustative et la sécurité. En ce qui concerne les produits transformés et extraits, c'est essentiellement la qualité technologique qui est mise en avant. Une originalité de notre projet est de prendre en considération la qualité environnementale en plus de la qualité intrinsèque des produits.

La demande sociétale pour les produits réputés sains, naturels, authentiques (produits frais, ingrédients alimentaires, produits cosmétiques, colorants...) est en progression constante depuis de nombreuses années. D'une manière générale, les consommateurs associent aux produits naturels et identitaires l'idée qu'ils sont supérieurs. De fait, les producteurs et les industriels qui réussissent à se démarquer durablement face à une concurrence de plus en plus exacerbée sont souvent ceux qui savent mettre en avant des pratiques d'élaboration respectueuses de l'environnement et l'authenticité de leurs produits. Mais pour pouvoir valoriser l'image de ces produits et des territoires dont ils sont issus, et éventuellement revendiquer des signes de qualité, il ne suffit généralement pas d'affirmer que les techniques d'élaboration des produits sont respectueuses de l'environnement, ou de faire référence au patrimoine naturel et culturel d'une région de production.

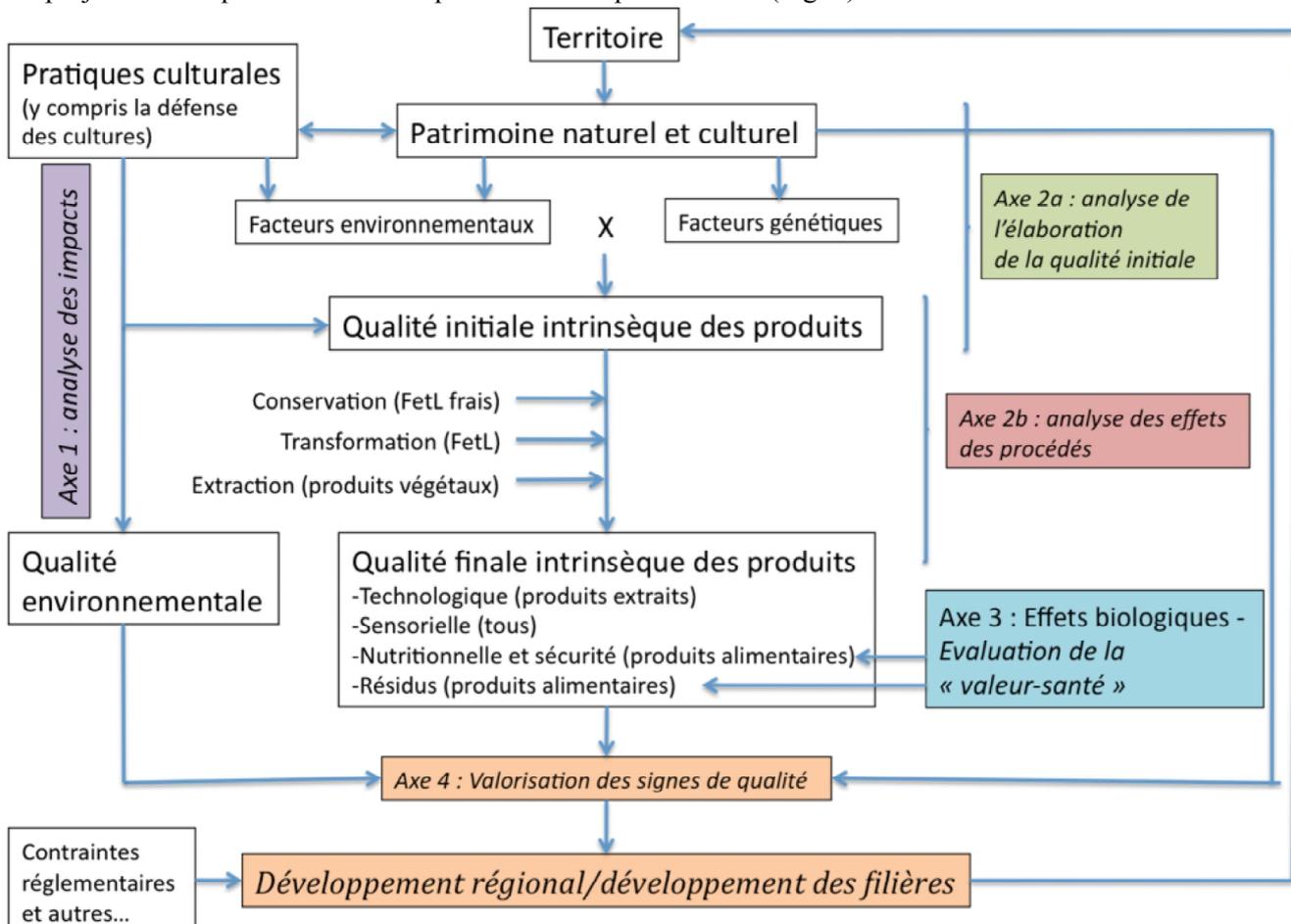
Il faut aussi:

- 1) pouvoir démontrer que l'engagement de produire de manière respectueuse de l'environnement a été suivi de manière effective,
- 2) être capable d'identifier des critères objectifs et pertinents de supériorité technologique, gustative, micronutritionnelle...,
- 3) savoir intégrer ou exploiter les contraintes générées par le cadre socio-économique, culturel, législatif et réglementaire existant (notamment les exigences de sécurité pour le consommateur).

Pour les producteurs, l'engagement en faveur d'une production plus respectueuse de l'environnement passe par la mise en place de techniques durables, voire la réhabilitation ou la restauration des agro-écosystèmes dégradés par les pratiques agricoles intensives. Quant aux transformateurs et aux distributeurs, leur engagement passe par la sélection en amont de produits issus de modes de production plus respectueux de l'environnement, et par la mise en œuvre de méthodes de conservation et de transformation capables de préserver au maximum les qualités originelles des produits. En ce qui concerne la question des critères objectifs de supériorité, celle-ci ne se pose pas tout à fait de la même manière selon que les produits sont destinés à la consommation alimentaire ou à d'autres usages. Pour les premiers, il paraît essentiel de tenir compte de l'attente des consommateurs et de mettre l'accent sur les critères hédonistes mais aussi, de plus en plus, d'innocuité sanitaire et de qualité micronutritionnelle, sachant qu'il existe actuellement un débat sur la manière dont les métabolites secondaires sont effectivement impliqués dans la prévention des maladies chez l'Homme.

## ORGANISATION

Le projet scientifique est décliné en quatre axes complémentaires (Fig. 1).



**Fig. 1.** Organigramme fonctionnel de TERSYS.

**L'axe 1** vise à étudier les interactions entre systèmes de productions et environnement, et plus particulièrement les aspects relatifs à la qualité et au cycle de l'eau.

**Le deuxième axe** étudie la manière dont les facteurs environnementaux et génétiques, de même que les pratiques culturales et les techniques de transformation et d'extraction influencent les critères de qualité initiale (sous-axe 2a) et finale (sous-axe 2b) des produits. L'accent est particulièrement mis sur la concentration en micronutriments de type métabolites secondaires des fruits et légumes.

**L'axe 3** concerne l'évaluation des effets biologiques (« valeur-santé ») des produits plus riches en phytomicronutriments. Il est également attendu de l'axe 3 qu'il fournisse des cibles en termes de concentrations en micronutriments pour l'axe 2.

L'objectif de **l'axe 4** est, en se fondant, entre autres, sur les acquis des axes 1, 2, et 3, de favoriser le développement d'une production et d'une transformation identitaires et éco-responsables à l'échelle des terroirs ou des territoires, en aidant à la reconnaissance, en particulier marchande, des qualités objectives des produits « naturels » et des services environnementaux rendus par les formes éco-responsables de production, de transformation, voire de distribution en émergence.

Les principaux acteurs économiques et de développement aux niveaux régional et national, en particulier le pôle de compétitivité TERRALIA, sont partenaires associés de la SFR TERSYS au sein de laquelle ils participent au Conseil d'Orientation Stratégique (COST).

## EFFECTIFS

Nous avons suivi les principes suivants pour évaluer les effectifs de TERSYS :

- Nous avons recensé l'ensemble des personnels des unités de recherche et des équipes d'accueil membres de TERSYS dont le barycentre est situé sur Avignon.
- Pour les autres unités de recherche, nous n'avons pris en compte que les personnels dont les activités entrent dans le périmètre du projet scientifique de TERSYS. Ce ne sont donc que les équipes avignonaises de l'IMBE et de l'IBMM qui ont été prises en compte. Tout le personnel de l'UMR Qualisud a par contre été pris en compte.
- Les chercheurs recouvrent les titulaires comme les contractuels (UMR NORT), ainsi que les IR (toutes les UR INRA notamment). Le rattachement des EC et des chercheurs aux différents axes a été évalué essentiellement en fonction des projets des équipes auxquelles ils se rattachent.

Les effectifs s'établissent de la manière suivante :

	Effectifs
Enseignants-chercheurs	147
Chercheurs	104
IE, techniciens, administratifs	73
Thésards, post-docs	128
<b>TOTAL</b>	<b>452</b>

Les EC et les chercheurs se répartissent de la manière suivante entre les axes et les sous-axes :

	Enseignants-chercheurs	Chercheurs	TOTAL	%
Axe 1	9	15	24	<b>9.6</b>
Sous-axe 2a	29	13	42	<b>16.7</b>
Sous-axe 2b	32	44	76	<b>30.3</b>
Axe 3	45	22	67	<b>26.7</b>
Axe 4	32	10	42	<b>16.7</b>

Nous n'avons pas la prétention de donner des chiffres absolument précis, mais une estimation suffisamment fiable pour permettre d'apprécier correctement la répartition des forces entre les différents axes du projet scientifique.

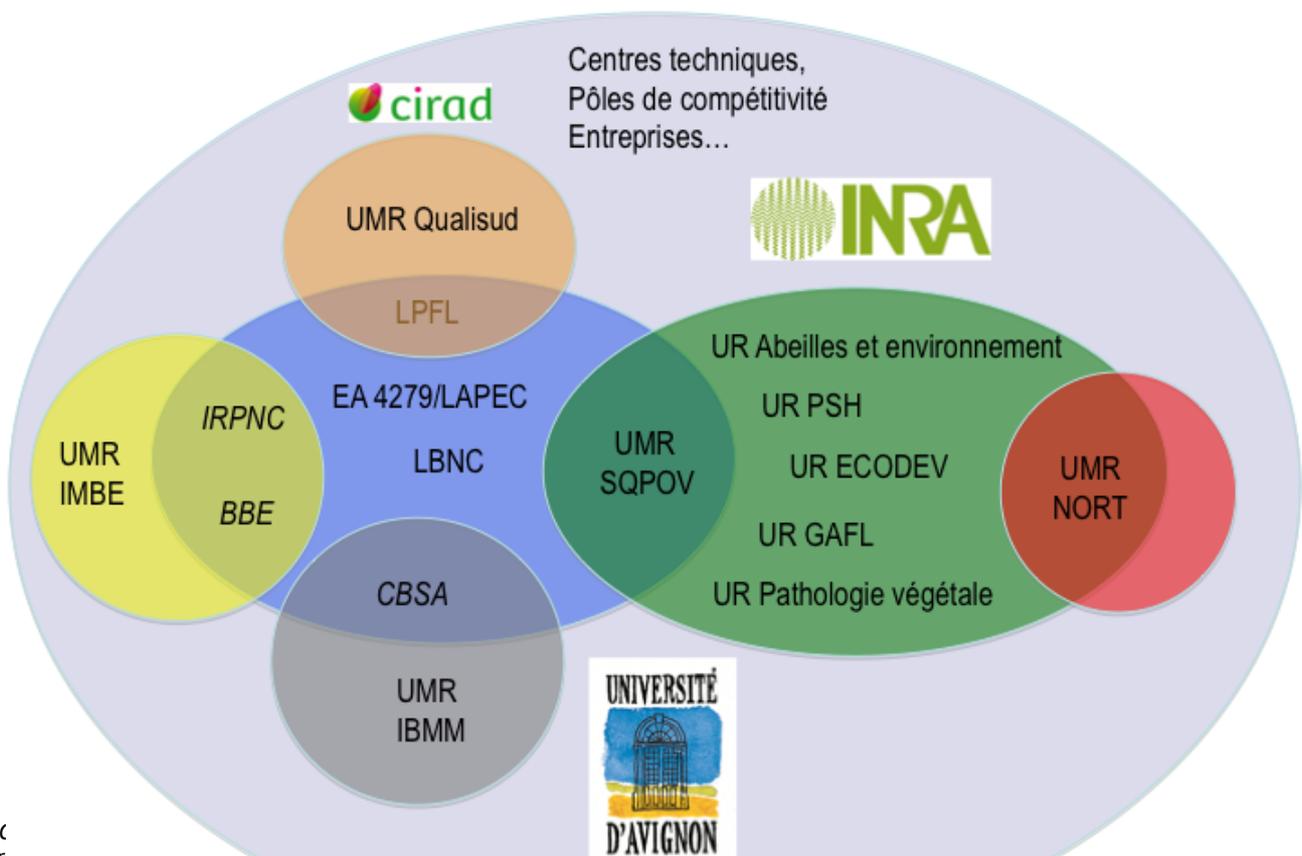
## VALORISATION DES RESULTATS – ENGAGEMENT AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUE

Au-delà de la production de résultats cognitifs, TERSYS est clairement engagée à contribuer au développement régional. L'engagement de TERSYS au service du développement socio-économique est attesté par son intitulé même, dans l'existence d'un axe entier consacré à la valorisation (axe 4), dans les objectifs annoncés de construction d'itinéraires techniques et de conception de procédures standardisées à l'intention des producteurs et des industriels (axes 2a et 2b), dans l'implication des partenaires associés dans le COST et dans la possibilité explicitement exprimée dans la convention de fonctionner de contractualiser et d'exploiter conjointement avec les partenaires associés les résultats de travaux de recherche et de développement.

En région PACA, TERSYS s'appuie sur un important réseau institutionnel (les pôles de compétitivité TERRALIA, PASS, TRIMATEC, AGROPARC, le Centre Régional d'Innovation et de Transfert Technologique Agroalimentaire PACA, le Centre Technique de la Conservation des Produits Agricoles, les Chambres d'Agriculture départementales et la Chambre Régionale, le Groupement de Recherche en Agriculture Biologique, le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, le Centre d'Etudes et de Réalisations Pastorales Alpes Méditerranée, AFP, les Pôles Régionaux d'Innovation et de Développement Economique Solidaire, ICP...) et professionnel qu'elle mobilise fortement quoique inégalement.

**Fig. 2.** Les équipes et unités de recherche de TERSYS dans l'écosystème recherche-développement local et régional.

*BBE : Biomarqueurs et Bioindicateurs Environnementaux ; ECODEV : Ecodéveloppement ; GAFL : Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes ; IBMM : Institut des Biomolécules Max Mousseron ; IMBE : Institut Méditerranéen de Biologie et Ecologie ; IRPNC : Ingénierie de la Restauration des Patrimoines Naturel et Culturel ; LAPEC : Laboratoire de Pharm'Ecologie Cardiovasculaire ; LBNC : Laboratoire Biens, Normes et Contrats ; LPFL : Laboratoire de Physiologie des Fruits et Légumes ; NORT : Nutrition, Obésité et Risque Thrombotique ; PSH : Plantes et Systèmes de culture Horticoles ; SQPOV : Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale.*



## RESULTATS MARQUANTS DE LA PERIODE 2011-2016

### RECHERCHE

TERSYS utilise deux leviers majeurs pour susciter des projets collaboratifs entre équipes relevant d'unités de recherche membres de TERSYS : la bourse de thèse TERSYS et le fond d'aide aux projets collaboratifs et à l'animation scientifique. Dans les deux cas, les critères fondamentaux de sélection sont, à côté des critères classiques d'excellence et d'originalité scientifiques, le caractère authentiquement collaboratif du projet et son adéquation au projet scientifique de TERSYS. La collaboration avec des partenaires de TERSYS autres que des équipes de recherche est en principe encouragée mais, dans la pratique, ce sont surtout des projets associant des chercheurs de l'INRA et des enseignants-chercheurs de l'Université d'Avignon qui ont été soutenus par TERSYS.

La bourse de thèse TERSYS est une bourse ministérielle fléchée vers notre SFR par l'Université d'Avignon.

La figure 3 résume la répartition entre les axes de TERSYS des 5 bourses de thèse allouées entre 2011 et 2015. Voir aussi le tableau 1 pour plus de précisions.

**Fig. 3.** Positionnement des bourses de thèse TERSYS entre les axes du projet scientifique. Plusieurs couleurs indiquent que les projets étaient à l'interface de plusieurs axes.

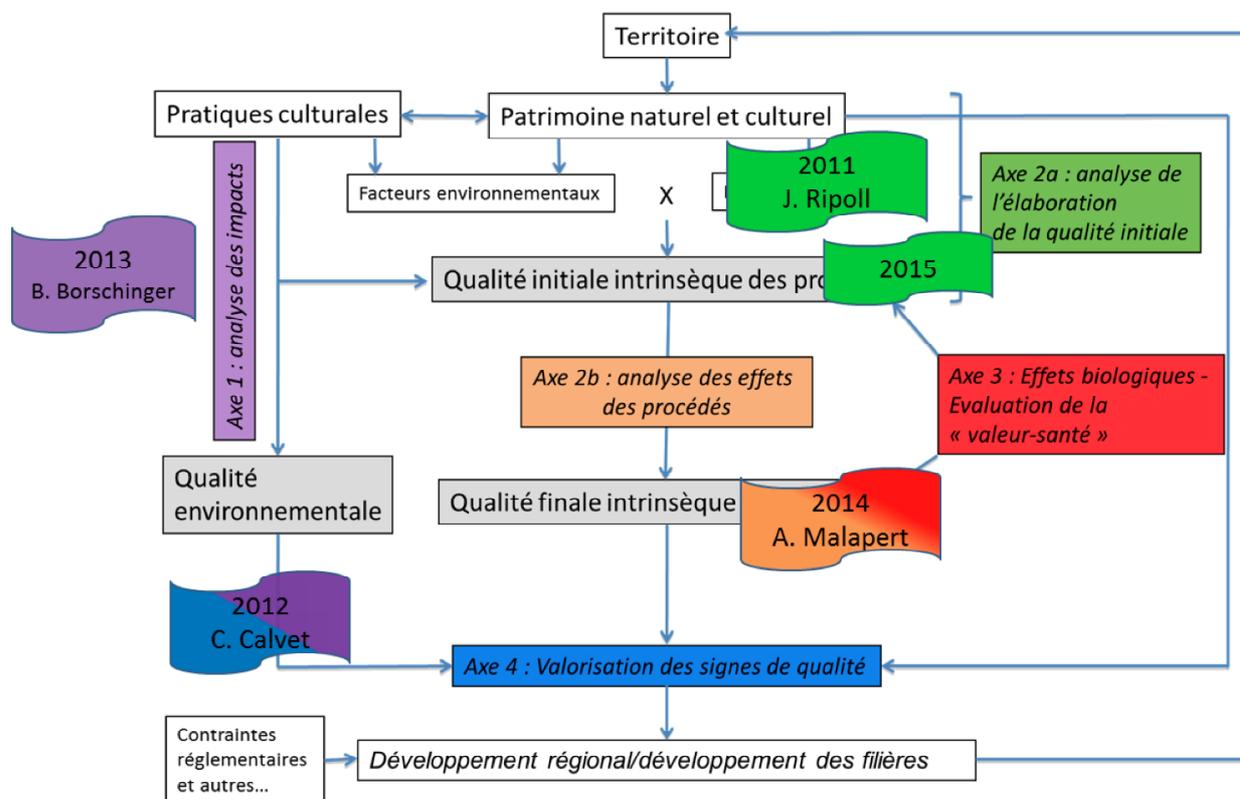


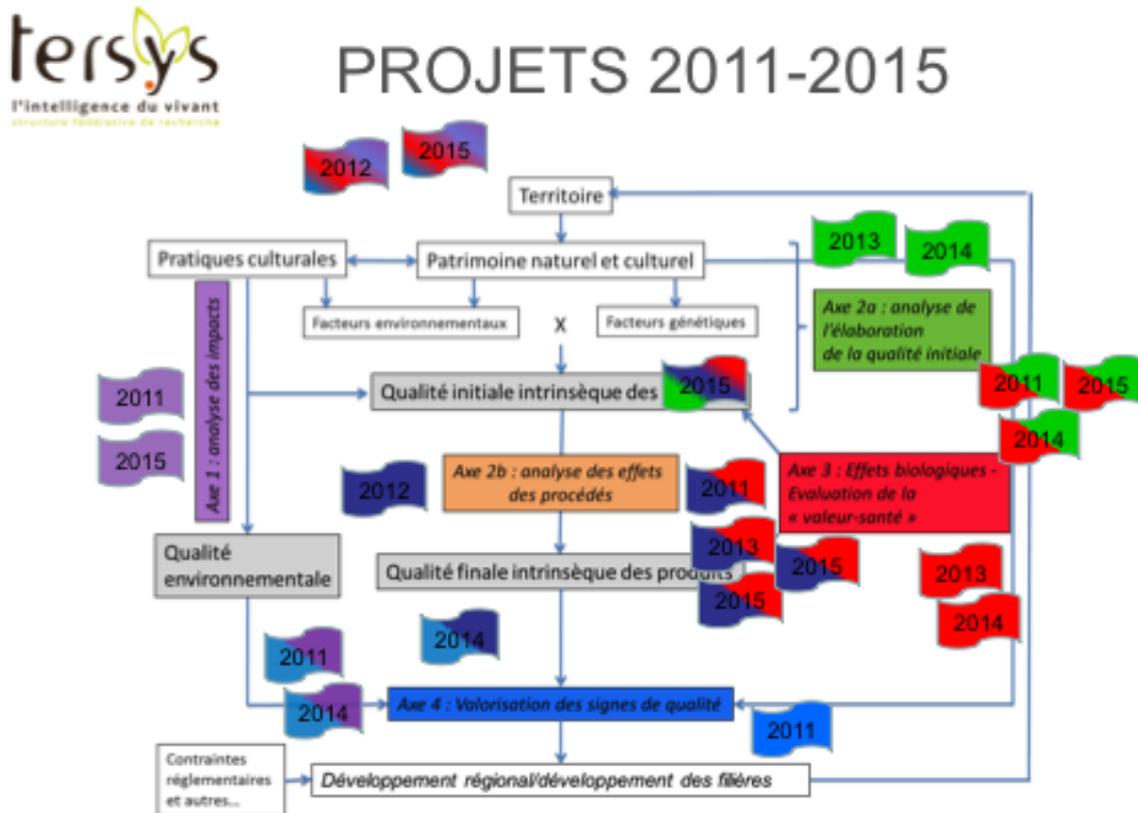
Tableau 1. Bourses de thèse TERSYS pour la période 2011-2016

