

Recyclage des surplus de pains en boucles fermées à l'échelle locale

CONTEXTES DU PROJET ANR

Le gaspillage alimentaire est un problème mondial qui touche tous les acteurs des chaînes alimentaires. En France, 60% de la consommation de pain provient des **BOULANGERIES ARTISANALES**, avec un surplus quotidien de **PAIN NON VENDU** qui représente environ 10% de la production. En 2023, une étude de l'ADEME sur 19 boulangeries françaises a fait état d'un taux de gaspillage de 450 kg/an. Les invendus de pain quotidien ne peuvent être vendus le lendemain à cause de la **PERTE DES PROPRIÉTÉS ORGANOLEPTIQUES** due au rassissement, en particulier pour la baguette française dite "tradition" qui ne contient pas d'additifs.

OBJECTIFS

Le projet ANR de recherche collaborative μ-COSMOS (2024-2028), financé par l'Agence Française de la Recherche, vise à étudier la **VALORISATION DES INVENDUS DE PAIN** excédentaire en tant qu'aliment, en se concentrant sur l'échelle des petites et moyennes boulangeries dans les villes.



AMBITIONS

DIMENSION ORGANISATIONNELLE À L'ÉCHELLE LOCALE

- Conception de chaînes de **RECYCLAGE LOCALES COURTES** à faible impact.
- Etude de **L'ACCEPTATION PAR LES CONSOMMATEURS** des produits recyclés.
- Proposition d'un **MODÈLE D'ENTREPRISE** pour la création de valeur.
- **ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE** à l'échelle locale (ACV contextualisée).

DIMENSION PROCÉDÉ DE TRANSFORMATION

- Génération de **POUDRES DE PAIN** avec des fonctionnalités contrôlées.
- **INCORPORATION** des poudres dans des produits de boulangerie.
- **MAÎTRISE DES RISQUES** (néoformé comme l'acrylamide et microbiologique).
- Proposition de **SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES** (simples ou avancées).

LES PARTENAIRES DU PROJET ANR

Unité OPAALE (Rennes)
- Transformation du blé et ingénierie.
- Analyse microbienne.
- ACV, chaînes d'approvisionnement.
- Coordination du projet ANR.

OPAALÉ
INRAE

CEROS
Centre de Recherche en
Océanographie et en
Systèmes de la Terre - FR

Unité CEROS (Nanterre)
- Marketing.
- Business models.
- Chaînes d'approvisionnement.

SADAPT

Unité SADAPT (Paris)
- Métabolisme territorial.
- Perte et gaspillage alimentaires.
- Agriculture urbaine.

iAte

UMR IATE (Montpellier)
- Procédés de fractionnement.
- Physico-chimie des poudres.
- Sciences et technologies des céréales.

GEPEA

PLAN D'ACTIONS

Tâche 1 "Les pieds sur le terrain" : Enquêtes, co-conception de schémas d'organisation, transfert.	Tâche 2 Évaluer les risques microbiologiques et chimiques liés au recyclage des excédents de pain.	Tâche 3 Transformation du pain rassis en nouveaux produits de boulangerie.	Tâche 4 Évaluation de l'impact sur le développement durable de la valorisation du pain rassis.
--	--	---	--

Thèse de doctorat Enora PINTO (2024-2027)

**Procédés de fractionnement par voie sèche à petite échelle de production.
Génération de poudres fonctionnelles par le recyclage de surplus de pains.**



Enora



Tiphaine

Reine

Adrien

Bernard

INRAE

L'INSTITUT
agro Montpellier

UNIVERSITÉ de
MONTPELLIER

PINTO Enora ^(a), LUCAS Tiphaine ^(c), REAU Adrien ^(a), BARBAR Reine ^(b), and CUQ Bernard ^(b)

ÉTAT DE L'ART

Les connaissances sur le pain rassis en tant qu'ingrédient sont **INCOMPLÈTES**, et reposent sur une approche **EMPIRIQUE** de la mouture. Les poudres de pain rassis ont été décrites par la **GRANULOMÉTRIE** (200-1000 μm), supérieure à celle des farines (50-150 μm). Ces poudres contiennent de l'amidon gélatinisé et du gluten dénaturé. Leur utilisation pose le problème de la **CROÛTE** qui a subi une forte cuisson, la réaction de **MAILLARD** et la formation d'acrylamide.



