



2020 / 2025

INRAE



Bioéconomie pour les territoires urbains
METAPROGRAMME BETTER
Premiers résultats

Edito

Au sein d'INRAE, le dispositif des Métaprogrammes permet de financer et d'accompagner des collectifs de scientifiques qui choisissent de travailler en interdisciplinarité sur des questions scientifiques complexes et nouvelles, permettant d'aborder des fronts de science, mais aussi susceptibles de répondre à des enjeux sociétaux importants pour le futur.

En 2020, la direction d'INRAE a lancé, parmi d'autres, le Métaprogramme "Bioéconomie pour les territoires urbains (BETTER)". L'objectif de BETTER est de construire un socle de recherches au sein d'INRAE, et de partenariats au-delà d'INRAE, pour évaluer le rôle de la bioéconomie et de la circularité dans la gestion des territoires urbains de demain.

De 2020 à 2025, BETTER a soutenu onze parcours interdisciplinaires sans projet exploratoire (consortia), onze parcours interdisciplinaires avec projet exploratoire ainsi que 5 thèses (terminées).

Ce document fait suite au premier livret de présentation des actions lancées entre 2020 et 2023. Il illustre les principaux résultats des parcours et projets qui ont été soutenus, et montre comment le parti-pris de favoriser l'interdisciplinarité a permis des apprentissages différents au sein des communautés scientifique et, l'amorçage de nouveaux collectifs qui abordent les questions de recherche sous un angle nouveau souvent fructueux.

BETTER remercie les membres de son comité de pilotage (anciens et nouveaux) et de son comité scientifique international qui participent à faire du métaprogramme un outil utile et agile au service d'une science qui réduit les silos disciplinaires et qui permet à INRAE d'apporter ses compétences scientifiques au service des territoires urbains

Métaprogramme BETTER

Bioéconomie pour les territoires urbains



Selon l'ONU, près de sept personnes sur dix vivront en zone urbaine en 2050 à l'échelle mondiale, notamment dans de très grandes métropoles, contre à peine plus d'une sur deux actuellement. La tendance à l'urbanisation de nos sociétés pose des défis considérables en termes de gestion des déchets et des eaux usées et d'approvisionnement en alimentation mais aussi en énergie, matériaux et eau. Au sein même des villes s'ajoutent aussi les problèmes croissants de congestion et de pollutions qui affectent la santé et le bien-être de leurs habitants. Enfin, les villes sont les principaux territoires émetteurs de gaz à effet de serre et sont donc attendues pour contribuer aux objectifs des

accords de Paris sur le climat.

Des enjeux pour la société : comment gérer les villes de demain et leurs impacts ?

L'objet du métaprogramme INRAE BETTER est la transition bioéconomique des villes, c'est-à-dire les évolutions (socio-économiques, organisationnelles, structurelles et technologiques) qui vont amener les villes à mieux valoriser et recycler leurs déchets, minéraux et produits résiduels organiques et à diminuer leur consommation directe et indirecte de carbone fossile dans une triple perspective: atteindre le zéro émission nette de CO₂ à l'horizon 2050, contribuer aux objectifs de développement durable et être plus résilientes face aux chocs induits par le changement climatique ou d'autres crises. Nous assistons à une réelle prise de conscience à la fois pour reconnaître que les villes sont des lieux de pollution mais aussi des lieux de solutions auxquelles BETTER se propose de contribuer.

Des enjeux scientifiques : comment apporter des solutions bioéconomiques pour les territoires urbains de demain ?

Les questionnements scientifiques sont les suivants :

- en quoi le déploiement de la bioéconomie et de plus de circularité au sein des villes et entre les villes et les campagnes peut-il contribuer à rendre les villes plus durables ?
- quelles sont les conditions de mise en œuvre de ces transitions et comment y parvenir ?

Cela suppose :

- de travailler sur la circularité des flux au sein des territoires urbains mais aussi des flux croisés villes-campagnes dans une logique de recyclage des produits, des déchets, des nutriments et des ressources en eau, pour éviter les gaspillages et limiter les pollutions ;
- d'étudier le potentiel de développement de la production, de la transformation, du recyclage des produits biosourcés adaptés aux territoires urbains et périurbains, avec la perspective de réduire la dépendance des villes aux produits pétrosourcés et aux énergies fossiles et de réduire leurs émissions nettes de gaz à effet de serre (atténuation), tout en améliorant leur résilience et leur capacité d'adaptation face aux changements globaux ;
- de se donner des outils d'évaluation, de modélisation, et d'accompagnement des transitions bioéconomiques dans les territoires urbains et leur zone d'influence.

Des enjeux d'interdisciplinarité pour une approche systémique

Travailler sur la transition bioéconomique des territoires urbains exige une approche systémique alliant les disciplines biotechnologiques et les sciences humaines et sociales : les innovations technologiques pour de nouveaux procédés ne peuvent se penser indépendamment de la manière dont les biomasses et les produits résiduels organiques sont produits, transportés et stockés, et de la façon dont le système socio-économique, l'aménagement des territoires (urbains et ruraux) et les préférences des consommateurs et des citoyens évoluent. BETTER construit une communauté de recherche à INRAE mobilisant des connaissances et compétences pluridisciplinaires et capable de travailler en interdisciplinarité sur les enjeux du développement de la bioéconomie circulaire et durable dans les territoires en se concentrant sur les réponses à apporter aux défis urbains de demain.

Qu'est-ce qu'un métaprogramme INRAE ?

Les métaprogrammes constituent au sein d'INRAE un dispositif d'animation et de programmation scientifiques sur un nombre restreint de sujets nécessitant des approches systémiques et interdisciplinaires pour répondre à nos défis scientifiques et sociétaux déclinés dans INRAE2030 et son actualisation de 2025. Les métaprogrammes favorisent le déploiement d'une recherche interdisciplinaire, construisent de nouvelles communautés scientifiques et les accompagnent.

La bioéconomie à INRAE

INRAE a finalisé en 2020 un [rapport de réflexion prospective interdisciplinaire sur la bioéconomie](#). La bioéconomie est définie comme le développement d'une économie circulaire et durable, fondée sur la production, la transformation et le recyclage de ressources biologiques renouvelables, permettant en particulier de substituer du carbone renouvelable au carbone fossile, en contribuant ainsi à réduire les émissions de gaz à effet de serre, tout en préservant les ressources naturelles, la biodiversité et en amplifiant les services écosystémiques.

A propos de BETTER

Direction

- **Directrice** : Sophie Thoyer - UMR CEE-M, INRAE ECOSOCIO
- **Directeur adjoint** : Jean-Philippe Steyer - UR LBE, INRAE TRANSFORM
- **Cheffe de projet** : Pascale Sarni-Manchado - UMR SPO, INRAE TRANSFORM

Comité de pilotage

Joel Aubin (SAS, PHASE), Christine Aubry (UMR SADAPT, ACT), Marc Barbier (UMR LISIS, ACT), Sami Bouarfa (UMR G-Eau, AQUA), Véronique Broussolle (UMR SQPOV, MICA), Philippe Delacote (UMR BETA, ECOSOCIO), Fabrice Foucher (UR IRHS, BAP), Sylvie Gillot (UR REVERSAAL, TRANSFORM), Stéphane Guilbert (UMR IATE, Supagro, TRANSFORM), Arnaud Hélias (UMR ITAP, AGROECOSYSTEM), Bernard Kurek (UMR FARE, TRANSFORM), Florent Levavasseur (Isabelle Maillat (INE, DG), Jean-Denis Mathias (UR LISC, MATHNUM), Christophe Schwartz (UR Sols et Environnement, Univ. Lorraine, AGROECOSYSTEM), Anne Tremier (UR OPALE, TRANSFORM), Julie Wohlfahrt (UR ASTER, ACT).

Les personnes mentionnées en gris et italique sont des anciens membres du COPIL BETTER.

BETTER, un domaine nouveau mais légitime pour INRAE

La question du développement de la bioéconomie pour les territoires urbains est rarement saisie par les instituts de recherche dans sa globalité. Le domaine de l'urbain n'est pas complètement nouveau pour INRAE même s'il n'est pas son domaine d'application habituel. INRAE avec l'ensemble de ses départements de recherche possède toutes les compétences, outils et disciplines pour développer les recherches sur l'articulation entre les dimensions bioéconomique et alimentaire des territoires urbains et les enjeux sylvo-agricoles et environnementaux des zones d'influence des villes. INRAE mène des recherches sur les problématiques des villes principalement à travers trois points d'entrée thématiques :

- l'agriculture urbaine et périurbaine, en lien avec la végétalisation des villes, les circuits courts, et plus récemment les systèmes alimentaires urbains ;
- les eaux résiduaires et les biodéchets en ville ;
- les articulations entre dynamiques urbaines et rurales, interrogeant la taille, la forme et la localisation optimales des villes en fonction de la pression foncière, des mobilités et de l'accès aux ressources.