Etudiant	Titre	Encadrants
J. Ripoll (2011)	<i>Effets de la contrainte hydrique sur les compromis entre fonctions de croissance et mécanismes de défense de la plante, et conséquences sur la résistance globale de la plante à des stress de nature variable sur le rendement et sur la qualité du fruit.</i>	N. Bertin (UR PSH) et L. Urban (UMR Qualisud)
C. Calvet (2012)	<i>Analyse de l'utilisation de la compensation écologique dans les politiques publiques comme outil de conciliation des intérêts économiques et des objectifs de conservation de la biodiversité.</i>	T. Dutoit (IMBE) et C. Napoleone (UR ECODEV)
B. Börschinger (2013)	<i>Démarche d'ingénierie écologique en santé des plantes : gestion des couvre-sol des vergers pour lutter contre les bactérioses des arbres fruitiers provoquées par <i>Pseudomonas syringae</i>.</i>	C. Morris (UR Pathologie végétale) et E. Buisson (IMBE)
A. Malapert (2014)	<i>Développement de nouveaux ingrédients naturels à visée nutraceutique à partir de co-produits de la production oléicole.</i>	V. Tomao (UMR SQPOV) et E. Reboul (UMR NORT)
M. Forges (2015)	<i>Les rayonnements UV-C, un moyen pour stimuler les défenses du fraisier contre <i>Botrytis cinerea</i> en cours de culture et améliorer la qualité de conservation des fruits après récolte</i>	J. Aarouf (UMR Qualisud) et M. Bardin (UR Pathologie végétale)
X (2016)	<i>Résistance des forficules aux insecticides, effets sur les populations et sur la biodiversité</i>	M. Rault (UMR IMBE), T. Delattre et M. Siegwart (UR PSH)

Le fond d'aide aux projets collaboratifs est alimenté par une subvention de l'Université d'Avignon. La part de la subvention allouée au soutien aux projets est décidée par le Comité de Pilotage sur proposition du directeur de la SFR et du directeur du Conseil Scientifique (voir la description des organes de gouvernance de TERSYS dans la partie projets). C'est le Conseil Scientifique de TERSYS qui choisit les projets retenus pour financement, ainsi d'ailleurs que les sujets de thèse (bourse TERSYS et bourse de la Fondation).

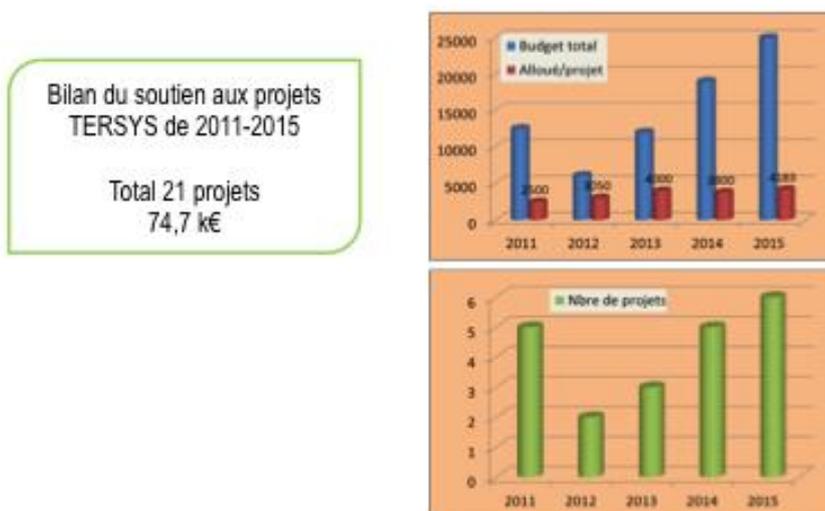
La figure 4 (ci-après) résume la répartition entre les axes de TERSYS des 21 projets soutenus entre 2011 et 2015 (voir l'annexe 1) pour les sujets, les bénéficiaires et les montants versés). On peut voir que le budget accordé par TERSYS au soutien des projets a augmenté d'année en année depuis 2012, de même que le nombre de projets financés par an (Fig. 5).

**Fig. 4.** Positionnement des projets financés entre les axes du projet scientifique. Plusieurs couleurs indiquent que les projets étaient à l'interface de plusieurs axes.



**Fig. 5.** Budget alloué aux projets financés par TERSYS entre 2011 et 2015. Nombre de projets retenus pour financement sur la même période.

## tersys APPEL à PROJETS TERSYS



Nous allons maintenant analyser les résultats marquants obtenus, axe par axe, et à l'interface des axes. Nous suivrons systématiquement le plan suivant : 1) projet(s) financé(s) par TERSYS ayant servi d'amorce, 2) productions scientifiques (voir l'annexe 1) et effets leviers obtenus (projets obtenus notamment), 3) éléments d'analyse et perspectives.

Les éléments présentés ci-dessous ont été fournis directement par les responsables d'axes et les chercheurs ou enseignants-chercheurs.

En ce qui concerne les productions scientifiques, nous avons fait le choix de ne comptabiliser que celles qui résultaient de l'activité d'animation scientifique de TERSYS, typiquement les publications obtenues suite à un financement de TERSYS ou dans le cadre des bourses de thèse TERSYS. Les chercheurs qui ont développé des collaborations suite à des rencontres faites à l'occasion des journées d'animation de TERSYS ont rajouté librement les publications obtenues grâce à ces nouvelles collaborations.

### AXE 1

**Impacts de la mise en place de nouvelles techniques de gestion écopastorale** (collaboration entre l'UMR IMBE et l'UR INRA PSH)

**1)** Projet collaboratif TERSYS (2014) « *Impacts de la mise en place de nouvelles techniques de gestion écopastorale sur la flore et la faune des digues et délaissés industriels de la Compagnie Nationale du Rhône.* » Coordinateurs : **Debras J.F.** (UR PSH) et **Mesléard F.** (IMBE, UAPV). Montant obtenu : 3 000€.

**2a)** Contrat Compagnie Nationale du Rhône (CNR) - Office Nationale pour la Chasse et la Faune Sauvage (ONCFS) (2015-2018) « *Impacts de l'éco-pastoralisme (équins, bovins, caprins) sur les communautés végétales de trois sites constitués de digues artificielles de la Réserve de chasse et de faune sauvage de Donzère-Mondragon entre 2015 et 2017.* » Coordinateur : **Dutoit T.** (IMBE, CNRS). Montant du contrat : 221 322€ dont une thèse :

**Moinardeau C.** (2015-2018) « *Impacts de l'éco-pastoralisme sur les communautés végétales des digues artificielles de la Réserve de chasse et de faune sauvage de Donzère-Mondragon (Vaucluse et Drôme, France).* » Codirection : **Dutoit T.** et **Mesléard F.** Depuis 2015.

**2b)** Contrat CNR-ONCFS (2014) « *Impacts du débroussaillage et de l'éco pastoralisme sur les communautés végétales herbacées et l'entomofaune des digues artificielles de la Réserve de chasse et de faune sauvage de Donzère-Mondragon.* » Coordinateur : **Dutoit T.** Montant du contrat : 18 000 € dont un Diplôme d'Université ;

**Moinardeau C.** (2014) « *Impacts du débroussaillage et de l'éco-pastoralisme sur les communautés végétales herbacées des digues artificielles de la Réserve de Chasse et de Faune Sauvage de Donzère-Mondragon (Vaucluse-Drôme).* » Université de Nice Sophia-Antipolis. Juillet 2014.

Un article (ACL) a été accepté par la revue *Environmental Management*, et un autre a été publié dans *une revue sans comité de lecture*. Deux communications orales et deux posters ont été présentés dans des symposiums nationaux et internationaux (voir l'annexe 1).

**3)** Le projet collaboratif entre l'UMR et l'INRA PSH a constitué un important levier pour obtenir un financement de recherche doctorale via la CNR et l'ONCFS dont le sujet porte sur la mise en place de nouvelles techniques de gestion pastorale avec des bovins, caprins et équins des digues et délaissés des ouvrages hydro-électriques des bords du Rhône. Dans ce cadre une collaboration a également été établie avec l'Institut de Recherche de la Tour du Valat, organisme spécialisé dans la gestion des espaces naturels dans le bassin méditerranéen.

### AXE 1

**Approche multi-scalaire de la réhabilitation d'un site pollué** (collaboration entre l'UMR IMBE et l'UR INRA PSH)

**1)** Projet collaboratif TERSYS (2011) « *Approche multi-scalaire (flore-entomofaune) de la réhabilitation d'un site impacté par une fuite d'hydrocarbures : Le cas de l'oléoduc Société du Pipeline Sud Européen (SPSE) dans la Réserve naturelle nationale des Coussouls de Crau.* » Coordinateur : **Debras J.F.** (UR PSH) et **Dutoit T.** (IMBE, CNRS). Montant accordé : 1 500€.

**2a)** Thèse cofinancée par la région PACA et la société SPSE. **Bulot A.** (2011-2014) «*Restauration écologique d'une pelouse sèche méditerranéenne (La plaine de La Crau, Sud-Est de la France) : du génie civil au génie écologique.*» Codirection : **Dutoit T.** et **Provost E.** (CNRS-IMBE et AMU). Bourse cofinancée par la Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (75%) et la Société du Pipeline Sud Européen (25%). Thèse soutenue le 08 décembre 2014, mention Très Honorable.

**2b)** Conseil Général des Bouches-du-Rhône (2012 - 2015) «*Réhabilitation du chantier de dépollution de la fuite d'hydrocarbures dans les Coussouls de Crau, propriétés du Conseil Général des Bouches-du-Rhône*». Coordinateur : **Dutoit T.** Montant obtenu : 15 000€.

**2c)** SPSE (2011 - 2014) «*Restauration de la biodiversité et des fonctions d'un écosystème impacté par un accident technologique : le cas de la fuite d'hydrocarbures de l'oléoduc SPSE en Crau*». Coordinateur : **Dutoit T.** Montant obtenu : 61 000€

6 articles (ACL) ont été publiés ou sont sous presse. Trois articles ont été publiés dans des revues sans comité de lecture. 9 communications orales et 5 posters ont été présentés dans des symposiums nationaux et internationaux (voir l'annexe 1).

**3)** Le projet collaboratif entre l'IMBE et l'UR PSH a constitué un important levier pour obtenir le cofinancement d'une bourse entre la région PACA et la SPSE dont le sujet a porté sur la restauration écologique d'une zone polluée par des hydrocarbures dans la plaine de La Crau (Bouches-du-Rhône) en utilisant des techniques relevant de l'ingénierie écologique (transfert de sol, de fourmis moissonneuses, etc.) Ce projet a également permis d'obtenir le soutien financier du Conseil Général des Bouches-du-Rhône. Une nouvelle demande de bourse (codirection **Dutoit T.** et **Blight O.**) est en cours d'instruction auprès de la région PACA sur ce sujet (classée 3<sup>ème</sup> au niveau de l'ED 536 de l'Université d'Avignon en 2016). Elle portera plus particulièrement sur l'analyse fonctionnelle des communautés de fourmis en vue d'une meilleure utilisation pour la restauration des écosystèmes.

## AXE 2a

**Effets des stress sur la qualité de la tomate** (collaboration entre l'UR PSH et l'UMR Qualisud, ex. LPFL)

**1)** Thèse financée par TERSYS à partir de 2011. **Ripoll J.** (2015) «*Effets de la contrainte hydrique sur les compromis entre fonctions de croissance et mécanismes de défense de la plante, et conséquences sur la résistance globale de la plante à des stress de nature variable sur le rendement et sur la qualité du fruit*» Thèse en codirection par **N. Bertin** (UR PSH) et **L. Urban** (UMR Qualisud, UAPV). Thèse soutenue le 27 avril 2015.

**2)** Cette thèse a donné lieu à trois publications scientifiques (ACL) et à un article de commande dans les *Chronica Horticulturae*. 5 posters ont été présentés dans des symposiums internationaux et lors de la journée d'échanges scientifiques de TERSYS du 12 septembre 2013.

La thèse financée par TERSYS a servi de socle à une nouvelle thèse sur l'effet du stress hydrique : «*Analyse de la qualité de la tomate en réponse à une limitation en eau*» par Alexandre Arbex de Castro Vilas Boas (Encadrement : **N. Bertin**).

**3)** La thèse financée par TERSYS a contribué au développement des collaborations entre l'UMR Qualisud et l'UR PSH sur le thème de l'élaboration de la qualité micronutritionnelle des fruits et légumes, qui est l'un des thèmes majeurs du projet scientifique de TERSYS. D'autres projets sont en préparation qui permettront de poursuivre et approfondir nos collaborations. On peut citer notamment un projet sur les effets des rayonnements UV-C sur la qualité nutritionnelle et le contenu en antioxydants de différentes variétés d'aubergine (projet déposé en février 2016 à la Fondation Agropolis pour une mobilité internationale). Les partenaires sont le Laboratoire de Biochimie et de Technologie Alimentaire de l'Université Nangui Abrogoua d'Abidjan, l'UMR Qualisud, l'UR PSH et l'UMR SQPOV. Les résultats obtenus sont aussi à l'origine de travaux à l'interface des axes 2a et 2b. L'«*Etude des interactions qualité à la récolte – qualité du concentré de tomate : influence de l'irrigation*» a été financée en 2015 par TERSYS ; elle est portée par **D. Page** de l'UMR SQPOV et **A.L. Fanciullino** de l'UR PSH (voir l'annexe 2 et aussi le projet de TERSYS).

**AXES 2a et 2b**

**Développement de la garance et d'une filière colorants naturels d'origine végétale** (collaboration entre l'équipe Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel de l'IMBE et l'UMR Qualisud).

1) Projet collaboratif soutenu par TERSYS en 2013 (5300 €) « *Labellisation d'une garance du Vaucluse* ». Ce projet porté par l'UMR IMBE et l'UMR Qualisud a permis de financer un travail de Master sur l'effet du stress photooxydatif sur la production d'alizarine chez la garance. Il impliquait aussi Christine Ingrando Bertheau de la société Erubescence.

2) Le projet soutenu par TERSYS a permis d'initier des liens avec la société Erubescence et d'obtenir une bourse de thèse régionale co-financée par Erubescence.

**Jean-Baptiste Mazzitelli.** « *Etude des facteurs environnementaux influençant le métabolisme des anthraquinones de la garance, extraction et étude chromatographique.* » Co-direction : UMR IMBE et UMR Qualisud. Depuis octobre 2014.

Un poster a été présenté dans un symposium international (voir la liste des publications en annexe 1).

Un nouveau projet collaboratif a été soutenu par TERSYS en 2016 pour un montant de 4710 €.

**Wilson Oberstar** « *Etude de l'impact d'un dispositif innovant à base d'UV-C sur la composition en anthraquinones chez la garance. Evaluation des paramètres de fluorescence de la chlorophylle a comme marqueurs exploitables pour définir les doses efficaces* » Co-direction : **C. Vieillescazes, C. Mathe** (UMR IMBE, UAPV), **J. Aarrouf** et **L. Urban** (UMR Qualisud, UAPV).

Ce dernier projet vise notamment à mettre en synergie les actions autour des nouvelles lampes UV-C développées au sein de l'UMR Qualisud et la thématique des plantes colorantes. Les modalités de valorisation des résultats scientifiques et d'appui à la société Erubescence sont en cours de discussion avec la Maison de la Recherche (convention en cours de finalisation).

3) Le soutien apporté par l'équipe Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel de l'IMBE, l'UMR Qualisud et TERSYS a probablement contribué à la décision prise par Madame Christine d'Ingrando de monter une entreprise innovante dont l'objectif est de relancer une filière de colorants naturels d'origine végétale dans le département du Vaucluse en partant de la garance en raison de son importance patrimoniale et de ses perspectives économiques.

**AXE 2b**

**Valorisation des co-produits d'origine végétale** (collaboration entre l'UMR IMBE et l'UMR SQPOV).

1) Projet collaboratif soutenu par TERSYS (2015) « *Encapsulation d'antioxydants naturels dans des nanoparticules de cyclodextrines pour des applications agro-alimentaires* ». Montant accordé : 2000 €.

Le projet porte sur la préparation et l'étude de complexes nanoparticulaires  $\beta$ -cyclodextrine-acide rosmarinique élaborés par atomisation. Après leur caractérisation d'un point de vue structural et physico-chimique, l'objectif est d'évaluer l'impact de la complexation de cet antioxydant naturel sur sa stabilité et ses propriétés organoleptiques, mais aussi sur la possibilité d'un relargage progressif de ce composé dans le temps pour une action prolongée.

Le laboratoire Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel de l'UMR IMBE a caractérisé la morphologie des nanosystèmes : état de complexation par spectroscopie IR-TF et microscopie IR-TF.

Le laboratoire Chimie des antioxydants de l'UMR SQPOV (**V. Tomao** et **O. Dangles**) a analysé les données RMN et les a complétées par des analyses par électrophorèse capillaire. Ainsi, la stabilité thermodynamique, la stoechiométrie du complexe et sa structure fine ont été déterminées. La stabilité du complexe (résistance à l'oxydation chimique et photochimique) et l'influence de la complexation sur les effets antioxydants de l'acide rosmarinique seront prochainement évaluées.

2 et 3) Il est encore trop tôt pour faire un bilan. Une première publication a été faite dans *Food Chemistry* (voir la liste des publications dans l'annexe 1). Une communication par poster a également été présentée au congrès RFMF (Réseau Français de Métabolomique et de Fluxomique) de Montpellier en mai 2016.

Le rapprochement des deux équipes (Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel, IMBE, **C. Mathe** et **C. Vieillescazes** - Chimie des antioxydants, UMR SQPOV, **V. Tomao** et **O. Dangles**) a permis la mutualisation des appareillages scientifiques dans le cadre de cette étude. Il a également permis de faire les premiers pas, en synergie, sur une thématique nouvelle pour notre collectif.

### **AXES 2a ET 3**

**Impact des pratiques de pré et post-récolte sur la qualité micronutritionnelle des fruits et légumes** (collaboration entre l'UMR Qualisud et le LAPEC)

**1)** Projet collaboratif soutenu par TERSYS en 2011 « *Mesure et compréhension des mécanismes cardiovasculo-protecteurs de la consommation des laitues soumises à des rayonnements UV* ». Montant accordé : 2000 €.

**2 et 3)** Ce projet n'a pas donné les résultats attendus mais il a permis d'engager des collaborations entre les deux équipes qui ont donné lieu à des financements complémentaires par la Commission Recherche de l'Université d'Avignon (2014), le Ministère d'Agriculture (2014-2016) et TERSYS (2016). Le projet financé par la Commission Recherche a été valorisé par une publication (voir la liste des publications en annexe).

#### *Projet CASDAR*

« *Projet Innoraisin : Qualité Nutritionnelle du Raisin de Table. Un nouveau levier mobilisable par la filière pour répondre aux attentes et préférences des consommateurs* » (2014-2016). Montant du projet : 797 400 € dont 373 600 € de subvention par le Ministère de l'Agriculture. Le projet a permis de financer notamment trois stages de Master pour l'UMR Qualisud. Les résultats sont en cours de valorisation.

Innoraisin rassemble par ailleurs le Domaine Expérimental La Tapy, le Laboratoire IMRCP/UMR 5623 de l'Université Paul Sabatier, l'UMR MOISA de Montpellier, et la société Agronutrition. Il associe la Fédération Nationale des Producteurs de Fruits (FNPF) et l'AOP raisin de table. Le chef de file est le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (Ctifl).

Innoraisin a pour ambition de participer à la relance de la production et la consommation du raisin de table en France en donnant à la filière des références objectives sur la qualité nutritionnelle des produits afin de répondre aux attentes des consommateurs et de disposer d'arguments santé pour se démarquer de la concurrence et mettre en valeur le produit auprès de ces derniers. Cet objectif est poursuivi par l'étude des composés d'intérêt nutritionnel des variétés de raisin de table, de l'intérêt de nouvelles techniques de production innovantes et naturelles pouvant avoir un effet sur les teneurs en ces composés. L'attitude du consommateur face à l'« argument santé » est analysée, de même que son comportement économique (consentement à payer).

Le projet Innoraisin est important pour TERSYS car il vise, au-delà du raisin de table, à tester un modèle de développement extrapolable à tous les fruits et légumes. Il est donc au cœur du projet scientifique de TERSYS.

