

LES SUCCESS STORIES DE LA RECHERCHE PARTENARIALE



Carnot @INRAE

Les Carnot, un dispositif efficace pour innover
en partenariat dans les secteurs Agri Agro Aqua.

Sommaire

- 5** **Programme Carnot,
la recherche pour l'innovation des entreprises**
- 6** **Les 5 Carnot portés par INRAE**
 - 7** Carnot Plant2Pro
 - 8** Carnot France Futur Elevage
 - 9** Carnot Qualiment
 - 10** Carnot 3BCAR
 - 11** Carnot Eau & Environnement
- 12** **Success Stories**
 - 14** Biomonitoring actif « gammarets » pour l'évaluation de la qualité de l'eau
 - 16** MAGNUM
 - 18** Partenariat TBI-NEREUS : production d'engrais azotés à partir de digestat
 - 20** CANIDEA Idele
 - 22** Carembouche
 - 24** NextVitRoot
 - 26** Procédé d'eco-extraction sélective de biomolécules actives
 - 28** IDENA
 - 30** Développement des probiotiques de nouvelle génération
 - 32** DURA GBM : Evaluation de la durabilité des géomembranes bitumineuses modifiées
 - 34** Bioraffinage de la coriandre à l'aide de la technologie bi-vis
 - 36** EoleProtect
 - 38** Partenariat LBE-GRDF : les CIVE et la méthanisation
 - 40** REUSE : Des projets de recherche pour accélérer le déploiement de solutions innovantes
 - 42** OrganoPig
 - 44** Développement de voies de valorisation innovantes de co-produits de l'industrie textile



Le programme Carnot



La recherche
pour l'innovation
des entreprises

Créé en 2006 le label Carnot a vocation à développer la recherche partenariale, c'est-à-dire la conduite de travaux de recherche menés par des laboratoires publics en partenariat avec des acteurs socio-économiques, principalement des entreprises (de la PME aux grands groupes), en réponse à leurs besoins.

La recherche partenariale constitue un levier important pour l'économie en favorisant l'innovation des entreprises, gage de compétitivité et de croissance.

Les Carnot sont des outils performants pour soutenir la compétitivité des secteurs économiques en accélérant l'innovation et le transfert des résultats scientifiques.

INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) porte 5 Carnot - Plant2Pro, France Futur Elevage, Qualiment, 3BCAR et Eau & Environnement - reconnus pour leur professionnalisme et engagés dans des partenariats avec les acteurs socioéconomiques.

Les Carnot 3BCAR, France Futur Élevage, Qualiment et Plant2Pro sont certifiés ISO 9001 depuis 2015 pour la qualité de gestion des contrats de recherche avec les entreprises.

Vous trouverez dans ce document des exemples de projets remarquables, soutenus par ces 5 Carnot qui déploient une offre de R&D pour permettre aux entreprises des secteurs Agri Agro Aqua de relever les défis du changement climatique et des transitions agroécologique, alimentaire et énergétique, et leur permettre de contribuer à la préservation et à la gestion durable de la ressource eau.

A microscopic image of plant tissue, likely a leaf cross-section, showing a grid of cells. Several circular structures, possibly stomata or specialized cells, are highlighted in yellow and blue. A teal circle is overlaid on the center of the image, containing the text 'Les Carnot portés par INRAE' in white.

**Les Carnot
portés par
INRAE**

R&D pour la transition agroécologique des productions végétales



Les thématiques de recherche

- Génétique et sélection variétale
- Protection et nutrition des plantes
- Systèmes agroécologiques résilients : conception, déploiement et évaluation multi-échelle

Les composantes

16 unités de recherche

- UMR IGEPP (Rennes)
- UMR SAVE (Bordeaux)
- UMR EGFV (Bordeaux)
- UMR IJPB (Ile-de-France)
- UMR GQE (Ile-de-France)
- UMR IPS2 (Ile-de-France)
- UMR Agronomie (Ile-de-France)
- UMR GDEC (Clermont-Ferrand)
- UR TSCF (Clermont-Ferrand)
- UMR Agroécologie (Dijon)
- UMR ISA (Sophia Antipolis)
- UMR AGIR (Toulouse)
- UMR LIPME (Toulouse)
- CNRGV (Toulouse)
- UMR LEPSE (Montpellier)
- UMR ITAP (Montpellier)

3 instituts techniques agricoles

- Arvalis : institut de recherche appliquée agricole dédié aux grandes cultures
- Terres Inovia : institut technique de la filière des huiles et protéines végétales et de la filière chanvre
- IFV : institut français de la vigne et du vin

Les tutelles



Chiffres clés

1250

Personnel de recherche

22M
€

Recettes contractuelles

831

Publications de rang A

Votre partenaire de R&D pour un élevage durable et responsable



Les thématiques de recherche

- Pratiques d'élevage
- Génétique & reproduction
- Santé
- Approches socio-économiques
- Transition numérique

Les composantes

15 unités mixtes de recherche

- UMR 0892 VIM
- UMR 0083 BOA
- UMR 0085 PRC
- UMR 1198 BREED
- UMR 1213 HERBIVORES
- UMR 1225 IHAP
- UMR 1282 ISP
- UMR 1300 BIOEPAR
- UMR 1309 ASTRE
- UMR 1313 GABI
- UMR 1331 TOXALIM
- UMR 1348 PEGASE
- UMR 1388 GENPHYSE
- UMR 1419 NUMEA
- UMR 1436 INTHERES

1 unité expérimentale

- UE 1277 - Plateforme d'Infectiologie Expérimentale

3 instituts techniques

- Institut de l'Élevage
- Institut du Porc
- Institut Technique de l'Aviculture, de l'Aquaculture, de la Cuniculture

Les tutelles



Chiffres clés

1298 Personnel de recherche

13M € Recettes contractuelles

841 Publications de rang A

La porte d'entrée pour les entreprises
vers la recherche en alimentation humaine, pour des aliments mieux
produits, mieux construits, mieux perçus et mieux adaptés



Les thématiques de recherche

- Nouvelles protéines, ferments fonctionnels et probiotiques
- Usine agro-alimentaire du futur, évolution de la demande sociétale
- Alimentation pour des populations spécifiques, qualité nutritionnelle et sensorielle

Les composantes

10 unités de recherche et UMR

- CSGA (Dijon)
- GEPEA - Équipe MAPS² (Nantes)
- MétaGénoPolis (Jouy-en-Josas)
- Micalis - Équipe ProbiHôte (Jouy-en-Josas)
- PAM (Dijon)
- PNCA (Saclay)
- SAYFOOD (Saclay)
- SQPOV (Avignon)
- STLO (Rennes)
- UNH (Clermont-Ferrand)

2 centres techniques

- CTCPA
- SAYENS (Dijon)

Les tutelles



Chiffres clés

690 Personnel de recherche

7,5M € Recettes contractuelles

1000 Publications de rang A

Innover et soutenir l'émergence de la bioéconomie,
grâce aux biotechnologies et la chimie verte



Les thématiques de recherche

- Production de biomasse
- Fractionnement & bioraffinerie
- Synthons & fonctionnalisation
- Formulation & mise en forme

Les composantes

- BBF (Marseille)
- CRITT Bio-industrie (Toulouse)
- CRITT CATAR (Toulouse)
- CRITT GPTE (Toulouse)
- ECOSYS (Saclay)
- FARE (Reims)
- IATE (Montpellier)
- IJPB (Versailles)
- ITERG (Bordeaux)
- LBE (Narbonne)
- LCA (Toulouse)
- LCPO (Bordeaux)
- LGC (Toulouse)
- LPCV (Grenoble)
- METYS (Narbonne)
- PROSE (Antony)
- TBI (Toulouse)
- TWB (Toulouse)

Les tutelles



Chiffres clés

580

Personnel de recherche

12,7 M€

Recettes contractuelles

614

Publications de rang A

Votre partenaire R&D pour répondre aux enjeux de l'eau



Les thématiques de recherche

- Surveillance de la qualité de l'eau
- Optimisation des infrastructures
- Constitution de nouvelles ressources
- Gestion des risques naturels

Les composantes

11 unités de recherches et UMR

- HYCAR (Antony)
- EABX (Bordeaux)
- ETTIS (Bordeaux)
- HSM (Montpellier)
- CEREGE (Aix-en-Provence et Marseille)
- RECOVER (Aix-en-Provence)
- IGE (Grenoble)
- RIVERLY (Lyon)
- REVERSAAL (Lyon)
- DEEP (Lyon)
- CARTEL (Thonon-les-Bains)

1 Centre technologique

- IFTS (Agen)

Les tutelles





INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON




Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE




Aix Marseille Université



Chiffres clés

400

Personnel de
recherche

3M
€

Recettes
contractuelles

700

Publications
de rang A



**Success
stories**



©INRAE



©INRAE

Biomonitoring actif « gammares » pour l'évaluation de la qualité de l'eau

Deux chercheurs du Carnot Eau & Environnement ont créé un outil de biosurveillance qui permet de surveiller et détecter la contamination et la toxicité des cours d'eau. Cet outil a donné lieu à la création d'une start-up, puis à la signature d'un Laboratoire Partenarial Associé.

Contact : carnot-eauetenvironnement@inrae.fr

Porteurs scientifiques : Arnaud CHAUMOT (arnaud.chaumot@inrae.fr)

Olivier GEFFARD (olivier.geffard@inrae.fr)

Composantes impliquées : Laboratoire d'écotoxicologie de l'unité RIVERLY (INRAE)

L'eau est reconnue comme un bien commun dont la qualité doit être préservée pour assurer durablement la diversité de ses usages en réponse aux besoins anthropiques et écologiques.

Les travaux menés au sein du laboratoire d'écotoxicologie de l'unité RIVERLY depuis 2005 ont abouti à une méthodologie de biosurveillance active qui a bénéficié d'un écho favorable chez les gestionnaires des milieux aquatiques. C'est dans ce contexte que le transfert opérationnel de ces méthodes a été opéré via la création et l'hébergement initial à INRAE de la société Biomæ, en 2014, facilité par un financement du Carnot Eau & Environnement.

Utiliser les gammares pour évaluer la contamination chimique et les effets toxiques des micropolluants présents dans les milieux aquatiques

Des bioessais réalisés à partir d'une crevette d'eau douce polluosensible non-invasive appelée gammare, permettent de surveiller la qualité des eaux. Ces gammares, issus d'un élevage contrôlé, sont engagés pour être exposés directement dans le milieu naturel plusieurs jours au contact des micropolluants. Ils sont ensuite rapatriés au sein du laboratoire pour y être analysés.

Une large diversité d'application pour les partenaires socio-économiques

Les bases de données élaborées via l'utilisation de ces bioessais, uniques en écotoxicologie, favorisent les échanges fructueux entre le laboratoire d'écotoxicologie, l'OFB et les Agences de l'eau, et contribuent à des avancées scientifiques significatives. Elles ont débouché sur la normalisation française (Afnor) de plusieurs de ces bioessais, ainsi qu'à la formalisation et la publication d'un nouveau brevet méthodologique aujourd'hui sous contrat d'exploitation par la société BIOMÆ.