L'ambition du métaprogramme Bioéconomie pour les territoires urbains (BETTER) et son originalité sont d'intégrer :

- les connaissances sur les flux de nutriments, les pratiques d'amendement et de fertilisation, les risques sanitaires associés, la qualité des sols urbains ;
- les compétences sur le métabolisme des territoires, l'écologie des territoires, les systèmes agri-alimentaires territorialisés ;
- les capacités de modélisation et d'évaluation de la durabilité environnementale des territoires, en lien avec les technologies d'acquisition de données (y compris la télédétection), et le traitement de données massives ;
- les compétences sur les bioprocédés, la transformation agro-alimentaire, l'éco-conception, le traitement et la valorisation des eaux usées et des déchets ;
- les forces en sciences sociales permettant de traiter à la fois les questions économiques (localisation des activités, modélisation des marchés), sociales (perceptions associées au développement de la bioéconomie, conflits d'usage...), et institutionnelles (gouvernance territoriale, action collective, rôle des valeurs sociales...) ; grâce une recherche interdisciplinaire définie par la stratégie scientifique des métaprogrammes INRAE.

BETTER regroupe environ 160 chercheurs INRAE dans un premier cercle et 200 dans un deuxième cercle, principalement au sein des départements INRAE TRANSFORM, ECOSOCIO, ACT, AGROECOSYSTEM, MATHNUM et AQUA. Les départements PHASE, sur la place de l'animal dans le bouclage des cycles, notamment en zone urbaine et péri-urbaine, SA sur la santé animale et les risques liés à la proximité humaine, MICA sur les procédés microbiens de transformation et le contrôle des contaminants biotiques, et BAP sur les espèces végétales adaptées aux contraintes urbaines sont aussi concernés, mais avec des effectifs plus petits et plus dispersés.

Trois axes de programmation

1. Améliorer la circularité des flux et le bouclage des cycles biogéochimiques

Les villes sont aujourd'hui des puits de nutriments et des mines de déchets : elles concentrent et « absorbent » de grandes quantités de produits, notamment des denrées alimentaires. Elles ont une gestion des biodéchets et des eaux usées le plus souvent centralisée et représentant une charge pour la collectivité (coûts, nuisances), en ne contribuant que très imparfaitement au bouclage des cycles de nutriment et de l'eau.

Construire des trajectoires de transition bioéconomique vers des villes plus résilientes et durables

Développer et évaluer les solutions bioéconomiques pour la ville de demain

Améliorer la circularité et le bouclage des flux

• Diagnostiquer le métabolisme urbain et péri-urbain

Il s'agit de caractériser, quantifier, tracer et modéliser les flux de matières et de nutriments nécessaires à la ville, et de proposer des métriques pour mesurer l'impact des villes sur l'environnement. Sur le volet nutriments, INRAE et ses partenaires sont déjà impliqués dans des travaux méthodologiques et de quantification avec les approches métaboliques des systèmes alimentaires et des territoires, issues de l'écologie territoriale. Notre ambition est **d'inclure non seulement les flux entrants et sortants mais aussi de considérer sous quelles formes sont stockés les nutriments carbone, azote, phosphore (boues résiduelles, déchets alimentaires, déchets verts), leur variabilité spatio-temporelle, leur hétérogénéité et leurs caractéristiques**. L'analyse métabolique classique doit aussi être complétée par une analyse des contaminants entrants et sortants. Ces diagnostics nécessitent un travail sur les bases de données existantes ou à construire et les systèmes d'informations à faire évoluer y compris pour assurer la traçabilité (en mobilisant le numérique et le spatial, mais aussi la participation citoyenne).

• Repenser le recyclage et la valorisation des produits résiduels issus des territoires urbains

Comment organiser l'ingénierie reverse pour collecter, trier et rassembler les produits résiduels en fonction des besoins de matières premières secondaires ? Les différentes formes de collectes de valorisation, par exemple en comparant les systèmes centralisés avec des solutions locales innovantes de type micro-méthanisation, compostages de quartier, co-génération ou bioraffineries adaptées aux déchets urbains et à petite échelle seront évaluées. Ces options posent des **questions technologiques liées aux infrastructures à repenser, au changement d'échelle de la transformation** (gestion de l'hétérogénéité temporelle des sources de bio-déchets, stockage, traitement et nuisances à l'échelle locale, ...). **S'y ajoutent des questions organisationnelles et économiques sur les usages et la répartition de la valeur de ces « déchets/ressources », et des enjeux sociaux sur l'acceptabilité de ces solutions et la prise en charge par des nouveaux collectifs**. Elles nécessitent aussi de comprendre comment les règles et les normes ainsi que les politiques publiques incitatives peuvent freiner ou accélérer les transitions, qui sont les perdants et les gagnants de ces évolutions et leur résistance au changement.

• Intensifier et ré-organiser les flux de nutriments ville-ville et ville-campagne

Améliorer le bouclage des cycles biogéochimiques en organisant le retour au sol des nutriments pour assurer un maintien des capacités productives des systèmes agricoles ou forestiers des zones qui alimentent les centres urbains en matières alimentaires et non alimentaires relève des ambitions de BETTER. Quelles formes de marchés ou d'échanges contractuels peuvent se mettre en place au sein de la ville elle-même, par exemple pour alimenter en eau et matières fertilisantes les espaces verts, les fermes et les forêts urbaines, et entre villes et zones agricoles et forestières ? **Comment articuler aires d'approvisionnement des villes et aires d'assimilation pour assurer la circularité ?** Quelles sont les conséquences à prévoir en termes de redistribution spatiale de la fertilité, dans les villes, dans les espaces autour des villes et dans les zones rurales ?

• Proposer des solutions pour maîtriser le devenir des contaminants

Le devenir des contaminants biotiques et abiotiques dans les systèmes de recyclage ou de traitement des co-produits, des déchets organiques et des eaux usées constitue un enjeu sanitaire prioritaire. Les phénomènes de bio-accumulation et bio-amplification au travers des réseaux trophiques et des cycles biogéochimiques, l'identification des contaminants, leur gestion ou leur élimination constituent un défi majeur auquel les villes auront à faire face si elles s'engagent dans un processus renforcé de recyclage et de valorisation de leurs déchets : **comment ces contaminants sont-ils transformés, quelle est la contribution des mécanismes physicochimiques et biologiques dans leur évolution, comment assurer leur traçabilité et leur contrôle, comment réduire leur volume et leur toxicité, et comment en disposer de la manière la plus efficace pour le bouclage des cycles ?**

• Proposer des solutions pour maîtriser le devenir des contaminants

Le devenir des contaminants biotiques et abiotiques dans les systèmes de recyclage ou de traitement des co-produits, des déchets organiques et des eaux usées constitue un enjeu sanitaire prioritaire. Les phénomènes de bio-accumulation et bio-amplification au travers des réseaux trophiques et des cycles biogéochimiques, l'identification des contaminants, leur gestion ou leur élimination constituent un défi majeur auquel les villes auront à faire face si elles s'engagent dans un processus renforcé de recyclage et de valorisation de leurs déchets : **comment ces contaminants sont-ils transformés, quelle est la contribution des mécanismes physicochimiques et biologiques dans leur évolution, comment assurer leur traçabilité et leur contrôle, comment réduire leur volume et leur toxicité, et comment en disposer de la manière la plus efficace pour le bouclage des cycles ?**

2. Réussir la durabilité et la résilience de la ville de demain par la bioéconomie

Une des voies de réponse pour réduire l'impact environnemental des villes, notamment leur empreinte carbone, est de **réduire leur dépendance, directe et indirecte, aux produits fossiles** pour leurs besoins en alimentation, en énergie, en matériaux et en molécules d'intérêt. Il s'agit de **repenser une organisation et des usages pour demain qui soient plus sobres**, qui réduisent les déchets à la source, et s'appuient davantage sur les bio-ressources, **l'optimisation de leurs fonctionnalités et de leurs usages** et bien sûr leur recyclage. Ces orientations posent des questions spécifiques en milieu urbain sur :

- l'analyse de la demande future ;
- les solutions technologiques, organisationnelles et institutionnelles pour le déploiement d'une économie urbaine biosourcée ;
- l'articulation entre les flux locaux et globaux et l'évaluation multi-critère et multi-échelle de ces orientations.