Malgré les efforts déployés, nous n'avons pas réussi à faire financer d'étude clinique complémentaire. Nous avons notamment échoué à monter un projet avec l'AOP Raisin de table et la Région PACA dans le cadre des Appels à Projets de Recherche Finalisés. C'est la raison pour laquelle TERSYS a été sollicité à hauteur de 5 k€ pour une mini-étude clinique menée par le LAPEC (**A. Vinet**) avec la collaboration de l'UMR Qualisud : « Effets vasculaires et métaboliques d'une supplémentation aiguë en raisin de table traités aux UV-C ». Ce projet a rendu des résultats préliminaires tout à fait prometteurs.

### **AXES 2b ET 3**

#### **Développement d'ingrédients naturels à visée nutraceutique**

**1)** Thèse financée par TERSYS à partir de la rentrée universitaire 2014.

**Malapert A.** « *Développement de nouveaux ingrédients naturels à visée nutraceutique à partir de co-produits de la production oléicole.* » Thèse en co-direction par l'UMR NORT et l'UMR SQPOV.

Collaboration avec l'UMR IBMM.

**2)** A ce jour, cette thèse a donné lieu à deux communications orales et à deux posters présentés dans des symposiums nationaux et internationaux.

3) La thèse financée par TERSYS contribue au développement des collaborations entre l'UMR NORT, l'UMR SQPOV et l'UMR IBMM sur le thème du développement d'ingrédients naturels à visée nutraceutique.

Les trois équipes apportent chacune leurs compétences propres en termes de chimie des antioxydants (UMR SQPOV), physico-chimie & analyses par RMN (UMR IBMM) et biochimie nutritionnelle (UMR NORT). Ce projet transdisciplinaire est donc fortement structurant pour la SFR TERSYS.

Ce travail collaboratif permet les échanges et la mise en commun de compétences entre des laboratoires de recherche universitaires, INRA, INSERM et une association française interprofessionnelle. D'autres projets en préparation permettront de poursuivre et d'approfondir ces collaborations.

#### **AXES 1 et 4**

**Analyse de l'utilisation de la compensation écologique** (collaboration entre l'UR ECODEV et l'UMR IMBE)

1a) Thèse financée par TERSYS à partir de 2012. **Calvet C.** « *Analyse de l'utilisation de la compensation écologique dans les politiques publiques comme outil de conciliation des intérêts économiques et des objectifs de conservation de la biodiversité.* » Codirection : **Dutoit T.** et **Napoléone C.** (UR ECODEV). Thèse soutenue le 17 décembre 2015.

1b) Projet collaboratif TERSYS (2011) « *Processus de compensations et indicateurs de réussite dans la Réserve d'Actifs Naturels de Cossure (La Crau, Bouches-du-Rhône, France)* ». Coordination **Napoléone C.** et **Dutoit T.** Montant obtenu : 3 000€.

1c) Projet collaboratif TERSYS (2016) « *Analyse internationale comparée des expériences de transitions agro-écologiques par la compensation écologique (CompAg-inter).* » Coordination : **Napoléone C.** et **Dutoit T.** Montant obtenu : 4 500€.

#### 2) Effets leviers ayant permis l'obtention d'autres soutiens que TERSYS

- APR 2013 du Réseau des Observatoires Hommes-Milieux (2013) « *Les mesures compensatoires : un outil pour repenser l'interaction entre les activités humaines et la préservation de la nature ? Analyse des enjeux économiques, sociaux et écologiques de l'utilisation de cet outil.* » Coordinateur : **Napoléone C.**, avec la participation de **Dutoit T.** Montant obtenu : 3 500€

- AAP EcoServ 2 : projet « *Exploration* » (2016) « *Services écosystémiques et compensation écologique. Une nouvelle approche pour favoriser la transition agroécologique ?* » Coordinateur : Doussan I. (UMR CREDEG), avec la participation de **Dutoit T.** et de **Napoléone C.** Montant obtenu : 15 000 €.

- Thèse faisant actuellement suite à celle soutenue précédemment par TERSYS. **Pellegrin C.** « *La compensation écologique : moteur de la transition agro-écologique ? Caractérisation de l'évolution des pratiques nécessaire à l'obtention d'une plus-value environnementale; estimation de son coût pour les agriculteurs et spatialisation de ses effets potentiels.* » Codirection **Napoléone C.** et Doussan I.

3) Ce programme de recherche a permis la mise en place d'une collaboration durable entre l'UR ECODEV et l'UMR IMBE permettant un double éclairage via les sciences économiques et l'écologie de la restauration sur le mécanisme de compensation écologique. Au delà de la thèse de doctorat qui s'est surtout attachée à analyser la compensation écologique par l'offre (en amont des aménagements), les travaux futurs s'orientent vers l'offre de compensation agricole via une analyse des services écosystémiques rendus par les agro-écosystèmes dans le cadre de la transition agro-écologique. Le dernier projet collaboratif soutenu par TERSYS nous permettra ainsi de monter un consortium de chercheurs du domaine afin de répondre en 2016 à un appel d'offres du programme Ecoserv de l'INRA sur cet important sujet.

## **ANALYSE ET SYNTHÈSE**

L'appel à projets TERSYS et la bourse de thèse TERSYS ont indubitablement favorisé des collaborations fructueuses entre équipes au sein des axes et entre équipes relevant d'axes différents. Certaines collaborations correspondent à des fortes attentes, notamment les collaborations entre les équipes des axes 2a et 2b, d'une part, et les équipes de l'axe 3, d'autre part (étude de l'impact des procédés de production, de conservation, de transformation et d'extraction sur la qualité micronutritionnelle). On a vu notamment des collaborations se développer entre le LAPEC et l'UMR NORT, entre l'UMR SQPOV, le LAPEC et l'UMR NORT, entre l'UMR Qualisud, le LAPEC et l'UMR NORT, entre l'UMR IBMM et le LAPEC... Toutefois on a observé relativement peu d'effets leviers en direction de projets, en aval de ces collaborations. Nous attribuons cette situation à une très faible offre sur ce thème au niveau de l'ANR et de l'Europe. Nous avons l'espoir que les importants financements d'équipements obtenus dans le cadre du projet 3A (voir plus loin), en particulier en métabolomique, nous permettront de nous positionner aux niveaux national et international à l'avenir, notamment pour explorer des effets de systèmes de production et des effets terroirs.

La collaboration entre l'axe 1 et l'axe 4 était, elle, un peu inattendue. Elle a permis de faire émerger une thématique autour de la compensation écologique au sein de TERSYS. D'une manière générale, on voit que l'axe 1 possède un potentiel et un pouvoir d'attraction forts dont nous avons voulu tenir compte pour faire évoluer le projet scientifique de TERSYS (voir plus loin).

L'UR ECODEV a eu une collaboration ponctuelle sur le droit de l'aliment avec le Laboratoire Biens, Normes et Contrats de l'UAPV dans le cadre de l'axe 4. Le constat peut quand même être fait que ce dernier ne peut pas être porté presque exclusivement par la seule UR ECODEV. Des discussions ont donc été entamées pour rebâtir un nouvel axe 1, notamment enrichi par la contribution de l'UR ECODEV (voir le nouveau projet de TERSYS).

TERSYS possède la capacité de travailler l'élaboration de la qualité tout au long de la chaîne de production, depuis le champ jusqu'à la qualité finale des produits conservés, transformés ou extraits. Des travaux intéressants ont été menés et continuent d'être menés, notamment sur la garantie, mettant en synergie des équipes des axes 2a et 2b. Ces derniers travaux sont d'autant plus intéressants qu'ils viennent en soutien au développement d'une filière des colorants végétaux naturels (voir plus loin). Un projet à l'interface des axes 2a et 2b, entre l'UR PSH et l'UMR SQPOV, a été soutenu par TERSYS en 2015. Au regard de notre potentiel, on peut peut-être quand même regretter que davantage de projets n'aient pas vu le jour sur le thème de l'impact des facteurs de pré-récolte sur la qualité finale des produits conservés, transformés ou extraits. Cette situation est en train d'évoluer favorablement.

A noter le poids grandissant des modèles végétaux qui ne sont pas des fruits et des légumes : garantie pour la production d'alizarine, olive pour la production de nutraceutiques, romarin pour la préparation de complexes nanoparticulaires d'acide rosmarinique. Des ouvertures existent également en direction de la filière viticole. Cette évolution procède à la fois d'une certaine difficulté à nouer des partenariats au sein de la filière des fruits et légumes frais (notre cœur de périmètre), probablement attribuable à la situation économique des entreprises et à leur manque d'organisation, et, en même temps, à l'existence d'opportunités à la marge de notre périmètre. La situation y est meilleure, probablement en raison de la présence d'acteurs majeurs ou plus dynamiques.

On peut noter que la participation de la communauté scientifique aux appels à projets et à sujets pour les bourses de thèse a été bonne mais on peut aussi considérer qu'il aurait pu y avoir une meilleure appropriation encore du projet scientifique et des outils de TERSYS, notamment par les chercheurs de l'INRA. En tout cas, l'UR Abeilles et Environnement apparaît clairement en marge de notre dynamique, et cela malgré l'existence de plusieurs échanges et rencontres avec sa direction et ses chercheurs. La possibilité de faire évoluer notre projet scientifique pour mieux intégrer les problématiques autour de l'abeille avait notamment été proposée. La reconstruction en cours de l'axe 1 de TERSYS sera l'occasion de réévaluer l'implication de l'UR Abeilles et Environnement dans notre projet scientifique.

## **INTERACTION AVEC L'ENVIRONNEMENT SOCIO-ECONOMIQUE – INSERTION DANS LE PAYSAGE REGIONAL, NATIONAL INTERNATIONAL**

**1) Contribution à l'émergence et à la définition du *Domaine d'Actions Stratégiques (DAS) « Alimentation, santé et qualité des produits d'origine végétale » du pôle de compétitivité TERRALIA.***

Ce DAS consacre l'une des thématiques centrales du projet scientifique de TERSYS et reconnaît son rôle majeur dans la structuration de l'écosystème recherche-développement local et régional.

## 2) Contribution à la définition du contenu du **Domaine d'Activité Stratégique (DAS) "Santé, Bien-être, Alimentation" du Schéma Régional d'Innovation (SRI) de la Région PACA.**

TERSYS a activement participé, en appui de ses tutelles et du pôle TERRALIA, à la définition du SRI et notamment à la reconnaissance des thèmes de TERSYS dans le DAS « Santé, Alimentation ». On peut donc affirmer que notre région dispose, notamment grâce au positionnement scientifique de TERSYS et aux actions engagées auprès des partenaires pour le faire reconnaître, d'une identité forte, centrée sur le thème des produits végétaux « naturels ».

3) Contribution à l'obtention du projet PROMET (300000 € obtenus de la Région en 2015) et surtout du **Projet 3A**, déposé début 2013 dans le cadre du nouveau CPER et complété en 2014/2015 pour le FEDER. Ce dernier projet associe principalement le centre INRA PACA et l'Université d'Avignon, et secondairement le pôle TERRALIA, l'ANSES et l'association AGROPARC, pour un montant 19 M€ dont un peu plus de 3 M€ pour des équipements sous forme de plateformes mutualisées.

Le projet 3A a pour ambition de réunir sur AGROPARC, dans le cadre d'une politique de site dynamique et cohérente, des laboratoires de l'Université d'Avignon et de l'INRA, des plateformes partagées, les bureaux du pôle de compétitivité TERRALIA et des bureaux d'accueil pour les entreprises. Les financements d'équipements que nous avons acquis en 2014/2015 avec l'INRA pour un montant de plus de 3 M€ permettent de réaliser plusieurs plateformes technologiques et notamment une plateforme de métabolomique pour un montant dépassant le million d'Euros, englobant les domaines de la physiologie végétale, de l'agronomie, de la génétique, du génie des procédés, et de la santé humaine (prévention des maladies métaboliques et cardio-vasculaires). L'ambition est de nous doter d'un outil analytique de pointe et partagé pour étudier les liens entre systèmes de production/techniques de production/terroirs et signatures métaboliques, d'une part, et entre signatures métaboliques et effets biologiques, d'autre part. Nous avons la volonté, en coordination avec l'UMR NORT de Marseille en particulier, d'aboutir à la constitution d'une plateforme de métabolomique régionale sur le modèle de la plateforme Corsaire du Grand Ouest.

Après avoir servi à deux projets déposés dans le cadre des programmes Equipements d'excellence 2010/2011 et 2011/2012, malheureusement non retenus, le projet scientifique de TERSYS a servi de socle à l'argumentaire central du projet 3A qui, lui, a été couronné de succès. Très clairement, la partie du projet 3A qui porte notamment sur les équipements dérive étroitement du projet scientifique de TERSYS. TERSYS a donc joué un rôle clé dans l'obtention du financement du projet 3A en premier lieu parce le projet 3A est fondé sur le projet scientifique de TERSYS. TERSYS a aussi joué un rôle clé dans l'obtention du financement du projet 3A parce que TERSYS, comme indiqué plus haut, a contribué à la définition du DAS « Alimentation, santé et qualité des produits d'origine végétale » du pôle TERRALIA, et activement participé, en appui de ses tutelles et de TERRALIA à la définition du SRI, et notamment à la reconnaissance des thèmes de TERSYS dans DAS « Santé, Alimentation ». L'adéquation du projet 3A aux thèmes prioritaires de la Région PACA était clairement une condition requise pour que notre projet présente une chance d'acceptation. C'est donc indubitablement parce que le projet scientifique de TERSYS a servi à définir à la fois le DAS Santé-alimentation de la Région et le projet 3A, que ce dernier a pu recevoir un accueil aussi favorable par la Région.

## 4) Contribution au **développement d'une filière des colorants naturels en région PACA.**

L'équipe de Cathy Vieillescazes, le laboratoire Green de l'UMR SQPOV, puis le laboratoire de Physiologie des Fruits et Légumes de l'UMR Qualisud ont apporté, dans le cadre de TERSYS, un soutien important au projet de développement d'une filière de colorants naturels en région PACA, porté par la start-up Erubescence. Il est certainement trop tôt pour porter à notre crédit une contribution décisive à la mise en place d'une filière performante et durable, mais nous pouvons au moins affirmer que sans notre soutien concerté la société Erubescence ne se serait pas vu attribuer le label de « projet remarquable » par France-Agrimer qui facilite l'obtention par cette dernière de subventions et de prêts.

## ANIMATION SCIENTIFIQUE

**Cinq journées d'information et d'échanges** ont été organisées dans le cadre de l'animation scientifique de TERSYS : le 13 avril 2011, le 25 janvier 2012, le 12 septembre 2013, le 8 septembre 2014 (journée métabolomique) et le 25 juin 2015.

TERSYS s'est impliqué dans le symposium "les productions agricoles en région Provence-Alpes-Côte d'Azur face au changement climatique" organisé à Avignon le 4 décembre 2013, dans le cadre de l'animation du réseau Recherche Expérimentation Développement auquel nous participons.

TERSYS a soutenu plusieurs **symposiums internationaux** sur les plans financier et organisationnel (participation directe dans les comités d'organisation et dans les comités scientifiques, appui logistique direct par la Gestionnaire de TERSYS).

- 1) le 6ème congrès international de l'Organisation Internationale pour la Lutte Biologique (OILB) « *Induced resistance in plants against insects and diseases* », qui s'est tenu à Avignon entre le 10 et le 13 juin 2013 ;
- 2) le 2ème symposium international « *Organic Greenhouse Horticulture* », tenu à Avignon du 28 au 31 octobre 2013 ;
- 3) le symposium « *Fruit and Vegetable Processing* », tenu à Avignon du 4 au 6 avril 2016 ;
- 4) le symposium ISHS INNOHORT « *New Knowledge for Integrated and Organic Horticultural Production* », tenu à Avignon entre le 8 et le 12 juin 2015. Nous avons été impliqués jusque dans l'édition des actes du symposium (*Acta Horticulturae*).

Ce symposium représente une étape importante pour TERSYS dans la mesure où il nous a permis de promouvoir le besoin d'approches interdisciplinaires et la nécessité de développer les liens entre chercheurs et acteurs de terrain pour développer l'horticulture de demain, celle qui sera en mesure de répondre aux menaces du changement climatique et de la raréfaction des ressources, aux attentes nouvelles des consommateurs et des citoyens, et aux défis de la sécurité alimentaire mondiale.

- 5) Symposium HORTIMODEL (19-22 septembre 2016).

A noter que TERSYS a été directement à l'origine du symposium INNOHORT. INNOHORT répondait à une commande d'Yves Desjardins, Professeur à l'Université Laval de Québec, membre du Conseil Scientifique de TERSYS. Yves Desjardins est aussi membre du *Board* de l'*International Society of Horticultural Science (ISHS)*. HORTIMODEL consacre quant à lui l'engagement méthodologique de TERSYS autour des approches de modélisation qui constitue l'un des traits identitaires d'une bonne partie de notre communauté scientifique.

## CONTRIBUTION A DES ACTIONS DE FORMATION

Par ailleurs, les projets de **Cursus de Master d'Ingénierie (CMI) en Agrosociétés** reposent sur un engagement majeur des laboratoires, l'une des idées fortes et originales des CMI étant de faire bénéficier les étudiants de la plus-value spécifique qu'apporte la recherche dans les enseignements universitaires. En réponse aux attentes exprimées par les experts du réseau Figure, le projet de CMI Agrosociétés a été officiellement adossé aux activités de recherche et de développement de TERSYS.

Une deuxième étape (engagée, voir le projet plus bas) consistera à impliquer les membres du COST, en particulier pour l'accueil des étudiants puis des diplômés dans les entreprises et les organismes de développement. Le 5 juillet 2016, le responsable du CMI Agrosociétés, Fabien Monnet, a été invité à faire une présentation aux membres du COST.

Inversement nous attendons des entreprises « irriguées » par nos étudiants et par nos diplômés qu'elles apprennent à développer des collaborations avec nos équipes de recherche.

**REPARTITION DES CREDITS UTILISES EN 2014 ET 2015**

AAP 2014 TERSYS	19000 €
Prise en charge des inscriptions des doctorants au symposium INNOHORT	2500 €
Colloque Brisbane	3318 €
Missions, déplacements	1893 €
Adhésions (PASS, ISHS)	375 €
Frais liés à l'animation scientifique 2014	798 €
Divers, papeterie, communication...	216 €
<b>TOTAL 2014</b>	<b>28100 €</b>

AAP 2015 TERSYS	25100 €
Aide au financement d'INNOHORT	2532 €
Missions, déplacements	241 €
Adhésions (PASS, ISHS)	375 €
Frais liés à l'animation scientifique 2015	932 €
Divers, papeterie, communication...	180 €
<b>TOTAL 2015</b>	<b>29360 €</b>

On voit très clairement que la part des crédits alloués par l'université d'Avignon au fonctionnement de TERSYS, servant à soutenir les projets collaboratifs et les projets d'animation scientifique a augmenté entre 2014 et 2015. Cette tendance est confirmée dans le budget 2016 (non présenté).

**ANALYSE SWOT****Forces**

- Fort soutien par les tutelles principales, notamment soutien financier et à travers désormais deux bourses de thèse de l'Université d'Avignon (TERSYS + Fondation de l'Université d'Avignon). Soutien matérialisé par la signature de la convention de site ;
- Très bon ancrage dans les priorités de la région PACA (Schéma Régional d'Innovation) et dans les thématiques des partenaires (Domaine d'Actions Stratégiques du pôle TERRALIA notamment) ;
- Très bonne insertion dans le tissu socio-économique local (localisation à Agroparc ...) et avec les partenaires de développement (UMT existante entre l'UMR SQPOV et le CTCPA, projet d'UMT avec le Ctifl...);
- Présence sur un seul site de compétences complémentaires, en « ordre de bataille », permettant de traiter l'élaboration de la qualité, y compris environnementale, tout au long de la chaîne de valeurs, depuis le champ jusqu'aux effets biologiques ;
- Attractivité de TERSYS vis-à-vis d'équipes et d'unités de recherche externes (LMA, EMMAH) ;
- Mise en place d'outils exceptionnels destinés à être exploités à travers des plateformes mutualisées (métabolomique, phytotrons, microscopie...).

**Faiblesses**

- Soutien déséquilibré entre l'INRA et l'Université d'Avignon ;
- Dispositif encore insuffisamment approprié par l'ensemble des chercheurs et enseignants-chercheurs des équipes et unités de recherche membres de TERSYS ;
- Inefficacité du COST ;
- Implication faible de l'UR Abeilles et Environnement ;
- Ouverture nationale et internationale imparfaitement réalisée.

**Opportunités**

- Potentiel pour faire évoluer notre projet scientifique sur la base de nouvelles compétences, notamment en mathématiques et en Sciences Humaines et Sociales, à acquérir ou à développer dans le cadre de l'évolution du projet scientifique du LBNC ;

- Potentiel pour renforcer une identité méditerranéenne insuffisamment mise en avant jusqu'à présent, grâce à l'entrée en jeu de l'UMR Qualisud ;
- Ouverture facilitée vers des collaborations avec des équipes de Montpellier, grâce à Qualisud ;
- Le CMI Agrosociétés représente un formidable stimulant pour l'ensemble de notre collectif ;
- Evolution des attentes des consommateurs pour des produits plus sains et plus naturels (analyse réalisée par le Ctifl dans le cadre du projet CASDAR INNORAIN). Positionnement de la Région PACA sur le thème de la naturalité et de l'alimentation de qualité dans le cadre du nouveau Schéma Régional de Développement Economique, d'Innovation et d'Internationalisation ;
- Intérêt de nouveaux acteurs économiques pour notre démarche et pour nos outils ;
- Contractualisation avec le CNRS, permettant une meilleure visibilité de TERSYS au sein de cet organisme et des liens plus forts avec les Fédérations de Recherches du CNRS (dont la FR ECCOREV sur Marseille) et des investissements plus poussés des personnels CNRS présents sur le site d'Avignon.