Collectivités et entreprises peuvent également bénéficier de cette solution dans le cadre de la réalisation d'études d'impact des rejets ou pour l'élaboration de programmes de surveillance du milieu. En 2023, la solution avait été déployée sur 7000 sites au niveau européen.

Les données acquises sont par ailleurs intégrées dans la base de données nationale Naïades :
<https://naiades.eaufrance.fr/>

Poursuivre la collaboration pour répondre à de nouveaux objectifs en écotoxicologie aquatique

En octobre 2023 a été signé le contrat de collaboration de Recherche & Développement entre INRAE et Biomae. Ce contrat lie les deux partenaires pour les 4 prochaines années (2023-2026) autour d'un programme de recherche et technologique partagé et la mise en commun des moyens matériels et humains pour mettre en œuvre ce programme scientifique.

L'objectif du LPA est de développer et valider de nouvelles applications de diagnostic écotoxicologique chez le gammare avec l'ambition de proposer de nouveaux bioessais et d'accélérer le déploiement des outils « gammare » en France et en Europe.



Biomae, c'est au départ une aventure entrepreneuriale démarrée à la suite des travaux de recherche du laboratoire d'écotoxicologie d'INRAE dirigés par Olivier Geffard et Arnaud Chaumot. Merci pour leur confiance. Une aventure humaine aussi au cours de laquelle j'ai rencontré mon associé Laurent Viviani, pas loin de 200 collaborateurs qui ont contribué au développement du laboratoire, des investisseurs, un écosystème public/privé qui a permis de lever des fonds, de gagner en visibilité et d'accélérer l'industrialisation de cette innovation. Lors de ce parcours, le Carnot a contribué au lancement de ce projet, notamment en finançant à l'INRAE mon recrutement ; ce qui m'a permis d'initier la création de la société Biomae.

Guillaume JUBEAUX,
cofondateur, codirigeant,
en charge de la direction de la technologie
de BIOMAE



MAGNUM

Soutenu par le Carnot Plant2Pro, le projet MAGNUM a contribué à fédérer scientifiques et partenaires socio-économiques pour développer des innovations de rupture permettant de limiter les intrants chimiques de synthèse en agriculture.

Contact : plant2pro@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Christophe MOUGEL (christophe.mougel@inrae.fr)

Composantes impliquées : UMR IGEPP et UMR Agroécologie

La transition agroécologique s'appuie sur les régulations naturelles des systèmes agricoles, pour des productions plus durables. Au sein du Carnot Plant2Pro, le projet de recherche MAGNUM étudie le rôle de la génétique de la plante dans le recrutement de communautés microbiennes d'intérêt.

Ces recherches permettent d'ouvrir des pistes vers de nouvelles solutions basées sur les interactions plante-microbiotes en santé et nutrition des plantes, sans apport d'intrants chimiques. Un axe clé pour la souveraineté de notre système alimentaire !

Le microbiote des plantes, un potentiel à explorer

Positionné sur un terrain de recherche totalement inexploré jusqu'il y a peu, le projet MAGNUM (2018-2021) combine les compétences de deux communautés de recherche différentes : la génétique et l'amélioration des plantes, et l'écologie microbienne. Son objectif de recherche est d'explorer les bases génétiques des interactions entre le génotype de la plante et le microbiote associé à ses racines, afin d'améliorer.

Interactions plante x microbiote : une large diversité d'application pour nos partenaires socio-économiques

Comprendre comment le génotype de la plante influe sur la sélection d'une diversité d'espèces microbiennes dans la zone du sol qui entoure les racines, et quels sont les déterminants (régions génomiques/gènes) impliqués côté plante permet :

- d'orienter des schémas de sélection variétale, vers des génotypes de plante à même de recruter des communautés microbiennes bénéfiques dans leurs rhizosphères.
- de développer des produits microbiens (cocktails de souches) de biocontrôle & de biostimulation adaptés à la diversité des génotypes de plantes commercialisés (et à développer!).
- d'apporter de nouveaux éléments pour le conseil agricole, notamment concernant l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité microbienne des sols.

Des segments d'innovation clés pour les industriels de la sélection variétale, du biocontrôle & de la bio-stimulation, du conseil agricole, mais également directement à l'échelle des agriculteurs et coopératives.

Un projet de recherche ambitieux pour des preuves de concept en partenariat public-privé

Le projet Plant2Pro MAGNUM a contribué à structurer une communauté de recherche pluridisciplinaire prête à combiner leurs expertises sur le long terme.

Ensemble, les équipes impliquées dans le projet MAGNUM ont fédéré d'autres unités (une dizaine au total !) pour agréger de nouvelles compétences, en mathématiques, agronomie et microbiologie et phytopathologie notamment, et co-construire un projet ambitieux lauréat de l'appel à projet du Programme Prioritaire de Recherche « Cultiver et Protéger Autrement ».

Intitulé « DeepIMPACT » pour « Deciphering Plant-Microbiota interactions to enhance crop defenses to pests », ce projet bénéficie d'un financement de 3M€ sur 6 ans (2021-2027).

Objectif visé : identifier, caractériser et valider les communautés microbiennes & végétales et les pratiques agricoles modulant la résistance du colza et du blé à différents bioagresseurs.

Partenaire socio-économique impliqué :

Pour intégrer plus rapidement ce nouveau terrain de recherche dans ses programmes de sélection, le groupe semencier Limagrain, une coopérative agricole française active à l'échelle internationale, s'est engagé dans une thèse CIFRE à lancer en 2025 avec le laboratoire porteur du projet MAGNUM pour identifier les régions génomiques de la plante impliquées dans l'interaction avec le microbiote et qui confèrent une tolérance à la fonte de semis chez deux espèces cultivées, le blé et le colza.



Le projet collaboratif DeepImpact incarne les trois axes majeurs de l'accord-cadre renouvelé entre Limagrain et INRAE, axés sur les pratiques agricoles et l'amélioration végétale. Face aux défis posés par le changement climatique, l'impératif de mobiliser la génétique végétale et les services écosystémiques associés est plus pressant que jamais. Progresser dans notre compréhension des interactions plante-holobionte doit nous permettre de mieux anticiper notre sélection variétale qui reste notre cœur de métier. Enfin, notre engagement dans DeepImpact reflète notre volonté de promouvoir l'émergence de jeunes talents dans la recherche agronomique.

François TORNEY,
Directeur Affaires Scientifiques et
Développement de l'Innovation,
Limagrain





Partenariat TBI-NEREUS : production d'engrais azotés à partir de digestat

Développement d'une nouvelle filière de production d'engrais azotés à partir de digestat, sous-produit de la production de biogaz par méthanisation. Ce partenariat a permis la création d'un savoir-faire nouveau sur un procédé d'extraction de l'azote ammoniacal à travers des membranes hydrophobes, et d'une nouvelle filière combinant nanofiltration et TMCS.

Contact : 3bcar@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Mathieu SPERANDIO (sperandio@inrae-toulouse.fr)

Composantes impliquées : TBI, UMR 792, (INSA Toulouse / INRAE / CNRS)

L'objectif de l'entreprise NEREUS est de proposer des solutions technologiques pour une meilleure gestion circulaire de l'eau et des nutriments issues des eaux usées et des digestats de méthanisation. L'entreprise a une compétence particulière sur les procédés membranaires.

Dans le projet de recherche mené en collaboration entre NEREUS et TBI depuis 4 ans, ([projet OMIX financé par la région Occitanie, puis soutien ADEME](#), et d'autres projets en collaboration directe avec NEREUS), les équipes ont cherché à développer une technologie permettant de fractionner les digestats par des techniques de nano-filtration (NF) et produire de l'eau réutilisable. Le procédé d'extraction de l'azote ammoniacal à travers des membranes hydrophobes (Transmembrane Chemical Absorption, TMCS) a permis d'entrevoir un savoir-faire nouveau et une nouvelle filière combinant la NF et le TMCS.

Du laboratoire à l'échelle industrielle

En 4 ans, en démarrant à partir d'une première installation de laboratoire, un pilote de taille semi industrielle a été conçu et maîtrisé. Les équipes ont ainsi pu optimiser les conditions opératoires de température, pH, débit, et étudier l'effet de la salinité des effluents.

Les travaux développés ont permis d'élaborer un modèle global qui permet d'évaluer le changement d'échelle de la technologie en partenariat avec le CRITT GPTE avec l'identification des conditions opératoires permettant de maximiser l'efficacité de récupération d'ammoniac et de minimiser la demande en énergie primaire. A la fin de la thèse, soutenue en février 2023, l'entreprise était ainsi prête à concevoir la première installation réelle industrielle (35 m³/j) qui permettra de produire un fertilisant recyclé (nitrate d'ammonium) à partir d'un digestat de méthanisation. Le partenariat se poursuit avec de nouvelles collaborations de recherche sur problématiques rencontrées à l'échelle industrielle.

L'enjeu de la production de fertilisant azoté recyclé

Irene González Salgado a été embauchée par la société NEREUS et participe au développement de cette nouvelle activité pour l'entreprise. Il est exceptionnel qu'un projet débutant au laboratoire à une petite échelle, débouche en 4 ans, à une installation mature. L'enjeu de la production de fertilisant azoté recyclé, pour substituer les fertilisants chimiques (issu du procédé Haber Bosch) est considérable pour la France qui consomme plus de 2 millions de tonnes d'azote. En effet, la France est actuellement totalement dépendante pour sa production agricole et alimentaire des importations d'engrais. C'est une dépendance également énergétique puisque cet engrais azoté est produit grâce au gaz naturel fossile dans le procédé Haber Bosch.

Cet enjeu du recyclage de l'azote est devenu une priorité européenne également, comme en témoigne le récent événement organisé à Bruxelles par l'ESPP. Le triplement du coût des engrais depuis deux ans y est très certainement lié... Le marché est en pleine expansion, et grâce à ce savoir-faire sur la technologie TMCS, NEREUS est la première PME française à proposer une installation de ce type.

Le Grand prix Carnot de la recherche partenariale 2023 pour TBI

Ces travaux ont été récompensés lors des Rendez-vous Carnot 2023. Le 18 octobre 2023, Irene González Salgado, ex-doctorante dans l'équipe Symbiose de TBI, membre du Carnot 3BCAR, a reçu le prix "Partenariat mené par une jeune chercheuse ou un jeune chercheur" du Réseau des Carnot pour son travail avec la société NEREUS - Sustainable water recycling.

La cérémonie a eu lieu dans le cadre des Rendez-vous Carnot, organisés à Lyon les 18 et 19 octobre, qui rassemblent l'écosystème français de la recherche partenariale sous l'égide du Réseau des Carnot.

