

Rencontres du Carnot Qualiment®

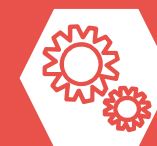
2 octobre 2025



Qualité
sensorielle



Structure de
l'aliment



Technologies et
procédés
agroalimentaires



Qualité
nutritionnelle et
effets sur la santé

- 9h15 < 9h45 – **Accueil café**
 - 9h45 < 10h – **Introduction**
 - **Le Carnot Qualiment® : pour la recherche et l'innovation des entreprises par Catherine Renard, directrice du Carnot Qualiment®**
 - 10h < 12h30 – **« Les nouvelles sources d'aliments »**
-
- **Projet FromasDig** : Comment les procédés alimentaires peuvent aider à développer de nouveaux aliments plus durables : exemple des substituts végétaux de fromages, par Gilles Garric (UMR STLO)
 - **Projet DATAVEG** : Vers une meilleure compréhension et prédiction des fonctionnalités des protéines végétales dans des matrices alimentaires complexes, par Gilles Bertheau (CTCPA)
 - **Projet EXOTICA** : L'extrusion par voie humide pour produire des analogues de viandes à partir d'insectes et des algues, par Aurélie Lagorce (UMR PAM)
 - **Projet GermAGE** : - Intérêt nutritionnel pour la personne âgée de produits formulés à partir de mélanges de farines de blé germé et de lentilles germées, par Marine Gueugneau (UNH)
 - **Projet NutriPOu** : Les microorganismes au service d'une nouvelle source d'aliments et d'emballage: les Protéines d'Organismes Unicellulaires & les Bioplastiques, par Juliane Calvez (UMR PNCA) et Nathalie Gorret (TBI)
 - **Projet ProTéLEP** : Les protéines du ver de farine représentent une alternative intéressante à la caséine chez le rat en croissance sédentaire ou entraîné, par Christophe Montaurier (UMR UNH)

Table ronde

- 12h30 < 13h45 – **Pause déjeuner**

•13h45 < 16h05 – « Les enjeux de l'emballage »

- Les grands enjeux de la filière et les perspectives de recherche
- Focus sur les actions spécifiques menées par le CTCPA
- Vers une nouvelle génération d'emballages durables : rôle du greffage chimique et enzymatique par Nicolas SOK (UMR PAM équipe PCAV)
- Innover dans l'emballage traditionnel : bouchage et conservation des vins, par Thomas Karbowiak (UMR PAM)
- Des emballages secondaires bio-sourcés pour aliments secs : mise au point et applications, par Chloé Chevigny (UMR SayFOOD)
- La chaire COPACK pour co-développer des emballages éco-compatibles pour la transition écologique, par Sandra Domenek (UMR SayFood)
- Vers des emballages plus sûrs et durables : l'UMT Safemat face aux défis du recyclage et du réemploi, par Phuong-Mai Nguyen (LNE)

Table ronde

•16h05 < 16h15 – Conclusion

Le Carnot Qualiment® : pour la recherche et l'innovation des entreprises

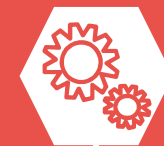
Par Catherine Renard, Directrice



Qualité
sensorielle



Structure de
l'aliment



Technologies et
procédés
agroalimentaires



Qualité
nutritionnelle et
effets sur la santé

Qu'est-ce qu'un Carnot ?



Un label d'excellence

« Carnot » est un **label** accordé depuis **2006** par le MESR à des groupements de laboratoires académiques et/ou instituts techniques, au regard de leur :

- **Expertise scientifique**
- **Activité partenariale forte**

Objectif du dispositif Carnot : **promouvoir et faciliter la recherche partenariale** public/privé

Les Carnot en quelques chiffres

50% de la recherche partenariale nationale

18% des effectifs de recherche nationaux

10 000 contrats par an avec des entreprises

Qu'est-ce qu'un Carnot ?

La Charte Carnot

Ensemble des valeurs partagées et respectées par les Carnot, pour une recherche partenariale de qualité

- ✓ Démarche d'**amélioration continue**
- ✓ Définition d'une **stratégie de recherche claire**
- ✓ **Gouvernance forte** au service de l'activité partenariale
- ✓ **Réponse systématique** aux demandes des partenaires
- ✓ Respect de « La **Charte des bonnes pratiques** de Propriété Intellectuelle et de Transfert des Connaissances et de Technologies des instituts Carnot »
 - Soutien juridique, PI, valorisation
 - Contrats de recherche chiffrés à coût complet
 - Sensibilisation à la PI et à la valorisation
- ✓ **Promotion du label Carnot**
- ✓ Fonctionnement en **réseau**



« Passeport de l'ambassadeur Carnot », édité par l'AiCarnot, et distribué lors du séminaire



Quel intérêt pour les entreprises ?

- **Qualiment®, la porte d'entrée pour les entreprises vers la recherche publique en alimentation humaine**
 - Identification de la(les) équipe(s) la(es) plus pertinente(s) au niveau national pour répondre à la question, y compris en dehors du réseau
 - Interlocuteur unique pour accompagner la construction et la réalisation du projet
- **Qualiment®, la qualité de la relation partenariale**
 - Des laboratoires ayant une forte expérience du partenariat
 - Sensibilisés aux besoins et aux attentes des entreprises



Quel intérêt pour les entreprises ?

- La garantie de travailler avec des **professionnels expérimentés** de la recherche partenariale, dans un **cadre organisationnel éprouvé**
- La **synergie d'un réseau** qui sait orchestrer les compétences pour mener à bien un programme requérant des expertises diversifiées
- L'assurance de travailler avec des **laboratoires qui savent prendre en compte les contraintes de l'entreprise**, qu'elles soient techniques, économiques ou de marché
- L'opportunité de profiter de la force de frappe d'organismes de recherche publique réputés qui ont décidé de mettre leurs **savoir-faire** au service de l'**innovation** et de la **performance** des entreprises



L'appui de la recherche pour le développement d'aliments

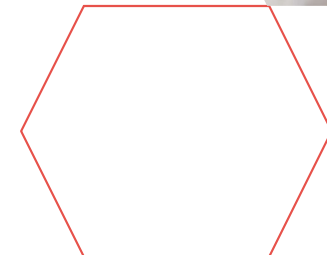
- **Mieux produits**

- Pouvoir maîtriser les procédés industriels pour améliorer la qualité nutritionnelle et sensorielle de l'aliment
- Eco-concevoir les équipements et les lignes de production pour une industrie agroalimentaire durable



- **Mieux construits**

- Pouvoir comprendre l'impact de la structure de l'aliment sur la biodisponibilité des nutriments et composés sensoriels
- Améliorer les procédés par ingénierie reverse, notamment afin de contrôler la structure de la matrice et d'optimiser la libération des composés actifs
- Stabiliser les ingrédients et agents technologiques, notamment les probiotiques, pour préserver leurs fonctionnalités





L'appui de la recherche pour le développement d'aliments

- **Mieux adaptés**

- Comprendre les effets biologiques des nutriments sur les fonctions de l'organisme dans des populations spécifiques (séniors, sportifs, enfants)
- Etudier l'impact de l'alimentation sur le microbiote intestinal et l'impact du microbiote sur la santé
- Contribuer à l'élaboration des allégations et recommandations nutritionnelles

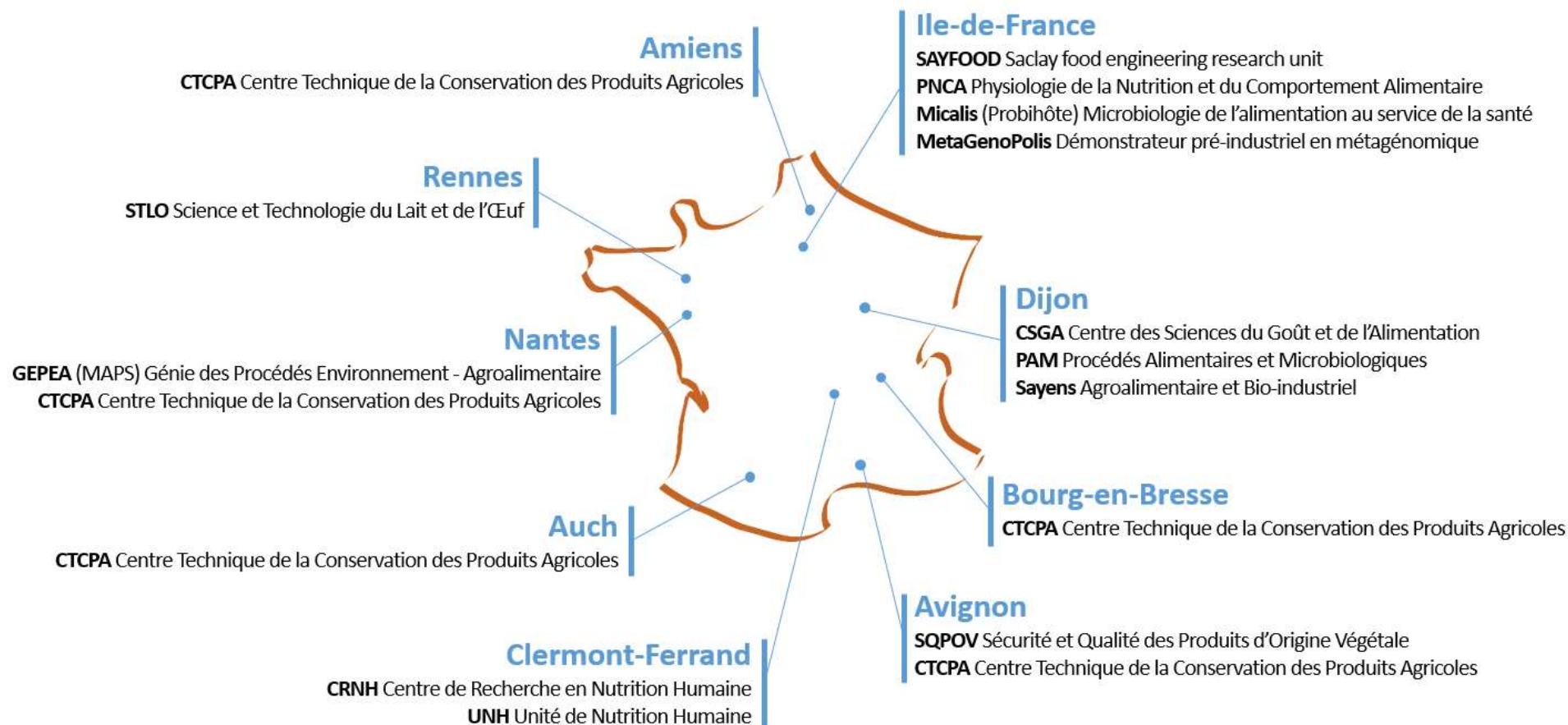
- **Mieux perçus**

- Identifier les molécules et mécanismes responsables des qualités olfactives et gustatives des aliments
- Comprendre la formation de l'image sensorielle et le rôle de la mémoire dans l'appréciation et les choix alimentaires
- Comprendre le rôle des expositions alimentaires et sensorielles sur les préférences, les profils et les choix alimentaires





Les membres de Qualiment®



Les différentes tutelles des membres du Carnot Qualiment :



Chiffres 2024

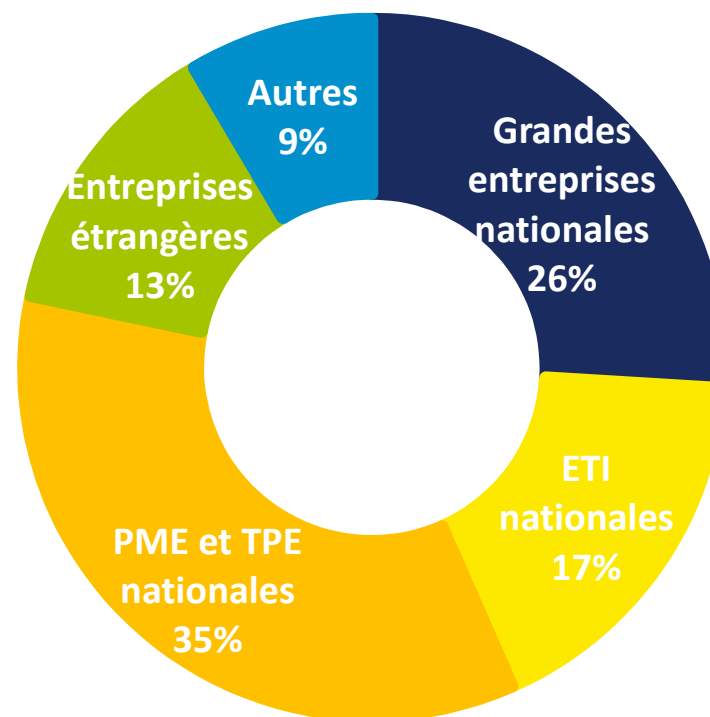
730 ETP recherche
dont **123** Doctorants
et post-doctorants

852 Publications
de rang A

7,4 M€ de recettes
avec des entreprises dont
1,4 M€ avec des
PME/TPE

230 Contrats de
recherche
avec **184** Entreprises

Répartition du nombre de contrats de
recherche contractuelle avec les
entreprises en 2024



Rencontres du Carnot Qualiment®

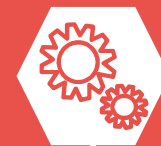
Les procédés agroalimentaires pour la durabilité



Qualité
sensorielle



Structure de
l'aliment



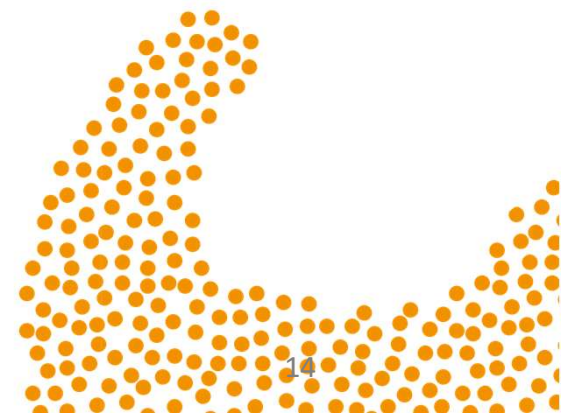
Technologies et
procédés
agroalimentaires



Qualité
nutritionnelle et
effets sur la santé



Les nouvelles sources d'aliments



Comment les procédés alimentaires peuvent aider à développer de nouveaux aliments plus durables : exemple de substituts végétaux de fromages (FroMasDig)

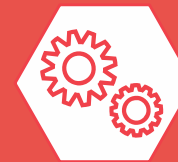
Gilles GARRIC, UMR INRAE – STLO



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



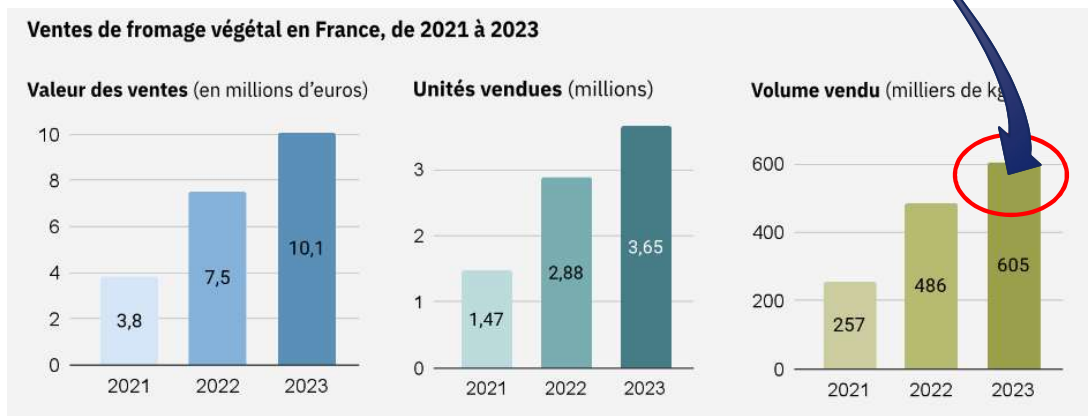
Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

Contexte et grands enjeux

- 🔍 Transition alimentaire ➡ végétalisation de l'alimentation (Prot: 50/50)
➡ santé publique et environnement
- 🔍 Enjeu majeur : les analogues de fromages doivent rencontrer leur marché !



Moins de 0,1% ! ➡ Pourquoi ?





Contexte et grands enjeux



- 🔍 Tentative d'explication : les substituts ne répondent pas « à la fois » à tous les attendus des consommateurs : durabilité, goût et santé

Marché des substituts :



1



Nutrition Facts	
Calories	250
% Daily Value*	
Total Fat	6g
Sodium	0g
Total Carbohydrate	4g
Protein	10.5g
Salt	0g

Valeurs nutritionnelles moyennes pour 100 g	
Matière grasse	6 g
Glucides	4 g
Fibres	< 0,5 g
Protéines	10,5 g
Sel	0 g



2

Eau, **huile de coco**, amidon modifié, sucre

Nurishh (100% végétal)

Valeurs nutritionnelles	Pour 100g
Matière grasse	22
Glucides	17
Protéines	1

3



Durable	- - -	++	- -
Nutritionnel	++	++	- - -
Organoleptique	++	+ / -	++
Fonctionnel	+	-	+++

- 🔍 L'objectif de FroMasDig : répondre à tous les attendus : durabilité, santé ... (goût) avec un soja local et bio, une composition biochimique = à une pâte molle et la quantification du goût afin de l'améliorer

- **Amont** : beaucoup de projets sont actuellement soutenus par les pouvoirs publics pour développer les surfaces et les rendements des légumineuses en France.
 - **ARSENE** : développer le lupin comme alternative au soja en France (France 2030) : 25 000 ha et 75 000 T et rendements de 3 T/ha
 - **PULSAR** : réémergence du lupin blanc dans nos champs et notre alimentation (ANR France 2030)
 - **LETSPPOSEED** : accroître la consommation des protéines de légumineuse en améliorant leur qualité et leur transformation (ANR France 2030)
 - **PULSE FICTION** : développement des produits à base de légumineuses peu transformées (ANR France 2030)
 - **VEG & LAIT** : association lait –légumineuse (ANR France 2030), ...
- **Aval** : recensement des projets de R&D : + de 18 projets récents.

Recent updates on plant protein-based dairy cheese alternatives: outlook and challenges (2025)

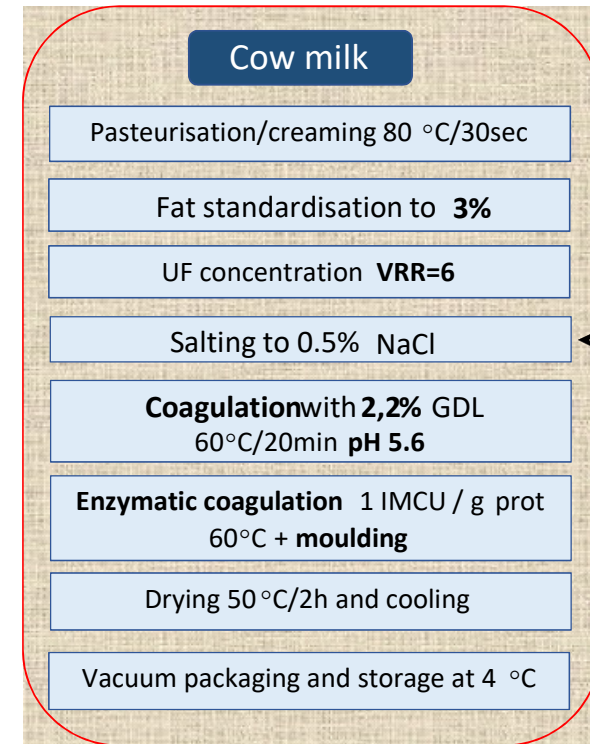
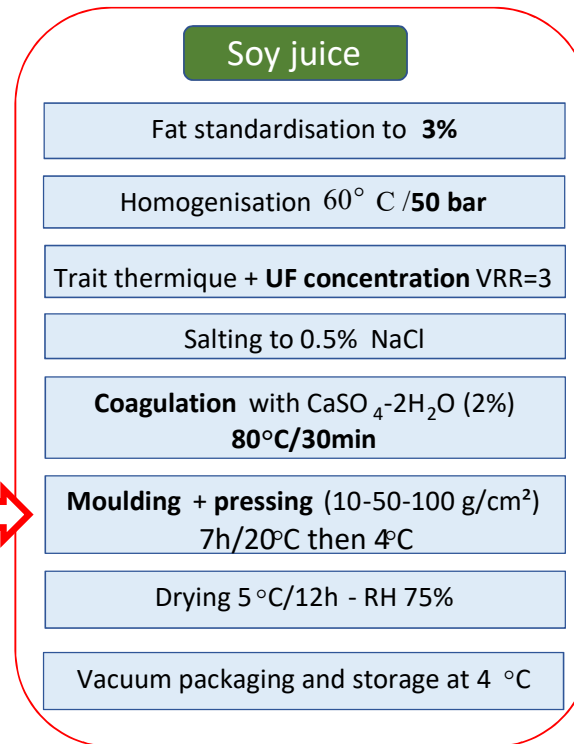
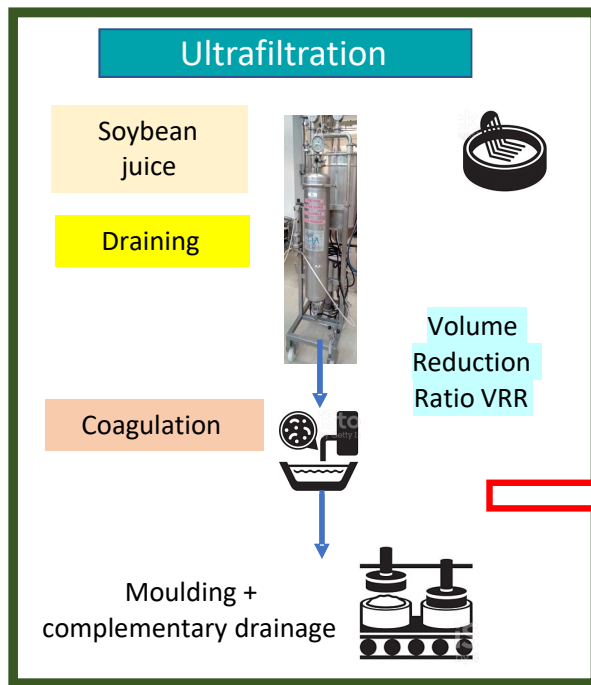
Elham Alehosseinia (TEAGASC)

<https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2452356>



Résultats phares

1. Mise au point de procédés de fabrication pour le fromage et le substitut :
➔ sobres, agiles et faciles à mettre en œuvre

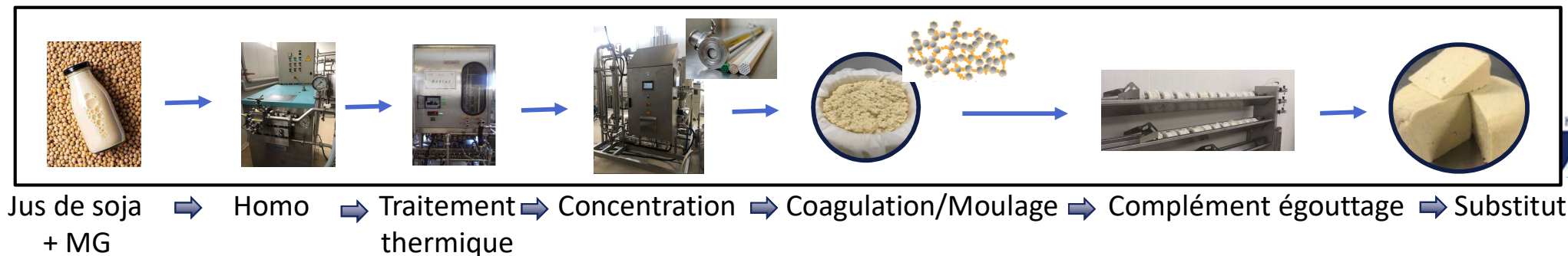


+ vit E in the retentate

① Choix de l'UF ➔ composition biochimique

② Flow sheet optimisés pour le jus de soja et le lait

③ ↓



Résultats phares

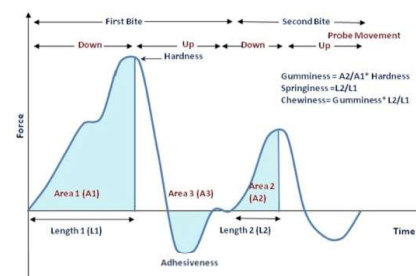
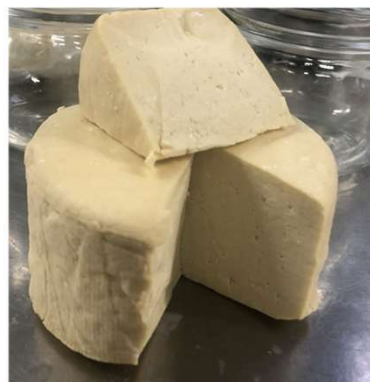
Biochimie et rhéologie sur les produits obtenus

Avec 3% de MG



Par TPA (Texture Profile Analysis)

Soft cheese PM-F			
Fat	17 ± 0.5%		
Prot	21 ± 0.4%		
Carb	0,2 %	39 ± 1.2%	DM
NaCl	0,5 %		
+ alpha-tocopherol			
Soft soy substitute PM-SV			
Fat	14 ± 0.2%		
Prot	18 ± 0.4%	36 ± 0.4%	DM
Carb	3,5%		
NaCl	0,5 %		
natural tocopherols			



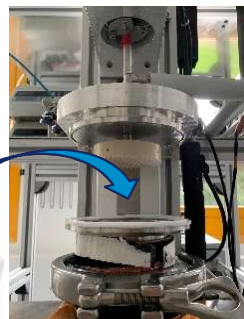
Hardness (N)	9.0 ± 0.5%
Cohesiveness (1)	0.81
Springiness (1)	1
Chewiness HxCxS (N)	7.3

Hardness (N)	9.1 ± 0.2%
Cohesiveness (1)	0.78
Springiness (1)	1
Chewiness HxCxS (N)	7.1

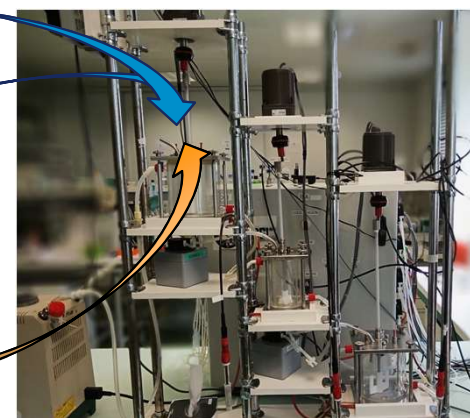
Résultats phares

2. Couplage d'un masticateur et d'un digesteur dynamique instrumentés pour étudier la libération de molécules aromatiques positives et négatives selon le ° de mastication

Masticateur



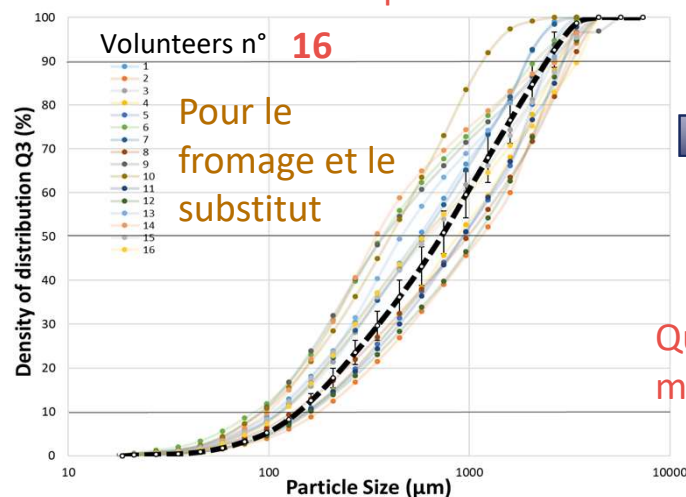
Digesteur



Observations (axes F1 et F2 : 67,38 %)

1

Reproduction du ° de mastication de 16 panélistes sur le masticateur puis accentuation

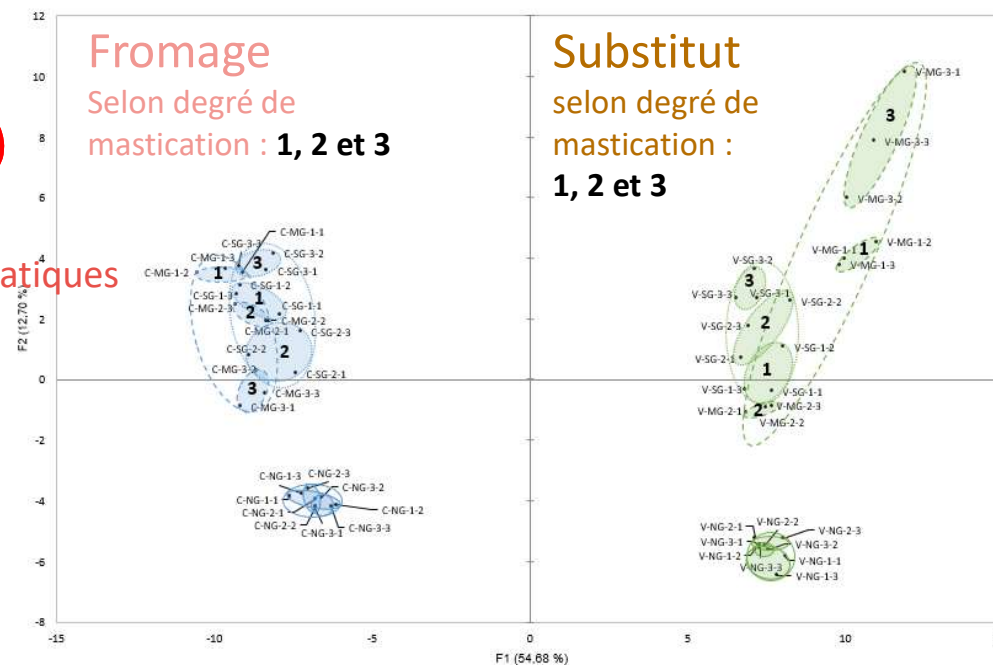


2

Quantifier les molécules aromatiques

Fromage
Selon degré de mastication : 1, 2 et 3

Substitut
selon degré de mastication : 1, 2 et 3



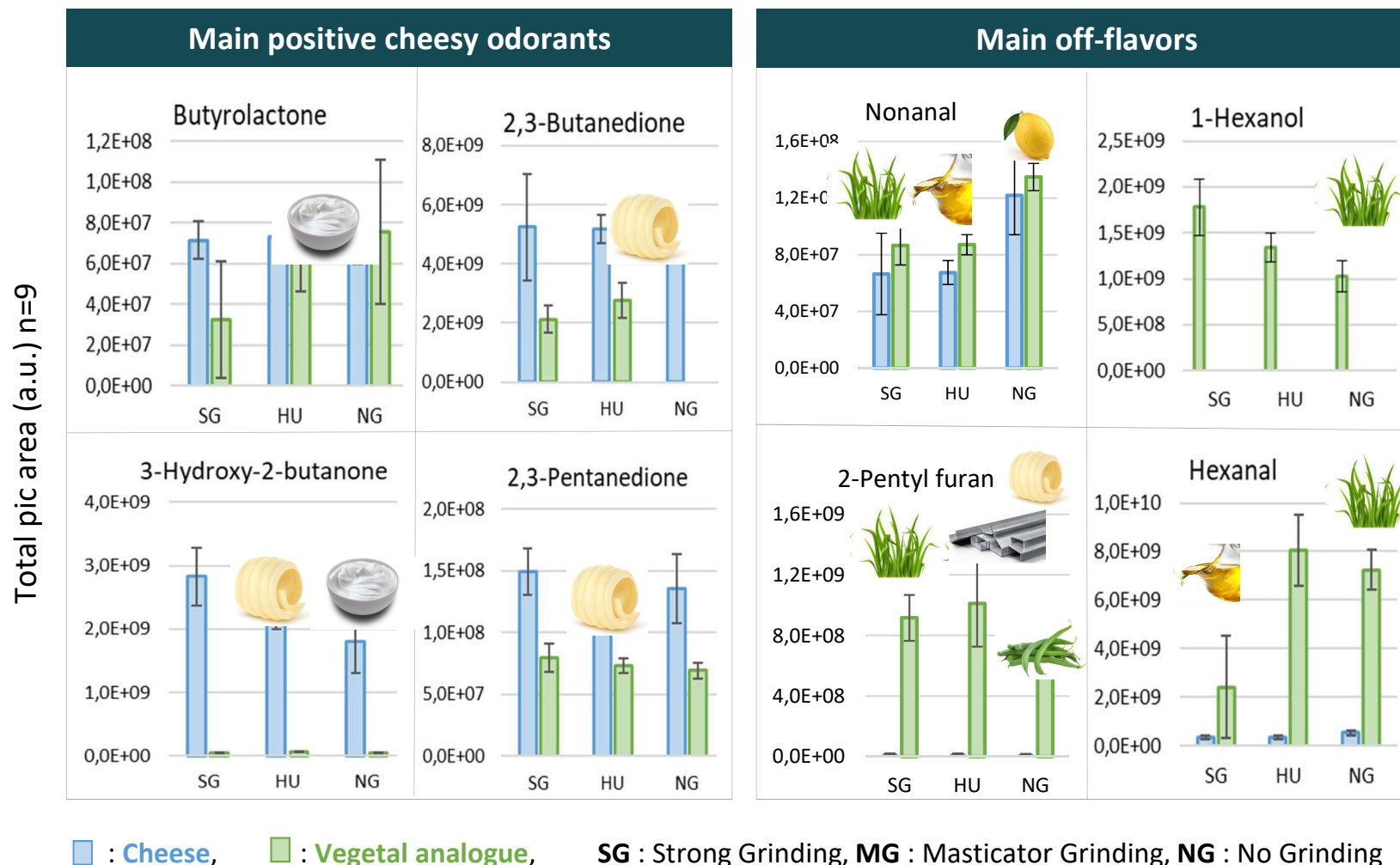
Quantity of saliva (%)
Particule fractions > 4 mm (%)
Particle > 4 mm : D50 (mm)
Particles < 4 mm (QICPIC)



Résultats phares

Couplage d'un masticateur et d'un digesteur dynamiques instrumentés

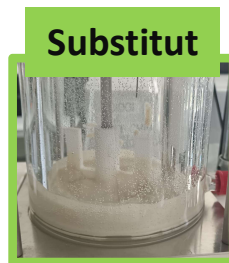
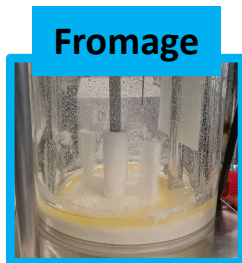
Les composés volatiles du bolus sont influencés par le ° de mastication



Globalement : moins de molécules aromatiques positives dans le substitut et plus de of saveurs quelque soit le ° de mastication

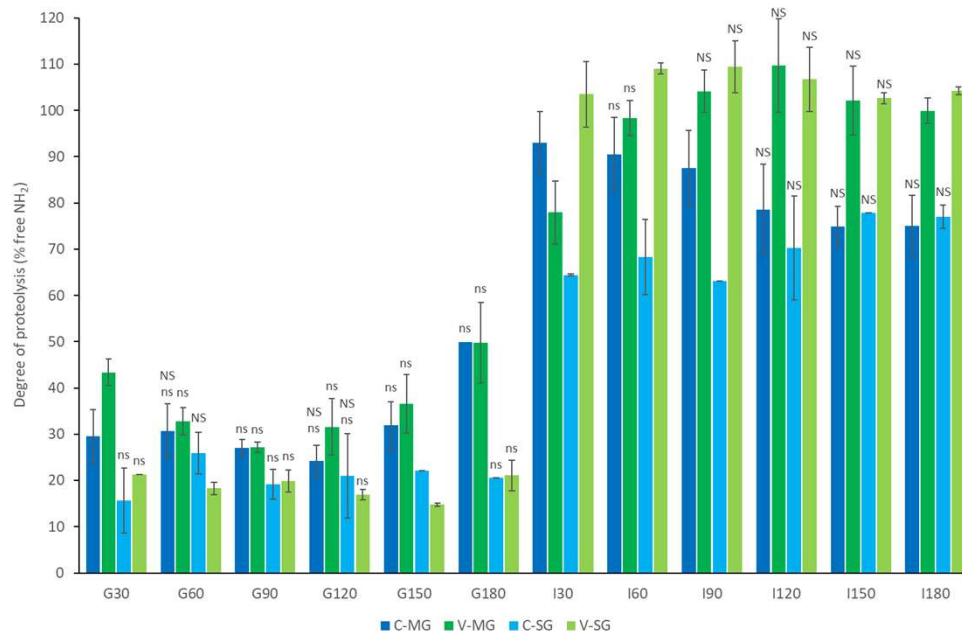
Etat de l'art

3. Cinétiques de digestion des Protéines et des Lipides des substituts végétaux et des fromages selon le degré de mastication



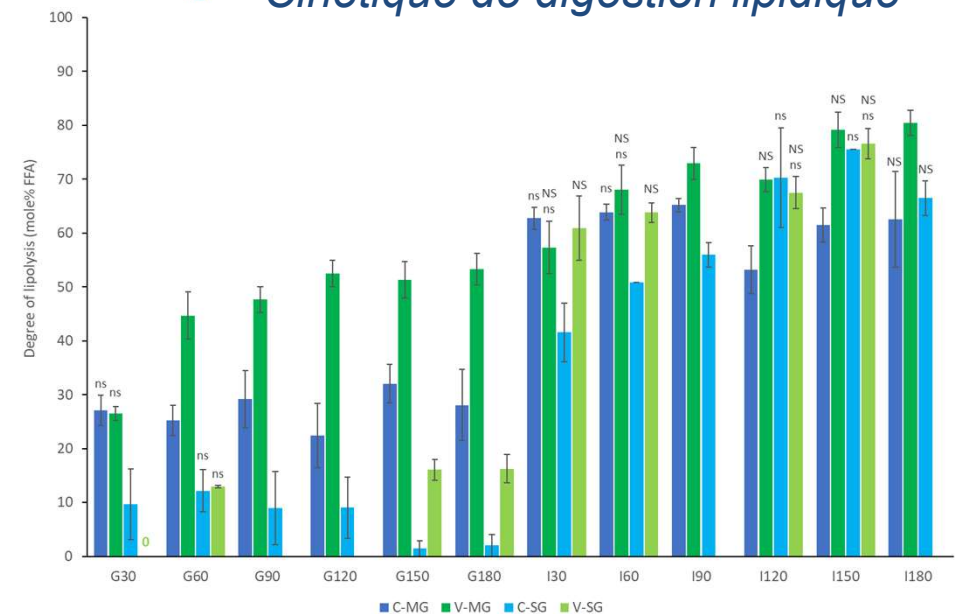
Mastications obtenues
par le masticateur ou
par forte mastication

● Cinétique de digestion protéique



Les protéines des substituts végétaux sont mieux digérées, notamment au niveau intestinal

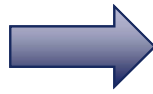
● Cinétique de digestion lipidique



Les lipides des substituts végétaux sont mieux digérés tant au niveau gastrique qu'intestinal



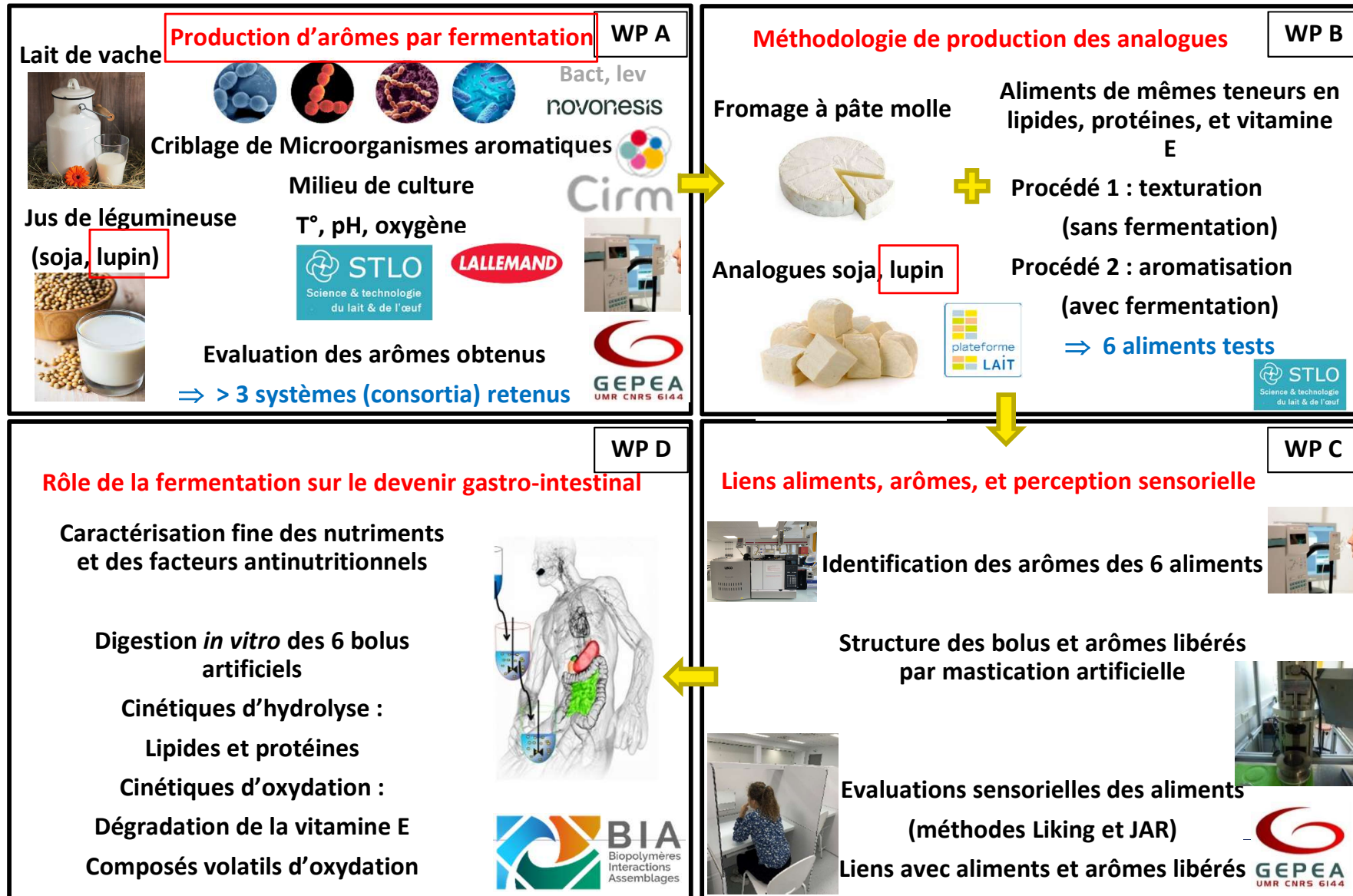
What next ?



FermFroLeg



1. Production des différents arômes par fermentation, à partir de plus de 100 souches screenées
2. Travail à partir du lupin ➡ détermination des molécules aromatiques (+ et -) selon le ° de mastication
➡ Détermination des cinétiques d'hydrolyse des Prot et Lip, de la dégradation de la Vit E



Perspectives d'innovations

Q Travail sur le continuum : fermentation - structuration - mastication - digestion

- Entrées par différentes voies :
- 1. Fermentation *production de molécules aromatiques connues*
 production de molécules aromatiques masquant les off notes
 production de molécules aromatiques originales
 + production d'exo-poly-saccharides → élasticité
- 2. Structuration : *mise au point de produits pour des populations cibles*
- 3. Mastication
- 4. Suivi de la digestion, production de facteurs antinutritionnels

Q A plus long terme

- *Travail sur les fonctionnalités des produits : fondant, filant, gratinant, ... car utilisation de plus en plus « hors repas » des fromages et substituts*



Analyse du potentiel de partenariats socio-économiques et de valorisation

- **Besoin réel** : ↗ les 600 T d'analogues végétaux de fromages en 2024 en France.

- Liens avec **Végépolys Vallée** pour communication et valorisation auprès de leurs adhérents (produits/procédés),
- Liens avec les **acteurs socio-économiques locaux** (Valorex, Eureden, OLGA) ou laitiers,
- Lien avec **INRAE TRANSFERT**

- Mettre à disposition les compétences développées pour **proposer une offre intégrée aux industriels et aux académiques** pour le développement de produits aux qualités sensorielles, texturales et nutritionnelles ciblées et maîtrisées.



Merci pour
votre attention

gilles.garric@inrae.fr

carole.prost@oniris-nantes.fr

sebastien.marze@inrae.fr

DATAVEG

Prédire la processabilité des protéines végétales

Gilles BERTHEAU, CTCPA



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



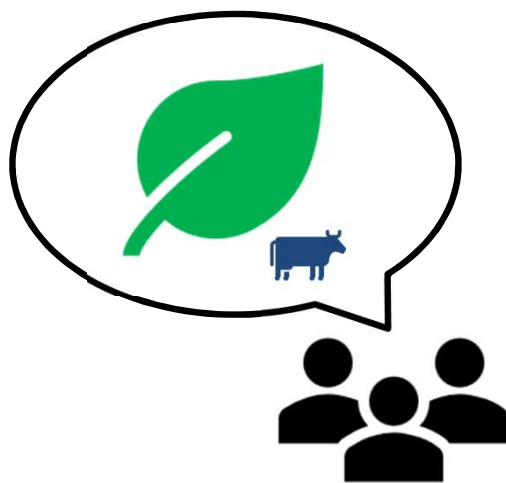
Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

Contexte et grands enjeux

🔍 Végétalisation de l'alimentation: un marché en expansion



Augmentation de la
demande en protéines
végétales



Développement de
produits analogues



Offre croissante
nouveaux ingrédients
protéiques

Contexte et grands enjeux

🔍 Pour qui ?

Producteur de protéines végétales



- Évaluer leurs ingrédients en intégrant les besoins des utilisateurs (contraintes industrielles)
- Comprendre les déterminismes de la fonctionnalité pour optimiser leurs ingrédients

Fabricants d'analogues



- Accéder à une base de données sur les ingrédients protéiques du marché
- Gérer des problématiques de fonctionnalité via la formulation ou le procédé

Contexte et grands enjeux



Comprendre et prédire la fonctionnalité
par une approche multicritères

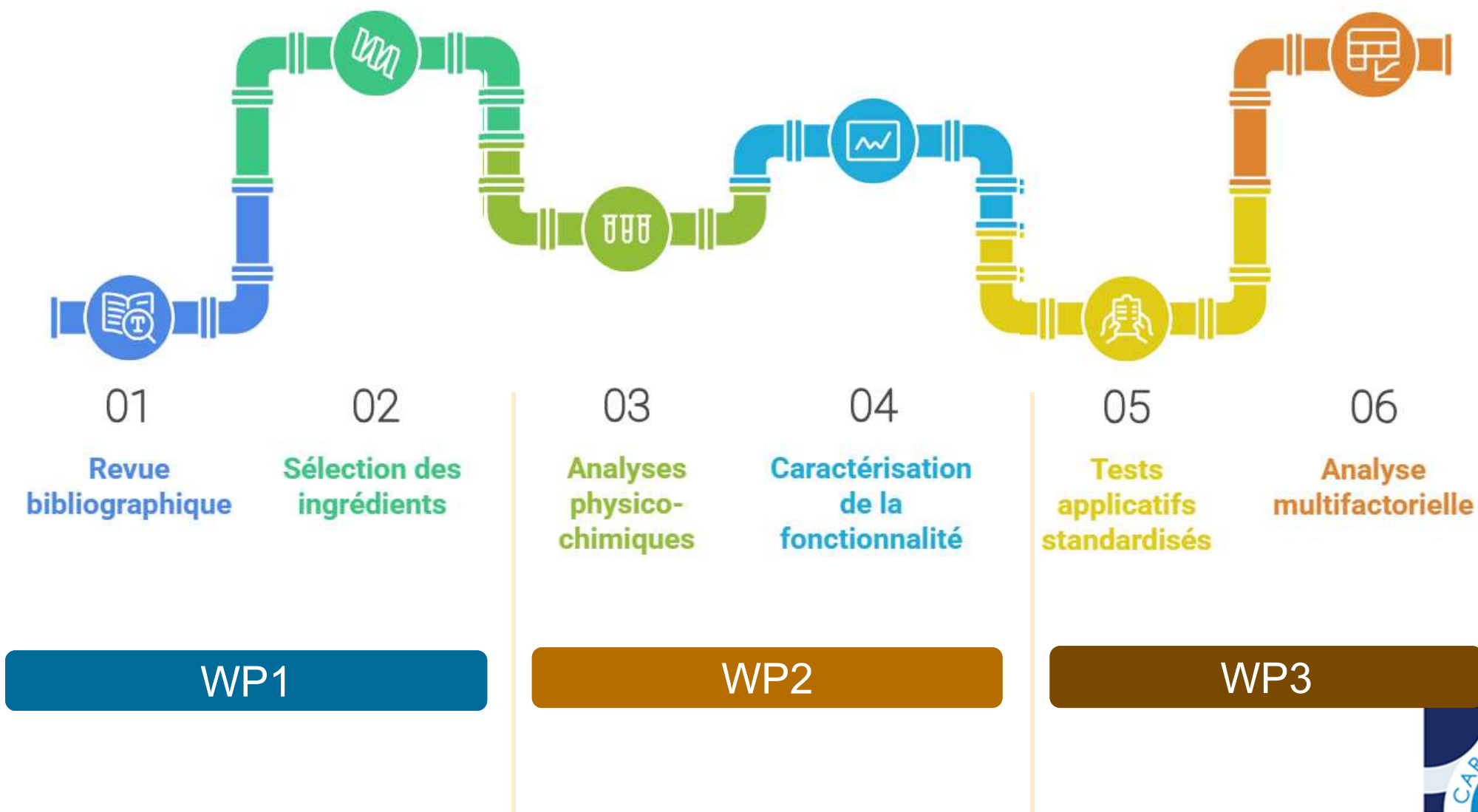


→ Besoin de méthodes harmonisées pour évaluer les comportements de ces nouveaux ingrédients dans des milieux modèles mais également dans des produits finis

→ Besoin d'une analyse statistique robuste pour traiter un jeu de données hétérogènes afin de prédire/comprendre les liens entre composition-fonctionnalité et application

Organisation du projet

2024-2026





1. Résultats phare

WP1

Web of Science : **18 416 articles !**

Approche bibliométrique : analyse quantitative des publications

Utilisation de méthodes statistiques et informatiques pour mesurer des aspects tels que la productivité des chercheurs, impacts des travaux, tendances et réseaux de collaboration.



- Graphiques de croissance des publications
- Réseaux de collaboration des auteurs, des pays
- Nuages de mots clés
- Cartes thématiques
- Réseaux de co-citations
- Classement des articles et des sources

The network diagram illustrates the interconnectedness of various food-related concepts. The nodes are color-coded and sized, with 'digestibility' (blue), 'functionalities' (red), and 'antioxidant' (green) being prominent. The network is divided into several clusters: a blue cluster on the left for digestibility, a green cluster at the top for antioxidants, a red cluster at the bottom for functionalities, and a purple cluster on the right for food processing and texture. Nodes are connected by lines of varying thickness, representing the strength or type of relationship.

Blue Cluster (Digestibility): Includes nodes like 'fish', 'rainbow trout', 'aquaculture', 'growth performance', 'soybean meal', 'fatty acids', 'amino acids', 'legumes', and 'fermentation'. The central node is 'digestibility'.

Green Cluster (Antioxidants): Includes nodes like 'oxidative stress', 'inflammation', 'antioxidants', 'apoptosis', 'flavonoids', 'phytochemicals', 'functional food', 'antioxidant activity', and 'antioxidant'. The central node is 'antioxidant'.

Red Cluster (Functionalities): Includes nodes like 'nutritional value', 'soybean', 'protein isolate', 'extraction', 'protein extraction', 'protein functionality', 'solubility', 'emulsion', 'clear serum isolate', 'composition', 'fatty acid composition', and 'functionalities'. The central node is 'functionalities'.

Purple Cluster (Food Processing and Texture): Includes nodes like 'processing', 'plant-based', 'meat analogues', 'texture', 'pea protein', and 'rheology'. The central node is 'texture'.

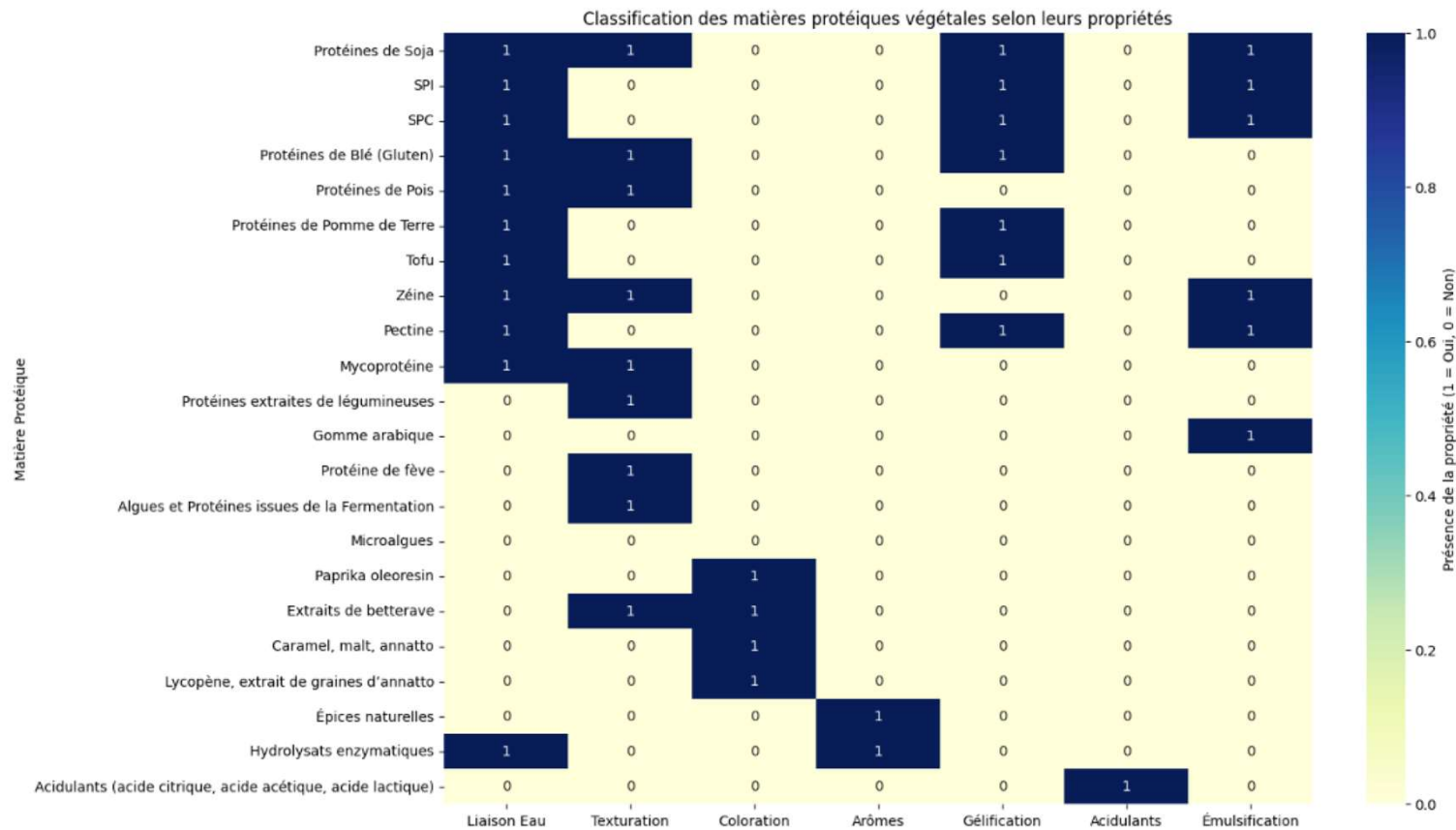
Orange Cluster (Molecular Docking): Includes nodes like 'molecular docking' and 'network pharmacology'.