• Les évolutions des demandes et les attentes pour les produits biosourcés

Les nouvelles conditions de vie des citoyens, de leurs revenus, de leurs pratiques et de leurs préférences (par exemple sur les déplacements, les habitats, les modes de consommation, les emballages, les perceptions des déchets, etc.) **vont faire évoluer leurs demandes et leurs attentes** notamment pour les produits biosourcés, l'alimentation mais aussi les matériaux de construction, le mix bioénergétique en ville, et les solutions fondées sur la nature se substituant à des technologies pétro-sourcées. Les changements de consommation et d'usage vont aussi reconfigurer le volume, la nature et la localisation des produits à recycler et des déchets ultimes. Ces évolutions doivent être anticipées pour identifier les technologies les plus pertinentes à développer, et dimensionner les investissements et les filières à mettre en place.

• Intégrer la production, la transformation, l'usage, le recyclage et la fin de vie des produits biosourcés dès leur conception

Il apparaît primordial de raisonner la localisation et le dimensionnement optimaux de ces activités, en ville ou loin des villes, en lien avec les solutions technologiques et les infrastructures à développer pour répondre aux besoins et aux contraintes urbains : changement d'échelle des processus pour faire face aux contraintes d'espace, normes de sécurité et sanitaires, nuisances, contraintes d'infrastructures, etc. Cela suppose aussi de conduire les évaluations des compromis à trouver entre nuisances locales et bénéfices globaux ou l'inverse.

• Raisonner et évaluer la coexistence et la complémentarité des flux locaux et globaux

Un certain nombre de villes choisissent de miser sur une plus grande autonomie d'approvisionnement alimentaire mais aussi, et c'est plus nouveau, sur plus d'autonomie non alimentaire, à la fois pour réduire leur empreinte carbone mais aussi pour être plus résilientes et être capables de faire face à certains chocs ou crises. Cela se traduit par l'explosion des circuits courts locaux, le développement des projets d'agriculture urbaine et la montée en puissance des politiques des collectivités en faveur de projets alimentaires territoriaux et de gestion des territoires agricoles et forestiers sous leur gouvernance. BETTER aborde l'évaluation de ces stratégies au regard des objectifs de développement durable et de résilience, et les équilibres à trouver entre approvisionnement de proximité et flux en provenance des grands bassins de production en Europe ou au-delà. Ces évolutions auront un impact qu'il faudra anticiper sur l'organisation des territoires autour des villes pour gérer la demande accrue des villes (en biomasse mais aussi en sols) tout en préservant les écosystèmes, et en intensifiant les services qu'ils fournissent, y compris dans leur dimension récréative.

3. Construire les trajectoires de transition bioéconomique vers des villes plus durables et plus résilientes

• Construire des outils de scénarisation et de modélisation des trajectoires de transition bioéconomique des villes et de leurs territoires d'influence

BETTER construit la réflexion sur le bouclage des cycles et le recours aux produits et services biosourcés avec l'ambition de mettre en place un modèle simplifié d'un territoire urbain virtuel sur lequel pourrait être testé quantitativement l'impact des différents scénarios envisagés. Cet exercice de modélisation servira avant tout comme outil innovant de facilitation des échanges entre chercheurs de différentes disciplines pour aider à l'identification des priorités de recherche et des besoins de données et d'informations.

• Etablir des méthodologies d'évaluation des trajectoires de transition

Au-delà du seul périmètre de la ville, il faut pouvoir évaluer les arbitrages entre les impacts sur l'environnement global, les impacts locaux supportés par les citoyens, ou indirectement par les zones périphériques et d'influence des villes, notamment quand ces effets sont inégalement répartis spatialement et temporellement. Cela suppose de développer les techniques d'évaluation existantes (analyses de cycle de vie territoriales, modèles d'optimisation dynamique, analyses multicritères, bilans métaboliques) en portant une attention particulière à la façon dont ils peuvent permettre de comparer différentes dynamiques de transition.

• Analyser la gouvernance des transitions bioéconomiques des villes et des territoires

L'évolution des villes passera aussi par la volonté politique des élus locaux, les outils réglementaires et incitatifs à leur disposition, l'implication des acteurs économiques et les engagements citoyens dans les transitions. Peut-on construire une typologie des territoires urbains et la lier à des trajectoires de transition ? En quoi ces trajectoires seront influencées par les confrontations d'acteurs qui sont porteurs d'intérêts et de logiques différentes ? La compétence acquise d'INRAE sur l'accompagnement des agriculteurs et des territoires ruraux vers la transition agro-écologique sera mobilisée pour construire des outils favorisant l'échange et l'innovation et associant des collectifs citoyens à différentes échelles, notamment dans l'articulation urbain – périurbain – rural. Le potentiel transformant des approches participatives (par exemple pour co-construire des solutions opérationnelles acceptées et partagées) sera à évaluer

BETTER, cinq années d'existence

Résumé des principales actions BETTER depuis 2020

- 4 séminaires BETTER (env. 65 participants / séminaire)
- 1 séminaire-atelier « Modélisation et données » pour le Bioéconomie urbaine (juillet 2024) (34 participants)
- 1 école chercheurs sur « Bioraffinerie Urbaine Soutenable » (30 participants)
- 11 parcours interdisciplinaires avec projet exploratoire (2 ans 50k€ en moyenne par projet)
- 11 parcours interdisciplinaires sans projet exploratoire (Consortia) et réseaux interdisciplinaires (12 à 18 mois 10k€), dont 4 ont évolué en projets,
 - Une veille (disponible sur le site de BETTER) sur l'entomo-conversion assurée par le consortium INSECT4CITY lancé grâce à BETTER, toujours actif
 - 3 thèses financées par BETTER, 2 thèses labellisées et plusieurs thèses en instruction pour un éventuel lancement en 2026
 - Focus sur le plan Ambition Guadeloupe : 4 consortia Guadeloupe -Métropole financés en 2024 dont un a évolué en parcours avec projet exploratoire en 2025
 - Une prospective sur " la place de la bioéconomie dans les villes françaises » qui a mobilisé un comité d'experts multi-institutions
 - Effet levier : 3 projets ANR : μ COSMOS, REFLY et VECTOR (projet jeune chercheur), un post-doc de 2 ans financé par le Défi Clé Circulades de la Région Occitanie
- Implications : 13 départements INRAE – 6 partenaires externes– 161 chercheurs

Un rappel sur les spécificités de BETTER

En choisissant de centrer ce métaprogramme sur la bioéconomie pour les territoires urbains, INRAE fait un pari audacieux car la ville n'est pas le terrain classique des activités de recherche d'INRAE. Le MP BETTER cherche ainsi d'une part à mieux valoriser les savoirs et compétences déjà présents à INRAE et touchant au domaine de l'urbain et d'autre part, à contribuer aux questionnements sur l'avenir des villes. Ces questionnements sont portés le plus souvent par des instituts spécialisés dans l'aménagement urbain ou la mobilité et le regard des sciences de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement porté par INRAE peut y trouver toute sa place. Par exemple, quelles aménités et quels services apportés par la nature en ville peuvent se substituer aux services équivalents fournis par les pétroressources ? Comment transformer les villes, puits de nutriments, en gisements de bioressources ?

Dès 2020, BETTER a soutenu ses premiers parcours et a démarré la construction d'une communauté interdisciplinaire. BETTER s'attache à travailler à l'identification et à la consolidation de la communauté scientifique concernée (interne et externe à INRAE). La communauté maintient son dynamisme démontré par la participation aux diverses actions portées malgré la difficulté des chercheurs à se décentrer pour aborder plus directement l'objet « ville ».

L'effet levier et partenaires extérieurs

BETTER a constaté « l'envol » de parcours soutenus vers des ambitions nationales à l'ANR (CARIBOU avec μ COSMOS, FLY4WASTE avec le projet de recherche collaborative REFLY 2026-2030 et le projet jeune chercheuse VECTOR, 2026-2030 et FREGATE avec le dépôt de FRUIT) et l'intégration des thèmes de projets BETTER dans des projets ciblés de PEPR (POPCORN-POP-Extend). Le déploiement vers de projets à l'international avec des équipes interdisciplinaires constituées via BETTER est amorcé par exemple dans la continuité de NEWLINK, les coordinatrices ont contribué à une réponse à un projet européen en cours d'évaluation, sollicitée par une équipe suédoise.

BETTER développe aussi d'outils supports de recherche et d'animation comme un modèle des flux de biomasse secondaire en ville. Un financement de post-doc a été obtenu via le Défi-Clé Circulades (Région Occitanie) sous un co-encadrement interdisciplinaire impliquant les sciences sociales et le génie des bioprocédés et le montage en 2024 d'un atelier modélisation.