Elle a également reçu le Grand Prix Carnot de la recherche partenariale le 16 novembre 2023, à l'occasion du Grand Forum des Stratégies d'Innovation « Souveraineté technologique et réindustrialisation des territoires », co-organisé avec le Club de Paris des Directeurs de l'Innovation.



**Retrouvez l'interview
de Guillaume Nourrit,
Directeur Innovation &
Développement de NEREUS
et Irene González Salgado
Ingénieure et Lauréate du
prix Carnot de la Recherche
Partenariale**



**Ecoutez le podcast
sur le partenariat entre TBI,
membre du Carnot 3BCAR
(Bioénergies, Biomolécules et
matériaux Biosourcés) et la société
NEREUS, spécialisée dans les
procédés membranaires utilisés
dans le traitement des eaux usées
et des effluents industriels
et agricoles**



CANIDEA Idele

Soutenu par le Carnot France Futur Elevage, le projet CANIDEA Idele, avec l'implication des acteurs impliqués dans le développement de l'utilisation de chiens de conduite de troupeaux, a permis de mettre au point un test d'évaluation des aptitudes naturelles de ces chiens en vue d'améliorer leurs performances de travail par la sélection génétique.

Contact : contact@francefuturelevage.fr

Porteurs scientifiques : Barbara Ducreux, Institut de l'Elevage (IDELE)
(barbara.ducreux@idele.fr)

Composantes impliquées : Institut de l'Elevage (IDELE), UMR GenPhySE (INRAE)

Le chien de conduite de troupeau (CCT) est aujourd'hui un partenaire de travail précieux des éleveurs d'animaux de rente (bovins, ovins, caprins, etc.). L'utilisation d'un CCT résulte d'un subtil équilibre entre ses aptitudes naturelles (sa génétique, l'inné) et son dressage (l'acquis, délivré par son maître), dont la proportion n'est pas encore identifiée.

Tous les chiens, même s'ils sont issus de races prédisposées pour conduire les troupeaux (Border-Collie, Beauceron, Berger des Pyrénées), n'ont pas les mêmes aptitudes naturelles. Certains ont des aptitudes très limitées malgré leur race bergère alors que d'autres présentent l'intérêt de nécessiter moins de compétences de la part de l'utilisateur pour être dressés, grâce à leurs séquences comportementales spontanées en adéquation avec comportement des animaux manipulés : ces chiens sont dits "à valeur d'usage recherchée".

Une première étape vers un programme de sélection génomique pour les chiens de conduite de troupeau à usage professionnel en ferme

Face à l'enjeu de sécuriser le choix du chien, son dressage et son utilisation par les éleveurs (rentabilité de l'investissement), le projet CANIDEA Idele a permis de définir un test d'évaluation des aptitudes naturelles d'un CCT, simple, fiable et répétable ainsi que sa grille de notation, et d'identifier les critères comportementaux discriminant les CCT à valeur d'usage recherchée.

Un projet novateur déjà reconnu et récompensé pour son excellence

Le projet a permis de définir un test d'évaluation et sa grille de notation à partir de la cohorte importante de chiens testés : 536 chiens, dont 460 de race Border-Collie. Le projet a été honoré lors de plusieurs événements : il a reçu le Sommet d'Or au Sommet de l'Elevage 2022 ; le prix de la meilleure présentation lors du congrès international EAAP 2023, a été présenté au congrès de la Société Française pour l'Etude du Comportement Animal et il a fait l'objet d'un article scientifique paru dans la très réputée revue scientifique Journal of Animal Science.

CANIDEA Idele : un partenariat qui ne fait que commencer

Ce projet a réuni de nombreux partenaires tels que la Fédération des Utilisateurs de Chiens de Troupeau (FUCT), l'Association Française du Border Collie (AFBC), la Société Centrale Canine (SCC), l'Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort (ENVA) ainsi que le CNRS et l'Université de Rennes.

Il a permis de construire un partenariat innovant entre acteurs de la génétique des ruminants, acteurs de la filière canine et membres du Carnot France Futur Elevage (IDELE et INRAE) en vue de déployer un nouveau dispositif de sélection des chiens de conduite de troupeau. Convaincus de l'intérêt de la démarche engagée, ces partenaires se sont de nouveau mobilisés pour répondre à un appel à projet afin d'étudier la faisabilité de mettre en place un programme de sélection génomique pour les chiens de conduite de troupeau à usage professionnel, inspiré des modèles ruminants.

A terme, ce programme de sélection, s'il s'avère réalisable et intéressant pour les acteurs, devrait permettre de continuer ou d'offrir de nouvelles opportunités de collaboration.

Les partenaires



Pour en savoir plus



Carembouche

Basée sur un brevet déposé suite à un projet de ressourcement Qualiment, Carembouche utilise les pouvoir du microbiote pour favoriser la prise alimentaire chez des personnes âgées et prévenir leur dénutrition. Carembouche a pour ambition de créer les premiers compléments nutritionnels oraux riches en probiotiques

Contact : qualiment@inrae.fr

Porteurs scientifiques : Muriel THOMAS (muriel.thomas@inrae.fr)

Composante impliquée : UMR MICALIS

Nous avons tous le droit à une alimentation gourmande et bénéfique pour la santé, surtout quand l'âge ou la maladie rendent les gestes difficiles. En France, depuis 60 ans, 2 millions d'adultes souffrent de dénutrition, ce sont principalement les personnes âgées, les adultes malades subissant de lourds traitements, les personnes quittant l'hôpital. Le consensus scientifique pour ces adultes est que leur microbiote intestinal est fragile et manque de diversité. Et pourtant, les compléments nutritionnels oraux qui sont prescrits et qui existent sur le marché ne sont pas enrichis en probiotiques. Carembouche innove sur le marché des Compléments nutritionnels oraux en ajoutant un probiotique en plus des apports protéiques et énergétiques requis. Carembouche innove également grâce à des nouveaux formats, en créant des « finger food » appétissants, colorés et faciles à manger. Carembouche exploite une innovation d'usage par des Finger Food et une innovation technologique en associant des probiotiques.

Le microbiote humain, un potentiel à explorer

Dans le cadre d'un projet de ressourcement Qualiment mené par l'Unité de Nutrition Humaine de Clermont- Ferrand en collaboration avec l'Unité Mixte de Recherche sur le Fromage (Aurillac) et l'Unité MICALIS (Jouy en Josas), des souches de probiotiques ont été isolées et caractérisées pour leur propriétés métaboliques. Ces probiotiques ont la particularité d'être issus de patients ayant un microbiote particulièrement efficace pour fournir de l'énergie (travail collaboratif de plus de 15 ans entre Micalis et APHP, hôpital Beaujon). L'application d'une des souches probiotiques, qui augmente la digestibilité des protéines et le maintien de la masse musculaire, a été brevetée par INRAE.

La licence exclusive d'exploitation de ce brevet a été signée entre INRAE transfert et la start-up CAREMBOUCHE, pour créer des petites gourmandises (Finger Food) adaptées aux contraintes de l'âge et qui sont les seuls compléments alimentaires riches en protéines, en énergie et en probiotiques. Les protéines permettent de "construire" les muscles et les probiotiques permettent d'augmenter l'assimilation des protéines. Ainsi, la combinaison des protéines et des probiotiques s'apparente au couple "essencemoteur", maximisant l'efficacité des aliments.

Voir l'humain comme un holobionte : connaître et utiliser le microbiote pour un métabolisme mieux adapté dans chaque circonstance de la vie

Depuis près de 20 ans, la communauté scientifique a accumulé de nouvelles connaissances taxonomiques et fonctionnelles sur le microbiote intestinal. Ainsi, nous savons mieux décrire les communautés de micro-organismes peuplant notre tractus digestif et leurs fonctions. Ces savoirs changent notre regard sur la physiologie et la gestion globale de notre alimentation et de santé. L'organe à part entière qu'est le microbiote intestinal, conditionne notamment le métabolisme, les défenses de l'hôte et plus généralement la vulnérabilité de populations spécifiques.

Il est admis que l'âge et les pathologies sont associés à des dysbioses, c'est-à-dire à des modifications majeures de la composition et de l'activité du microbiote intestinal. Par exemple, chez les nourrissons, les laits maternisés sont enrichis en pro-et pré-biotiques pour favoriser la mise en place naissante du microbiote intestinal. Autant chez les adultes âgés la nécessité d'éviter la dénutrition est une priorité de la Haute Autorité de Santé, autant les stratégies nutritionnelles proposées ne prennent pas en compte l'appauvrissement du microbiote intestinal.

Du projet de ressourcement à la jeune pousse

L'aventure de CAREMBOUCHE est un excellent exemple d'un résultat scientifique qui, en suivant le continuum de l'innovation, se dirige vers un impact concret pour la population. Le projet de ressourcement QUALIMENT a permis d'isoler des souches de *Lactobacillus casei* isolées de microbiotes intestinaux humains et criblées sur leur capacité à améliorer l'état nutritionnel et de limiter la sarcopénie (fonte musculaire). Les essais précliniques ont confirmé que ce probiotique permet de limiter la perte de masse maigre causée par une sous-nutrition, via un effet insulino-sensibilisateur. Ces résultats ont été brevetés. Le projet a ensuite été mûri au sein de la SATT Paris-Saclay notamment pour démontrer l'innocuité de la souche et l'industrialisation de sa production. Enfin, Carembouche a été lauréat du concours i-Lab 2023 qui a permis de lancer le développement de la société et de préparer sereinement sa première levée de fonds.



Je suis persuadée que l'alimentation spécifique dédiée à des adultes à risque de dénutrition doit à la fois apporter de l'énergie, des nutriments et des probiotiques appropriés. Les probiotiques proposés sur le marché sont sous forme de gélules ou de sachets et n'ont pas été sélectionnés pour leur propriété sur le métabolisme. C'est pourquoi, nous avons isolé un probiotique permettant de maximiser l'assimilation des nutriments en cas de dénutrition et que ce probiotique sera proposé sous forme d'aliments gourmands et adaptés aux contraintes de l'âge.

Je suis convaincue de participer à un projet innovant et utile.

Muriel THOMAS, co-fondatrice de Carembouche,
travaille sur le microbiote intestinal depuis
plus de 18 ans à Micalis



NextVitRoot

Soutenu par le Carnot Plant2Pro, le projet NextVitRoot a permis d'acquérir des données permettant de conclure un partenariat avec la maison Hennessy (projet PG-DéfHy, 465k€ et une bourse Cifre) mais aussi d'obtenir un projet financé par le plan national du dépérissement de la vigne (PGvigne.net) pour lequel l'UMR EGFV est partenaire et coordonne plusieurs actions.

Contact : plant2pro@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Elisa MARGUERIT (elisa.marguerit@agro-bordeaux.fr)

Composantes impliquées : UMR EGFV et IFV

La création de nouveaux porte-greffes de vigne ne bénéficie pas encore de marqueurs de sélection précoce. Le programme d'innovation porte-greffes est porté par l'UMR EGFV qui collabore activement avec l'IFV dans l'objectif de lui transférer progressivement les activités finales de sélection.