La recherche
CARNOT
pour les entreprises



Etat de l'art

Synthèse bibliographique réalisée à partir d'une sélection de 50 articles



Classification des ingrédients selon leurs fonctionnalités



Etat de l'art

Les 7 ingrédients protéiques sélectionnés



Soy Isolate (Soy-PI-1)



Soy Concentrate (Soy-PC-1)



Pea Isolate (Pea-PI-1)



Pea Concentrate (Pea-PC-1)



Gluten (Wheat-PI-1)



Potato Isolate S200 (Pot-PI-1)



Potato Isolate S300 (Pot-PI-2)



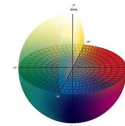
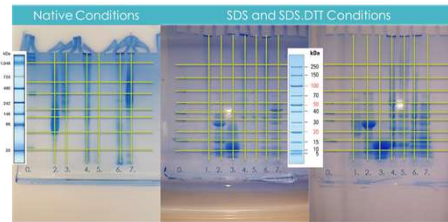
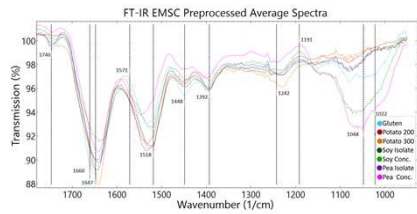
2. Résultats phare WP2

Caractérisation physico-chimique des ingrédients (DATAVEG Commun)

1. % de protéines (méthode Kjeldahl et Dumas)
2. Electrophorèse
3. Analyses spectroscopiques Infrarouge (NIR et FTIR)
4. Teneur en minéraux (Na, K, Ca, Mg)
5. Extrait sec
6. Activité de l'eau
7. Colorimétrie (Minolta Lab) sur poudre et solution (3%)
8. Densité (pycnomètre)
9. pH de remise en solution à 3%
10. Solubilité (mesurée après centrifugation pour des solutions à 10% de poudre)
11. Viscosité des solutions (1%)
12. Calorimétrie (DSC)
13. Water Holding Capacity (WHC)

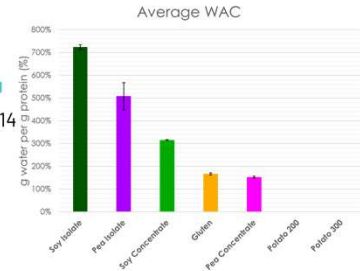
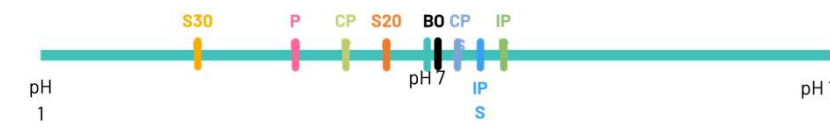
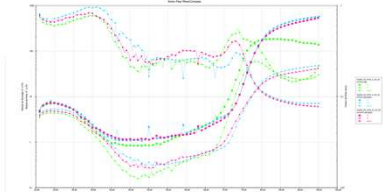
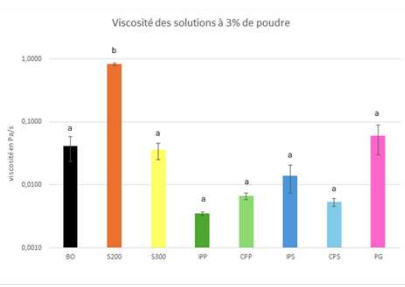
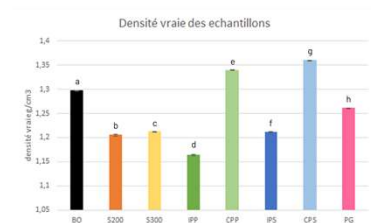
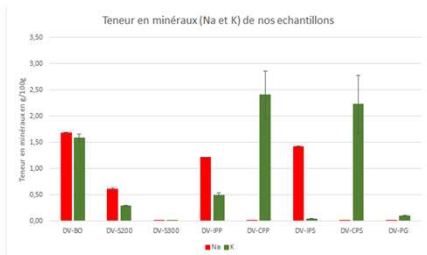
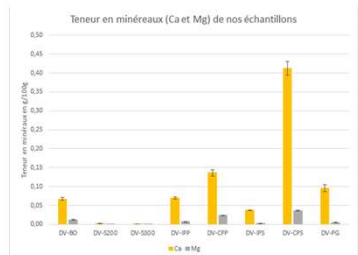
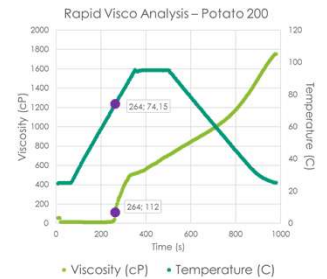
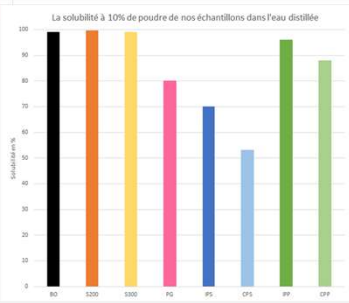
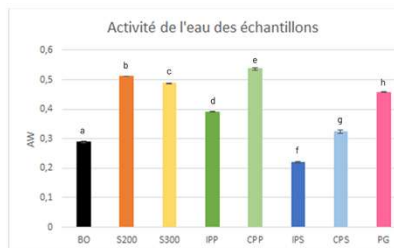
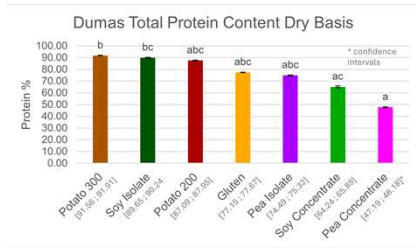
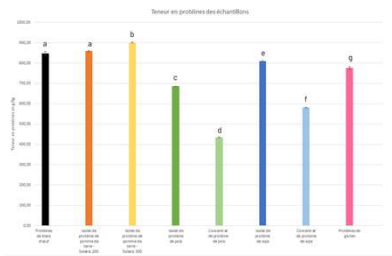
Caractérisation physico-chimique des ingrédients (DATAVEG Commun)

Solution à 3% de poudre



- S200:
 - L*: 21.20 ± 0.02
 - a*: -0.16 ± 0.04
 - b*: 0.54 ± 0.04
- S300:
 - L*: 25.08 ± 0.01
 - a*: -0.37 ± 0.01
 - b*: 3.33 ± 0.00
- IPP:
 - L*: 57.42 ± 0.09
 - a*: -3.72 ± 0.06
 - b*: 2.77 ± 0.06
- CPP:
 - L*: 49.28 ± 0.07
 - a*: -0.85 ± 0.01
 - b*: 6.10 ± 0.04
- IPS:
 - L*: 49.18 ± 0.07
 - a*: -0.65 ± 0.03
 - b*: 6.58 ± 0.16
- CPS:
 - L*: 46.76 ± 1.05
 - a*: -1.13 ± 0.00
 - b*: 4.23 ± 0.76
- PG:
 - L*: 39.94 ± 0.30
 - a*: -1.32 ± 0.08
 - b*: 2.46 ± 0.30
- BO:
 - L*: 21.47 ± 0.29
 - a*: -1.02 ± 0.04
 - b*: -1.50 ± 0.06

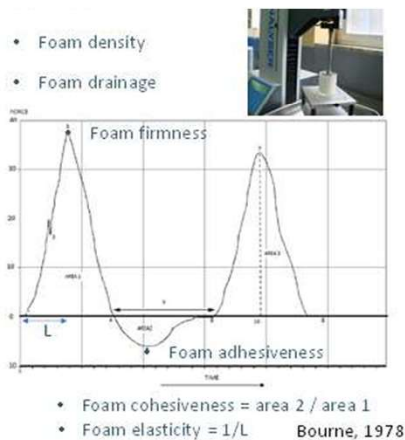
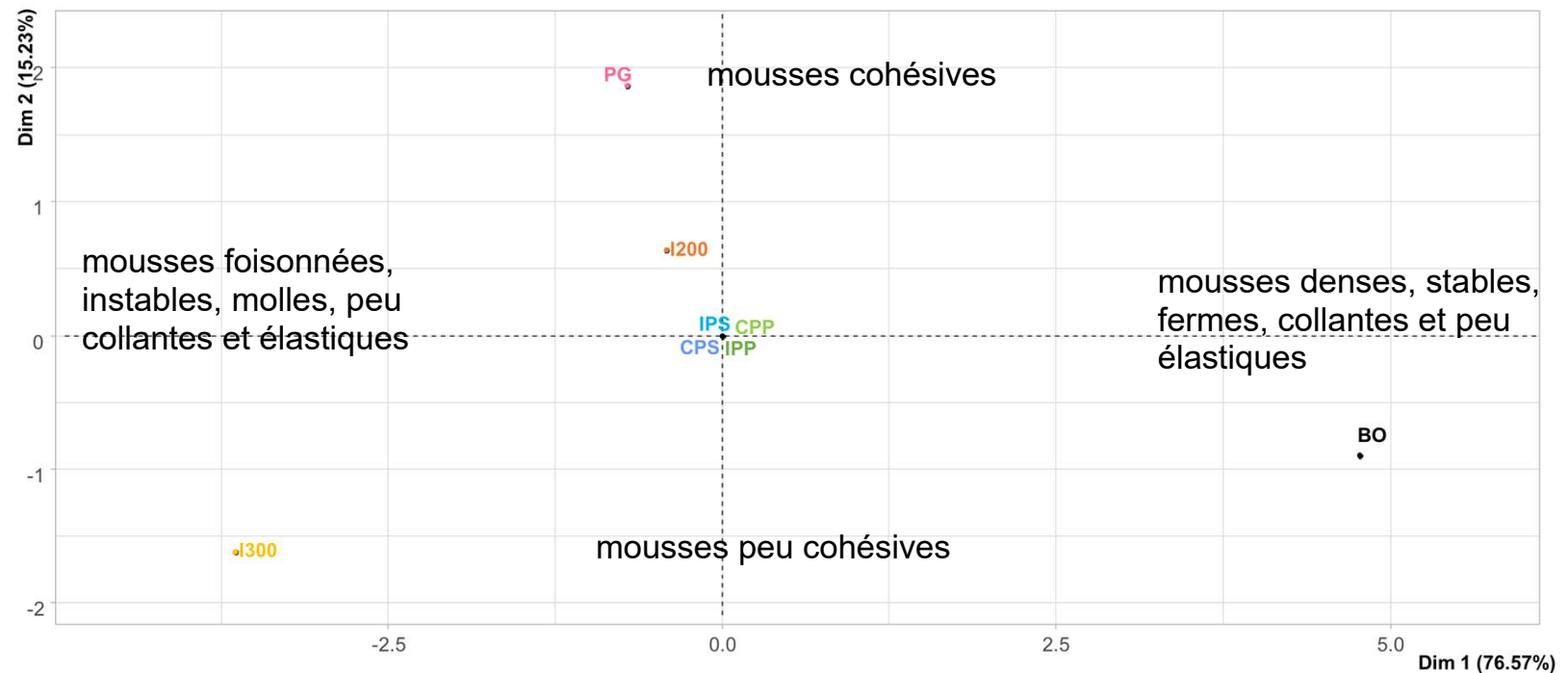
Echantillons du projet	ΔE
S200	7.80
S300	5.93
IPP	29.39
CPP	22.16
IPS	24.40
CPS	19.15
PG	12.14



Mise en place de protocoles pour évaluer la fonctionnalité en milieu modèle (exemple du pouvoir moussant)



Comportement des protéines végétales en mousse :

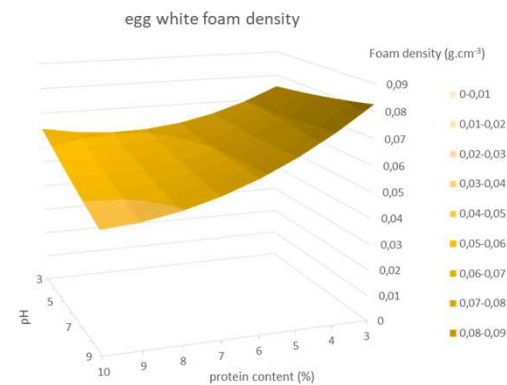
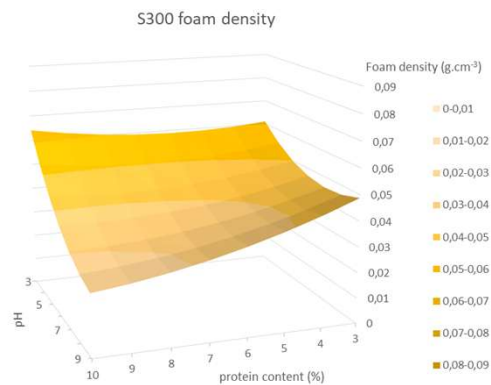


Pois et soja : leurs isolats et concentrats ne moussent pas à 3 % de protéines dans l'eau.

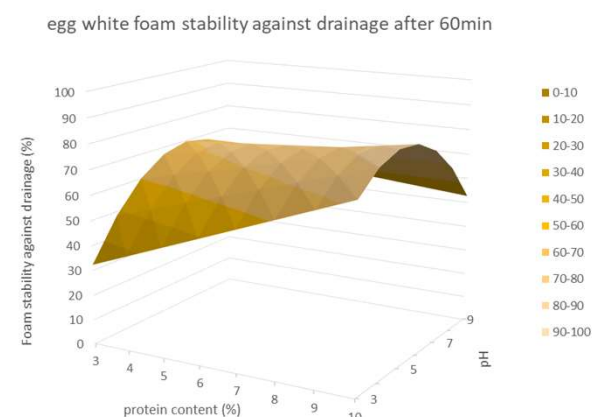
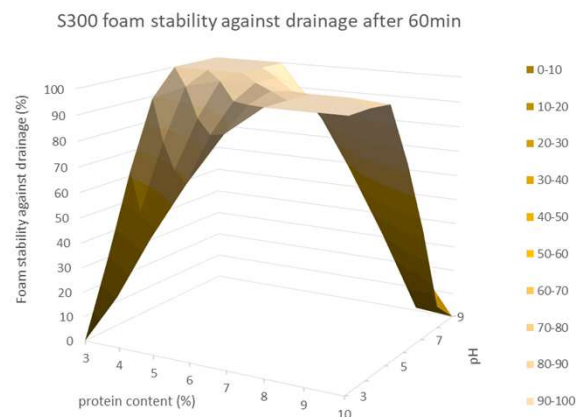
Protéines de gluten : mousses très cohésives, contrairement à l'isolat de protéine de pomme de terre (I 300).

 Mise en place de protocoles pour évaluer la fonctionnalité en milieu modèle (exemple du pouvoir moussant)

Optimisation des propriétés moussantes en fonction des **conditions physico-chimiques**



Les mousses S300 sont moins denses que celles du blanc d'œuf, sauf à pH 3 et [protéines] > 7 %



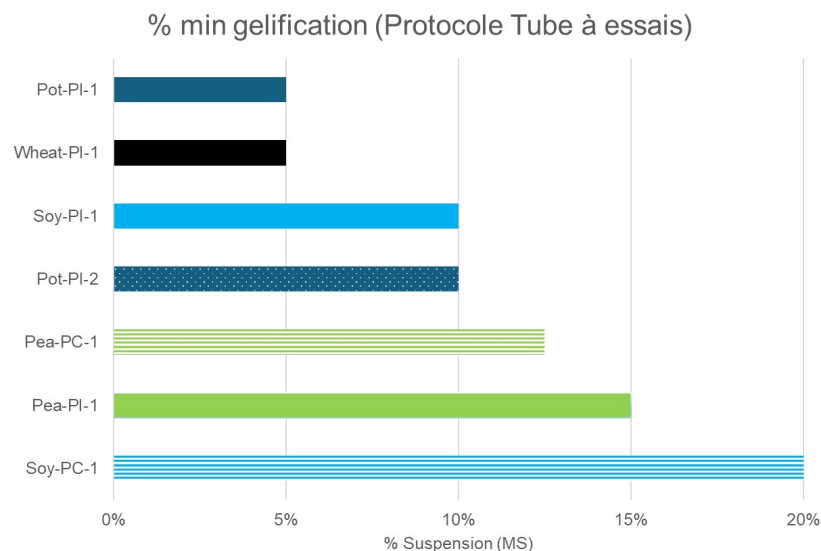
Les mousses de S300 sont plus stables, sauf à pH ≤ 4 et [protéines] ≤ 4 %, et pH ≥ 6 et [protéines] ≥ 7 %

Mise en place de protocoles pour évaluer la fonctionnalité en milieu modèle (exemple du pouvoir gélifiant)



Comportement des protéines végétales en gélification

Le pouvoir gélifiant des **7 matières premières (MP)** a été évaluée au niveau du % min de gélification et de l'impact du sel/pH.



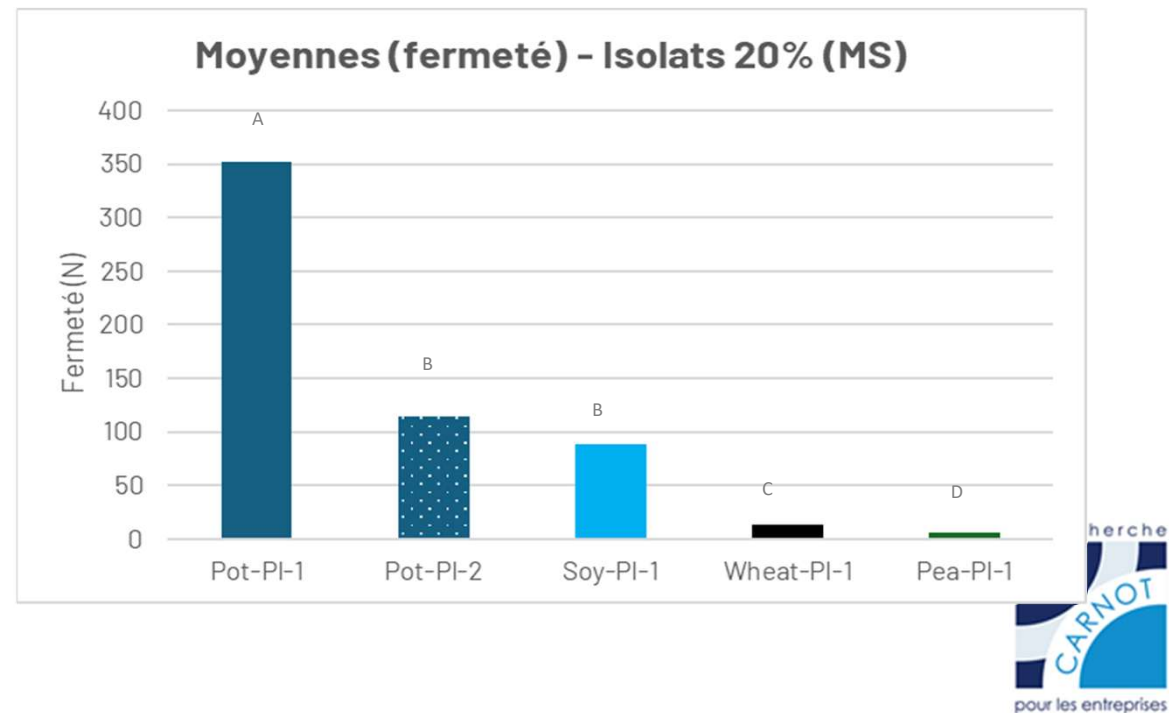
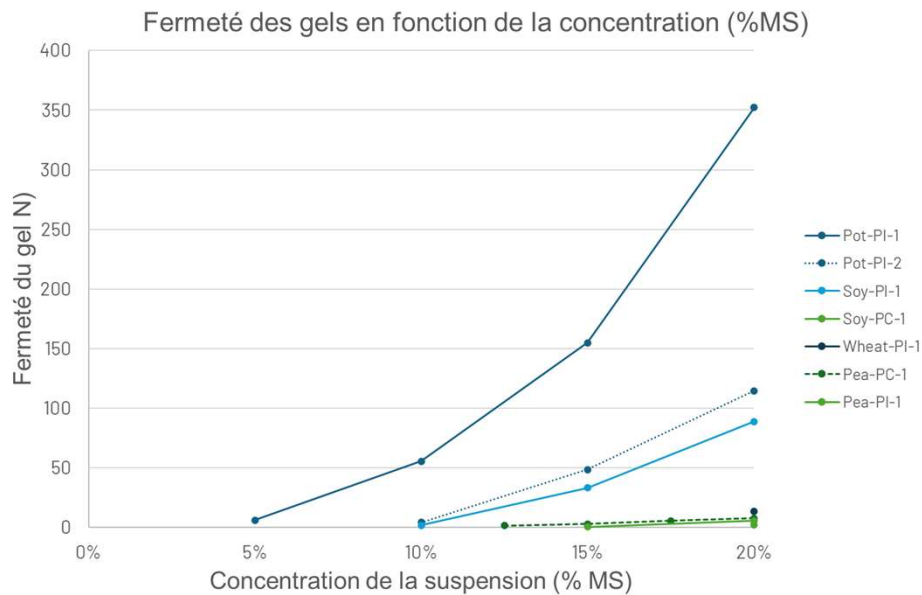
Sample	5% Protein 0% NaCl	5% Protein 1% NaCl	10% Protein 0% NaCl	10% Protein 1% NaCl
Pot-PI-1	✓	✓	✓	✓
Pot-PI-2	✗	✓	✗	✓
Pea-PI-1	✗	✗	✗	✓
Pea-PC-1	✓	✓	✓	✓
Soy-PI-1	✗	✓	✗	✓
Soy-PC-1	✗	✗	✓	✓
Wheat-PI-1	✓	✓	✓	✓

Mise en place de protocoles pour évaluer la fonctionnalité en milieu modèle (exemple du pouvoir gélifiant)



Comportement des protéines végétales en gélification

Le pouvoir gélifiant a également été évaluée au niveau de la **fermeté des gels** obtenus en fonction du % d'incorporation.

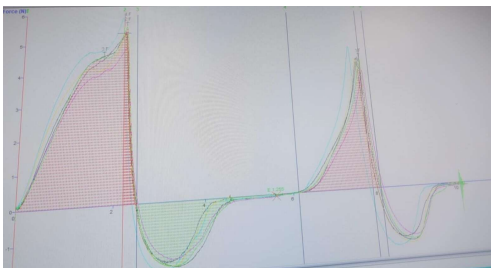




3. Résultats phare

WP3

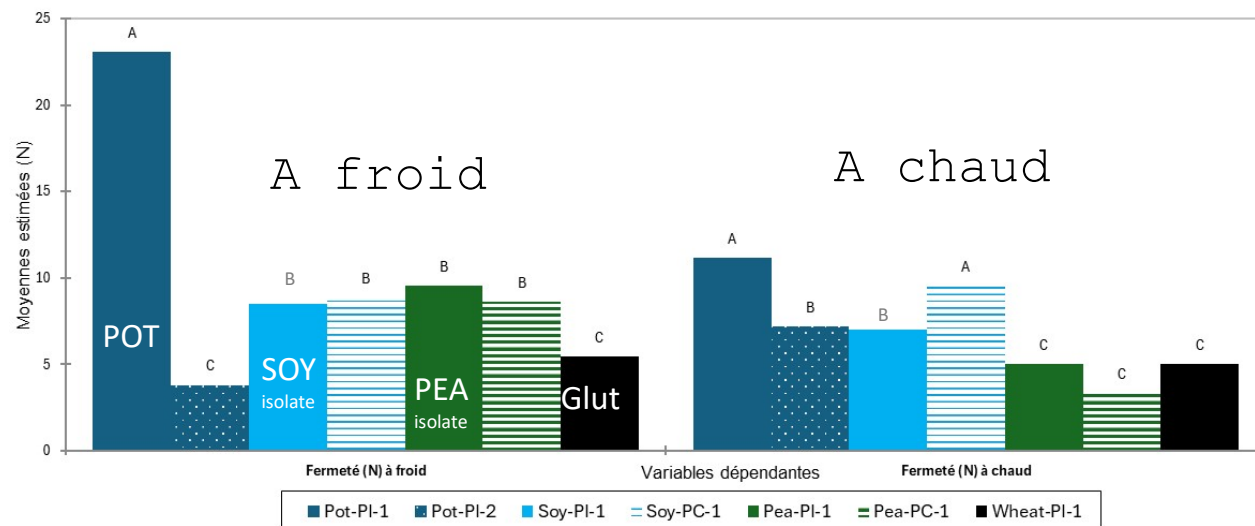
Mise en place de protocoles « Test applicatifs » (exemple de la saucisse pâte fine)



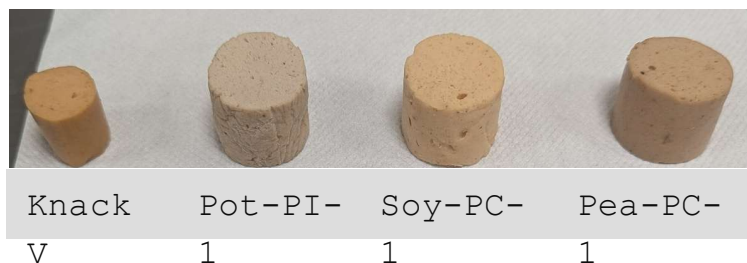
Comportement des protéines végétales en milieu complexe.

Un test applicatif « saucisse pâte fine » a été spécifiquement conçu. Les différences de gélification sont **moins visibles**, en raison de la **complexité de la matrice**. Cela s'explique notamment par les **interactions avec les autres ingrédients**, comme les **hydrocolloïdes**. les protéines.

Evaluation Fermeté Saucisse à froid et après réchauffage

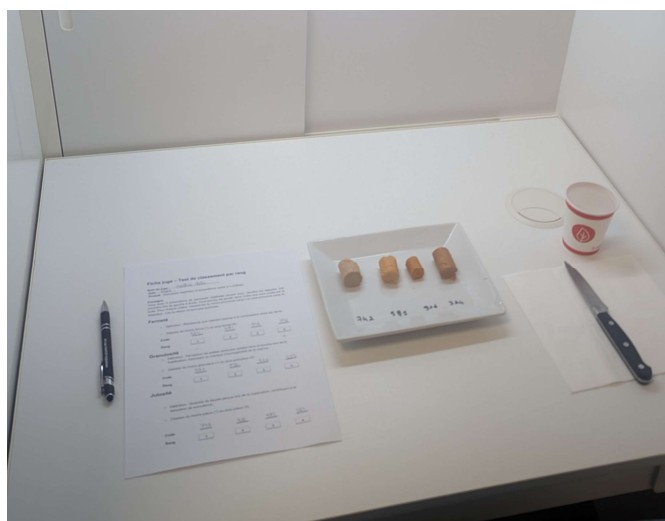


 Mise en place de protocoles « Test applicatifs » (exemple de la saucisse pâte fine)



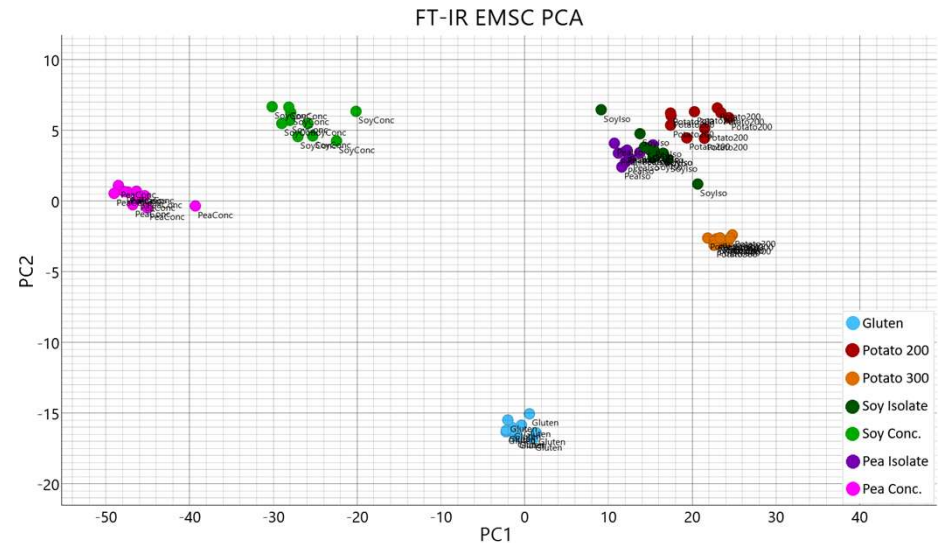
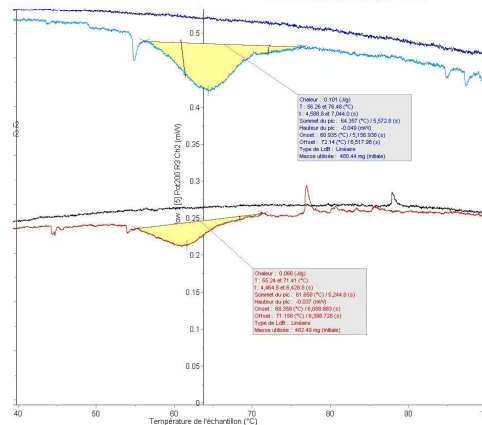
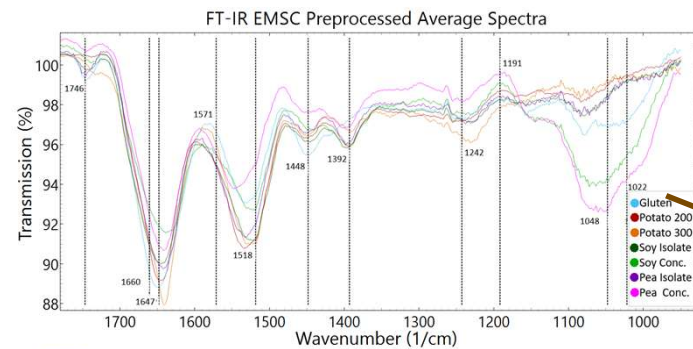
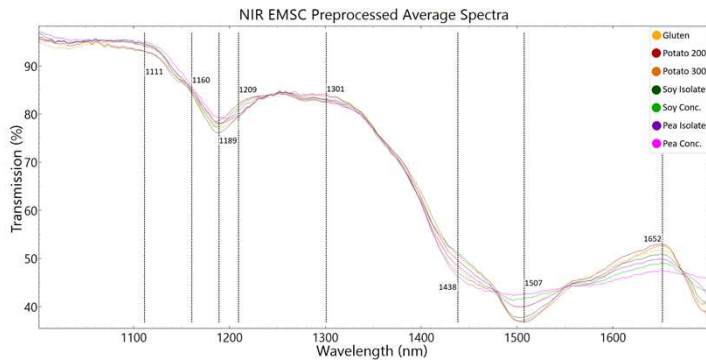
Comportement des protéines végétales en milieu complexe.

Analyse sensorielle sur produit fini



Échantillon	Fermeté instrumentale TPA (N± écart-type)	Somme des rangs (Fermeté sensorielle)
Knack V	17,04 ± 1,41 (c)	43,5
Pot-PI-1	19,80 ± 1,28 (bc)	37,0
Soy-PC-1	12,94 ± 1,63 (ab)	22,5
Pea-PC-1	6,32 ± 1,12 (a)	17,0

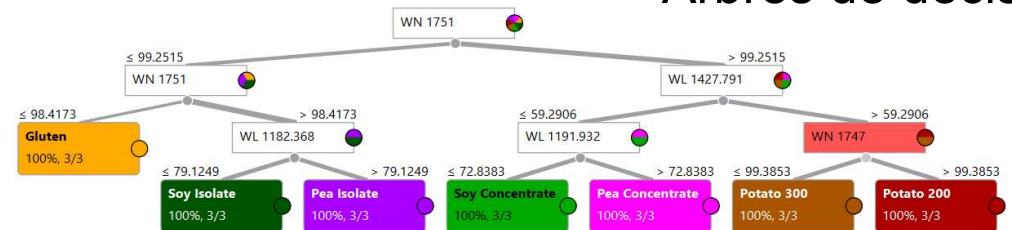
Traitement statistique des données



Analyse multivariée

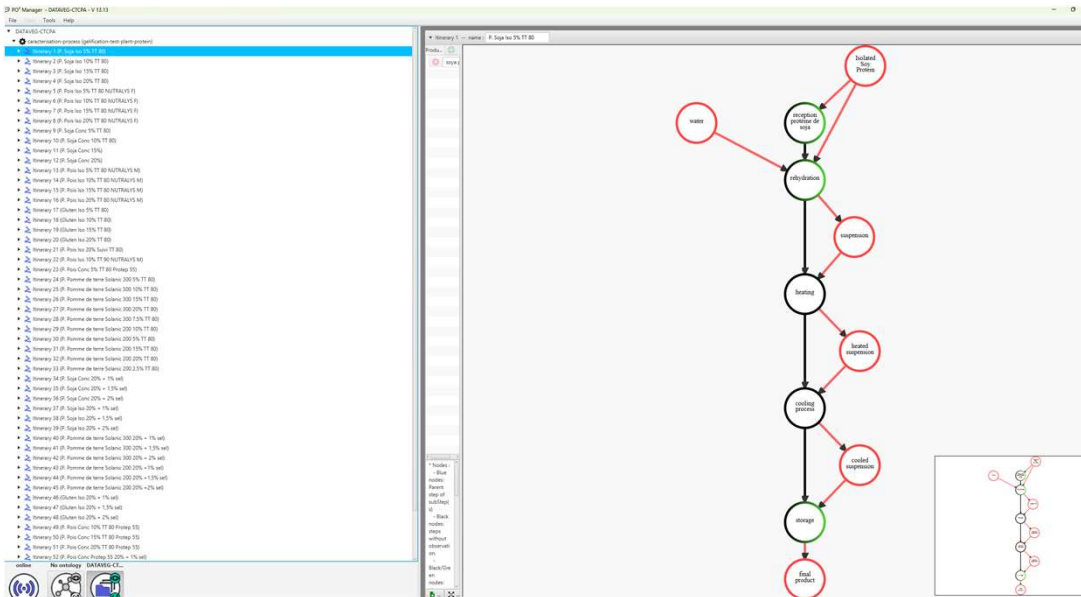
CHIMIOMETRIE Analyse multiblocs

Arbres de décision



=> Analyses exploratoires

Intégration de DATAVEG dans PO2 Manager



Un écosystème pour représenter les données

L'ensemble des données du projet (protocoles, plans d'expérience et résultats) ont été saisis dans P02 Manager.

Cette forme de structuration des données peut d'ores et déjà faire l'objet d'une publication sous forme de DATA PAPER.

L'extraction des résultats peut également se faire grâce à des requêtes. Les données sont ensuite exploitables sous forme de fichier csv.



What next ?

La suite du projet

- *Perspectives de projets de recherche :*
 - Intégration de nouvelles matières premières
 - Publication de requêtes pour interroger PO2 manager (cas d'usage)
 - Intégration des mathématiques pour interroger différemment les données du projet

EXOTICA

*EXtrusion par vOie humide pour produire
des aliments Transformés à base
d'Insectes et de miCroAlgues*

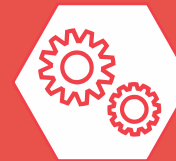
Aurélie LAGORCE, UMR PAM



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

EXOTICA

*EXtrusion par vOie humide pour produire
des aliments Transformés à base
d'Insectes et de miCroAlgues*

Aurélié Lagorce
aurelie.lagorce@agrosupdijon.fr



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



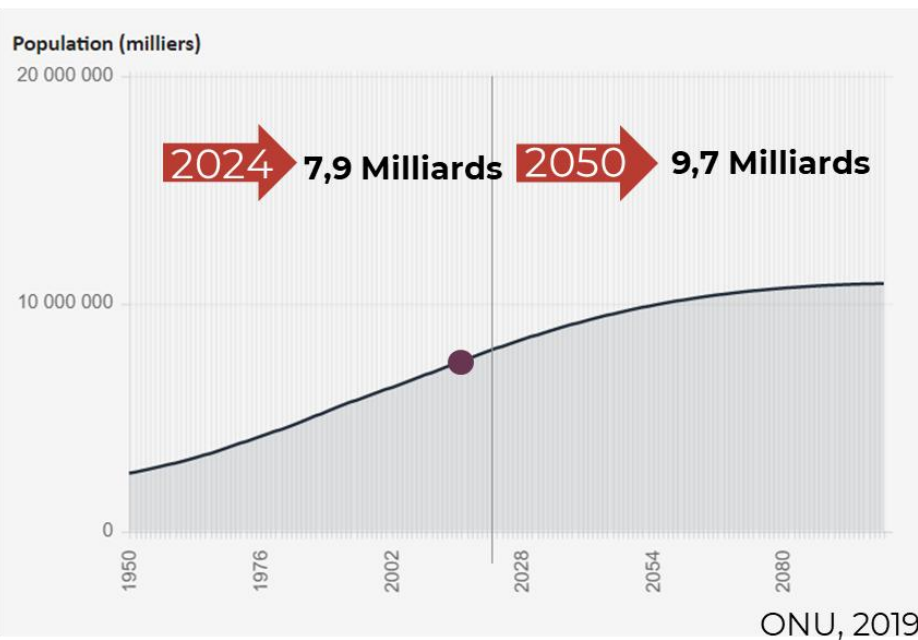
Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé



Contexte et grands enjeux

Vers une diversification des sources de protéines

Courbe de l'évolution de la démographie mondiale en fonction des années



Protéines
alternatives



Contexte et grands enjeux

Le challenge : augmenter l'acceptabilité des consommateurs

Faible attractivité !

- Apparence
- Goût
- Texture



EXOTICA

↗ Acceptabilité !

- Visuel
- Texture



Dégout



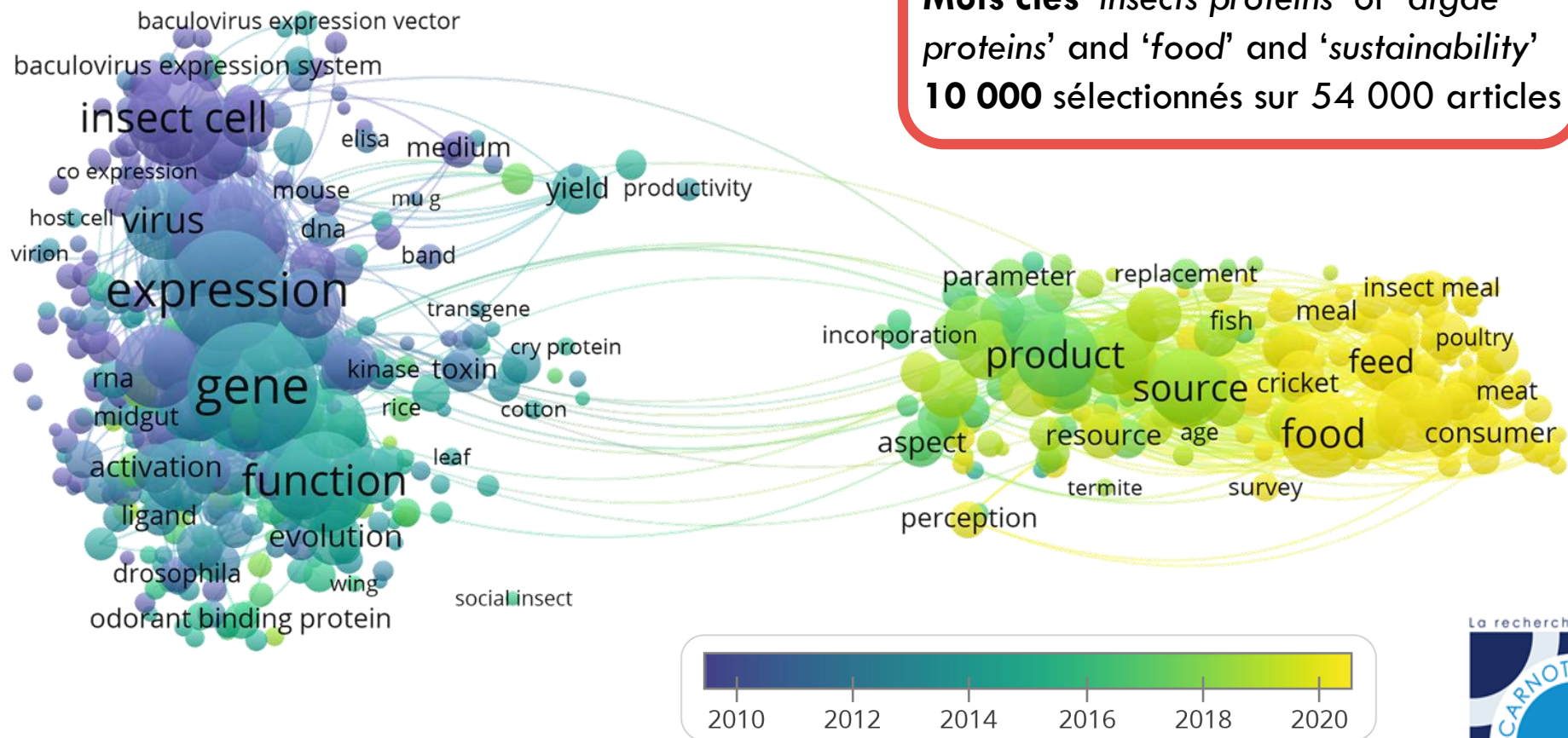
Familiarité

Etat de l'art

Évolution des sujets de recherches au cours des 15 dernières années

Web of science

Mots clés 'insects proteins' or 'algae proteins' and 'food' and 'sustainability'
10 000 sélectionnés sur 54 000 articles



T1

**Screening des protéines
non conventionnelles**

T2

**Étude de la texturation à
l'échelle laboratoire**

T3

Scale up

T4

**Acceptabilité des
consommateurs**

Une caractérisation multi-échelle des protéines

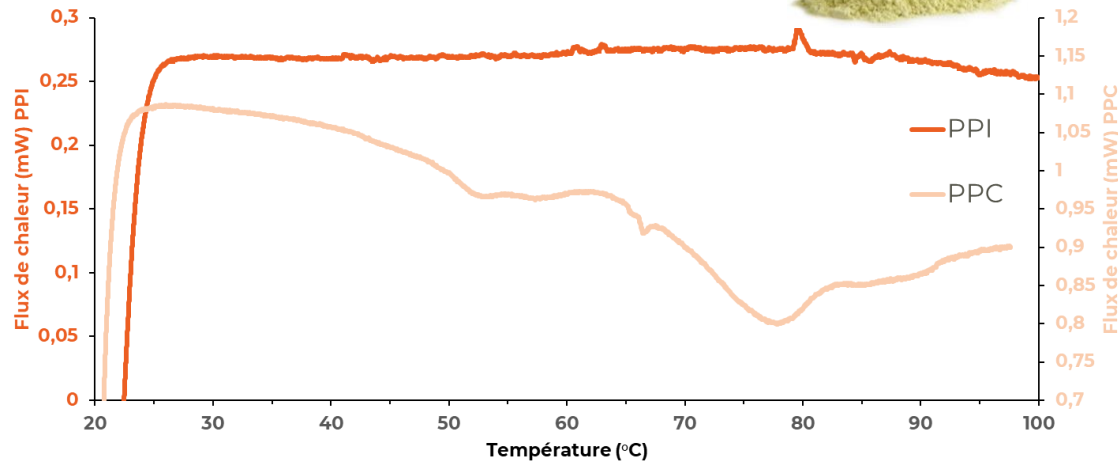
T1

**Screening des protéines
non conventionnelles**

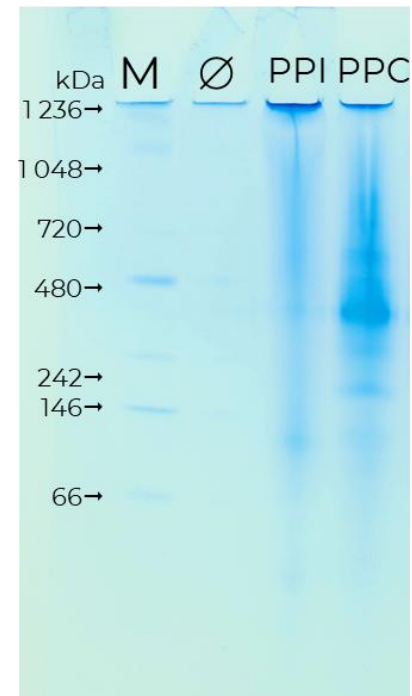
Concentrat



Isolat



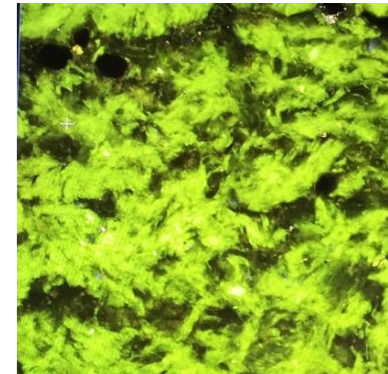
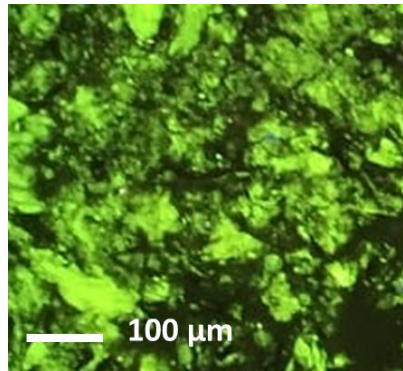
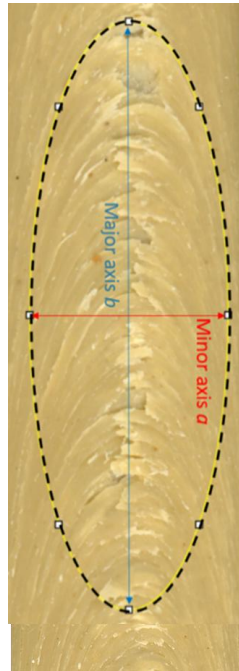
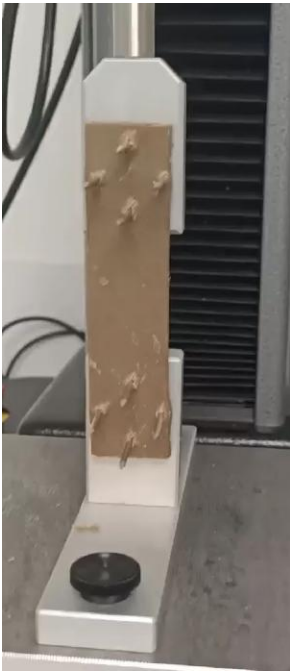
Natives



La teneur en protéines : un élément clé

T2

Étude de la texturation à l'échelle laboratoire



- Quantité de protéines > état des protéines
- Pois + spiruline / pois + insectes

Structure fibrée



Vers une industrialisation



8 cm

T3
Scale up



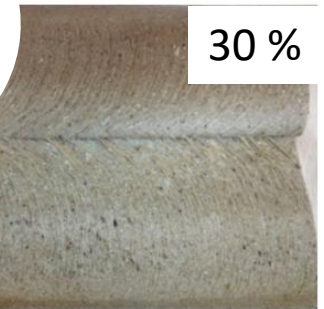
Ref



5 %



15 %

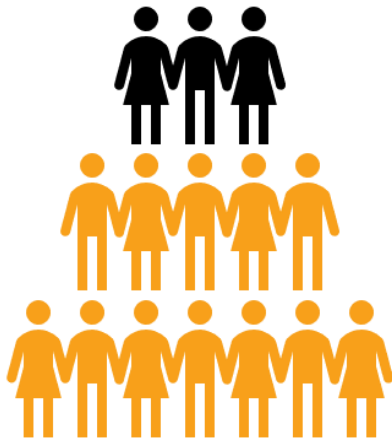


30 %

Changement d'échelle



Une meilleure acceptabilité des consommateurs



82 %

du panel sont prêts à consommer
le produit en sachant qu'il contient
des insectes



T4

**Acceptabilité des
consommateurs**



Perspectives d'innovations

A la recherche de partenariats industriels



PROJET

EXOTICA

L'EXTRUSION PAR VOIE HUMIDE :
UN PROCÉDÉ QUI TRANSFORME
LES PROTÉINES D'INSECTES ET DE
MICROALGUES EN ALIMENTS
ATTRACTIFS

 
Réseau de recherche pour l'innovation alimentaire

Un projet ? qualiment@inrae.fr

Edition 2024

- 1 carte postale Qualiment
- 1 Article IAA
- Journée technique :
13 novembre (Dijon)

What next ?

 EXOTICA comme point de départ à de nombreux projets

- ANR PROSPECTIVES (Projet ANR 23-DIVP-0006)
 - Production, séchage, propriétés fonctionnelles des protéines alternatives

Prospectives

- Vers d'autres projet de recherche :
 - National : Dépôt d'un nouveau projet Qualiment / inter Carnot ?
 - International : France-Canada pour la Recherche

Merci !



Dominique Champion
Camille Loupiac
Flavie Chanoit
Mélissa Justin
Eric Royer
Gayane Hayrapetyan



Vanessa Jury
Gabriel Le Flem
Francine Fayolle



Samir Mezdour



Etienne Kayser
Jonathan Valila

GermAGE

Intérêt nutritionnel pour la personne âgée de produits formulés à partir de mélanges de farines de blé germé et de lentilles germées

Gueugneau Marine

UMR1019 INRAE Clermont-Fd
UNH, équipe ASMS
marine.gueugneau@inrae.fr

INRAE

UNH
Unité de Nutrition Humaine

UCA
UNIVERSITÉ
Clermont
Auvergne



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



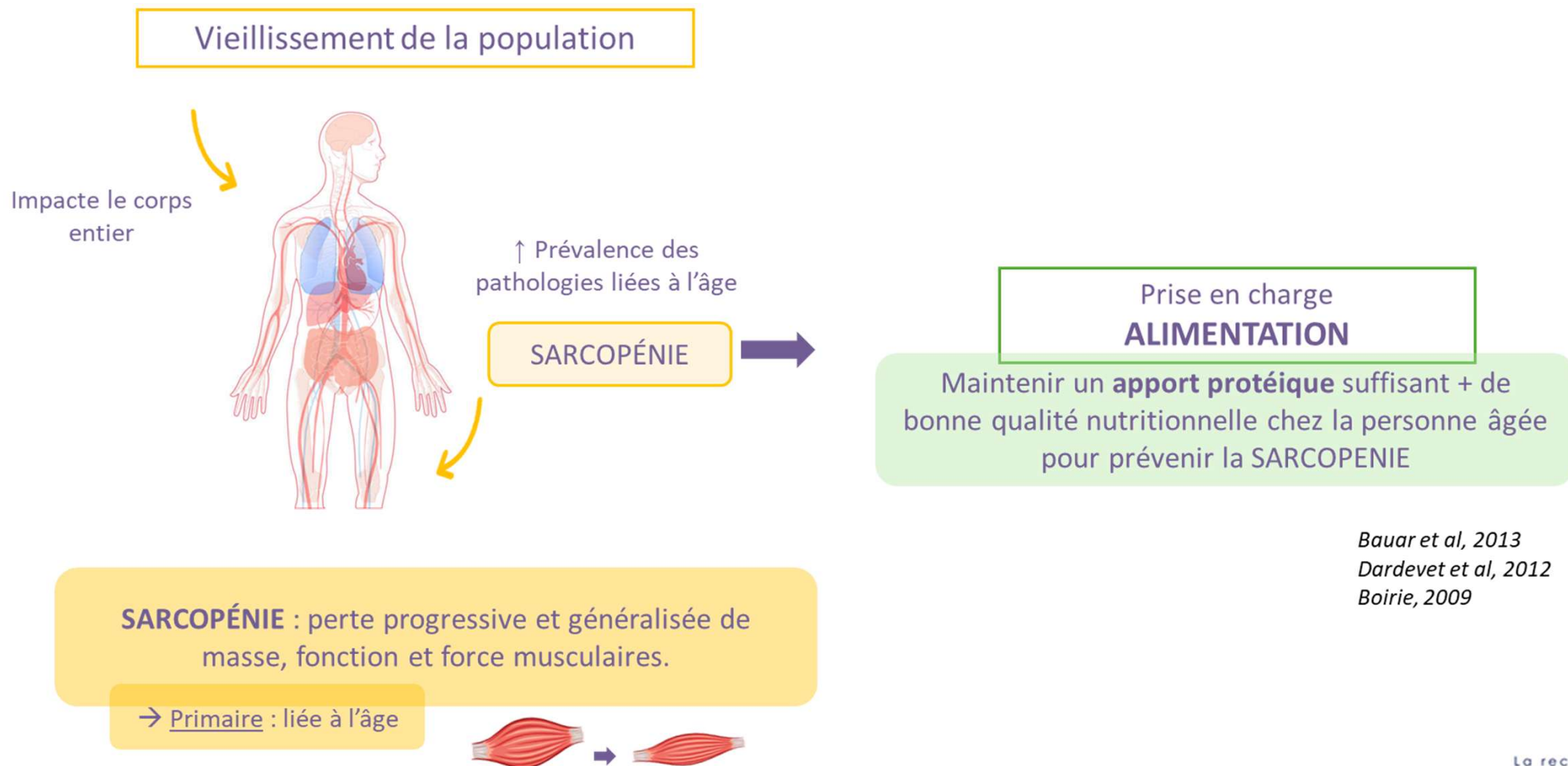
Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

Contexte et grands enjeux

✓ Viellissement et alimentation



Bauar et al, 2013
Dardevet et al, 2012
Boirie, 2009

Cruz-Jentolf et al, 2018



Contexte et grands enjeux

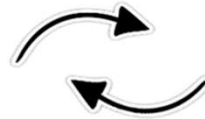
✓ Transition alimentaire et végétalisation

La **transition alimentaire actuelle**, c'est évoluer vers une alimentation permettant de :

Nourrir **9 milliards d'individus**
en 2050...



...tout en **préservant la planète**



La solution, c'est la **végétalisation de l'alimentation**...!

= c'est substituer **une part** de **produits animaux** de son alimentation **par des produits végétaux**



→ **Nouveaux aliments végétaux** riches en protéines :

- Répondant aux contraintes métaboliques et nutritionnelles des **personnes âgées**
- Utilisant des procédés de transformations des produits **plus durables**



Objectifs du projet

- ✓ Stratégie nutritionnelle associant complémentarité de sources et germination pour améliorer la qualité nutritionnelle des aliments végétaux

Complémentarité des sources



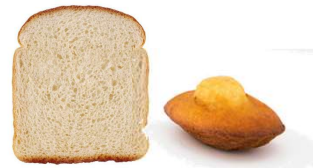
Germination



Mélange de farines blé germé/lentilles germées



WP1



Formulation de produits

Partenaire: CTCPA



WP2



Test **d'acceptabilité** auprès de 100 séniors

Partenaire: CSGA

WP3



Etude nutritionnelle et effet santé chez le rat âgé

Coordinateur: UNH
Partenaire: MICALIS

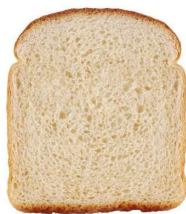
WP 1: Caractérisation des propriétés technologiques des farines (Gilles Bertheau, CTCPA)

1- Analyse de la composition nutritionnelle des farines de blé et de lentilles germées ou non

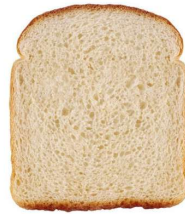
Germination = ↑ teneurs/bioaccessibilité en **Calcium**, **Phosphore**, **Vit C** des lentilles
↑ teneurs en **Vit B9** du blé et des lentilles
Polyphénols ??? En cours d'analyse

2- Elaboration de produits de panification et de pâtisserie → pain de mie, madeleines

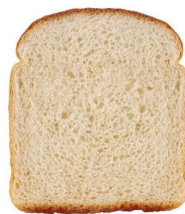
- ✓ **Caractérisation technologique** des farines de blé et de lentilles germées
- ✓ Analyse des **pâtes crues** sur base d'une grille d'évaluation « Essai de panification NF V03-716 Pain courant »
- ✓ **Formulation des recettes** et optimisation des procédés de fabrication



Blé T55
standard



Blé/lentille
non germée



Blé/lentille
germée



Blé T55
standard



Blé
MILLBAKER



Blé/lentille
non germée



Blé/lentille
germée

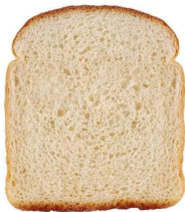


Résultats phare

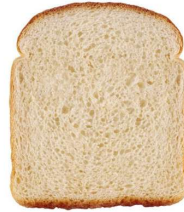
WP 2: Etude de l'acceptabilité des aliments germés chez la personne âgée (Claire SULMONT-ROSSE, CSGA)



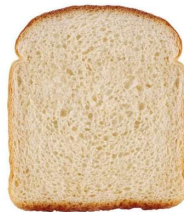
Test d'acceptabilité de ces produits auprès de 100 consommateurs âgés de 75 ans et plus



Blé T55
standard



Blé/lentille
non germée



Blé/lentille
germée



Blé T55
standard



Blé
MILLBAKER



Blé/lentille
non germée



Blé/lentille
germée



Détermination des caractéristiques sensorielles des produits et pistes d'amélioration



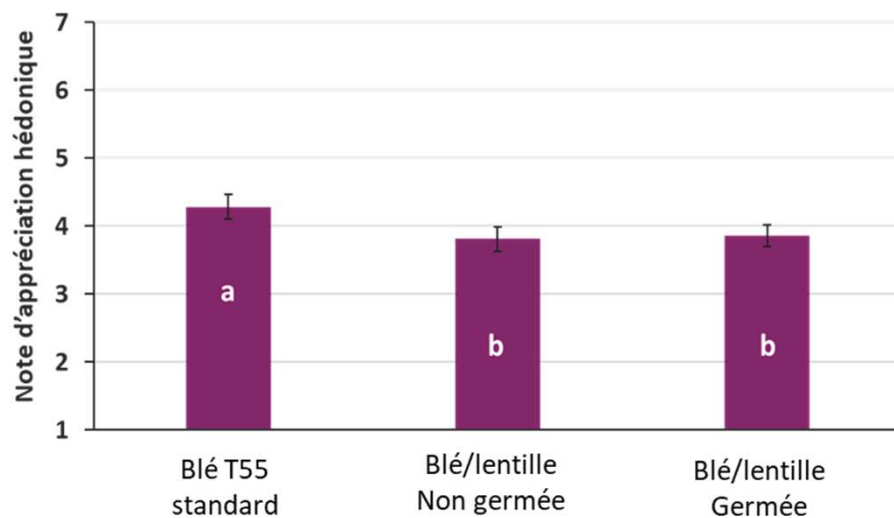
Résultats phare

WP 2: Etude de l'acceptabilité des aliments germés chez la personne âgée (Claire SULMONT-ROSSE, CSGA)



PAIN DE MIE

$F=3,39$; $p=0,05$



Pains de mie à base de farine de lentilles non germées ou germées ont été perçus **plus secs, plus acides** et **plus amers** que le pain de mie témoin.

Ils ont été significativement **moins appréciés** que le pain de mie témoin



Impact négatif de l'incorporation de farines de lentilles dans le pain de mie
Pas de valeur ajoutée de la germination sur ce produit



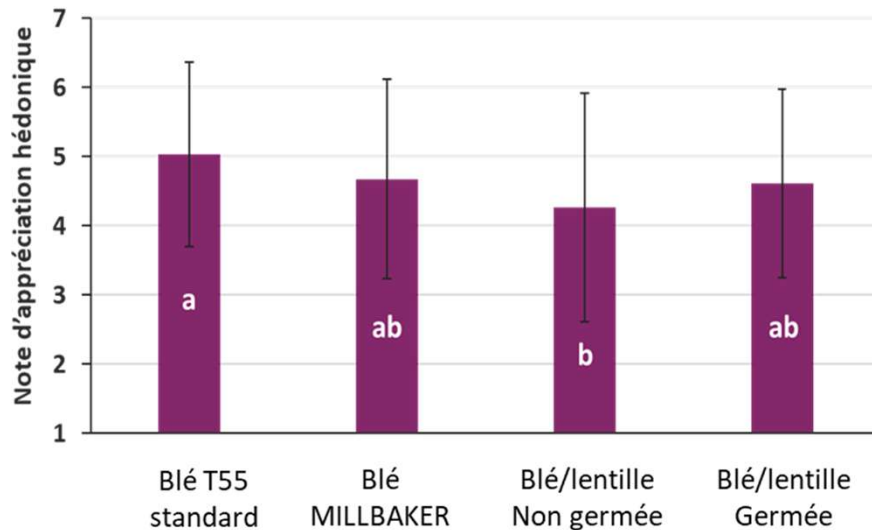
Résultats phare

WP 2: Etude de l'acceptabilité des aliments germés chez la personne âgée (Claire SULMONT-ROSSE, CSGA)



MADELEINE

$F=5,04 ; p=0,01$



Les madeleines composées de farines de blé/lentille non germées ont été moins bien appréciées **plus filandreuses, peu fondantes** et la note du **confort en bouche** est diminuée.

Ajout de farines de blé/lentille germées a permis d'améliorer l'ensemble de ces critères et **améliore l'appréciation des madeleines** par les consommateurs.