Et aussi

Dès 2023, la direction de BETTER a initié un projet structurant en débutant une démarche de prospective exploratoire pour élaborer des visions ou des futurs possibles sur la place et les formes que pourrait prendre la bioéconomie dans les territoires urbains français de demain. En février 2024, les éléments structurants du projet de **PROSPECTIVE** (cahier des charges, financement CDD, recrutement ...) ayant été validés, la démarche prospective proprement dite a débuté. Cette démarche prospective a une visée exploratoire, c'est-à-dire d'identifier la diversité des futurs possibles pour la bioéconomie urbaine en France à l'horizon 2050. Il ne s'agit pas d'une démarche normative, dans le sens où elle ne donne pas de trajectoires possibles pour atteindre un objectif fixé à 2050 (comme le déploiement maximal de la bioéconomie dans les villes). En ce sens, elle diffère des prospectives normatives récemment menées comme celle de l'ADEME « Transitions 2050 ».

Pour mener à bien cet objectif, des scénarios prospectifs exploratoires ont été construits, en suivant les étapes de l'analyse morphologique¹. Les résultats de ce travail seront disponibles en 2026.

¹ Pour une description de la méthode, se référer à : <https://www.futuribles.com/lanalyse-morphologique/>

BETTER, les outils

Des appels à manifestation d'intérêt annuels pour le financement (AMI)

• AMI parcours interdisciplinaires sans projet exploratoire (consortium)

Ces parcours (durée 18 mois – 10000 €) ont pour ambition de faciliter les échanges et les interactions entre scientifiques de disciplines différentes, dans le domaine du métaprogramme BETTER. Les activités peuvent concerner :

- L'incubation d'un projet impliquant de nouvelles communautés interdisciplinaires ;
- La rédaction d'un article de référence ;
- L'organisation et la réalisation d'un événement scientifique ;
- L'organisation d'une école-chercheur, ou d'une école d'été, ou de formation.

• AMI parcours interdisciplinaires avec projet exploratoire

Les parcours avec projets exploratoires (2 ans – 60 000 €) proposent des actions concrètes pour répondre à des questions de recherche bien identifiées, répondant aux priorités et aux fronts scientifiques du métaprogramme. Il cible des projets interdisciplinaires originaux et innovants, qui ne pourraient pas trouver facilement des financements dans les circuits classiques.

• AMI projets emblématiques

Le projet emblématique (> 2 ans - 100 - 300 k€) est issu de la co-construction d'un projet.

Financement des unités INRAE. Les participations externes sont possibles mais n'ouvrent pas droit à financement MP

Co-financements de projets doctoraux

Les sujets de thèse doivent être construits dans un contexte interdisciplinaire. Le cofinancement des contrats doctoraux doit obligatoirement être 50% métaprogramme BETTER INRAE et 50% hors-INRAE.

L'animation scientifique

Des séminaires, des rencontres, un site internet, des lettres d'informations, une liste de diffusion ...

Le COPIL est disponible pour l'aide à la co-construction des parcours.

Plus d'informations sur notre site internet : <https://better.hub.inrae.fr>

Pour nous contacter : better@inrae.fr



Les actions financées

Le métaprogramme BETTER soutient une recherche interdisciplinaire définie par la stratégie scientifique des métaprogrammes INRAE. Depuis 2020, onze parcours sans projet exploratoire (consortia) et onze parcours avec projets exploratoires ont été lauréats des 5 appels à manifestation d'intérêt émis par BETTER. La durée des projets étant de deux ans, nombre d'entre eux sont arrivés à leur terme au sein du métaprogramme BETTER et parmi ceux-ci certains ont servi de tremplin pour le montage de propositions plus ambitieuses à d'autres instances.

Les actions rapportées dans la suite de ce document sont celles arrivées à terme.

Parcours interdisciplinaires sans projets exploratoire (Consortia)

BEST visait à rejoindre et contribuer à la communauté scientifique autour de la modélisation de scénarios de développement de systèmes de collecte, traitement et valorisation de biodéchets en milieu urbain et périurbain et à réaliser un diagnostic de la situation de gestion actuelle des biodéchets en Guadeloupe, préalable indispensable au cadrage d'un projet exploratoire qui a ainsi pu être co-construit (en cours BEST-SCHOOL).

CIRCUTEBIO a étudié dans quelle mesure le déploiement de l'économie circulaire centrée sur la collecte des déchets entraîne la coexistence de différents modèles de traitement/recyclage des déchets à l'échelle des systèmes et territoires urbains.

INSECT4CITY a exploré l'entomoconversion des biodéchets urbains en particulier autour de l'évaluation bénéfice-risque globale mais aussi toutes les questions que peuvent se poser le grand public, le législateur ainsi que les producteurs d'insectes quant à ce moyen de valoriser de les biodéchets.

MOSAIC a fait dialoguer des communautés, dans et hors INRAE, pour mieux cerner la complexité du métabolisme des systèmes agricoles et alimentaires, des espaces de production aux espaces de consommation, dans ses dimensions systémique et géographique...

PERIURBANWASTEENG a investigué l'ingénierie des déchets agricoles et alimentaires dans une logique de circularité des flux à l'échelle d'une grande aire urbaine, incluant plateau de Saclay et plaine de Versailles.

POPCORN a étudié et développé des outils pour caractériser la population d'un territoire et sa consommation alimentaire de façon à faire le lien avec les flux de matières en amont de la production agricole et les flux en aval vers la restitution des déchets et des émissions.

REBUS s'est constitué autour de la question des enjeux et de la soutenabilité du concept de bioraffinerie environnementale urbaine, c'est-à-dire une bioraffinerie sourcée en matières organiques résiduelles urbaines (biodéchets et sous-produits, par exemple de l'agriculture urbaine) et dont les produits pourront être valorisés au sein du territoire.

REUSEINCITIES a mené une réflexion spécifique autour de la réutilisation des eaux usées traitées (ou "REUSE"), au cœur du nexus eau-énergie-matière-environnement, levier majeur pour accompagner la mutation du territoire urbain.

Les parcours interdisciplinaires avec projets exploratoires

CARIBOU s'est intéressé à caractériser les flux des rebuts et invendus de pain (RIP) aux étapes de production et de distribution qui représentent de l'ordre de 500 000 et 270 000 tonnes en transformation industrielle et en distribution respectivement et qui sont majoritairement produits en zones urbaine et périurbaine et leur spécificité territoriale.

EDIFICE a développé une méthode d'évaluation de scénarios basée sur un couplage de modèles qui intégrera des caractéristiques du territoire, les performances technico-économiques des procédés ainsi qu'une évaluation multicritère de la durabilité pour la gestion actuelle de déchets maraîchers produits en périphérie de Nantes.

FLY4WASTE a fait suite à INSECT4CITY, en s'appuyant sur la réflexion menée par les membres de ce consortium et sur le réseau ainsi constitué pour démarrer des recherches interdisciplinaires sur deux ans qui ont inclus aussi une thèse (soutenue aussi par BETTER). Le projet a évalué en parallèle les bénéfices et les risques du recyclage par entomoconversion de différents types de substrats et notamment de biodéchets.

FREGATE a permis la construction d'une connaissance interdisciplinaire des systèmes existants : au niveau de Système Urbain de Bioraffinage Environnemental (SUBE) complets ou partiels (amont/aval). Plusieurs enquêtes menées auprès d'acteurs de ces systèmes (70 initiatives locales de collecte et de valorisation des biodéchets sur l'ensemble du territoire français) ont permis de développer une méthode d'évaluation de la flexibilité d'un SUBE basée sur la méthode dédiée aux procédés chimiques développée par Grossman (1980) et de la tester sur un cas de compostage. FREGATE a aussi analysé l'effet des SUBE sur la résilience de leur territoire en construisant un modèle conceptuel basé sur la modélisation dynamique des systèmes (Systems Dynamic Modelling, SDM), sur le cas de Nantes.

NEWLINK a analysé la redistribution d'inventus de repas de la restauration collective vers des associations. Un état des lieux a été effectué afin de caractériser le fonctionnement des différentes étapes, d'identifier des points critiques et de connaître l'inscription dans le territoire des structures participantes et leur relation entre elles. Puis, une analyse coût-bénéfice réalisée a permis d'appuyer des stratégies d'optimisation.

TEVALU a étudié l'optimisation un procédé d'extraction de l'azote et du phosphore des urines afin de remplir les critères des produits déjà commercialisés tout en évaluant l'impact de la filière via une analyse de cycle de vie. De plus, une analyse quantitative des gisements d'urine et des débouchés potentiels des fertilisants issus de l'urine a été réalisée sur la métropole toulousaine ainsi qu'une analyse des attentes en termes de qualité et de volonté à payer.