Il doit relever plusieurs challenges : pyramidage d'allèles favorables pour plusieurs caractères complexes tels que la tolérance au phylloxéra, la tolérance à *Xiphinema index*, vecteur du virus du Court-Noué, la tolérance à la sécheresse et au calcaire actif tout en prenant en compte les interactions porte-greffe/ greffon.

Pour les porte-greffes de vigne de demain, indéniables leviers d'adaptation

Le projet NextVitRoot a mobilisé des compétences en agronomie viticole, en écophysiologie et en génétique quantitative. Un dispositif au vignoble comportant 55 porte-greffes et 5 greffons a permis d'étudier l'effet du porte-greffe sur le statut minéral et le rendement du greffon. L'étude du déterminisme génétique de caractères dits de pépinière (capacité à l'enracinement, capacités à produire des bois et au greffage) a pu être effectuée.

Identifier les régions génétiques des caractères d'intérêt agronomiques des porte-greffes de vigne

L'effet du porte-greffe sur le statut minéral du greffon a pu être caractérisé comme significatif, stable entre les années d'études et supérieur à l'effet du greffon pour le phosphore et le magnésium. L'effet du porte-greffe est également significatif sur les composantes du rendement et va permettre d'envisager à moyen terme de caractériser le déterminisme génétique de l'effet du porte-greffe sur ces caractères. Des outils de phénotypage haut débit ont été testés au vignoble et ont permis d'obtenir des résultats intéressants à partir d'un ensemble de 5 souches de la même combinaison porte-greffe/ greffon. Les caractères dits de pépinière (capacité à l'enracinement, capacités à produire des bois et au greffage) ont été caractérisés sur un croisement et ont permis d'identifier une dizaine d'individus prometteurs afin de proposer des porte-greffes performants pour la pépinière viticole.

Combiner une bonne performance pour les caractères dits de pépinière et les caractères d'adaptation à la sécheresse

La création de nouveaux porte-greffes de vigne intéresse la filière viticole dans son ensemble, en particulier la pépinière viticole et les viticulteurs, leurs organisations professionnelles ainsi que les organismes de R&D. Des dispositifs au vignoble ont été établis et permettent de conduire des recherches originales au vignoble (descendance établie au champ en tant que vigne-mère de porte-greffes et en position de porte-greffe sur des plants greffés).

Une attention particulière a été portée aux méthodologies d'évaluation avec des comparaisons avec des techniques plus faciles à mettre en œuvre et sur un plus grand nombre de géotypes.

Ces résultats permettront de mieux définir les schémas de croisements et de sélection en prenant en compte des caractères qui n'avaient jamais été étudiés aussi en amont dans le programme de sélection. Cette démarche doit permettre d'éviter de mettre sur le marché des porte-greffes difficilement déployables et utilisables par les pépinières viticoles. Un partenariat public privé a pu être contractualisé avec la maison Hennessy et le conservatoire du vignoble charentais pour une durée de 4 ans (2022-2026) pour un montant de 741k€.

Outre ce partenariat privilégié, la mobilisation des interprofessions viticoles au niveau national a été possible dans le cadre du projet PGvigne.net financé par le Plan National du Dépérissement du Vignoble. Le leadership de l'UMR EGFV a permis d'être confirmé au travers de ce projet et de ceux obtenus par la suite.



La Maison Hennessy porte une ambition de déploiement d'une viticulture durable, permettant de produire des raisins de qualité, tout en protégeant l'Homme et son environnement et en pérennisant notre patrimoine naturel et nos savoir-faire. Pour cela, nous nous appuyons sur les principes de l'agroécologie : la capacité du vignoble à s'adapter aux conséquences du changement climatique est un des piliers de cette démarche. Le matériel végétal est un élément clé de cette adaptation et c'est pourquoi la recherche sur les porte-greffes, peu explorée jusqu'à présent, nous paraît essentielle. Nous sommes donc fiers de nous investir, aux côtés des meilleurs experts, d'INRAE et du CVC, au service du collectif du vignoble charentais pour continuer à préparer demain. Ce programme est un projet de long terme, car l'évolution du matériel végétal prend du temps : il est donc nécessaire d'agir dès maintenant !

Jas Hennessy & Co
Renaud Fillioux de Gironde,
Maître Assemblée





Procédé d'eco-extraction sélective de biomolécules actives

Ce partenariat porte sur l'éco-extraction de composés naturels du bois de vigne aux propriétés antifongiques pour le développement d'antifongiques naturels pour l'agroalimentaire.

Contact : 3bcar@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Luc BIDEL (luc.bidel@inrae.fr)

Christian JAY-ALLEMAND (christian.jay-allemand@umontpellier.fr)

Composantes impliquées : IATE - Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes 1208 (INRAE / Institut Agro Montpellier / Université de Montpellier)

Initié par Mme Fanny ROLET, soutenu et hébergé par le laboratoire IATE, puis incubé au sein de l'UM, ce projet est né dans un contexte de valorisation de la biomasse régionale, les sarments de vigne issus de la taille annuelle, pouvant représenter jusqu'à 400 000 t/an. En valorisant ce co-produit en actifs antifongiques, ce projet vise à répondre aux problématiques de dégradation des fruits par des champignons pathogènes, et donc aux enjeux de perte de l'industrie agro-alimentaire. Il s'inscrit donc parfaitement dans le cadre de la transition économique et écologique, ainsi que dans l'émergence de solutions de bio-économie circulaire dans cette région.

De l'idée à l'entreprise

Le projet est basé sur l'éco-extraction de bio molécules de nature phénolique à l'aide d'un « bioréacteur », associant micro-ondes et/ou ultrasons et vide, en contrôlant le brassage dans des conditions aqueuses ou hydro-alcooliques, selon les principes de la chimie verte. Les résultats prometteurs d'un développement en deux étapes - d'abord la conception du bioréacteur, suivi de l'extraction et des tests d'activité fongicide des extraits - ont permis la création de l'entreprise ANTOFENOL, appuyé par une équipe de recherche aux compétences interdisciplinaires de très haut niveau (management, biologie végétale, métabolisme, polyphénols, opto-électronique, usinage, ...). Depuis, l'entreprise développe un tissu industriel bien implanté, avec une usine à Plestan (Bretagne) et une unité de production d'extraits ou de fraction en région PACA qui sera livrée en 2025.

Un lien étroit entre IATE et ANTOFENOL, pour répondre aux enjeux de l'industrie

Une équipe R&D pilotée par C. JAY-ALLEMAND s'est développée au fur et à mesure de la collaboration, à la manière d'un LabCom, pour élaborer de nouvelles stratégies et dispositifs technologiques d'enrichissement d'extraits complexes à base d'empreintes moléculaires (intitulé ESBAC). Sous l'impulsion de cette collaboration, l'utilisation d'instruments permettant de mesurer l'action des polyphénols sur des champignons phyto-pathogènes a été favorisée. Ceci a conduit à approfondir les recherches cognitives sur les mécanismes d'interactions entre les polyphénols et les protéines enzymatiques en vue d'identifier de nouvelles fonctions cellulaires. La finalité est de pouvoir non seulement montrer l'efficacité des extraits de bois de vigne selon les cépages, mais aussi maîtriser la qualité des extraits commercialisés en lien direct avec leur pouvoir antifongique. Ces travaux contribuent par ailleurs à une meilleure maîtrise des usages des extraits végétaux commercialisés par l'entreprise, pour répondre plus adéquatement aux problématiques de l'industrie agro-alimentaire.

Le prix Carnot pour la Recherche partenariale avec une PME-ETI et le Grand Prix du jury en 2022 pour IATE

Ces travaux ont été lauréat du prix pour une « Recherche partenariale avec une PME-ETI » et du Grand Prix du jury lors des Rendez-vous Carnot 2022. Cette réussite et l'obtention du Prix Carnot sont le résultat d'un travail partenarial conséquent, qui a trouvé son dynamisme scientifique au cœur des couplages forts entre recherche et formation universitaire et qui aboutira sur le long terme à des procédés adaptés au développement industriel.

Ce Prix Carnot est destiné à valoriser des actions remarquables de ses membres dans le domaine des partenariats de recherche entre un institut Carnot et une entreprise et à récompenser les chercheurs ayant été à l'origine de tels partenariats.

Ce prix Carnot a constitué une reconnaissance de la réussite de cette recherche partenariale. Il a certainement facilité la décision de l'ANR, en juin 2024 de subventionner la création d'un LabCom de 54 mois entre ANTOFENOL et l'UMR IATE.

Ce labCom va poursuivre cette aventure scientifique en optimisant une formulation liquide facile d'emploi en agriculture de la poudre de composés phénoliques éco-extraits dont l'homologation est attendue pour 2026.



Dans le cadre de cette recherche, nous avons été amenés à collaborer pour trouver la solution à une problématique : enrichir en molécules d'intérêt un extrait végétal complexe, de façon naturelle.

Ce projet collaboratif entre Antofénol et l'UMR IADE a abouti à un travail conséquent qui permettra, à terme, de mettre en place des procédés adaptés au développement industriel.

Fanny ROLET, Présidente-fondatrice d'Antofenol
& Christian JAY-ALLEMAND,
Enseignant-chercheur à l'Université
de Montpellier



**Retrouvez l'interview
complète ici**

IDENA

**Développer de nouvelles molécules grâce à de
meilleures connaissances des mécanismes d'action**

Contact : contact@francefuturelevage.fr

Porteurs scientifiques : Fabrice Laurent (fabrice.laurent@inrae.fr)

Alisson Niepceron (alisson.niepceron@inrae.fr)

Composantes impliquées : UE PFIE, UMR ISP (INRAE)

La collaboration entre l'UMR ISP (Infectiologie et Santé Publique - entité membre du Carnot France Futur Elevage) et la société IDENA a contribué à faire avancer les pratiques en santé avicole, grâce au développement d'une méthode de criblage rapide de l'efficacité de composés naturels vis-à-vis de Eimeria, agent parasitaire responsable de coccidioses aviaires en élevage et d'évaluer ceux-ci, permettant à la société IDENA de commercialiser un nouveau produit (FORCIX PY) pour la sécurisation digestive (notamment contre la coccidiose) et la performance des volailles.

(Contrat n° 32000779 signé le 10 mai 2016)

Contexte

La coccidiose, maladie aviaire causée par des parasites du genre Eimeria, cause chaque année de lourdes pertes économiques pour les éleveurs. Les moyens de lutte actuels reposent principalement sur l'utilisation d'anticoccidiens, molécules de synthèse, qui limitent le développement du parasite mais pas son élimination. Leur utilisation intensive en élevage de volailles a conduit à une perte de leur efficacité en raison de l'apparition de parasites résistants. Un frein majeur au développement de nouveaux antiparasitaires est la possibilité d'évaluer l'efficacité des nouveaux actifs, par des approches in vitro.