### **Menaces**

- Quasi-absence aussi bien dans la programmation de l'ANR que dans H2020 d'appels à projets sur le thème central pour TERSYS de l'amélioration de la qualité micronutritionnelle des produits végétaux ;
- Filières de production de fruits et légumes désorganisées, donnant l'impression d'être incapables de saisir les opportunités offertes par TERSYS pour développer des produits se démarquant par leur qualité ;
- Dispersion des forces depuis l'entrée du laboratoire de physiologie des fruits et légumes dans Qualisud, avec beaucoup de chercheurs et d'EC éloignés de notre barycentre avignonnais, positionnés de surcroît davantage sur des problématiques touchant les pays du Sud que sur des problématiques de développement socioéconomique régional.

### **CONCLUSION**

Après cinq années d'existence, grâce à un soutien marqué des tutelles principales, TERSYS s'est imposée dans le paysage local et régional, aussi bien auprès des acteurs de recherche qu'auprès des acteurs institutionnels et de développement, et bien sûr des entreprises. Cette reconnaissance a joué un rôle clé dans la réalisation des projets d'équipements et d'infrastructures 3A et PROMET. Aujourd'hui ces derniers dopent nos ambitions scientifiques ainsi que notre capacité à collaborer avec les partenaires économiques et de développement, y compris dans des directions nouvelles (industrie cosmétique, colorants, pharmacologie...).

TERSYS a eu une forte activité d'animation scientifique, favorisant l'émergence de collaborations parfois très inattendues entre chercheurs d'horizons très différents, et permettant ainsi des avancées originales, en tout cas l'investissement de thèmes nouveaux et importants, comme celui de la compensation écologique. Même s'il reste encore beaucoup à faire, on peut d'ores et déjà affirmer que TERSYS a servi au moins à renforcer les liens entre les chercheurs et les enseignants-chercheurs sur le site d'Avignon, répondant ainsi à un objectif majeur des tutelles.

La capacité à travailler sur nos thèmes centraux a été limitée jusqu'à présent par de grandes difficultés pour trouver les financements lourds dont nous avons besoin, notamment pour réaliser des études cliniques. Nous avons toutefois l'espoir que les nouveaux équipements que nous avons réussi à obtenir vont nous permettre de nous relancer fortement sur ces thèmes. Par ailleurs nos thèmes eux-mêmes vont s'enrichir et même se diversifier en raison de l'évolution des moyens et des thèmes des laboratoires ainsi que de l'existence de projets d'adhésion de nouveaux acteurs. Nous avons la conviction que l'élargissement des thèmes de recherche de TERSYS et l'ouverture à une adhésion par les compétences, les méthodes et les outils vont permettre une plus large appropriation de notre dispositif par les membres de notre communauté scientifique. En même temps nous avons la conviction que cet élargissement peut tout à fait se faire dans la continuité du projet actuel, c'est-à-dire dans le respect des principes fondateurs de TERSYS.

L'ouverture au partenariat national et international est à amplifier et devrait sans doute faire l'objet à l'avenir d'une approche plus pro-active de notre part. La plateforme de métabolomique que nous sommes en train de monter en ce moment devrait nous donner la crédibilité analytique requise pour participer, voire susciter des études ambitieuses sur les effets des terroirs, des systèmes de production et des procédés innovants sur la « valeur-santé » des FetL.

## Projet scientifique pour la période 2018-2022

### INTRODUCTION

Le projet scientifique de TERSYS va évoluer à partir de 2017. Cette évolution est nécessaire pour tenir compte de plusieurs éléments nouveaux :

- 1) Le rattachement du Laboratoire de Physiologie des Fruits et Légumes (ex. EA 4279) à l'UMR Qualisud. Le projet scientifique de TERSYS est très fortement influencé par la stratégie de site dont il est l'un des principaux instruments. Ce projet affiche une forte volonté d'insertion et d'impact locaux et régionaux, alors que le CIRAD, tutelle majoritaire de l'UMR Qualisud, possède un objectif dominant d'impact dans les pays du Sud.
- 2) L'évolution du projet scientifique du Laboratoire Biens, Normes et Contrats (LBNC) et la mise en avant de compétences nouvelles notamment dans les domaines des sciences politiques et de l'économie.
- 3) Le projet d'adhésion du Laboratoire de Mathématiques d'Avignon (LMA) d'Avignon à TERSYS.
- 4) Le projet d'adhésion de l'UMR EMMAH à TERSYS. EMMAH apporte des compétences en hydrogéologie, en sciences du sol et en physique.
- 5) L'arrivée d'équipements lourds (projets 3A et PROMET) pour créer des plateformes mutualisées.
- 6) Le choix de confier au Conseil d'Orientation Stratégique de TERSYS la responsabilité de piloter les actions de valorisation et de développement qui relevaient jusqu'alors d'un axe spécifique (l'axe 4 du projet scientifique précédent).

Des réunions d'échanges et des séminaires se sont mis en place depuis le début de l'année 2016, impliquant notamment le Conseil Scientifique de TERSYS et dont l'objectif est de faire évoluer notre projet scientifique. La nécessité de faire évoluer le projet scientifique a été reconnue au cours du CR du Comité de Pilotage de TERSYS du 1<sup>er</sup> février 2016, mais à la condition de ne pas dénaturer le projet actuel et en gardant à l'esprit que la logique de site devait prévaloir. Il a été admis que l'adhésion au projet de TERSYS par les équipes pouvait se faire non seulement à travers le projet scientifique stricto sensu mais également à travers les outils, les méthodologies et les compétences.

Une réflexion a été entamée afin de mieux intégrer les Sciences Humaines et Sociales et pour intégrer de nouvelles méthodologies fondées notamment sur l'approche participative. Pareillement, il a été admis de manière très consensuelle que l'axe 1 et donc le projet scientifique de TERSYS ne pouvaient que s'enrichir de l'intégration d'une thématique forte autour de l'eau. Enfin, concernant les équipements acquis dans le cadre des projets 3A et PROMET, TERSYS sera mandaté pour la gestion des plateformes sous le contrôle des tutelles principales.

A ce stade, il est important de souligner que nous n'avons pas encore l'image complète et détaillée du projet que la dynamique enclenchée fin 2015/début 2016 vise à construire. Certains éléments concrets et précis font encore défaut à l'heure actuelle.

Avant de présenter le projet scientifique, nous allons rappeler les missions de TERSYS ainsi que les organes de gouvernance, tels qu'ils sont définis dans la convention de fonctionnement. Nous présenterons également les équipements lourds évoqués plus haut.

### MISSIONS DE TERSYS ET ORGANES DE GOUVERNANCE

Il est rappelé que le 6 décembre 2013, François Houllier, PDG de l'Institut National de la Recherche Agronomique, et Emmanuel Ethis, Président de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (UAPV), ont signé la convention de création de la Structure Fédérative de Recherche TERSYS.

La convention de fonctionnement elle-même est en voie de finalisation. Elle associe l'UAPV, l'INRA, le CNRS, AMU et l'Université de Montpellier. L'adhésion du CIRAD a été prévue par voie d'avenant dans un premier temps.

Les **missions** de la SFR TERSYS, telles qu'elles sont définies dans la convention, sont notamment de :

- Créer et animer un espace régional de recherche pluridisciplinaire pour constituer un pôle scientifique et technologique à visibilité nationale participant à la construction de l'Espace Européen de la Recherche ;
- Renforcer la visibilité de l'activité de recherche, favoriser l'animation scientifique et la formation ;
- Promouvoir, soutenir et mener des projets de recherche pluridisciplinaire et leur valorisation scientifique et économique, en établissant des relations avec le tissu environnant et en s'impliquant dans le développement d'un partenariat social et économique ;
- Proposer des recherches intégratives et partenariales ;
- Porter des projets de recherche, de recherche/développement et de formation auprès des instances régionales, nationales et internationales de financement ;
- Promouvoir la construction d'outils de recherche partagés (plateformes).

Les **organes de fonctionnement** de la SFR TERSYS sont les suivants :

- le Comité de Pilotage,
- le Conseil Scientifique,
- le Conseil d'Orientation Stratégique.

Le **Comité de Pilotage** réunit, en plus du Directeur de TERSYS et des représentants légaux de chacune des Parties, ou des personnes désignées en tant que telles, les Directeurs adjoints, le Directeur du Conseil Scientifique, le Directeur du Conseil d'Orientation Stratégique, les responsables d'axes et de sous-axes ainsi que le Directeur des SDAR du centre INRA PACA et le Directeur de la Maison de la Recherche de l'Université d'Avignon.

Le Comité de Pilotage est l'organe décisionnel. Il a notamment pour fonction de :

- valider les orientations scientifiques, les projets de recherche, la réalisation d'opérations spécifiques, ainsi que les propositions d'actions pour la SFR émanant du Directeur du Conseil Scientifique et du Directeur de TERSYS ;
- réfléchir à la stratégie régionale en matière de développement des produits naturels en vue de transmettre ses propositions aux partenaires régionaux ;
- examiner les demandes d'adhésion ;
- réunir les ressources nécessaires et de décider de la répartition des moyens affectés au fonctionnement de la SFR ;
- discuter et approuver le programme annuel d'activité décrit sur la Feuille de Route préparée par le Directeur de TERSYS ;
- délibérer sur le budget prévisionnel de l'année suivante et l'exécution du budget en fin d'exercice en conformité avec la Feuille de Route.

Le **Conseil Scientifique** comprend, en plus du Directeur de TERSYS, des directeurs adjoints et du Directeur du Conseil Scientifique, les Directeurs des Unités de Recherche membres de TERSYS, ou leurs représentants. Le Conseil élit en son sein, à la majorité qualifiée des deux tiers des membres présents ou représentés, son Directeur du Conseil Scientifique pour quatre ans, renouvelable une fois. Quatre sièges sont réservés à des personnalités scientifiques extérieures au site d'Avignon.

Le Conseil Scientifique est un organe consultatif, garant de la pertinence et de la qualité scientifique des activités de la SFR.

Le Conseil peut faire des propositions d'actions, présenter des recommandations sur les orientations scientifiques, étudier les programmes de recherche et les contrats à entreprendre et les modalités de leur réalisation et examiner les résultats obtenus.

Le Conseil Scientifique est sollicité notamment pour :

- évaluer les projets et les labelliser,
- évaluer les sujets de thèse (bourse de thèse TERSYS et, depuis 2016, bourse de la Fondation universitaire),
- assurer l'animation scientifique de la SFR,
- se prononcer sur la stratégie de la SFR définie par le Comité de Pilotage,
- se prononcer sur les mesures structurelles et fonctionnelles à prendre pour améliorer les performances de la SFR telles que thématiques à développer, plateformes à structurer, actions de communication à mener, ...

Le **Conseil d’Orientation Stratégique** se compose à minima du Directeur de TERSYS, des Directeurs adjoints et du Directeur du Conseil Scientifique et des Responsables d’axes et de sous-axes de la SFR. On trouve également des représentants d’organismes (centres techniques, CRITT agroalimentaire, pôles de compétitivité...), représentant la demande économique et sociale en lien avec le projet scientifique de la SFR.

Le Conseil d’Orientation Stratégique élit en son sein, à la majorité qualifiée des deux tiers des membres présents ou représentés, son Directeur pour quatre ans, renouvelable une fois.

Le Conseil d’Orientation Stratégique définit son propre mode de fonctionnement en interne dans le respect de la présente convention.

Le Conseil d’Orientation Stratégique a un rôle consultatif prospectif et de proposition à trois niveaux, celui de la stratégie de la SFR TERSYS, celui de son fonctionnement et, enfin, celui de la construction et de la mise en œuvre des projets.

Il est prévu que le Comité de Pilotage puisse missionner le Conseil d’Orientation Stratégique pour des études ou des évaluations sur des actions entreprises ou à entreprendre par la SFR TERSYS.

Le **Directeur de TERSYS** est élu par le Comité de Pilotage à la majorité qualifiée des deux tiers des membres présents ou représentés, pour une durée de quatre ans, renouvelable. Pour assurer ses missions, il s’appuie sur deux directeurs adjoints qu’il nomme.

Le programme des activités de recherche dans le cadre de TERSYS fait l’objet tous les ans d’une **feuille de route**. Cette dernière est rédigée d’un commun accord entre le Directeur de TERSYS et le Directeur du Conseil Scientifique, en appui avec le Conseil d’Orientation Stratégique. Elle est validée par le Comité de Pilotage avant sa mise en œuvre.

Tous les ans, un **rapport d’activité** comportant un rapport scientifique et un rapport financier de l’activité de TERSYS est présenté au Comité de Pilotage, au Conseil Scientifique et au Conseil d’Orientation Stratégique, et transmis aux Parties. Il comporte une Annexe financière présentant les comptes de la SFR. Il précise l’origine des ressources et la nature des dépenses.

Les **ressources de TERSYS** sont constituées par des moyens en nature (personnels, locaux, équipement...) et/ou des moyens financiers que chacune des Unités de Recherche ou Associées décident d’allouer en propre à la SFR.

- Les moyens propres, humains, matériels et financiers mobilisés par les unités pour les besoins de TERSYS sont gérés directement par la ou les Parties en charge de la gestion de l’unité.
- Les moyens mis en commun par les Parties et les partenaires associés pour des dépenses ou actions communes de la SFR sont gérés par une seule des Parties désignée comme Etablissement Gestionnaire.

**L’Université d’Avignon et des Pays de Vaucluse est désigné comme Etablissement Gestionnaire.** Dans le cadre des actions communes et de leur réalisation, l’Etablissement Gestionnaire peut être amené à transférer des moyens financiers aux unités. Les personnels des Parties participant aux activités de TERSYS restent gérés par leur établissement d’origine.

## **ACHATS DE GROS EQUIPEMENTS, FINANCEMENTS ET COFINANCEMENTS ENVISAGES**

Le coeur du projet scientifique de TERSYS (axes 2 et 3) a servi à élaborer une demande d’équipements mutualisés, portée conjointement par l’INRA (chef de file) et l’Université d’Avignon. Cette demande a été inscrite dans le cadre d’un projet déposé dans le cadre du CPER en 2013 et au FEDER en 2015, intitulé 3A, et qui permet de réunir sur l’Agroparc, dans le cadre d’une politique de site dynamique et cohérente, des laboratoires de l’Université d’Avignon et de l’INRA, des plateformes partagées, les bureaux du pôle de compétitivité TERRALIA et des bureaux d’accueil pour les entreprises. Les financements d’équipements que nous avons acquis en 2014/2015 pour un montant de 3.04 M€ permettent de réaliser trois plateformes technologiques mutualisées. Les équipements sont formellement la propriété de l’INRA et font l’objet d’une convention qui prévoit que l’usage des outils et la responsabilité de leur exploitation sont partagés entre l’INRA et l’Université d’Avignon.

A noter que ces équipements sont complétés par un financement de 300000 € de l’Université d’Avignon et de la Région PACA : projet PROMET (2015).

TERSYS est mandaté pour gérer ces plateformes sous la responsabilité des deux tutelles principales de TERSYS, l’Université d’Avignon et l’INRA.

L’acquisition des équipements est étalée entre 2016 et 2018. Une réflexion et des pourparlers ont été entamés avec l’objectif de raccrocher aux plateformes initialement constituées par les équipements acquis dans le cadre du projet 3A une partie des équipements actuellement opérationnels au sein des unités de recherche.

Une réflexion a été pareillement engagée avec l'objectif de nous doter de principes de gouvernance et de règles de fonctionnement pour la gestion des plateformes. Nous disposons d'ores et déjà de règles de fonctionnement finalisées pour la plateforme de métabolomique.

Les principaux principes de gouvernance retenus sont les suivants :

- les comités de pilotage spécifiques de chacune des trois plateformes seront constitués à partir du Conseil Scientifique de TERSYS et réuniront les directeurs de laboratoires (ou leurs représentants) directement concernés par l'utilisation des plateformes. Il est prévu que chacun des comités de pilotage se dote de règles pour arbitrer les demandes d'utilisation des outils ;
- les comités de pilotage ont la responsabilité d'informer la communauté scientifique et les partenaires à travers le CS et le COST de TERSYS. Ils rendent des comptes aux tutelles à travers le CP de TERSYS ;
- les directeurs des plateformes seront nommés par les tutelles au niveau du CP de TERSYS. Les directeurs de plateformes ont un pouvoir en adéquation avec leur responsabilité. Ils rendent compte aux tutelles à travers les comités de pilotage ;
- les utilisateurs potentiels doivent démontrer qu'ils ont la capacité d'assumer les coûts de fonctionnement ;
- les utilisateurs potentiels doivent s'engager à être formés à l'utilisation des outils.

Une réflexion est en cours dont l'objectif est de définir le montant et l'origine des fonds de roulement requis par chacune des 3 plateformes. De même, la question des personnels mis à disposition des plateformes et des modalités de mise à disposition est actuellement discutée par les tutelles.

### 1) Plateforme de contrôle de l'environnement (2016-2018)

Les chambres de culture représentent un outil exceptionnel par sa performance, destiné à étudier la manière dont les facteurs environnementaux et leurs interactions influencent la synthèse, la dégradation et le stockage des composés secondaires, des vitamines et des autres éléments contribuant à la qualité, et en particulier à la valeur micronutritionnelle des végétaux.

L'ensemble demandé est constitué fondamentalement de deux types de chambres de culture : 3 chambres de dimension moyenne utilisables pour des études sur des plantes entières de relativement faible dimension, et 4 chambres de dimension plus faible adaptées aux études de post-récolte.

L'une des particularités des chambres est d'être équipées de plafonds à LEDs permettant un contrôle simultané de plusieurs longueurs d'onde, à la fois en intensité et en durée.

Les outils de contrôle de l'environnement sont complétés par des équipements de pointe permettant de mener des études avancées d'écophysiologie sur la réponse des plantes (spectroradiomètre, système combiné de mesures d'échanges gazeux et de fluorescence de la chlorophylle *a*, système de mesure simultanée des activités des photosystèmes I et II).

Il est clairement prévu que ces outils de pointe soient utilisés pour développer des solutions innovantes conjointement avec les partenaires scientifiques, économiques et de développement.

<i>Equipements</i>	<i>Montant initial programmé</i>	<i>Prévu en</i>
Chambres de culture	462000	2017
Spectroradiomètre	71000	2016
Système portable de mesure conjointe des échanges gazeux et de la fluorescence de la chlorophylle	43000	2016
Systèmes d'analyse de la fluorescence de la chlorophylle	59000	2016
<b>TOTAL</b>	<b>635 k€</b>	

## 2) Plateforme analytique (2016-2017)

La plateforme analytique comporte notamment une plateforme de métabolomique englobant les domaines de la physiologie végétale, de l'agronomie, de la génétique, du génie des procédés, et de la santé humaine (prévention des maladies métaboliques et cardio-vasculaires). L'ambition est de nous doter d'un outil analytique de pointe et partagé pour étudier les liens entre systèmes de production/techniques de production/terroirs et signatures métaboliques, d'une part, et entre signatures métaboliques et effets biologiques, d'autre part. Nous avons la volonté, en coordination avec l'UMR NORT de Marseille en particulier, d'aboutir à la constitution d'une plateforme de métabolomique régionale sur le modèle de la plateforme Corsaire du Grand Ouest.

L'objectif prioritaire est d'étudier les propriétés des produits naturels d'origine végétale dans la plante, l'aliment et chez l'humain. Dans ce but, la plateforme permettra d'identifier et de quantifier les différents constituants de produits végétaux (extraits de plantes valorisables dans les industries agro-alimentaire, pharmaceutique et cosmétique, produits alimentaires frais ou transformés) et autres systèmes complexes (fluides et tissus biologiques) à la recherche notamment de produits dérivés et métabolites potentiellement bioactifs produits au cours des procédés d'extraction, transformation, digestion...

Cette plateforme doit pouvoir assurer un débit d'analyse élevé pour satisfaire non seulement aux besoins de la recherche mais aussi aux besoins en amont des producteurs et en aval des industriels et permettre ainsi de suivre la composition d'un produit tout au long de la chaîne d'élaboration d'un produit.

### La plateforme comprend :

- des outils d'analyse de techniques séparatives couplées à des détecteurs variés pour l'identification et la quantification de molécules volatiles et non volatiles avec un temps d'analyse significativement réduit ;
- un équipement de purification permettant d'isoler des molécules d'intérêt particulier à l'échelle préparative ;
- un procédé de conditionnement par atomisation permettant la formulation d'ingrédients pour une valorisation facilitée dans l'industrie ;
- des outils d'analyse structurale permettant la caractérisation de systèmes colloïdaux variés (micelles, liposomes, agrégats, émulsions...) ;
- un appareil de Résonance Paramagnétique Electronique, permettant l'analyse d'espèces radicalaires pour l'étude du stress oxydant et des mécanismes d'action des antioxydants ;
- un microscope électronique à transmission doté d'une plate-forme d'observation cryogénique. Le matériel existant au sein de l'INRA d'Avignon (Unité de Pathologie végétale, domaine Saint Maurice, Montfavet), obsolète, ne permet pas l'observation d'un grand nombre de cellules, cette limitation constituant un frein important à son utilisation par des laboratoires industriels (des semenciers en particulier très demandeurs) et par les équipes de recherche de l'INRA et de l'Université d'Avignon ;
- un appareillage de microscopie confocale autorisant la détection subcellulaire de protéines avec une très bonne résolution du fait de l'élimination du signal parasite des autres plans, la colocalisation de marqueurs fluorescents et l'acquisition de séries optiques permettant la reconstruction en 3D d'une cellule ou d'un tissu vivant. Cette technique qui permet de travailler sur des échantillons vivants au plus près de la réalité tissulaire et cellulaire est devenue incontournable pour illustrer des phénomènes dynamiques de métabolisation.