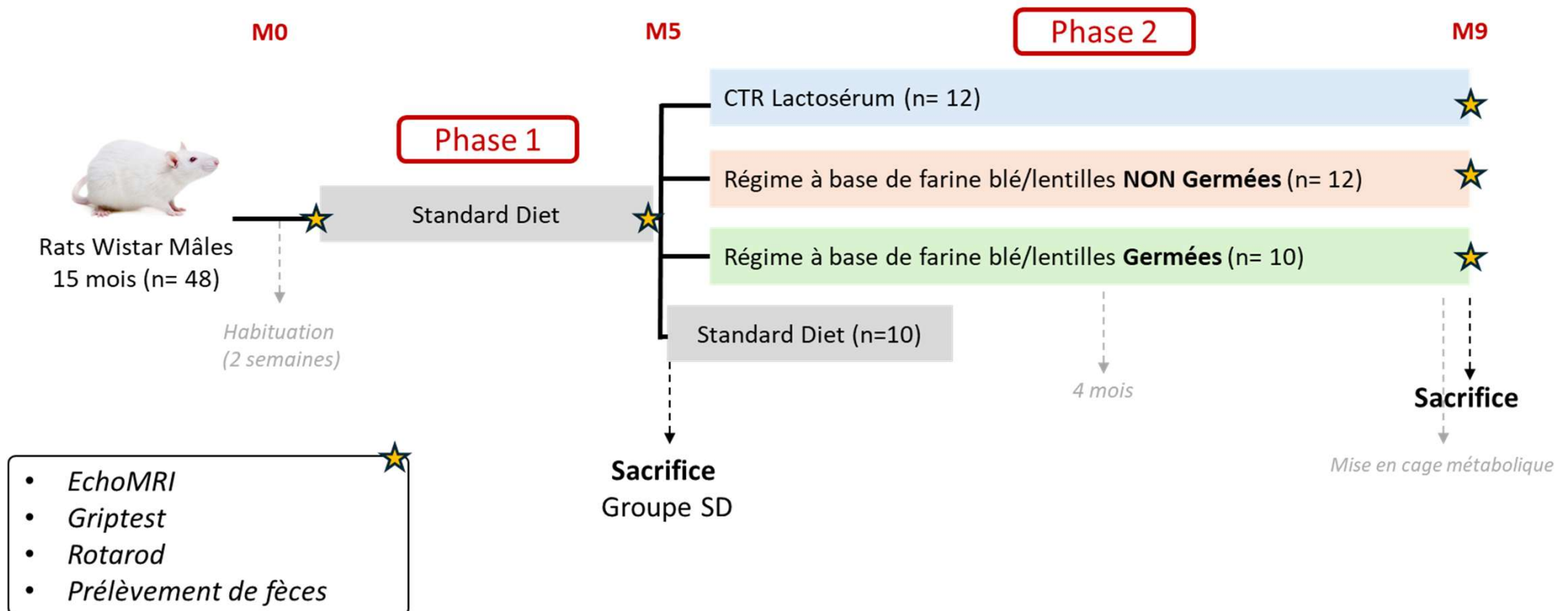


Impact positif de la germination sur l'acceptabilité des madeleines



Résultats phare

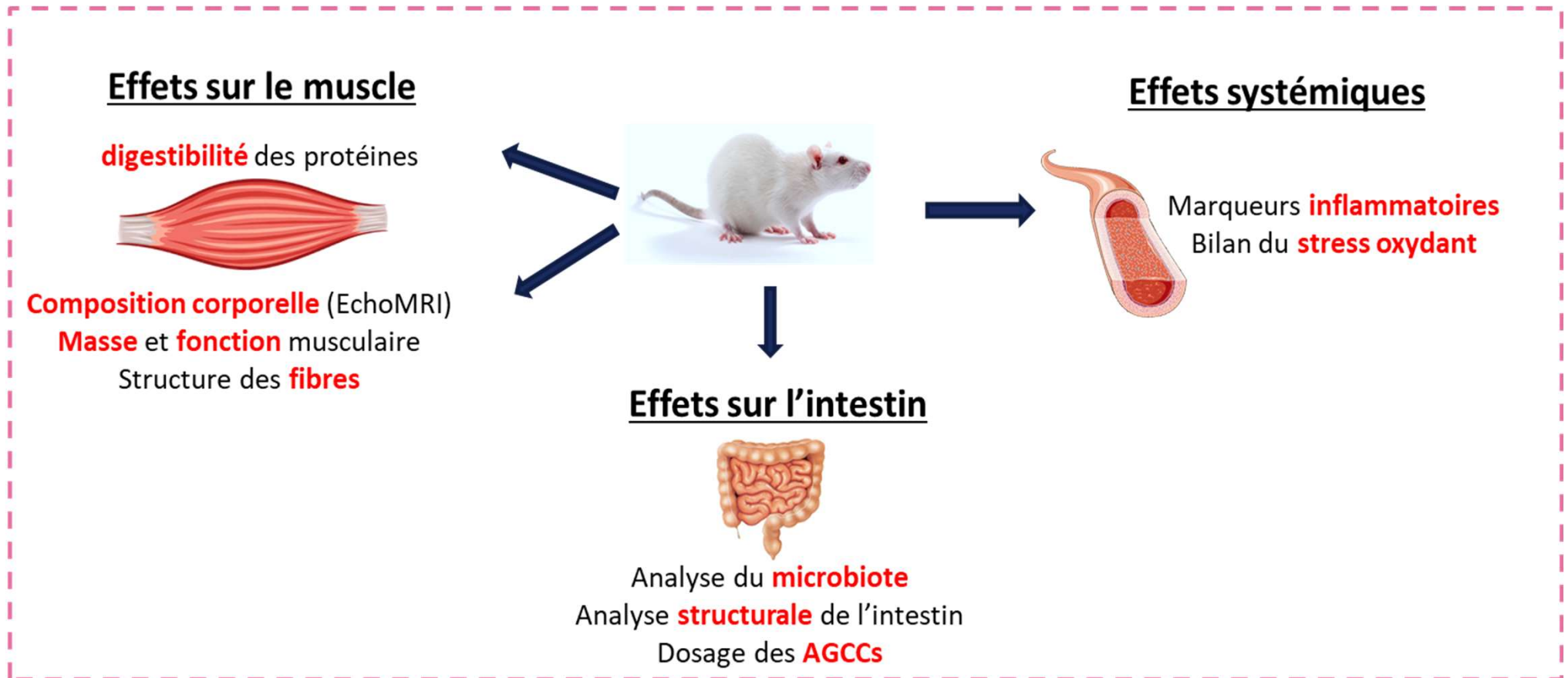
WP 3: Etude des bénéfices nutritionnels des farines de blé/lentilles germées chez le rat âgé et étude du microbiote intestinal (Marine Gueugneau, UNH - Muriel THOMAS/Sandrine Augier, MICALIS)





Résultats phare

WP 3: Etude des bénéfices nutritionnels des farines de blé/lentilles germées chez le rat âgé et étude du microbiote intestinal (Marine Gueugneau, UNH - Muriel THOMAS/Sandrine Augier, MICALIS)





Résultats phare

WP 3: Etude des bénéfices nutritionnels des farines de blé/lentilles germées chez le rat âgé et étude du microbiote intestinal (Marine Gueugneau, UNH - Muriel THOMAS/Sandrine Augier, MICALIS)

Vieillesse

- Perte de **masse + fonction musculaires**



SARCOPÉNIE



Régimes végétaux

avec un profil équilibré en AAi

- Maintien de la **masse + fonction musculaires** équivalent aux protéines animales
- Tendent à améliorer **statut inflammatoire + niveau de stress oxydant**



Nutriments de la matrice végétale



Graines germées

- Amélioration de la **qualité protéique, effet bénéfique sur la digestibilité, PDCAAS et la perméabilité intestinale**



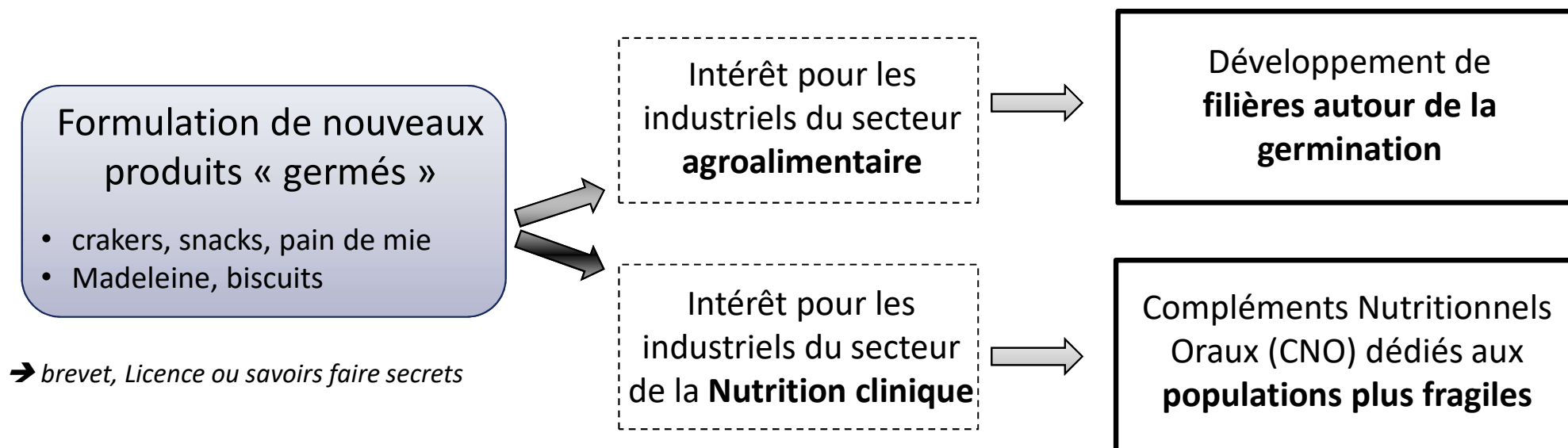
Dégradation des FAN
Synthèse de protéases



Stratégie nutritionnelle saine et durable pour la prise en charge de la Sarcopénie



Aliments à base de céréales et légumineuses germées =
stratégie intéressante pouvant **répondre aux enjeux actuels** et permettre le
développement de produits à base de farines germées riches en protéines et
autres nutriments de qualité



Perspectives de projets de recherche

1: étude clinique sur les effets santé des aliments « germés » sur **les populations fragiles** → personnes âgées et/ou à risque de maladies cardio-vasculaires

2: **optimiser** le procédé de germination et **l'adapter à l'échelle industrielle** afin de déterminer les **conditions** permettant d'obtenir **les meilleurs bénéfices nutritionnels**



Projet ANR MYOVEG → impact de la végétalisation de l'alimentation sur la santé musculaire des séniors – EN COURS...



Unité de Nutrition Humaine



Merci



Equipe ASMS

Catherine Bompert
Jérôme Salles
Marie-Laure Collin
Christophe Giraudet
Véronique Patrac
Frédéric Capel
Stéphane Walrand



Gilles Bertheau

CTCPA, Paris



Claire Sulmont-Rossé

CSGA, INRAE



Muriel Thomas et Sandrine Auger

MICALIS, INRAE

Equipe Nutrivasc

Christine Morand
Laurent-Emmanuel Monfoulet



Claire Dufour et Christian Ginies

SQPOV, INRAE



*Projet **NutriPOU** : Les microorganismes au service d'une nouvelle source d'aliments et d'emballage: les Protéines d'Organismes Unicellulaires & les Bioplastiques*

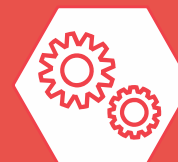
Nathalie GORRET (coordinatrice, TBI)
Juliane CALVEZ (PNCA)



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



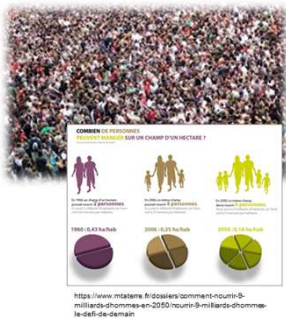
Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

Contexte et grands enjeux

Demande mondiale en protéines

Population Mondiale

10 Billiards en 2050!
(United Nations, 2017)



Changement Climatique



Liberation.fr

Transition Nutritionnelle



https://fr-123rf.com/photo_16414059_nuage-de-mots-abstrais-pour-la-transition-nutritionnelle-avec-des-%C3%A9tiquettes-et-des-termes-connexes.html



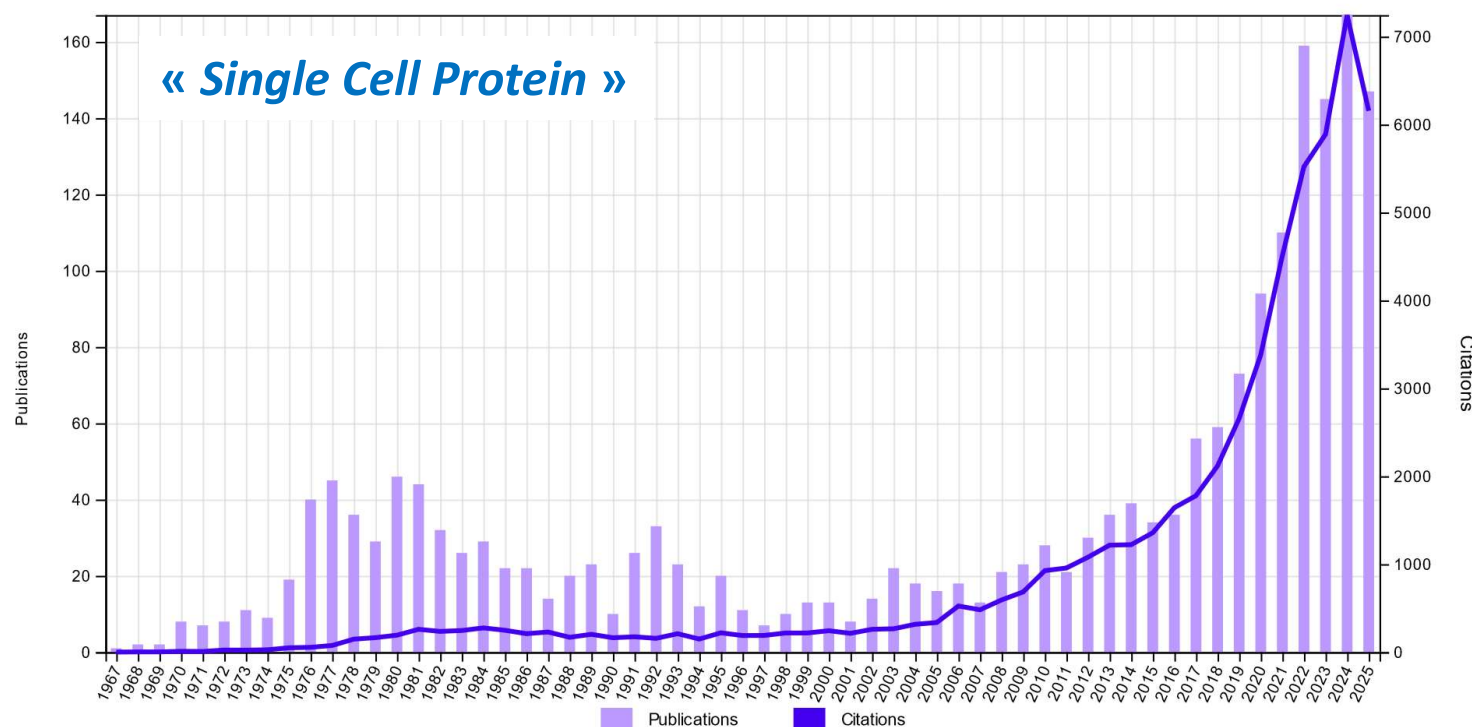
✓ Demande Mondiale en Protéines (Quantité / Diversification des sources)

Prévision : Augmentation de 40% -78% en 2050 en fonction des scenarios

Contexte et grands enjeux

Les protéines d'organismes unicellulaires

Définition (Carol Wilson-MI, 1966): **Protéines obtenues à partir de cultures de microorganismes** (levures, champignons filamenteux, bactéries, microalgues) utilisant le plus souvent des substrats issus de l'industrie agroalimentaire et des productions agricoles **pour une utilisation en alimentation animale et humaine.**



Le marché des POU est évalué à 13.1 md\$ en 2022 pour atteindre 5.9 md\$ en 2032

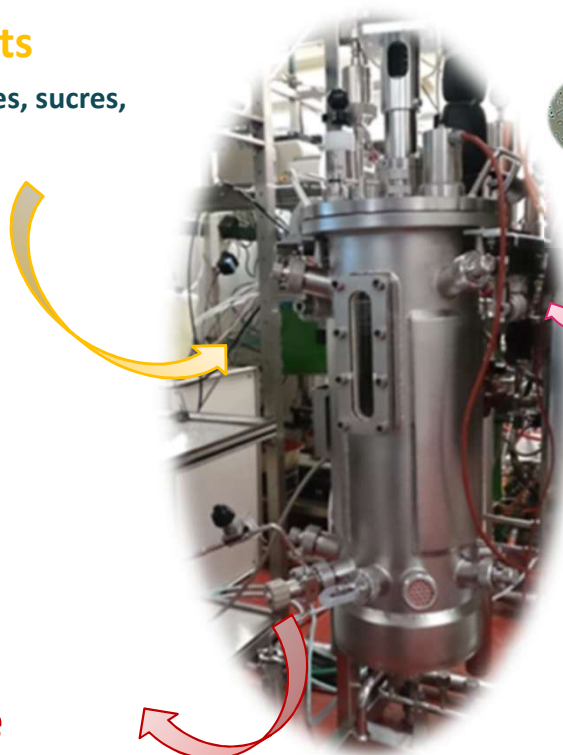
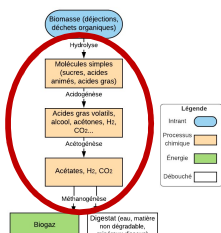
Global Market Insights: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/single-cell-protein-market>

Contexte et grands enjeux

Les protéines d'organismes unicellulaires

Large gamme de substrats

(ex: CO₂, acides gras volatiles, lipides, sucres, déchets et co-produits)



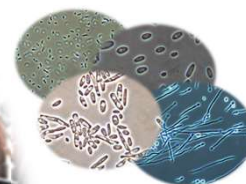
Biomasse
Sources de protéines

Environnement
contrôlé et fermé

Diversité microbienne élevée

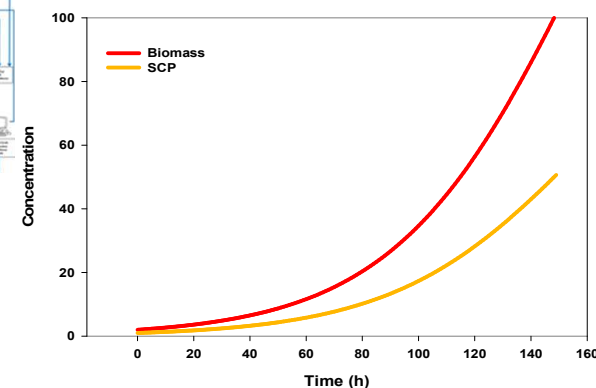
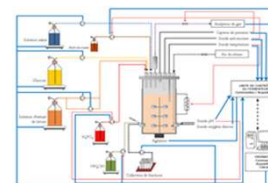
Levures / Bactéries / Champignons / Microalgues

- Sauvages / OGM
- Hétérotrophie / Autotrophie
- Versatilité des substrats
- Flexibilité métabolique



Diverses stratégies de fermentation

⇒ Métabolisme guidé par des stratégies de bioprocédés



La production de POU couplée à la croissance
Substrat + O₂ = Biomasse + CO₂

Contexte et grands enjeux

Les protéines d'organismes unicellulaires



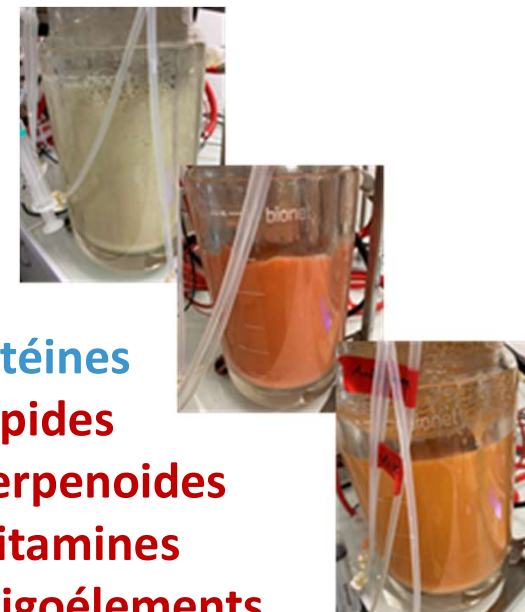
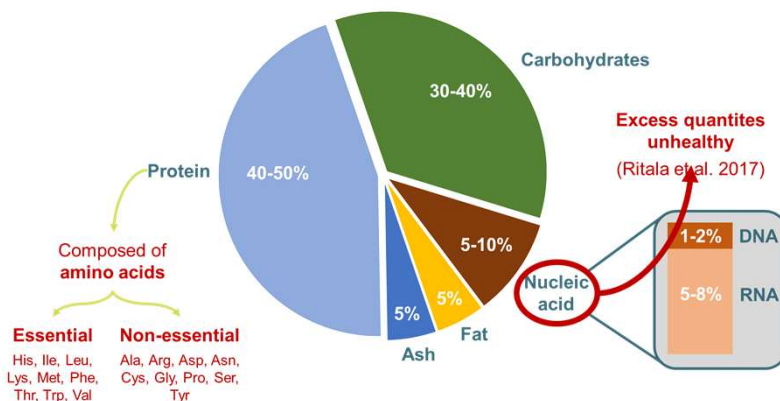
- ✓ Pas de mobilisation supplémentaire de surfaces agricoles
- ✓ Peu impactées par les saisons et le changement climatique
- ✓ Vitesse de croissance élevée et forte capacité d'accumulation
- ✓ Composition en acides aminés équilibrée



- ✓ Présence d'acides nucléiques
- ✓ Qualité organoleptique, acceptabilité et statut réglementaire

Biomasse = Sources de protéines +++

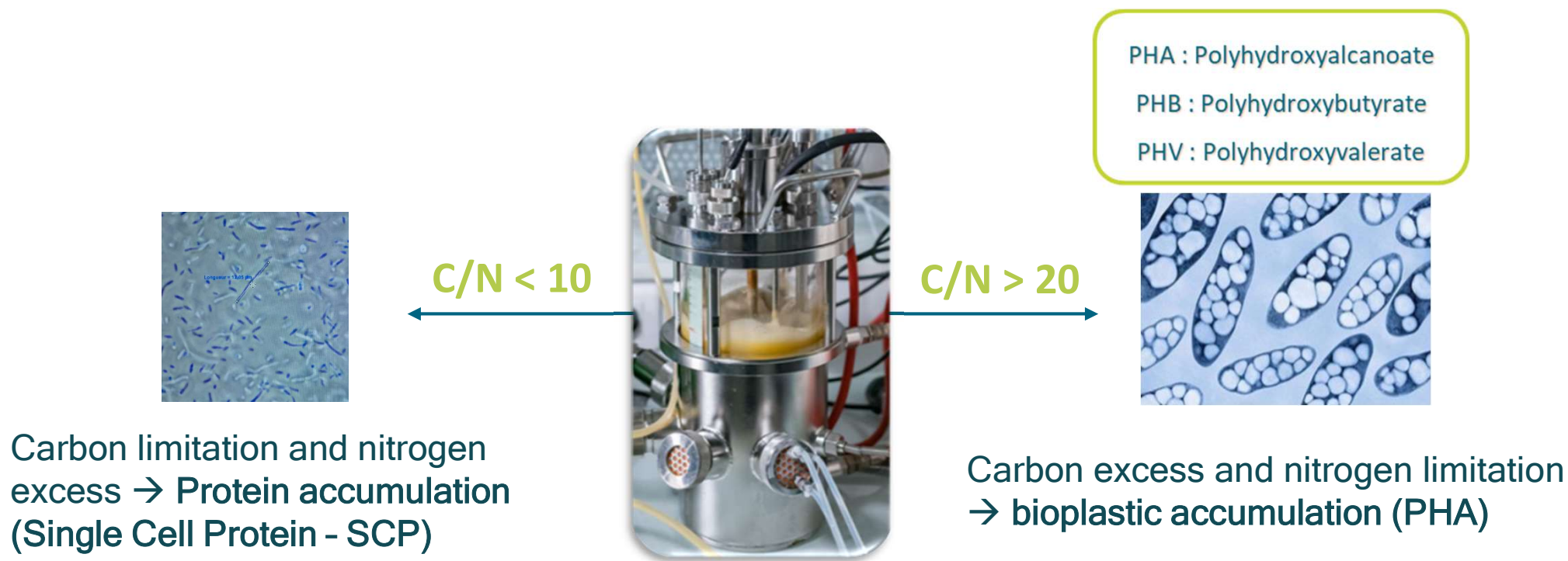
Yeast Composition



Protéines
+ Lipides
+ Terpenoides
+ Vitamines
+Oligoéléments

Contexte et grands enjeux

Q Cas Particulier *C. necator* : POU et/ou Bioplastique



Good single cell protein quality

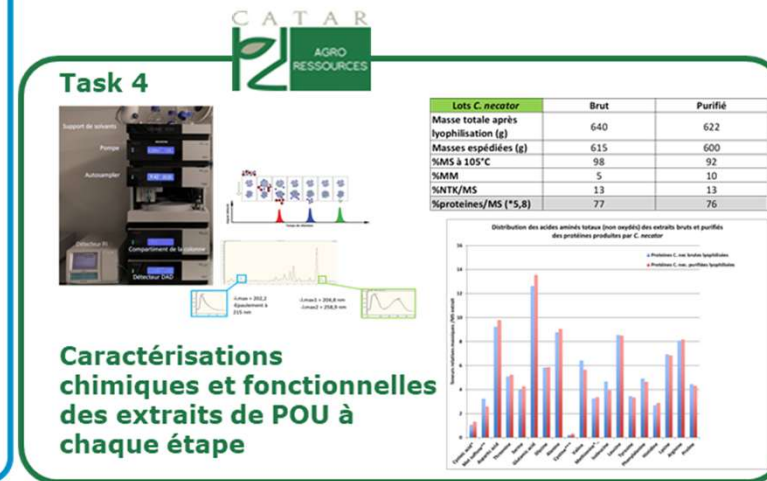
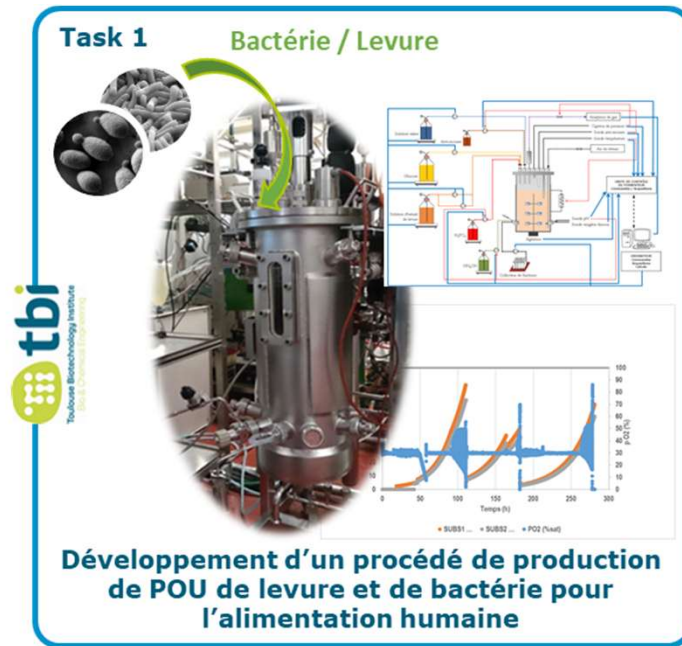
- High protein content (>50%)
- Optimal amino-acid composition
- Nucleic acid content below 2%

Good PHA quality

- High content
- 20% PHV + 80% PHB

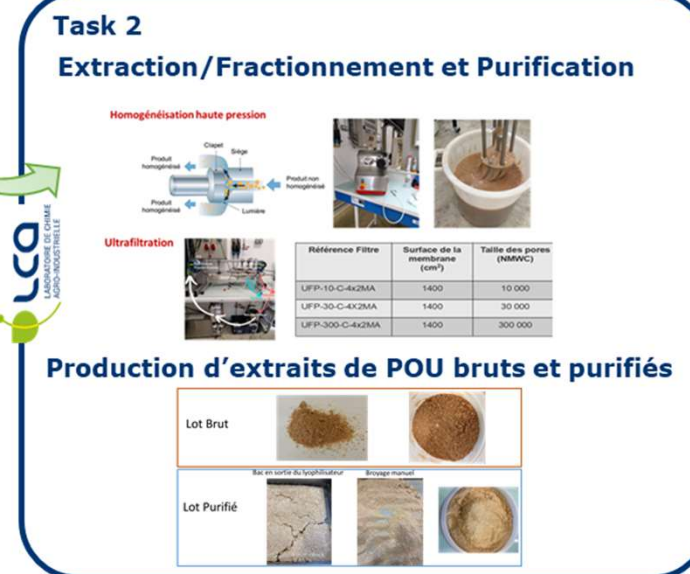
Les POU:

Stratégie mis en œuvre : Approche intégrée



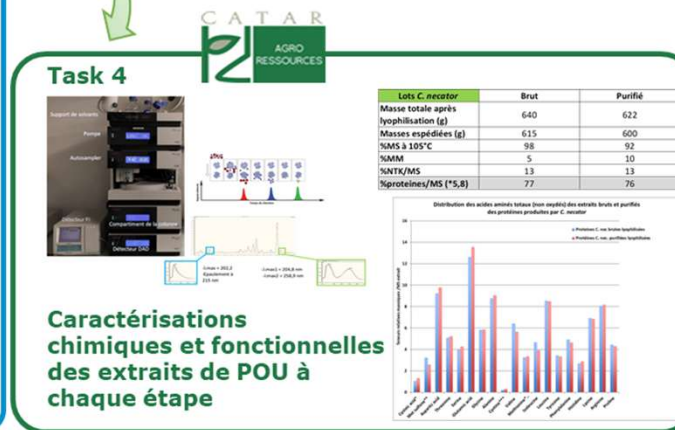
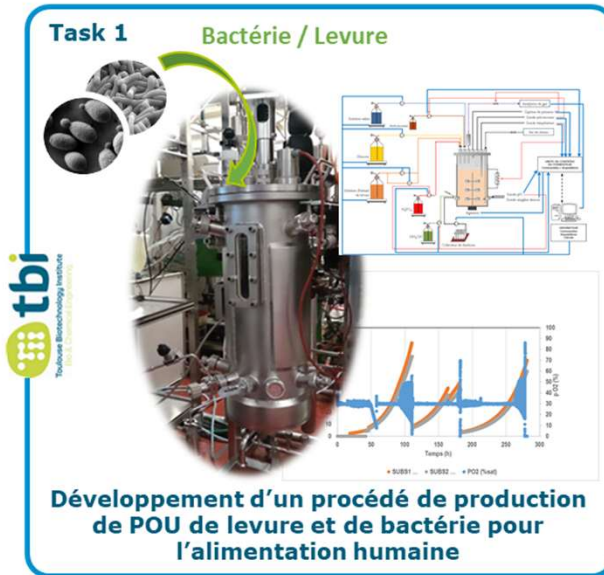
OptiPOU

CARNOT 3BcAR



Les POU: Stratégie mise en œuvre : Approche intégrée

NutriPOU



Task 3

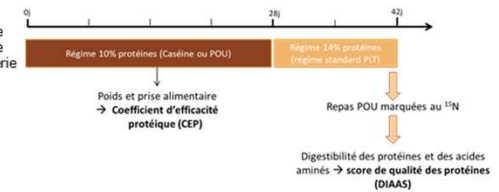
Evaluation de la qualité nutritionnelle et des effets métaboliques et physiopathologiques des POU d'origine levurienne et bactérienne



Etude 1. Qualité nutritionnelle des POU chez le rat

5 groupes de 8 jeunes rats Wistar

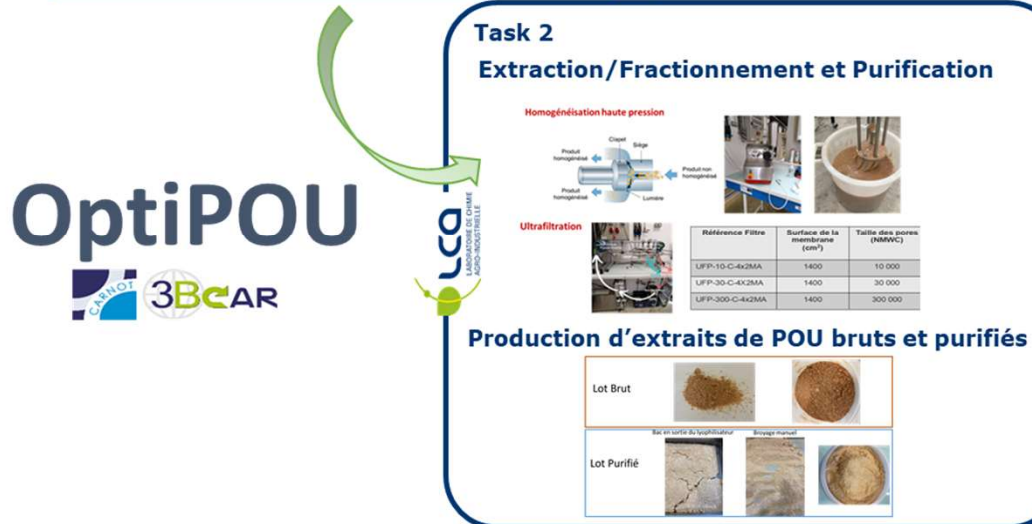
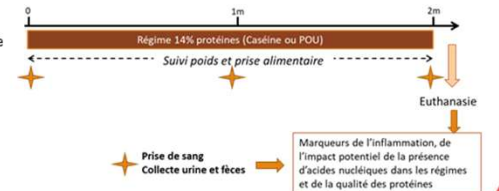
- Caséine (témoin)
- POU brutes levure
- POU purifiées levure
- POU brutes bactérie
- POU purifiées bactérie



Etude 2. Effets métaboliques et physiopathologiques des POU à moyen terme chez le rat

5 groupes de 8 rats Wistar adultes

- Caséine (témoin)
- POU brutes levure
- POU purifiées levure
- POU brutes bactérie
- POU purifiées bactérie



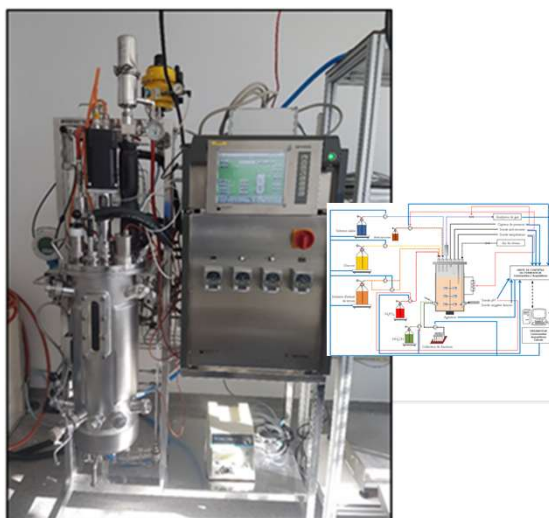
Evaluer les potentialités des protéines d'organismes unicellulaires comme source de protéines pour l'humain

Les POU: Principaux Résultats

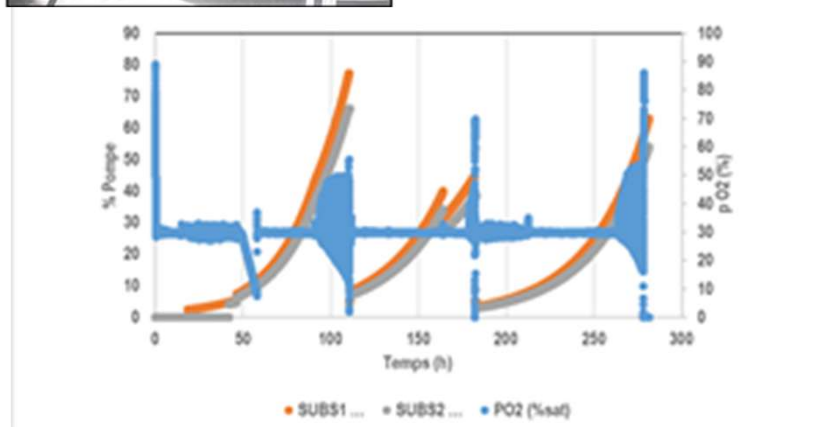
Bioproduction : Stratégie Fedbatch / Pieds de Cuve



Levure : *Y. lipolytica*
Bactérie : *C. necator*



- **Productions contrôlées et Reproductibles**
 - ✓ **Stratégie Fedbatch / Pieds de Cuve**
 - ✓ **Alimentation en double exponentielle** : Glucose et solution d'éléments traces et vitamines) : **0,03-0,04 h⁻¹**
 - ✓ **Absence de limitation d'oxygène sur la totalité du procédé**
Glucose + O₂ = Biomass + CO₂
 - ✓ **Pas de production de co-produits (acides organiques)**
 - ✓ **Bilan Carbone et Élémentaire > 95%**
 - ✓ **Pas de filamentation pour *Y. lipolytica* (challenging)**



Titre final en Biomasse : $\approx 80 - 100 \text{ g}_{\text{MS}}\text{L}^{-1}$

Titre en Protéines (eq. $N_{\text{total}} * 6.25$):

- *C. necator*: 60 – 70%MS

- *Y. lipolytica*: 45 – 55%MS

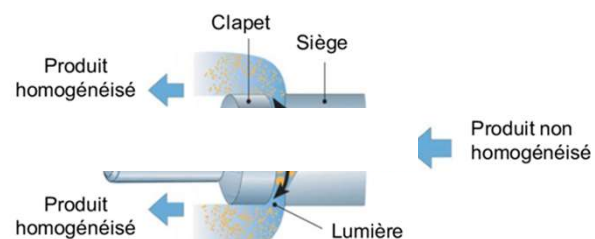
Teneur en acide nucléique : < 5%

Les POU: Principaux Résultats

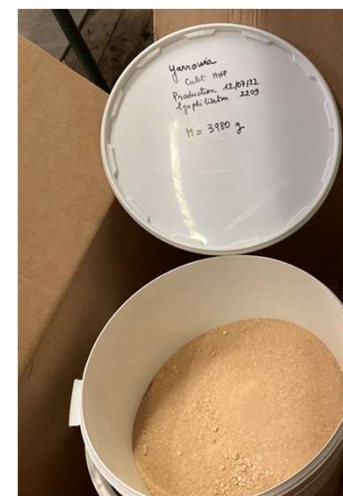
Bioproduction : Extraction / Purification



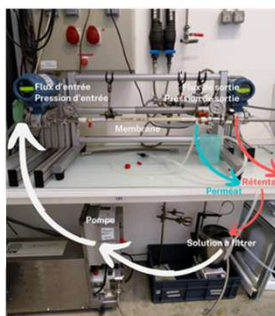
Homogénéisation haute pression



Lyophilisation



Ultrafiltration



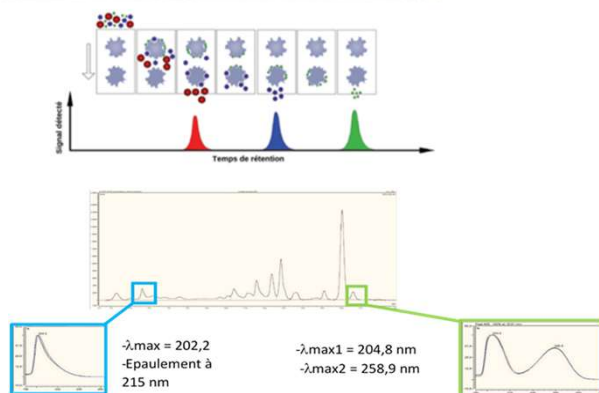
Référence Filtre	Surface de la membrane (cm ²)	Taille des pores (NMWC)
UFP-10-C-4x2MA	1400	10 000
UFP-30-C-4x2MA	1400	30 000
UFP-300-C-4x2MA	1400	300 000

<i>Y. lipolytica</i> lyophilisé	% Rendement en MS lyophilisation /brut	Quantité de protéines produite (g)
Brut	76,0	498,8
Purifié (UF)	12,1	186,5
Purifié 1% 15N	14,6	13,9
Lot 1,5kg	59,9	1914,0

<i>C. necator</i> Lyophilisé	% Rendement en MS lyophilisation /brut	Quantité de protéines produite (g)
Brut	73,2	460,2
Purifié (sans UF)	42,8	420,0
Purifié 1% 15N	8,0	4,1
Lot 1,5kg	57,9	1879,0

Les POU: Principaux Résultats

Caractérisations Biochimique & Fonctionnelle



- **Détermination de la composition:** matière sèche, protéines, cendres, acides aminés
- **Capacités moussantes et émulsifiantes similaires à la protéine de référence BSA (Bovin Serum Albumin) :**

CM = 16,7%; CE = 90,7%

- **Répartition des fractions protéiques** en fonction de leur solubilité dans des solutions de force ionique différente – **information sur la nature des protéines :**

Low Ionic Strength (LIS) → type Albumine ;

High Ionic Strength (HIS) → type Globuline

Insoluble (IN) → type Scleroprotéine

***Y. lipolytica* : LIS = 45,5% ; HIS = 6% et IN = 46,9%**

***C. necator* : LIS = 23,8% ; HIS = 9,8% et IN = 61,1%**

Les POU: Principaux Résultats

🔍 Evaluation de scores de qualité protéique de *Y. lipolytica* et *C. necator*, brutes et purifiées chez le rat

$$\text{PDCAAS} = \frac{\text{mg AAI limitant dans 1g protéine}}{\text{mg AAI dans 1g protéine référence}} \times \text{dig fécale N}$$

► Capacité d'une protéine à répondre aux besoins en acides aminés indispensables



Composition en acides aminés indispensables

AA (mg/g prot)	C. <i>necator</i> Brute	C. <i>necator</i> Purifiée	Y. <i>lipolytica</i> Brute	Y. <i>lipolytica</i> Purifiée	Profil référence
Histidine	27	41	27	25	16
Isoleucine	46	38	46	54	30
Leucine	84	82	69	76	61
Lysine	68	67	80	80	48
SAA	42	38	34	38	23
AAA	82	78	87	80	41
Thréonine	50	51	65	65	25
Tryptophane	14	16	17	18	6,6
Valine	63	55	57	62	40

SAA, acides aminés soufrés méthionine + cystéine; AAA, acides aminés aromatiques phénylalanine + tyrosine; profil de référence FAO 2013 « Older child, adolescent, adult »

Qualité protéique – PDCAAS et DIAAS

Groupes	Digestibilité fécale N (%)	PDCAAS	DIAAS
Caséine	93,7 ± 1,1 ^a	1,2	1,2
Y. lipolytica brute *	76,6 ± 5,1 ^b	0,9 (<i>Leu</i>)	0,9 (<i>Leu</i>)
Y. lipolytica purifiée	95,6 ± 2,1 ^a	1,2	1,2
C. necator brute *	79,7 ± 4,8 ^b	1,1	1,2
C. necator purifiée	93,0 ± 1,1 ^a	1,2	1,2

* Cellules lysées pour CEP; cellules entières pour digestibilité/PDCAAS

^{a,b} Différences significatives (P<0,05) entre 2 groupes

Les POU: Principaux Résultats

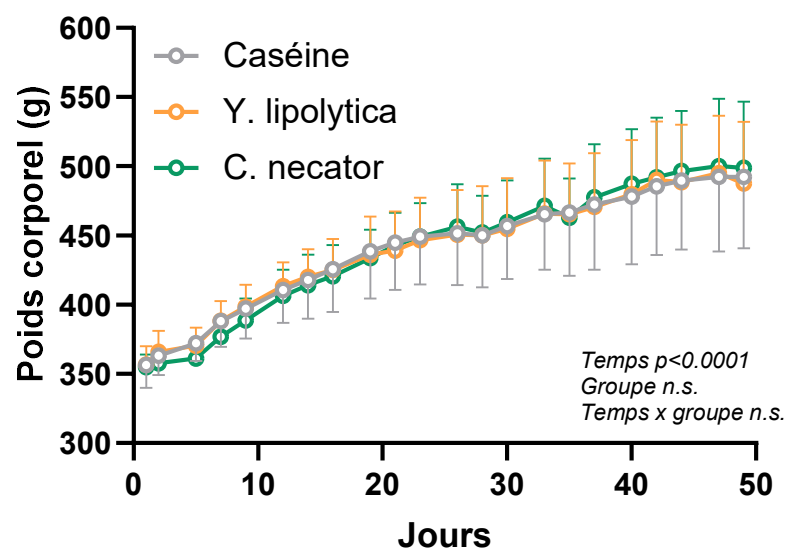
🔍 Evaluation des effets métaboliques et physiopathologiques de *Y. lipolytica* et *C. necator* brutes chez le rat



- ▶ Marqueurs plasmatiques et urinaires de la fonction rénale
- ▶ Marqueurs plasmatiques métaboliques
- ▶ Marqueurs plasmatiques de l'inflammation

→ Effets 50 jours de régime POU brutes:

- Pas de différence entre les groupes de prise alimentaire, gain de poids et composition corporelle
- Pas de différence sur les marqueurs métaboliques et de l'inflammation entre les groupes
- Augmentation de l'acide urique urinaire mais pas plasmatique avec *Y. lipolytica* après 50 jours



Perspectives d'innovations

- Optimisation de **protocoles de production de POU contrôlés et reproductibles** appauvries en acides nucléiques
- Mise en œuvre de **procédés de purification des POU** mais optimisations supplémentaires possibles
- Production de POU de **bonnes à très bonnes qualités protéiques** ne semblant **pas avoir d'effets délétères à moyen terme** in vivo chez le rat

POU = sources de protéines alimentaire pour l'humain ?



Protéines de bonne qualité



Teneur en acides nucléiques réduite



Propriétés fonctionnelles des protéines



Goût/odeur



Acceptabilité par le consommateur

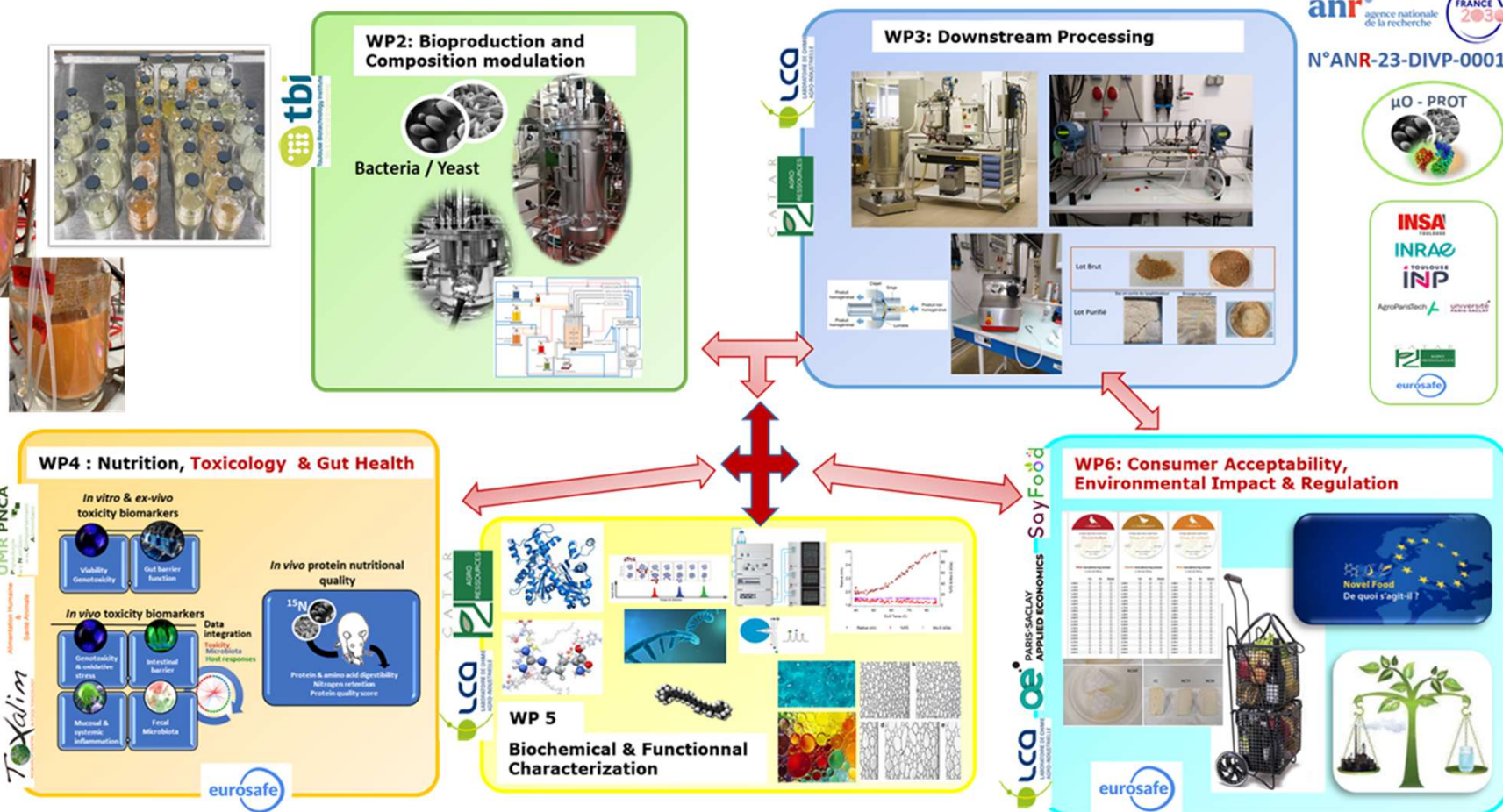


Impact environnemental

What next ?

Suite : Projet μ O-PROT / ANR-23-DIVP-0001 (2024-2029)

3 levures
1 bactérie



Confidentiel

Collaborateurs et Supports Financiers

Partenaires

- **LCAI UMR 1010** : Laboratoire de Chimie Agro-Industriel
- **PNCA – UMR 914** : Laboratoire de Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire
- **TOXALIM - UMR 1331 INRAe-ENVIT-INP EI Purpan – UPS**: Laboratoire de Toxicologie Alimentaire
- **PSAE–UMR 0210 INRAe – AgroParisTech**: Paris-Saclay Applied Economics
- **SayFood - UMR 0782 INRAe – AgroParisTech** : Paris-Saclay Food and Bioproduct Engineering
- **CRT – CATAR**
- **CRT/CRITT Bio-industries**
- **Eurosafe**

Supports Financiers



Les protéines du ver de farine représentent une alternative intéressante à la caséine chez le rat en croissance sédentaire ou entraîné

Christophe Montaurier, UNH

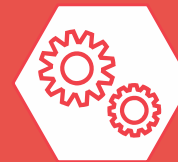
C. Montaurier, J. Salles, J. Talvas, M.L. Collin,
C. Giraudet, P. Denis, C. Pouyet, M. Rambeau,
M. Gueugneau, O. Le-Bacquer, S. Walrand



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

Contexte et grands enjeux

❓ Pourquoi s'intéresser aux protéines d'insecte ?



protéines	élevage vertueux	acides gras indispensables	fibres
acides aminés indispensables	minéraux	vitamines	écologique

Etat de l'art

❓ Pourquoi s'intéresser aux protéines d'insecte ?



Insectes

Protéines (g/100g cuit)	50
Autres nutriments	Fer, Zinc, Calcium, VitA, VitC, DHA
Besoin en eau (m ³ /kg comestible)	4,3
Impact environ. (kg CO ² -eq / kg protéines)	14



Porc

Protéines (g/100g cuit)	29,1
Autres nutriments	Fer, Calcium, VitB12, DHA
Besoin en eau (m ³ /kg comestible)	6
Impact environ. (kg CO ² -eq / kg protéines)	27



Légumineuses

Protéines (g/100g cuit)	8,5
Autres nutriments	VitC, fibres, polyphénols
Besoin en eau (m ³ /kg comestible)	4
Impact environ. (kg CO ² -eq / kg protéines)	2,9



Volaille

Protéines (g/100g cuit)	28,1
Autres nutriments	Fer, Calcium, VitB12, DHA
Besoin en eau (m ³ /kg comestible)	4,3
Impact environ. (kg CO ² -eq / kg protéines)	19



Bœuf

Protéines (g/100g cuit)	26
Autres nutriments	Fer, Calcium, VitB12, DHA
Besoin en eau (m ³ /kg comestible)	15,4
Impact environ. (kg CO ² -eq / kg protéines)	88

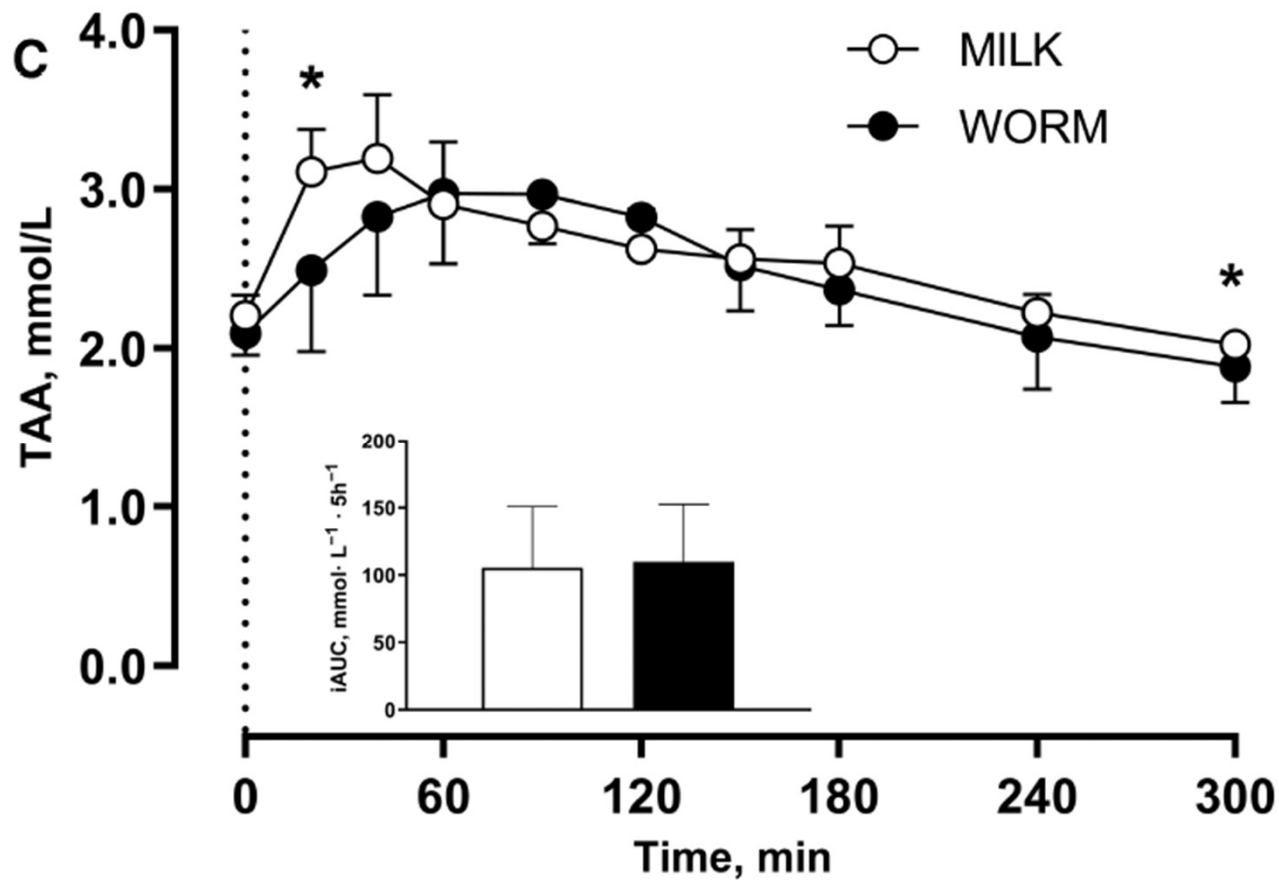


Céréales

Protéines (g/100g cuit)	3,1
Autres nutriments	Fibres, VitA, VitE
Besoin en eau (m ³ /kg comestible)	1,6
Impact environ. (kg CO ² -eq / kg protéines)	7

	TML (mg/g protein)					FAO/WHO/UNU requirements
Essential amino acids						
Histidine	15.73	29	24.1	15.5	28.7–37.9	15
Isoleucine	22.26	43	50.7	24.7	43.5–50.3	30
Leucine	38.98	73	83.0	52.2	82.2–106.4	59
Lysine	29.16	54	59.0	26.8	44.3–64.9	45
Methionine + Cysteine	10.86	26	21.3	10.5	(12.7–19.5) + (6.8–10.9)	16 + 6
Phenylalanine + tyrosine	60.45	100	109.1	53.3	(26.2–43.7) ^a	30
Threonine	21.00	39	36.5	20.2	34.2–41.8	23
Tryptophan	ND	12	—	3.9	8.0–11.0	6
Valine	32.23	61	65.6	28.9	58.8–69.0	39
Sum of EAAs	230.67	437	449.3	236	—	269
Non-essential amino acids						
Alanine	39.38	70	69.8	40.4	—	Errico et al. 2021
Arginine	27.89	54	55.5	25.5	—	
Aspartic acid	44.27	80	93.3	40.0	—	
Glutamic acid	62.36	109	128.8	55.4	—	
Glycine	29.51	50	52.9	27.3	—	
Proline	40.49	66	48.5	34.1	—	
Serine	24.97	44	40.2	25.2	—	
Hydrophobic amino acid	199.3	1.60	—	—	—	
Sum of total amino acid	499.52	910	940.2	483.9	—	
Ref.	Jiang et al., 2021	Yi et al., 2013	Zhao et al., 2016	van Huis et al., 2013	Zielińska et al., 2018c	

**Errico et al.
2021**



*Hermans et Al.
2021*

Protéines de ver de farine # Protéines animales (lait)

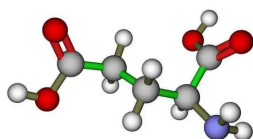
Etat de l'art

Questions croissance ??

Acides aminés indispensables
(Contenu faible en méthionine)

Protéines de ténébrion
#

Protéines animales



??
Efficacité
??

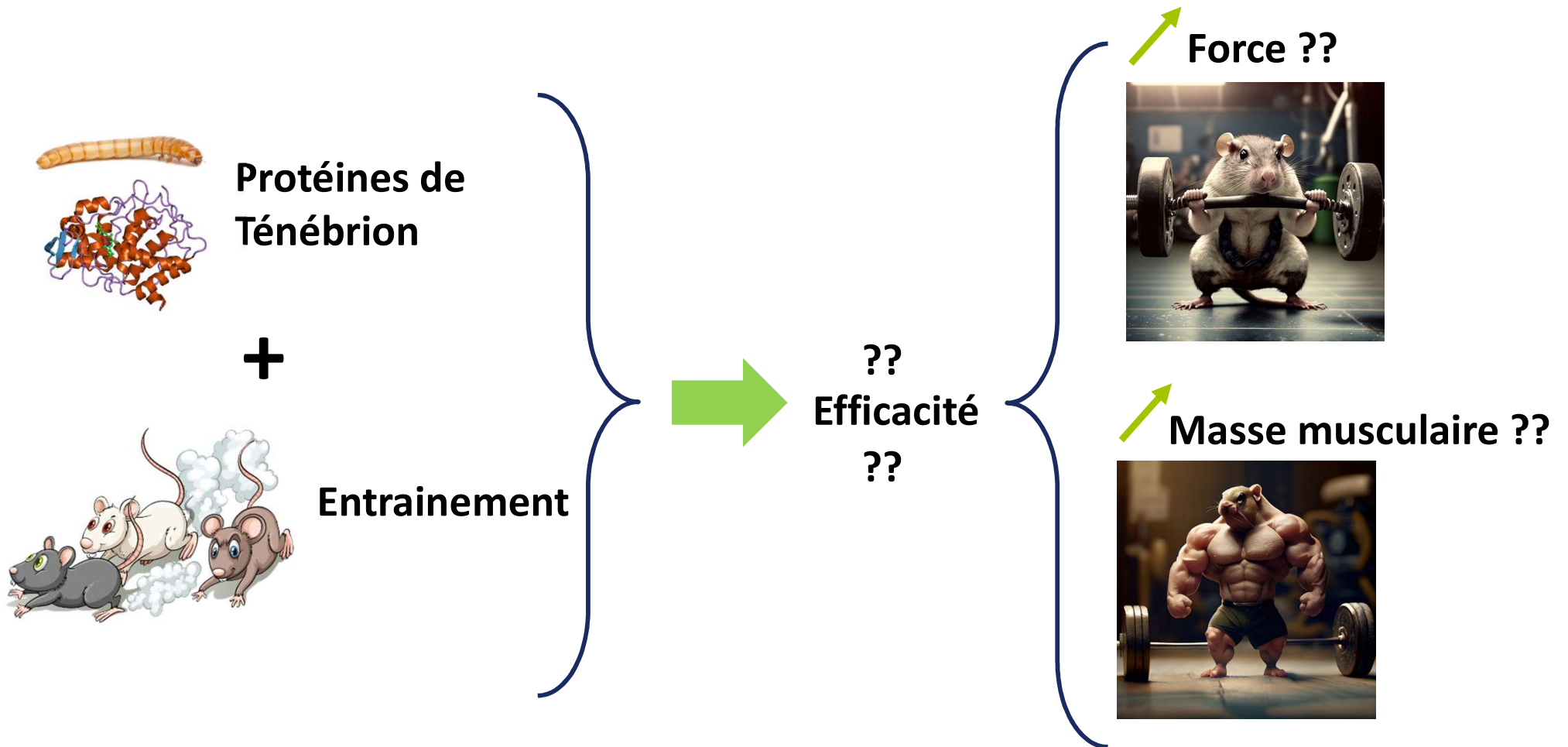
Croissance ??