Développer de nouvelles molécules grâce à de meilleures connaissances des mécanismes d'action

IDENA, une firme-service française spécialisée dans la nutrition animale et l'élaboration de spécialités nutritionnelles à base d'actifs naturels a souhaité développer de nouvelles solutions naturelles pour lutter contre ces parasites. Cependant, jusqu'à présent la méthode de criblage de composés était basée sur le comptage des parasites, une technique longue, fastidieuse rendant compliquée et chronophage l'évaluation de nombreux composés. C'est dans ce contexte que le Carnot France Futur Elevage a pu mettre l'entreprise en contact avec l'équipe de recherche dirigée par Fabrice Laurent, experte dans l'étude des interactions entre les parasites apicomplexes (eg Eimeria) et les cellules de l'épithélium intestinal.

Intensifier le screening des nouvelles molécules et réduire d'impact de la coccidiose en élevage

La collaboration entre IDENA et l'UMR ISP a permis de développer une méthode de criblage in vitro, rapide, et permettant d'évaluer l'efficacité des composés naturels développés par l'entreprise sur différents stades du cycle parasitaire.

Collaboration gagnante récompensée par un prix

La collaboration a permis de démontrer l'efficacité de différents produits naturels sur les différents stades de développement du parasite, ce qui a engagé IDENA dans le développement d'un nouveau produit (FORCIX PY).

En 2023, IDENA s'est vu récompensé d'un prix INNOV'SPACE pour son innovation dans le secteur de l'élevage.



Le Carnot F2E nous a aidé à identifier rapidement les bons interlocuteurs et les bonnes compétences au sein des différents laboratoires et instituts de recherche hébergés dans son réseau, pour mener à bien notre projet de R&D. Rapidement, la collaboration avec l'UMR ISP a pu prendre forme. En amorçant ce projet, nous voulions identifier les actifs les plus pertinents et comprendre leur implication sur l'ensemble du cycle de développement d'Eimeria. Par ailleurs, dans la continuité des travaux in vitro, nous avons pu valider une preuve de concept sur le poulet en profitant de la station expérimentale. Ce partenariat avec ISP a été très fructueux et s'est concrétisé par un succès technique et commercial pour notre entreprise.

Amaury GREUTER,
Ingénieur projet R&D
chez IDENA



Développement des probiotiques de nouvelle génération

Un duo gagnant : Comment MICALIS, membre de QUALIMENT, et Exeliom Biosciences développent un nouveau médicament à partir d'une bactérie intestinale.

Contact : qualiment@inrae.fr

Porteurs scientifiques : Philippe LANGELLA (philippe.langella@inrae.fr)

Composante impliquée : UMR MICALIS

Les probiotiques, médicaments ou compléments alimentaires, nous viennent traditionnellement de souches de bactéries lactiques présentes dans les aliments fermentés. Les travaux menés au sein de MICALIS, membre de QUALIMENT, envisagent une nouvelle source de probiotiques en s'intéressant au potentiel d'autres bactéries présentes dans notre microbiote.

Exeliom, la spin-off d'INRAE et de l'Inserm créée en 2018, et MICALIS, ont uni leurs forces pour explorer les profondeurs du microbiote intestinal. Ce partenariat audacieux a donné naissance à une découverte révolutionnaire : des souches bactériennes de *Faecalibacterium*, aux propriétés immuno-modulatrices exceptionnelles. Grâce à cette avancée scientifique majeure, Exeliom est en passe de transformer la prise en charge des patients atteints de maladies inflammatoires chroniques de l'intestin ou atteints de cancers.

Les recherches scientifiques au cœur du partenariat

Le cœur de cette collaboration réside dans l'isolement et la caractérisation de souches bactériennes du genre *Faecalibacterium*, présentes naturellement dans le microbiote intestinal humain. Les chercheurs ont mis en œuvre des techniques de pointe pour identifier ces bactéries aux propriétés prometteuses. Des modèles *in vitro* et *in vivo* ont été développés afin d'évaluer leur potentiel immuno-modulateur et leurs bénéfices pour la santé. Ces travaux ont permis de démontrer de manière convaincante l'efficacité d'une souche rationnellement sélectionnée dans la prévention et le traitement de diverses pathologies inflammatoires.

Des défis scientifiques relevés

L'isolement de bactéries anaérobies strictes comme les *Faecalibacterium* représente un défi majeur en microbiologie. Les chercheurs ont dû mettre au point des protocoles de culture spécifiques pour préserver la viabilité de ces micro-organismes fragiles. De plus, la production à grande échelle de ces bactéries a nécessité le développement de bioprocédés innovants. Grâce à leur expertise complémentaire, Exeliom et MICALIS ont pu surmonter ces obstacles.

Des retombées concrètes pour la santé et l'économie

La découverte des souches de *Faecalibacterium* a ouvert de nouvelles perspectives dans le domaine de la santé. Exeliom se consacre pleinement au développement de médicaments à base de ces souches et a obtenu le licensing des brevets issus des recherches menées. Les premiers essais cliniques sont en cours et les résultats préliminaires sont attendus prochainement. À terme, ces nouveaux traitements pourraient révolutionner la prévention et le traitement de nombreuses maladies chroniques médiées par l'immunité.

Microbiote et probiotiques : un axe scientifique majeur pour Qualiment

La compréhension du microbiote intestinal, de son impact sur la santé humaine et des bénéfices que peuvent apporter les probiotiques sont au cœur de la stratégie de Qualiment. En 10 ans, le Carnot Qualiment a financé 15 projets de ressourcement dans cette thématique. Avec ce soutien, nos chercheurs ont pu développer des compétences dans les stabilisations des souches anaérobies, dans le développement de méthodes pour les cultiver, l'identification de souches bactériennes avec des effets positifs sur la santé, la compréhension de ces effets, l'étude des mécanismes d'action, le développement de modèles expérimentaux, les liens entre la composition du microbiote et l'état physiologique ou encore les moyens d'administration des probiotiques. Ses compétences sont des atouts essentiels pour collaborer avec les industriels du domaine.



Ce partenariat entre une start-up et des chercheurs QUALIMENT illustre parfaitement comment la recherche fondamentale peut déboucher sur des applications concrètes au bénéfice de la santé humaine.

Cette success story est le fruit d'une collaboration étroite entre le monde académique et le secteur privé, démontrant ainsi l'importance de soutenir l'innovation dans le domaine des biotechnologies.

Philippe LANGELLA
Responsable de l'équipe ProBiHôte
de l'unité MICALIS



DURA GBM : Evaluation de la durabilité des géomembranes bitumineuses modifiées

La plateforme Géomécanique de l'unité RECOVER d'INRAE met à la disposition de partenaires publics et privés des équipements et compétences de pointe en matière d'aménagements hydrauliques. Les équipes des laboratoires Géomécanique et Géosynthétiques pilotent la plateforme et développent des projets de recherche partenariale, soutenus par le Carnot Eau & Environnement.

Contact : carnot-eauetenvironnement@inrae.fr

Porteurs scientifiques : Gisèle BAMBARA (gisele.bambara@inrae.fr)

Composantes impliquées : Laboratoires Géomécanique et Géosynthétiques de l'unité de recherche RECOVER (INRAE)

Les géomembranes sont utilisées dans le génie civil pour assurer l'étanchéité de différents types d'ouvrages : ouvrages d'art, voies ferrées, routes, bassins de rétention, etc...

Ces géomembranes peuvent être bitumineuses ou polymériques, chaque famille disposant de caractéristiques propres qui doivent être prises en compte lors de la construction.

La connaissance de la durée de vie d'une géomembrane est une préoccupation importante des maîtres d'ouvrage : en effet, la défaillance d'une géomembrane, garante de l'étanchéité d'un ouvrage, peut engendrer la défaillance de ce dernier et potentiellement générer des conséquences économiques, environnementales et humaines considérables.

Les géosynthétiques : des matériaux innovants pour les ouvrages hydrauliques

Les géosynthétiques sont des géomatériaux rassemblant les géotextiles et produits apparentés, ainsi que les géomembranes. Les ouvrages hydrauliques modernes incluent quasiment tous des géosynthétiques dans leur conception et leur composition. Les géomembranes sont employées pour leur seule fonction d'étanchéité alors que les géotextiles et produits apparentés permettent de remplir de multiples fonctions : filtration, séparation, drainage, protection d'une géomembrane ou encore renforcement des talus des ouvrages hydrauliques.

Le laboratoire Géosynthétiques de l'unité RECOVER est équipé de moyens techniques pour la caractérisation physique, hydraulique et mécanique de ces produits.

Le Carnot Eau & Environnement a notamment permis l'achat de nouveaux équipements et le recrutement d'une doctorante en thèse CIFRE.

Une large diversité d'application pour les partenaires socio-économiques

Des essais index et de performance sont réalisés pour le compte de producteurs ou d'utilisateurs dans le cadre de programmes de recherche nationaux et internationaux.

Lors de partenariats utilisant la plateforme, les chercheurs du Carnot Eau & Environnement interviennent dès la conception des projets, la mise au point des protocoles expérimentaux, le développement de dispositifs adaptés à la réalisation du projet (bancs d'essai, essais in situ...) et jusqu'au transfert des dispositifs développés vers l'ingénierie. Ils fournissent une expertise précieuse aux partenaires, et pas seulement l'accès aux équipements.

Des partenariats sont régulièrement menés avec VNF (Voies Navigables de France) et plusieurs partenaires privés dont Antéa Groupe, Afitexinov ou Vinci Construction.

Une accréditation et des experts reconnus, gage de qualité

Le laboratoire Géosynthétiques offre des prestations de service pour des industriels, fabricants de géosynthétiques. Une part importante des essais de la plateforme sont menés sous accréditation COFRAC, qui permet de garantir un service de qualité et des résultats d'essai fiables auprès des partenaires.

Il possède notamment le seul banc d'essai accrédité pour la détermination de la perméabilité aux liquides des géomembranes (NF EN 14150) en France.

La plateforme détient également le label Fiabilité Mesures pour son laboratoire Géomécanique (assez rare pour un laboratoire de recherche) qui atteste de la mise en place d'une organisation proche de celle requise par la norme ISO 17025, et assure la production de données fiables et vérifiées.

Le laboratoire Géosynthétiques a également une convention de travail avec l'Asqual, notamment via des prestations d'évaluation de la conformité. L'Asqual permet aux produits géosynthétiques d'être certifiés sur le territoire français suite à la vérification de leurs conformités par les laboratoires accrédités tels que le laboratoire Géosynthétiques d'INRAE.



Dans le cadre d'un projet collaboratif, nos compétences sont multiples, tant au niveau scientifique – physique, chimie, – qu'à un niveau plus général de gestion d'un projet de recherche. Nous mettons en place les dispositifs expérimentaux et produisons des données de qualité, exploitables au niveau opérationnel pour répondre aux besoins du partenaire. C'est donc à la fois une fourniture de moyens mais aussi de compétences et de connaissances scientifiques.