<i>Equipements</i>	<i>Montant initial programmé</i>	<i>Prévu en</i>
HPLC semi-préparative avec détecteur de masse quadripolaire + GC-TOF-MS	300000	2016 (PROMET)
Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC) + détecteurs MS MALDI & QTOF	500000	2016
UPLC + détecteur MS Triple Quad	275000	2017 ou 2018
GC + détecteurs MS & FID + passeur d'échantillons multi-modes	130000	2017 ou 2018
Système de purification CombiFlash + détecteurs UV & MS	140000	2017 ou 2018
Chromatographie de Perméation de Gel + détecteurs multiples MALLS/RI/UV/DLS	140000	2017 ou 2018
Appareil de résonance paramagnétique électronique	143000	2017 ou 2018
Microscope Electronique à Transmission avec porte - objet refroidi Gatan	350000	2017 ou 2018
Microscope Optique Confocale Domaines UV - visible - proche IR	330000	2017 ou 2018
<b>TOTAL</b>	<b>2308 k€</b>	

### 3) Plateforme de physiologie animale et humaine

Les équipements sollicités, en complément de l'existant, permettent d'aborder la question des modes d'action et des effets biologiques des microconstituants (métabolites secondaires en particulier) issus des produits naturels, transformés ou extraits, d'origine végétale et reconnus pour leurs propriétés anti-oxydantes et potentiellement anti-inflammatoire. Les thèmes abordés concernent très largement les maladies cardiovasculaires et cardiométaboliques. L'utilisation de modèles cellulaires (notamment sur cellules endothéliales et musculaires, cellules privilégiées dans l'initiation, la progression et les complications des pathologies cardiovasculaires et métaboliques) autorise l'identification des cibles moléculaires et cellulaires sur lesquels ces microconstituants agissent pour expliquer leurs effets biologiques. Les effets protecteurs sont également évalués par une approche intégrée sur modèles animaux, sur la base des nutriments les plus actifs identifiés par les études au niveau cellulaire, complétée par des approches de recherche clinique sur sujets sains ou pathologiques pour valider la preuve de concept.

La plateforme de physiologie animale et humaine comprend :

- des équipements de culture cellulaire avec hotte aspirante à flux laminaire et lampe UV, un incubateur CO<sub>2</sub> et un microscope inversé à fluorescence et contraste de phase, pour cibler au sein des cellules les « effets santé » directs des microconstituants ;
- une animalerie agréée, de haut niveau, implantée sur le site Agroparc, au cœur du dispositif scientifique et d'innovation avignonnais dédié à l'agriculture et à l'agroalimentaire. L'animalerie comporte, en accord avec les recommandations de la direction régionale des services vétérinaires, des armoires ventilées, un outil de lavage des cages et des biberons et un système d'anesthésie à l'isoflurane. Un poste de chirurgie et un équipement d'imagerie cardiaque ultrasonore de haute résolution complètent le dispositif ;
- un échocardiographe haute résolution et un laser Doppler portables pour démontrer les effets cardiovasculaires chez l'Homme.

La nouvelle réglementation européenne imposant de démontrer les effets sur la santé des nutriments et/ou aliments par des études multidisciplinaires rigoureuses pour la création d'allégations nutritionnelles et de santé, la plateforme est prévue pour être un support pour les entreprises agro-alimentaires régionales et au-delà.

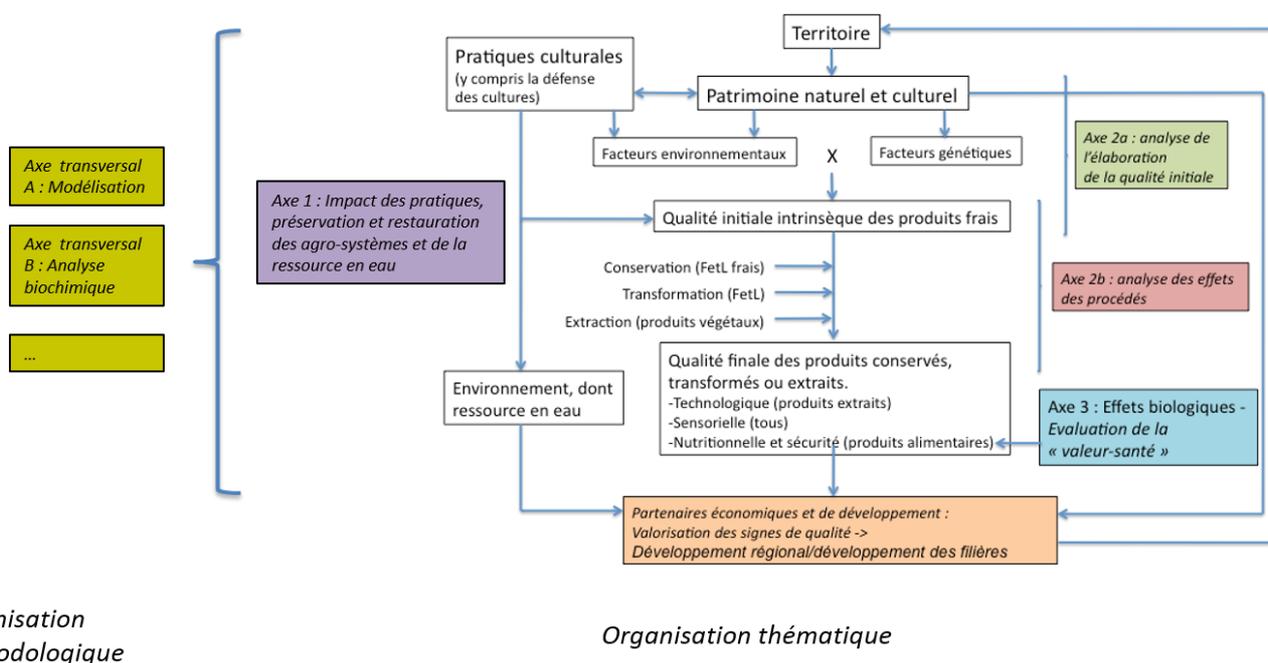
Equipements	Montant initial programmé	Prévu en
Imagerie Laser Speckle et exploration de la microcirculation cutanée et iontophorèse	55000	2016
Echocardiographe à haute résolution	80000	2016
Echographe pour rongeur haute résolution	212000	2016
5 Armoires ventilées rongeurs (animalerie)	50000	2016
<b>TOTAL</b>	<b>397 k€</b>	

## PROJET SCIENTIFIQUE

Le nouveau projet scientifique reprend une bonne partie du projet scientifique originel (Fig. 6). Il s'en distingue toutefois par trois évolutions majeures :

- la suppression de l'axe 4 dont les missions sont désormais assumées par le COST ;
- l'intégration d'une thématique autour de l'eau dans l'axe 1 ;
- l'apparition d'axes dits méthodologiques, notamment un axe autour de la modélisation.

Fig. 6. Nouvel organigramme fonctionnel du projet scientifique de TERSYS.



## ***Axe 1 : Interactions entre systèmes de productions et environnement, qualité et cycle de l'eau***

Responsable : Thierry DUTOIT (DR CNRS, UMR IMBE)

### Mots-clés

agriculture durable, agro-écologie, eau, écotoxicologie, environnement, ingénierie écologique, interactions biotiques, patrimoine naturel et culturel, ressources naturelles, sciences participatives

### Partenaires recherche

UMR IMBE, UR Ecodéveloppement, UR Abeilles et environnement, UR PSH.

Des discussions ont été entamées avec l'UMR EMMAH (INRA-UAPV) en vue d'une adhésion à TERSYS. L'un des enjeux majeurs d'une adhésion d'EMMAH à TERSYS est un renforcement notable de l'axe 1 par le développement d'une thématique forte autour de l'eau. Le projet développé ci-dessous n'intègre pas encore vraiment cette thématique. Par ailleurs, la question de l'insertion de l'UR Abeilles et Environnement n'a pas été abordée.

### Contexte général

Les impacts néfastes sur l'environnement de certains systèmes de production agricole intensifs ne sont plus à démontrer tant au niveau des nuisances engendrées (pollution de l'air, de l'eau, des sols) que de la perte de biodiversité aux différents niveaux d'organisation du vivant (populations, communautés, paysages) ou encore de la qualité sanitaire des productions. Depuis quelques années se mettent cependant en place de nouveaux systèmes plus respectueux de l'environnement (agriculture raisonnée, agriculture biologique, etc.) dont la multiplicité est regroupée sous le vocable d'agriculture durable ou encore de soutenable dans le sens où elle prévoit plus de durabilité dans l'exploitation des ressources naturelles, des impacts moindres sur l'environnement, une meilleure qualité sanitaire et organoleptique des productions ainsi qu'une meilleure répartition des bénéfices.

### Contexte scientifique

Si la destruction et la fragmentation des écosystèmes sont reconnues comme l'une des premières causes de destruction de la biodiversité, les pollutions induites par les pratiques agricoles modifient et altèrent les fonctions des agrosystèmes ainsi que les services écosystémiques rendus par les éléments connexes aux parcelles cultivées (haies, bandes herbeuses, bords de rivières, etc.) dans les matrices de paysages agricoles. Ces services concernent notamment la fourniture d'insectes auxiliaires pour lutter contre les prédateurs et parasites des cultures mais aussi des insectes pollinisateurs. Si de nombreux travaux ont déjà été effectués sur les services écosystémiques rendus par les écosystèmes et la biodiversité qu'ils abritent, il reste cependant maintenant à les mettre en œuvre notamment dans le cadre de la reconversion de systèmes intensifs ou de la mise en place de systèmes d'agriculture durables dans des paysages encore structurés par des systèmes de production intensifs.

Pour aller plus loin dans l'étude de l'impact des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement, il faut donc maintenant réussir à identifier les équilibres clés entre impacts attendus des services écosystémiques et pratiques agricoles conventionnelles. En effet, trop souvent les expérimentations ont été menées dans des systèmes binaires opposant agriculture conventionnelle à exploitation sans intrants.

Au niveau de la restauration des agro-écosystèmes dégradés par des pratiques intensives, les fronts de sciences se situent non pas dans la restauration de leurs composantes mais dans la structuration et dans le rétablissement des interactions biotiques complexes qui sont le fruit de pratiques agricoles multi-séculaires pour des climats et des sols très particuliers.

### Enjeux

Sur le plan scientifique, il s'agit de faire progresser les connaissances sur les rôles de la biodiversité et notamment de certaines espèces clés ou ingénieurs de l'écosystème et des rôles de la diversité fonctionnelle. Il en va de même pour la diversité taxonomique : il sera vérifié si les espèces redondantes au niveau fonctionnel constituent bien l'assurance d'une résilience plus rapide par rapport aux perturbations. Le cadre appliqué est particulièrement pertinent puisque des résultats des expérimentations sont attendus et traduisibles économiquement en terme de productivité agricole.

## Objectifs

Le premier objectif de cet axe est d'étudier les impacts environnementaux des nouveaux systèmes agricoles durables tant au niveau de la réduction des intrants que de la conservation de plus hauts niveaux de biodiversité. Les perspectives fondamentales sont une meilleure compréhension des rôles de la biodiversité dans les services écosystémiques rendus à l'agriculture. Il s'agit notamment d'identifier les services pertinents à restaurer pour une agriculture plus durable plutôt que d'une restauration à l'identique d'écosystèmes préexistants dont le coût incombe encore trop souvent à la collectivité (voir la collaboration axes 1-4 sur la compensation écologique dans la partie bilan).

## Méthodologie

Les méthodologies appliquées sont basées surtout sur des expérimentations dans des cas concrets de mise en place de conversions d'exploitation agricole ou de réhabilitation/restauration écologique d'agro-écosystèmes dégradés. Les méthodologies sont mises en place dans un cadre multidisciplinaire incluant approches en sciences humaines et sociales et sciences de la nature. La transdisciplinarité est recherchée chaque fois que cela est possible à partir d'un même site atelier ou d'une question commune.

## Originalités et plus value de TERSYS

L'approche retenue dans le cadre de TERSYS est originale car elle est multidisciplinaire et s'intéresse à l'ensemble de la filière agricole tant au niveau du fonctionnement des exploitations (utilisation des auxiliaires, réductions des pesticides) que de celui de leur réhabilitation lorsqu'elles sont en conversion ou abandonnées. TERSYS permet de faire travailler ensemble agronomes et écologues dans l'élaboration de systèmes de productions durables dans de nouveaux contextes (cf. la thèse Pellegrin en cours sur l'offre de compensation agricole).

## Valorisation

La valorisation des résultats passe évidemment par des publications scientifiques, mais aussi par l'organisation de colloques internationaux sur l'effet des systèmes d'agriculture durable sur l'environnement et leur restauration via l'ingénierie écologique (cf. le colloque Ecologisation des pratiques agricoles organisé par l'UR ECODEV).

## Résultats attendus au niveau scientifique et appliqué :

- une identification des rôles clés joués par certaines espèces par rapport au fonctionnement des écosystèmes et une meilleure compréhension des rôles de la biodiversité dans les agro-écosystèmes ;
- des modèles prospectifs à l'échelle des paysages de la conversion et de la restauration des systèmes de production intensifs en vue de la restauration de processus macro-écologiques (cycles biogéochimiques, climat etc.) ;
- la mise aux points de nouvelles techniques en ingénierie et la restauration des patrimoines culturels et naturels méditerranéens ;
- de nouvelles variétés adaptées aux contraintes locales pour la restauration des agro-écosystèmes dégradés (lutte contre l'érosion, etc.).

## Impacts espérés :

- une contribution à un meilleur environnement ;
- une contribution à la mutation « écologique » des systèmes maraichers, en particulier en région PACA ;
- une contribution à la redynamisation des filières, en particulier dans la région PACA.

## **Axe 2a : Impact des facteurs environnementaux, au sens large, en relation avec les facteurs génétiques, sur la qualité des produits frais**

**Responsable** : Nadia BERTIN (DR INRA, UR PSH)

### Mots-clés

environnement, fruits et légumes, génome, métabolites primaires et qualité organoleptique, métabolites secondaires, métabolomique, pathologie végétale, plantes tinctoriales, plantes aromatiques et à parfums, plantes d'intérêt pour les industries pharmaceutiques, cosmétiques et nutraceutiques, stress oxydant, valeur-santé des produits végétaux

### Partenaires

UMR Qualisud – laboratoire de physiologie des fruits et légumes (UAPV), UR PSH, UR Pathologie végétale, UR Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes, UR ECODEV  
Hors SFR : Ctifl, GRAB, pôle TERRALIA...

### Contexte général

Les productions de fruits et légumes (FetL) sont fortement identitaires en région PACA. La filière FetL frais est actuellement menacée en raison de la forte concurrence qu'elle subit de la part des produits importés, et aussi d'une baisse générale de la consommation que les campagnes en faveur des FetL n'ont pas réussi à enrayer. Or il existe une demande réelle pour des produits plus sains, plus goûteux, plus « naturels », c'est-à-dire obtenus à travers des pratiques plus respectueuses de l'environnement et de la qualité originelle des produits. Parallèlement aux FetL on voit se développer de nouvelles filières (plantes à parfums, plantes d'intérêt pour l'industrie cosmétique, plantes tinctoriales...) qui, elles aussi, cherchent à répondre aux attentes des consommateurs pour des produits de qualité, plus naturels.

On peut faire le pari raisonnable qu'une production qui saurait se démarquer sur le plan de la qualité (en termes de concentrations en composés d'intérêt, sanitaire, environnementale), saura assurer son avenir, voire se développer, malgré les défis que représentent le changement global et la concurrence de pays producteurs à faible coût de main d'œuvre.

### Contexte scientifique

Il existe d'assez nombreuses références agronomiques concernant les effets des facteurs environnementaux et des pratiques culturales sur les concentrations en micronutriments (vitamines, métabolites secondaires) des fruits et légumes (Gonord et al. 2010). Par ailleurs, l'état des connaissances progresse rapidement sur les effets des facteurs environnementaux et génétiques sur la construction de la qualité globale des produits frais, et en particulier sur l'accumulation de composés liés à la qualité gustative (sucres, acides, arômes), l'évolution de la texture, ou les voies de biosynthèse des composés secondaires participant à la qualité nutritionnelle. En particulier, les effets de la nutrition carbonée, des stress hydrique et thermique et des rayonnements ultraviolets sont de mieux en mieux compris. En parallèle l'analyse de la variabilité génétique dans des environnements contrastés nous permet d'appréhender les interactions géotypes x environnement de manière plus intégrée et de cibler à différentes échelles les processus impliqués dans l'adaptation des plantes aux stress environnementaux. Cet état des connaissances est actuellement assez bien synthétisé dans certains modèles de simulation de la qualité des fruits, sachant qu'on sait aussi de mieux en mieux relier les critères de qualité aux attentes des consommateurs (études du Ctifl ou en provenance de projets de recherche comme QualitomFil). De manière générale, les raisonnements élaborés autour des FetL s'appliquent également aux autres plantes dont nous convoitons les métabolites secondaires (plantes aromatiques et à parfums, plantes d'intérêt pour les industries cosmétique, nutraceutique et pharmaceutique, plantes tinctoriales, vigne à vin).

Pour aller plus loin, il faut maintenant réussir à identifier les étapes-clés qui peuvent être influencées par les facteurs environnementaux et les pratiques culturales chez les plantes d'intérêt agronomique, quantifier les effets des facteurs environnementaux et des interactions géotype x environnement dans des gammes de variations réalistes, identifier des ressources génétiques potentiellement intéressantes, prendre en compte les interactions entre facteurs biotiques et abiotiques, entre processus et entre organes, développer des modèles du métabolisme secondaire lié à la valeur santé et élargir les domaines de validité des modèles existants. Ce dernier point est particulièrement important car presque tous les stress conduisent à du stress photooxydatif, c'est-à-dire la

production d'espèces réactives de l'oxygène par la machinerie photosynthétique dans les feuilles, et il a été montré que le stress photooxydatif pouvait stimuler le métabolisme secondaire dans les organes proches. Par ailleurs, les connaissances actuelles reposent beaucoup sur l'étude de systèmes de production intensifs. En revanche, il y a actuellement un défaut de références sur la qualité et le rendement des systèmes moins consommateurs d'intrants et plus respectueux de l'environnement, comme l'Agriculture Biologique.

### Enjeux

Sur le plan scientifique, l'enjeu est notamment un objectif de biologie intégrative visant la construction d'une vision intégrée, quantifiée et dynamique, de la parcelle jusqu'à l'usine (produits transformés ou extraits) ou à l'assiette (produits frais ou conservés), voire au-delà, des effets des facteurs environnementaux (biotiques et abiotiques), des facteurs internes (état hydrique, stade de maturité...), des facteurs génétiques et de leurs interactions sur le fonctionnement de la plante et la qualité. Cet enjeu concerne aussi bien les agronomes, les spécialistes de la post-récolte que les généticiens et les pathologistes. Par ailleurs, proposer des produits végétaux attrayants, renforcés en micronutriments, issus de modes de production respectueux de l'environnement, permettant aux producteurs, en particulier ceux de la région PACA, de se démarquer vis-à-vis d'une concurrence exacerbée et pas toujours loyale, représente un enjeu important, respectivement vis-à-vis des consommateurs, de la demande citoyenne et des producteurs.

### Objectifs

Le premier objectif de cet axe est d'étudier les effets des facteurs génétiques et des facteurs environnementaux, et donc des pratiques réputées respectueuses de l'environnement, sur la qualité des produits végétaux dans une perspective d'évaluation/valorisation de pratiques existantes et de terroirs, mais aussi d'élaboration de recommandations innovantes en matière de pratiques culturales et de circuits post-récolte. L'objectif spécifique des généticiens et des écophysiologistes est de définir des idéotypes, en l'occurrence des génotypes adaptés aux contraintes environnementales et optimisés sur les critères de qualité retenus, et d'identifier les gènes/QTL/marqueurs mobilisables pour la sélection.

### Originalités et plus value de TERSYS

L'approche retenue dans le cadre du projet de TERSYS est originale d'abord parce qu'elle est intégrée. Ainsi, elle vise l'étude des interactions génotype x environnement. Dans le même ordre d'idées, elle prône une approche de la parcelle jusqu'à l'usine ou à l'assiette, et même au-delà si l'on considère qu'on propose d'aller jusqu'à la validation des effets biologiques de concentrations renforcées en micronutriments ou réduites en résidus (liens avec les axes 2b et 3). Enfin, nous proposons d'aller beaucoup plus loin que les approches agronomiques classiques en proposant de développer une véritable connaissance physiologique des mécanismes par lesquels les facteurs environnementaux impactent les processus conduisant à l'élaboration de la qualité, notamment la qualité micronutritionnelle des plantes modèles retenues.

TERSYS propose de renforcer un potentiel de recherche, peut-être unique au monde, sur l'effet des facteurs environnementaux sur le métabolisme secondaire, les systèmes antioxydants et, pour les fruits et légumes, la « valeur-santé » des produits. Plus spécifiquement TERSYS propose de réaliser une intégration unique des études de physiologie végétale et de physiologie humaine : on testera si le renforcement de FetL en phytomicronutriments impacte effectivement et de façon positive le fonctionnement biologique de l'animal et de l'Homme.

L'axe 2a exploitera les outils acquis dans le cadre des plateformes pour étudier l'effet des terroirs, des systèmes de production, des techniques de production et des génotypes sur les concentrations en phytomicronutriments des produits végétaux frais.

### Valorisation

La valorisation des résultats passera évidemment par des publications scientifiques, mais aussi l'organisation de colloques internationaux sur l'effet des pratiques culturales sur la qualité et la construction avec nos partenaires de fiches de cultures à destination des producteurs. Mais surtout, nous envisageons de contribuer avec le CTIFL, le GRAB, les producteurs... à l'élaboration de cahiers des charges dans le cadre de démarches de labellisation, fondés sur les résultats de recherche.