Contributions des parcours interdisciplinaires aux axes du métaprogramme BETTER

Légende : primordiale (carré noir), forte (carré gris foncé), moyenne (carré gris clair), secondaire (carré gris très clair)

[illegible]

Table des matières des projets

INSECT4CITY	13
FLY4WASTE	15
REBUS	17
FREGATE	19
BEST	21
CARIBOU	25
CircuTeBIO	28
EDIFICE	30
PeriUrbanWasteEng	32
POPCORN	34
MOSAIC	36
NEWLINK	38
TeValU	41



INRAE



La gestion et le devenir de nos
biodéchets urbains

METAPROGRAMME BETTER



Consortium
2020 - 2022



© Massimiliano Latella - Unsplash

Coordination

Erwan Engel (UR QuaPA)
erwan.engel@inrae.fr
Patrick Borel (UMR C2VN)
patrick.borel@univ-amu.fr

Mots-clés

Biodéchets
Bioéconomie
Economie circulaire
Entomoconversion
Insecte
Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ALIMH
AGROECOSYSTEM
ECOSOCIO
MATHNUM
MICA
PHASE
TRANSFORM

Voir en ligne



INSECT4CITY

Bénéfices et risques de l'entomoconversion pour recycler des biodéchets issus de zones urbaines et péri-urbaines



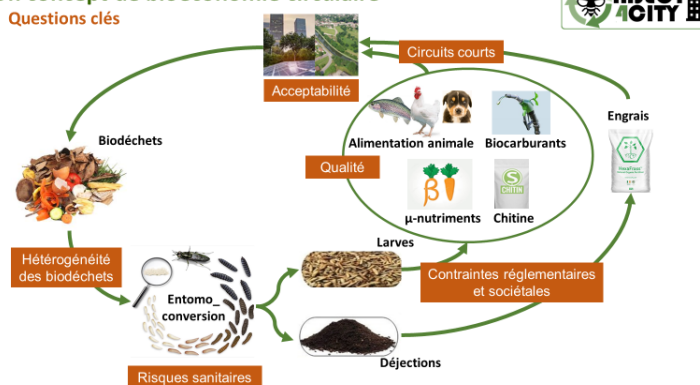
L'entomoconversion dans une approche de bioéconomie circulaire

En milieu urbain et péri-urbain, où la gestion des déchets est plus que jamais un enjeu majeur, l'entomoconversion (leur bioconversion via la culture d'insectes) offre une solution séduisante et compatible avec le déploiement de la bioéconomie circulaire (cf. schéma ci-après). Elle pose aussi des questions spécifiques en termes d'hétérogénéité des biodéchets, de maîtrise des risques sanitaires, de contraintes réglementaires et sociétales, de qualité des produits dérivés, de mise en place de circuits courts dédiés.

Avancées et résultats

Un concept de bioéconomie circulaire

Questions clés



C'est autour de l'évaluation bénéfice-risque globale et des réflexions relatives à ces questions clés que se sont articulées les activités du consortium INSECT4CITY. Regroupant initialement 14 unités 10 nouveaux partenaires les ont progressivement rejoints pour former un consortium comptant désormais **17 unités de recherche de 8 départements INRAE** et 7 unités « externes » (CNRS, INSERM, ONIRIS, Universités).

L'activité du consortium INSECT4CITY a conduit :

- à l'organisation de 16 webinaires thématiques enregistrés de 2h,
- au montage de plusieurs projets : FLY4WASTE (projet exploratoire BETTER), FIFA (projet ciblé en cours d'évaluation par l'ANR), Projet AgriFoodTech (en cours avec A*STAR, Singapour),
- à la thèse de doctorat de Marie Papin, co-encadrée par trois membres du consortium et co-financée par BETTER et QuaPA-MASS (démarrage Décembre 2022),
- à la création d'une e-Veille autour de l'entomoconversion avec l'aide de la DIPSO-INRAE disponible sur l'internet de BETTER,

- à la préparation d'un article de synthèse impliquant la plupart des membres du consortium regroupant les réflexions produites au cours des webinaires est en cours de finalisation pour soumission d'ici la fin de l'année,
- à la présentation du consortium à deux congrès internationaux,
- à l'organisation d'une animation « insectes » sur le stand INRAE du salon de l'agriculture 2023 à Paris,
- à participer à des actions pédagogique (Cours en Mai 2023 dans le cadre d'INSECT Doctor, Summer School autour des insectes organisée par l'université de Grenoble)

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
AGROECOSYSTEM	UMR ITAP	Impacts économiques et sociaux de l'entomoculture
ALIMH	UMR C2VN	Nutrition, bioaccumulation de micronutriments à valeur santé
	UMR CSGA	Acceptabilité sensorielle, défauts organoleptiques
ECOSOCIO	UMR SMART-LERECO	Acceptabilité sociétale, évaluation économique
MATHNUM	UR LISC	Acceptabilité sociétale, impact social des innovations
MICA	UMR MICALIS	Santé des insectes et sécurité microbiologique en entomoculture
	UR LBE	Ecologie microbienne
	UMR SECALIM	Sécurité microbiologique, évaluation bénéfice-risque de santé/alimentation
PHASE	UMR BOA	Zootecnie, nutrition animale, protéines d'insecte en nutrition animale
	UMR SAS	Impacts environnementaux de l'entomoculture, rôle de l'élevage dans la bioéconomie circulaire
TRANSFORM	UR QuaPA	Sécurité chimique
	UMR IATE	Evaluation multi-acteurs/critères, analyse bénéfices risques
	UMR SayFood	Procédés de transformation des insectes
Partenaires	Equipe	Expertises et contributions
Université de Tours-CNRS	UMR IRBI	Biologie de l'insecte
CNRS	UMR GEPEA	Procédés de transformation des insectes pour l'alimentation animale et humaine
SYSAAF	Antenne de Nouzilly	Sélection génétique de l'insecte



FLY4WASTE

Projet Exploratoire
2022 - 2024



© M. Mahdi Karim - Wikipédia

Coordination

Christelle Planche (UR QuaPA)
christelle.planche@inrae.fr

Mots-clés

Bioéconomie
Biodéchets
Economie circulaire
Entomoconversion
Insecte
Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ALIMH
AGROECOSYSTEM
MICA
TRANSFORM

Voir en ligne



Évaluation des bénéfices et risques de l'entomoconversion de biodéchets urbains et péri-urbains par l'insecte *Hermetia illucens*



Evaluer conjointement les bénéfices et risques potentiels de l'entomoconversion pour valoriser les biodéchets issus des zones urbaines et péri-urbaines

L'élevage d'insectes est un moyen écologique de recycler et de valoriser des biodéchets (sous forme de protéines pour l'alimentation animale, d'engrais, de biocarburant, etc.). En milieu urbain et péri-urbain, où la gestion des déchets est plus que jamais un enjeu majeur, l'entomoconversion offre une solution séduisante mais pose aussi des questions spécifiques, notamment en termes d'hétérogénéité des biodéchets et de maîtrise des risques sanitaires. La principale question de recherche est d'évaluer les principaux bénéfices et risques associés à l'utilisation de l'entomoconversion pour recycler des biodéchets issus de zones urbaines et péri-urbaines.

Les bénéfices et les risques étant potentiellement très variés, le projet FLY4WASTE a intégré plusieurs disciplines afin :

1. De réaliser une évaluation des dimensions nutritionnelle, sanitaire (chimique, microbiologique), économique et sociale de l'entomoconversion puis
2. D'exploiter l'ensemble de ces critères pour effectuer une analyse bénéfices-risques de différents scénarios possibles pour ce mode de recyclage des biodéchets.

Avancées et résultats

Le projet FLY4WASTE a regroupé 6 unités de recherche provenant de 4 départements INRAE différents (TRANSFORM, ALIMH, AGROECOSYSTEM, MICA) et il a été mené en collaboration avec le groupe PAPREC, n°3 français du traitement des déchets, et la société d'entomoconversion BioMiMetiC.

Sur une base multicritère (pratiques, sanitaires, économiques, réglementaires...), six flux de biodéchets ont été sélectionnés et étudiés dans ce projet : 4 écarts de production agricole actuellement autorisés par la réglementation comme substrats pour l'élevage d'insectes (carottes, abricots, salade, son de blé) et 2 flux de biodéchets non autorisés à l'heure actuelle comme substrats d'élevage (biodéchets issus de grandes et moyennes surfaces (GMS) et biodéchets issus de cantines scolaires). Un élevage de larves de mouches soldat noires a été réalisé sur ces six flux de biodéchets et une évaluation nutritionnelle, sanitaire (chimique, microbiologique) et économique de l'entomoconversion de ces différents flux a été effectuée ainsi qu'une analyse bénéfices-risques multicritère et interdisciplinaire de ce mode de recyclage des biodéchets.