Accrétion protéique
corporelle ??

Régulation du métabolisme
protéique ??

Etat de l'art

Questions entraînement ??





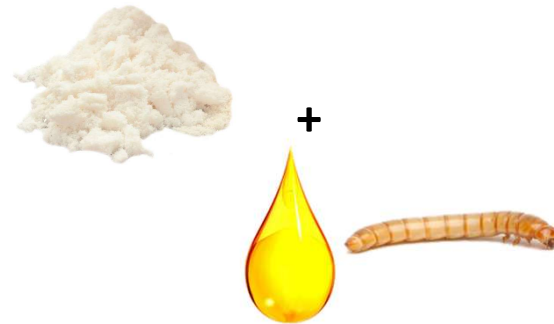
Le protocole d'étude

Les régimes

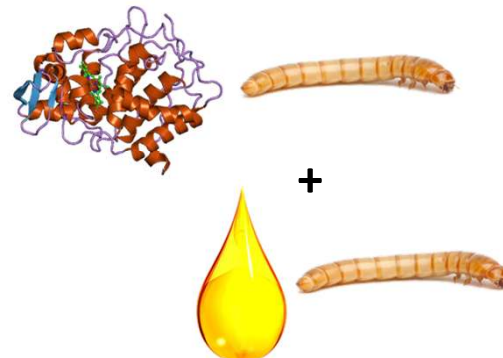
Choix du Ténébrion Molitor :

- autorisation Européenne en nutrition humaine
- bonne composition nutritionnelle
- facilement disponible en France

Régime "Caséine" =
Caséine + Huile de
Ténébrion



Régime "Ténébrion" =
Protéines de Ténébrion +
Huile de Ténébrion

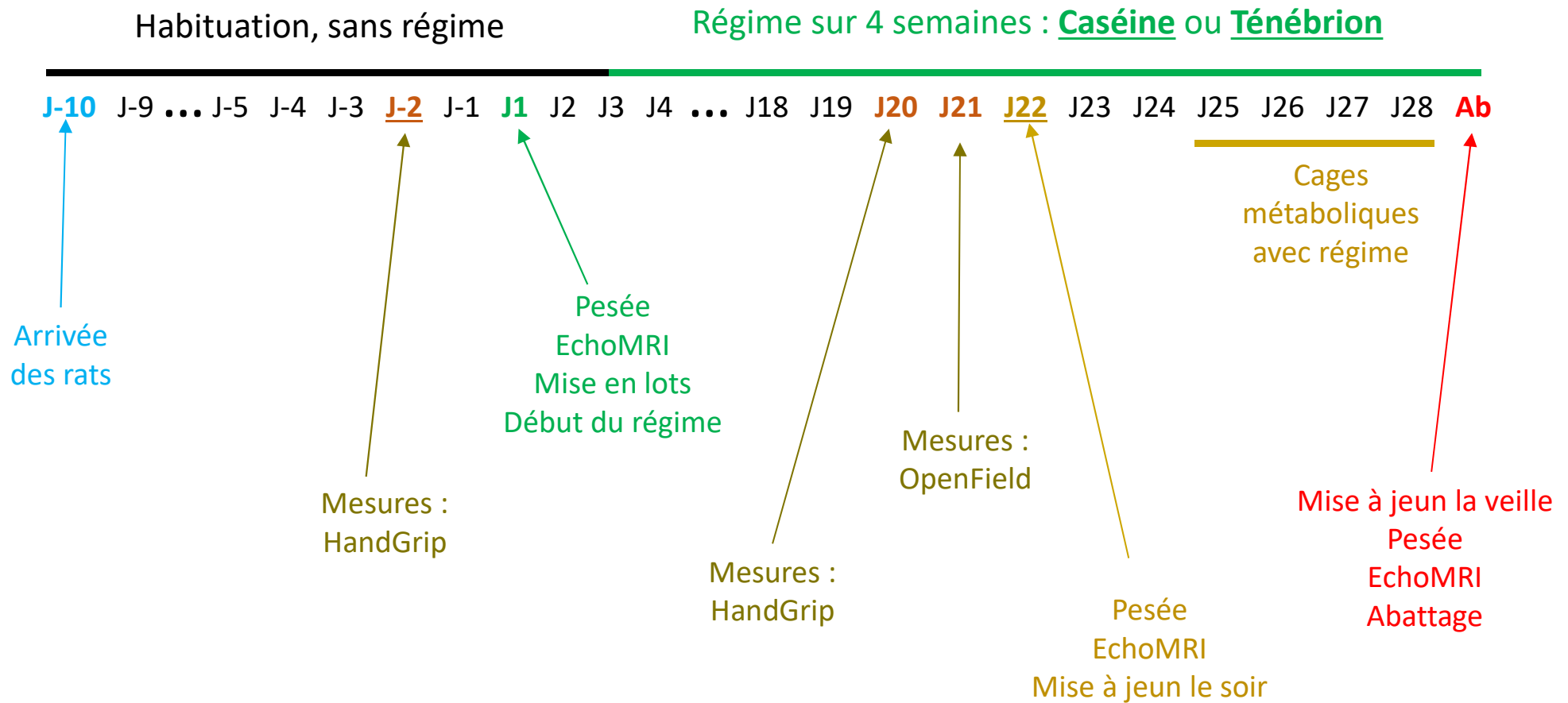


Les régimes étaient :

- Isocaloriques
- Isoprotéiques
- Isolipidiques

Le protocole d'étude

Q Déroulement, régimes seuls

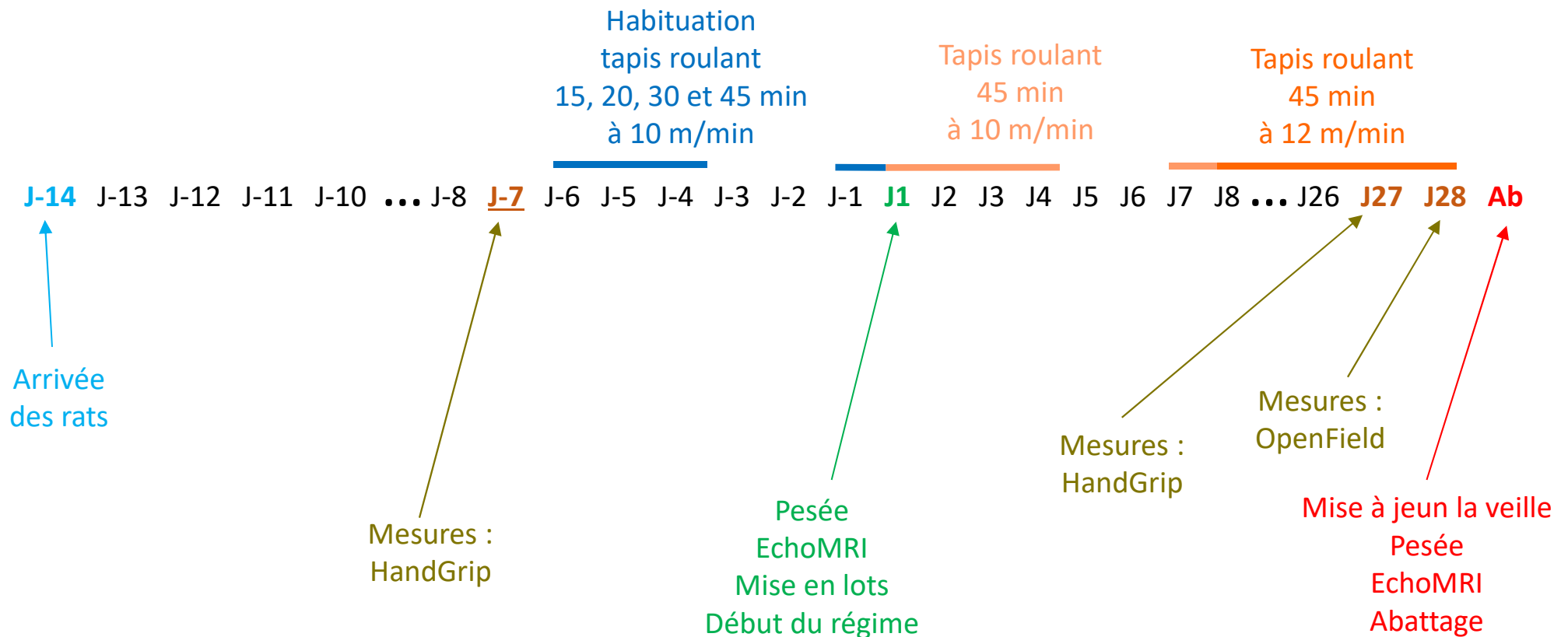


Le protocole d'étude

Déroulement, régimes + entraînement

Habitude, sans régime

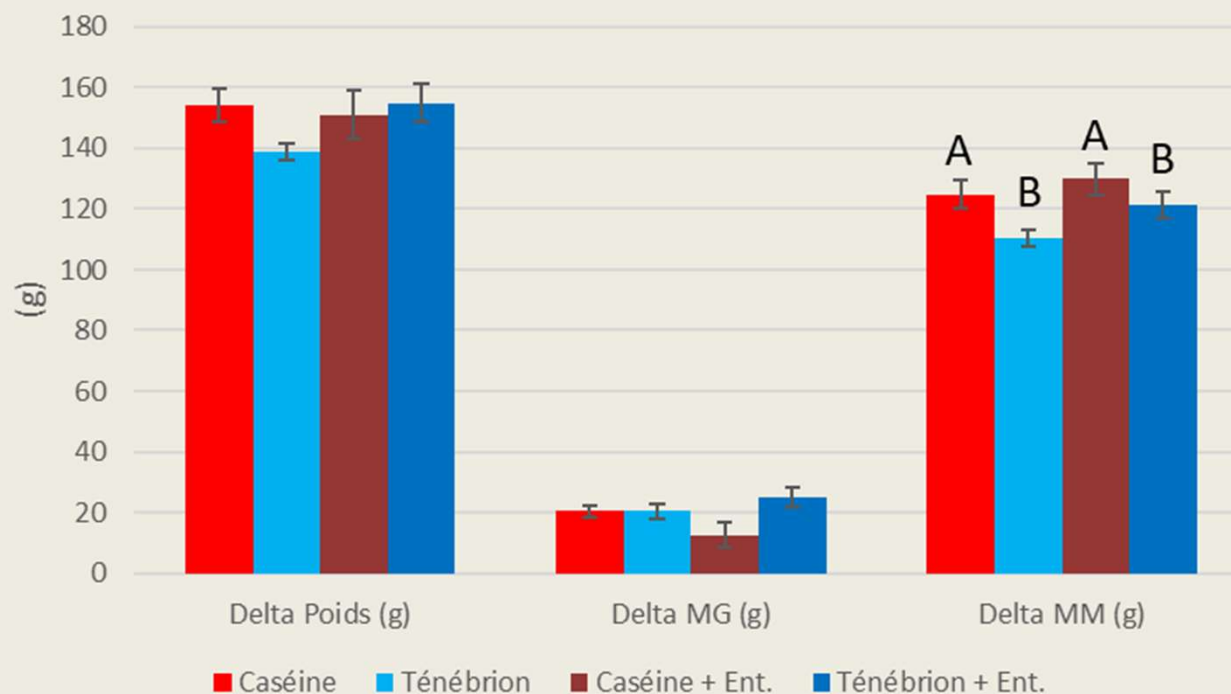
Régime sur 4 semaines : Caséine ou Ténébrion



Résultats phares

Composition corporelle

Evolution de la composition corporelle - EchoMRI
(Fin - Début)



ANOVA : Delta Masse Maigre

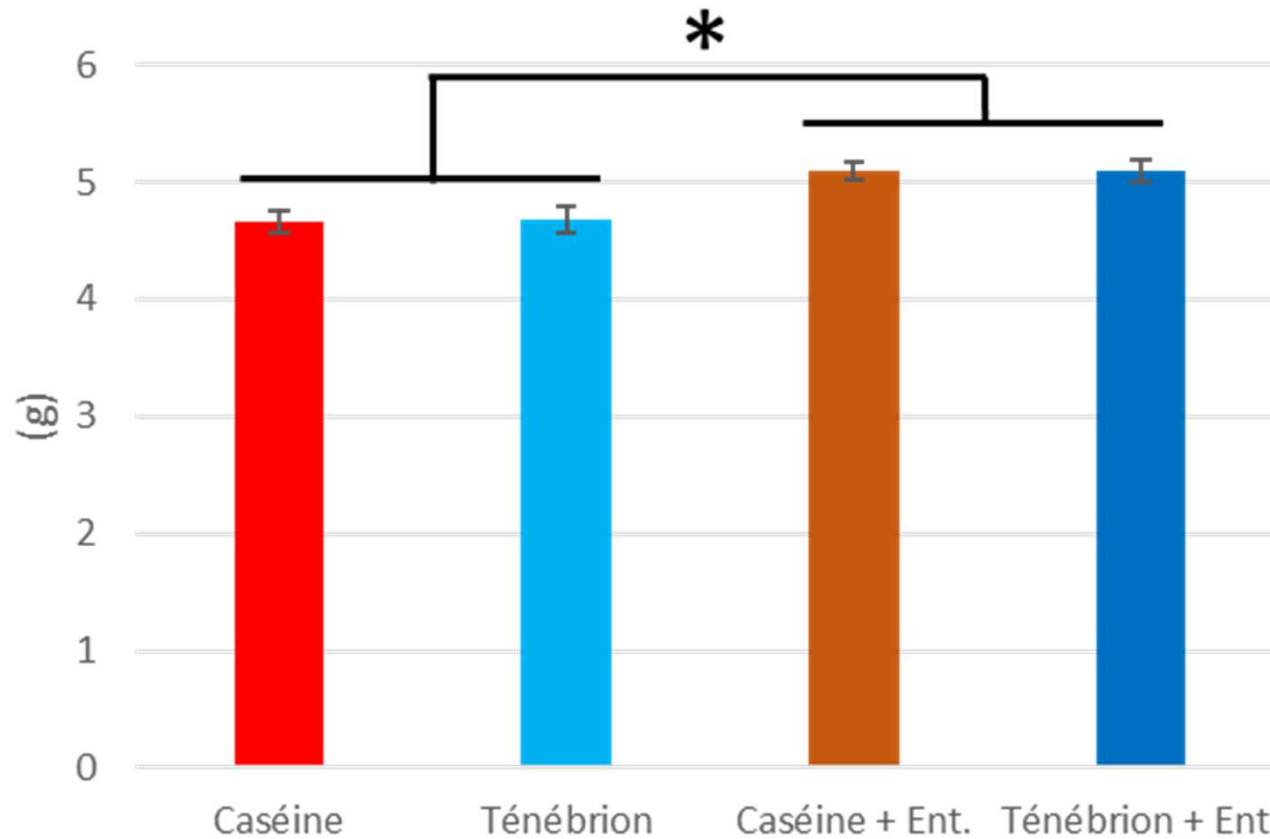
Effet protéine	P = 0,011
Effet exercice	NS
Interaction	NS

Pas de différence significative pour le poids et la MG



Résultats phares

Q Poids total des muscles d'une patte arrière

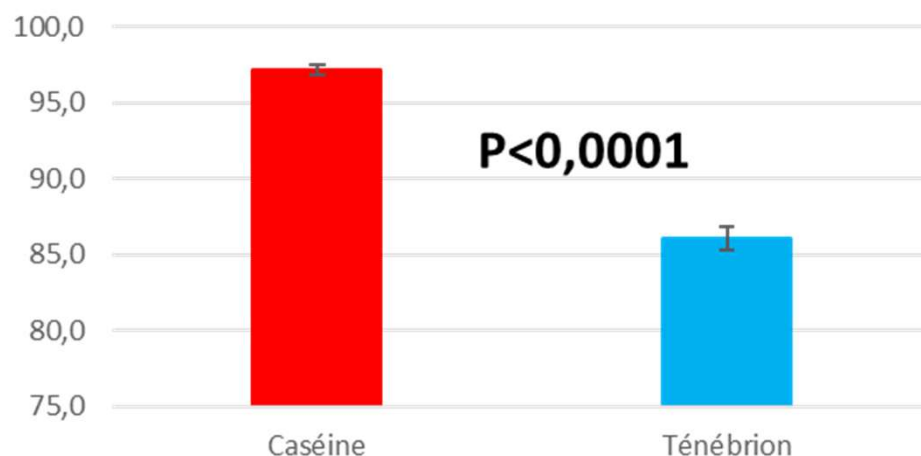


Plantaris + Soleus + Tibialis + Gastrocnemius + Quadriceps + Extensor Digitorum Longus (EDL)

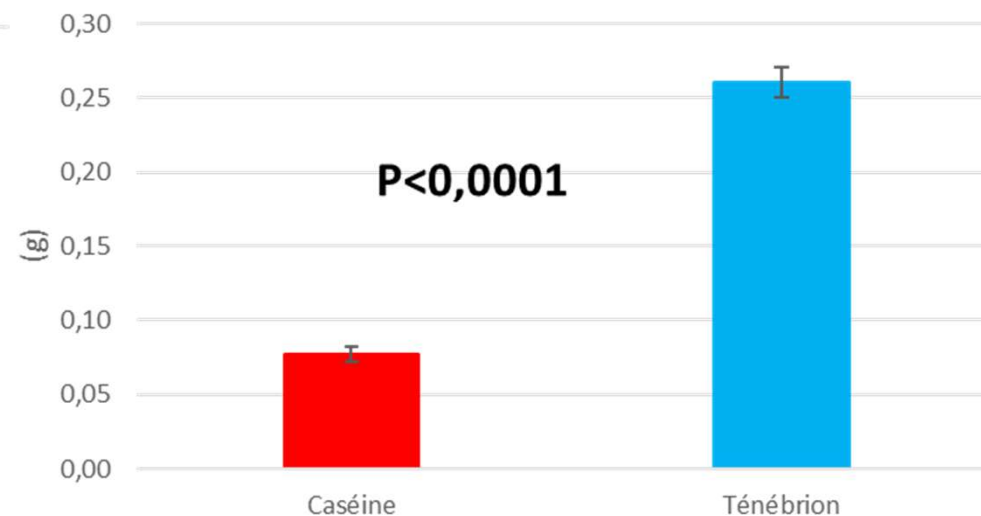
Résultats phares

Digestibilité

Digestibilité azoté vraie



Azote fécale

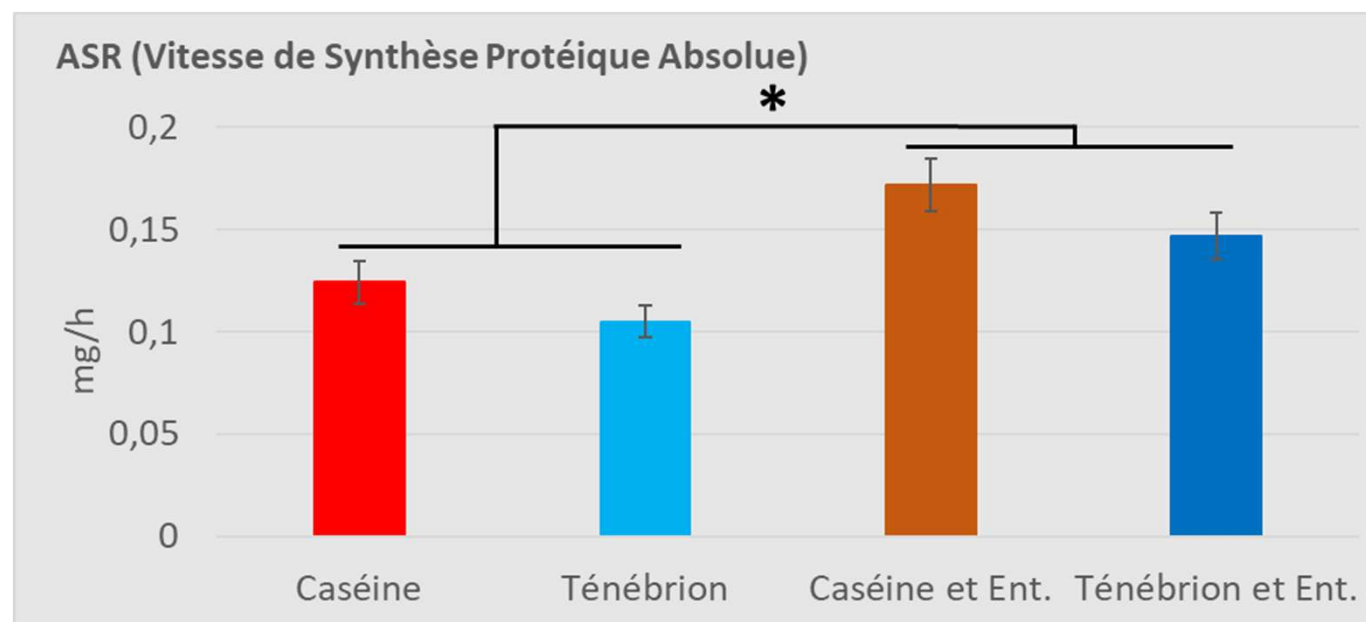
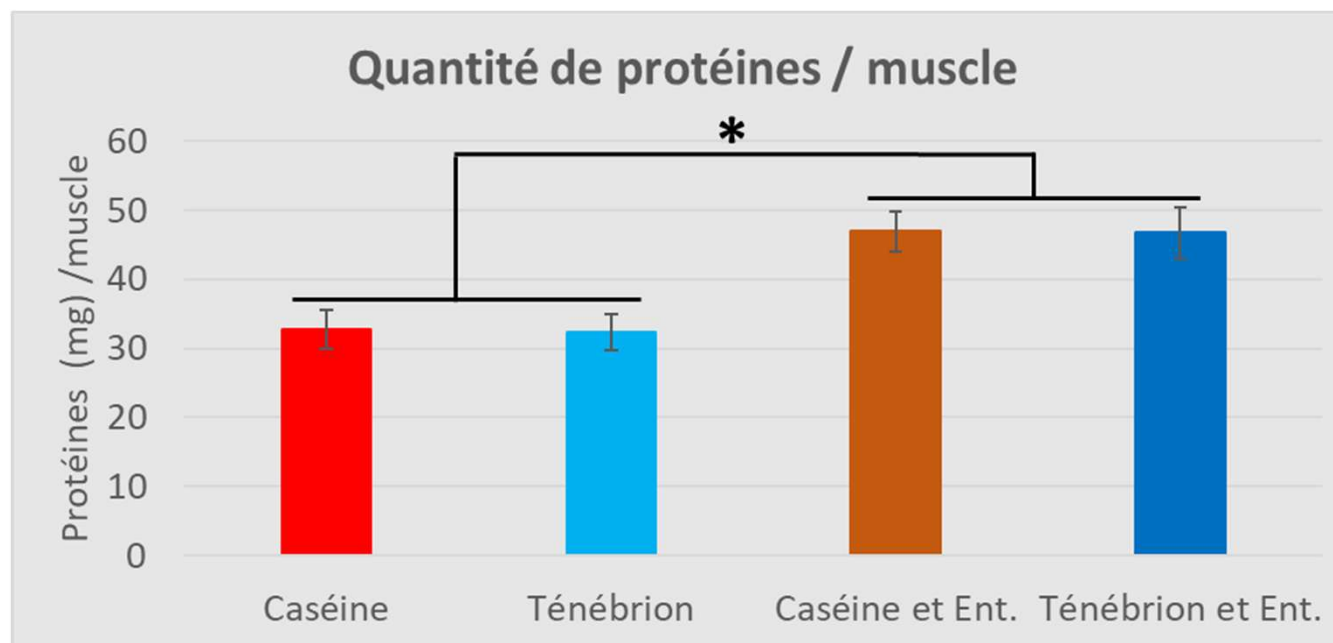


Effet régime : Caséine > Ténébrion

Raisons : Chitine biaise le bilan azoté

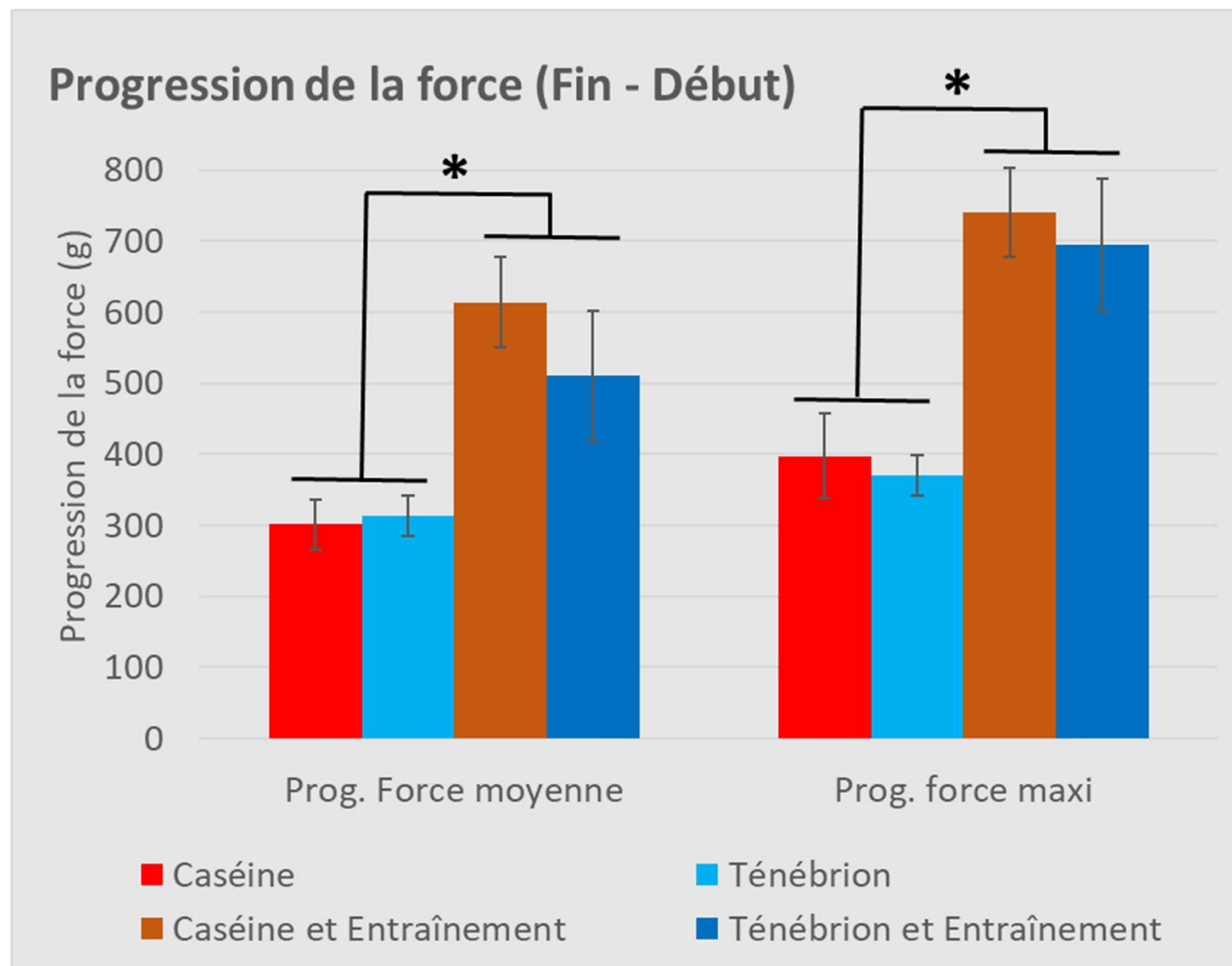
Résultats phares

Synthèse protéique

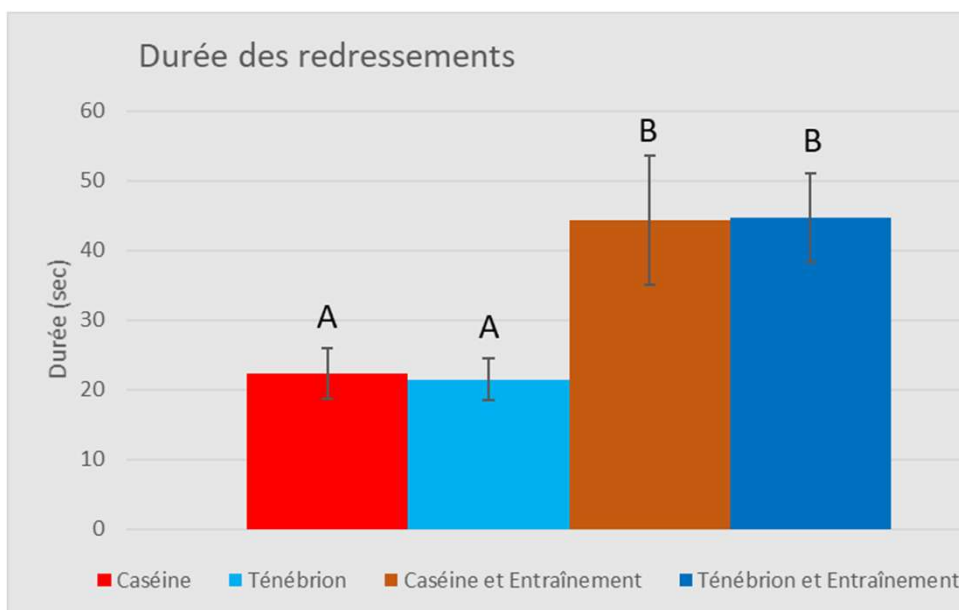
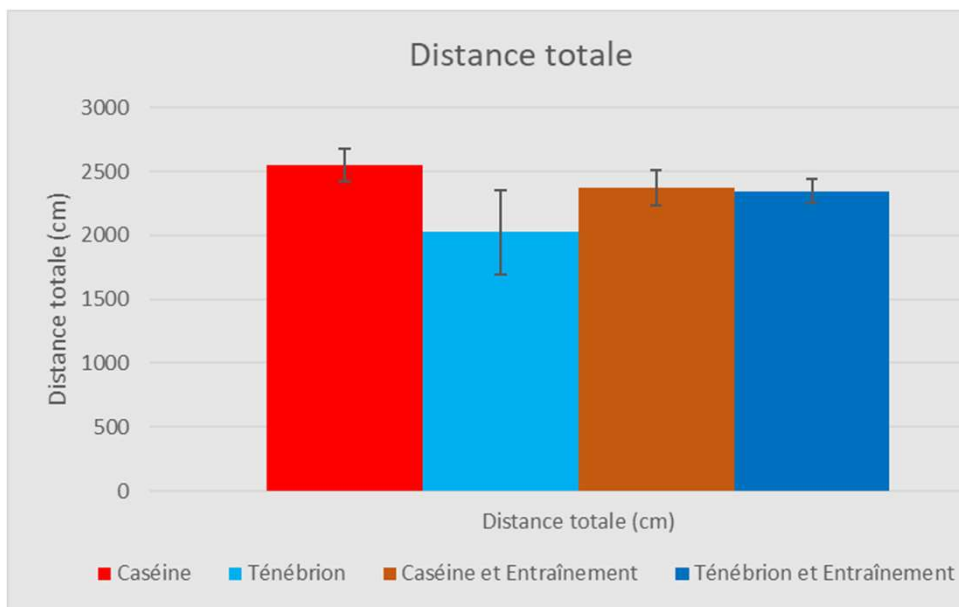


Résultats phares

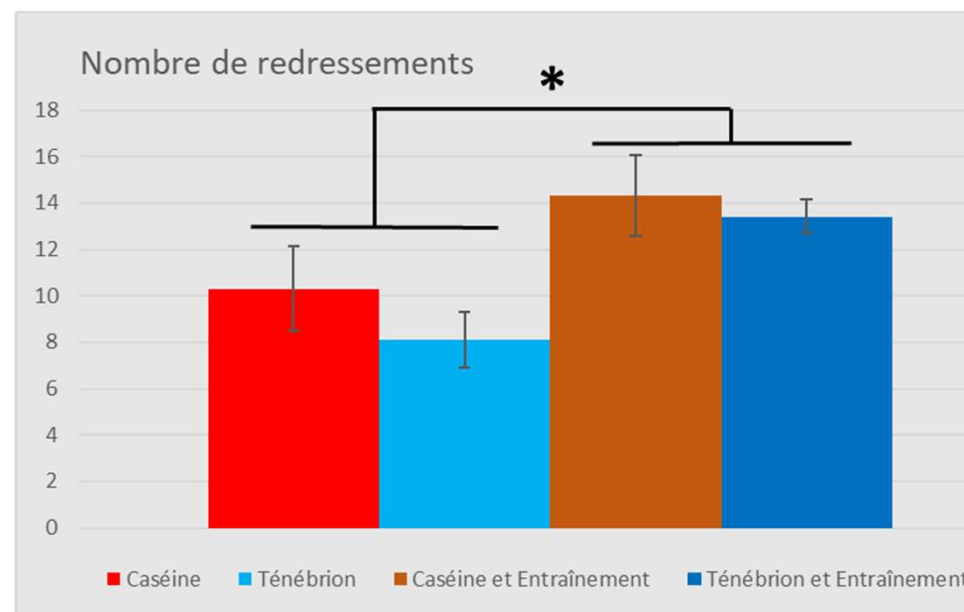
Force : Handgrip



Résultats phares



Mobilité, activité : OpenField





Conclusions de l'étude

Prises de poids et de masse musculaire :

- régime Caséine = régimes ténébrion
- progression identique pour les 2 régimes avec l'entraînement

Digestibilité :

régime Caséine > régimes ténébrion
(Chitine biaise le bilan azoté)

Synthèse protéique :

- régime Caséine = régimes ténébrion
- progression identique pour les 2 régimes avec l'entraînement

Force et mobilité :

- régime Caséine = régimes ténébrion
- progression identique pour les 2 régimes avec l'entraînement

Perspectives d'innovations



**INRAE + Entreprises de
production d'insectes +
Entreprises agroalimentaires**



**Promouvoir et valoriser une
innovation de qualité
(novel food) en nutrition
humaine pour l'industrie à
l'échelle européenne**



**Remplacer en partie et
compléter certaine sources
de protéines courantes**





Et après ?



Etudes complémentaires sur le rat avec de la poudre déchitinée de ténébrion



Etude INSPORTED :
Accompagnement nutritionnel à la reprise d'activité sportive par une complémentation en protéines d'insectes et en vitamine D



I3-INNOPROTEINS :
Étude clinique : complémentation en farines d'insectes post-effort chez des personnes âgées



ANR-PRCE :
Etudes sur l'homme, sans et avec entraînement physique.
Création d'un aliment enrichi en protéines d'insectes + vitamine D pour l'alimentation humaine



Merci pour votre attention !





Table ronde

animé par **Valérie Ravinet**

DÉJEUNER





Les enjeux de l'emballage

Les grands enjeux de la filière et les perspectives de recherche

Focus sur les actions spécifiques menées par le CTCPA

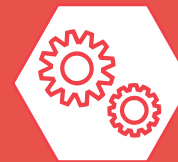
Patrice DOLE, CTCPA



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires

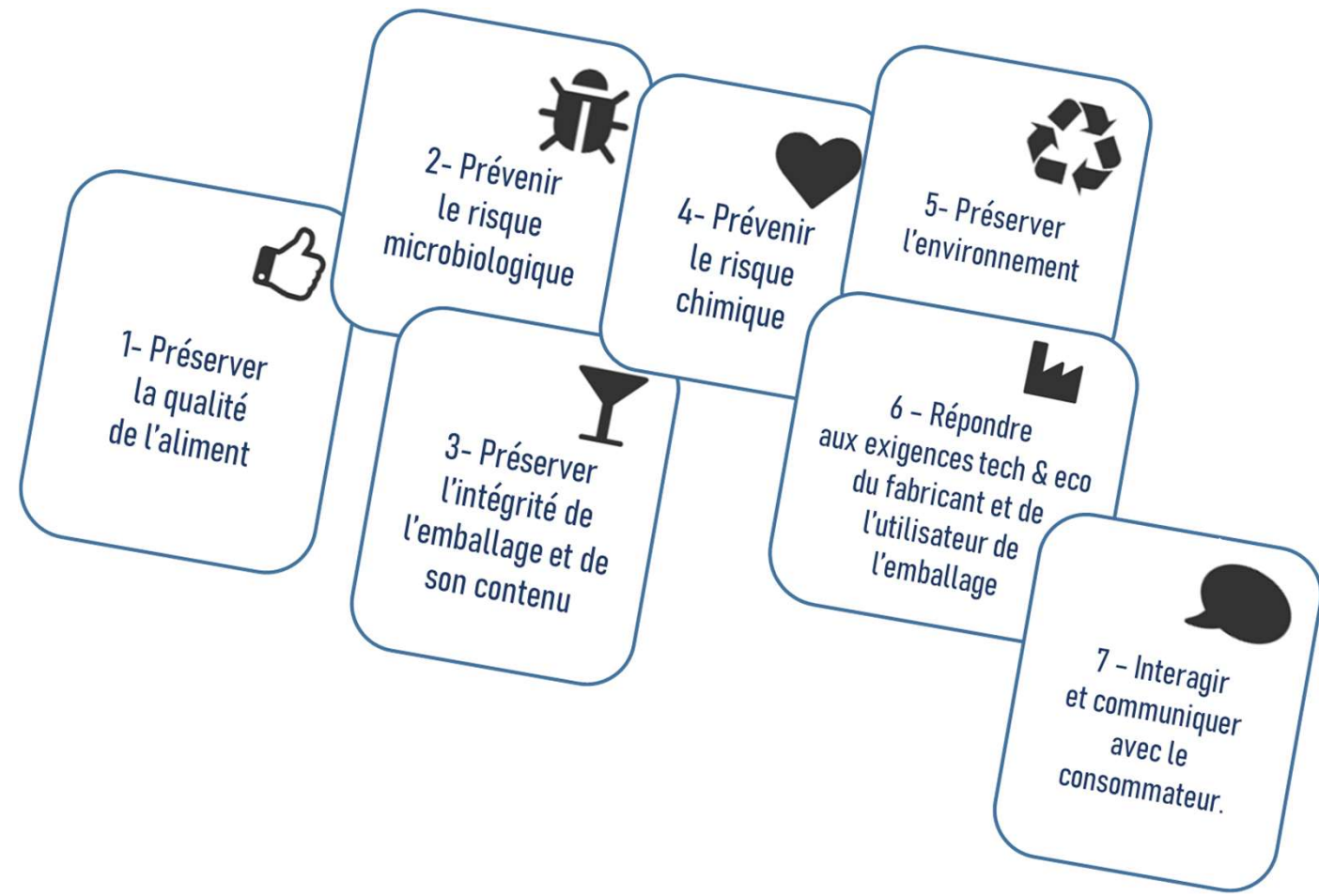


Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé



Contexte et grands enjeux

🔗 Les 7 fonctions de l'emballage - Un nécessaire compromis



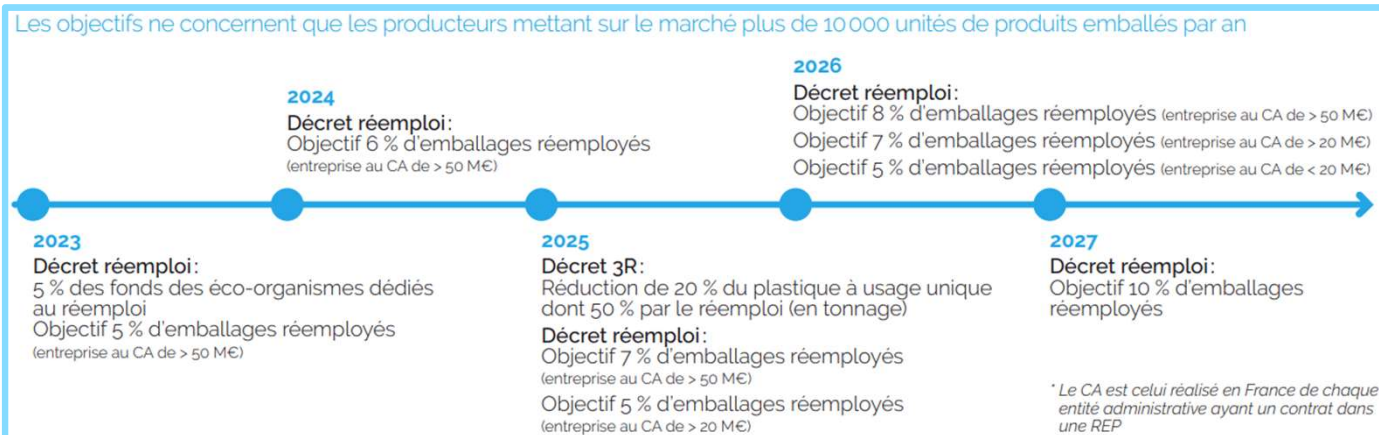
Contexte et grands enjeux

Des objectifs ambitieux - Des obligations - Une nouvelle organisation de la filière

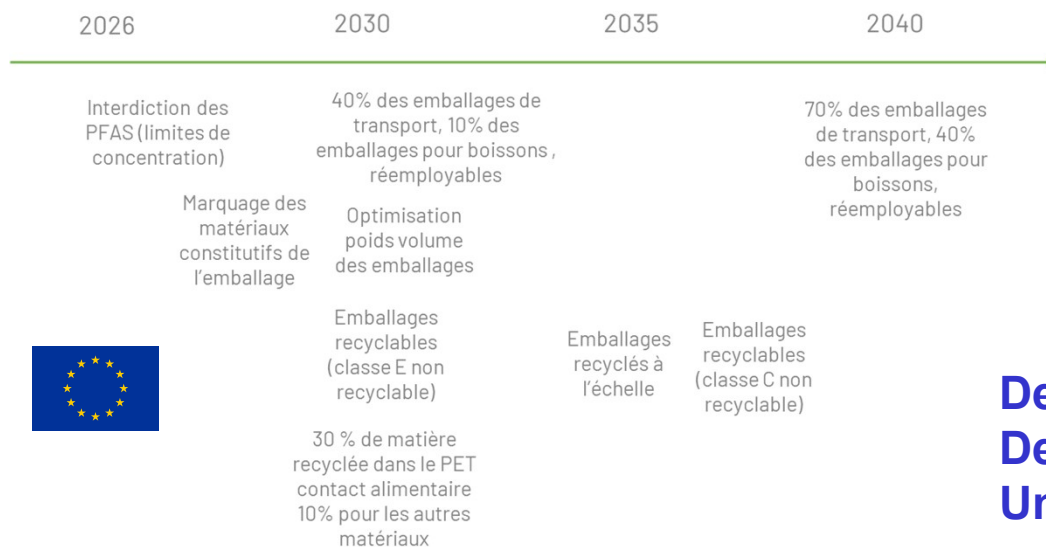
Objectif de tendre vers 100% de recyclage des emballages Plastiques UU

Objectif de 20% de réduction des emballages plastiques UU

Objectif de tendre vers une réduction de 100% des emballages plastiques inutiles



Source / guide réemploi des emballages ménagers / adelphe



3 filières REP emballage en 2025

REP Emballages ménagers
REP Emballages de la restauration
REP Emballages industriels et commerciaux



Des objectifs ambitieux
Des obligations
Une nouvelle organisation de la filière



Contexte et grands enjeux

Un contexte réglementaire complexe mais des enjeux techniques clairs

La Loi AGECE et la PPWR confrontent la filière à une feuille de route complexe avec des priorités qui ne sont pas toutes convergentes. Mais globalement les enjeux d'innovation sont les mêmes :

- *Développer les filières de recyclage des emballages plastiques par la simplification de la composition des emballages*
- *Inciter à la circularité en boucle fermée (incorporation de matières recyclées dans les emballages)*
- *Favoriser les démarches de réduction et de substitution des plastiques, notamment en poussant l'élargissement de l'usage des papiers cartons*
- *Mettre en place le réemploi des emballages, notamment en B to B (objectifs de la PPWR), et pour le B to C, développer dans un premier temps des standards emballage en verre (feuille de route CITEO) et accompagner le développement des autres filières*

Les thématiques du RMT ProPack Food

- Q AXE 1 : Sécurité Sanitaire, risque chimique
- Q AXE 2 : Fonctionnalité et conservation des aliments
- Q AXE 3 : Itinéraires technologiques





Thématique « Sécurité sanitaire, risque chimique »

- ❏ Prédiction du danger des substances non caractérisées sur la base de la structure ou du profilage chimique
- ❏ Identification et semi quantification des substances inconnues
- ❏ Voies de réduction des contaminants ubiquitaires, des IAS, des NIAS, des MPs

Actions génériques sur le développement des approches et outils

- *Évaluation du danger*
- *Évaluation de l'exposition*
- *Voies de maîtrise*

Actions spécifiques sur les dangers

- *Contaminants ubiquitaires*
- *NIAS, Contaminants du recyclage, du réemploi*
- *Oligomères*
- *Micro et nano plastiques*
- *IAS*



Thématique « Sécurité sanitaire, risque chimique »

- ❓ Prédiction du danger des substances non caractérisées sur la base de la structure ou du profilage chimique
- ❓ Identification et semi quantification des substances inconnues
- ❓ Voies de réduction des contaminants ubiquitaires, des IAS, des NIAS, des MPs

Actions génériques sur le développement des approches et outils

- *Évaluation du danger*
- *Évaluation de l'exposition*
- *Voies de maîtrise*



Actions spécifiques sur les dangers

- *Contaminants ubiquitaires*
- *NIAS, Contaminants du recyclage, du réemploi*
- *Oligomères*
- *Micro et nano plastiques*
- *IAS*



Thématique « Fonctionnalité conservation des aliments »

- ❏ Redéfinir les cahiers des charges produits / emballages, et adapter les outils de conception
- ❏ Accompagner l'innovation, pour des emballages répondant aux nouvelles cibles de propriétés fonctionnelles

Cahiers des charges produits / emballages, Outils prédictifs et outils de conception

- *Redéfinir les cahiers des charges produits / emballages au travers de cas d'études*
- *Développer des outils de caractérisation du comportement des produits alimentaires en contact avec des compositions d'espace de tête variables*
- *Développer des outils prédictifs du comportement des produits alimentaires décrivant l'ensemble des échanges de gaz et métabolites volatils*

Innovation matériaux et emballages

- *Innover dans le domaine des emballages barrières, respirants, actifs, en s'appuyant sur des cibles de propriétés redéfinies*

Thématique « Fonctionnalité conservation des aliments »

- ❓ Redéfinir les cahiers des charges produits / emballages, et adapter les outils de conception
- ❓ Accompagner l'innovation, pour des emballages répondant aux nouvelles cibles de propriétés fonctionnelles



Cahiers des charges produits / emballages, Outils prédictifs et outils de conception

- Redéfinir les cahiers des charges produits / emballages au travers de cas d'études
- Développer des outils de caractérisation du comportement des produits alimentaires en contact avec des compositions d'espace de tête variables
- Développer des outils prédictifs du comportement des produits alimentaires décrivant l'ensemble des échanges de gaz et métabolites volatils

Innovation matériaux et emballages

- Innover dans le domaine des emballages barrières, respirants, actifs, en s'appuyant sur des cibles de propriétés redéfinies



Thématique « Sécurité sanitaire, risque chimique »

- ❏ Minimisation des impacts intrinsèques (hors impacts produits) des emballages recyclables et des emballages réemployables
- ❏ Intégrer la quantification du gaspillage produit
- ❏ Intégrer toutes les contraintes (dont safe design des emballages)

Innovation & Levée des verrous techniques associés aux nouveaux itinéraires

- *Réduction des impacts intrinsèques des matériaux d'emballages*
- *Réemploi*
- *Autres valorisations en fin de vie*
- *Dégradation dans les sols et milieux marins*

Relations durée de vie, comportements consommateurs, gaspillage, et impacts environnementaux

- *Méthodologies*
- *Études de cas*

Optimisation multicritère / safe and sustainable

- *Outils d'optimisation multicritères, safe and sustainable by design*
- *Études de cas*

Thématique « Sécurité sanitaire, risque chimique »

- ❏ Minimisation des impacts intrinsèques (hors impacts produits) des emballages recyclables et des emballages réemployables
- ❏ Intégrer la quantification du gaspillage produit
- ❏ Intégrer toutes les contraintes (dont safe design des emballages)

Innovation & Levée des verrous techniques associés aux nouveaux itinéraires

- Réduction des impacts intrinsèques des matériaux d'emballages
- Réemploi
- Autres valorisations en fin de vie
- Dégradation dans les sols et milieux marins



Réemployabilité

Relations durée de vie, comportements consommateurs, gaspillage, et impacts environnementaux

- Méthodologies
- Études de cas



Acceptabilité et
efficacité
environnementale de
la diminution des
durées de vie

Optimisation multicritère / safe and sustainable

- Outils d'optimisation multicritères, safe and sustainable by design
- Études de cas



Emballages durables? rôle du greffage chimique et enzymatique.



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

nicolas.sok@institut-agro.fr



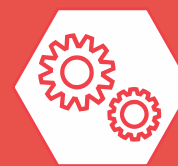
Emballages durables? rôle du greffage chimique ~~et enzymatique.~~



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

nicolas.sok@institut-agro.fr

Contexte et grands enjeux

Facteurs multiples

Consommation qui explose...



Contexte et grands enjeux

Facteurs multiples



Consommation qui explose...



Contexte et grands enjeux

Facteurs multiples



Consommation qui explose...



LOI ANTI-GASPILLAGE
pour une **économie circulaire**



NOURRITURE

RÉSEAUX SOCIAUX

VUES

wi-fi

LIVRAISON

EQUIPEMENT

s'abonner

partager

envoyer un message

SALE

NEW

www

like

24

CONSEILS
E-COMMERCES

<https://communiquer-numerique-et-local.fr>

Contexte et grands enjeux

Réduction des déchets et emballage
« plastique » à usage unique



Coûts, taxes, interdictions
et obligations légales



Réponse aux consommateurs
Transparence et durabilité



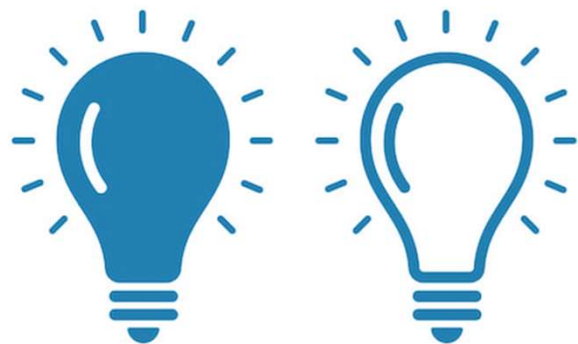
Contexte et grands enjeux



Filières tri et recyclage



Contexte et grands enjeux



Filières tri et recyclage



Recherche de matériaux
alternatifs





Contexte et grands enjeux



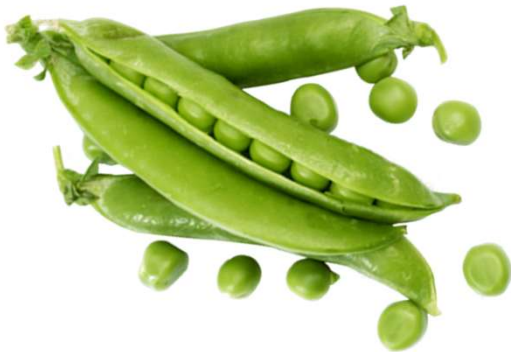
Recherche de matériaux
alternatifs



Contexte et grands enjeux

Protéines végétales

« Acides aminés »



Recherche de matériaux
alternatifs

Contexte et grands enjeux

Protéines végétales

« Acides aminés »



Polysaccharides

« sucres »

Animal



Végétal



Recherche de matériaux
alternatifs

Etat de l'art

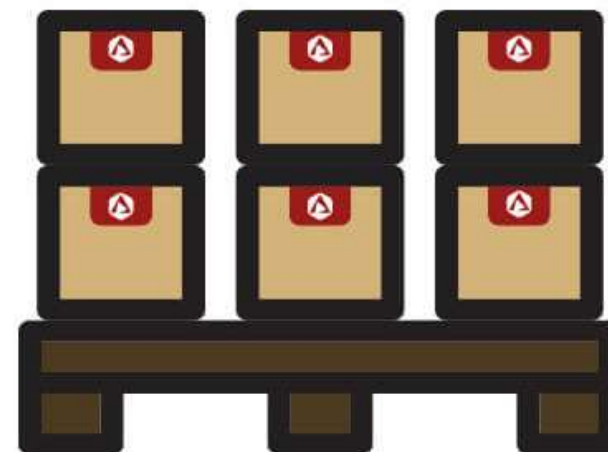
🔍 Emballages primaires, secondaires et tertiaires



EMBALLAGE PRIMAIRE



EMBALLAGE SECONDAIRE



EMBALLAGE TERTIAIRE

Etat de l'art

🔍 Emballages primaires, secondaires et tertiaires



EMBALLAGE PRIMAIRE



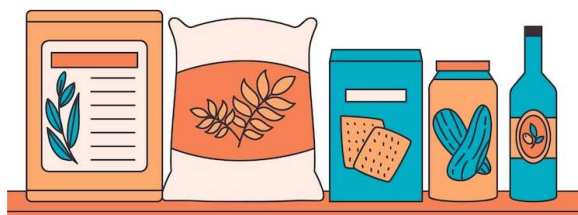
EMBALLAGE SECONDAIRE



EMBALLAGE TERTIAIRE

Etat de l'art

🔍 Emballages primaires, secondaires et tertiaires



EMBALLAGE PRIMAIRE



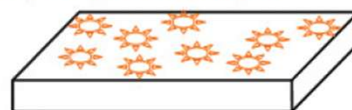
(a) Dépôt physique



Polymère

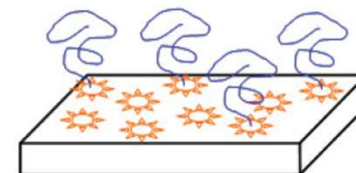


(b) Dépôt chimique

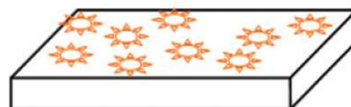


Surface fonctionnelle

Polymère



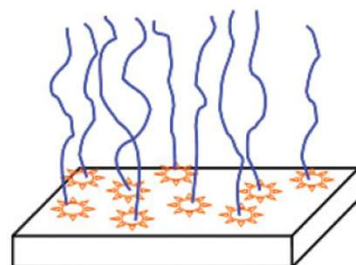
(c) Greffage chimique



amorceur

Monomère

activateur



Résultats phares

🔍 Emballages primaires actifs

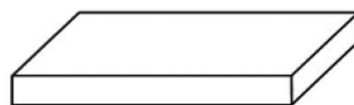


EMBALLAGE PRIMAIRE



Stratégie d'association « non covalente »

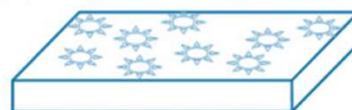
(a) Dépôt physique



Polymère

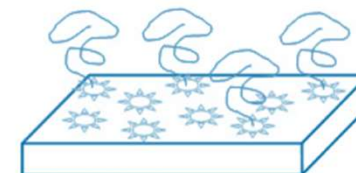


(b) Dépôt chimique



Surface fonctionnelle

Polymère



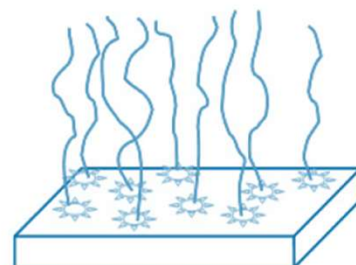
(c) Greffage chimique



amorceur

Monomère

activateur



Etat de l'art

🔍 Emballages primaires actifs

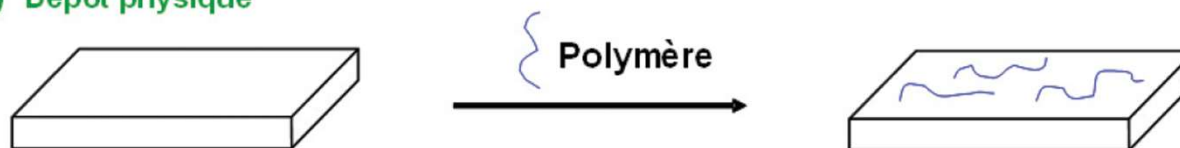


EMBALLAGE PRIMAIRE



Stratégie d'association « non covalente »

(a) Dépôt physique



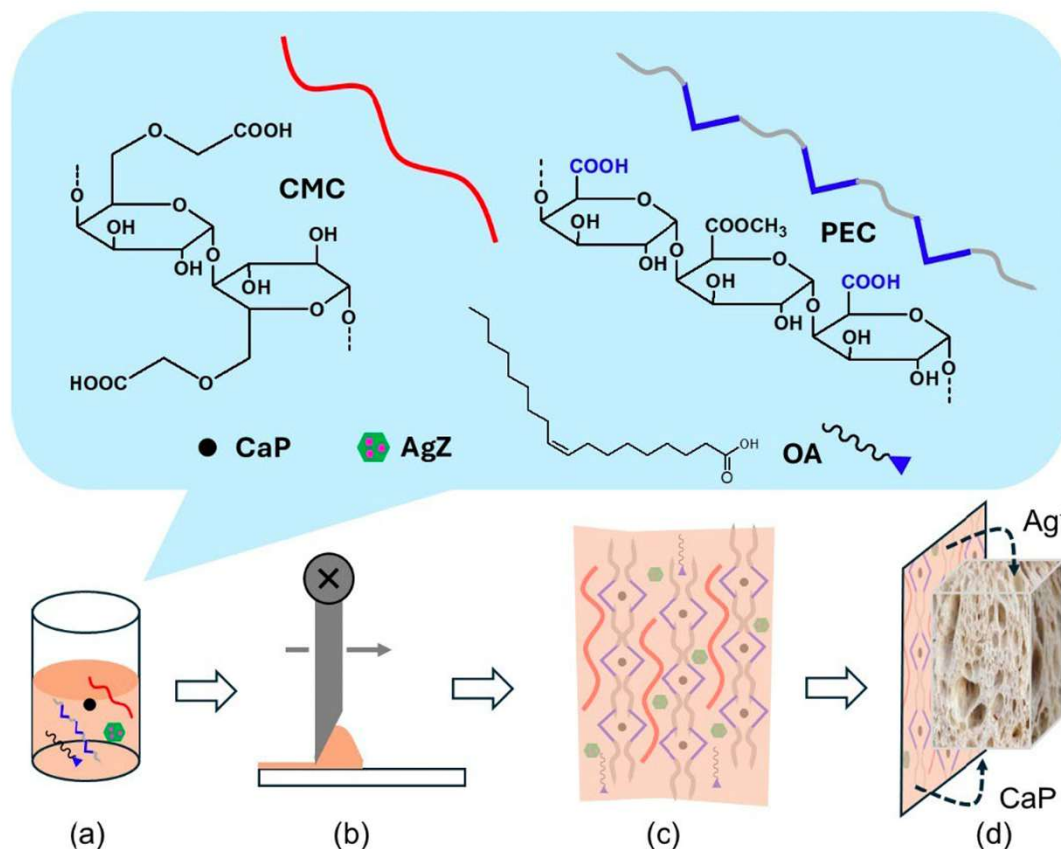
Article

Active Pectin/Carboxymethylcellulose Composite Films for Bread Packaging

Lavinia Doveri ^{1,*} , Yuri Antonio Diaz Fernandez ¹, Giacomo Dacarro ¹ , Pietro Grisoli ² , Chiara Milanese ¹ , Maria Urena ³, Nicolas Sok ³ , Thomas Karbowiak ³ and Piersandro Pallavicini ^{1,*}

Etat de l'art

Emballages primaires actifs



Scheme 1. Composition of the active film and stages from film preparation to its use, with (a–d) corresponding to film precursor solution (a), tape casting of the film with doctor blade technique (b), self-standing film with all embedded components (c), and contact of the film with bread and migration of the active components (d). CMC = Carboxy methylcellulose CaP = Calcium propionate, PEC = pectin, OA = oleic acid, AgZ = Ag⁺-loaded zeolites).