### Résultats attendus aux niveaux scientifique et appliqué

1. une identification des étapes-clés des voies de synthèse et de dégradation ou de recyclage des métabolites secondaires (flavonoïdes, caroténoïdes) et des vitamines (ascorbate), affectées par les facteurs de l'environnement, en fonction des stades de développement ;
2. une quantification des effets des facteurs environnementaux tenant compte des interactions avec les facteurs génétiques et épigénétiques sur des critères majeurs de la qualité ;
3. des modèles mathématiques intégratifs de l'élaboration de la qualité d'un certain nombre de fruits et légumes, fondés sur les résultats obtenus aux étapes 1 et 2, interfaçables avec les modèles évoqués pour l'axe 1 ;
4. des recommandations en matière de pratiques culturales, éventuellement fondées sur les travaux de modélisation évoqués en 3, adaptées aux variétés et aux territoires, permettant de produire des produits de meilleure qualité. Nous chercherons en particulier à valoriser les pratiques les plus respectueuses de l'environnement, notamment les plus économes en eau (lien avec l'axe 1) ;
5. de nouvelles variétés adaptées aux contraintes locales et aux cahiers des charges, exploitant les modèles génétique x environnement (étape 3).

### Impacts espérés

- une contribution à une meilleure santé des consommateurs ;
- une contribution à la mutation « écologique » de la production de FetL, en particulier en région PACA ;
- une contribution à la redynamisation de la filière FetL, en particulier dans la région PACA, éventuellement fondée sur des signes de qualité ;
- une contribution à l'émergence ou au renforcement de filières dans les domaines des arômes et des parfums, des colorants, de la nutraceutique, de la cosmétique et de la pharmaceutique.

## ***Axe 2b: effets des procédés sur la qualité des produits végétaux conservés, transformés ou extraits***

Cet axe regroupe les domaines suivants :

### **1) Conservation des fruits et légumes frais et de 4ème gamme**

### **2) Procédés innovants de transformation des fruits et légumes**

### **3) Procédés d'extraction innovants**

A noter que le travail d'intégration des équipes non avignonaises de l'UMR Qualisud est imparfaitement réalisé au moment de la rédaction de ce document.

Responsable : David PAGE (CR INRA, UMR SQPOV)

### Mots-clés

Arômes, écoextraction, colorants naturels, cosmétique, fruits et légumes, ingrédients naturels d'origine végétale, nutraceutiques, parfums, pharmacologie, phytomicronutriments, quatrième gamme, sécurité alimentaire, sécurité microbiologique, transformation

### Membres de l'axe 2b

UMR SQPOV (les quatre équipes : Qualité et Procédés, Microbiologie et sécurité alimentaire, Chimie des Antioxydants et Green), UMR Qualisud (conservation et transformation), UMR IMBE (Equipe Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel), UR PSH et UR GAFL

### Quelques partenaires économiques et de développement en dehors de l'axe 2b

Conservation : Ctifl avec en particulier un projet très avancé d'UMT dans le domaine de la conservation des fruits et légumes frais avec l'UMR Qualisud et l'UR PSH, Claranor (société spécialisée dans la lumière pulsée), TERRALIA...

Transformation : CTCPA (notamment dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique « Micronutriments des produits végétaux transformés »), SONITO (interprofession de la tomate de conservation)...

Extraction : nombreuses entreprises partenaires de l'équipe GREEN dans le cadre de la thématique de l'éco-extraction, notamment à travers de deux projets FUI (Salinalgue et Natarome). Implication forte des pôles PASS, TERRALIA et TRIMATEC. Société Erubescence pour le développement des colorants naturels avec l'équipe Ingénierie de la restauration des patrimoines naturel et culturel de l'IMBE

### Enjeux

#### **1) Procédés innovants de conservation des fruits et légumes frais et de 4ème gamme**

L'enjeu est non seulement d'améliorer la qualité des produits mais également de réduire les pertes après récolte. Celles-ci sont estimées à 40 % dans le monde. L'enjeu de réduction des pertes est donc un enjeu majeur dans une perspective d'amélioration de la sécurité alimentaire, et cela aussi bien pour les pays développés que pour les pays du Sud.

#### **2) Procédés innovants de transformation des fruits et légumes**

- Le premier enjeu est de fournir des aliments stabilisés d'un point de vue microbiologique afin de garantir aux consommateurs l'accès à des produits sûrs tout au long de l'année et afin de minimiser les opérations de pasteurisation/stérilisation souvent délétères pour des micronutriments fragiles et pour la qualité organoleptique. Trouver des solutions pour stabiliser les produits deviendra d'autant plus indispensable que l'augmentation du coût de l'énergie va diminuer fortement l'attractivité économique de la chaîne du froid.

- Le deuxième enjeu est d'améliorer la qualité des produits transformés en identifiant des variétés et des itinéraires cultureux fournissant des matières premières plus adaptées à la transformation. Des gains importants de productivité sont attendus : en évaluant la qualité des matières premières au regard des critères technologiques à atteindre, non seulement on peut concevoir des procédés plus efficaces car mieux adaptés, mais, en plus, l'objectivation des critères de qualité de la matière première rend possible sa reconnaissance économique par le biais de corrections du prix d'achat (processus déjà en vigueur dans plusieurs filières).
- Le troisième enjeu concerne la reconnaissance des produits transformés par les consommateurs pour assurer les apports journaliers recommandés d'éléments nutritionnels. La transformation peut être utilisée comme un levier pour augmenter la biodisponibilité et l'assimilabilité d'un certain nombre de phytomicronutriments, comme les caroténoïdes. La transformation peut donc contribuer à améliorer le niveau nutritionnel de populations consommant peu de fruits et légumes.
- Faire appel à moins d'ingrédients externes (colorants, arômes, vitamines de synthèses) pour corriger des dérives dues aux procédés, représente un enjeu important pour les fruits et légumes dans un contexte législatif qui tend à réduire, voire à interdire ce type de pratique. Les fruits et légumes sont intrinsèquement des aliments possédant de nombreux atouts nutritionnels et organoleptiques, et, dans ce contexte, disposer de méthodes de transformation innovantes plus respectueuses de leurs propriétés intrinsèques devient hautement stratégique.
- Garantir la sécurité du consommateur sur le plan chimique (pesticides, composés néoformés, mycotoxines...) représentera un enjeu majeur à moyen terme et devra être pris en compte par TERSYS.

### 3) Procédés d'extraction innovants

- Le premier enjeu est économique : il s'agit d'améliorer les rendements d'extraction, en identifiant des méthodes plus efficaces respectant l'intégrité des molécules cibles. Il s'agit aussi de promouvoir des procédés d'extraction innovants moins chers et moins consommateurs d'énergie. Dans les nouvelles unités de production industrielles, 40 à 70 % des investissements en capital sont dédiés aux procédés d'extraction et de séparation, et la consommation énergétique de ces procédés représente environ 50 % de la consommation énergétique du secteur de la chimie.
- Le second enjeu est environnemental et de sécurité alimentaire. Encore beaucoup de procédés d'extraction font appel à des solvants toxiques, qui, même évaporés, peuvent subsister à l'état de traces. Le contexte législatif rendra leur utilisation de plus en plus difficile et les alternatives à leur utilisation, de ce fait, hautement stratégiques.
- Le troisième enjeu répond à la demande grandissante des consommateurs pour des ingrédients d'origine naturelle, les plus proches possibles de leurs formes natives, ce qui place l'extraction en position favorable par rapport aux solutions de synthèse ou d'hémisynthèse.

#### Objectifs

Les recherches autour des procédés de conservation des fruits et légumes frais et de quatrième gamme visent une meilleure compréhension de la manière dont certains traitements et les conditions de conservation influencent l'état sanitaire, la durée de vie et les critères de qualité des fruits et légumes frais et de quatrième gamme (texture, couleur, concentration en phytomicronutriments). Les travaux visent également la mise au point de techniques innovantes et éco-responsables, exploitant notamment les effets des rayonnements ultra-violet et visibles.

En ce qui concerne les procédés de transformation des fruits et légumes, les objectifs sont :

- un meilleur contrôle des procédés existants avec une optimisation renouvelée de la balance bénéfice – risque ;
- le transfert et la mise au point de technologies innovantes en vue de l'élaboration de procédés moins coûteux en énergie, moins consommateurs d'eau, plus respectueux des qualités nutritionnelles et organoleptiques des fruits et légumes, assurant une parfaite sécurité alimentaire.

La modélisation des impacts de chaque opération unitaire est un objectif identifié, pour, à terme, concevoir les transformations de façon générique et prévoir le devenir des différents phytomicronutriments et les dangers microbiologiques sans devoir répéter l'ensemble des essais technologiques (expérimentation *in silico*).

En ce qui concerne enfin les procédés d'extraction innovants, les objectifs généraux sont : I) de favoriser le développement de processus d'extraction efficaces et II) de réduire la consommation énergétique et les quantités de

solvants requises par le recours à des technologies innovantes. Il s'agit donc de garantir la qualité des produits finis et le respect de critères environnementaux.

### Eléments de programmation scientifique

#### **1) Conservation des fruits et légumes frais et de quatrième gamme**

On s'attachera entre autres à étudier les impacts des techniques de production, des systèmes de production, voire des effets terroirs, sur la conservation et la qualité des fruits et légumes frais et de quatrième gamme (collaboration avec l'axe 2a). Des études seront aussi menées sur les conditions de conservation, ainsi que sur le potentiel de certains traitements, en particulier de traitements réalisés au début de la phase de conservation, pour réduire la pression des maladies, pour stimuler les défenses naturelles et pour stimuler la production ou réduire la dégradation de phytomicronutriments au cours du processus de conservation. La possibilité d'influencer des critères de qualité attendus aux niveaux transformation ou extraction sera étudiée (lien avec les deux autres composantes de l'axe 2b). On cherchera aussi à ne pas simplement caractériser les produits en termes de concentrations en phytomicronutriments mais à aller vers des études d'effets biologiques en lien avec l'axe 3.

Les traitements envisagés portent notamment sur l'exploitation de la lumière UV et visible. Ils ne seront pas détaillés ici en raison de procédures de demandes de brevet en cours. Les phytotrons de la plateforme de contrôle de l'environnement (projet 3A) seront exploités notamment pour manipuler le spectre lumineux et la photopériode.

Au niveau méthodologique, on fera appel, en complément des outils et approches habituels, aux outils de génomique, à l'analyse des paramètres déduits des courbes d'induction de la fluorescence maximale de la chlorophylle *a* (outils de la plateforme de contrôle de l'environnement du projet 3A) et aux jeux de données générés par les outils de la plateforme de métabolomique. On cherchera en particulier à établir des corrélations avec les techniques de production et de conservation, et à faire émerger des critères composites et des signatures métaboliques ou associant données issues de l'analyse biochimique et marqueurs issus d'approches de génomique et de l'analyse des paramètres déduits des courbes d'induction de la fluorescence maximale de la chlorophylle *a*.

#### **2) Procédés de transformation des fruits et légumes**

On cherchera à mieux prédire ou diagnostiquer la composition des matières premières, dans une dimension « quantitative », pour déterminer leur capacité à atteindre des objectifs organoleptiques, nutritionnels ou de rendement d'extraction, mais également dans une dimension « d'hétérogénéité » : le développement des récoltes mécaniques (récolte unique) se traduit par une augmentation de l'hétérogénéité des productions du fait de l'étalement dans le temps des phénomènes de maturation (des fruits à plusieurs stades de maturation sont présents au même moment sur le même arbre). L'objectif ultime est d'identifier des itinéraires agronomiques et des ressources génétiques assurant aux productions dédiées à l'industrie une maturation complète (pour des objectifs quantitatifs) et groupée (pour en réduire l'hétérogénéité). Des collaborations entre l'UR PSH, l'UR GAFL, l'UMR SQPOV et l'UMR Qualisud se développent actuellement dans ce sens (liens entre axes 2a et 2b).

On cherchera à mieux comprendre et donc à mieux prédire la réactivité de la matière première, c'est-à-dire prévoir les résultats d'un procédé de transformation sur une matière première à partir de sa composition primaire ou de la mesure de marqueurs précoces (état d'une molécule, présence de volatils issus d'une dégradation, modification d'une couleur ou d'un spectre UV-visible...). Ici, les apports de la métabolomique mais également des outils de criblage à haut débit (infrarouge) et de la chimiométrie prennent tout leurs sens pour favoriser l'innovation et l'identification de marqueurs sans a priori.

On cherchera à mieux comprendre les stratégies d'adaptation des micro-organismes responsables des non-stabilités des produits transformés, mieux quantifier/prédire l'impact des opérations unitaires sur la décroissance de la flore microbienne des aliments à base de fruits et légumes (notamment par le biais de la modélisation), pour pouvoir proposer de nouvelles stratégies de stabilisation moins impactantes. La modélisation doit permettre de progresser vers un pilotage des procédés au plus près d'un bon équilibre bénéfice/risque.

On cherchera à mieux comprendre les mécanismes de pertes ou de modifications des micronutriments durant les procédés, revisiter les lois physiques inhérentes aux phénomènes afin d'en mieux connaître les barèmes précis ou les modéliser. La prise en compte de phénomènes souvent négligés comme la diffusion ou l'oxydation permet de réels progrès pour l'amélioration organoleptique et nutritionnelle des fruits et légumes transformés.

On s'attachera à mieux comprendre les interactions des phytomicronutriments avec la matrice à un niveau moléculaire, et la manière dont s'opère la chimie naturelles des réactions de stabilisation ou de protection, ceci afin

d'identifier des leviers au niveau des procédés qui peuvent, au besoin, libérer ou au contraire maintenir et protéger les molécules actives.

Enfin, nous visons à mieux comprendre et donc mieux définir la valeur nutritionnelle réelle des produits d'origine végétale, en intégrant les notions de biodisponibilité, d'accessibilité, de stabilité ou de réactivité des micronutriments actifs. L'impact d'un procédé n'est plus jugé uniquement sur des notions quantitatives (diminution des pertes en nutriments), mais également selon sa capacité à rendre les molécules bioactives plus disponibles pour interagir avec l'organisme (accessibilité des molécules variable suivant leurs interactions avec la matrice alimentaire) ou dans des formes chimiques plus réactives (meilleur pouvoir anti-oxydant par exemple). Des liens seront développés avec l'axe 3.

### 3) Procédés d'extraction

Pour améliorer l'identification de matières premières alliant « faible coût » et « richesse en molécules d'intérêts » (la valorisation de coproduits industriels prend ici tout son sens), on cherchera à :

- Définir des conditions de prétraitement de l'échantillon et des techniques d'extraction alliant rendement et protection des molécules cibles. Des leviers de progrès sont identifiés qui valorisent l'interaction entre les équipes « Qualité et procédés » et GREEN de l'UMR SQPOV ;
- Comprendre et rationaliser l'extraction par différents solvants en se basant sur la modélisation de la solubilité des molécules cibles en fonction de leurs propriétés chimiques, et ainsi proposer plus efficacement des itinéraires d'extraction innovants, utilisant des solvants alternatifs aux plus toxiques ;
- Définir des itinéraires plus efficaces et innovants, notamment en valorisant le savoir-faire de l'équipe GREEN, en pointe sur l'utilisation de protocoles d'extraction rapides, doux et écologiques mettant en jeu les ultrasons et les micro-ondes.

#### Les plus-values de TERSYS

Celles-ci apparaissent à différents niveaux :

**Une recherche avancée sur les modèles écophysiologiques de l'élaboration de la qualité des fruits frais (développés dans l'axe 2a).** Les sorties de ces modèles (rendement, mais aussi loi d'accumulations de nutriments et micronutriments) constituent les entrées des modèles de transformation, et devraient permettre, à terme de piloter plus finement les productions destinées à l'industrie. Miser sur l'interaction entre les axes 2a et 2b est une originalité dans le paysage de la recherche française et européenne.

**La proximité des recherches en extraction et en transformation (équipes GREEN et « Qualité et procédés » de l'UMR SQPOV).** La transformation peut permettre des prétraitements permettant l'amélioration du rendement d'extraction et de la qualité des opérations d'extraction. Inversement les produits naturels extraits peuvent pallier les défauts ou améliorer la qualité des produits altérés par la transformation.

**La plateforme de métabolomique.** Celle-ci, dans la mesure où elle permet le criblage systématique et non ciblé de marqueurs biochimiques, apportera un avantage considérable pour la recherche de marqueurs précoces liés à la composition ou à la réactivité des matières premières, de même que pour la recherche et l'identification de nutriments bioactifs et des formes chimiques les plus réactives ou pour la recherche de marqueurs liés au développement de flores pathogènes ou d'altération.

**L'arrivée des équipes de Qualisud** qui permet de renforcer nos recherches sur les procédés de transformation. L'intégration de Qualisud, bien qu'initiée sur des aspects de physiologie végétale (axe 2a), devrait progressivement également renforcer l'axe 2b.

**La proximité avec le LAPEC et l'UMR NORT** qui apportent des modèles pertinents et originaux d'étude *in vitro* de la valeur santé des produits végétaux (interaction axe 2b/axe 3).

### ***Axe 3: évaluation de la valeur-santé des produits frais et transformés en fonction de leur composition (aspects physiologiques et physiopathologiques, métaboliques et cardiovasculaires)***

Responsables: Catherine RIVA - Cyril REBOUL (LAPEC)

#### Partenaires

LAPEC, UMR SQPOV, UMR NORT, UMR IBMM

#### Mots-clés

Antioxydants, caroténoïdes, composés phénoliques, maladies cardiovasculaires, maladies métaboliques, métabolomiques, phytomicronutriments

#### Enjeux

Encourager la consommation de produits à base de fruits et légumes, frais ou transformés, issus de la production agricole régionale, représente un enjeu important pour les consommateurs et les producteurs. La qualité de ces produits, définie par une composition garantie en micronutriments et une faible teneur en résidus, doit cependant être confirmée par une évaluation rigoureuse de leur valeur nutritionnelle et de leur sécurité aux plans microbiologique et toxicologique. Le rôle de la SFR s'inscrit ainsi dans une démarche intégrée de Santé Publique en participant à la sensibilisation des citoyens à la qualité de leur alimentation et à la promotion d'aliments d'origine végétale sûrs, apportant des bénéfices micronutritionnels.

#### Contexte et objectifs

A la différence des micronutriments essentiels (vitamines, oligoéléments, certains caroténoïdes précurseurs de vitamine A) dont la valeur santé est reconnue (existence d'apports nutritionnels recommandés), le rôle des phytomicronutriments non essentiels de l'alimentation (polyphénols, la plupart des caroténoïdes...) sur la santé du consommateur demeure un objet de recherche.

De nombreux phytomicronutriments non essentiels sont reconnus comme des antioxydants importants, notamment pour leur capacité à protéger les lipides polyinsaturés de l'alimentation (acides gras de type oméga-3 et oméga-6) contre l'oxydation et ses conséquences : perte de lipides essentiels, saveurs indésirables (odeur de rance), accumulation de composés potentiellement toxiques (hydroperoxydes, époxydes et aldéhydes lipidiques) capables d'altérer les protéines de l'alimentation (abaissement de leur digestibilité et de leur valeur nutritionnelle), voire même de participer au développement de désordres fonctionnels cellulaires (dysfonction endothéliale, athérogenèse etc.) par insertion dans les LDL.

Les phytomicronutriments non-essentiels sont également dotés d'autres activités biologiques (ex.: activité anti-inflammatoire, effet hypotenseur, inhibition de l'agrégation plaquettaire) par leur action sur des cibles cellulaires et moléculaires et peuvent ainsi participer à la prévention, voire au traitement, de pathologies chroniques liées au vieillissement et à la « malbouffe ». Ainsi, une meilleure connaissance de la biodisponibilité des phytomicronutriments non essentiels et de leurs effets sur la santé devrait permettre aux agro-industries de promouvoir leurs produits et aux consommateurs d'avoir accès à des aliments de plus forte densité nutritionnelle. La validation des effets des phytomicronutriments sur la santé et l'élucidation des mécanismes d'action qui les sous-tendent représentent donc un enjeu majeur de recherche.

L'objectif majeur de l'axe 3 de TERSYS est d'évaluer l'impact des stratégies d'augmentation des apports en phytomicronutriments (en lien avec les produits issus de la production agricole régionale) sur la physiologie d'un tissu, d'un organe ou d'un organisme. L'approche retenue inclut l'évaluation du devenir des phytomicronutriments dans le tractus digestif (libération de la matrice alimentaire, transformation, activité antioxydante), la modulation de leur biodisponibilité (en fonction de leur structure et de leur environnement), leur métabolisation dans l'organisme, leur impact sur la physiologie d'organes cibles et plus généralement sur la santé humaine. Cette approche intégrative est permise par la collaboration des laboratoires de la SFR, couplant des compétences en chimie des antioxydants (UMR IBMM et UMR SQPOV), en biologie moléculaire et cellulaire du tractus digestif et du système cardiovasculaire, en physiologie expérimentale et études cliniques (UMR NORT, LAPEC).

## Méthodologie

Les nouveaux outils en cours d'acquisition dans le cadre du projet 3A seront mis à profit dans le développement des programmes collaboratifs.

En particulier, les compétences des chimistes en matière d'analyse chromatographique couplée à des spectromètres de masse performants seront mobilisées dans l'identification et la quantification des phytomicronutriments dans la matière végétale (extraits végétaux, compléments...), des composés néoformés dans l'aliment et des métabolites dans les tissus et les fluides biologiques. Il en va de même pour les marqueurs de stress oxydant (produits d'oxydation des lipides, protéines et ADN). Le nouvel appareil de résonance paramagnétique électronique (RPE) permettra l'étude du stress oxydant et des mécanismes antioxydants, y compris en milieu biologique complexe.