L'évaluation économique a permis de montrer que les activités d'élevage des larves de mouches soldat noires sur les différents flux de biodéchets semblent constituer une opération rentable. Cependant, pour limiter les risques de manquer de substrat dans les années à venir, il faut se poser la question du modèle de filière que l'on cherche à implanter. Ainsi des modèles basés sur des installations multiples d'élevage à proximité des gisements voire le développement d'installations d'élevage mobiles sembleraient être les plus compatibles avec le développement de la filière entomoconversion.

Des premiers résultats très encourageants ont également été obtenus en ce qui concerne les qualités nutritionnelles des larves élevées sur les biodéchets non autorisés. Les travaux ont montré qu’elles étaient équivalentes à celles des larves élevées sur des biodéchets autorisés (mêmes poids, mêmes teneurs en protéines et en lipides et même capacité à bioaccumuler les micronutriments lipidiques présents dans les biodéchets).

Les études microbiologiques ont permis de démontrer que si des bactéries sporulées se trouvent sous forme de spores dans les substrats, les larves ne sont pas capables de réduire leur nombre de façon significative. L’effet barrière des larves et de leur microbiote est donc faible pour ce type de bactéries, ce qui explique qu’elles sont souvent présentes dans les produits à base d’insectes. Par ailleurs, les larves et frass issus de l’entomoconversion des substrats non autorisés ne sont pas plus contaminés que ceux obtenus avec les substrats autorisés. D’un point de vue microbiologique, les déchets de cantine et de GMS pourraient donc être valorisés comme « nouveaux » substrats d’élevage.

Des travaux relatifs à la sécurité chimique de l’entomoconversion sont actuellement menées, avec un premier focus sur la potentielle vectorisation des métaux lourds par les microplastiques présents dans les déchets non autorisés et leur transfert dans les larves de mouches soldat noires. Un projet ANR PRC baptisé REFLY est en cours de montage pour poursuivre les travaux menés dans FLY4WASTE avec les équipes MASS (QuaPA), Micronutrition Humaine (C2VN), SporAlim (SQPOV) et ICO (IATE).

Quelques publications

- Papin et al., 2024, Black soldier fly larvae (Hermetia illucens) do not bioaccumulate ferulic and caffeic acids from wheat bran <https://doi.org/10.1163/23524588-00001338>
- Vivas et al., 2022, Une analyse systémique et interdisciplinaire de scénarios de développement durable basés sur l’entomoconversion <https://institut-agro-montpellier.hal.science/hal-03999567/>

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
AGROECOSYSTEM	UMR ITAP	Evaluation économique et sociale de l’entomoconversion des biodéchets
ALIMH	UMR C2VN	Nutrition, bioaccumulation de micronutriments à valeur santé s
MICA	UMR MICALIS	Sociologie de l’alimentation
	UMR SQPOV	Sécurité microbiologique des produits de l’entomoconversion. Adaptation des bactéries Gram+ sporulées
TRANSFORM	UR QuaPA	Coordinatrice ; Sécurité chimique du biodéchet au produit de l’entomoconversion (transfert, bioaccumulation et bioamplification de contaminants)
	UMR IATE	Analyse bénéfices-risques ; analyse multicritère & multi acteurs, argumentation & décision
Partenaires		Expertises et contributions
Société BioMiMetiC (FRANCE)		Entomoconversion, élevage des insectes sur les biodéchets
Société PAPREC (FRANCE)		Fourniture de différentes catégories de biodéchets



REBUS

Réseau de recherche pour une Bioraffinerie Urbaine Soutenable



Appréhender les interactions entre les activités qui produisent, transforment, valorisent et consomment des biomasses de façon systématique plutôt que sectorielle, et rendre compte de la dynamique des ressources hydriques, énergétiques et foncières qui sous-tendent ces activités

Le concept de bioraffinerie a été étendu dans les années 2010 à la valorisation de la biomasse résiduaire et nommé bioraffinerie environnementale. Il s'agit de combiner l'intérêt environnemental de la bioraffinerie comme alternative à la pétro-raffinerie et celui de la valorisation des bio-ressources résiduaire. Depuis moins d'une décennie, des recherches portent sur la possibilité d'une bioraffinerie à plus petite échelle et notamment pour la bioraffinerie environnementale. Dans la même ligne, l'idée d'une bioraffinerie environnementale véritablement urbaine et péri-urbaine, c'est-à-dire réfléchie pour être intégrée à la ville ou à son territoire périphérique, est tout aussi innovante. Le passage à ce modèle ne contribuerait pas seulement à améliorer la qualité de l'environnement urbain et à une transformation plus efficace des déchets, mais aussi à aider les citoyens et les collectivités locales à s'adapter aux changements environnementaux, économiques et sociaux, et à saisir les opportunités qui naissent de ces changements (nouvelles compétences et savoir-faire, modernisation et gain en valeur ajoutée de l'industrie, amélioration de la qualité de vie, etc.)

Avancées et résultats

L'animation du consortium REBUS a permis de constituer un **réseau interdisciplinaire de chercheurs** visant à catalyser une réflexion prospective sur la bioraffinerie environnementale urbaine en tirant partie de la diversité thématique et disciplinaire de chercheurs d'INRAE. **L'objectif principal** du consortium était de créer de l'intercompréhension et de co-construire des projets scientifiques. Il s'agissait donc de « semer la graine » de la réflexion interdisciplinaire autour de la bioraffinerie environnementale urbaine auprès des scientifiques de l'établissement.

Les résultats majeurs du consortium REBUS sont :

- La réalisation d'une étude exploratoire des start-ups qui collectent et valorisent les biodéchets. Cette étude a fait l'objet d'un rapport de stage de 2e année de l'INSA Centre Val de Loire et est en cours de valorisation par la soumission d'un abstract à « 10th International Conference on Sustainable Waste Management » : New circular business models for urban solid biowaste valorisation, V. Savary, S. Costa, M. Donner, C. Duquennoi.
- La construction et la tenue de l'Ecole-chercheurs « REBUS : Gérer et valoriser les déchets organiques en contexte urbain ou péri-urbain : la Bioraffinerie Environnementale Urbaine ». en octobre 2022 qui a réunis 30 participants issus du métaprogramme INRAE Bioéconomie des territoires urbains mais aussi extérieurs à INRAE

Consortium
2020 - 2022



© Freepik

Coordination

Christian Duquennoi (UR
PROSE)

christian.duquennoi@inrae.fr

Sandrine Costa (UMR MoISA)

sandrine.costa@inrae.fr

Mots-clés

Bioraffinerie

Déchets

Matières organiques résiduaire

Sous-produits organiques

Soutenabilité

Territoire

Ville

Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ACT

AGROECOSYSTEM

ECOSOCIO

TRANSFORM

Voir en ligne



- L'Ecole-chercheurs a permis de structurer les questions de recherches qui sous-tendent le projet exploratoire FREGATE soutenue par BETTER lors de l'appel à manifestation d'intérêt 2023. Le projet Frégate traitera 3 questions de recherche fortement liées :
 - Comment co-construire un design adapté de Système Urbain de Bioraffinage Environnemental (SUBE) pour son territoire et ses besoins ?
 - En quoi la flexibilité/modulabilité du SUBE change-t-elle le cadre des contraintes du design adapté ?
 - En quoi le cadre de la résilience change-t-il le cadre des contraintes du design adapté ?
- **Participation à 10th international Conference on Sustainable solid waste management** (Chania, Crete, 21-24 June 2023) :
« New circular business models for urban solid waste management », V. Savary, S. Costa, M. Donner, C. Duquennoi »