Article

Active Pectin/Carboxymethylcellulose Composite Films for Bread Packaging

Lavinia Doveri ^{1,*}, Yuri Antonio Diaz Fernandez ¹, Giacomo Dacarro ¹, Pietro Grisoli ², Chiara Milanese ¹, Maria Urena ³, Nicolas Sok ³, Thomas Karbowiak ³ and Piersandro Pallavicini ^{1,*}

Film « clean label »

Matrice : Pectine + CMC

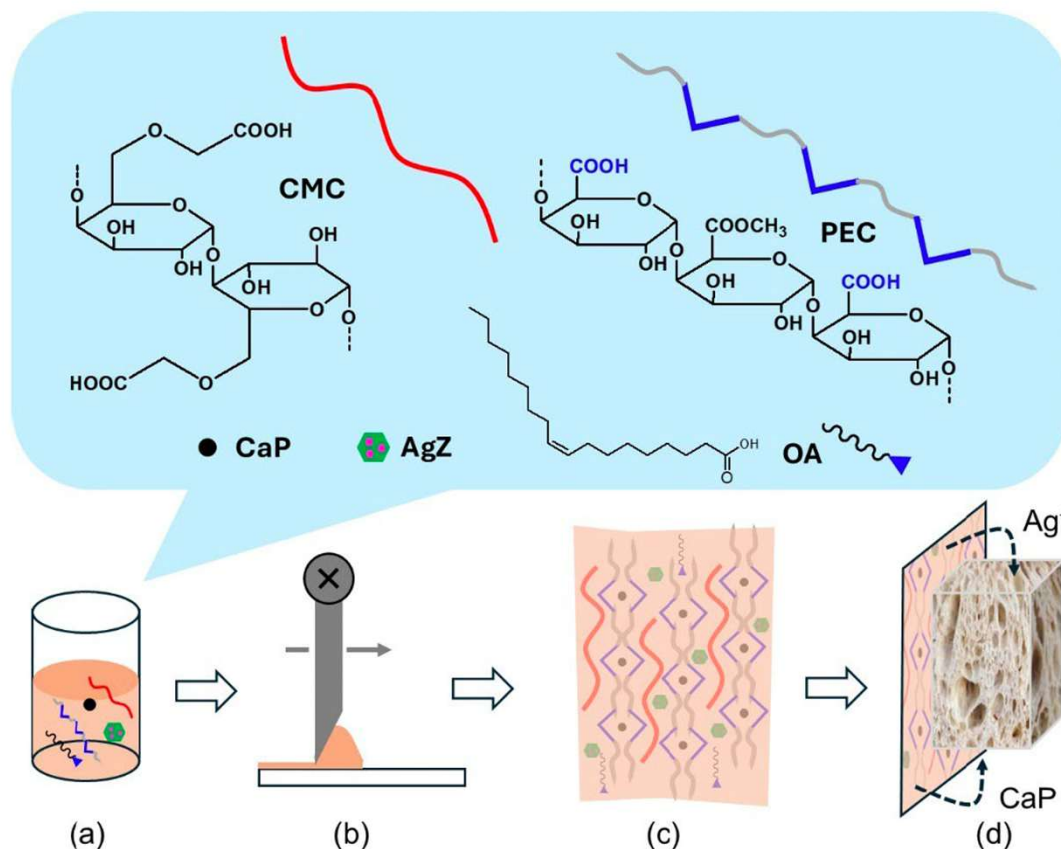
Plastifiant: Acide oléique

Réticulant: Propionate de Ca²⁺

Antibactérien: Zéolithe Ag

Etat de l'art

Emballages primaires actifs



Scheme 1. Composition of the active film and stages from film preparation to its use, with (a–d) corresponding to film precursor solution (a), tape casting of the film with doctor blade technique (b), self-standing film with all embedded components (c), and contact of the film with bread and migration of the active components (d). CMC = Carboxy methylcellulose CaP = Calcium propionate, PEC = pectin, OA = oleic acid, AgZ = Ag⁺-loaded zeolites).



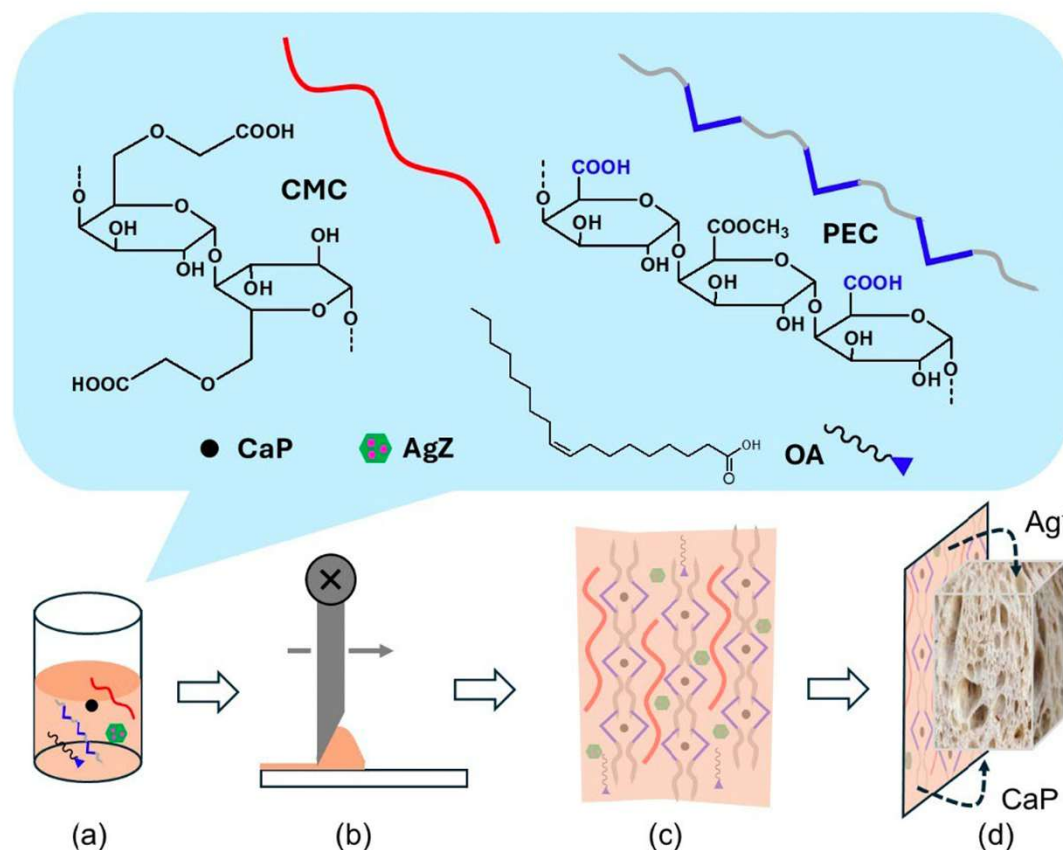
Propriétés mécaniques

Films robustes
(résistance à la traction 50–70 MPa)
comparables aux plastiques
d'origine fossile (LDPE, PP, PET).



Moins flexible que le PET

Emballages primaires actifs



Scheme 1. Composition of the active film and stages from film preparation to its use, with (a–d) corresponding to film precursor solution (a), tape casting of the film with doctor blade technique (b), self-standing film with all embedded components (c), and contact of the film with bread and migration of the active components (d). CMC = Carboxy methylcellulose CaP = Calcium propionate, PEC = pectin, OA = oleic acid, AgZ = Ag⁺-loaded zeolites).

Propriétés barrières

Excellente barrière à l'O₂ et au CO₂
: perméabilité 10⁴ fois plus faible
que le LDPE.



UV bloquants

Antibactériens

Perméabilité élevée à la vapeur d'eau
(due à l'hydrophilie des
polysaccharides), partiellement
compensée par l'acide oléique.



Résultats phares

🔍 Emballages primaires actifs

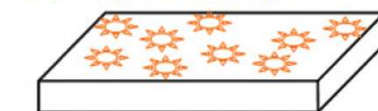


EMBALLAGE PRIMAIRE

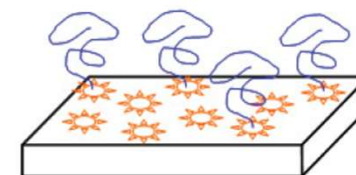


Stratégie d'association « covalente »

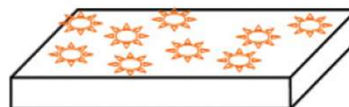
(b) Dépôt chimique



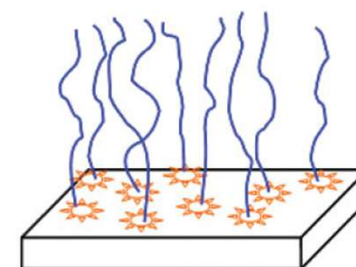
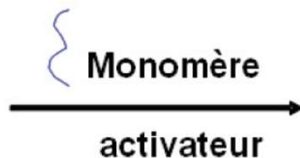
Surface fonctionnelle



(c) Greffage chimique

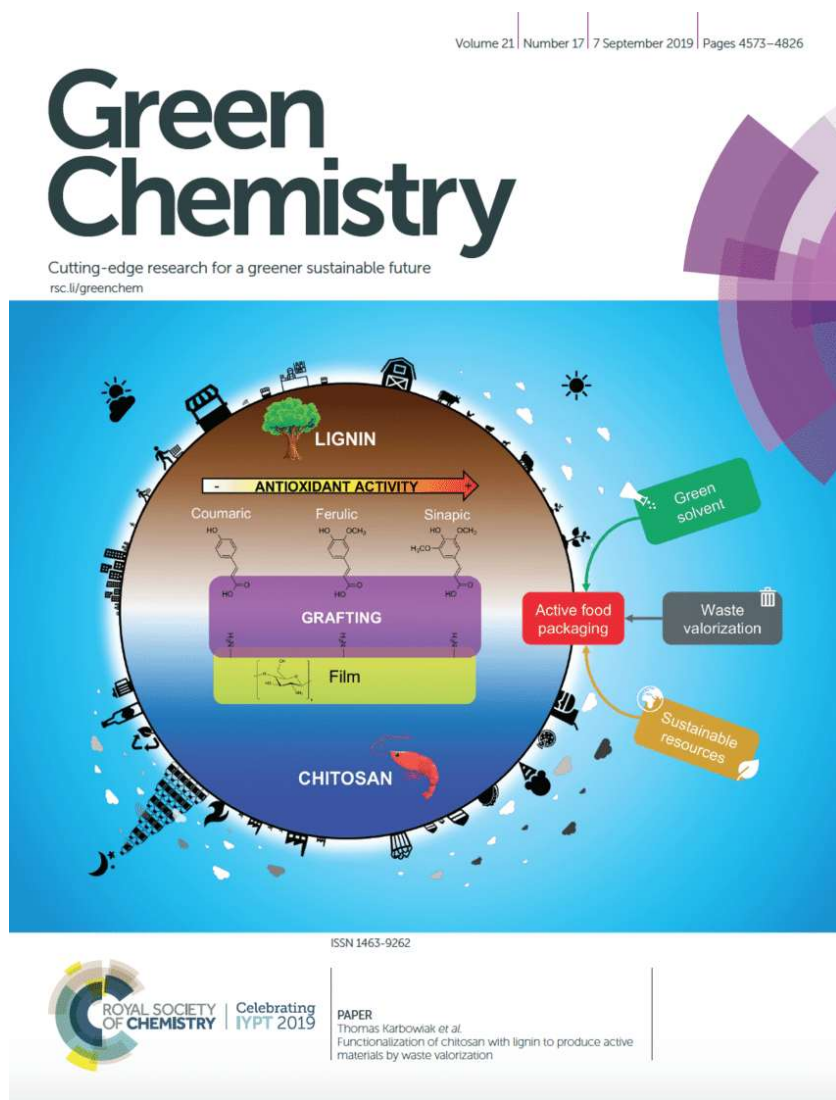


amorceur



Résultats phares

Valorisation de co-produits association « terre et mer »



Green Chemistry

PAPER

View Article Online
View Journal

Check for updates

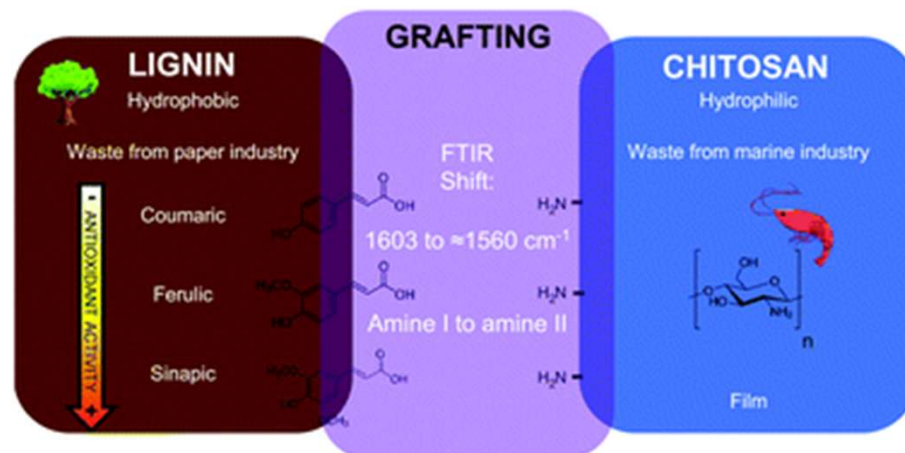
Cite this: DOI: 10.1039/c9gc01372e

Functionalization of chitosan with lignin to produce active materials by waste valorization

Kevin Crouvisier-Urien,^a Fernanda Regina da Silva Farias,^a Sorawit Arunatat,^a Donnchadh Griffin,^a Massimiliano Gerometta,^a Jeancarlo R. Rocca-Smith,^a Guy Weber,^b Nicolas Sok^a and Thomas Karbowiak^{a*}

Received 25th April 2019,
Accepted 18th June 2019
DOI: 10.1039/c9gc01372e
rsc.li/greenchem

The valorization of lignin to produce functionalized materials is challenging. A grafting reaction based on the reactivity between chitosan amino groups and lignin hydroxyl groups was performed, in an environmentally friendly solvent to produce thin films that can be used as active packaging or coating materials. A systematic comprehensive study was performed, that focused first on the grafting of the three phenolic acids composing lignin (coumaric, ferulic, and sinapic acids), and then of the lignin polymer itself onto chitosan. The anti-oxidant activity of lignin monomers was preserved after grafting onto chitosan with significant differences regarding their initial radical scavenging activity: sinapic acid > ferulic acid > coumaric acid. The lignin polymer can also be grafted onto chitosan, which results in an intermediate anti-oxidant activity of the film. Therefore, this work opens a new route for the valorization of lignin, with the possibility of tuning the anti-oxidant activity of the final material based on the appropriate selection of the initial sustainable resource.



Krouvisier-Urien et al., *Green Chem.*, 2019, **21**, 4633-4641

Résultats phares

Valorisation de co-produits association « terre et mer »

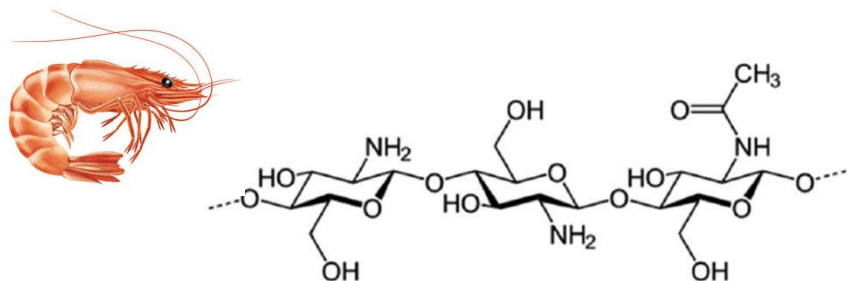
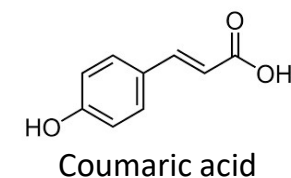
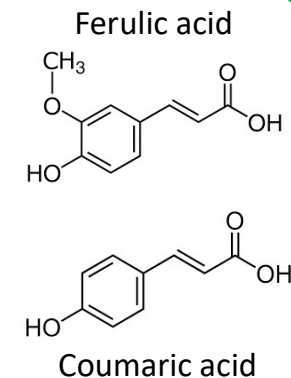
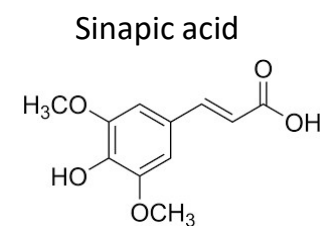


Fig. 2 Structure of the chitosan polymer (at $\text{pH} > \text{pK}_a$ amino group) displaying both acetylated and deacetylated monomer units.



Résultats phares

Valorisation de co-produits association « terre et mer »

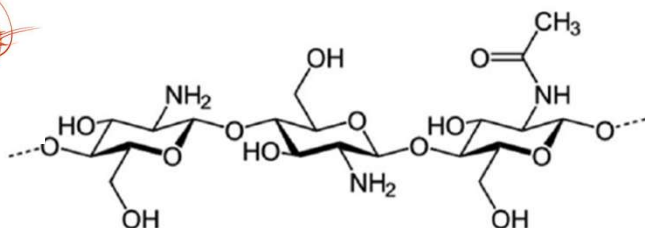
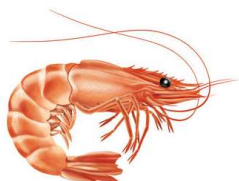
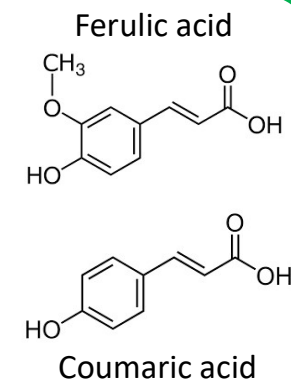
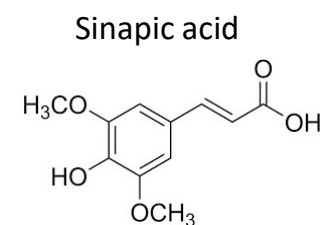
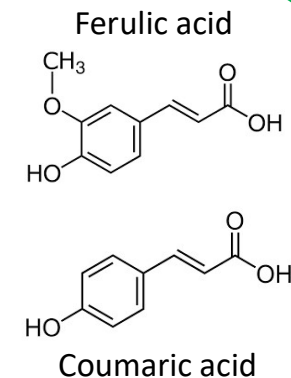
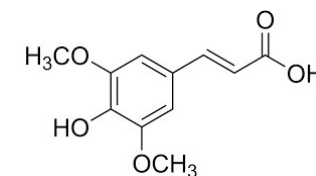


Fig. 2 Structure of the chitosan polymer (at pH > pK_a amino group) displaying both acetylated and deacetylated monomer units.





Sinapic acid



🔍 Analyse FTIR – Témoins et biopolymère terre-mer

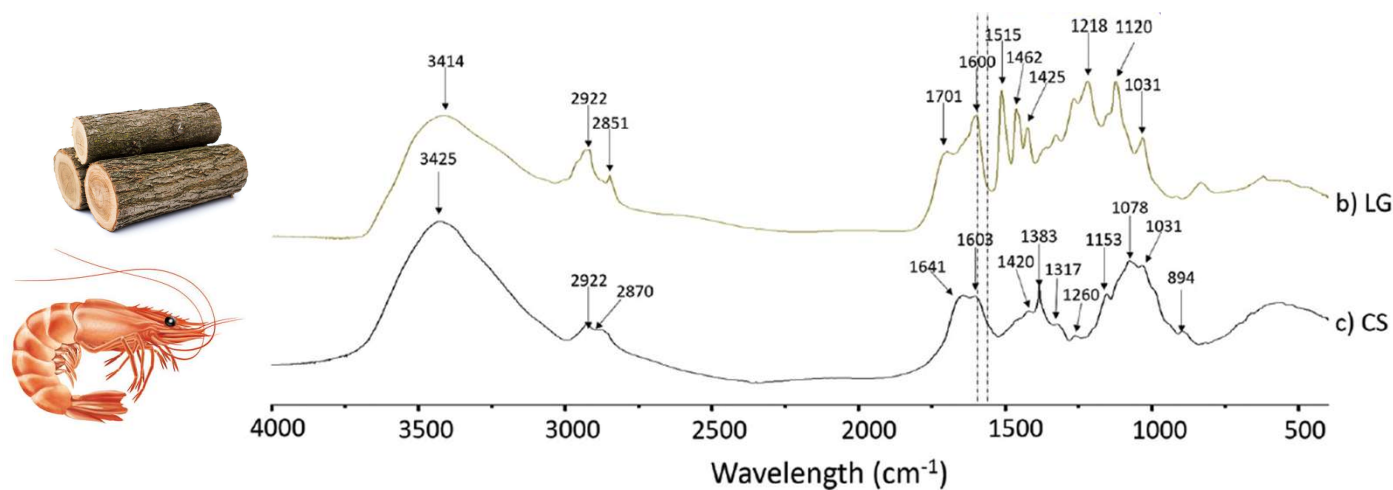
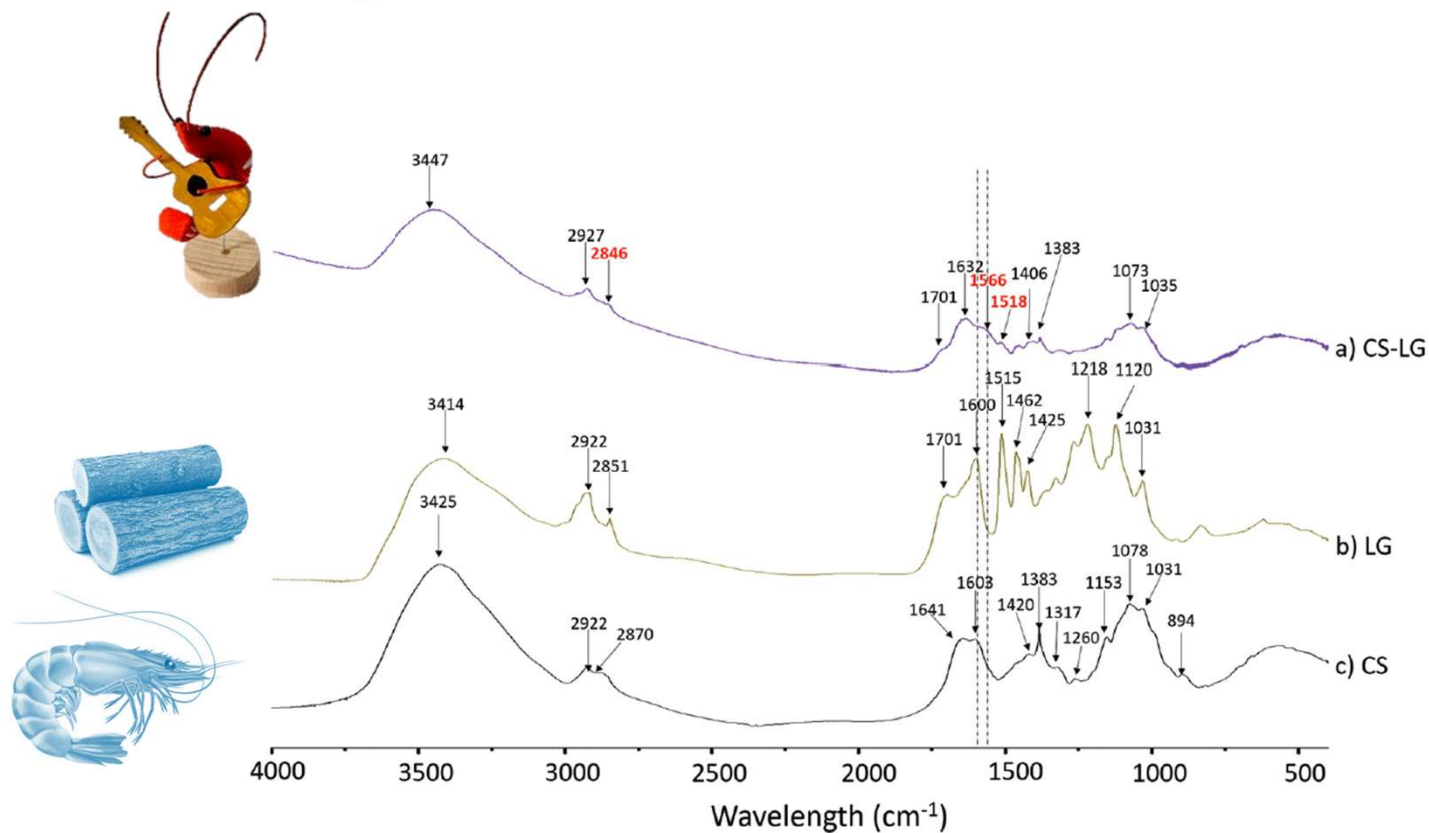


Fig. 7 FTIR absorbance spectrum of (a) chitosan film grafted with lignin (CS-LG). FTIR spectra of starting materials: (b) lignin (LG) and (c) chitosan (CS), are also displayed for comparison. The arrows represent the characteristic maximum absorbance peaks. Vibrations in red refer to the differences highlighted by FTIR between starting materials and chitosan film grafted with lignin. The dashed lines indicate the shift occurring from 1603 cm^{-1} ($\delta_{\text{N-H}}$ of the amine I group) down to around 1560 cm^{-1} ($\delta_{\text{N-H}}$ of the amine II group) after the grafting.

Résultats phares

Analyse FTIR – Témoins et biopolymère terre-mer

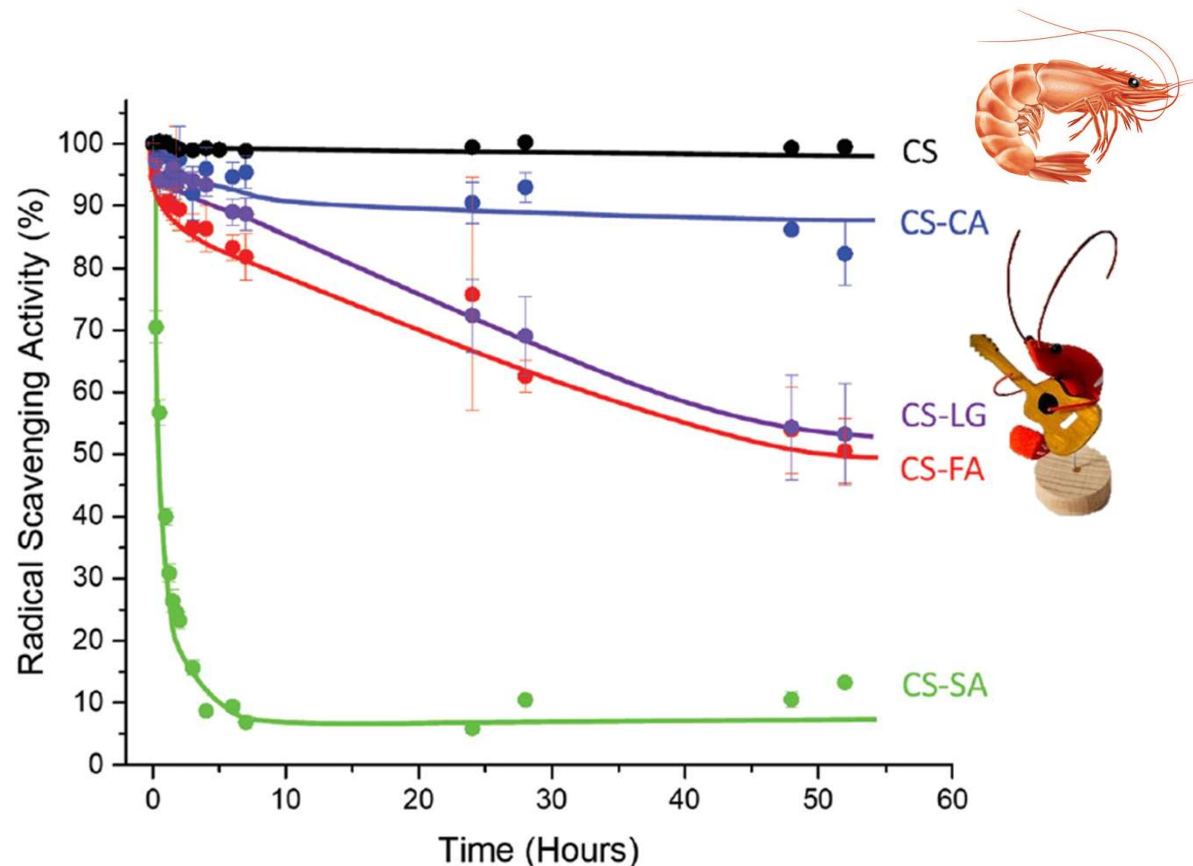


Taux de greffage
10 – 13%

Fig. 7 FTIR absorbance spectrum of (a) chitosan film grafted with lignin (CS-LG). FTIR spectra of starting materials: (b) lignin (LG) and (c) chitosan (CS), are also displayed for comparison. The arrows represent the characteristic maximum absorbance peaks. Vibrations in red refer to the differences highlighted by FTIR between starting materials and chitosan film grafted with lignin. The dashed lines indicate the shift occurring from 1603 cm⁻¹ (δ_{N-H} of the amine I group) down to around 1560 cm⁻¹ (δ_{N-H} of the amine II group) after the grafting.

Résultats phares

Propriétés antioxydantes - DPPH



Association terre – mer
Préservation de la
capacité antioxydante

Fig. 9 Radical scavenging activity of chitosan film (CS) and grafted films with lignin (CS-LG) and lignin monomers (CA: coumaric acid, FA: ferulic acid, SA: sinapic acid) assessed with DPPH* test in ethanol ($n = 3$). Lines are eye-guides.

Conclusions



- Preuve de concept - Valorisation co-produits - Associations possibles
- Greffage chimique covalent ou non covalente
- Préservation/association d'activité antioxydante et/ou antimicrobienne
- Méthode « verte » (éthanol, agents de couplage)



- Rendement de greffage 10-13%
- Activité antioxydante source(s) dépendante(s) – CS et LG
- Solubilité, pH
- Technologique (filmogène, vieillissement...)

Perspectives d'innovations

Q NEXTFoodPack (ANR 2025 – 2029)

- *Transposition de nos travaux de recherche à des applications de l'échelle du laboratoire à l'échelle industrielle???*



Pr. Thomas Karbowski

The banner for the NEXTFOODPACK project features a central title 'NEXTFOODPACK' in large green and red letters. To the left is a logo with a box and a plant, labeled 'Next Food Pack'. Above the title are logos for 'RÉPUBLIQUE FRANÇAISE', 'anr agence nationale de la recherche', and 'FRANCE 2030'. Below the title is a horizontal row of logos for PAM, SayFood, CTM, iAte, iCB, mub, imup, LUBEM, Micalis, and LEGO. A second row of logos includes WIPAK, GBCC, Lactips, Air Liquide, AHLSTROM, ACTALIA, ADRIA, LNE, Aerial, and APESA. The background is light green with abstract white lines. At the bottom, there is a green hill graphic and the URL <https://umr-pam.fr>.

What next ?

CAPTIV – Projet Qualiment

[Accueil](#) / [Nos équipes](#) / [Physico-Chimie des Aliments et du Vin \(PCAV\)](#) / [Projets](#) / CAPTIV

Mot clefs

Oxydation

Durée de vie

Capteurs

Résumé

Le projet **CAPTIV** s'intéresse à la détermination de la durée de vie des produits alimentaires et cosmétiques en vue de l'optimisation de leurs formulations et de leurs solutions d'emballage. En particulier, il porte sur l'utilisation de la modélisation et le développement d'un équipement pilote multi-instrumenté pour le suivi de l'oxydation des lipides.



Dr. Laura Carballido
Post-doctorante
Durée du projet



2025



2027

[Pour en savoir plus](#)



<https://umr-pam.fr>

What next ?

Vin – Sulfites – Projet SUMO (ANR 2025 - 2028)

[Accueil](#) / [Nos équipes](#) / [Physico-Chimie des Aliments et du Vin \(PCAV\)](#) / [Projets](#) / SUMO

Mot clefs

Sulfites

Contrôle

Capteurs

Résumé

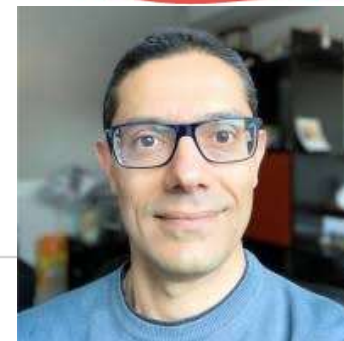
Les sulfites, agents conservateurs aux propriétés antimicrobiennes et antioxydantes, sont soumis à une réglementation d'étiquetage au-delà de 10 mg/L dans les vins en raison de leur potentiel allergène. Les techniques analytiques actuelles présentent des limites en termes de précision, de rapidité et de praticité.

Le projet SUMO vise à développer une méthode de quantification basée sur l'utilisation d'un capteur, qui permette un suivi des sulfites dans le vin pour contrôler et ajuster les doses au strict nécessaire.



anr 
agence nationale
de la recherche
AU SERVICE DE LA SCIENCE

Qualiment LABELLISÉ CARNOT®
Réseau de recherche pour l'innovation alimentaire



Pr. Elias BOU MAROUN

N° contrat attributif d'aide :
24-CE21-3589

Durée du projet



2025



2028

Pour en savoir plus

<https://umr-pam.fr>

La recherche
CARNOT
pour les entreprises

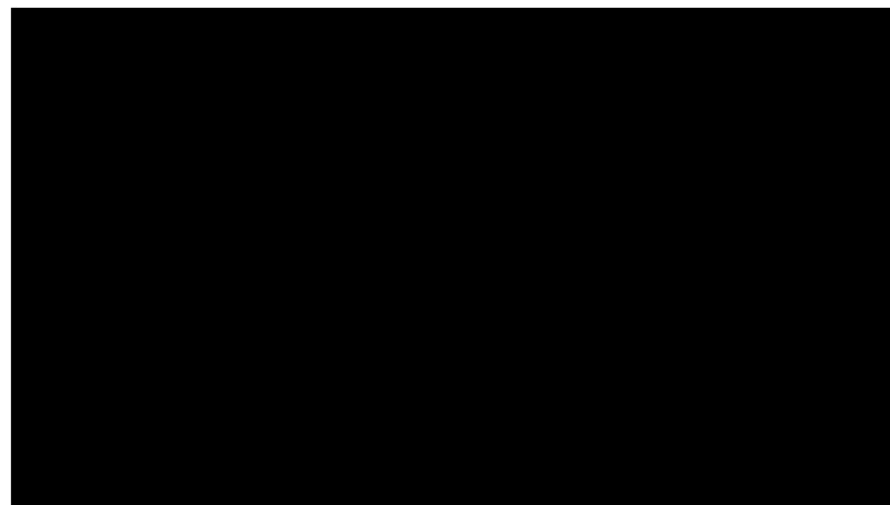


What next ?

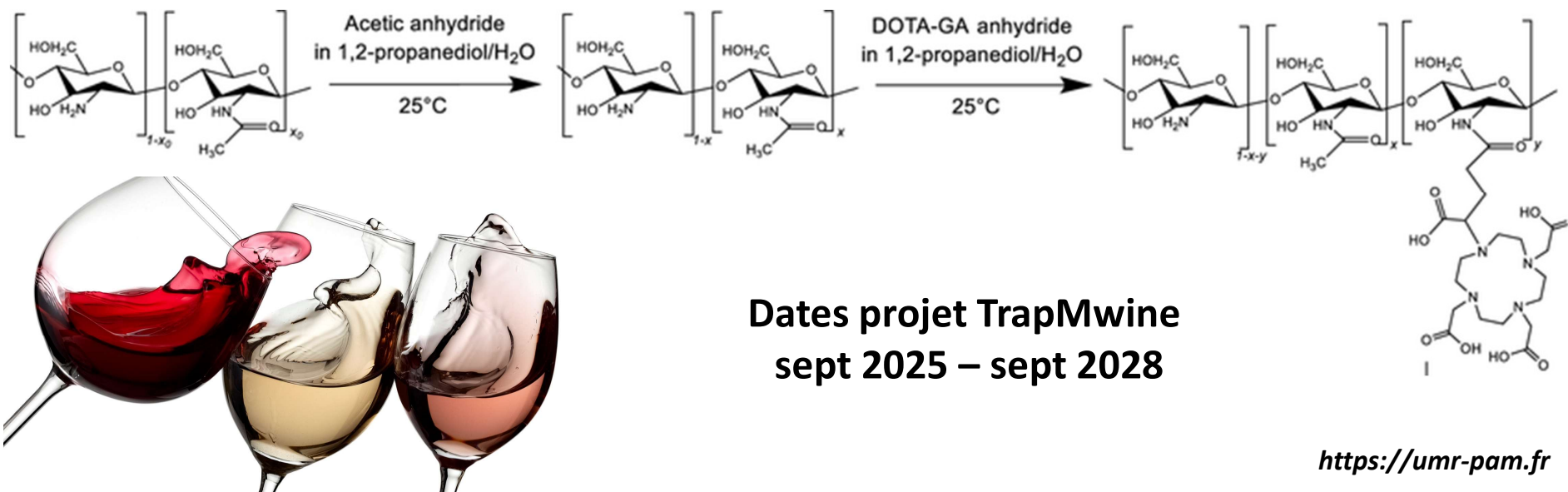
 Vin – Effet des minéraux – Impact oxydation – **Projet TrapMwine**



anr 
agence nationale
de la recherche
AU SERVICE DE LA SCIENCE



Dr. Maria NIKOLANTONAKI



Dates projet TrapMwine
sept 2025 – sept 2028

<https://umr-pam.fr>



Merci pour votre
attention!!!

Innover dans l'emballage traditionnel : Bouchage et conservation des vins



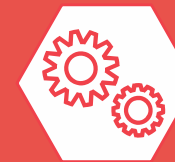
Thomas Karbowskiak
2 Octobre 2025



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



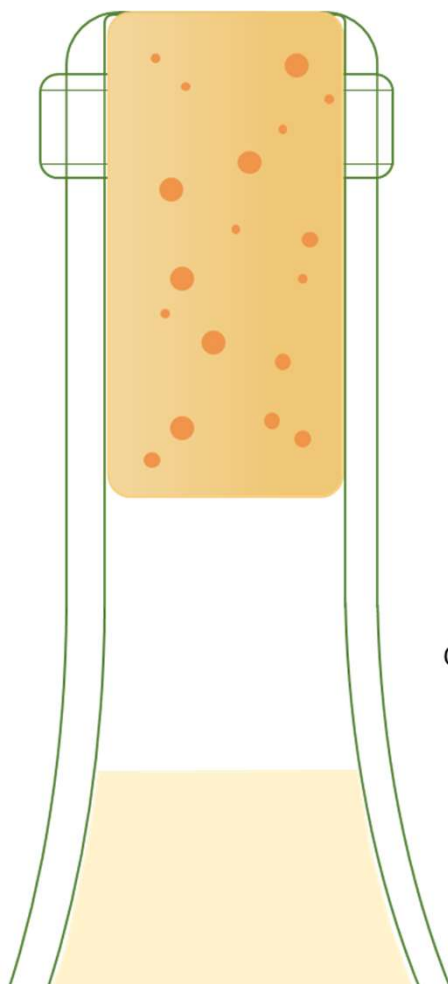
Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

thomas.karbowskiak@institut-agro.fr

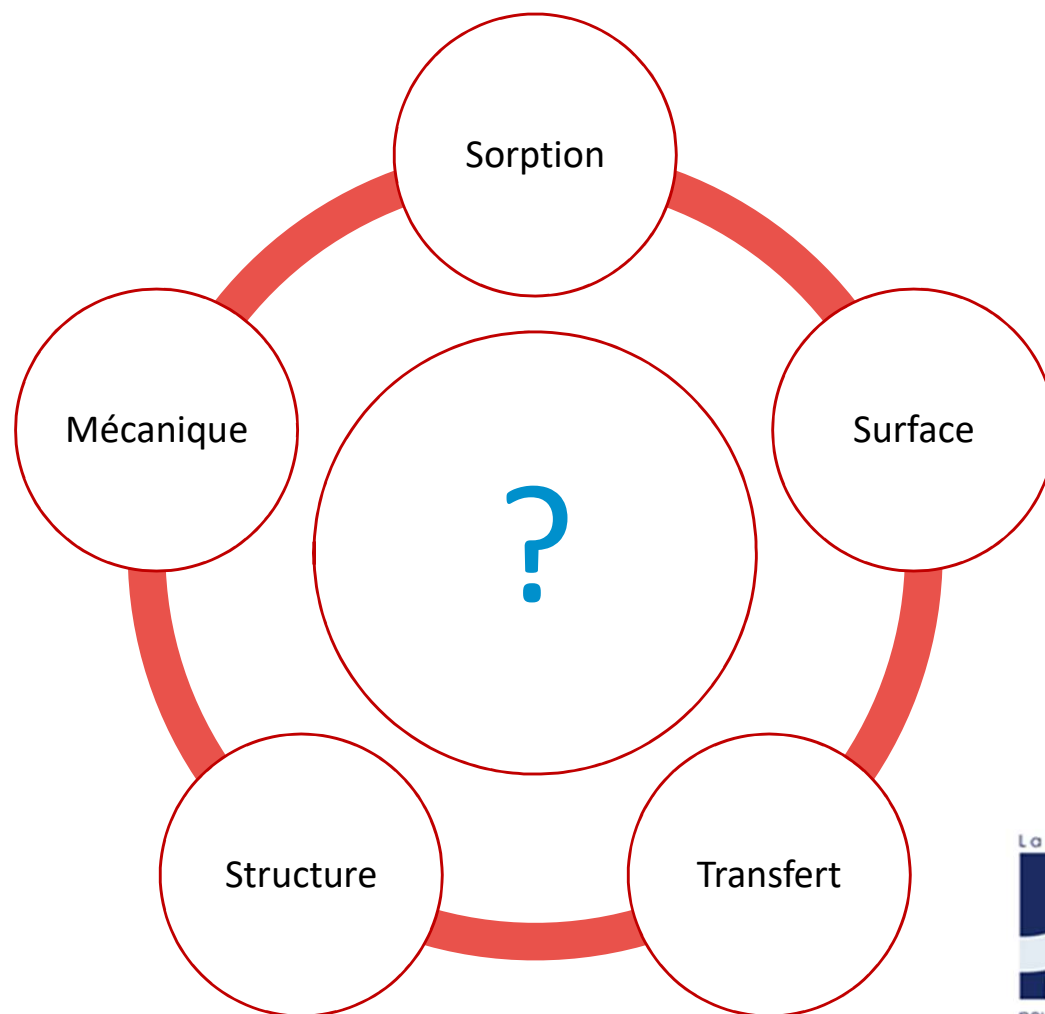
Contexte et grands enjeux

Le matériau liège

Emballage traditionnel → Besoin de connaissances

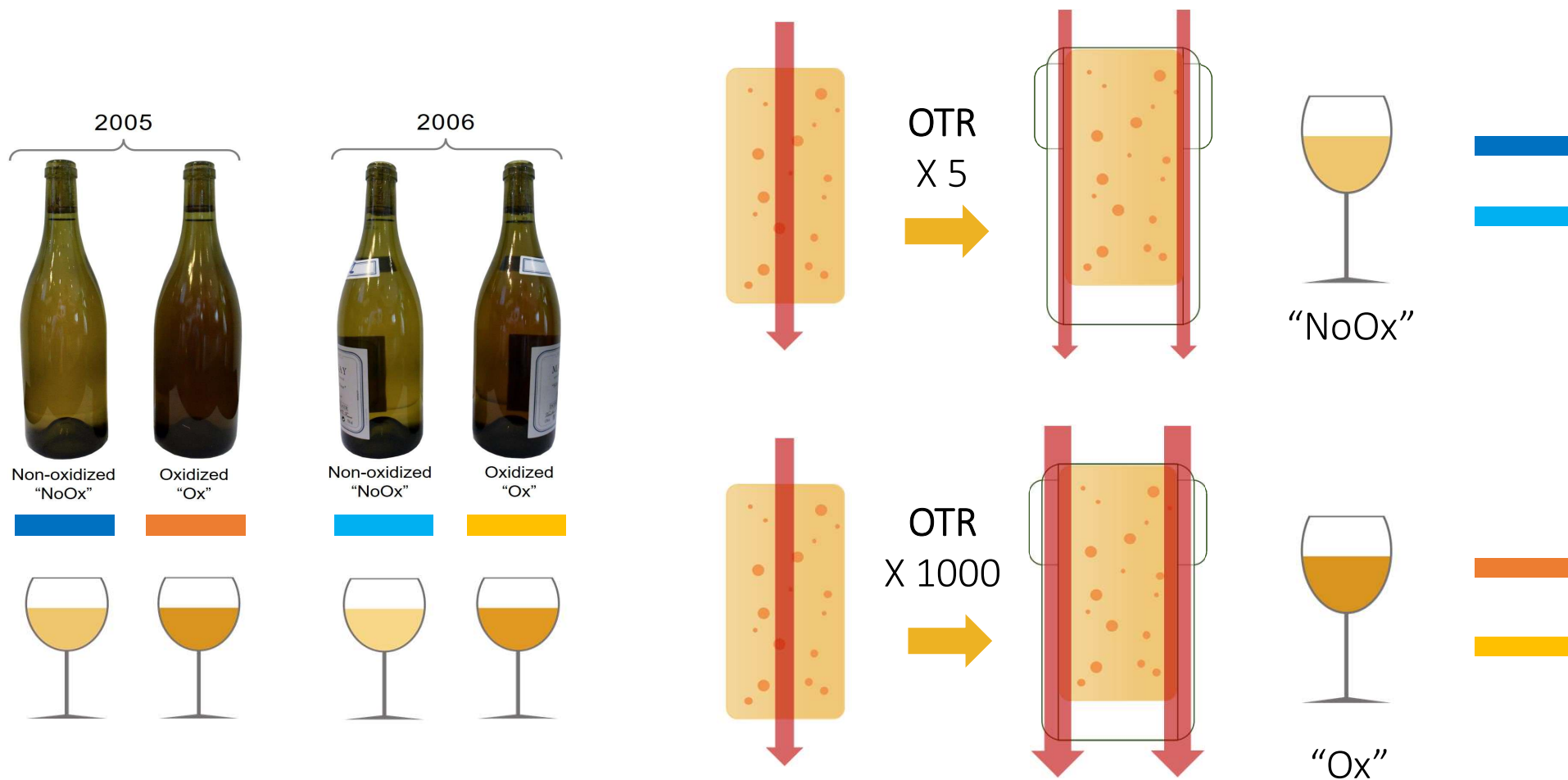


Durée de
conservation du
vin ?





Etude de cas : de l'observation en cave à l'analyse en laboratoire

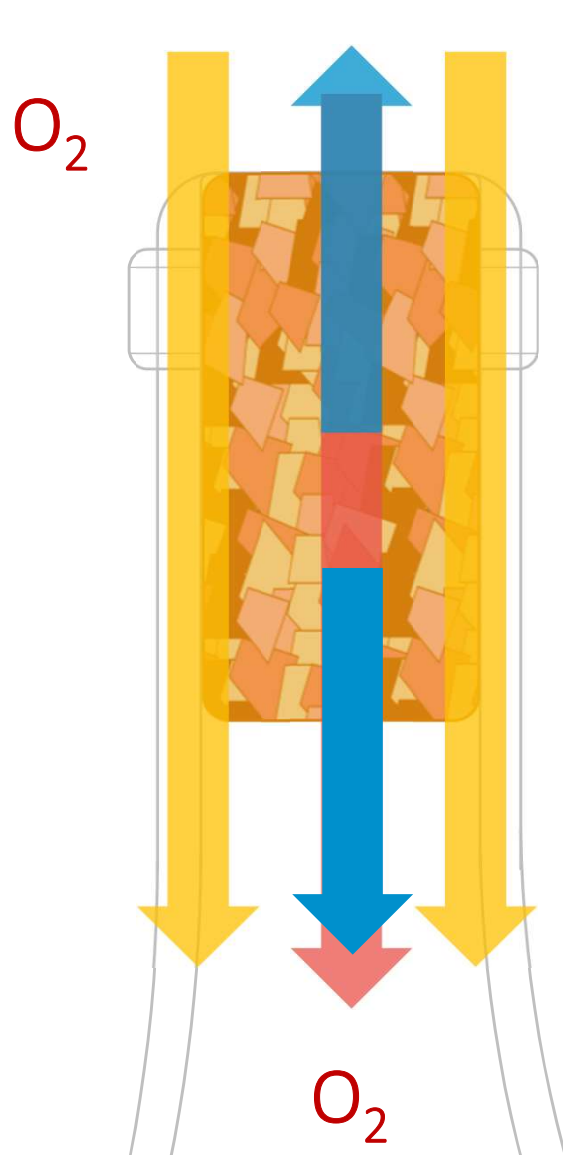


Un transfert d'oxygène se produit à l'interface lors du vieillissement en bouteille



Etat de l'art

🔍 Transfert d'oxygène ou transferts d'oxygène ?



O_2 Comment mesurer la perméabilité à l'oxygène d'un bouchon ?

Quel est le rôle du traitement de surface sur le transfert d'oxygène à l'interface ?

Comment le bouchon vieillit-il au cours du temps ?

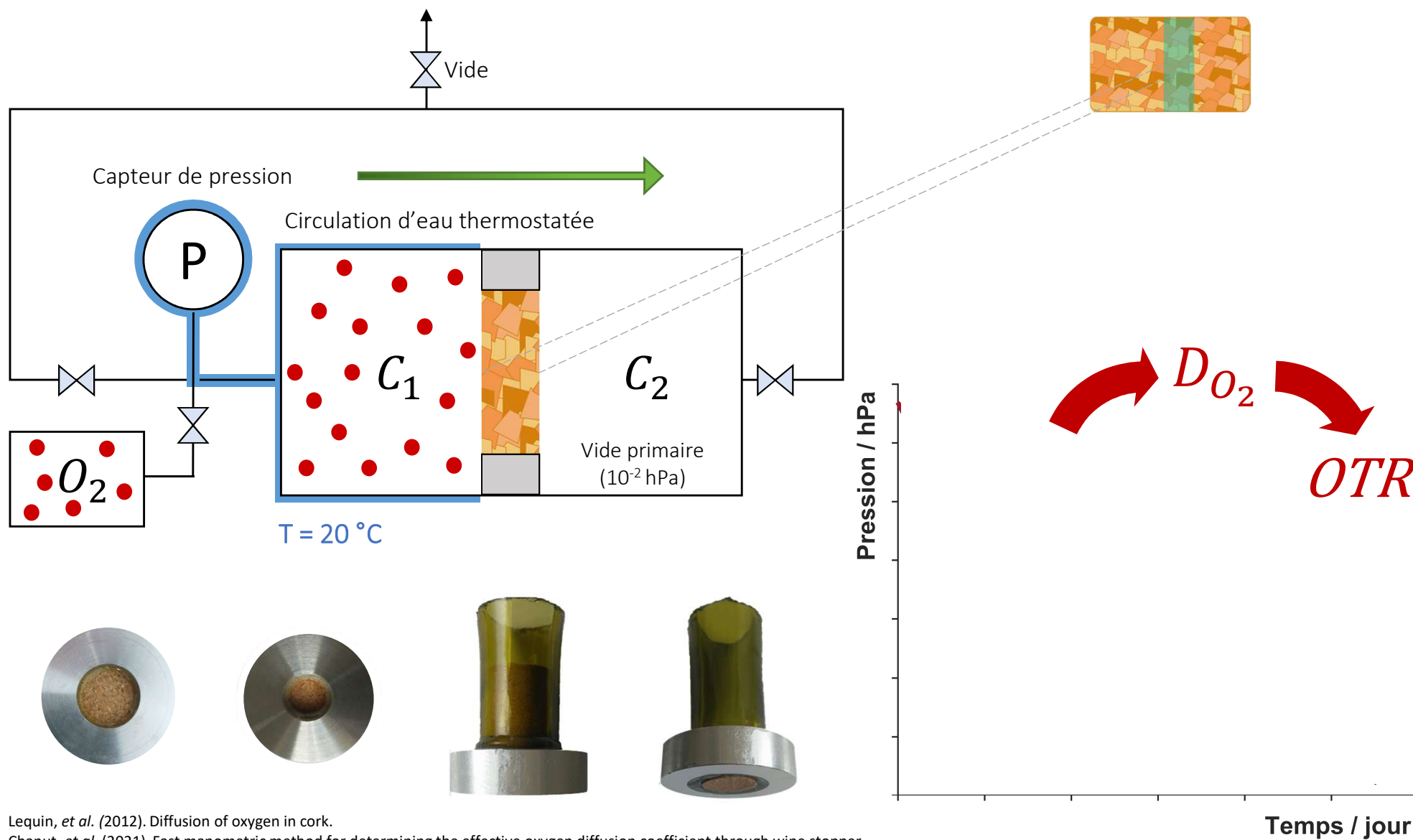
Lagorce-Tachon, *et al.* (2016). About the Role of the Bottleneck/Cork Interface on Oxygen Transfer.

Karbowiak, *et al.* (2019). Wine aging: a bottleneck story.

Karbowiak, *et al.* (2021). Le vieillissement du vin : une question d'obturation ?

Résultats phares

❓ Comment mesurer ces transferts d'oxygène ?

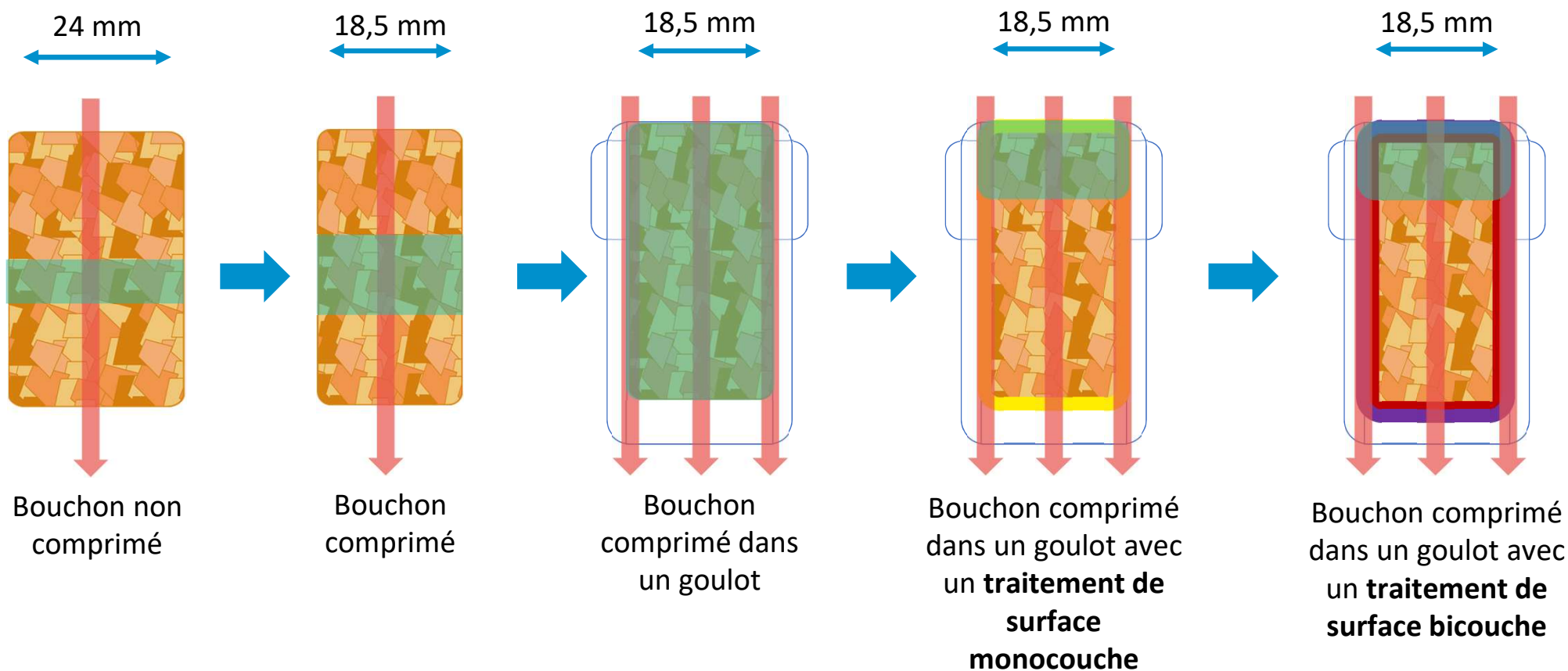


Lequin, *et al.* (2012). Diffusion of oxygen in cork.

Chanut, *et al.* (2021). Fast manometric method for determining the effective oxygen diffusion coefficient through wine stopper.