Grace au soutien du Carnot Eau & Environnement, notre plateforme a été équipée d'une cellule de vieillissement aux UV, aujourd'hui utilisée dans le cadre d'une thèse Cifre.

Gisèle BAMBARA,
Responsable du laboratoire Géosynthétiques
de l'unité RECOVER





Bioraffinage de la coriandre à l'aide de la technologie bi-vis

Les résultats du projet de bioraffinage de la plante de coriandre avec le LCA ont permis à l'entreprise Ovalie Innovation la création de sa filiale SObioTech et ainsi d'être la seule entreprise au monde à proposer une huile vierge végétale odorante de coriandre.

Contact : 3bcar@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Philippe EVON (philippe.evon@toulouse-inp.fr)

Composantes impliquées : LCA – Laboratoire de Chimie Agro-industrielle UMR 1010 (INRAE / INPT)

LCA et Ovalie Innovation, une collaboration fructueuse

En 2014, la société Ovalie Innovation a mandaté le LCA pour le développement d'un procédé de bioraffinage de la plante entière de coriandre. C'est le début d'une longue collaboration, avec notamment une thèse doctorale (Uitterhaegen, 2018), aboutissant à des résultats fort prometteurs. Ces résultats ont permis de mettre au point un procédé d'extrusion bi-vis pour l'extraction verte d'une huile végétale odorante de coriandre à partir des graines.

Le tourteau issu de cette extraction ainsi que la paille issue de la culture de la coriandre ont quant à eux été valorisés pour l'obtention de matériaux biosourcés destinés à la construction.

Ces diverses voies de valorisation de la coriandre, et en particulier l'huile végétale odorante, ont abouti à la création de la filiale SObioTech, en étroite collaboration avec le LCA.

La technologie bi-vis, une expertise forte

L'extrusion bi-vis est un procédé mécanique de transformation, particulièrement maîtrisé au sein du LCA. Adapté à la coriandre, il permet l'obtention de bioproduits aux multiples utilisations : d'une part l'huile végétale pour les industries alimentaires, cosmétique et chimique (richesse en acide pétrosélinique), et d'autre part, des matériaux durables et de faible coût issus des co-produits solides avec la paille comme résidu de culture et le tourteau comme sous-produit de pressage.

SObioTech s'est appuyé sur cette expertise du LCA, d'abord pour produire les premiers lots commerciaux (au sein de la halle de transfert technologique AGROMAT) entre 2019 et 2022, avec les mêmes exigences industrielles qu'une usine en termes de qualité, d'hygiène et de répétabilité.

En 2023, la société s'est dotée de son propre extrudeur bi-vis, et a mandaté le LCA pour la construction du cahier des charges de l'appareil, ainsi que pour l'accompagnement du personnel SObioTech au pilotage de l'extrudeur via un contrat de consultance. Cette collaboration de longue durée et sous différentes formes a permis la production d'une gamme de produits commerciaux hautement attractive

Un marché sans cesse en quête d'innovation verte

Ce partenariat répond pleinement aux attentes de l'industrie cosmétique, car il permet l'obtention d'un produit innovant, par un procédé « green ». En effet, l'extraction mécanique supprime l'utilisation de solvants et d'additifs. Elle promeut donc la naturalité des actifs. La valorisation complète de la coriandre entre pleinement dans un cadre de bioéconomie circulaire, en proposant des alternatives industrialisables à moyen terme, comme des panneaux de fibres auto-liés associant le tourteau et la paille extrudée (alternative aux panneaux commerciaux à base de bois), ou encore des composites plastiques de type polymère/fibre à base de paille (alternatives aux farines de bois commerciales).

La collaboration entre le LCA et SObioTech, dont l'actionnaire actuel est le groupe coopératif Vivadour, se poursuit toujours afin de toucher d'autres domaines grâce à la grande versatilité du procédé, notamment avec la production de produits expansés à base d'amidon et/ou de protéines, pour l'alimentation animale et humaine.



De nombreux industriels s'intéressent aujourd'hui à la bio-économie. Ils sont à la recherche de composés uniques et innovants obtenus par sourcing végétal, exclusivement en France, répondant aux normes Bio ou agriculture raisonnée, et élaborés selon des procédés à faible impact, dépourvus de solvants, d'additifs ou de conservateurs. Nous nous positionnons comme un chaînon fondamental entre le monde agricole et l'industrie en mettant au point et en produisant des ingrédients ou des matériaux innovants et biosourcés premium. Soucieux d'une agriculture qui puisse vivre dignement et continuer à remplir son usage sociétal fondamental, nous travaillons pour diversifier et élargir le revenu des agriculteurs en leur proposant de nouvelles productions agricoles sous contrat avec un revenu sécurisé et incitatif.

Du champ à la cosmétique : l'huile végétale de coriandre, une production locale, tracée et maîtrisée. Suite à l'investissement et à l'installation de notre outil de production, l'activité commerciale de SObioTech a démarré au 1er janvier 2023. Aujourd'hui, nous produisons et commercialisons plusieurs milliers de litres de différents types d'huile de coriandre à usage cosmétique et nutraceutique. La coriandre, qui amène des bénéfices multiples pour la santé et pour le soin des peaux sensibles, est produite localement dans le Gers. Elle est ensuite transformée en différents grades lipidiques dans notre atelier. Grâce à notre proximité avec notre réseau de producteurs, nous sommes en mesure de répondre aux cahiers des charges les plus exigeants de nos clients.

Stéphane BALLAS,
Directeur des opérations, SObioTech



EoleProtect

Soutenu par le Carnot Plant2Pro, le projet EoleProtect a structuré une offre de R&D&I sur la thématique de la dérive avec des prototypes pour tester différents modes de pulvérisation viticole en conditions de vent semi-contrôlées

Contact : plant2pro@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Adrien VERGES (adrien.verges@vignevin.com)

Composantes impliquées : IFV - UMT EcoTech et UMR ITAP

Le banc d'essai EoleDrift développé par l'IFV et INRAE dans le cadre de l'UMT EcoTech permet de réaliser des mesures de dérive de pulvérisation en conditions de vent semi-contrôlées. Il met en œuvre une végétation artificielle et une soufflerie générant un vent artificiel.

Ces mesures permettent d'établir des comparaisons fiables entre les diverses techniques de pulvérisation viticoles en fonction de leurs performances en termes de réduction de la dérive. Cependant, le banc d'essai EoleDrift, installé à l'extérieur, reste toutefois soumis à des variations de conditions climatiques (vent naturel, température et hygrométrie notamment) qui génèrent du bruit de mesure.

Le projet EoleProtect visait à réduire l'influence des conditions atmosphériques naturelles sur les mesures de dérive réalisées sur le banc d'essai et à accroître la largeur des plages horaires propices à la réalisation des mesures.

Protection du banc d'essai EoleDrift contre les courants d'air extérieurs

EoleProtect a permis d'installer des filets brise-vent de 6m de haut autour de la plateforme d'essai afin de s'affranchir des perturbations liées aux courants d'air naturels établis au moment de la réalisation des mesures. Une caractérisation fine du champ de vent régnant dans la zone de transport et de collecte de la dérive a également été effectuée, elle fournit de précieuses clés d'interprétation des résultats obtenus.

La qualité métrologique du banc d'essai EoleDrift a été augmentée

Les brise-vent installés dans le cadre du projet EoleProtect ont permis d'augmenter à la fois la qualité des résultats issus du banc d'essai EoleDrift et la souplesse d'utilisation de ce banc d'essai en augmentant les plages de temps propices à la réalisation des mesures.

Une augmentation de l'attractivité du banc d'essai EoleDrift pour collaborer avec des constructeurs de pulvérisateurs viticoles.

L'attractivité du banc d'essai pour nouer des collaborations avec des industriels fabricants de matériel de pulvérisation dans le cadre de leurs démarches de recherche et développement a été améliorée grâce aux travaux entrepris dans le cadre du projet EoleProtect.



Les aléas météorologiques, en particulier le vent qui est fortement présent dans notre région, nous demandent une grande flexibilité quant à la détermination des créneaux d'essais. En effet, lors de la réalisation d'essais de type dérive, le vent "naturel" est un paramètre physique naturel que nous ne maîtrisons pas et qui impacte les résultats des essais les rendant difficilement répétables. Il est également plus difficile de mesurer l'influence que pourrait avoir une modification matérielle entre deux essais ainsi que la comparaison entre différentes technologies.

En s'affranchissant de cette contrainte pouvant venir perturber aléatoirement la puissance du vent nécessaire à l'essai (générée par le mur de vent artificiel), les conditions initiales sont toutes connues et maîtrisées.

Par conséquent les résultats obtenus sont de meilleure qualité, peuvent être analysés de manière précise et permettent une comparaison plus efficace entre différentes technologies. Enfin, cela nous permet de fixer plus précisément les créneaux d'essais, ce qui facilite l'organisation.

Sofiane DAHOU, Responsable Qualité
Homologations, CALVET SA





Partenariat LBE-GRDF : Les CIVE et la méthanisation

Optimisation du prétraitement et du stockage des cultures intermédiaires à vocation énergétique en vue de préserver leur pouvoir méthanogène

Contact : 3bcar@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Philippe EVON (philippe.evon@toulouse-inp.fr)

Composantes impliquées : LCA – Laboratoire de Chimie Agro-industrielle
UMR 1010 (INRAE / INPT)

GRDF, société française de distribution de gaz, est le principal distributeur de gaz en France et Europe. Elle est régie par un contrat de service public et différentes missions visant, entre autres à favoriser la transition écologique et l'insertion des énergies renouvelables, notamment l'accompagnement de la filière d'injection du biométhane.

Plus spécifiquement, elle supporte des actions de recherche pour contribuer au développement des gaz verts par la réduction des coûts de production et d'injection et la poursuite de la minimisation de leur impact environnemental[1].

GRDF et INRAE ont signé en 2017 une convention ayant pour objectif de contribuer au développement de la méthanisation agricole au cœur des territoires. Les deux partenaires s'engagent conjointement pour favoriser l'insertion de la méthanisation dans les pratiques agricoles, passant notamment par l'accompagnement de la filière agricole dans le développement des cultures intermédiaires.

Les Cultures Intermédiaires à Vocation Énergétique

Les CIVE (Cultures intermédiaires à Vocation Énergétique) et plus largement les CIMSE (Cultures Intermédiaires Multi-Service Environnementaux) sont considérées une ressource clé pour la méthanisation. En effet, les scénarios de ADEME ou encore Afterres proposent de démultiplier cette pratique de couverture, connue pour ces intérêts agronomiques, et d'orienter une partie de la biomasse vers des digesteurs pour produire près de 50 TWh de biogaz en 2050[2].