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ACT	UMR SADAPT	Ethologues, neurobiologie, traitement des images
	UMR LAE	Ethologues, neurobiologie, traitement des images
AGROECOSYSTEM	UR LBE	Caractérisation et optimisation technologique, sanitaire, territoriale et environnementale de procédés et filières de valorisation des biomasses résiduelles
	UMR ITAP	ACV et évaluation environnementale territoriales
ECOSOCIO	UMR MoISA	Economie, gestion et marketing, modèles d'affaires, comportement des consommateurs/utilisateurs de produits issus de la bioraffinerie, organisation de nouveaux marchés
	UMR BETA	Economie, couplage de modèles économiques (équilibre partiel, multi-agents) et de modèles issus d'autres disciplines (ACV, Material Flow Analysis, ...)
TRANSFORM	UR PROSE	Optimisation et innovation technologique de bioprocédés de valorisation des biomasses résiduelles ; écologie microbienne, modélisation, approches systémiques
	UR OPAALE	Optimisation technologique, territoriale et environnementale des filières de valorisation des biomasses résiduelles, ACV
	UR QuaPA	Valorisation de résidus d'abattage d'animaux (sous-produits et déchets ménagères), veille réglementaire
	UR LBE	Caractérisation et optimisation technologique, sanitaire, territoriale et environnementale de procédés et filières de valorisation des biomasses résiduelles
	UMR FARE	Transformation et valorisation des biomasses lignocellulosiques par voies biotechnologiques
	UR BIA	Fractionnement biomasses végétales, matériaux biosourcés,



FREGATE

Projet Exploratoire
2023 - 2024



© Freepik

Coordination

Christian Duquennoi (UR

PROSE)

christian.duquennoi@inrae.fr

Sandrine Costa (UMR MoISA)

Sandrine.costa@inrae.fr

Mots-clés

Bioraffinerie

Biodéchets

Déchets organiques

Flexibilité

Résilience

Territoires

Ville

Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ECOSOCIO

TRANSFORM

Voir en ligne



Systèmes de bioraffinage environnemental Flexibles, Résilients, EGalitaires et Adaptés au Territoire urbain



Considérer les différents besoins du territoire, les différentes fonctions attendues du système de bioraffinage par les acteurs en amont de sa conception, prendre en compte les nécessités de flexibilité et de modularité, développer la capacité des systèmes de bioraffinage à s'adapter à des (r)évolutions potentielles, voire à se transformer

Parmi les nombreux défis auxquels sont confrontées les villes, la gestion des biodéchets apparaît comme un défi qui va devenir de plus en plus prégnant. En effet, la loi AGEC prévoit la généralisation de la collecte séparée des biodéchets à tout le territoire et à tous les producteurs au 31 décembre 2023. Or en 2020, seules 175 collectivités françaises disposaient d'une collecte séparée des biodéchets (ménages et/ou professionnels) représentant une couverture de seulement 6% de la population. Beaucoup de villes n'ont pas encore mis en place de systèmes de collecte et de valorisation pour les biodéchets fin 2024. L'obligation réglementaire sur la valorisation des biodéchets, tout comme les enjeux de transition alimentaire et énergétique, confirment l'urgence d'une réflexion approfondie quant aux meilleures modalités d'organisation de cette valorisation, intégrant circularité et adaptation au territoire.

Avancées et résultats

Le projet FREGATE a cherché à répondre à l'interrogation suivante : Comment construire des solutions de bioraffinage environnemental flexibles, résilientes et adaptées à un territoire urbain ? en traitant trois questions de recherche fortement liées

1. Comment co-construire un design adapté de Système Urbain de Bioraffinage Environnemental (SUBE) pour son territoire et ses besoins ?
2. En quoi la flexibilité/modularité du SUBE change-t-elle le cadre des contraintes du design adapté ?
3. En quoi le cadre de la résilience change-t-il le cadre des contraintes du design adapté ?

Un premier volet de recherche a donc été consacré, à travers des analyses bibliographiques et entretiens à **établir un état des lieux, à adapter les notions à notre problématique et à les partager au sein des différentes disciplines du consortium à fin d'appropriation**. Ainsi, par « bioraffinage environnemental », il est défini « la transformation soutenable de biomasse résiduaire (déchets et sous-produits) en un spectre de produits biosourcés (alimentation humaine et animale, matériaux, molécules d'intérêt, etc.) et/ou de bioénergie (biocarburants, électricité, chaleur) » (d'après la définition de bioraffinage par l'Agence Internationale de l'Energie). De plus, il est appelé « système urbain de bioraffinage environnemental »⁽¹⁾.

⁽¹⁾ l'ensemble du système constitué par la collecte sélective de la biomasse résiduaire sur le territoire couplée aux procédés de transformation en bio-produits/bio-énergie installés sur le territoire jusqu'à la valorisation des produits obtenus le cas échéant

Le second volet a été consacré à la **construction d'une connaissance collective et interdisciplinaire des systèmes existants : au niveau de SUBE complets, et au niveau de parties de SUBE (amont/aval)**. Le cadre utilisé pour cet état des lieux construit collectivement a recueilli simultanément des informations techniques et organisationnelles. Plusieurs enquêtes menées auprès d'acteurs de ces systèmes, et en particulier auprès d'initiatives (start-ups, associations, coopératives, ...) de collecte et de valorisation des biodéchets, sur différents territoires ont permis l'acquisition de données qualitatives concernant près de 70 initiatives locales de collecte et de valorisation des biodéchets sur l'ensemble du territoire français.

Le troisième volet a consisté à approfondir l'analyse, en particulier en **collectant les données qualitatives et quantitatives pertinentes, sur deux terrains d'étude** (Saint Etienne et Nantes) identifiés dans le volet 2 pour pouvoir ensuite, dans le volet 4, pré-tester une partie des méthodes développées sur l'un ou l'autre de ces terrains.

Le quatrième volet a permis de tester les méthodes identifiées et/ou développées dans le volet 3 par objectif (design adapté/flexibilité/résilience du territoire). Les avancées réalisées ont permis de développer une méthode d'évaluation de la flexibilité d'un SUBE basée sur la méthode dédiée aux procédés chimiques développée par I.E. Grossman à partir des années 1980 qui a été testée sur un cas de compostage. FREGATE a aussi analysé l'effet des SUBE sur la résilience de leur territoire en construisant un modèle conceptuel basé sur la modélisation dynamique des systèmes (Systems Dynamic Modelling, SDM), sur le cas de Nantes.

L'ensemble de ces démarches de co-construction, de développement de méthodes et d'analyses des SUBE a conduit à la construction d'un projet interdisciplinaire de plus grande envergure (projet FRUITS), soumis à l'AAPG de l'ANR en octobre 2024.

Quelques publications

- Costa, S., Donner, M., Duquennoi, C., & Savary, V. (2024). Biological valorization of urban solid biowaste: A study among circular bioeconomy start-ups in France. Sustainable Chemistry and Pharmacy, 39, 101545
- Alileche, N., Athès, V., Duquennoi, C., Buendia, F. "Assessing Flexibility in Biowaste Management Systems for Sustainable Solutions". 19ème Congrès Français de Génie des Procédés, Oct 2024, Deauville, France. (hal-04820202)

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ECOSOCIO	UMR MoISA	Comportement des acteurs, économie, marketing ; Diagnostic territorial, acteurs et territoire, comportement d'acteurs, gouvernance
TRANSFORM	UR BIA	Caractérisation et valorisation des produits bio-sourcés et co-produits dans les systèmes bio-économiques ; Modélisation des connaissances scientifiques ou à dires d'expert
	UR LBE	Génie des Procédés
	UR OPAALE	Filières de gestion des déchets urbains, territoire, évaluation environnementale, analyse spatiale ; Génie des procédés
	UR PROSE	Génie des procédés de valorisation des biodéchets, approches systémiques et modélisation
	UR QuaPa	Caractérisation physico-chimique de sous-produits animaux et des molécules extraites ; Génie des procédés ; Prise en compte du territoire
	UMR SayFood	Génie des Procédés, conception adaptée aux échelles territoriales, modularité des procédés, intensification
Partenaires	Equipe	Expertises et contributions
Centre International de Ressources et d'Innovation pour le Développement Durable (CIRIDD)	Pôle Innovation et Animation territoriale	Accompagnement des territoires à aller vers plus d'économie circulaire
Compostond		Terrains d'étude compostage et valorisation des biodéchets, organisation des acteurs
REGARDS		Economie écologique
Université de Technologie de Troyes (UTT)	UR INSYTE	Economie circulaire, écologie industrielle et territoriale, métabolisme urbain, transition des systèmes socio-techniques, résilience



BEST

Bioéconomie et systèmes de petite échelle de collecte, traitements et valorisation agronomique des biodéchets urbains en Guadeloupe

Parcours sans

Projet exploratoire 2024



© Freepik

Coordination

Jean-Marc Blazy (UR ASTRO)
jean-marc.blazy@inrae.fr

Mots-clés

Biodéchets
Recyclage
Acceptabilité
Scénarios
Modèle

Départements INRAE

[AGROECOSYSTEME \(AES\)](#)

[ECOSOCIO](#)

[GA](#)

[MATHNUM](#)

[PHASE](#)

[TRANSFORM](#)



La Guadeloupe, un territoire privilégié pour conduire des recherches en bioéconomie circulaire à différentes échelles, quartiers, villes, communes, territoire.