Résultats phares

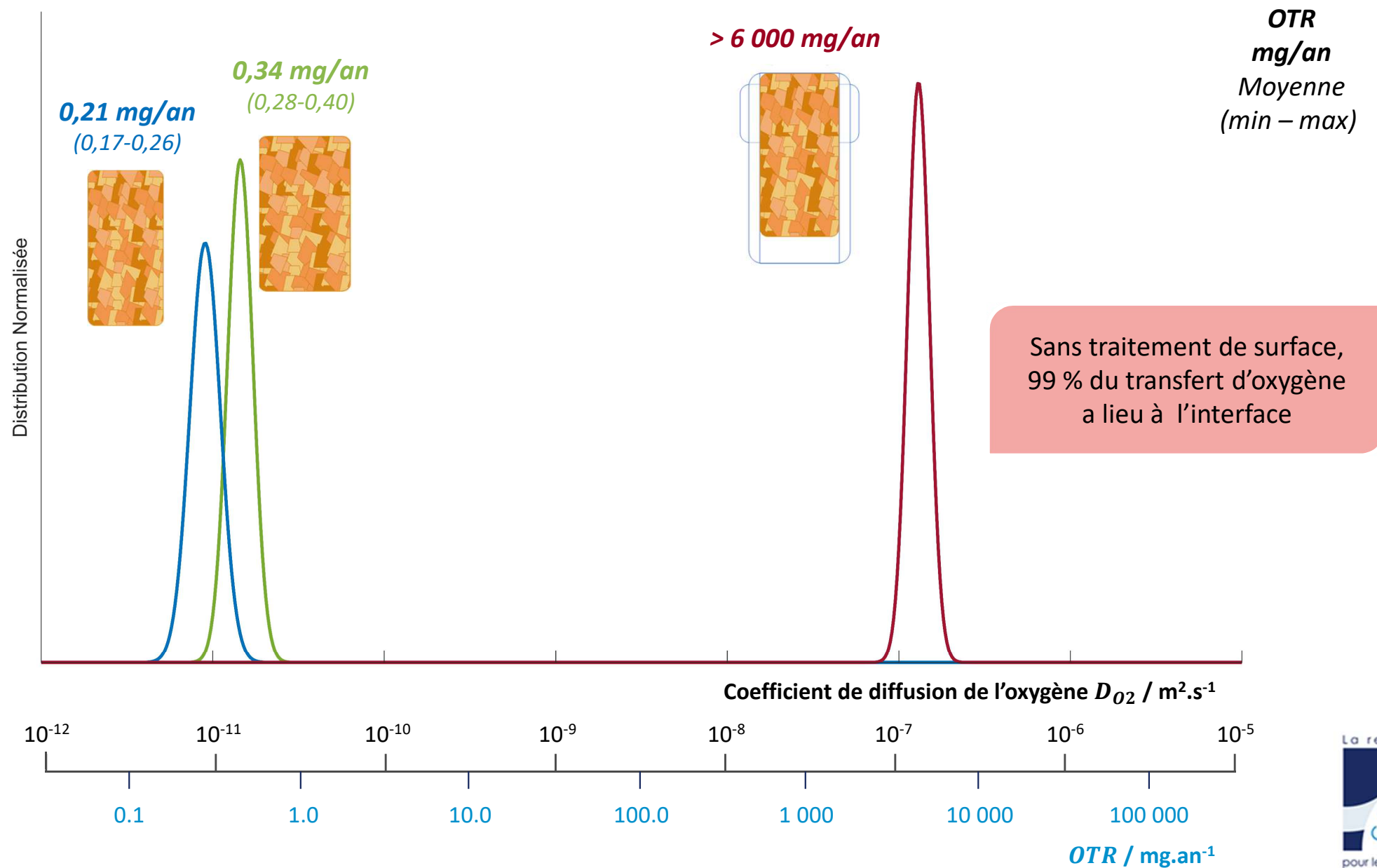
Mise en évidence du transfert à l'interface verre / bouchon



Comparaison des valeurs extrapolées à un bouchon entier

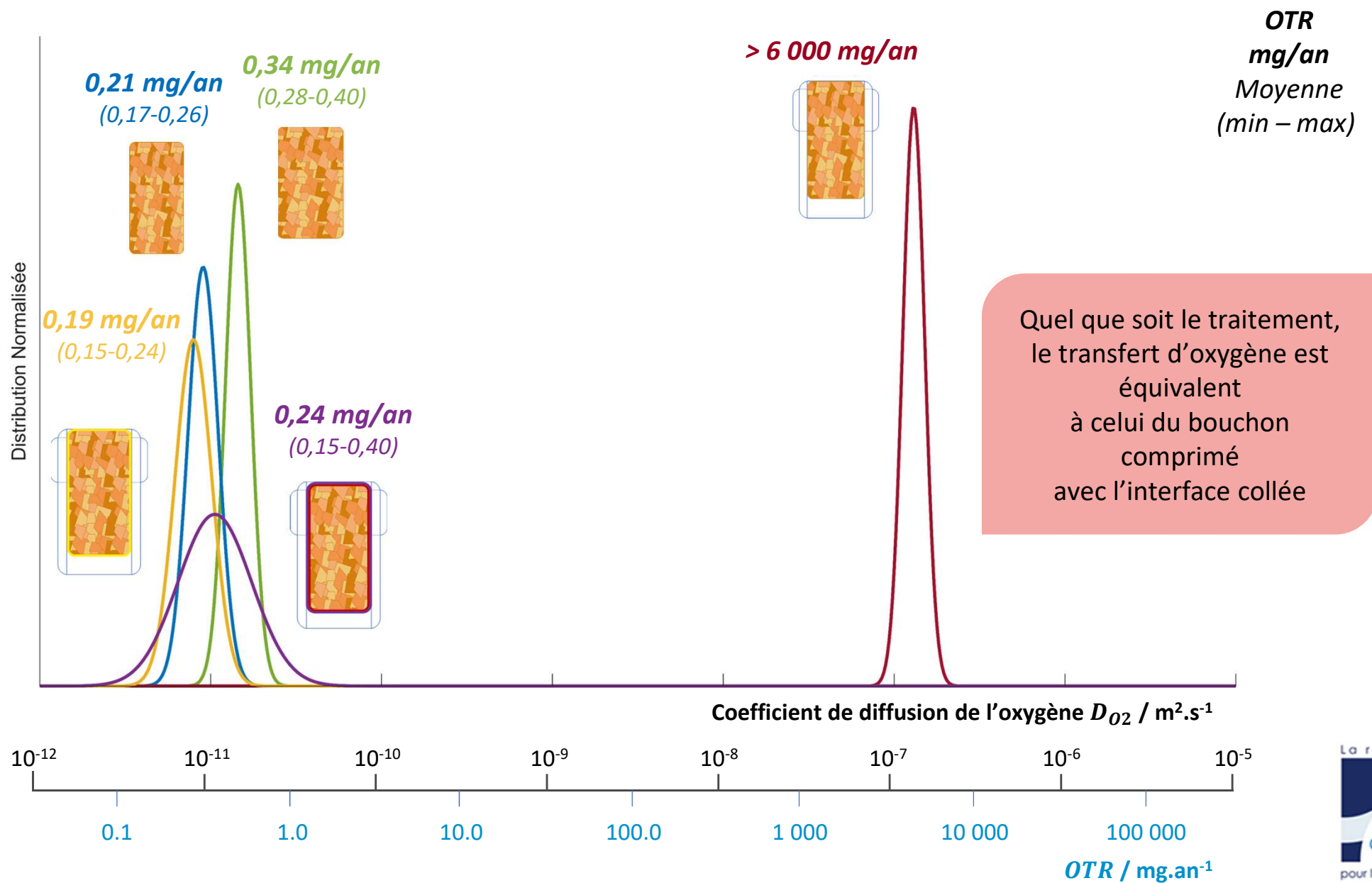
Résultats phares

Rôle de l'interface



Résultats phares

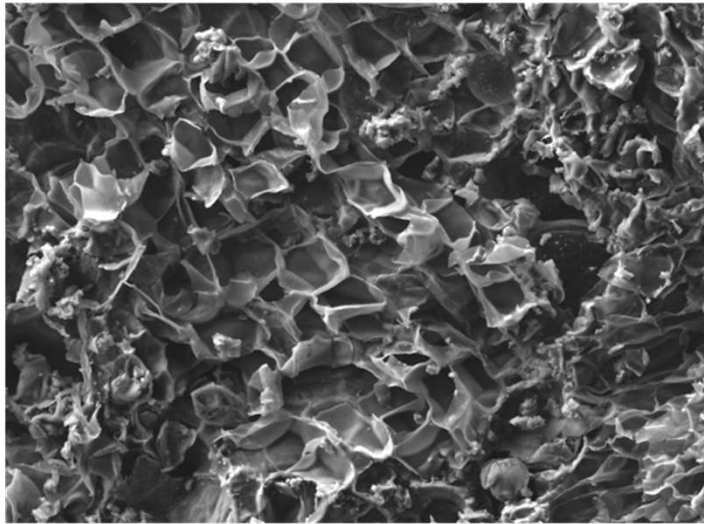
Rôle du traitement de surface



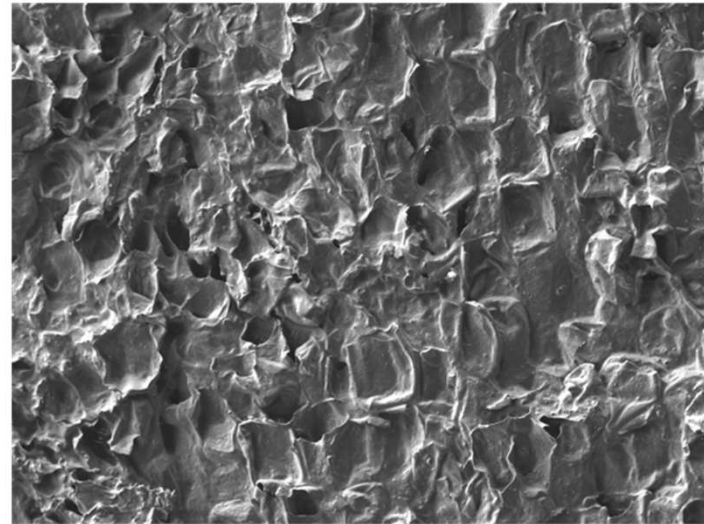


Résultats phares

Rôle du traitement de surface

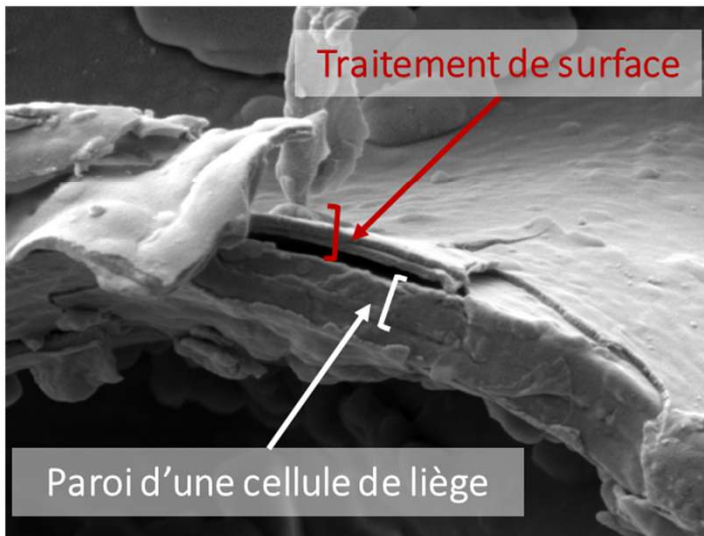


100 μ m

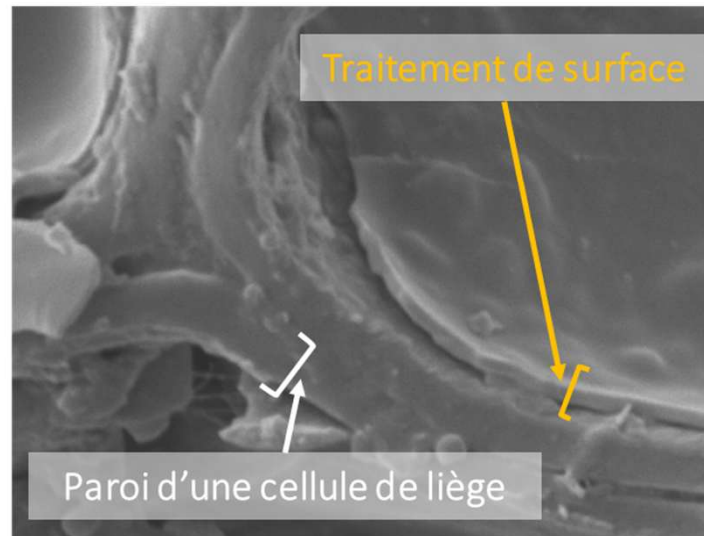


Dépôt homogène

100 μ m



1 μ m

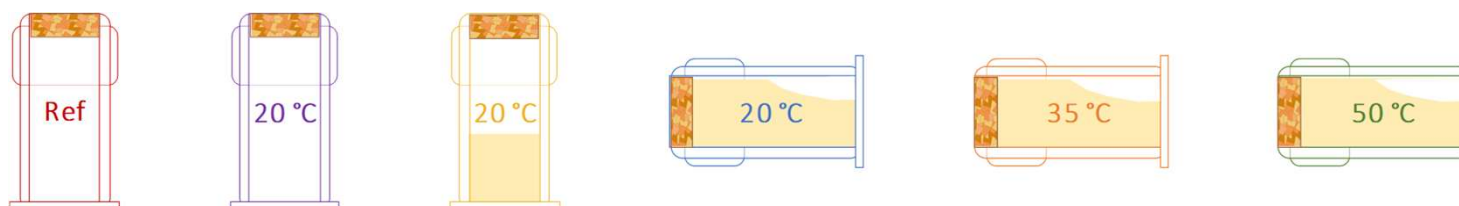


Epaisseur du dépôt
< 300 nm

1 μ m

Résultats phares

Vieillessement du vin en bouteille



50 % Humidité relative extérieure

Argon

Vin modèle

Stockage vertical

Stockage horizontal

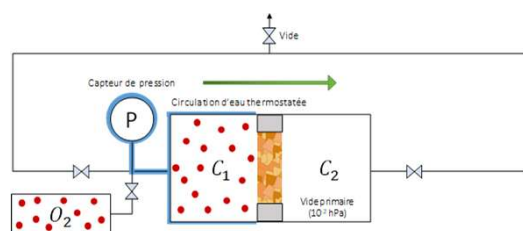
20 °C

35 °C

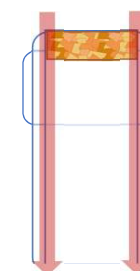
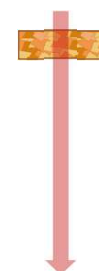
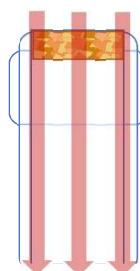
50 °C

0 mois

3, 6, 9, 12, 18, 24 mois



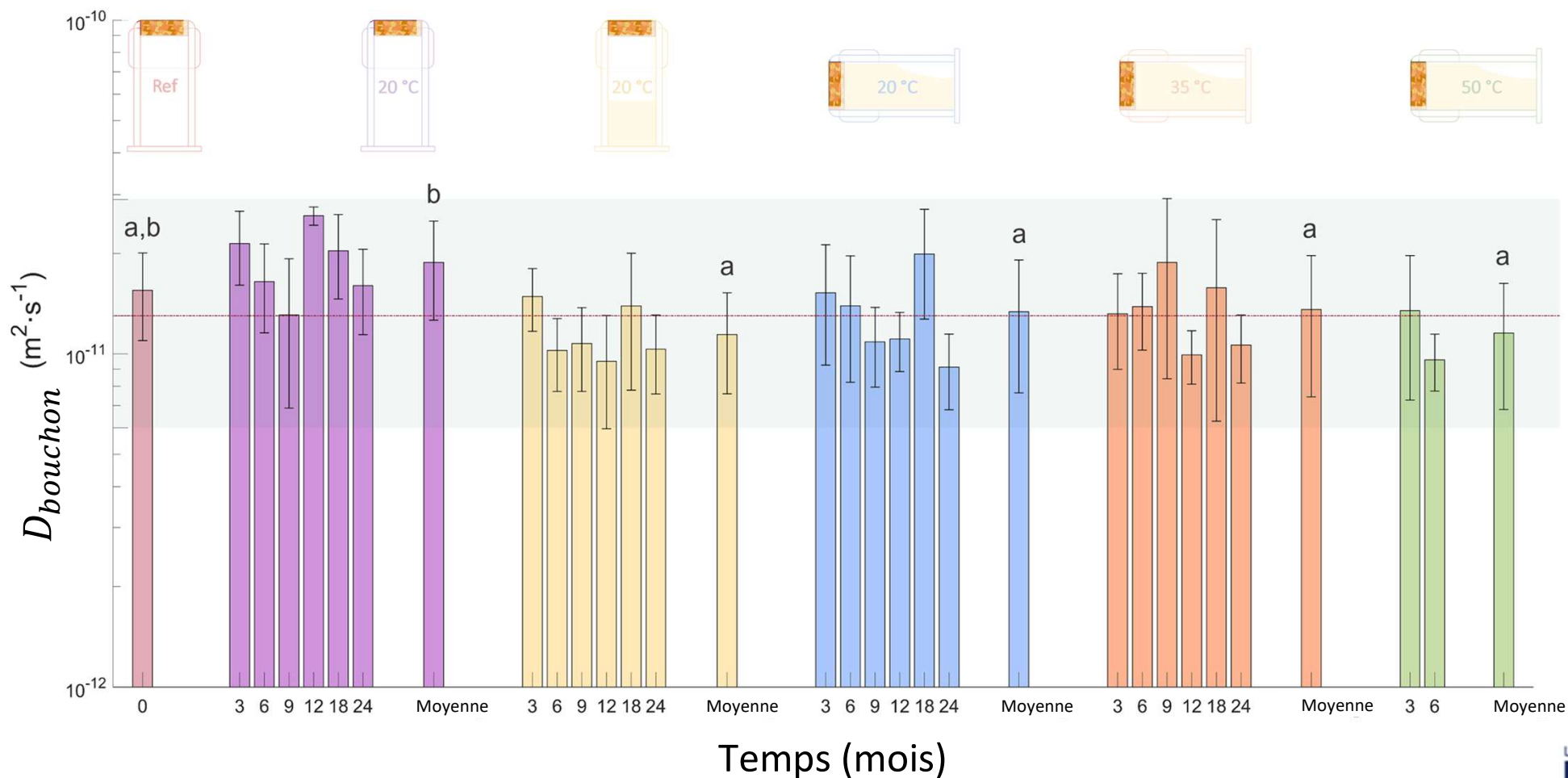
$$D_{total} - D_{bouchon} = D_{interface}$$





Résultats phares

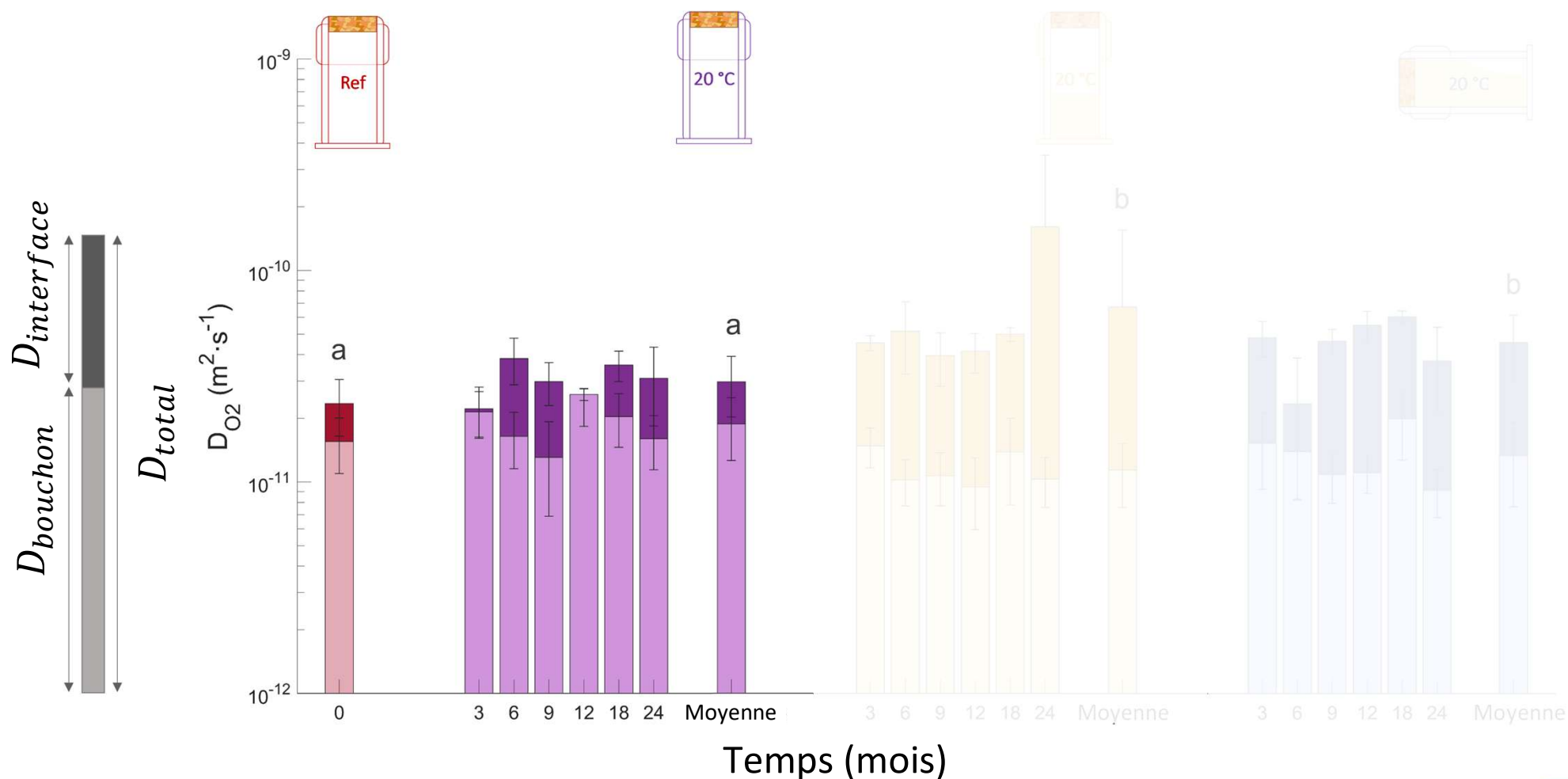
Transfert d'oxygène au travers le bouchon seul



Très peu d'effet des conditions de stockage sur 2 ans

Résultats phares

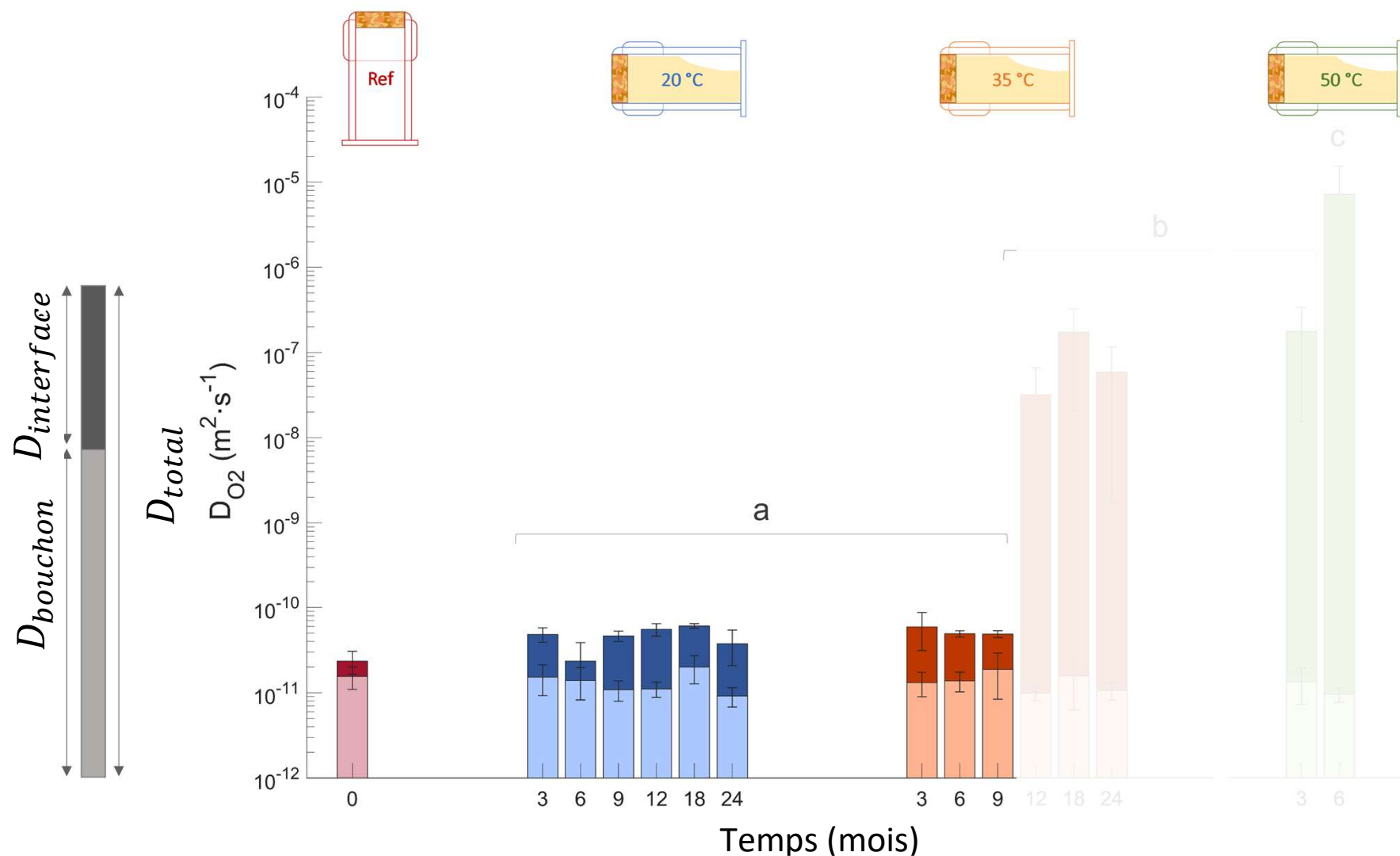
Effet de la présence de vin & de la position de stockage



Transfert à l'interface dès t=0

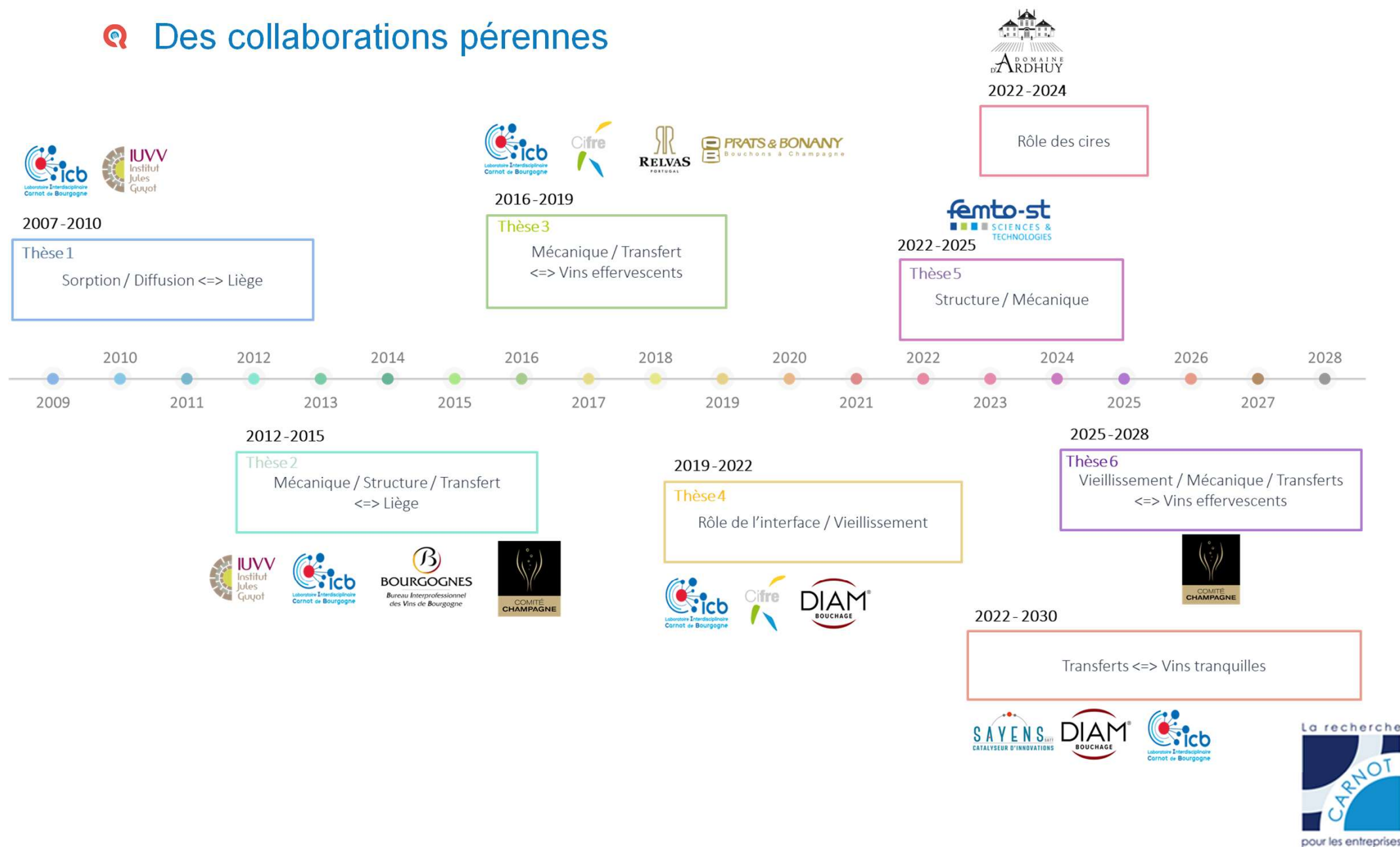
Résultats phares

Effet de la température



Perspectives d'innovations

Des collaborations pérennes





Perspectives d'innovations



- Quel est le rôle de la **formulation du bouchon** sur ses propriétés fonctionnelles ?

Qualité de la matière première
Matériaux biosourcés

- Comment mieux maîtriser le rôle joué par les produits de **traitements de surface** sur les transferts d'oxygène à l'interface verre / bouchon ?

Matériaux biosourcés

What's next ?

- Quelles sont les **étapes clés** et les **mécanismes** du transfert de gaz et de leur réactivité ?
Pour mieux les comprendre et mieux les maîtriser



2025 -2028

Etude des obturateurs œnologiques pour une conservation améliorée des vins effervescents



2022 - 2030

Etude des mécanismes de transfert lors de la conservation des vins en bouteilles
applications aux vins tranquilles





Jean-Pierre Bellat



Jean-Marc Simon



Sébastien Thibaud



Sonia Lequin



Kevin Crouvisier-Urien



Massimiliano Gerometta



Maria Ureña



Thomas Karbowiak



Régis Gougeon



Xavier Gabrion



Aurélie Lagorce



Julie Chanut



Ghadi Abi Fadel



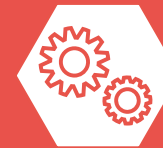
Des emballages secondaires bio-sourcés pour aliments secs : mise au point et applications



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

Contexte et grands enjeux

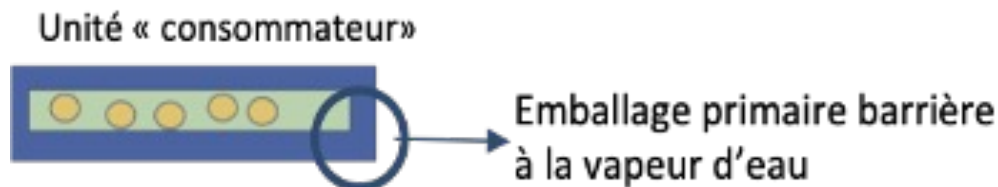
Nouveaux circuits de distribution alternatifs

- Distribution « vrac »: Produits secs
 - Risque microbiologique très faible
 - Conditionnement facile
 - => bonne qualité produit
- Comment étendre aux produits plus périssables? => « vrac secondaire »
 - Double conditionnement produits

Contexte et grands enjeux

🔍 Nouveaux circuits de distribution alternatifs

- « Vrac secondaire »:
 - Emballage primaire: mono-matériau, facilement compostable ou biodégradable, *barrière à l'eau*

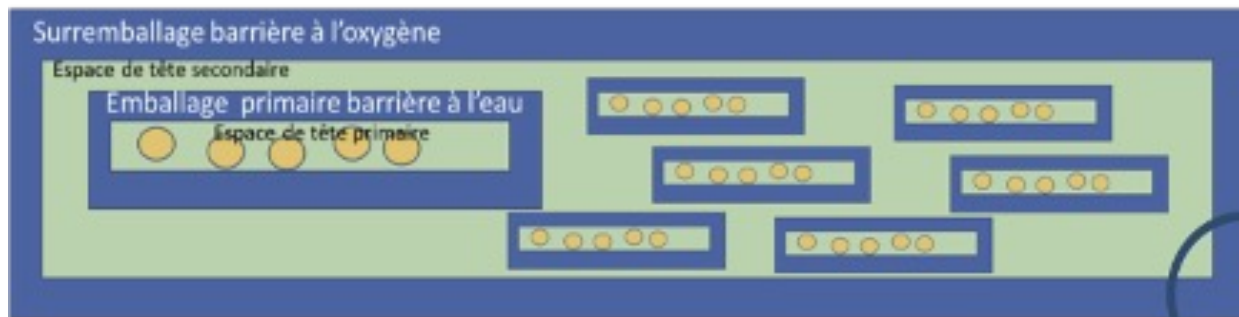


Contexte et grands enjeux

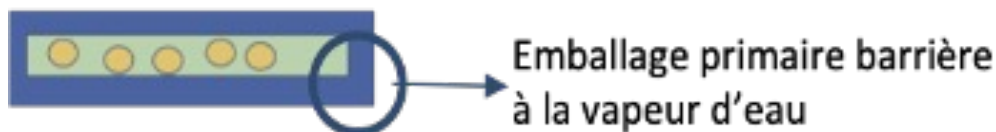
Nouveaux circuits de distribution alternatifs

- « Vrac secondaire »:
 - Emballage primaire: mono-matériau, facilement compostable ou biodégradable, *barrière à l'eau*
 - Emballage secondaire: *barrière à l'oxygène*

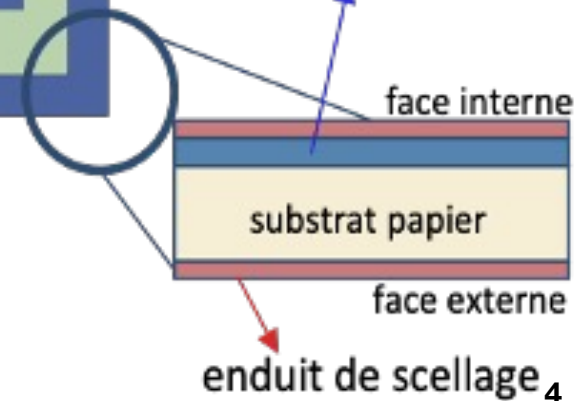
Unité « distribution »



Unité « consommateur »



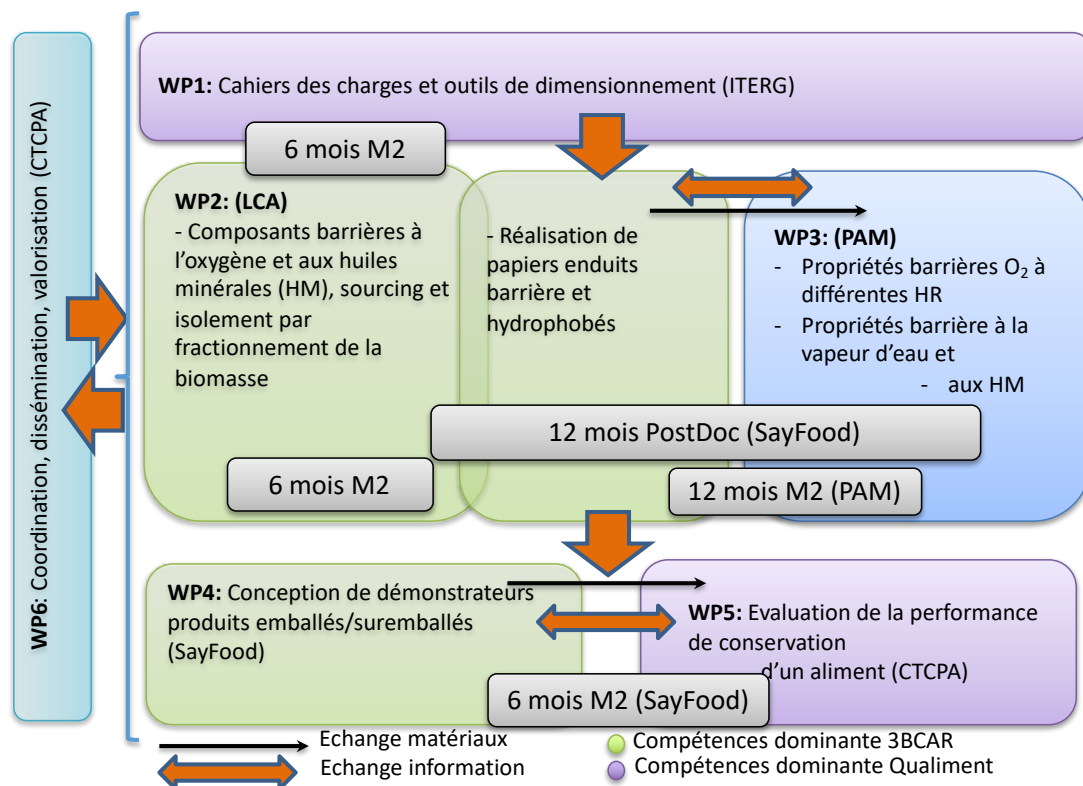
couche barrière à l'O₂
et aux huiles minérales



Contexte et grands enjeux

Projet SURBAR : Laboratoires partenaires et organigramme

Entité	Equipe
<i>SayFood</i>	Sandra Domenek
	Chloé Chevigny
	Bertrand Broyart
	Giana Almeida-Perré
<i>PAM</i>	Thomas Karbowiak
	Gaëlle Roudaut
<i>LCA</i>	Antoine Rouilly
<i>CTCPA</i>	Dole Patrice
	David Allain
<i>ITERG</i>	Chollet Guillaume
	Marie Reulier



Développer et apporter la preuve de concept du suremballage barrière à l'oxygène

- Objectif 1, expérimental:
 - Evaluer différentes formulations pour base papier, couchage polymères naturels et/ou coproduits d'agriculture
 - Complexité croissante: simple couche, multicouches, couche hydrophobe, ajout d'un scellant
 - Réaliser un démonstrateur: barrière $O_2 > PE$, scellable, 3D
- Objectif 2, modélisation:
 - Réaliser un outil calculatoire pour dimensionner les propriétés attendues
 - Dans différentes situations d'usage (humidité, type de produit...)
 - Prédire la durée de vie d'un aliment

Résultats phares

Q 1: Screening de coproduits/polysaccharides naturels pour propriétés barrière O₂ et vapeur d'eau

● Coproduits agriculture

- Hémicelluloses (Paille, son de blé, marc de raisin)
- Arabinoxylanes (maïs)
- Pectines (agrumes, betteraves)
- Tests: processabilité, tenue mécanique

=>Pectines (agrumes, betterave 3) & hémicellulose (paille/son blé)

● Polysaccharides :

- Hypromellose, HPMC, Methyl Cellulose
- Alginate, Chitosane, κ-Carraghenane, amidon +
- Tests: tenue mécanique, barrière, vieillissement

=>Alginate, Chitosane^{1, 2}



➔ Mise au point du couchage sur papier à faire!

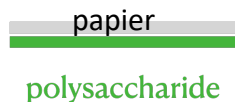
¹Ureña, M. *et al.* Potential of polysaccharides for food packaging applications. Part 1/2 : An experimental review of the functional properties of polysaccharide coatings. *Food Hydrocoll.* **144**, 108955 (2023).

²Ureña, M., Fournier, P., Phùng, T. T.-T., Lagorce, A. & Karbowiak, T. Potential of polysaccharides for food packaging applications. Part 2/2: An experimental review of the effect of aging conditions on the functional properties of polysaccharide films. *Food Hydrocoll.* **144**, 108954 (2023)

Résultats phares

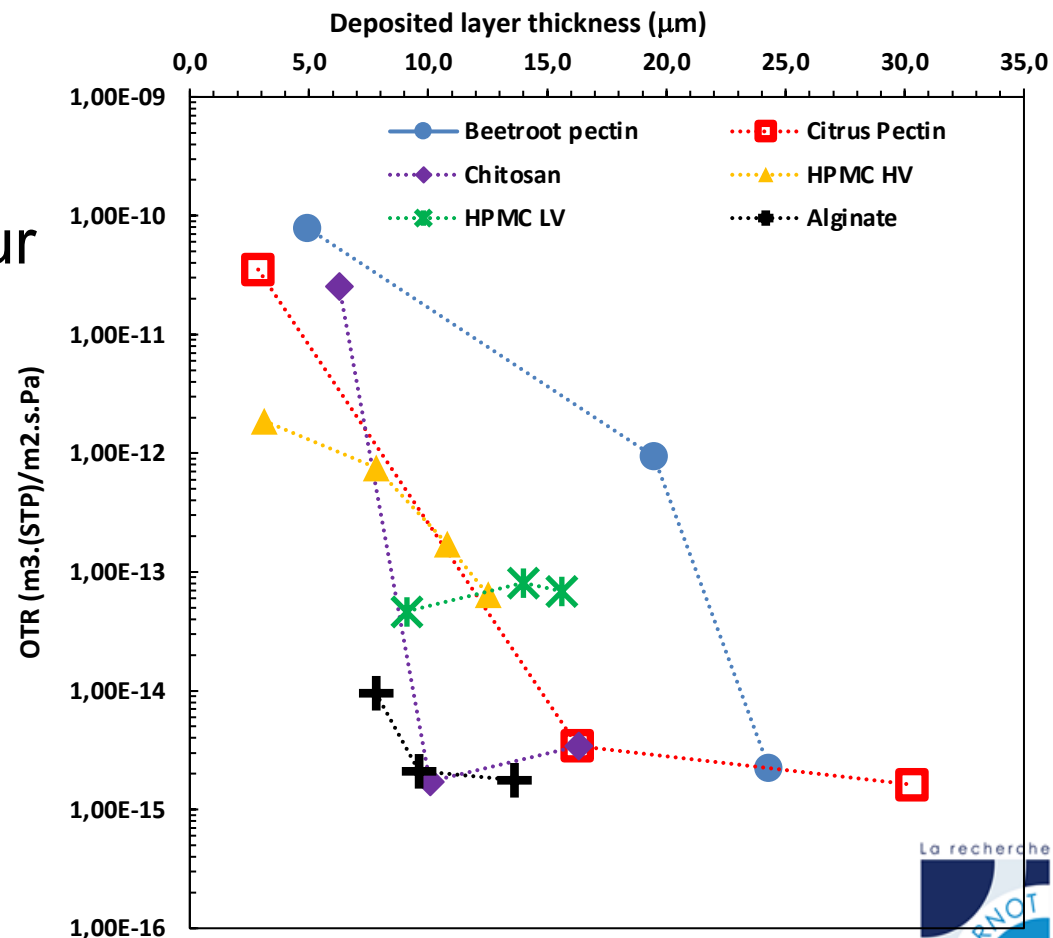
Q Screening de coproduits/polysaccharides naturels pour propriétés barrière O₂ et vapeur d'eau

- Meilleurs candidats optimisés en conditions industrielles (enduction sur papier)



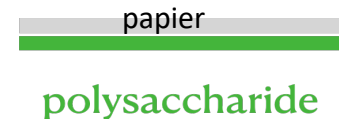
- Choix du papier
- Performances barrière O₂
- Épaisseur

- Etude de la perméance (OTR) en fonction de l'épaisseur déposée

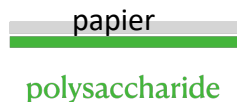


Résultats phares

Screening de coproduits/polysaccharides naturels pour propriétés barrière O₂ et vapeur d'eau

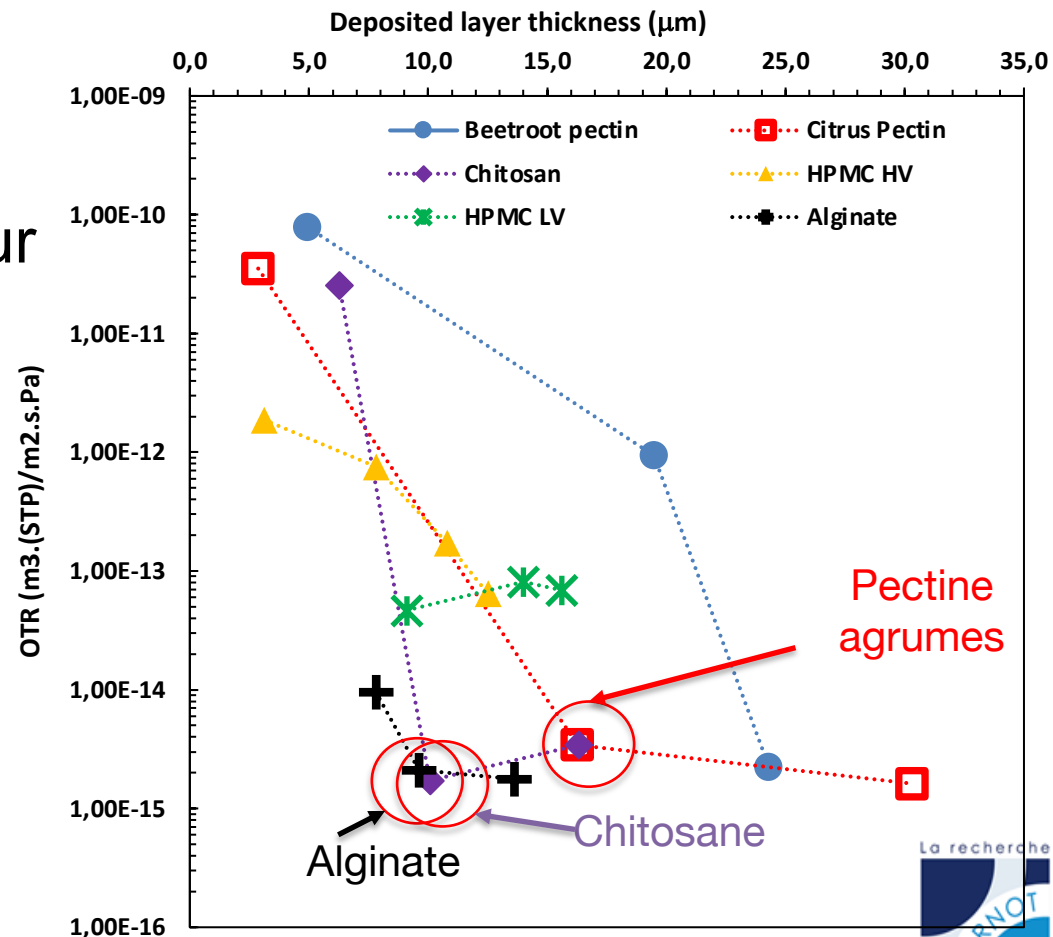


- Meilleurs candidats optimisés en conditions industrielles (enduction sur papier)



- Choix du papier
- Performances barrière O₂
- Épaisseur

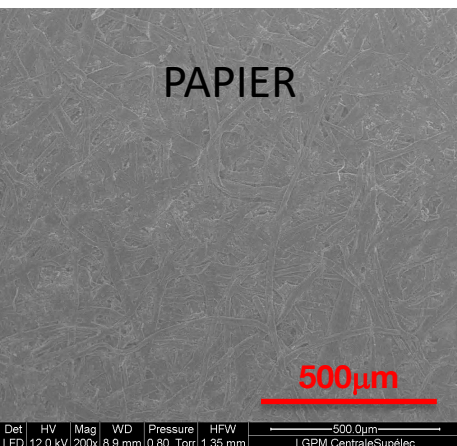
- Etude de la perméance (OTR) en fonction de l'épaisseur déposée



Résultats phares

Aspect (MEB)

Papier EMBA



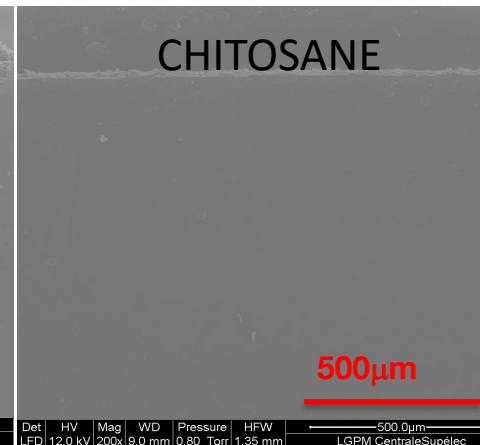
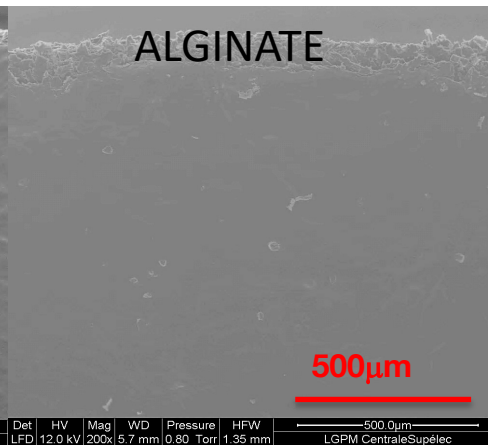
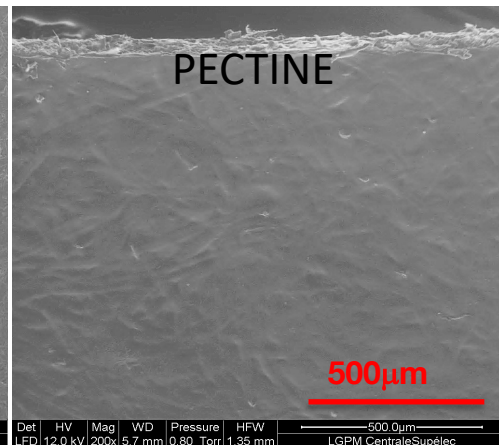
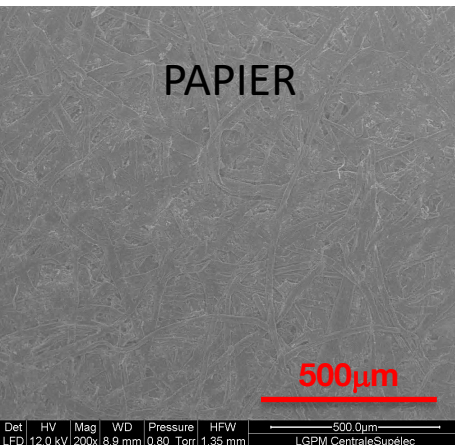
Résultats phares

Aspect (MEB)

Papier EMBA

papier

polysaccharide



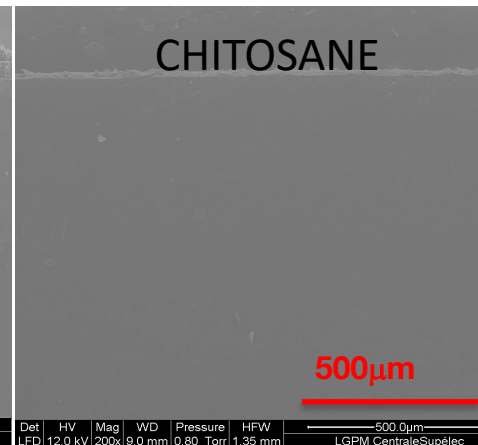
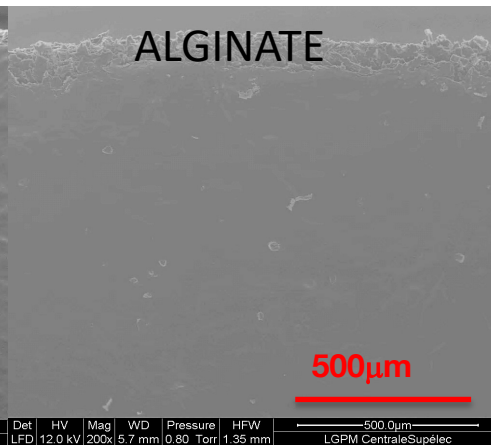
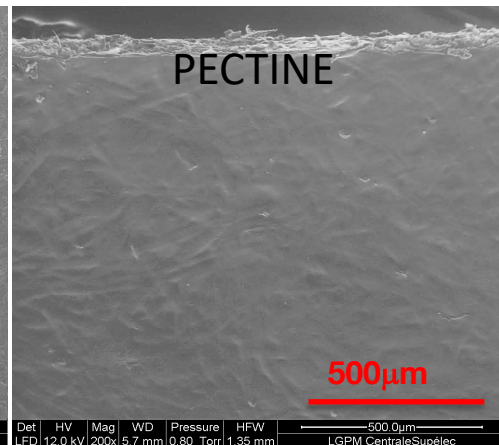
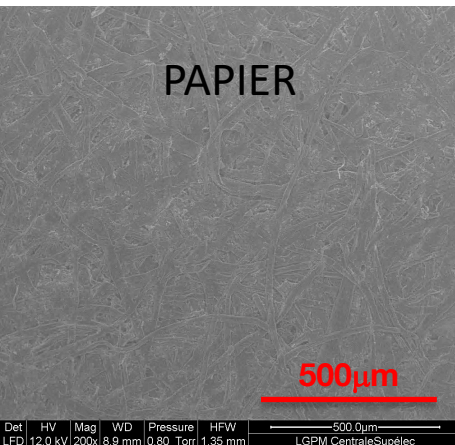
Résultats phares

Aspect (MEB)

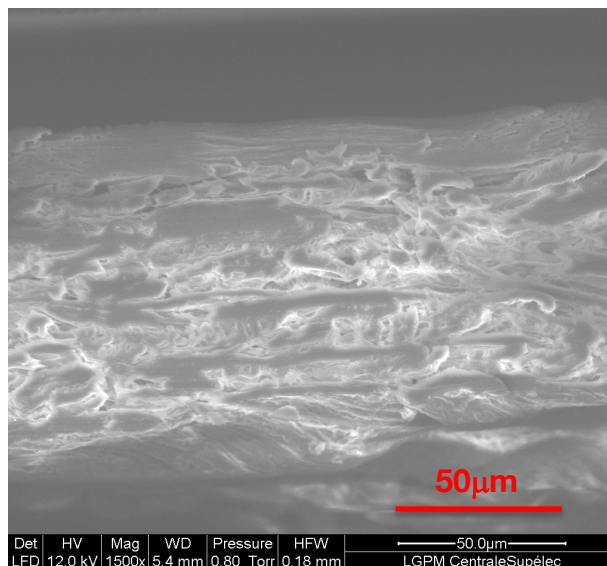
Papier EMBA

papier

polysaccharide



Papier couché pectine:



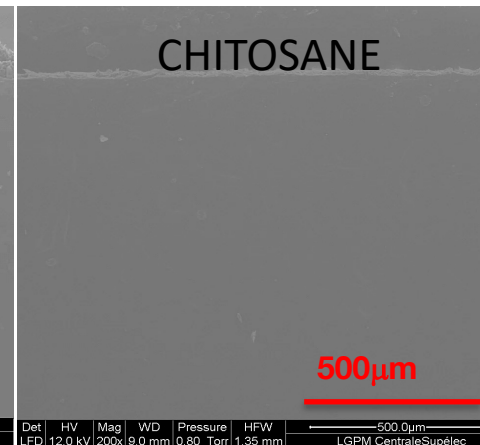
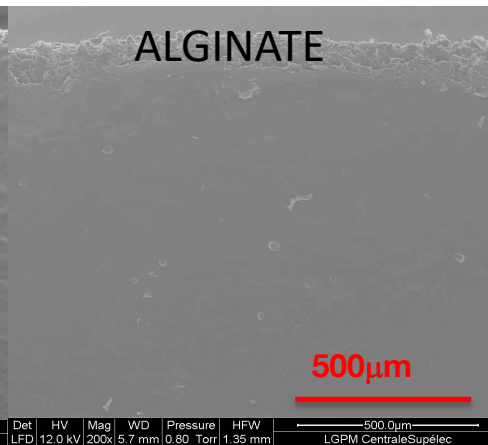
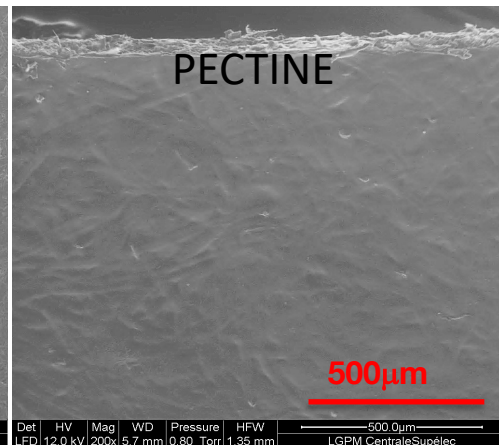
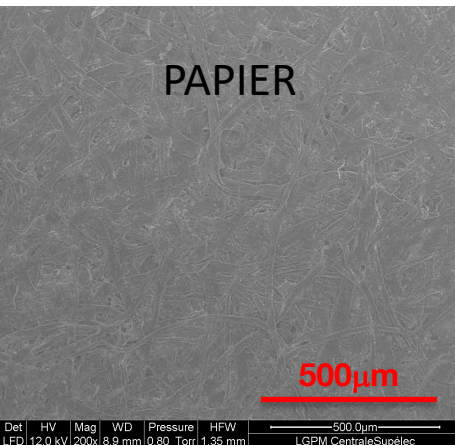
Résultats phares

Aspect (MEB)

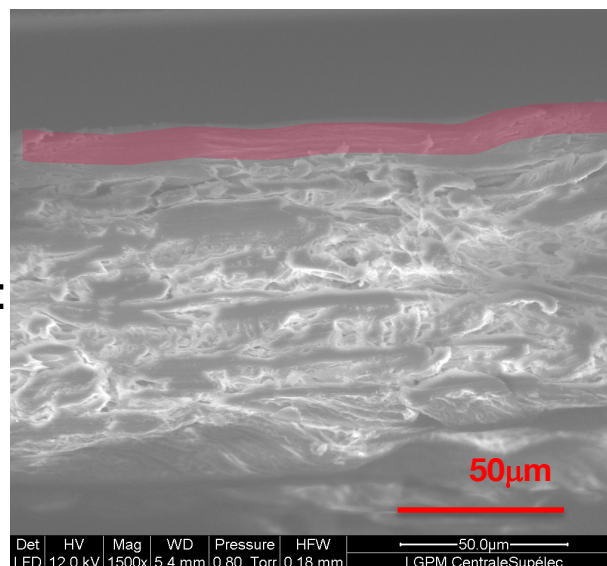
Papier EMBA

papier

polysaccharide



Papier couché pectine:



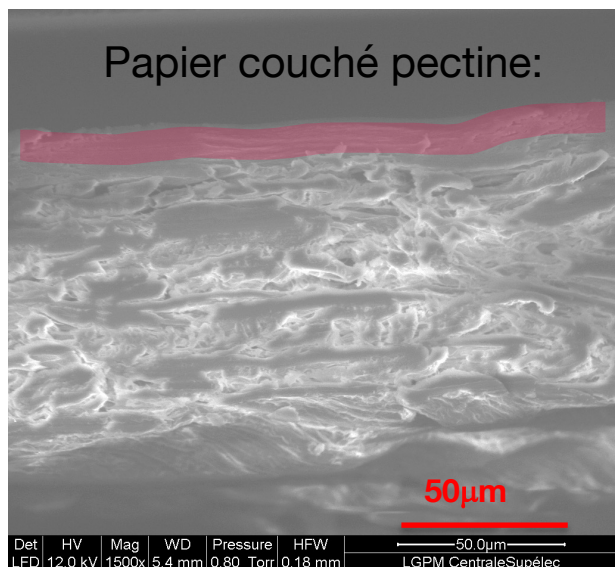
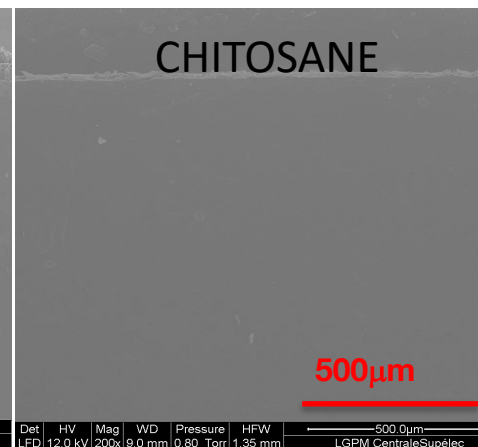
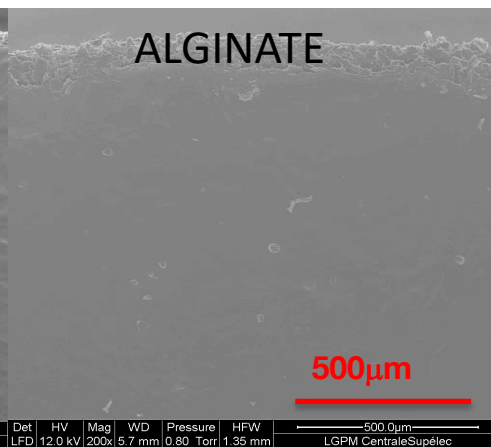
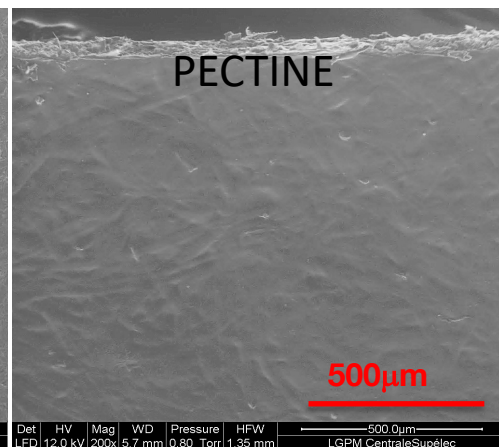
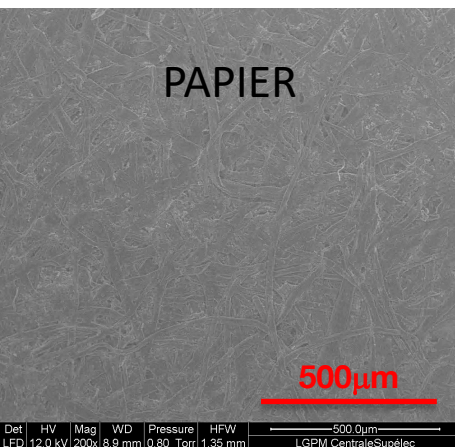
Résultats phares

Aspect (MEB)

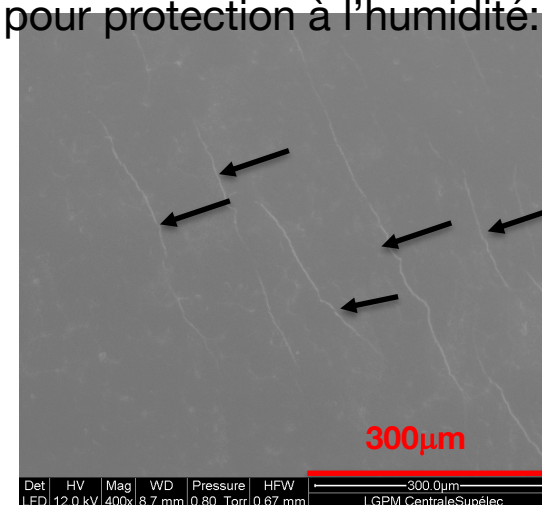
Papier EMBA

papier

polysaccharide



Ajout d'une couche de cire (huile de colza hydrogénée)
pour protection à l'humidité:



colza

Papier EMBA

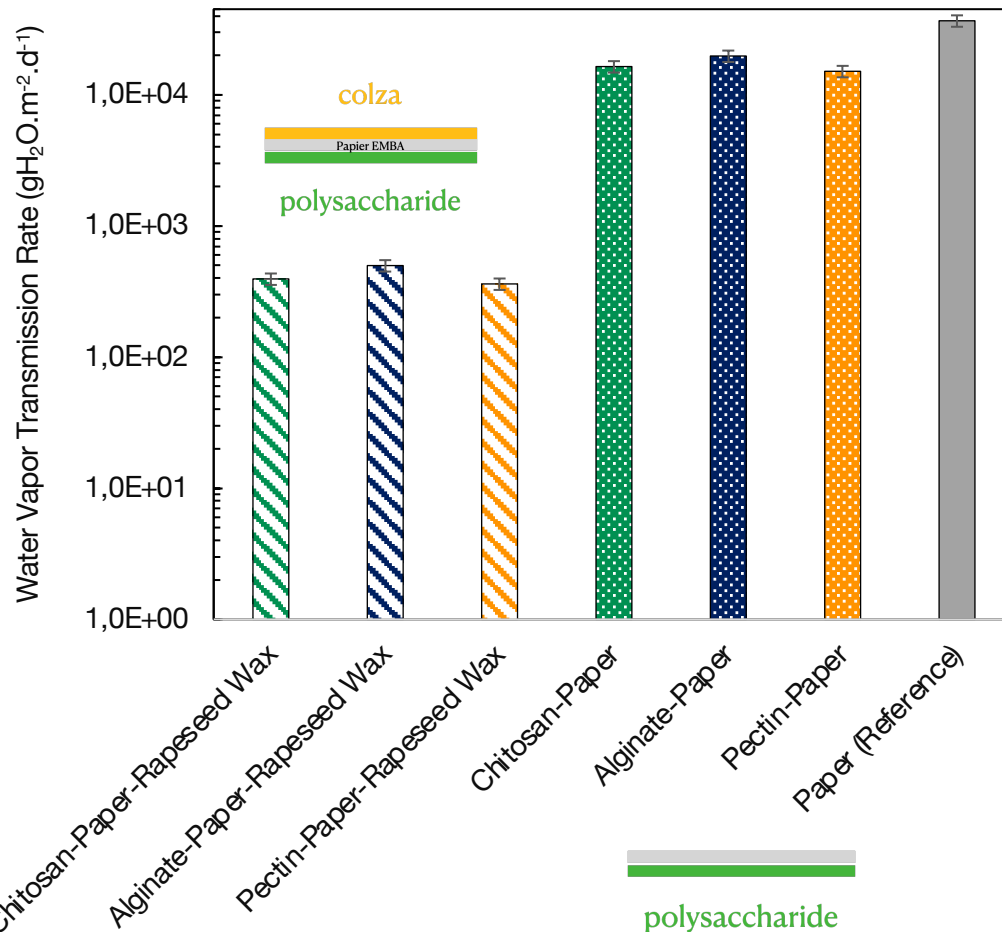
polysaccharide

Fissures

...