Le recours aux CIMSE pour la production de biogaz et de biométhane s'est développé en France ces dernières années. Leur culture n'entre pas en concurrence avec l'usage alimentaire des surfaces et rend de nombreux services agro-écologiques. Leur valorisation en méthanisation doit être maximisée afin de compenser les coûts de culture. La saisonnalité des récoltes impose un stockage efficace des plantes récoltées et la structure lignocellulosique complexe rend intéressante l'application d'un prétraitement pour augmenter la bio-accessibilité des hollocelluloses et le rendement méthane.

L'utilisation des CIMSE en méthanisation représente à la fois un vif intérêt pour la filière biogaz agricole et répond aux attentes de GRDF quant au développement des gaz verts et minimisation de leurs impacts environnementaux.

[1] contrat de service public 2019-2023

[2] <https://projet-methanisation.grdf.fr/actualites/quelles-sont-les-pratiques-agricoles-des-cive-aujourd'hui-en-france>

Des solutions prometteuses pour l'avenir

L'objectif de la thèse CIFRE de Clément Van Vlierberghe (2018-2022) en collaboration avec GRDF était d'évaluer les étapes de stockage par ensilage et par prétraitement alcalin et de fournir des leviers d'optimisation. Au regard du taux d'humidité élevé propre à de nombreuses CIMSE, l'étude du stockage par ensilage a été centrée sur la description des mécanismes de fermentation en lien avec les caractéristiques biochimiques de la biomasse et la maîtrise de la production d'effluents.

Ces travaux de thèse ont permis d'apporter des éléments de compréhension, permettant d'optimiser les pratiques de gestion des CIMSE entre leur récolte et leur valorisation en méthanisation :

- L'étude des mécanismes de la fermentation d'ensilage a permis de montrer que son impact sur le potentiel méthanogène était limité. Le co-ensilage avec un substrat absorbant s'est distingué comme une méthode permettant de réduire la génération d'effluent.
- La problématique du prétraitement des CIMSE a été abordée avec une approche innovante par l'application d'un prétraitement à long terme avec de la chaux, celui-ci remplissant également la fonction de procédé de stockage. Appliqué à des CIMSE matures et lignifiées, il permet d'obtenir des gains de potentiel méthanogène intéressants.

La mise en valeur des résultats

Le travail a été valorisé par quatre articles scientifiques dans des revues internationales et des présentations dans deux congrès internationaux.

Les résultats ont également été diffusés dans la profession avec :

- un article dans la revue Perspectives agricoles,
- la rédaction de quatre fiches techniques sur la conduite de l'ensilage des CIVE, publiées sur le site d'Arvalis, Institut technique du végétal
- un communiqué de presse INRAE
- une présentation du projet au salon de l'agriculture (2019)
- deux présentations aux journées Recherche Industries JRI biogaz et méthanisation en 2020 (Toulouse) et 2022 (Lyon).

Clément a été finaliste du prix de thèse 2023 de la Société Française de Génie des Procédés (SFGP)



Les travaux de Clément illustrent de belle manière la force de notre collaboration avec l'INRAE qui produit non seulement de la connaissance mais des outils opérationnels au service de la performance de la filière méthanisation.

Vincent JEAN-BAPTISTE,
Responsable des
Affaires Agricoles,
GRDF



REUSE : Des projets de recherche pour accélérer le déploiement de solutions innovantes

En partenariat avec le réseau REUSE d'INRAE, le Carnot Eau & Environnement a répertorié un grand nombre de projets dans le champ de la REUSE, menés par les chercheurs de diverses unités. Un portfolio regroupe l'ensemble de ces projets afin d'être proposés aux entreprises ou aux collectivités qui cherchent à innover dans ce domaine.

Contact : carnot-eauetenvironnement@inrae.fr

Porteurs scientifiques : Elisabeth VIDAL, ancienne Directrice du Carnot Eau & Environnement et Jérôme HARMAND, animateur du réseau REUSE d'INRAE

Composantes impliquées : Unités du Carnot Eau & Environnement (REVERSAAL, DEEP, CEREGE, HydroSciences Montpellier, G-Eau, RIVERLY)

Ainsi que d'autres unités membres du réseau REUSE d'INRAE

Dans le contexte de raréfaction de la ressource en eau, il va être nécessaire les prochaines années de relever de nombreux défis techniques, technologiques et scientifiques pour améliorer la gestion de l'eau. L'utilisation des eaux usées traitées constitue alors une solution essentielle car elle contribue à économiser la ressource en eau en se substituant à des prélèvements dans la nature. Le terme de REUSE recouvre ici l'ensemble des approches permettant de donner de la valeur à des eaux ayant déjà été utilisées une première fois.

La REUSE, un levier majeur de l'économie circulaire

La réutilisation des eaux usées est un levier majeur de l'économie circulaire : au regard de ses aspects intégrateurs, elle nécessite de mobiliser un large spectre de compétences.

Lorsqu'on parle de REUSE, il s'agit d'englober les approches traditionnelles (réutilisation après traitement en station d'épuration pour un nombre d'usages encore actuellement très restreint) mais également toutes celles permettant de favoriser l'économie circulaire de l'eau dans le nexus eau-matière-énergie, y compris - par exemple - la séparation à la source.

Favoriser le développement de nouvelles collaborations

Le Carnot est engagé dans le développement de partenariats entre la recherche publique et les entreprises, de la PME au grand groupe, ou les collectivités territoriales.

Le réseau REUSE d'INRAE a été créé pour fédérer l'ensemble des activités de recherche relatives à la REUSE, en promouvant une approche intégrée, multi-échelle, très pluridisciplinaire et couvrant l'ensemble du spectre des TRL, y compris les plus élevés, via de nombreuses collaborations avec le secteur privé.

En partenariat, ces 2 entités proposent aux entreprises et aux collectivités un portfolio de projets menés par les chercheurs, visant à accélérer le déploiement de solutions innovantes dans le domaine de la Réutilisation des Eaux Usées Traitées.

Pour accéder au Porfolio



Ecofilae, société de conseil et d'ingénierie pionnière de la réduction de l'empreinte eau depuis 2009, accompagne les porteurs de projets, de l'idée au projet durable. À travers un panel de solutions éprouvées et un pôle R&D innovant, Ecofilae permet le développement de la transition hydrique et la valorisation des eaux usées sur plus de 6 secteurs. Ecofilae a débuté une collaboration de recherche avec INRAE sur l'approche multibarrières. Le développement de la REUSE nécessite en effet une approche collective car pluri-disciplinaire et multi-acteurs. La réglementation actuelle repose sur un traitement initial et des valeurs seuils définis de façon uniforme, ce qui constitue un frein au développement de la REUSE. L'approche multi-barrière, recommandée par l'OMS, consiste à mettre en place différentes barrières adaptées aux contextes de ré-usage. Il s'agit de caractériser l'efficacité sanitaire des dispositifs choisis et de réfléchir au transfert partiel de la responsabilité du risque sanitaire aux autres maillons de la filière de ré-usage. Suite à cette collaboration, Ecofilae pourra proposer une démarche d'accompagnement à la mise en œuvre des différentes barrières.

Nicolas CONDOM,
Président Fondateur d'Ecofilae, ayant collaboré
avec INRAE sur un projet REUSE
d'approche multi-barrières



OrganoPig

Soutenu par le Carnot France Futur Elevage, le projet OrganoPig a contribué à développer un système de culture in vitro d'organoïdes pour tester des composés nutritionnels ciblant la santé digestive du porcelet et permettre de futures recherches sur la compréhension du fonctionnement de la barrière intestinale du porcelet.

Contact : contact@francefuturelevage.fr

Porteurs scientifiques : Martin Beaumont UMR GenPhySE (martin.beaumont@inrae.fr)

Composantes impliquées : UMR GenPhySE, UMR TOXALIM (INRAE)

Au sevrage, le changement d'environnement et d'alimentation des porcelets perturbe le fonctionnement de la barrière intestinale et peut entraîner des troubles digestifs, délétères pour leur santé et leur croissance. Le développement de nouveaux produits nutritionnels, envisagés comme alternatives aux antimicrobiens, est freiné par la complexité et le coût élevé des tests in vivo, également remis en question pour des considérations éthiques. Les autres modèles actuels, qu'ils soient ex vivo ou in vitro, ne sont pas adaptés pour évaluer efficacement ces produits, nécessitant ainsi le développement d'un nouveau modèle intestinal.

Améliorer la santé intestinale des porcelets avec des organoïdes intestinaux

Le projet OrganoPig a permis de développer un modèle d'organoïdes intestinaux de porcelets en laboratoire, reproduisant fidèlement les caractéristiques de l'épithélium intestinal, permettant ainsi de tester de manière physiologique des produits nutritionnels destinés à améliorer la santé intestinale des porcelets. Grâce à l'optimisation des conditions de culture et à l'identification de méthodes pour induire des dysfonctionnements de la barrière épithéliale (utilisation de mycotoxines), ce projet ouvre de nouvelles voies pour l'évaluation de composés bioactifs, contribuant ainsi à des pratiques agricoles plus durables et à la santé animale.

Le projet OrganoPig

Le modèle d'organoïdes intestinaux de porc développé dans OrganoPig est une culture d'épithélium intestinal autoorganisée en 3D, dérivée de cellules souches et reproduisant à la fois la complexité cellulaire et certaines fonctions de la barrière épithéliale. Ce modèle physiologique fournit une base solide pour l'évaluation de produits nutritionnels et pharmaceutiques ciblant la santé intestinale des porcelets ainsi que l'étude de l'interaction entre le microbiote intestinal et l'épithélium. Les principaux livrables du projet sont les protocoles expérimentaux disponibles publiquement et permettant d'obtenir de manière reproductible des cultures d'organoïdes d'intestin de porcelets. Le projet OrganoPig a également permis de constituer une biobanque d'organoïdes de différents segments digestifs et issus de porcelets allaités ou sevrés. Cette ressource permet désormais de proposer le modèle d'organoïdes adapté aux besoins de recherche des partenaires socio-économiques. D'une manière plus globale, ce travail s'inscrit dans le développement par les laboratoires INRAE de modèles d'organoïdes mimant divers organes (foie, cerveau, glande mammaire, poumon) issus de la plupart des animaux d'élevage.

Des collaborations publics-privés dans le secteur de l'alimentation animale porcine

Un modèle d'étude novateur a été développé, suscitant un intérêt croissant dans le secteur industriel. D'abord, des travaux de recherche ont été menés en partenariat avec l'entreprise Lallemand pour évaluer les effets de produits dérivés de microorganismes sur la barrière intestinale des porcelets.

Convaincues de l'efficacité et de la pertinence de cette méthode, de nouvelles entreprises telles que Metex, Roullier et ADM ont rejoint l'initiative pour tester notamment les effets sur la barrière intestinale d'acides aminés, de polyphénols ou de métabolites produits par le microbiote. Ces entreprises considèrent les organoïdes intestinaux de porcelets comme une opportunité stratégique pour comprendre les mécanismes à l'origine des diarrhées post-sevrage chez le porcelet et développer de nouvelles solutions nutritionnelles ou pharmaceutiques visant à améliorer la santé et le bien-être des animaux tout en réduisant le recours à l'expérimentation animale.