Par ailleurs, l'acquisition de nouveaux outils performants d'imagerie (VEVO 3100, VisualSonics, Vivid-I, GE) ainsi que d'un dispositif de laser speckle (Perimed) permettra une analyse fine et non vulnérante de l'impact de différentes stratégies nutraceutiques sur le fonctionnement du système cardiovasculaire en général et de la fonction endothéliale en particulier. Ces outils couplés au développement de l'animalerie et de la plateforme de physiologie expérimentale et humaine (projet 3A) autoriseront la conduite d'études pré-cliniques (rats, souris) et cliniques (accord-cadre avec le centre Hospitalier d'Avignon).

## Résultats scientifiques & impacts attendus

- Clarifier le rôle des phytomicronutriments dans le tractus digestif: bioaccessibilité, transformations enzymatiques et non-enzymatiques, protection des lipides polyinsaturés et des protéines du bol alimentaire contre l'oxydation. Les collaborations en cours (UMR SQPOV – LAPEC) doivent permettre d'étayer la validation in vivo de ces phénomènes et de plaider pour le développement de tests antioxydants pertinents modélisant le tractus digestif.
- Etayer les mécanismes cellulaires des phytomicronutriments (après absorption intestinale) et de leurs métabolites en lien avec la prévention des maladies métaboliques
- Accéder aux métabolites bioactifs des phytomicronutriments par voie chimique, voire, à l'avenir, par voie enzymatique ou en culture cellulaire, est incontestablement un atout pour progresser dans l'interprétation et la validation des mécanismes qui sous-tendent les effets sur la santé.
- Evaluer l'impact des phytomicronutriments sur la santé à différents niveaux du vivant, de la cellule (cellules intestinales, endothéliales, cardiomyocytes, adipocytes...) à l'organe isolé (artères, cœur, intestin), jusqu'aux effets in vivo dans des études pré-cliniques ou cliniques.

## Valorisation des résultats

Des publications communes (LAPEC - UMR SQPOV, LAPEC – UMR IBMM, LAPEC – UMR NORT) sont en cours d'élaboration.

L'objectif est non seulement de pouvoir publier au plus haut niveau des domaines « Cardiac & Cardiovascular Systems », « Endocrinology & Metabolism » et « Nutrition & Dietetics », mais aussi de générer de l'innovation via la participation au dépôt de brevets et/ou d'allégations santé.

## Exemples d'approches collaboratives en cours et prévues

- Collaboration UMR SQPOV – UMR NORT (thèse Tersys d'Aurélia Malapert) : impact de matrices à base d'oligo- et polysaccharides sur la biodisponibilité de phénols naturels (phénols de l'olive et du romarin).
- Collaboration UMR SQPOV – LAPEC (thèse de Gaëtan Boléa financée par la Fondation UAPV): évaluation de la capacité des polyphénols de la pomme à inhiber l'oxydation des lipides polyinsaturés au cours de la digestion. Ces travaux sont conduits en modèle in vitro (digesteur modélisant la dynamique de la digestion et les sécrétions dans le compartiment gastrique et l'intestin grêle). Ils vont se poursuivre sur un modèle animal (souris déficiente en Apolipoprotein E) afin d'évaluer l'impact de cette stratégie sur la préservation de la fonction endothéliale vasculaire et le développement du phénomène d'athérosclérose.
- Collaboration UMR Qualisud – LAPEC (projet Innoraisin financé par le CASDAR)  
Etude clinique de l'impact vasculaire d'un repas unique riche en matière grasse, couplé ou non à une supplémentation en raisins traités ou non avec des UV C afin de les enrichir en polyphénols. Dans une étude préliminaire (6 sujets), il a été montré que la supplémentation en raisin permet de limiter l'impact de ce type de repas sur la fonction endothéliale vasculaire. Des analyses métabolomiques (raisin et urine des sujets avant et après les 3 traitements) viendront compléter ces premiers résultats.
- Collaboration LAPEC – UMR NORT – UMR SQPOV (thèse de Julien Peyrol financée par la Région PACA)

De nombreuses études ont déjà démontré les effets protecteurs des polyphénols (et autres micronutriments non essentiels) sur certains organes cibles. Néanmoins, l'identification des métabolites à l'origine de ces effets bénéfiques fait souvent défaut. Or, de l'aliment aux tissus cibles, les polyphénols subissent de nombreuses modifications: oxydation possible dans le tractus digestif, catabolisme par le microbiote du côlon, conjugaison dans les cellules intestinales et hépatiques. Il apparaît dès lors essentiel de pouvoir déterminer quelles sont les molécules effectivement délivrées aux tissus et quelles peuvent être leur concentration et activité au niveau de ces tissus.

La thèse en cours porte sur l'étude du mode d'action de l'hydroxytyrosol (principal phénol bioactif de l'huile d'olive) et de ses O-arylglycuronides (principaux métabolites humains) sur la fonction vasculaire dans un contexte de diabète de type II.

- Collaboration LAPEC – UMR IBMM (financement par TERSYS)

L'objectif est d'améliorer la biodisponibilité de composés phénoliques naturels en les rendant plus lipophiles. Les effets biologiques des lipophénols (élaborés chimiquement par l'UMR IBMM) sur des artères isolées placées en conditions pro-oxydantes (hyperglycémie, traitement par l'hydroperoxyde de t-butyle) sont en cours d'étude.

### Travaux prochainement initiés

Collaboration LAPEC – UMR NORT (projet Vitadex soumis à la Région PACA pour financement d'une thèse, partenaire socio-économique: PME Vita-API)

Effets du régime méditerranéen riche en caroténoïdes (lycopène de la tomate) supplémenté en vitamine D dans le traitement de l'obésité et de ses complications métaboliques et cardiovasculaires. Cette approche expérimentale est couplée à une étude clinique prospective (étude Vidado) sur le rôle potentiellement bénéfique d'une approche intégrée associant un apport contrôlé en vitamine D et la pratique régulière d'une activité physique.

### Plus-value de TERSYS

La problématique de l'axe 3 de TERSYS est déjà au cœur de l'activité de recherche de l'UMR SQPOV, du LAPEC et de l'UMR NORT, en partie au travers des collaborations établies entre ces trois laboratoires (modèles communs, expérimentations partagées).

Pour autant, par ses programmes incitatifs (financement de « *start-up project* »), l'attribution annuelle d'un contrat doctoral et son animation scientifique, la SFR TERSYS offre des perspectives de renforcement de ces collaborations à court terme, avec une complémentarité tout à fait pertinente des approches et des expertises multidisciplinaires des équipes dans les domaines de la physiologie, la biologie moléculaire et cellulaire, la chimie et la biochimie.

Concernant l'animation scientifique, les animateurs de l'axe 3 souhaitent renforcer les échanges autour des thématiques propres à cet axe via l'organisation de séminaires communs (dans le cadre de l'invitation d'un scientifique extérieur) et d'une journée scientifique annuelle organisée autour de la présentation des résultats en cours ou des projets à court-terme.

## VALORISATION – IMPACT SOCIO ECONOMIQUE

Dans le précédent projet scientifique, les objectifs de valorisation faisaient l'objet d'un axe dédié (axe 4). Le manque de forces dans cet axe nous ont amené le supprimer et à confier la mission de valorisation et d'appui au développement économique au Conseil d'Orientation Stratégique de TERSYS.

La réunion du 5 juillet 2016 a permis de commencer à refonder les missions et le périmètre du COST.

Le COST doit favoriser le partage de problématiques scientifiques et techniques entre chercheurs et équipes de recherche d'une part, et entreprises et acteurs du développement d'autre part, avec l'objectif de susciter des projets collaboratifs, mutuellement profitables pour l'ensemble des partenaires. Le COST doit favoriser le transfert et la valorisation d'expertises, de résultats de recherche et d'innovations au profit d'un développement économique et social tout en limitant les impacts sur l'environnement. Il doit permettre aux acteurs économiques et de développement de faire remonter vers la recherche des demandes et des besoins. Inversement, le COST peut aider des chercheurs et des équipes de recherche à trouver des partenaires et des guichets pour financer leurs projets. Le COST peut aussi être un lieu où les partenaires se coordonnent pour faire entendre leur voix à l'échelon régional, national et européen.

Le COST peut donc être un lieu d'échanges privilégié pour accroître les liens et les collaborations entre chercheurs et entreprises. Mais le COST n'a pas vocation à se substituer aux outils de valorisation et de transfert existant déjà (les centres techniques, les pôles de compétitivité, les CRITT, les SATT, la Maison de la Recherche notamment). Même si le COST peut rendre des services, il doit éviter d'apparaître comme une couche supplémentaire au sein d'une nébuleuse recherche-développement déjà largement perçue comme excessivement complexe et encombrée.

Pour cela, le COST doit communiquer de manière claire sur le fait qu'il occupe un créneau particulier et qu'il se positionne normalement à une autre échelle supérieure à celle des chercheurs, des équipes et des unités de recherche. Il doit revendiquer d'être le lieu où se construisent de manière privilégiée :

### 1) les **collaborations pour lesquelles le dispositif de TERSYS apporte une plus-value incontestable par l'association de compétences transversales.**

On peut évoquer plusieurs pistes (la liste n'est pas limitative) :

- le développement de signes de qualité ou de marques territoriales fondés sur des critères de qualité intrinsèque des produits ET sur des critères de qualité environnementale, voire sociale ;
- le développement de nouvelles filières nécessitant la mise en œuvre de compétences multidisciplinaires, impliquant notamment les Sciences Humaines et Sociales ;
- la mise en place de démarches intégrées et innovantes depuis le champ jusqu'au produit transformé ou extrait, mobilisant des compétences en génétique, en agronomie, en pathologie végétale, dans le domaine des procédés, en biochimie etc. ;
- les démarches autour de la qualité micronutritionnelle lorsqu'elles ambitionnent d'aller jusqu'à la démonstration des effets biologiques.
- l'accompagnement de la transition agro-écologique tant au niveau agronomique, écologique que socio-économique.

La mise en place d'axes méthodologiques ou scientifiques transversaux, dans lesquels se retrouvent des chercheurs en provenance d'horizons très divers, devrait, pareillement, susciter l'intérêt d'un certain nombre d'entreprises et d'acteurs du développement incluant le développement durable. On pense ici à l'axe modélisation en émergence.

2) les **collaborations impliquant le recours aux plateformes gérées par TERSYS** : la plateforme de contrôle de l'environnement, la plateforme analytique, la plateforme de physiologie humaine et animale. Les outils acquis dans le cadre du projet 3A n'ont que marginalement vocation à servir à des prestations de service. En revanche, ils ont pleinement vocation à être utilisés dans le cadre de projets de recherche collaboratifs, associant chercheurs et

partenaires économiques, et conformes aux engagements qui ont été pris vis-à-vis de la Région, de l'Etat et de l'Europe.

Deux actions au moins doivent être engagées par le COST pour le redynamiser et pour répondre à l'objectif d'appui à ces collaborations :

- D'abord il paraît nécessaire de **développer une communication efficace en direction des entreprises et des réseaux de valorisation et de transfert existants**. D'une manière générale, il est admis que les acteurs du développement, parce qu'ils connaissent bien les filières et sont proches des entreprises, communiquent plus efficacement que les chercheurs. TERSYS ne doit donc pas chercher à développer une communication propre mais s'associer aux actions de communication des acteurs du développement et de leurs réseaux. Une communication bien pensée, menée par les acteurs du développement, autour du potentiel pour les entreprises des outils scientifiques et techniques de TERSYS devrait se révéler particulièrement efficace.
- Ensuite, il paraît indispensable d'**ouvrir le COST à de nouveaux membres**, avec deux idées maîtresses :
  - intégrer l'évolution du projet scientifique de TERSYS (émergence de la thématique de l'eau, élargissement du périmètre de TERSYS à des plantes d'intérêt économique autres que les fruits et les légumes, apparition de nouvelles compétences...) et la dynamique enclenchée par l'Université, l'INRA et le CNRS sur le site d'Avignon autour du développement des innovations et de la création d'entreprises innovantes ;
  - faire entrer les entreprises, en particulier celles qui partagent nos thèmes et qui sont aussi des moteurs du développement des innovations et de la création de jeunes pousses.

Parmi les entreprises et les organismes qui seront sollicités, on peut citer : Naturalia environnement, ECOlogy-MEDIation (ECOMED), Gautier semences, Naturex, COSMED, Christian Potier, la SATT Sud-Est...

A l'heure actuelle, le projet et la stratégie du COST n'ont pas été complètement arrêtés. Il appartiendra au COST élargi de poursuivre et surtout de concrétiser les réflexions engagées à l'occasion de la réunion du 5 juillet 2016.

## CONCLUSION

Le cadre général et les grandes lignes directrices du projet de TERSYS sont connus. Ils résultent des évolutions évoquées dans l'introduction de la partie projet ainsi que de l'analyse des forces/faiblesses, menaces/opportunités présentée dans la partie bilan. Toutefois, il est clair qu'un certain nombre de détails ne sont pas encore réglés. Différents chantiers ont été ouverts qui ne rendront leurs conclusions que fin 2016/début 2017.

A ce stade, nous pouvons être confiants dans notre capacité à intégrer la nouvelle thématique de l'eau, et à capitaliser sur nos acquis et sur nos nouveaux outils pour renforcer notre engagement dans les axes thématiques de la SFR. Nous sommes pareillement confiants concernant notre capacité à développer des axes transversaux ayant un fort pouvoir d'attraction vis-à-vis de notre communauté scientifique, notamment autour de la modélisation. Enfin, nous croyons que nos nouveaux outils et la dynamique engagée au niveau du Conseil d'Orientation Stratégique vont nous permettre d'aller plus loin dans nos liens avec nos partenaires économiques et de développement et d'accroître notre impact socio-économique. Nous sommes tout à fait conscients de l'intérêt qu'il y a pour notre propre dynamique à renforcer nos interactions avec les autres dynamiques existant par ailleurs sur le site d'Avignon dans les domaines de la formation (CMI en particulier), et de l'appui à l'innovation et à la création de jeunes pousses.

Le niveau d'implication, voire (si possible) d'intégration des Sciences Humaines et Sociales, que nous pouvons espérer atteindre, est encore difficile à évaluer à l'heure actuelle. Il est certain que nos besoins sont importants et que notre motivation est réelle pour construire des projets concrets, authentiquement pluridisciplinaires, c'est-à-dire ne se contentant pas de juxtaposer des compétences de manière opportuniste, mais dégagant des plus-values originales. Pour réussir à développer des projets à l'interface des sciences expérimentales, des mathématiques et des sciences humaines et sociales, il nous faudra accepter de tâtonner un peu. L'appui de chercheurs ayant de l'expérience avec ce type d'approche devra être recherché. Et il faudra sans doute procéder par étapes, avec des ambitions raisonnables pour commencer.

Au niveau régional, nous sommes fortement confiants dans notre capacité à répondre aux attentes du nouveau Schéma Régional de Développement Economique, d'Innovation et d'Internationalisation (SRDEII),

notamment dans le cadre de l'Opération d'Intérêt Régional (OIR) en émergence autour du thème *Naturalité et Alimentation de qualité*, issu du DAS Alimentation-santé.

Aux niveaux national et international, beaucoup reste à faire pour nous faire reconnaître sur nos thèmes centraux. L'objectif de positionnement au niveau national et à l'international de notre projet scientifique et de notre dispositif a été atteint de manière partielle. Très clairement, le déficit d'appels à projets ANR et européens sur nos thèmes centraux a, jusqu'à présent, limité notre capacité à faire reconnaître notre excellence et à développer des collaborations sur nos thèmes avec des équipes nationales et étrangères. La stratégie d'organisation de symposiums a porté des fruits mais il est certain qu'il nous reste du chemin à parcourir. Une réflexion doit s'engager au niveau des trois conseils de TERSYS pour construire, sur la base de l'expérience acquise, et en capitalisant sur nos nouveaux outils, une stratégie efficace de développement au national et à l'international.

Dans ce cadre il paraîtrait souhaitable de réfléchir avec nos tutelles et avec nos partenaires économiques et de développement les plus influents, à la manière dont nous pourrions influencer la programmation en amont au niveau de l'ANR et de l'Europe. Au regard de nos thèmes, très en phase avec les attentes de la société, nous pourrions aussi rechercher des appuis au niveau des représentants de la société civile. Là encore, nous gagnerions sans doute beaucoup à nous faire accompagner par des chercheurs en SHS. Nous pouvons certainement avoir l'ambition de profiter de l'appui que nous allons avoir à un niveau régional sur le thème de la naturalité et de l'alimentation de qualité pour en devenir, à un horizon de 5 ans, un acteur reconnu aux niveaux national et international.

Enfin, alors que les différences entre les projets scientifiques de TERSYS et de l'UMR Qualisud apparaissent comme un défi pour la pleine intégration de l'UMR Qualisud dans TERSYS, l'ouverture à l'international de l'UMR Qualisud, sa position au cœur du dispositif montpelliérain et de ses réseaux, son expertise élargie aux nombreuses questions soulevées par la problématique de la sécurité alimentaire, représentent probablement de grands atouts pour TERSYS. En clair, il paraît important que nous cherchions à exploiter nos liens privilégiés au sein de l'UMR Qualisud en mettant en avant nos images et nos forces spécifiques avec l'objectif de renforcer notre partenariat avec les acteurs du pôle montpelliérain et d'exploiter davantage nos complémentarités et nos synergies.

→ Voir annexes 1 & 2 à la suite du document

---

**Date et signature du responsable de la structure**

Avignon, le 22 septembre 2016

Laurent URBAN, Directeur de la SFR TERSYS



**Annexe 1. Liste des publications correspondant aux résultats marquants évoqués dans le bilan.**

Les noms en gras dans la liste des auteurs correspondent aux chercheurs membres de TERSYS. La liste des publications a été établie sur la base des retours obtenus des chercheurs qui ont estimé avoir bénéficié d'une aide de TERSYS.

**AXE 1 - Impacts de la mise en place de nouvelles techniques de gestion écopastorale***Articles (ACL)*

**Moinardeau C., Mesléard F., Dutoit T.** 2016. Using different grazing practices for increasing plant biodiversity in the dykes and embankments along the Rhone river (Southern France). *Environmental Management* (accepté).

*Article sans comité de lecture*

**Dutoit T., Moinardeau C., Rocher A., Mesléard F., Roux D., Brusson R., Beylier B.** 2015. Suivi des effets du pastoralisme dans la réserve de Donzère-Mondragon. *Le Courrier de la Nature*, **293**: 9-10.

*Congrès/symposiums*

**Dutoit T., Moinardeau C., Mesléard F.** 2015. Alternative grazing practices for the restoration and conservation of dykes and embankments plant communities in the Rhône Valley (Southern France). in "SER 2015, 6th World Conference on Ecological Restoration –Towards Resilient Ecosystems: Restoring the Urban, the Rural and the Wild". Manchester 23-27 August 2015. (communication orale)

**Moinardeau C., Dutoit T., Rocher A., Beylier B., Mesléard F., Roux D., Brusson R.** 2015. Le pastoralisme pour restaurer les communautés végétales des digues du Rhône (Donzère-Mondragon, Vaucluse-Drôme). in « Sixièmes Journées Ateliers du Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration (REVER6) », Université de Strasbourg, 03-04 mars 2015. (communication orale)

**Moinardeau C., Mesléard F., Roux D., Brusson R., Dutoit T.** 2016. Utiliser le pâturage pour restaurer et/ou conserver les communautés végétales des digues du Rhône. Premier bilan après deux années de suivi. in « Septièmes Journées Ateliers du Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration (REVER7) », Université de Bordeaux, 19-20 janvier 2016 (poster)

**Moinardeau C., Mesléard F., Roux D., Brusson R., Dutoit T.** 2016. Utiliser le pâturage pour restaurer et/ou conserver les communautés végétales des digues du Rhône. in « Cinquièmes Journées Ateliers du Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration (REVER5) », Université de Rouen, 05-06 Février 2014. (poster)

**AXE 1 - Approche multi-scalaire de la réhabilitation d'un site pollué***Articles (ACL)*

**Bulot A., Dutoit T., Rennuci M., Provost E.** 2014. A new transplantation protocol for harvester ant queens (Hymenoptera: Formicidae) to improve the restoration of species-rich plant communities in the future. *Myrmecological News*, **20** : 43-52.

**Bulot A., Potard K., Bureau F., Bérard A., Dutoit T.** 2016. Ecological restoration by soil transfer: impacts on organic matters and microbial activity. *Restoration Ecology* (sous presses).

**Bulot A., Provost E., Dutoit T.** 2014. A comparison of different soil transfer strategies for restoring a Mediterranean steppe after a pipeline leak (La Crau plain, South-Eastern France). *Ecological Engineering*, **71**: 690-702.

**Bulot A., Provost E., Dutoit T.** 2014. Transférer le sol pour restaurer des communautés végétales: quelles leçons pour mesurer la résilience des pelouses sèches ? (Plaine de La Crau, Sud-Est de la France). *Acta Botanica Gallica - Botany Letters*, **161**: 287-300.

**Bulot A., Provost E., Dutoit T.** 2016. Harvester ants (Hymenoptera: Formicidae) refuse piles turnover increase seeds density and seedlings species-richness in dry grasslands. *Myrmecological News* (sous presses).

**Dutoit T., Bulot A., Wolff A.,** 2015. Ecologiser le génie civil pour innover dans la restauration des écosystèmes : Le cas d'un chantier de réhabilitation d'une fuite d'hydrocarbures. *Sciences, Eaux et Territoires*, **17** : 12-16.

*Articles sans comité de lecture*

**Dutoit T.** 2014. Cinq ans déjà ! Premiers bilans de la fuite d'hydrocarbures en Crau. *Le Courrier de la Nature*, **283** : 14-17.

**Dutoit T.**, 2011. Fuite d'hydrocarbures en Crau : Mesures compensatoires, dernier acte d'une catastrophe patrimoniale ? *Le Courrier de la Nature*, **263** :7-9.