Baguettes (différentes cuissons)

OBJECTIFS

Étudier les **PROCÉDÉS DE FRACTIONNEMENT** des surplus de pain à l'aide d'équipements de petite taille : différents **ÉQUIPEMENTS PILOTES** (broyage et classification) seront utilisés dans différentes conditions pour produire une diversité de **POUDRES DE PAIN** avec des propriétés fonctionnelles ciblées.

PHYSICO-CHIMIE des systèmes granulaires

La diversité des caractéristiques des surplus pains et le pilotage des opérations unitaires de fractionnement, permettent de générer une **DIVERSITÉ DE POUDRES** avec des caractéristiques spécifiques selon des critères physiques et biochimiques.

Objectif – Etude de la **DISPERSION** des caractéristiques des poudres à différentes **ÉCHELLES D'OBSERVATION** (molécules, macromolécules, particules et poudres) et détermination de leurs propriétés fonctionnelles pour les usages ciblés.

MODÉLISATION phénoménologique des mécanismes de broyage

Objectif – Les connaissances générées permettront de construire des modèles phénoménologiques pour décrire les **RELATIONS FONCTIONNELLES** entre les **MÉCANISMES** de fractionnement de matrices structurées sous l'effet des **CONTRAINTES** mécaniques du fractionnement, et leurs impacts sur les **PROPRIÉTÉS** d'usage des poudres générées.

TECHNOLOGIE & BIOCHIMIE des produits céréaliers

Le pain est constitué de 2 parties, dont les proportions dépendent du procédé du boulanger :

- Une partie "**MIE**" avec une structure aérée, un taux de gélatinisation élevé et une intensité modérée de la réaction de Maillard.
- Une partie "**CROÛTE**" avec une structure dense et une forte intensité de la réaction de Maillard.

Objectifs – Étudier les **MÉCANISMES** associés au **FRACTIONNEMENT** des pains secs et rassis, pour générer une diversité de poudres fonctionnelles pour des usages en réincorporation dans des produits de boulangerie. Proposer une approche technologique intégrative pour la valorisation en boucle fermée (*i.e.* succession d'opérations de panification & de fractionnement) pour maîtriser les qualités des produits de panification.

GÉNIE DES PROCÉDÉS pour le fractionnement de produits céréaliers structurés

Objectif – Identifier les technologies et les équipements (pré-broyage, classification & broyage) et optimiser leurs réglages pour induire la **SÉPARATION** de la fraction MIE et de la fraction CROÛTE

Objectif – Étudier l'influence des **FACTEURS DE CONTRÔLE** des opérations unitaires de fractionnement (opérations de fragmentation et séparation) :

- sur les **RENDEMENTS** de génération des poudres.
- sur les **CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE**.
- sur les **CARACTÉRISTIQUES** des poudres.

Tâche 1 - ÉTAT DE L'ART

Tâche 2.1 - CARACTÉRISTIQUES et diversité des PAINS (en surplus)

Tâche 2.2 - SÉCHAGE pour maîtriser la génération de pains secs et rassis (surplus de pains)

Tâche 3 - PRÉ-BROYAGE des pains secs et rassis pour générer des poudres grossières

Tâche 4 - Opération de FRACTIONNEMENT

BROYAGE et classification par TAILLE

Classification par COULEUR et broyage

Classification par DENSITÉ et broyage



Poudre grossière



Poudre de pain



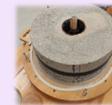
Poudre de mie

Tâche 5 - POUDRES FONCTIONNELLES et étude des caractéristiques et PROPRIÉTÉS D'USAGE

Tâche 6 - VALORISATION et communication



Crumbler®



Meule en pierre



Tamiseur



Trieur optique

APPROCHE INTÉGRATIVE avec des indicateurs de durabilité = Proposition d'**ITINÉRAIRES TECHNOLOGIQUES** (e.g. incluant toastage ou recyclages successifs) seront proposés pour la génération de poudres fonctionnelles pour le recyclage de pains rassis à petite échelle de production.

^(a) INRAE, UMR IATE (Université de Montpellier; INRAE; L'Institut Agro Montpellier), 2 place Viala, 34060 Montpellier, France.

^(b) L'Institut Agro Montpellier, UMR IATE (Université de Montpellier; INRAE; L'Institut Agro Montpellier), 2 place Viala, 34060 Montpellier, France.

^(c) INRAE, UR OPAALÉ, 17 avenue de Cucillé, 35044 Rennes, France.