D'autres travaux sont envisagés actuellement pour étudier les effets de pathogènes porcins sur la barrière intestinale en utilisant les organoïdes.



Les organoïdes intestinaux de porcelets représentent un outil clé dans le développement d'innovations en nutrition animale grâce à leur complexité. Les organoïdes peuvent également être utilisés pour améliorer notre compréhension des modes d'action des produits existants et pour générer des supports marketing différenciants et attrayants pour nos clients, mettant en avant les avantages et l'innovation de nos solutions. Enfin, l'utilisation de cette technologie nous permet de tester des hypothèses plus rapidement et d'explorer des pistes de recherche variées avec une efficacité accrue. Cela contribue à renforcer notre positionnement en tant que leader innovant dans le secteur.

Tristan CHALVON DEMERSAY,
Directeur R&D Alimentation animale
et environnement,
Centre Mondial de l'innovation
du groupe Roullier





Développement de voies de valorisation innovantes de co-produits de l'industrie textile

L'interaction entre le LCA et Authentic Material a abouti à un labcom pour développer la filière de recyclage de matières textiles au sein des entreprises générant ces déchets.

Contact : 3bcar@instituts-carnot.fr

Porteurs scientifiques : Antoine ROUILLY (antoine.rouilly@ensiacet.fr)

Composantes impliquées : LCA – Laboratoire de Chimie Agro-industrielle UMR 1010 (INRAE / INPT)

Authentic Material, le projet

Les protéines animales fibreuses constituent une source de déchets importante de certaines filières alimentaires (corne, laine) mais aussi de l'industrie du luxe (cuir, soie). Leurs propriétés intrinsèques naturelles (résistance et durabilité) peuvent être mises à profit dans des applications matériaux.

L'objet du projet est de trouver des voies innovantes de valorisations de co-produits de matières textiles contenant des scléroprotéines (cuir, laine, soie) en mettant en place une économie circulaire au sein même des entreprises générant ces déchets (plutôt des maisons de luxe).

Du laboratoire à l'échelle industrielle

L'innovation concerne autant le broyage de ces matières et la contrôle de la granulométrie des poudres que la mise en œuvre des poudres produites sous forme de nouveaux matériaux.

Deux types de matériaux sont visés, des matériaux 100 % naturels originaux obtenus par cuisson-compression de ces scléroprotéines et des matériaux composites à matrice thermoplastique.

La cuisson-compression est particulièrement prometteuse puisqu'elle permet de mouler ces matières en une seule étape pour produire des plastiques naturels et biodégradables (le cas du cuir étant à considérer séparément) dont les propriétés sont très proches de celles de certains plastiques synthétiques usuels, leur tenue à l'humidité est particulièrement bonne pour des matériaux issus de biopolymères.

La collaboration a été construite sur 2 thèses CIFRE entre le LCA et Authentic Material, un projet R&S de la Région Occitanie, un projet de maturation avec Toulouse Tech Transfert et aujourd'hui un LabCom ANR.



Ce partenariat avec le Laboratoire de Chimie AgroIndustrielle représente un réel avantage, car il nous permet de poursuivre notre politique d'innovation tout en assurant une recherche fondamentale sur un sujet aujourd'hui peu documenté : les scléroprotéines.

Dans un contexte où l'innovation est primordiale pour continuer à convaincre nos clients du secteur du luxe et à pénétrer de nouveaux marchés, cette volonté est capitale.

L'enjeu est pour nous de garantir l'amélioration continue et de proposer de nouvelles solutions à partir de ces biopolymères, ce que permet le Sclérolab grâce à ses travaux de recherche sur la compréhension du comportement des scléroprotéines

Notre collaboration est construite de longue date et nous souhaitons la poursuivre et l'entretenir afin d'enrichir la science des scléroprotéines et de traduire ce projet original à l'échelle industrielle

Margaux HER JUMEAUX,
Directrice technique, Authentic Material



DIAM BOUCHAGE

Une alliance partenariale aboutie et pérenne

Depuis plus de 20 ans, DIAM révolutionne un produit traditionnel, le bouchon de liège. L'entreprise et les scientifiques de l'UMR PAM ont développé une recherche collaborative à l'intersection entre œnologie et science des matériaux d'emballage, pour comprendre les transferts d'oxygène lors de la conservation du vin en bouteille et ainsi améliorer la conception des bouchons.

Contact : qualiment@inrae.fr

Porteurs scientifiques : Thomas Karbowiak (thomas.karbowiak@institut-agro.fr)

Composante impliquée : UMR PAM Procédés Alimentaires et Microbiologiques

Faire du bouchon un véritable outil au service du vigneron, tel est le but de DIAM, leader mondial du bouchon de liège. La maîtrise du vieillissement des vins constitue un défi majeur pour les professionnels du secteur vitivinicole. Parmi les facteurs influençant la stabilité oxydative des vins, le bouchage représente l'ultime intervention du vigneron avant la conservation du vin en bouteille. L'obturateur œnologique joue donc un rôle essentiel dans la préservation de la qualité du vin au fil du temps.

Une recherche approfondie sur un objet technique en apparence simple

Le secteur de l'emballage alimentaire s'appuie de manière déterminante sur la recherche et le développement, constituant ainsi un levier majeur pour l'innovation et la création de solutions avancées. Bien que le bouchon puisse paraître anodin, il s'agit en réalité d'un objet hautement technique. Des recherches approfondies sont menées sur sa formulation et les procédés de fabrication nécessaires pour en maîtriser les propriétés barrières. Il peut ainsi répondre aux exigences de la filière vitivinicole et garantir la conservation des vins.

Comprendre les propriétés barrières du système de bouchage

Meilleure compréhension des phénomènes de transfert au niveau du système d'obturation

Bien que souvent évoqué comme une donnée globale, le transfert d'oxygène vers le vin résulte en réalité de trois phénomènes concomitants : un transfert initial, correspondant à l'oxygène libéré par le bouchon après sa compression dans le goulot ; un transfert progressif, de l'environnement extérieur vers le vin à travers le bouchon ; et enfin, un transfert à l'interface entre le goulot en verre et le bouchon.

Identification du rôle clé de l'interface bouchon/goulot pour la maîtrise des propriétés barrières à l'oxygène

Le transfert à l'interface entre le verre et le bouchon dépend de plusieurs paramètres, tels que les propriétés mécaniques du bouchon (et, par conséquent, la force qu'il exerce sur la surface du verre), la géométrie du bouchon et du goulot, la rugosité des surfaces du bouchon et du verre, ainsi que l'application d'un traitement de surface au bouchon. Ce traitement constitue un élément essentiel dans le contrôle du transfert d'oxygène. Il permet de limiter considérablement le transfert à l'interface verre / bouchon, le ramenant au même niveau que celui d'un bouchon seul.

Comment le transfert d'oxygène à travers le système d'obturation évolue-t-il dans le temps ?

Comment les différentes conditions de stockage l'influencent-elles ? Les travaux menés dans le cadre de cette collaboration ont conduit au développement de nouvelles méthodologies, notamment un dispositif expérimental dédié à l'analyse des transferts de gaz à travers les obturateurs œnologiques (banc de mesure de perméation par méthode manométrique). Ce dispositif permet un contrôle précis des conditions environnementales appliquées et offre une flexibilité pour adapter les tests à divers types d'échantillons.

Vers une meilleure maîtrise des interfaces

Afin d'ancrer plus solidement cette alliance partenariale sur le long terme, un contrat de collaboration sur 4 ans a succédé à la thèse CIFRE déjà soutenue. Les travaux se poursuivent avec une étude détaillée des interfaces multiples et complexes du système d'obturation. Cela inclut le bouchon, son traitement de surface, ainsi que le goulot de verre dans lequel il est inséré et comprimé. Comprendre les mécanismes impliqués lors de la formulation et l'impact des procédés employés représente un enjeu majeur pour maîtriser les transferts d'oxygène et, par conséquent, la qualité des vins.

L'emballage alimentaire : enjeux de recherche et d'innovation pour un objet du quotidien

Avec la disparition programmée des plastiques à usage unique, les filières agroalimentaires sont confrontées au défi de reconcevoir les matériaux et stratégies d'emballage. Si le liège constitue par essence un matériau biosourcé, un enjeu majeur est de réduire au maximum l'utilisation de matériaux pétrosourcés. Cela nécessite une compréhension approfondie de l'impact de la formulation des emballages sur leurs propriétés barrières aux gaz mais aussi de l'effet des différentes modalités de recyclage ou de réutilisation sur leurs qualités et les risques de contamination.

Le Carnot Qualiment soutient des projets pour développer l'expertise sur les propriétés barrières de matériaux issus des agroressources. Ainsi, le projet SURBAR, soutenu par les Carnot Qualiment et 3BCar, visait à établir les bases de connaissances nécessaires au développement du concept de suremballage barrière à l'oxygène, afin de dimensionner les propriétés attendues au niveau des emballages pour différents aliments, et d'évaluer le potentiel d'emballages innovants à base de papiers fonctionnalisés par des polymères naturels.



L'innovation fait partie de l'ADN de la société Diam bouchage. Le développement puis la commercialisation, il y a plus de vingt ans, de notre bouchon en liège DIAM, traité au CO2 supercritique, en est le meilleur exemple. Aujourd'hui, notre stratégie d'innovation perdure. Si nous voulons que le choix du bouchon constitue le dernier acte œnologique pour le vigneron, il est indispensable de parfaitement maîtriser tous les facteurs physiques pouvant influencer les transferts d'oxygène au sein du système Bouchon/Goulot. Dans cette optique, la société DIAM s'est rapprochée de l'UMR PAM, experte dans ce domaine. Ensemble, nous visons à décrire avec précision les mécanismes physiques qui interviennent aux interfaces au cours de la conservation des bouteilles de vin et à évaluer les facteurs environnementaux susceptibles de les modifier (influence de la température de l'eau, de l'alcool, des traitements de surface...)

Christophe LOISEL, Directeur R&D,
chez DIAM BOUCHAGE





**Le label Carnot est un dispositif d'innovation.
Les structures de recherche publique, labellisées
par le ministère en charge de la recherche, prennent
des engagements forts pour mener et développer
une activité de recherche partenariale au bénéfice de
l'innovation des entreprises – de la PME au grand groupe – et
des acteurs socioéconomiques.**

L'ANR est chargée de la gestion du dispositif Carnot.

<https://www.lereseaudecarnot.fr/fr/le-label-carnot>



**INRAE, l'Institut national de recherche pour l'agriculture,
l'alimentation et l'environnement est né le 1er janvier 2020.**

**Il est issu de la fusion entre l'Inra,
Institut national de la recherche agronomique
et Irstea, Institut national de recherche en sciences et
technologies pour l'environnement et l'agriculture.**