**Dutoit T.**, 2011. Il y a deux ans, une fuite d'hydrocarbures en Crau. *Espaces Naturels*, **35** : p 13.

#### Congrès/symposiums

**Bulot A.**, Bureau F., Bérard A. Potard K. & **Dutoit T.** 2014. Restauration écologique par reconstitution pédologique. Quels impacts sur le sol et la végétation trois ans après. in « *Cinquièmes Journées Ateliers du Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration (REVER5)* », Université de Rouen, 05-06 Février 2014. (communication orale)

**Bulot A.**, **Dutoit T.**, Rennucci M., Provost E. 2012. Les fourmis moissonneuses, outil pour une restauration écologique bio-inspirée. In « *Recherches bio-inspirées : une opportunité pour la transition écologique* ». MEDDE-MNHN, Paris 10 décembre 2012. (poster)

**Bulot A.**, **Dutoit T.**, Renucci M., Provost E. 2013. The harvester ant *Messor barbarus* as a new tool in ecological engineering: the case of the restoration of a dryland destroyed by an oil leak. in *5<sup>th</sup> World Conference on Ecological Restoration*. Madison, USA, October 6 - 11 2013. (communication orale)

**Bulot A.**, **Dutoit T.**, Renucci M., Provost E. 2013. Transplantation de la fourmi *Messor barbarus* comme nouvel outil en ingénierie écologique : cas de la restauration d'une pelouse sèche détruite par une fuite d'hydrocarbures. in « *Renforcement de populations : une gestion d'avenir pour les espèces menacées* ».CEN Picardie, Beauvais, 26- 28 août 2013. (communication orale)

**Bulot A.**, Provost E. **Dutoit T.** 2014. Les dépotoirs des fourmis moissonneuses (*Messor barbarus*) augmentent localement la richesse spécifique de la végétation des pelouses sèches méditerranéennes mais pas leur mémoire séminale ! in "*Dixième colloque en Ecologie des Communautés VEGétales*" (ECOVEG10), Université de Lyon, Lyon 09-11 avril 2014. (communication orale) (**Premier prix de la meilleure présentation orale pour un étudiant**).

**Bulot A.**, Provost E., **Dutoit T.** 2012. Premiers résultats de la restauration écologique d'une communauté végétale suite à un accident technologique : le cas d'un chantier de réhabilitation suite à une fuite d'hydrocarbures (Crau, Bouches-du-Rhône, France). in Huitième colloque en Ecologie des Communautés VEGétales (ECOVEG8), Université de Lorraine, Nancy, 28-30 mars 2012. (poster)

**Bulot A.**, Provost E., **Dutoit T.** 2012. Restauration écologique d'un chantier de dépollution d'une fuite d'hydrocarbures (plaine de la Crau, Bouches-du-Rhône, France). De l'ingénierie civile à l'ingénierie écologique. in *Rever4. Rêver et Analyser*. Université de Lyon, Lyon 06-07 novembre 2012. (communication orale)

**Bulot A.**, Provost E., Renucci M., **Dutoit T.** 2013. Soil tranfert for restoring plant communities: which lessons to measure the resilience of dry grasslands (Plain of La Crau, Southeastern France). in *56<sup>th</sup> IAVS Symposium*, Tartu, Estonia, 26-30 June 2013. (communication orale)

**Bulot A.**, Provost E., Renucci M., **Dutoit T.** 2011. La fourmi *Messor barbarus*, ingénieur de la restauration écologique de la pseudo-steppe de Crau ? in *Rever3. Rêver et s'associer*. Conseil Général de la Moselle, Metz, 3-4 février 2011. (poster)

**Bulot A.**, Provost E., Renucci M., **Dutoit T.** 2013. Transférer le sol pour restaurer des communautés végétales : quelles leçons pour mesurer la résilience de pelouses sèches (plaine de la Crau, Bouches-du-Rhône, France). in Neuvième colloque en Ecologie des Communautés VEGétales (ECOVEG9), Université François Rabelais, Tours, 03-05 avril 2013. (communication orale)

Bureau F. Potard K., **Bulot A.** Bérard A., **Dutoit T.** 2014. Restauration écologique par reconstitution pédologique : cas de la réserve naturelle des Coussouls de Crau impactée par une fuite d'hydrocarbures. In "*12<sup>èmes</sup> Journées d'Etude des Sols*". AFES, Le Bourget du Lac, 30 juin - 04 juillet 2014. (communication orale)

**Dutoit T.**, Buisson E., Coiffait C., **Bulot A.**, Jaunatre R. 2013. Réintroductions et renforcement de populations végétales pour la restauration écologique : premier bilan après dix années d'expérimentations dans la plaine de La Crau (Bouches-du-Rhône, France). in « *Renforcement de populations : une gestion d'avenir pour les espèces menacées* ».CEN Picardie, Beauvais, 26- 28 août 2013. (poster)

**Dutoit T.**, **Bulot A.**, Renucci M., Provost E. 2013. Restoring a Mediterranean steppe by using soil tranfert after a pipeline leak (Plain of La Crau, Southeastern France). in *5<sup>th</sup> World Conference on Ecological Restoration*. Madison, USA, October 6 - 11 2013. (communication orale)

Tanet J., **Bulot A.**, Provost E., Renucci M., **Dutoit T.** 2014. Les fourmis *Messor barbarus* sont-elles de bons indicateurs pour mesurer la résilience des écosystèmes après perturbations anthropiques ? Le cas de la plaine de Crau dans les Bouches-du-Rhône. in « *Cinquièmes Journées Ateliers du Réseau d'Échanges et de Valorisation en Écologie de la Restauration (REVER5)* », Université de Rouen, 05-06 Février 2014. (poster)

**AXE 2a - Effets des stress sur la qualité de la tomate***Articles (ACL)*

**Ripoll J., Urban L., Staudt M., Lopez-Lauri F.L., Bidel L.P. and Bertin N.** 2014. Water shortage and quality of fleshy fruits, making the most of the unavoidable. *Journal of Experimental Botany*, **65** : 4097-4117.

**Ripoll, J., Urban, L., Brunel, B. and Bertin, N.** 2015. Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. *Journal of Plant Physiology*, **190** : 26-35.

**Ripoll, J., Urban, L. and N. Bertin.** 2016. The potential of the MAGIC TOM Parental accessions to explore the genetic variability in tomato acclimation to repeated cycles of water deficit and recovery. *Frontiers in Plant Science*. Publié en ligne.

*Articles sans comité de lecture*

**Urban L., Staudt M., Ripoll J., Lopez-Lauri F.L. and Bertin N.** 2014. Less Can Make More - Revisiting Fleshy Fruit Quality and Irrigation in Horticulture. *Chronica Horticulturae*, **54** : 24-31. Article de commande.

*Congrès/symposiums*

**Ripoll J., Lecompte F., Nicot, P., Urban L. and Bertin N.** How to improve fruit quality and plant resistance ? Impacts of deficit irrigation at the plant and fruit scales ? Journée d'échanges scientifiques de la SFR TERSYS. 12 septembre 2013. Poster. Prix du meilleur poster.

**Ripoll, J., Urban, L., Brunel, B., L'Hôtel, J.C. and N. Bertin.** 2014. Impact of Water deficit on tomato fruit growth and quality depends on the fruit developmental stage. International Horticulture Conference 2014. Brisbane, 16-22 August 2014. Poster.

**Ripoll J, Urban L, Brunel B, Goujon A, L'Hôtel J-C, Causse M, Bertin N.** 2014. Combining Deficit Irrigation and Recovery Periods Can save Water and Maintain Yield and Fruit Quality in Tomato. EUCARPIA 2014 Avignon. Poster.

**Ripoll J, Urban L, Brunel B, Goujon A., L'Hôtel J-C, Causse M., Bertin N.** 2014. Variability of the genetic response of tomato during soil drying and repeated cycles of water deficit and recovery. Plant Biology Europe FESPB/EPSO Congress 2014, Dublin, Ireland, 22-26 June 2014. Poster + abstract.

**Ripoll J, Bertin N, Urban L.** 2015. Parameters derived from fluorescence induction curves are powerful tools for characterizing plant adaptive strategies to water deficit according to genotype and developmental stage. DROPS-Eucarpia Recent progress in drought tolerance: from genetics to modelling. 8-9 Juin 2015, Montpellier France. Poster+abstract.

**AXE 2a - Développement de la garance et d'une filière colorants naturels d'origine végétale***Congrès/symposiums*

**Mazzitelli, J.P., Benmessaoud, A., Mathe, C., Aarrouf, J., Urban L. and C. Vieillescazes.** 2015. Effect of UV-C and methyl jasmonate treatments on the biosynthesis of anthraquinones derivatives in *Rubia tinctorum*. INNOHORT international symposium, Avignon, 8-12 June 2015. Poster

**AXE 2b – Valorisation des co-produits d'origine végétale***Articles (ACL)*

**Aksamija, A., Polidori, A., Plasson, R., Dangles, O. and V. Tomao.** 2016. The inclusion complex of rosmarinic acid into  $\alpha$ -cyclodextrin: a thermodynamic and structural analysis by NMR and capillary electrophoresis. *Food Chemistry*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.008>

**AXES 2a et 3 – Impact des pratiques de pré et post-récolte sur la qualité micronutritionnelle des fruits et légumes***Articles (ACL)*

**Meyer G., Battault S., Meziat C., Gayrard S., Aarrouf J., Urban L.** 2015. Effects of low and high polyphenols content lettuce consumption on high fat diet induced metabolic syndrome and endothelial dysfunction. *Archives of Cardiovascular Diseases Supplements*, **7** :208-209.

**AXES 2b et 3 – Développement d'ingrédients naturels à visée nutraceutique***Articles (ACL)*

**A. Malapert., E. Reboul, M. Loonis, O. Dangles, V. Tomao.** Direct and rapid identification of phenolic compounds in two phase olive pomace by UHPLC-DAD-ESI-MS, Food analytical methods, en cours d'écriture.

*Congrès/symposiums*

**Malapert A., Reboul E., Dangles O., Tomao V.** 2016. *Valorization of olive oil by-product*, Journées Franco-Italiennes de Chimie, 25 – 26 Avril 2016, Avignon, France. Communication orale

**Malapert A., Loonis M., Reboul E., Dangles O., Tomao V.** 2016. Identification of phenolic compounds in two phase olive pomace by UHPLC-DAD-ESI-MS, 10èmes journées scientifiques du Réseau Francophone de Métabolomique et Fluxomique, 31 mai au 2 juin 2016, Montpellier, France. Communication orale.

**Malapert A., Reboul E., Tourbin M., Thiery A., Dangles O., Tomao V.** 2016. Complexes using food grade nanomaterials, 8èmes Journées Scientifiques du C'Nano-PACA, 25 au 27 mai 2016, Porquerolles, France. Poster.

**Malapert A., Reboul E., Thiery A., Dangles O., Tomao V.** 2016. Direct and fast identification of phenolic compounds in two phase olive pomace by UHPLC-DAD-ESI-MS, World Congress on Chromatography, September 21-23, 2016 Amsterdam, Netherlands. Poster.

**AXES 1 et 4 – Analyse de l'utilisation de la compensation écologique***Articles avec comité de lecture (ACL)*

**Calvet, C., Napoléone, C., Salles, J.-M.** 2015. The Biodiversity Offsetting Dilemma: Between Economic Rationales and Ecological Dynamics. *Sustainability*, 7: 7357–7378.

**Calvet, C., Ollivier G., Napoléone, C.,** 2015. Tracking the origins and development of Biodiversity Offsetting in academic research and its implications for conservation: A review. *Biological Conservation*, 192: 492-503.

**Dutoit, T., Calvet, C., Jaunatre R., Alignan J.F., Wolff A., Sauguet F., Bulot A., Buisson E., Debras J.F., Provost E., Napoléone C.** 2015. Première expérimentation de compensation par l'offre : bilan et perspective. *Sciences Eaux & Territoires*, 16: 64-68.

Jacob, C., Vaissière, A.C., **Calvet, C.** Bas, A. Exploring ecosystem services approach in biodiversity offset. *Ecosystem Services* (en révision).

*Articles sans comité de lecture*

**Calvet, C., Quétier, F.** 2014. La prise en compte de la biodiversité dans le contournement ferroviaire Nîmes-Montpellier : Qui fait quoi ? *Revue Espaces naturels*, 45: 23-25.

**Dutoit T., Oberlinkels M.** 2013. Compensation par l'offre : premier bilan de la réserve d'actifs naturels de Cossure (plaine de la Crau, Bouches-du-Rhône). *Le Courrier de la Nature*, 274 : 8-11.

*Chapitres d'ouvrages scientifiques*

**Calvet, C., Levrel, H., Napoléone, C., Dutoit, T.,** 2015. La Réserve d'Actifs Naturels : une nouvelle forme d'organisation pour la préservation de la biodiversité en France ? In Levrel, H., Frascaria-Lacoste, N., Hay, J., Martin, G., Pioch, S. (Eds.). *Restaurer La Nature Pour Atténuer Les Impacts Du Développement. Analyse Des Mesures Compensatoires Pour La Biodiversité*. Editions Quae, Versailles, 12 : 139–156.

**Calvet, C., Vaissière, A.C.,** 2015. Comparaison des cadres institutionnels américains et français pour la mise en œuvre des banques de compensation. In Levrel, Frascaria-Lacoste, Hay, Martin, Pioch (Eds.). *Restaurer La Nature Pour Atténuer Les Impacts Du Développement. Analyse Des Mesures Compensatoires Pour La Biodiversité*. Editions Quae, Versailles, 13 : 157–162.

**Calvet, C., Napoléone, C.,** 2013. Peut-on Protéger La Nature Par Des Mécanismes Marchands ? In Tatin, L., Wolff, A., Boutin, J., Colliot, E., **Dutoit, T.** (Eds.). *Écologie et Conservation D'une Steppe Méditerranéenne. La Plaine de Crau*. Editions Quae, Versailles, 16 : 246–265.

## Congrès/symposiums

Alignan J.F., Calvet C., Oberlinkels M., Jaunatre R., Buisson E., Debras J.F., Napoléone C., Dutoit T. 2012. Compensation par l'offre : 1er bilan de la Réserve d'actifs naturels de Cossure, dans la plaine de la Crau (13). *4<sup>e</sup> Conférence du Réseau d'Echanges et de Valorisation en Ecologie de la Restauration (REVER)*, Nov. 6-7, 2012, Lyon, France. (communication orale)

Calvet C. 2013. Challenges and limits of the mitigation bank scheme for conservation : evidence from a French empirical case-study. *Doctoral school of Ecological Economics and Institutional Dynamics, Center of Economics and Management Research of the University of Reims*, June 17-18, 2013, Reims, France. (communication orale)

Calvet C. Napoléone C., Dutoit T. Levrel H. 2015. Can we achieve the "no net loss" of biodiversity through mitigation bank system? Empirical evidences from the French experimentation. *in 27<sup>th</sup> International and 4<sup>th</sup> European Congress for Conservation Biology (ICCB-ECCB)*. Montpellier 02-06 August 2015. (communication orale)

Calvet, C. Levrel, H., Napoléone, C. 2013. An economic perspective on biodiversity offsetting: meaning and limits of the mitigation-banking scheme. *10<sup>th</sup> International Conference of the European Society for Ecological Economics (ESEE)*, June 18-21, 2013, Lille, France. (communication orale)

Calvet, C., Dutoit, T., Napoléone, C. 2014. Can habitat banking participate to the resilience of socio-ecosystems? A French case-study. *3<sup>rd</sup> International Science and Policy Conference of the Resilience Alliance Network*, May 4-8, 2014, Montpellier, France. (communication orale)

Calvet, C., Napoléone, C., Salles, J.-M., Levrel, H. 2013. An economic perspective on biodiversity offsetting: meaning and limits of habitat banking mechanism. *10<sup>th</sup> International Conference of the European Society for Ecological Economics (ESEE)*, June 18-21, 2013, Lille, France. (communication orale)

Le Coënt, P., Calvet, C., 2015. Challenges of achieving biodiversity offsetting through agri-environmental schemes: evidence from an empirical study. *9<sup>es</sup> Journées de Recherches en Sciences Sociales de la Société Française d'Economie Rurale (SFER)*, 10-11 Décembre, Nancy, France. (communication orale)

## Annexe 2. Liste des projets financés par TERSYS entre 2011 et 2016.

	Titre du projet financé	Porteur(s)/Bénéficiaires	Date d'attribution	Montant
1	Mesure et compréhension des mécanismes cardiovasculo-protecteurs de la consommation des laitues (...)	Pascal Laurant LAPEC, LPFL, UMR NORT	17 juin 2011	2 000 euros
2	Construction d'un réseau sur l'huile d'olive et ses effets sur la santé	Olivier Dangles UMR SQPOV, LAPEC, UMR NORT	17 juin 2011	1 500 euros
3	Ecole chercheurs autour des interactions biotique x abiotique chez les plantes horticoles	Nadia Bertin LPFL, UR PSH, UR GAFL, UR Pathologie Végétale	17 juin 2011	2 500 euros
4	L'ingénierie écologique au service de la réhabilitation des sites naturels impactés par des accidents technologiques	Thierry Dutoit UMR IMEP JF Debras UR PSH	17 juin 2011	1 500 euros
5	Des fourmis et des hommes	Thierry Dutoit UMR IMEP Claude Napoléone UR ECODEV	11 octobre 2011	3 000 euros
6	Projet de recherche transdisciplinaire	Guillaume Champy LBNC Marc Tchamitchian UR ECODEV	11 octobre 2011	4 500 euros
7	Labellisation d'une garance du Vaucluse	Cathy Vieillescazes UMR IMBE	2012	5 300 euros
8	Mode d'action des polyphénols de l'olive, l'hydroxytyrosol et ses glucuronoconjugués, sur la fonction vasculaire dans un contexte de diabète de type 2	Catherine Riva LAPEC	18 mars 2013	4 000 euros
9	Quelles implications des métabolismes carboné et secondaire dans la réaction d'une plante sous stress hydrique à l'attaque du champignon pathogène <i>Botrytis cinerea</i> ?	Félicie Lauri LPFL	18 mars 2013	4 000 euros

10	Antioxydants et modulation de la sensibilité du cœur à l'infarctus : Etude comparative entre antioxydants naturels et antioxydants de synthèse	Grégory Durand UMR IBMM et LAPEC	18 mars 2013	4 000 euros
11	Détection du radical monodehydroascorbate	Rebecca Stevens UR GAFL Grégory Durand UMR IBMM	28 janvier 2014	5 000 euros
12	Est-il possible d'augmenter la résistance de la laitue...?	Jawad Aarouf LPFL Marc Bardin UR Pathologie Végétale	28 janvier 2014	5 000 euros
13	Rôle des exo-protéines- <i>Bacillus Cereus</i>	Catherine Duport UMR SQPOV	28 janvier 2014	3 000 euros
14	Impact de la mise en place de nouvelles techniques de gestion écopastorale	François Mesleard UMR IMBE J.F. Debras UR PSH	28 janvier 2014	3 000 euros
15	Réhabilitation et valorisation d' <i>Inula montana</i>	David Roux LPFL	28 janvier 2014	3 000 euros
16	Déplacements des ennemis naturels entre végétation des bordures et intérieur des vergers : optimisation de l'approche bande fleurie pour un meilleur capteur des ravageurs	Armin Bischoff UMR IMBE Pierre Franck UR PSH	28 janvier 2015	5 000 euros
17	Etude des interactions qualité à la récolte – qualité du concentré de tomate : influence de l'irrigation	A-L.Fanciullino UR PSH David Page UMR SQPOV	28 janvier 2015	5 000 euros
18	Effets vasculaires et métabolomiques d'une supplémentation aigue en raisin de table)	Agnès Vinet LAPEC Laurent Urban UMR Qualisud	28 janvier 2015	5 000 euros
19	Effets préventifs de traitements à base d'antioxydants naturels et de synthèse sur le stress oxydant induit par activation des transporteurs de glucose SGLT lors d'une hyperglycémie aigue	Grégory Meyer LAPEC Grégory Durand UMR IBMM Guillaume Walter LAPEC	28 janvier 2015	5 000 euros
20	GC-MS data mining : développement d'un mode opératoire pour le traitement semi-automatique des analyses métabolomiques non-ciblées par GC-MS,	R.Lugan UMR Qualisud J.-C. Martin UMR NORT	28 janvier 2015	3 100 euros
21	Encapsulation d'antioxydants naturels dans des nanoparticules de B-cyclodextrine pour des applications agro-alimentaires	Valérie Tomao UMR SQPOV	28 janvier 2015	2 000 euros
22	Etude des propriétés antioxydantes des lipophénols sur modèles membranaire et biologique. Application à l'hyperglycémie aigue.	Grégory Meyer LAPEC Grégory Durand UMR IBMM	5 février 2016	4 150 euros
23	Etude de l'impact d'un dispositif innovant à base d'UV-C sur la composition en anthraquinones chez la garance. Evaluation des paramètres de fluorescence de la chlorophylle a comme marqueurs exploitables pour définir les doses efficaces.	Cathy Vieillescazes, Carole Mathe UMR IMBE L. Urban, Jawad Aarouf UMR Qualisud,	5 février 2016	4 710 euros
24	Effet des produits du métabolisme de <i>Bacillus cereus</i> sur la résistance à <i>Botrytis cinera</i> et <i>Oidium neolycoopersici</i> chez la tomate	Luc Dedieu UMR SQPOV, UMR Qualisud	5 février 2016	7 000 euros
25	Analyse internationale comparée des expériences de transitions agro-écologiques par la compensation écologique	Claude Napoléone UR ECODEV Thierry Dutoit UMR IMBE	5 février 2016	4 150 euros