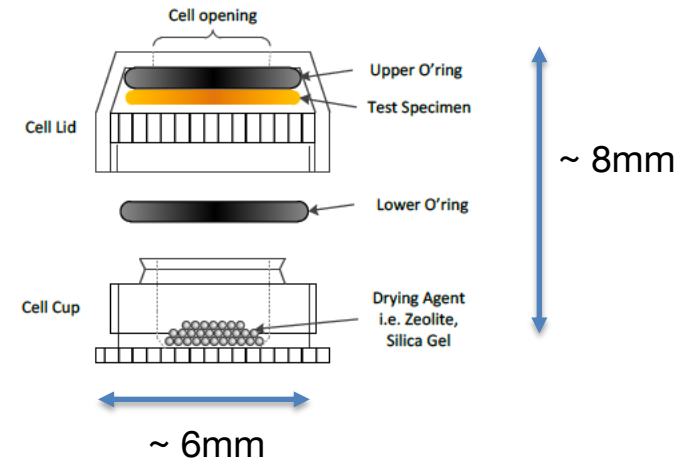
Résultats phares

Propriétés : barrière à la vapeur d'eau (80/0 RH)



WVTR mesuré sur DVS via cellule de Payne* (*dry cup method*):

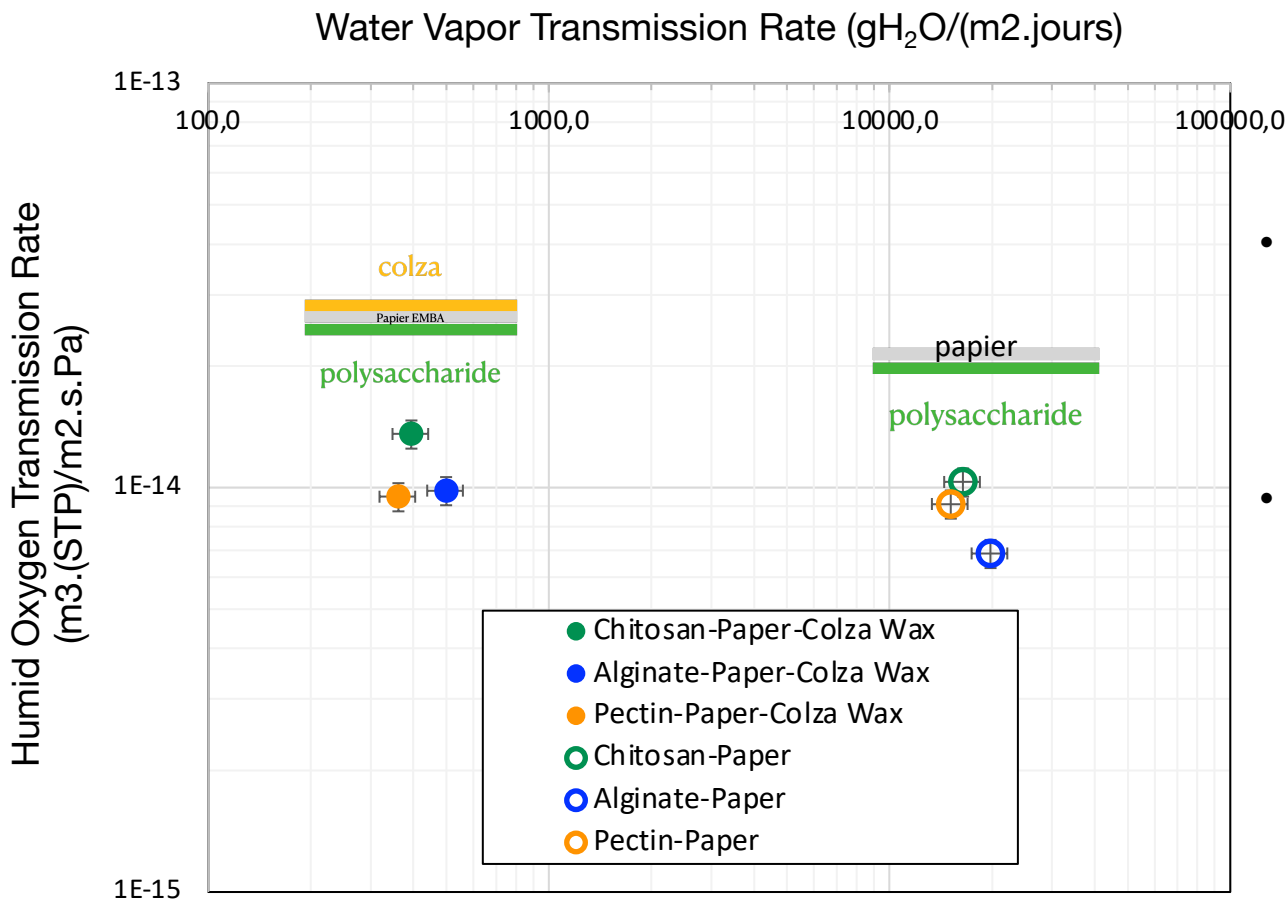
- peu de matériau nécessaire
- répérable
- précis
- rapide (36h vs 3 semaines)



* Li, L., Alikhani, N., Snow, J. & Wang, J. TECHNICAL NOTE: WATER VAPOR TRANSMISSION RATE AND PERMEANCE OF CELLULOSE NANOCRYSTALS/POLYDIMETHYLSILOXANE HYBRID MEMBRANES MEASURED BY DYNAMIC VAPOR SORPTION. *WOOD FIBER Sci.* **53**, 294–297 (2021).

Résultats phares

Propriétés barrière (oxygène 80%RH, vapeur d'eau 0/80 RH)



- OTR: perte d'un facteur 6,5 en moyenne entre 0 et 80 %RH
- Le dépôt de cire ne protège pas la barrière à l' O_2 en conditions très humides

Résultats phares

colza

Papier EMBA

polysaccharide

Q Elaboration d'un matériau démonstrateur

- Propriétés barrière vapeur d'eau suffisantes

ITERG

(WVTR = 400 à 500 g. m⁻².jour⁻¹.kPa⁻¹ à 80% RH)

Huile de colza hydrogénée

- Propriétés barrière à l'oxygène >> PE

(P = 1 à 3 x10⁻¹⁹ m³.m.m⁻².s⁻¹.Pa⁻¹ à 0%RH)

Alginate, Pectine d'agrumes, Chitosane

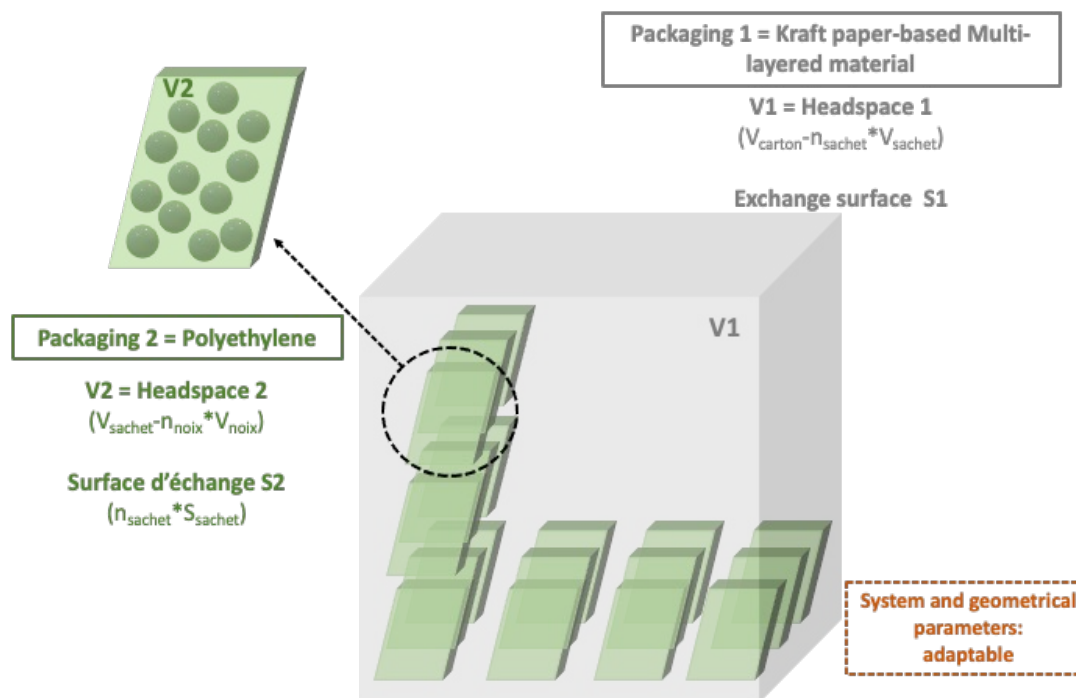
- Scellage au Polyvinylalcool à chaud



Résultats phares

🔍 Outils calculatoires pour le dimensionnement du matériau

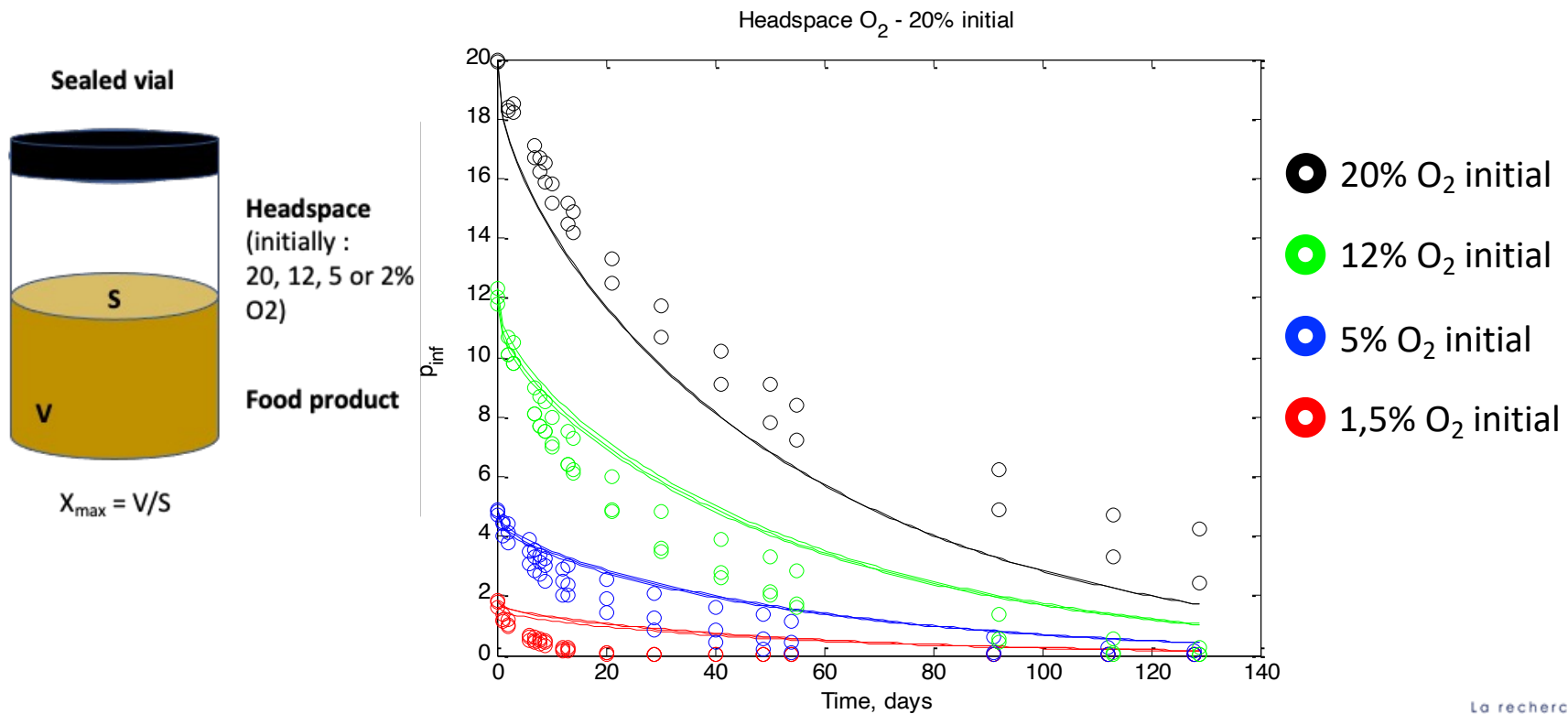
- Simuler la perméation dans deux volumes successifs différents
- Mis au point sur aliment modèle: brisures de noix
- Perméation gaz+cinétiques oxydation aliments



Résultats phares

🔍 Outils calculatoires pour le dimensionnement du matériau

- Application sur une boîte de lentilles:



- ! Vérifier l'adéquation modélisation/expérience en utilisant le matériau démonstrateur pour suivre l'oxydation d'huile (rapide)

What next ?

Perspectives scientifiques à court, moyen et plus long terme

- Scellage des sachets: colle biosourcée ?
- Optimisation de l'usage des cires (cassantes, hautes températures de fusion) via émulsification
- Degré de pureté des polymères à optimiser (coproduits?)
- Approfondir les relations structure/fonction (notamment la fonction barrière): nature des oses, branchements, méthylation, masse molaire/polydispersité, transition vitreuse...
- Recyclabilité des papiers couchés, notamment le désassemblage?
- Alternative greffage plutôt que couchage?
- Alternative couchages par voie thermique (extrusion): teneurs en eau adaptées, étude de l'adhésion sur les papiers

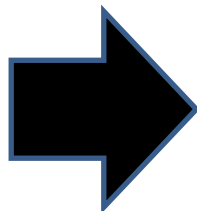
Perspectives d'innovations

Q Focus: thèse Mirantsoa Andriamahefa

- Chaire Co-Pack, projet Océan « Eco-concevoir des alternatives aux emballages non recyclables » (collaboration ONG GRET, Projet AFD AINTSOU)
- Sujet: Eco-conception de systèmes intégrés d'emballage et de distribution garantissant la qualité et la sécurité de poudres alimentaires infantiles (contexte : fortification alimentaire à Madagascar)



Emballage unidose
multicouche



Emballage séparé : primaire +
secondaire

emballage primaire
biodégradable barrière à la
vapeur d'eau

+

emballage secondaire barrière
à l'oxygène (avec joint)

Chaire CoPack

Emballages alimentaires éco-conçus Un défi commun de la chaîne de valeur

Sandra Domenek
Prof. AgroParisTech
UMR SayFood
Directrice de la Chaire CoPack



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

Chaire partenariale CoPack



❏ Réduire l'empreinte environnementale de la filière Emballage alimentaire

- **Un cadre partenarial hors normes pour des projets fondamentalement collaboratifs**
- **De multiples expertises autour de nouveaux concepts d'emballage**
- **Une approche holistique pour garantir des solutions complètes et intégrées**
- **Quatre projets de recherche autour des enjeux de l'économie circulaire**



Equipes & Partenaires

 Plus forts ensemble !



Sandra Domenek
Directrice, Chaire CoPack
Professeure, AgroParisTech



Margaux Morin
Délégue générale
Fondation AgroParisTech



Ejsi Hasanbelliu
Coordinatrice, Chaire CoPack
AgroParisTech



Emmanuelle Gastaldi
Maître de conférences
Université de Montpellier



Felipe Buendia
Chercheur
INRAE



Gwenola Yannou-Le Bris
Professeure
AgroParisTech



Marie-Noelle Maillard
Professeure
AgroParisTech



Sandra Helinck
Enseignante-chercheuse
AgroParisTech



Juliana Serna-Rodas
Chercheuse
INRAE



Cheick Abou Coulibaly
Ingénieur de recherche
Université de Montpellier



Christian Ottini
Doctorant
AgroParisTech



Juan Sebastian Rodriguez
Doctorant
AgroParisTech



Mirantsoa Andriamahefa
Doctorante
Gret – AgroParisTech

+ Stagiaires de recherche



• Partenaires académiques



• Partenaires mécènes



• Partenaires techniques



 Revisiter les concepts et systèmes d'emballages vers des solutions innovantes

Changer l'emballage:

- Lichen: Réduire par le réemploi les emballages secondaires et tertiaires dans les circuits logistiques
- Océan: Eco-concevoir des alternatives aux emballages non recyclables

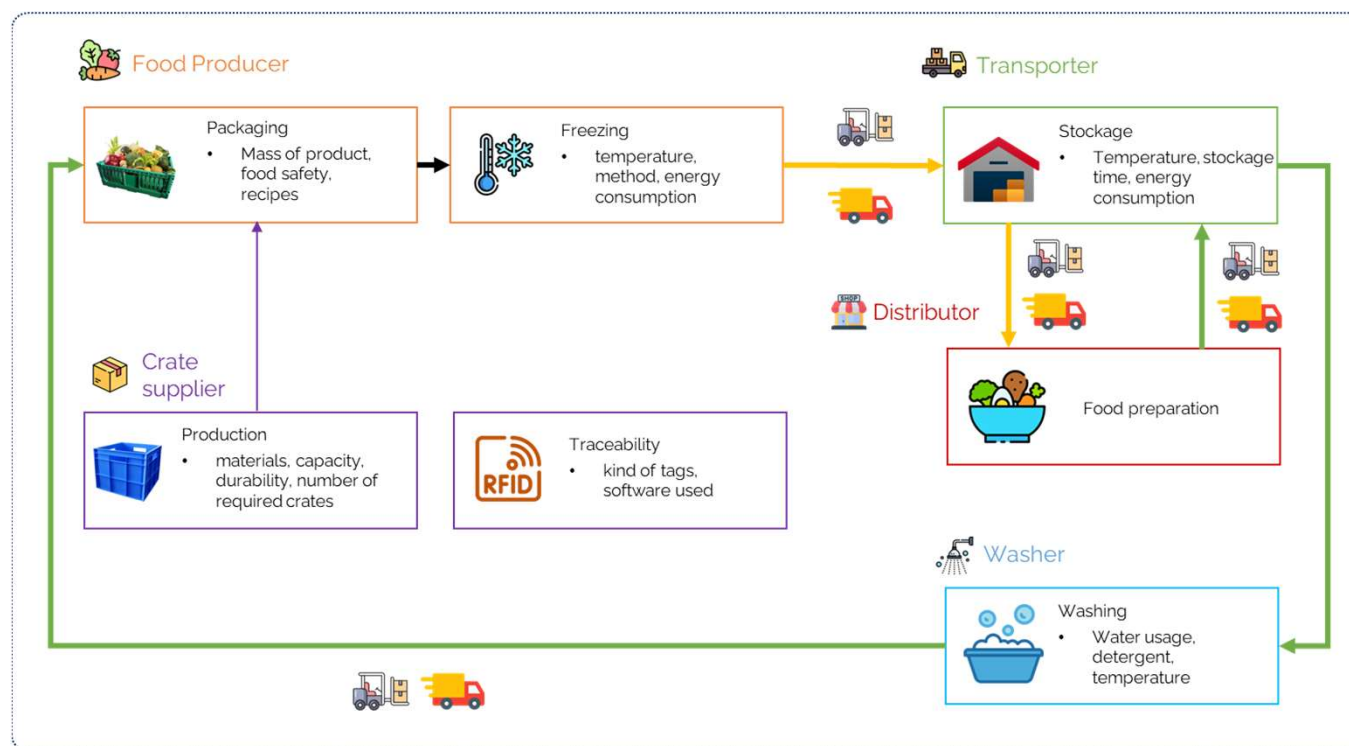
Améliorer le traitement de fin de vie:

- Minéral: Tester et évaluer la valorisation organique des déchets d'emballages ménagers
- Ocre: Evaluer les meilleurs scénarios pour la meilleure gestion des biodéchets et déchets compostables

Projet « Lichen »

Un outil de décision et de co-conception pour les boucles de réemploi

- Développer un outil d'aide à la décision multicritère (environnemental, social, économique)
- Développer une méthodologie de co-conception des boucles de réemploi des emballages



Pré-étude:

Paniers pain surgelé

- Impact du lavage (max. tous les 4 cycles)
- Position du centre de lavage à proximité du remplissage
- ➔ Pour augmenter l'avantage environnemental:
- Repenser les types des systèmes logistiques et passer à des systèmes ouverts



Economic Impact



Environmental Impact



Social Impact

Projet « Lichen »

Simulation multicritère des boucles de réemploi pour la co-conception des systèmes logistiques

Thèse 2024-2029

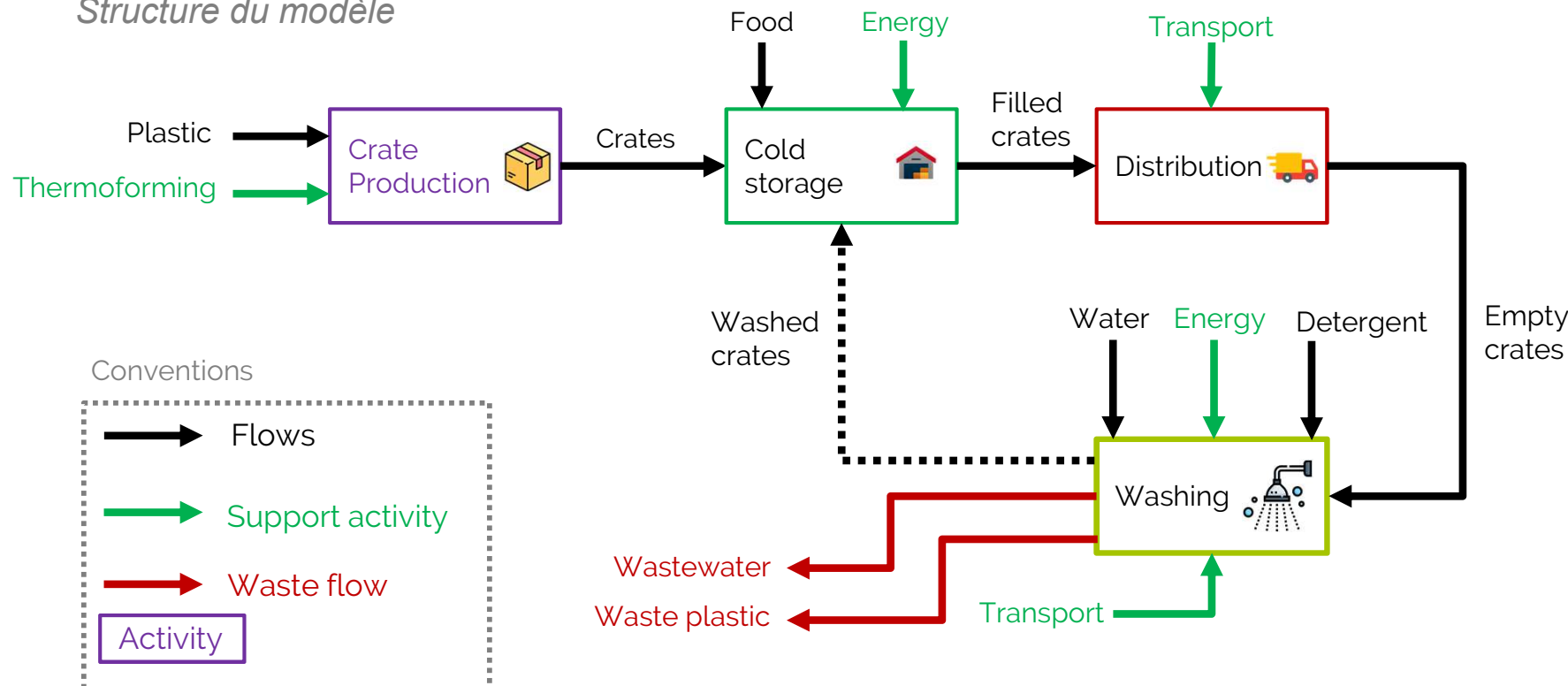
Juan Sebastian Rodriguez Flores

Encadrantes:

Gwenola Yannou Le Bris, Juliana
Serna Rodas

- Etude d'emballages secondaires et tertiaires
- Etude d'impact environnemental
- Etude d'impact social par indicateurs existants et observations
- Co-construction des solutions avec acteurs de la logistique

Structure du modèle



Brightway

python™

Projet « Océan »

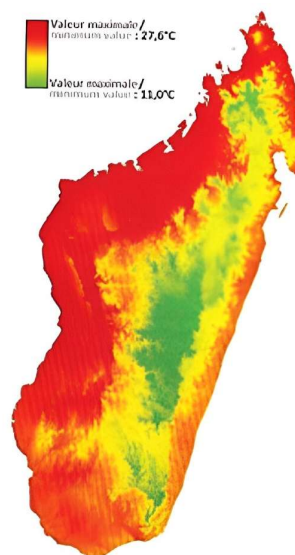
Eco-concevoir des alternatives aux emballages non recyclables

Développer des emballages valorisables par compostage et réemployables pour la distribution des **aliments infantiles en unidose** pour lutter contre la malnutrition

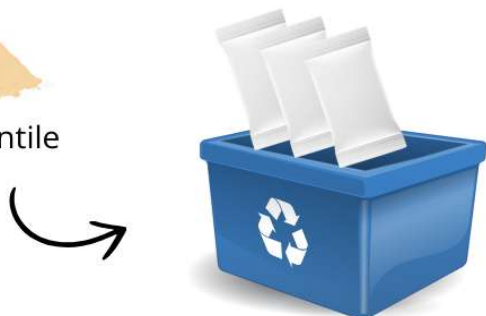
- Développer une solution d'emballage pour aliments unidoses dans un pays émergent
 - Climat tropical
 - Absence de chaîne de froid
 - Absence d'infrastructure de traitement de déchets



Pollution plastique

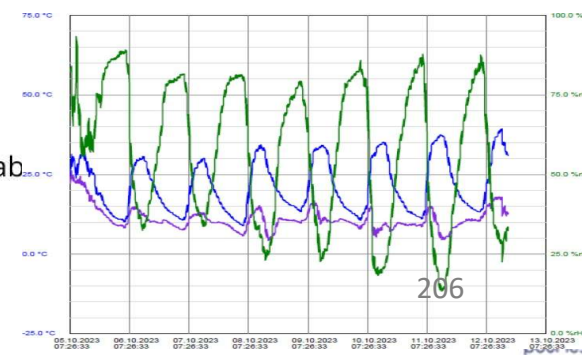


Farine infantile



Deux emballages séparés

Emballage **unité consommateur** : biodégradable
Emballage de **transport** : réemployable



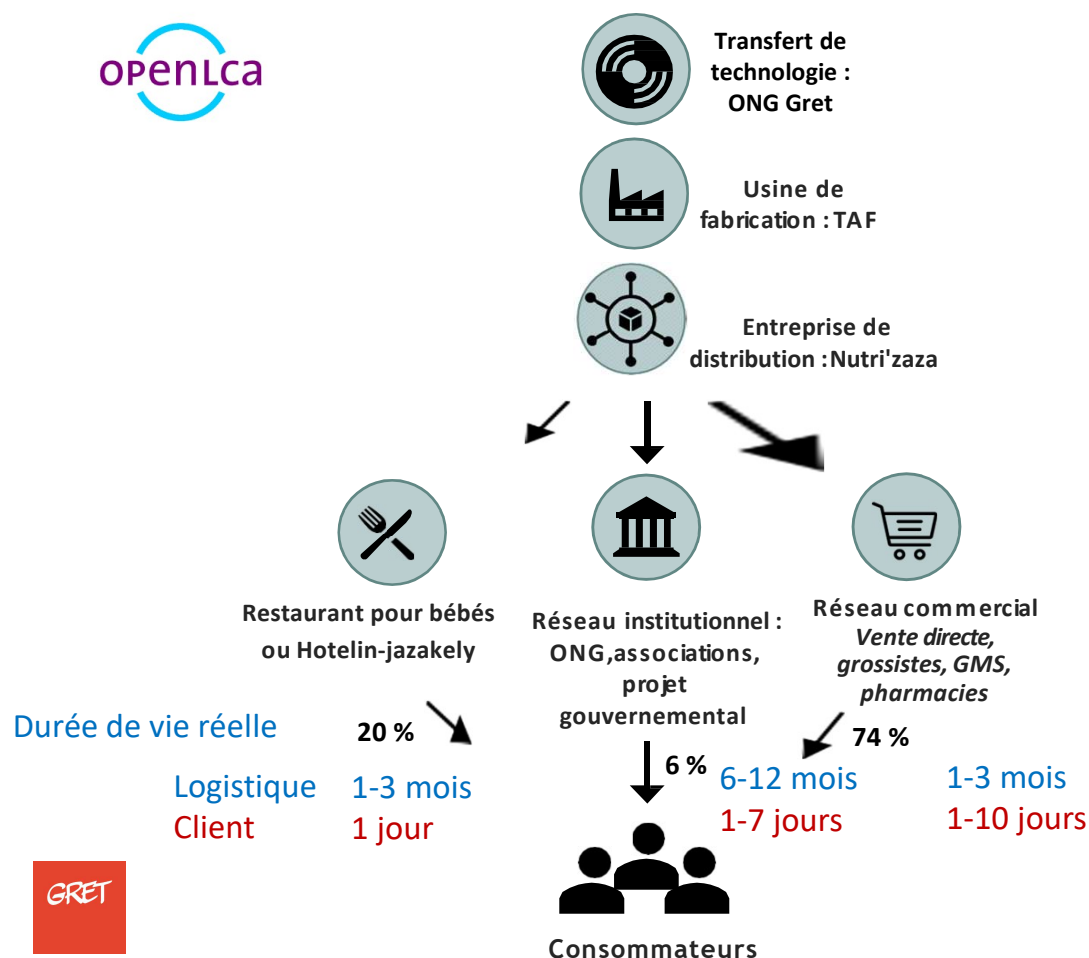
Projet « Océan »

Eco-concevoir des alternatives aux emballages non recyclables

Thèse 2025-2029

Mirantsoa Andriamahefa

Encadrantes: Sandra Helinck, Gwenola Yannou Le Bris, Marie-Noëlle Maillard, Sandra Domenek



Test durée de vie de l'aliment en conditions tropicales:

- Nutritionnelle: molécule marqueur tocophérol
- Microbiologique: flores aérobies totaux, levures et moisissures

Matériaux test:

- Papier Kraft
- 4 formulations de plastiques biodégradables (home compost)



Projet « Océan »

Identification du système d'emballage permettant de protéger le produit

Evolution de l'impact microbologique – croissance des microorganismes

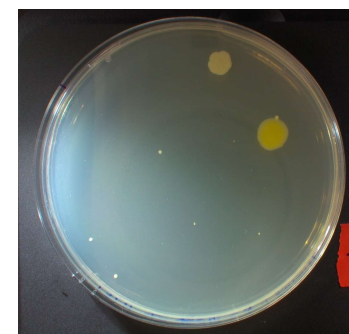
	30°C, 60% HR, lumière	
	Flores aérobies mésophiles totaux	Levures et moisissures
Emballages	Jour 42	Jour 42
Sans emballage (UFC/g)	1,8. 10 ³	1,0. 10 ²
Multicouche (UFC/g)	3,3. 10 ³	6,7. 10 ¹
Polyéthylène (UFC/g)	1,8. 10 ³	< 10 ²
Biodégradable_A (UFC/g)	1,7. 10 ³	1,0. 10 ²
Biodégradable_B (UFC/g)	3,7. 10 ³	3,3. 10 ¹
Biodégradable_C (UFC/g)	2,2. 10 ³	1,0. 10 ²
Biodégradable_D (UFC/g)	2,0. 10 ³	< 10 ²
Kraft (UFC/g)	4,1. 10 ³	6,7. 10 ¹
Kraft + bocal (UFC/g)		
Norme malgache pour les farines infantiles : NMG 103-5 (UFC/g)	< 10 ⁵	< 10 ³



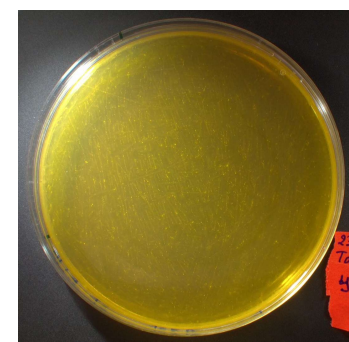
Conforme à la norme microbologique pour les farines infantiles à Madagascar



Test du matériau B avec emballage secondaire sur le terrain à Madagascar



Dénombrement des flores aérobies
mésophiles totaux sur PCA (Plate Count Agar)



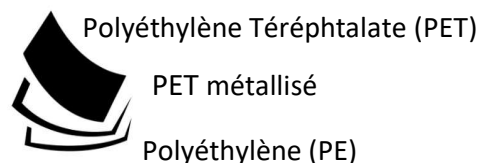
Dénombrement des levures et moisissures
sur YEGC (Yeast Extract Glucose
Chloramphenicol Agar)

Projet « Océan »

Evaluation de l'impact du changement de concept sur le cycle de vie du produit

Evaluation sociale et environnementale

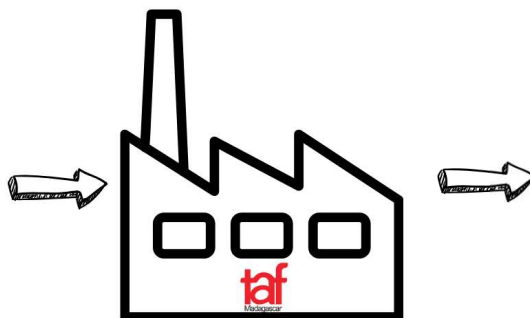
Emballages **importés**



Matières
premières **locales**



Compléments
minéraux et
vitaminiques
importés



Usine de production



Farine infantile
fortifiée : enfants de
6 à 24 mois



Projet « Minéral »

Tester les modes de valorisation organique des déchets d'emballages alimentaires

Etudier la performance de la fin de vie des emballages en plastique compostables dans des procédés industriels de valorisation organique en conditions réelles.

Expérimentation

Réalisation d'une expérimentation pour évaluer la performance des emballages en plastique certifiés compostables mélangés à des biodéchets dans un site de compostage industriel en conditions réelles.

Résultats

- Biodégradation efficace des plastiques biosourcés biodégradables en situation réelle de compostage industriel.
- Publications : ***Bioresource Technology, 2024;***
Data in Brief, 2024

Thèse en cours

Analyser le devenir des fragments plastiques dans les sols agricoles.



Evolution du compostage des matériaux testés

Projet « Ocre »

Optimiser les scénarios pour la gestion des biodéchets et déchets d'emballages

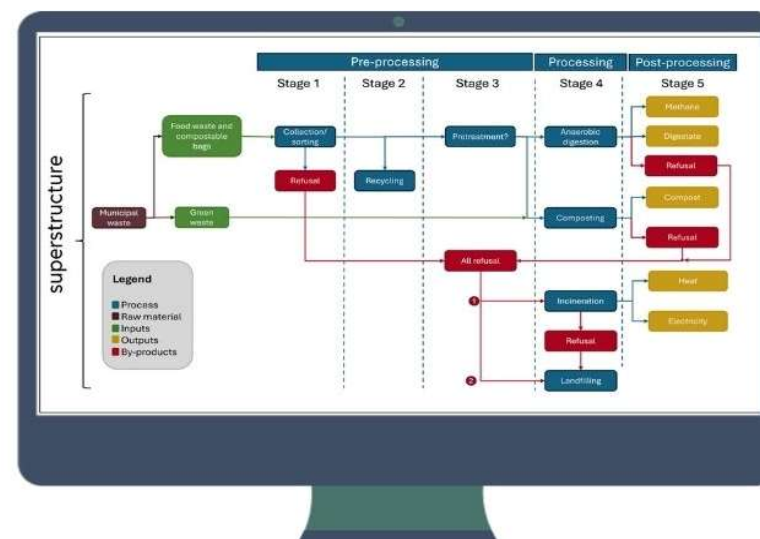
Evaluer les meilleurs scénarios pour la collecte, le tri et le traitement des biodéchets et emballages compostables en utilisant la simulation des procédés.

Thèse Christian Ottini

Développer un outil mathématique permettant l'analyse et l'aide à la décision pour les systèmes de traitement des biodéchets et déchets d'emballage grâce à une évaluation complète de la durabilité sous les critères environnementaux, économiques et sociaux.

Avancées

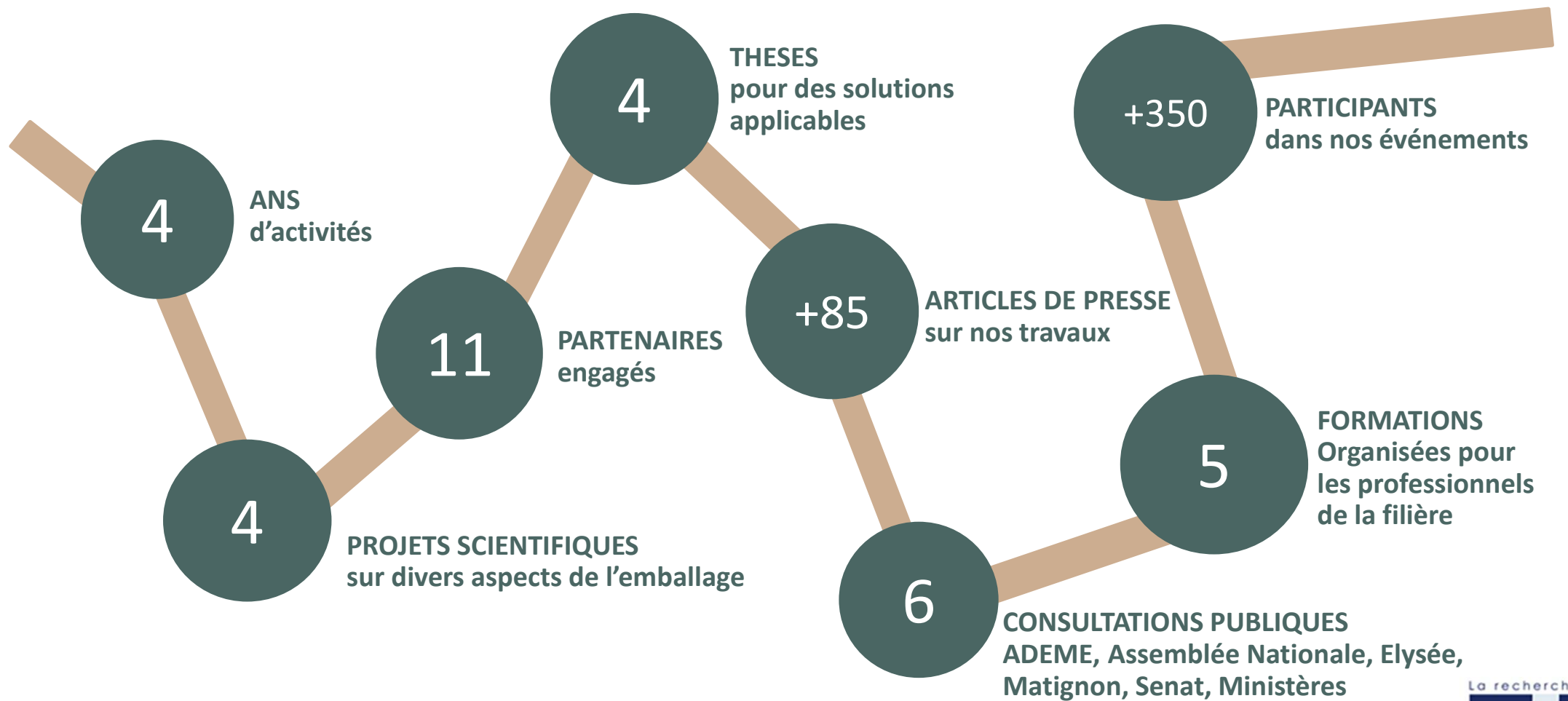
- Modélisation des principaux procédés pour le traitement des biodéchets et des déchets d'emballage : compostage industriel et méthanisation.
- Approche d'optimisation des «superstructures » permettant la comparaison de plusieurs procédés ou voies de valorisation, en tenant compte des contraintes spécifiques et des besoins du territoire.
- Publication : *HAL Open Science*, 2025



Superstructure de l'outil d'aide à la décision



La Chaire en chiffre clé



🔍 Continuer le développement de solutions durables tout en relevant les défis émergents de la filière



- Organiser des ateliers de co-construction pour concevoir des solutions favorisant des circuits de réemploi durables.
- Tester sur le terrain l'applicabilité de nouvelles solutions d'emballages à base de matériaux biosourcés biodégradables, en synergie avec les projets NextFoodPack et TwinLoop.
- Evaluer et mesurer la circularité des emballages dans leurs filières de recyclage mécanique ou organique.
- Développer des analyses de risque sur les polluants émergents, en particulier les microplastiques.

Vers des emballages plus sûrs et durables : l'UMT Safemat face aux défis du recyclage et du réemploi

Phuong-Mai Nguyen, IR LNE

phuong-mai.nguyen@lne.fr

02 octobre 2025



Qualité
sensorielle



Structure
de l'aliment



Technologies et procédés
agroalimentaires



Qualité nutritionnelle
et effets sur la santé

UMT ACTIA 22.07 SAFEMAT

coord. Jean Mario Julien (LNE)

Sandra Domenek (AgroParistech)



Objectifs

Mission de service public et appui aux politiques

- Renforcer l'accompagnement des politiques publiques sur les enjeux de sécurité sanitaire des matériaux aux contact des aliments

Appui aux filières agro-industrielles

- Intégrer les concepts de « safe-by-design » sur l'ensemble de la chaîne pour une meilleure sécurité sanitaire

Recherche et développement à bas TRL

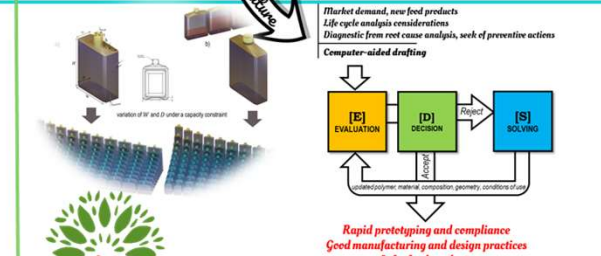
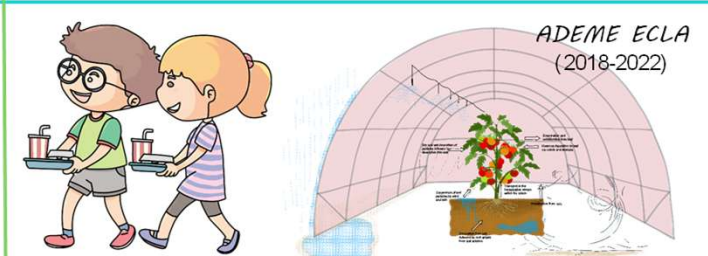
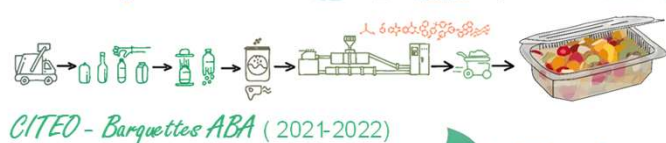
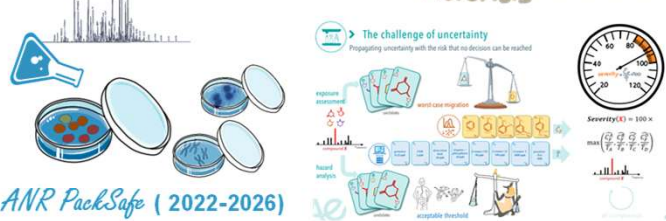
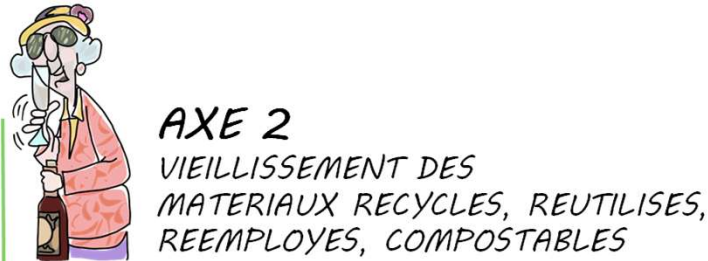
- Développer des méthodes innovantes d'évaluation de la sécurité sanitaire par des approches calculatoires.

Objectifs en phase avec les évolutions réglementaires en France (loi AGECE 2020-105) et en Europe (Directive 2019/904 ; règlement (UE) 2025/40 (PPWR); révision en cours règlement CE 1935/2004)

UMT ACTIA 22.07 SAFEMAT

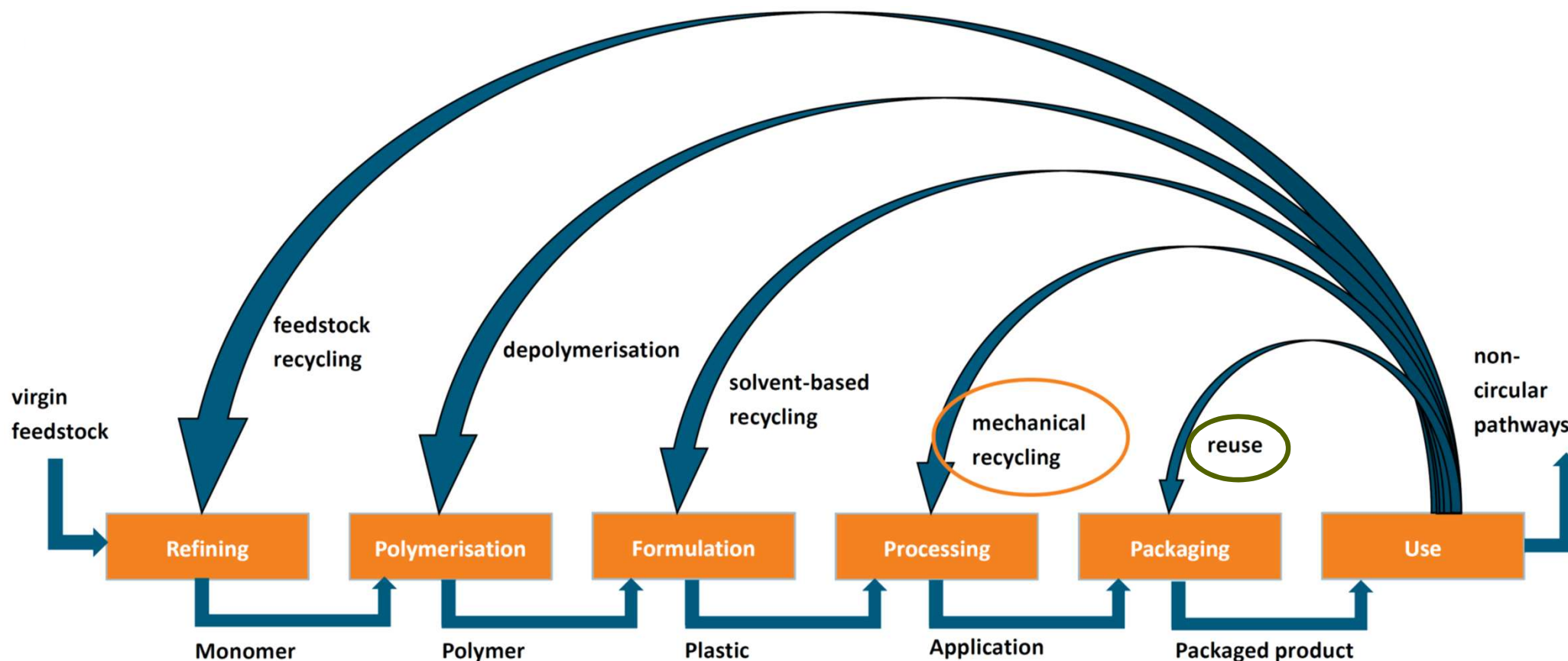


🔍 Axes stratégiques



UMT SAFEMAT « *Turning green safely* »

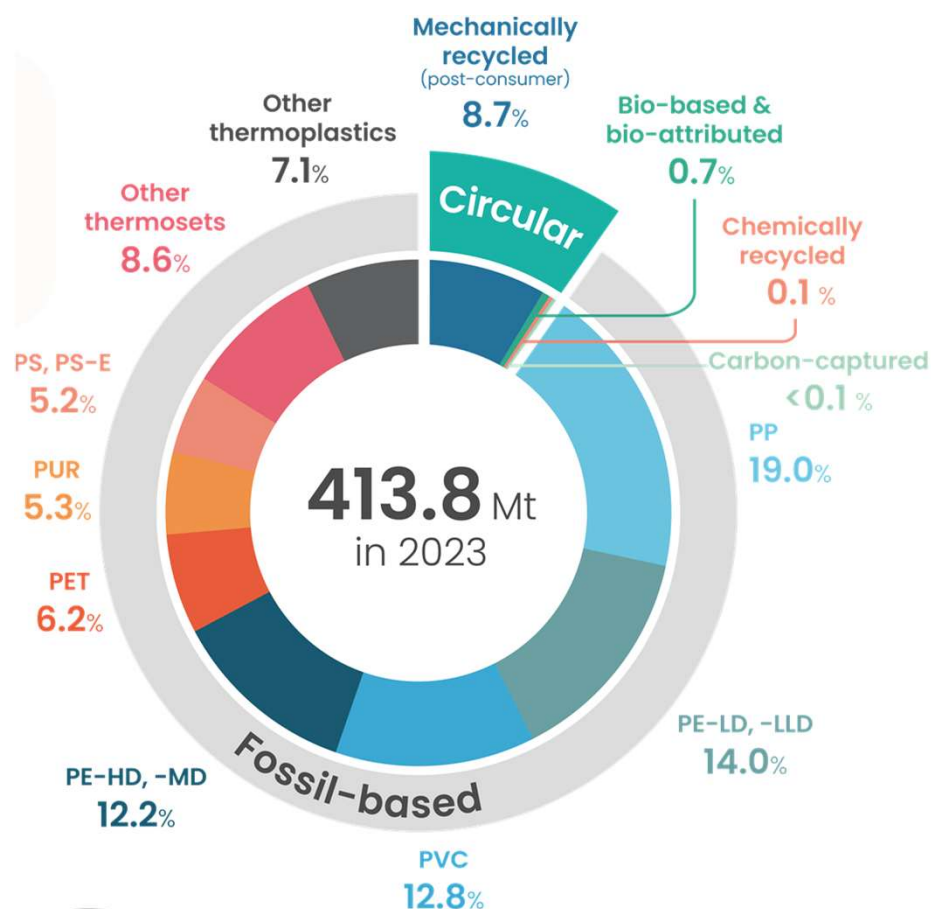
Les chemins vers une économie circulaire



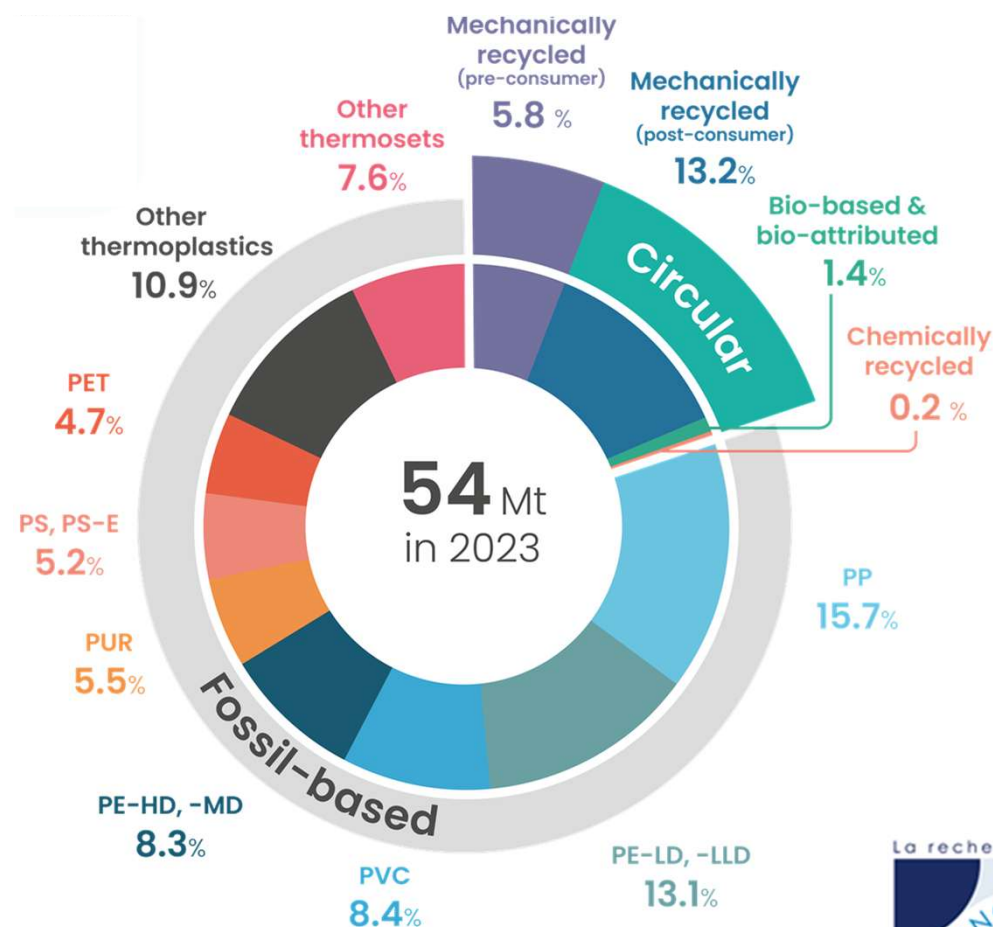
UMT SAFEMAT « *Turning green safely* »

Q Production de plastiques

Monde (9.6% des plastiques produits sont circulaires)

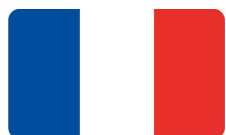


Europe (20.6% des plastiques produits sont circulaires)



UMT SAFEMAT « Turning green safely »

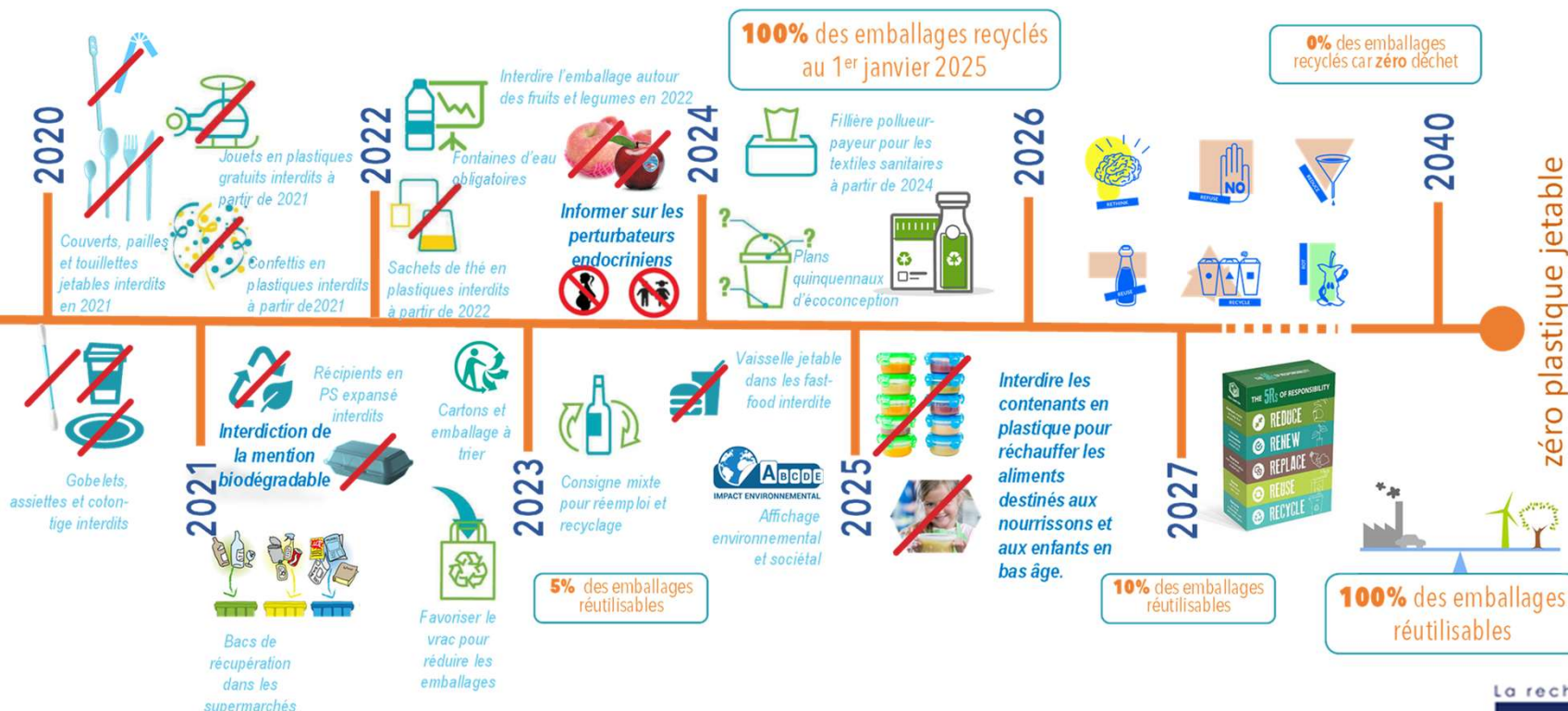
🕒 Calendrier réglementaire contraignant



Loi n° 2020-105



(France)



UMT SAFEMAT « Turning green safely »

🔍 Calendrier réglementaire contraignant



Official Journal
of the European Union

(EU) 2025/40 (PPWR)

EN
L series

2025/40

22.1.2025

REGULATION (EU) 2025/40 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 19 December 2024

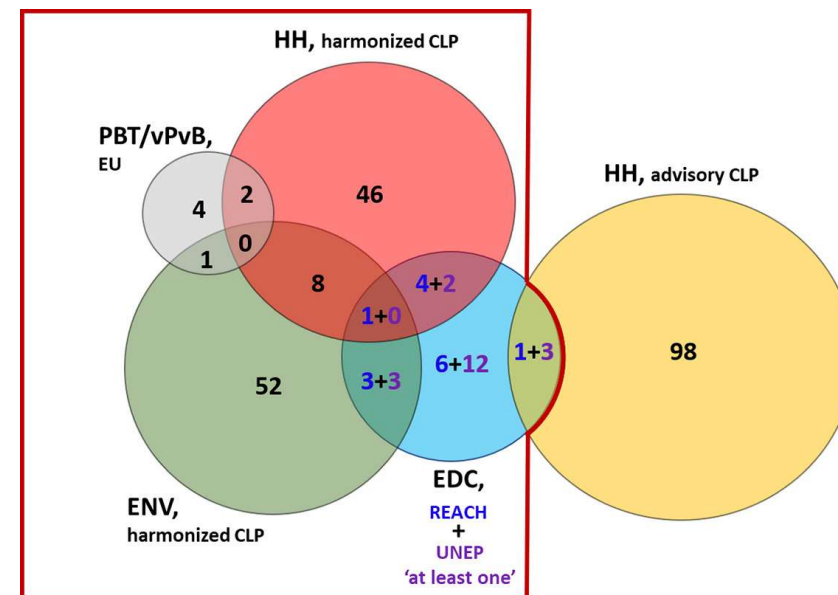
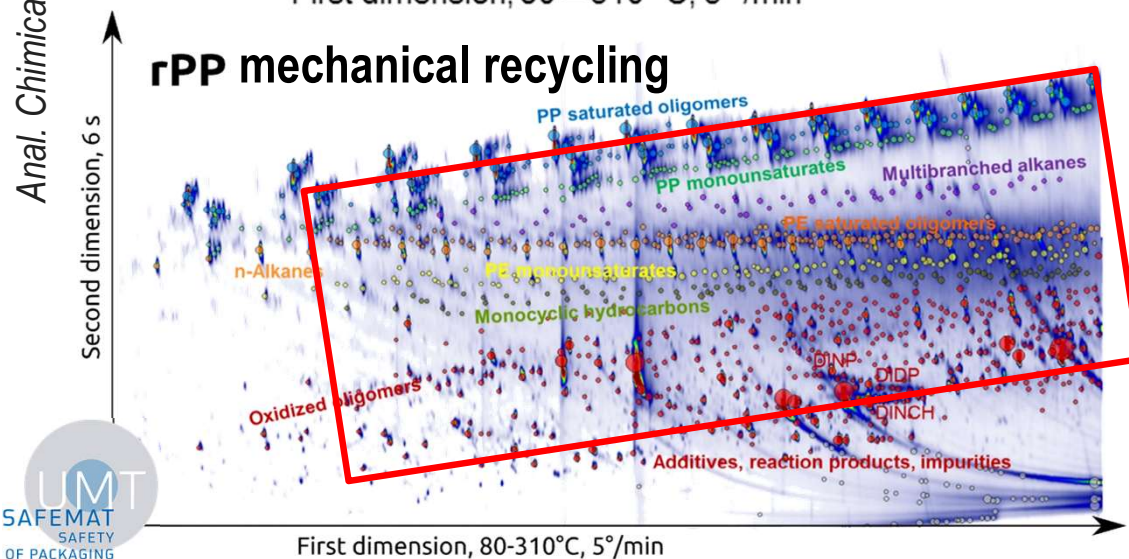
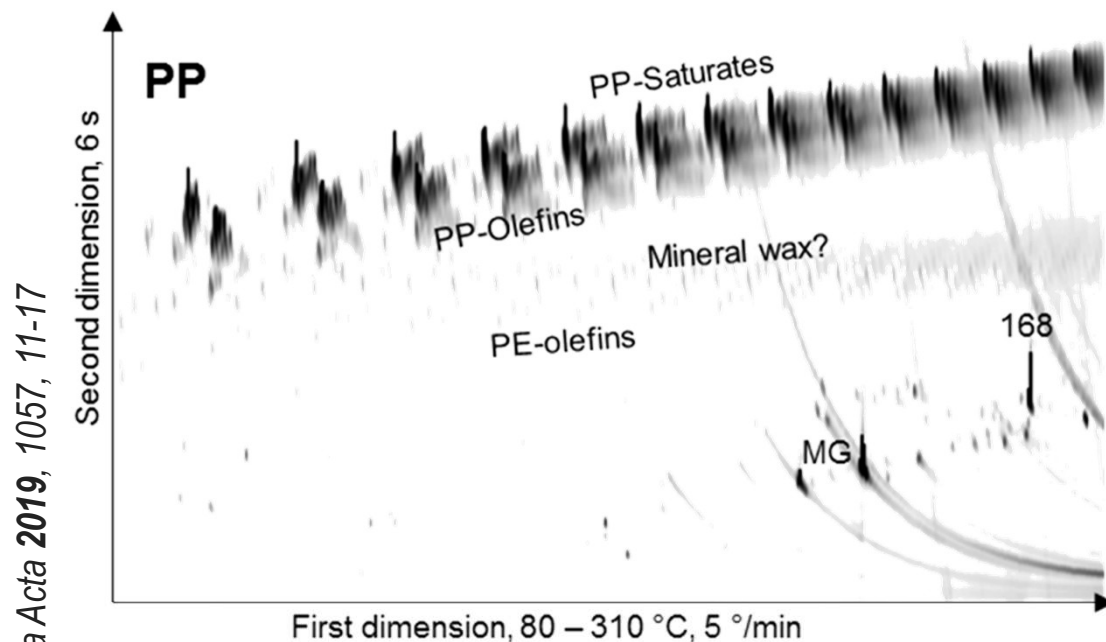
on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC

Cibles pour le recyclage	2030	2040
Pour les emballages aux contact des produits sensibles, principalement en PET	30%	50%
Pour les emballages aux contact des produits sensibles, fabriqués à partir d'autres matières plastiques	10%	25%
Pour les bouteilles en plastiques à usage unique	30%	65%
Pour autres emballages plastiques	35%	65%

Cibles pour le réemploi	2030	2040
Emballages pour la vente de boissons (alcoolisées et non alcoolisées)	10%	40%
Emballages groupés (hors cartons; boîtes en plastique, etc.)	10%	25%
Emballages de transport, de vente et logistique	40%	70%

Risques émergents

Par les matériaux recyclés



List of 148 most hazardous chemicals likely associated with plastic packaging

Nouvelles classes de danger ECHA 2023

ED HH: : perturbateur endocrinien pour la santé humaine

ED ENV: perturbateur endocrinien pour l'environnement

PBT: persistant, bioaccumulable, toxique

vPvB: très persistant, très bioaccumulable

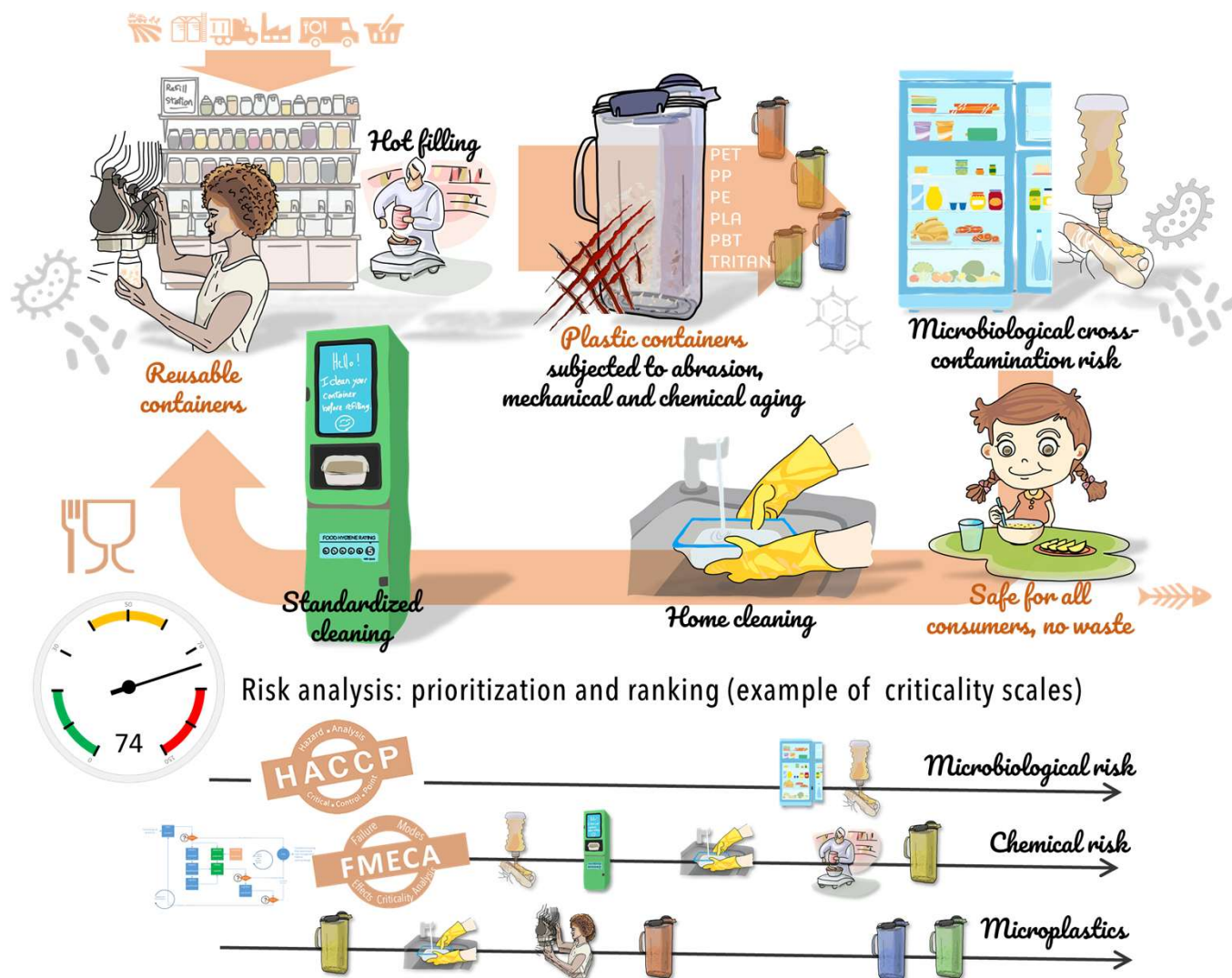
PMT: persistant, mobile, toxique

vPvM: très persistant, très mobile

Contaminants intrinsèques
Contamination croisée
Mésusage des matériaux

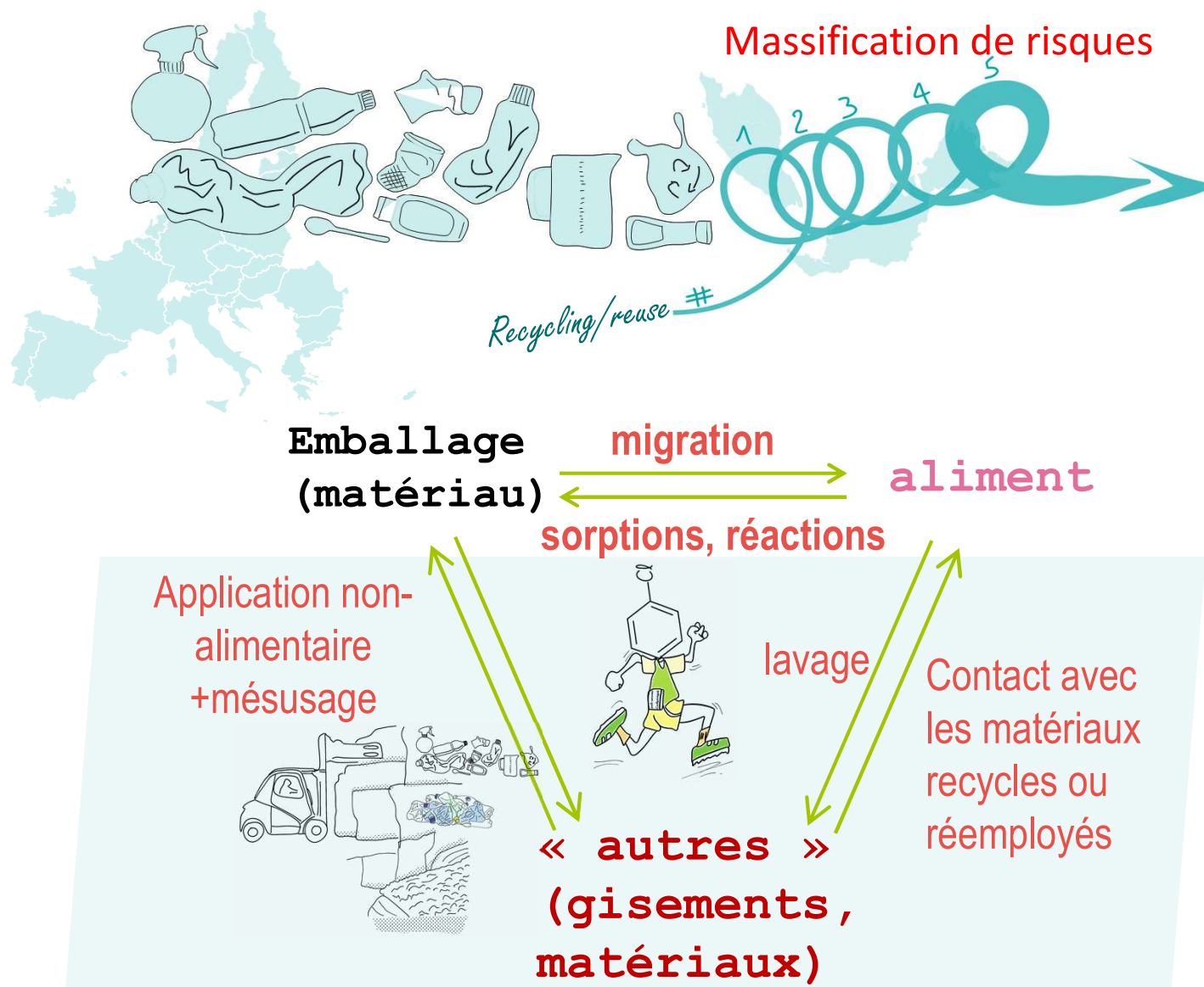
Défis liés au réemploi des emballages plastiques

- Limite réglementaire
- Risque de contamination (chimique, physique, allergène, toxicologique, microbologique, etc.)
- Microplastique
- Hygiène
- Mésusage
- Sensoriel
- Durée de conservation
- ...



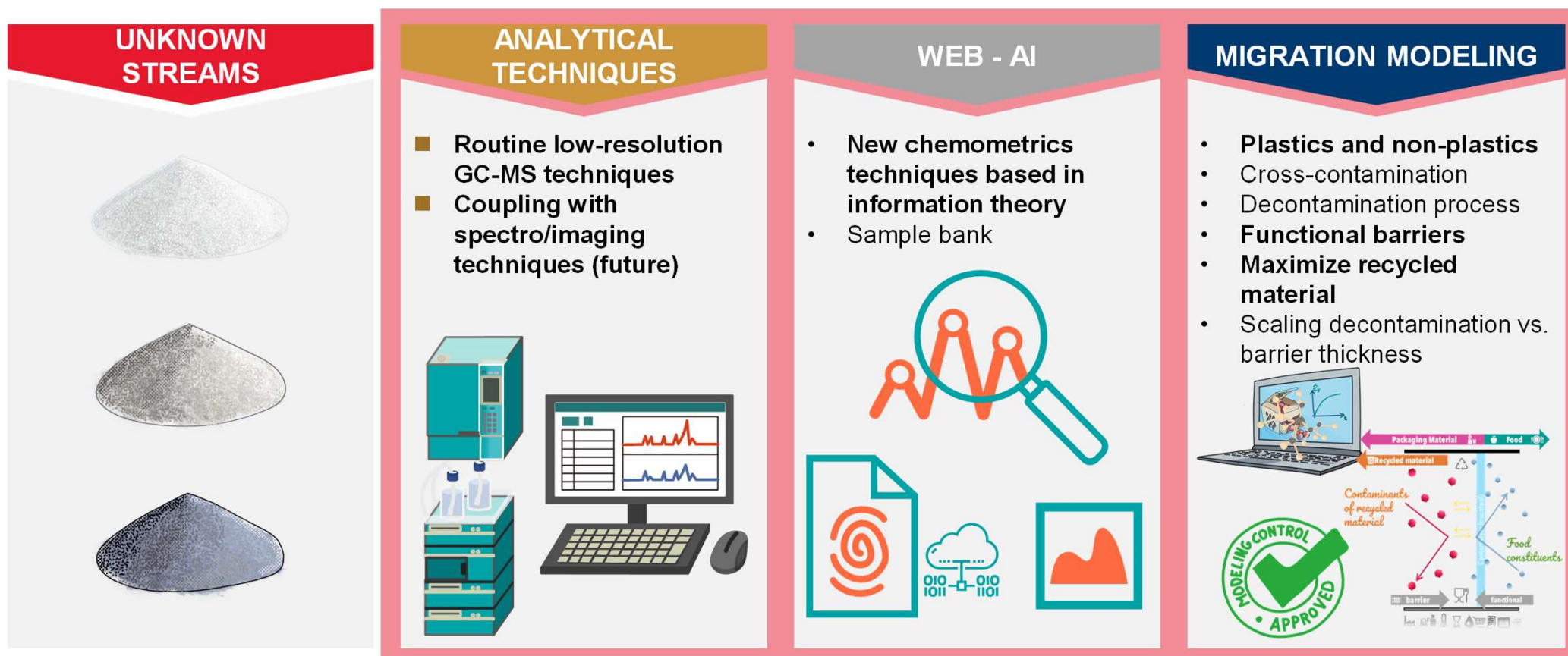
Risques systémiques

Introduits par l'économie circulaire



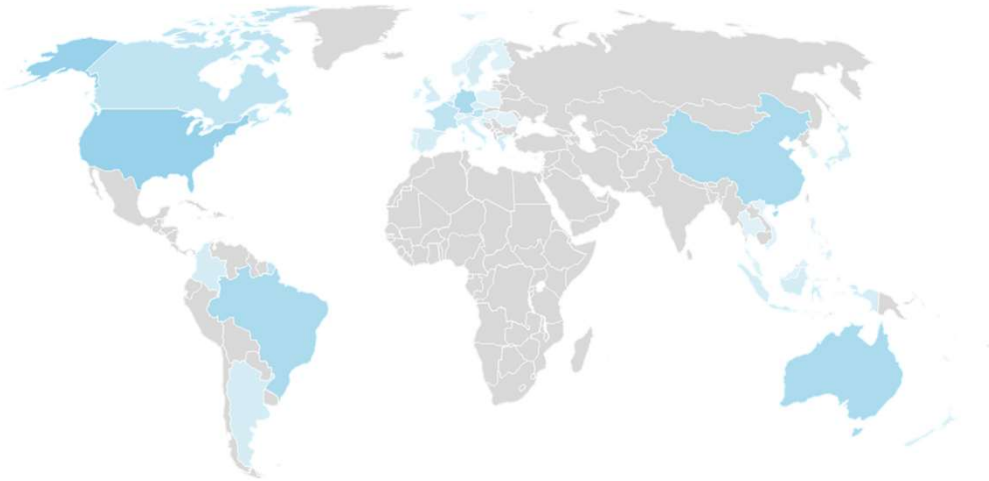
Stratégie de l'UMT SAFEMAT

🔍 Orientation des flux vers une utilisation sûre et une recyclabilité future



Classification des matériaux par empreinte chimique

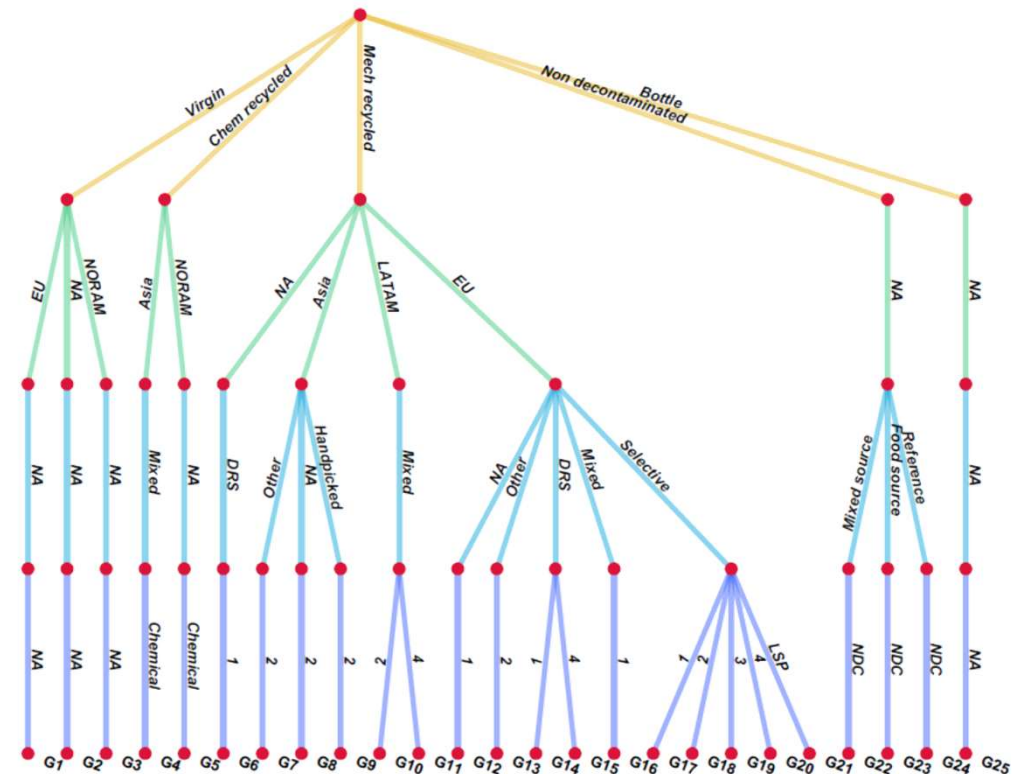
4 continents, différents tris + process
de décontamination



234 échantillons de PET
25 groupes de sourcing

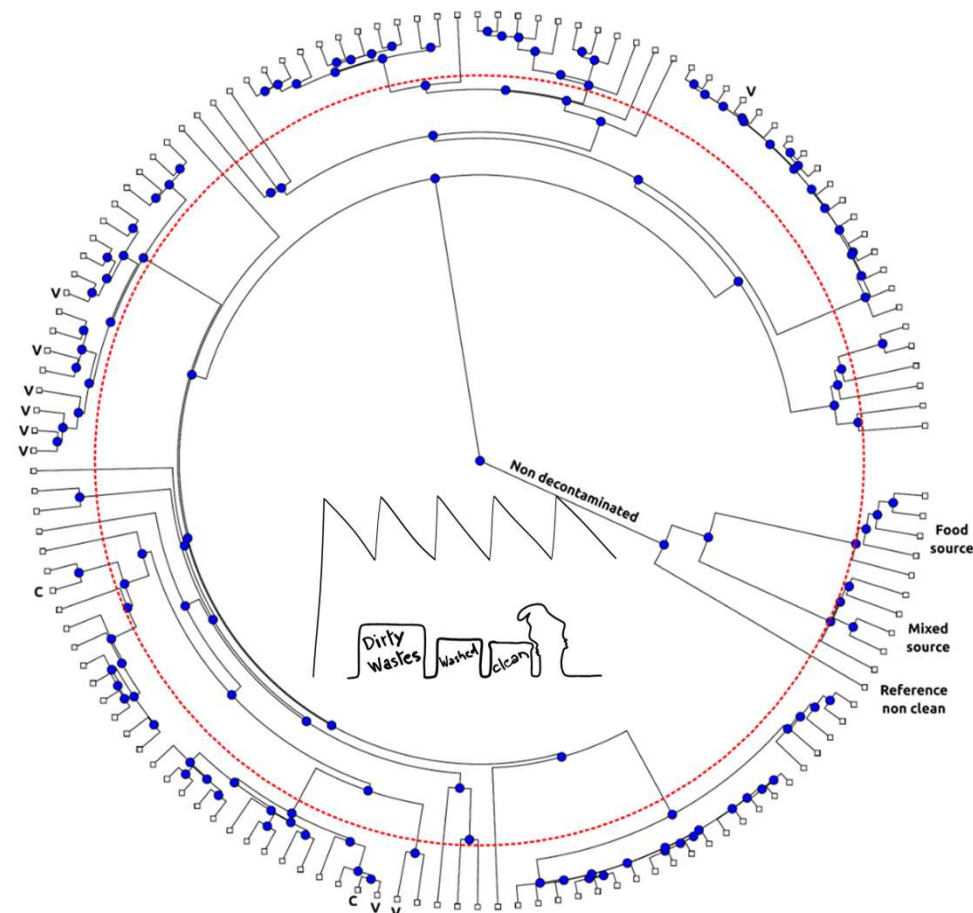
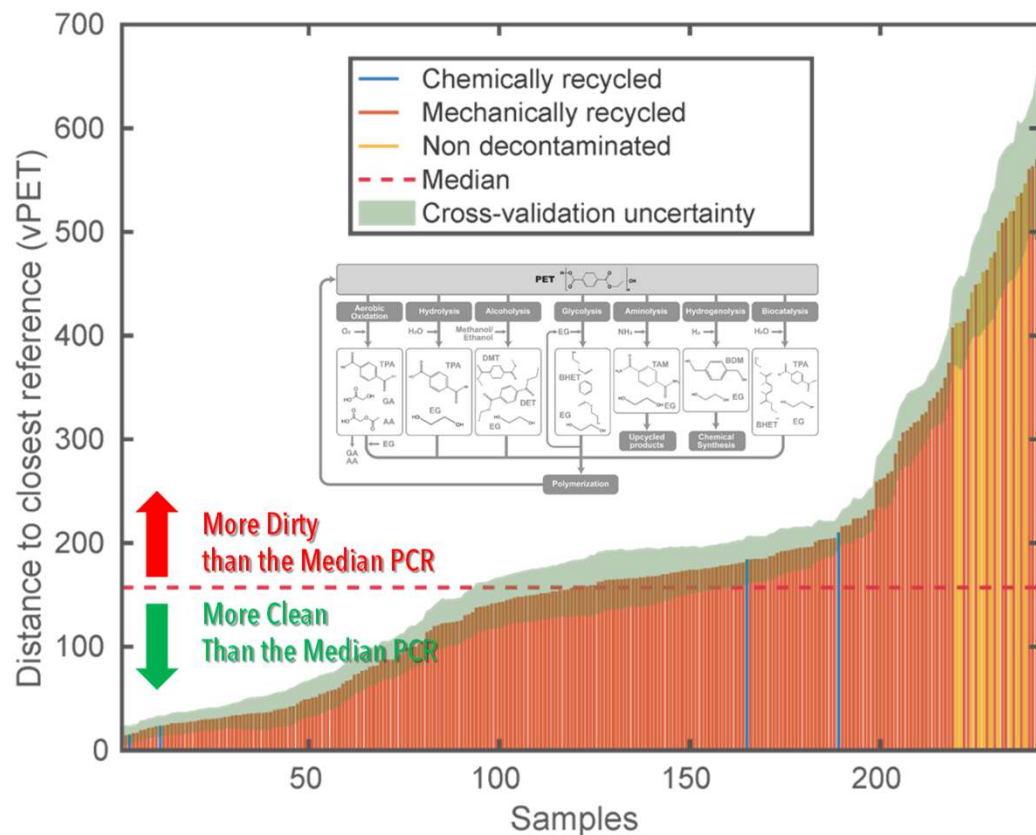
- PET vierges
- PET recyclés
- PET non décontaminés (95% **alimentaire** et **origine mixte**)

Approches statistiques

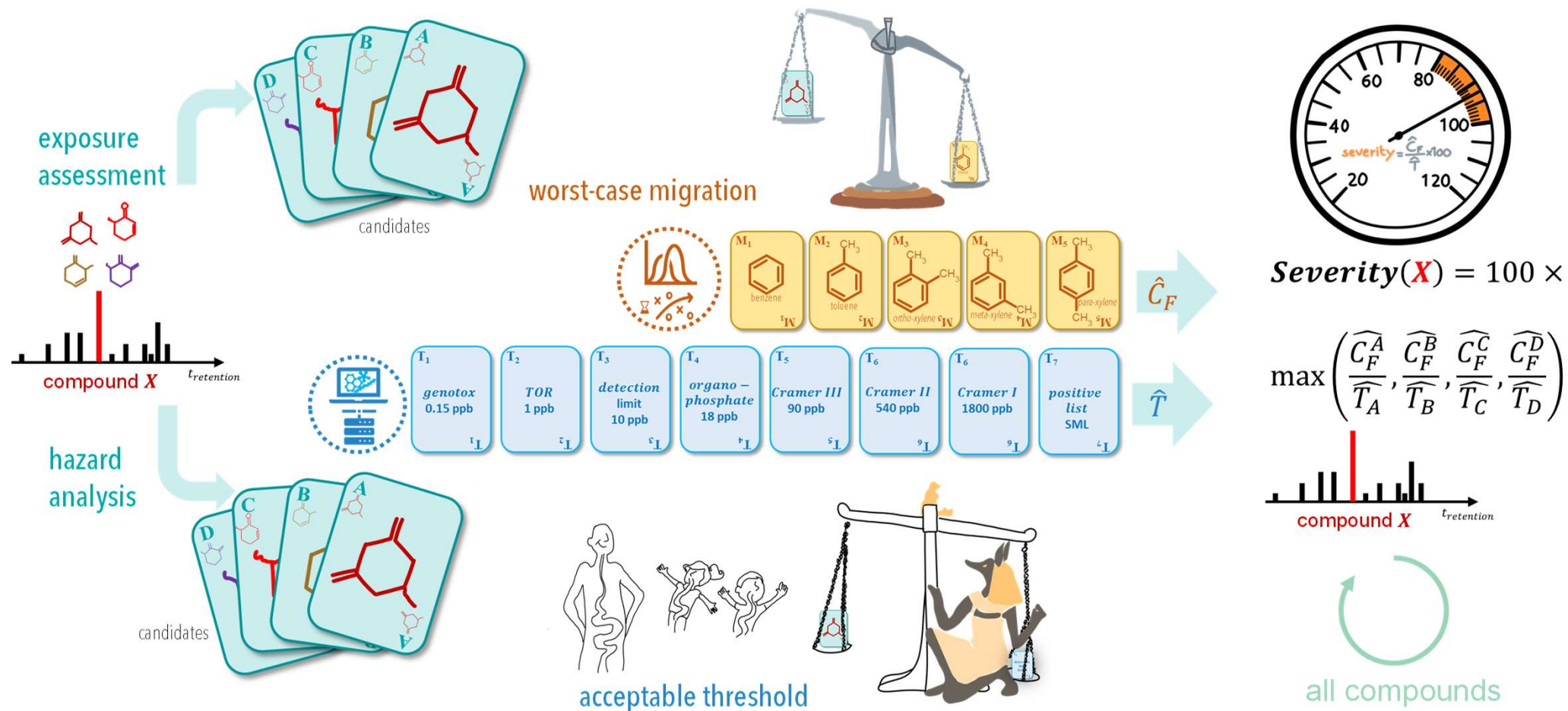


- **Codage des signaux en sequence de texte**
- Alignement des signaux compressés
- Théorie d'information
- Calcul de distance

Classification des matériaux par empreinte chimique

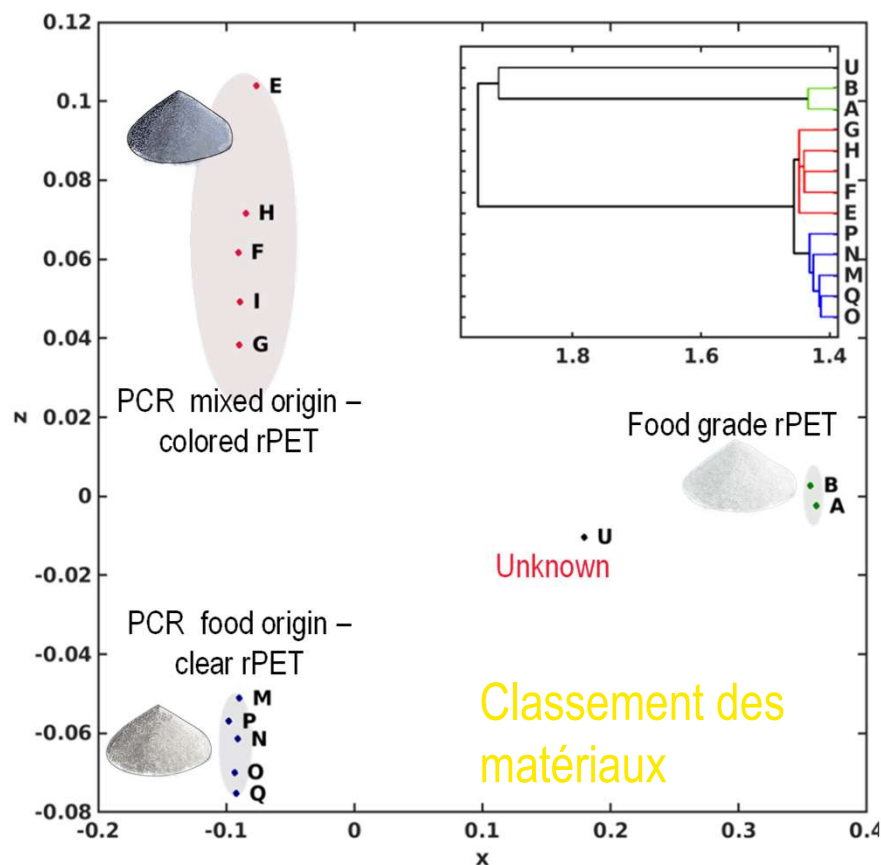


Défis des NIAS (non-intentionally added substances)



Caractérisation de risques

basée sur les signaux
chimiques



Screening de matériaux

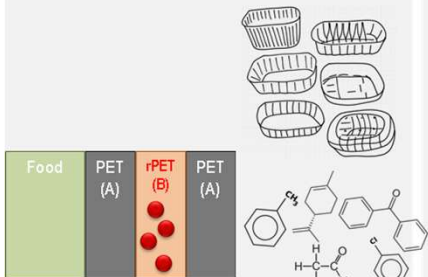
Chemical names	CAS number	Toxicological classification	Colored rPET (E-I)		Clear rPET (M-Q)	
			Contents (mg kg ⁻¹)	Standard deviation (mg kg ⁻¹)	Contents (mg kg ⁻¹)	Standard deviation (mg kg ⁻¹)
Silyl compounds	–	n.d.	154.40	24.04	188.00	10.95
Glycerides, castor-oil mono-, hydrogenated, acetates	736150-63-3	Cramer Class I, no DNA binding alert	51.40	7.89	8.40	0.49
9,10-anthracenedione, 1,4-bis[(2-ethyl-6-methylphenyl)amino]-	41611-76-1	Cramer Class III, DNA binding alert	40.20	6.43	17.80	1.17
3,6,13,16-tetraoxatricyclo[16.2.2.2(8,11)]tetracos-8,10,18,20,21,23-hexaene-2,7,12,17-tetrone	24388-68-9	n.d.	27.00	4.24	61.60	3.44
2-[2-hydroxy-3,5-bis (1,1-dimethyl-benzyl) phenyl] benzotriazole	70321-86-7	Specific migration limit: 1.5 mg kg ⁻¹	14.20	2.04	11.60	0.49
Alcohols	–	Cramer Class I, no DNA binding alert	14.80	4.71	16.60	13.06
2-aminobenzamide	1325-82-2	n.d.	8.00	1.55	–	–
Nonadecane	629-92-5	Cramer Class I, no DNA binding alert	12.40	4.27	–	–
Octadecane	593-45-3	Cramer Class I, no DNA binding alert	11.80	3.82	–	–
Ethanol	182346-21-0	Cramer Class I, no DNA binding alert	6.40	0.80	1.20	0.40
Eicosane	23085-60-1	Cramer Class I, no DNA binding alert	9.80	2.93	–	–
1,4-benzenedicarboxylic acid, bis(2-hydroxyethyl) ester	959-26-2	n.d.	7.00	1.10	5.80	0.40
Docosane	629-97-0	Cramer Class I, no DNA binding alert	6.80	2.04	–	–
Tricosane	638-67-5	Cramer Class I, no DNA binding alert	5.80	2.04	–	–
1-hydroxy-4-(p-toluidino)anthraquinone	81-48-1	Cramer Class III, DNA binding alert	3.80	0.75	–	–
Glycerol, 2-octadecanoate, diacetate	55401-62-2	n.d.	4.80	0.75	–	–
Oleamide	935-95-5	Cramer Class III, no DNA binding alert	2.80	0.75	–	–
Trimethoxyborane	121-43-7	Cramer Class III, no DNA binding alert	2.20	0.40	–	–
N-heptadecane	45184-05-2	Cramer Class I, no DNA binding alert	3.00	0.89	–	–
2-methyl-1,3-dioxolane	497-26-7	n.d.	2.00	0	–	–
4(1h)-quinazolinone	491-36-1	Cramer ClassII I, DNA binding alert	2.20	0.40	–	–
N-hexadecane	544-76-3	Cramer Class I, no DNA binding alert	2.00	0.89	–	–
Acetic acid	64-19-7	Default migration limit: 60 mg kg ⁻¹	–	–	2.26	1.88
C.i. disperse blue 72	81-48-1	Cramer ClassII I, DNA binding alert	–	–	1.60	0.49
Irganox 1076	2082-79-3	Specific migration limit: 6 mg kg ⁻¹	0.58	0.31	–	–
Bis (2,4-dicumylphenoxy) pentaerythritol diphosphite	154862-43-8	Specific migration limit: 5 mg kg ⁻¹	0.43	0.07	–	–
2,4-di-tert-butylphenol	96-76-4	Cramer Class I, no DNA binding alert	0.27	0.05	–	–
Diphenylolpropane (bisphenol a)	80-05-7	Specific migration limit: 0.6 mg kg ⁻¹	0.24	0.04	0.38	0.02
Bis(2-ethylhexyl) terephthalate	6422-86-2	Specific migration limit: 60 mg kg ⁻¹	0.23	0.04	0.14	0.01
Diethylhexyl adipate	71868-15-0	Specific migration limit: 18 mg kg ⁻¹	0.09	0.01	0.08	0
Benzophenone	119-61-9	Specific migration limit: 0.6 mg kg ⁻¹	0.02	0	–	–
Ethyl-2-hexanol	104-76-7	Specific migration limit: 30 mg kg ⁻¹	–	–	0.41	0.34
Bis(2-ethylhexyl) phthalate	117-81-7	Specific migration limit: 1.5 mg kg ⁻¹	–	–	0.22	0.01
Dimethyl terephthalate	120-61-6	Default migration limit: 60 mg kg ⁻¹	–	–	0.11	0.09
Benzaldehyde	123-73-9	Default migration limit: 60 mg kg ⁻¹	–	–	0.05	0.04

Évaluation du risque lié aux barrières fonctionnelles

Q Cas des barquettes ABA

Scenarios

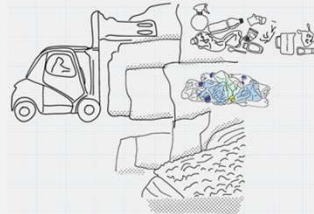
- 80 cases (geometry x food x use)
- 10 surrogates (worst-case=toluene)



Barthelemy et al., *FAC Part A* 2014, 31 (3), 490-7
EFSA, *EFSA Journal* 2011, 9 (7), 2184

Concentrations

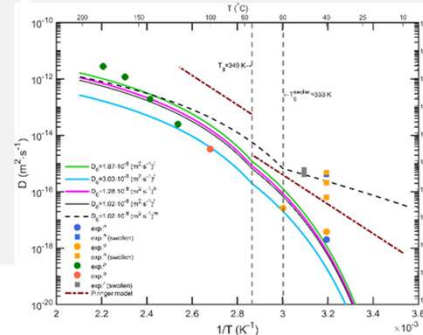
- Concentration range reviewed in typical food-grade and non-food grade streams



Diffusivities

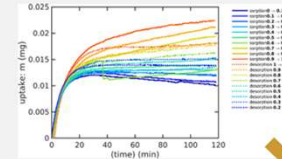
- Piringer overestimation
- Hole Free-Volume theory

if plasticization
 $D_{Piringer}^T < D_{exp}^{T,T_g}$ Zhu et al., *Soft-Matter*, 2019, 15(43):8912

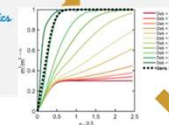


Plasticizing

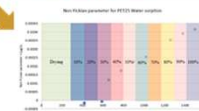
- Microbalance measurements: water, toluene
- Non-Fickian parameters
- Polymer relaxation



Non-Fickian kinetics

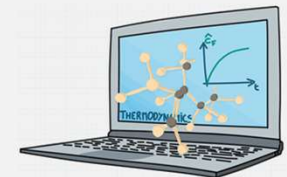


Non-Fickian parameters

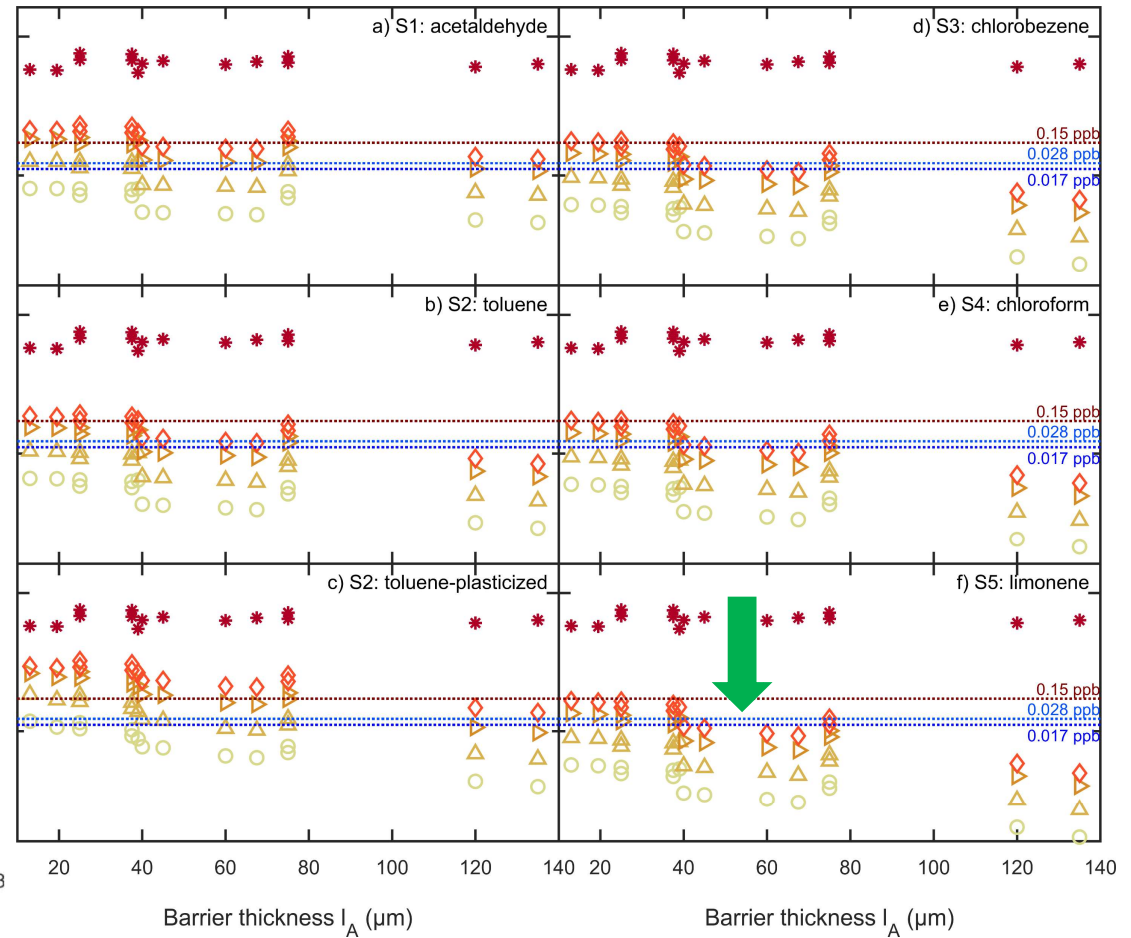
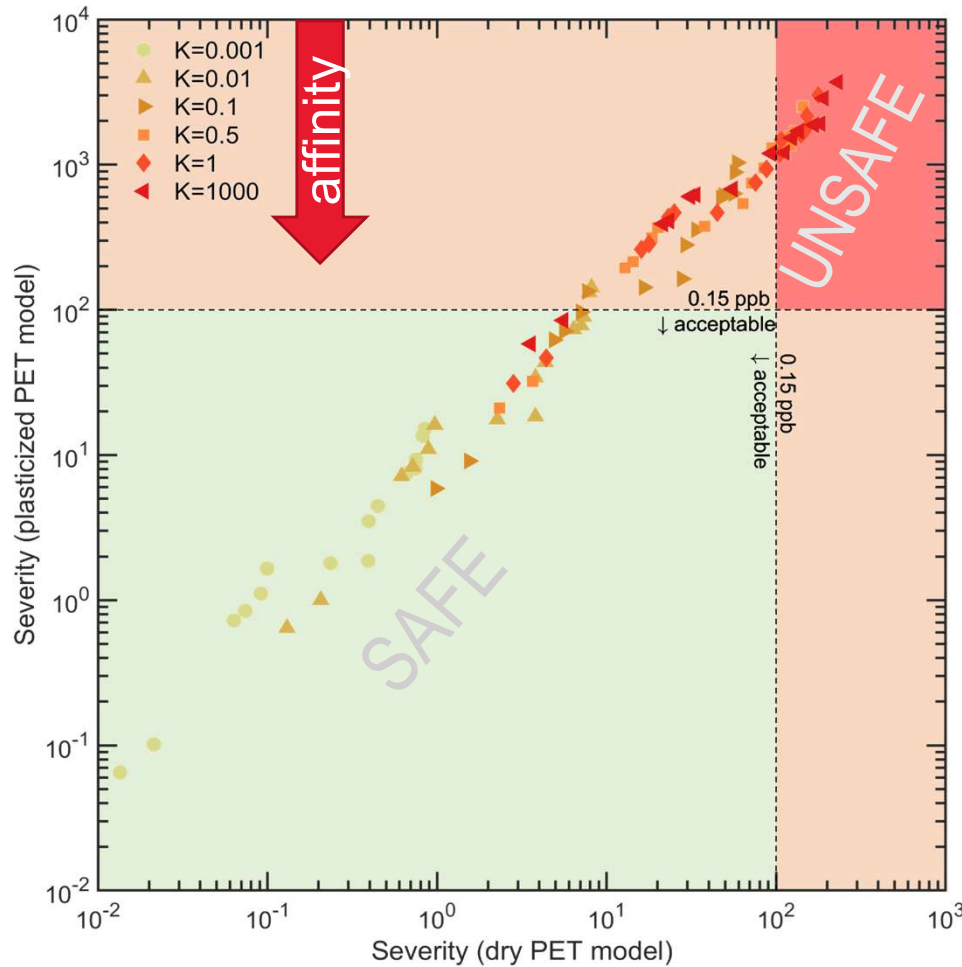


Simulations

- Multiple steps mass transfer including coextrusion

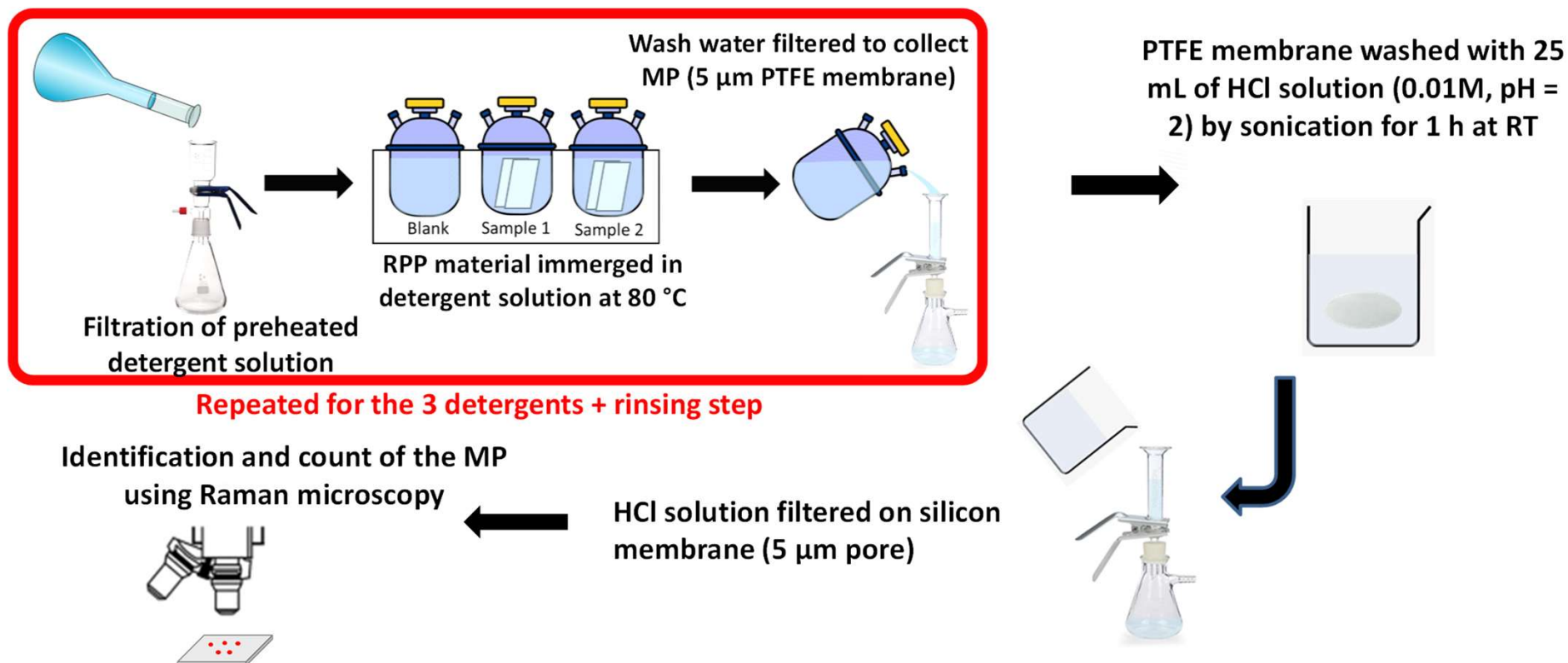


Barquette ABA: une solution sous vigilante



Caractérisation des microplastiques par μ -Raman

Q Cas des emballages réemployés



- Validation méthodologique :
 - ✓ Paramètres de microscopie Raman validés à l'aide de MP de référence (PP et PET)
 - ✓ Taux de récupération compris entre 59 % et 134 % (doit être égal à 100 ± 40 %)
 - ✓ Les limites de détection (LOD): 34 pour le PP et 59 le polyester (PET, Tritan,

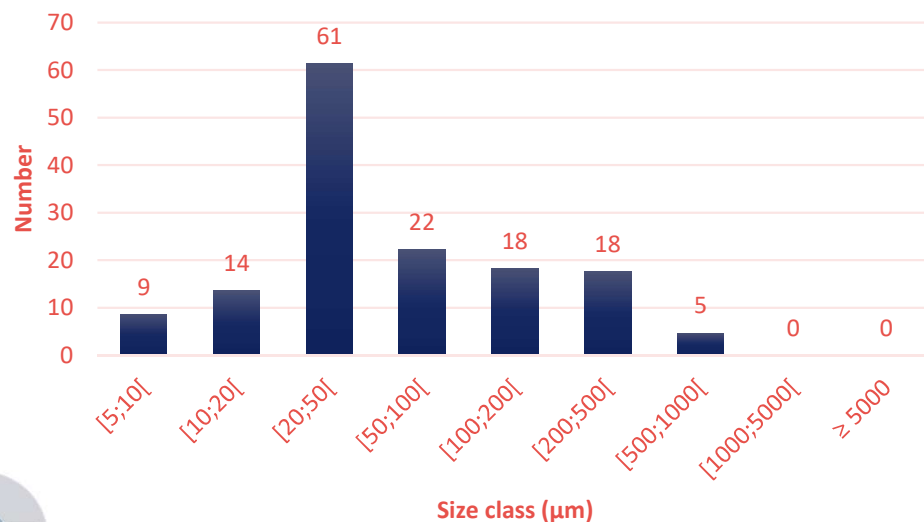
Caractérisation des microplastiques par μ -Raman



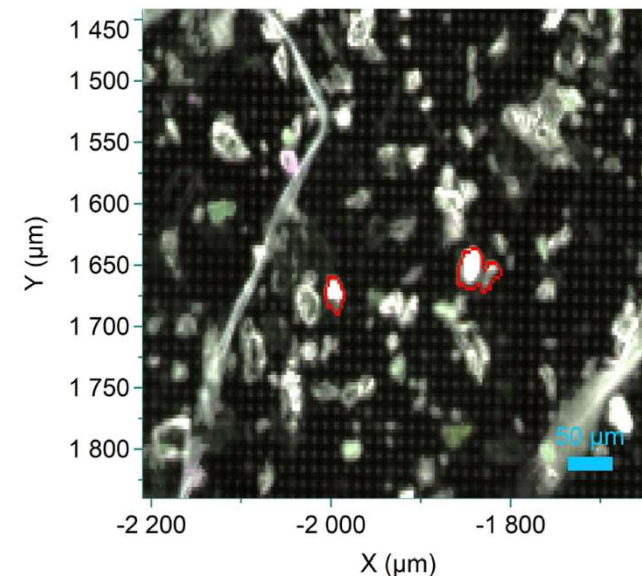
Q Cas des emballages réemployés en PP

- Couvercle en PP
- Application : plats à emporter, traiteur
- Nombre de rotation : jusqu'à 50 cycles
- ➔ Relargage de MP : 150 ± 50 particules/100 g de de matériau

Distribution de taille des MPs issus de 100 g de PP vieilli



Exemple de MPs en PP détectés





Agir ensemble pour une circularité sûre et durable

3R : leviers mais aussi défis

- Obligations réglementaires croissantes → 3R : **R**éduire, **R**éemployer, **R**ecycler
- Nouveaux risques : contaminants chimiques, NIAS, microplastiques, etc.
- Apport méthodologique par la R&D (empreinte chimique, μ -Raman, modélisation, etc.) pour maîtriser ces risques
- Opportunités : innover pour des emballages **circulaires** et **sûrs**

→ Recherche :

- Développer des outils et méthodes robustes
- Produire des données pour guider la réglementation et l'innovation

→ Industrie :

- Anticiper les obligations
- Intégrer la sécurité chimique dès l'écoconception
- Tester et qualifier les solutions réemploi/recyclage

🔍 Alliance recherche – industrie = clé pour concilier circularité, sécurité et compétitivité



LNE

UMR SAYFOOD (AGROPARISTECH, INRAE, UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY)

ACTIA



MERCI POUR VOTRE ATTENTION



Table ronde

animé par **Valérie Ravinet**

Merci pour votre attention !

Contacts

CATHERINE RENARD

Directrice du Carnot Qualiment®
catherine.renard@inrae.fr

ALEXIS DELETOILE

Directeur adjoint du Carnot Qualiment®
alexis.deletoile@inrae.fr

NADEGE ROCHE

Chargée d'affaires du Carnot Qualiment®
nadege.roche@inrae.fr

GAELLE BERL

Chargée d'affaires du Carnot Qualiment®
gaelle.beral@inrae.fr