En Guadeloupe, la réduction et le recyclage des biodéchets deviennent un enjeu très important du développement durable de l'île. La production des déchets organiques est en effet d'environ 800 000 tonnes par an, et une grande partie de cette biomasse, en particulier celle issue des biodéchets urbains n'est ni triée ni valorisée. Exacerbée dans le contexte insulaire, la question du bouclage des cycles pour l'autonomie alimentaire et de la concurrence d'usage des terres et des bioressources se pose avec acuité.

Avancées et résultats

Le parcours interdisciplinaire BEST visait à développer et évaluer des modèles de collecte, de traitement et de valorisation (CTV) des biomasses résiduelles, adaptés aux besoins spécifiques de la Guadeloupe. L'objectif est de créer un outil d'aide à la décision pour faciliter la transition bioéconomique vers une plus grande durabilité. BEST a étudié l'acceptabilité et la faisabilité de systèmes de petite échelle de CTV de biodéchets urbains et leurs connexions possibles au sein de l'île.

BEST est aussi venu en renforcement du projet de thèse de Suzon Garnier à l'UR ASTRO depuis novembre 2023 (thèse labellisée BETTER). Cette thèse vise à développer un outil de modélisation et d'évaluation multi-critères de scénarios de transition bioéconomique pour optimiser la circularité de la gestion des biodéchets ménagers en Guadeloupe.

BEST a contribué à la réflexion sur les méthodes génériques de modélisation intégrée (spatialement explicite et transdisciplinaire) de tels systèmes bioéconomiques, y compris leur évaluation dans le cadre de scénarios co-construits avec les acteurs locaux (associations, rectorat, collectivités). BEST a :

- réalisé un diagnostic pour analyser les flux de biomasses résiduelles en Guadeloupe et identifier les obstacles et leviers pour leur valorisation ;
- estimé les pratiques actuelles des foyers en matière de gestion des biodéchets alimentaires et des déchets verts afin d'améliorer les stratégies de gestion et de valorisation ;
- évalué le niveau d'acceptabilité de solutions pour promouvoir le tri des biodéchets et leur compostage à différentes échelles.

Le diagnostic des biomasses résiduelles a permis de quantifier les gisements et les flux actuels de biomasses d'intérêt (cf. figure)¹

Voir en ligne



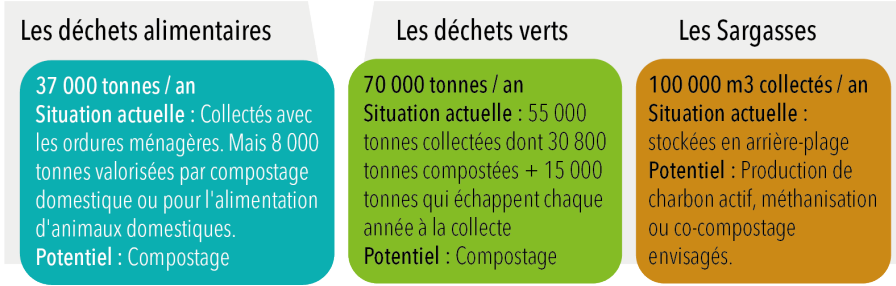


Figure : Chiffres et situations des biomasses résiduelles en Guadeloupe 2024 (Garnier et al., 2024)

Les données recueillies via des **enquêtes auprès de 152 personnes** montrent que :

1. **les pratiques de tri et de compostage** sont en place dans une partie des foyers mais que des obstacles importants existent,
2. **le manque d'infrastructures et de solutions techniques adaptées** sont des freins majeurs,
3. il existe une **insuffisance de sensibilisation et de communication sur les enjeux et méthodes de recyclage**.
4. **Toutefois on note un intérêt croissant des ménages en particulier pour le compostage**

Le diagnostic réalisé a notamment permis d'établir qu'en Guadeloupe, la gestion des biomasses résiduelles représente bien un enjeu crucial pour le développement durable de l'île. L'île est en effet confrontée à une saturation progressive des sites d'enfouissement, et une grande partie de cette biomasse, en particulier celle issue des biodéchets urbains, n'est ni triée ni valorisée. L'île présente une grande intrication entre territoires urbains et zones rurales, avec 96,4 % de la population vivant dans une unité urbaine (Costemalle, 2020). Parmi ceux qui ne trient pas encore leurs biodéchets, 84% seraient prêts à le faire s'il y avait une collecte séparée des biodéchets alimentaires. Par ailleurs, 60% des répondants estiment ne pas être suffisamment informés sur le recyclage des biodéchets.

Dans ce contexte, il conviendra de voir, en impliquant les acteurs locaux, comment des systèmes de valorisation de collecte et valorisation des biodéchets pourraient émerger dans ce territoire particulier qu'est la Guadeloupe : à quelle échelle développer le recyclage et selon quelles modalités en fonction des caractéristiques de l'habitat (contraintes et opportunités des milieux urbains et péri-urbains) ? C'est pour cela que le projet BEST-SCHOOL, co-construit via BEST, contribuera à la réflexion sur l'acceptabilité sociale et économique des nouvelles solutions de circularité entre ville et milieux périurbains et l'évaluation de leurs bénéfices environnementaux.

Quelques publications

Suzon Garnier, Emma Kernevez, Jean-Marc Blazy, François Causeret, Carla Barlagne. Gestion des biodéchets dans les foyers Guadeloupéens : une enquête exploratoire. 2024. <hal-04837246>

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
AES	UE ASTRO	Recyclage des biodéchets en agriculture et évaluation agronomique
ECOSOCIO	UR ASTRO	Modélisation ; micro-fermes agro-écologiques ; acceptabilité des bio-intrants ; économie expérimentale, prospective
	UR ETTIS	Modèles socio-économiques de bioéconomie circulaire
	UMR MOÏSA	Sciences de gestion et économie
GA	UE PTEA	Gestion des effluents d'élevage, ressources locales, liens avec les partenaires socio-économiques
MATHNUM	UR LISC	Systèmes complexes
PHASE	UR ASSET	Systèmes d'élevage de petite taille, liens avec les partenaires socio-économiques
TRANSFORM	UR OPAALE	Modèles de transformation bioéconomique, filières de valorisation biologique des déchets et résidus organiques , évaluation environnementale ; drivers de transition ; low-tech
Partenaires	Equipe	Expertises et contributions
CIRAD	UR Recyclage et risque	Recyclage de biodéchets et évaluation environnementale ; scénarios territorialisés de gestion circulaire des biomasses
Association EKOsitwayen Gwadeloup		Promotion du compostage domestique et des jardins familiaux

¹ L'évaluation des flux de biomasses résiduelles s'est heurtée à un manque de données quantitatives précises, en particulier concernant les sargasses et les biodéchets alimentaires. Aucune étude ne recense les quantités de sargasses échouées par commune en Guadeloupe, ce qui limite la caractérisation du gisement. Pour les biodéchets alimentaires, leur quantification est complexe car il n'y a pas de collecte séparée, ils sont mélangés aux OMRs. De plus, il est difficile de caractériser quantitativement et qualitativement leur provenance, puisque les OMRs des ménages, des entreprises

et de la restauration collective sont collectées sans distinction. L'estimation des biodéchets alimentaires repose donc en partie sur des extrapolations à partir des données de l'étude Caractérisation des déchets ménagers et assimilés MODECOM 2022 de l'ADEME

• Partenaires	Equipe	• Expertises et contributions
• CIRAD	UR Recyclage et risque	• Recyclage de biodéchets et évaluation environnementale ; scénarios territorialisés de gestion circulaire des biomasses
• Association EKOsitwayen Gwadeloup		• Promotion du compostage domestique et des jardins familiaux





INRAE



**Quelles organisations pour une
bioéconomie urbaine ancrée dans les
territoires ?**

METAPROGRAMME BETTER



CARIBOU

CirculARlty of the Bakery prOdUction



Accompagner le développement de la circularité de la filière de panification d'un point de vue socioéconomique, organisationnel et technologique usage des pertes et des invendus de pains

Projet Exploratoire
2022 - 2023



© Freepik

Coordination

Tiphaine Lucas (UR OPAALE)
Tiphaine.lucas@inrae.fr

Mots-clés

Bioéconomie
Conflit d'usage
Flux
Invendus et rebuts (RIP)
Pain
Récupération
Valorisation
Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ACT
MICA
TRANSFORM

En France, ces Rebuts et Invendus de Pain représentent de l'ordre de 500 000 et 270 000 t en transformation industrielle et en distribution respectivement et sont majoritairement produits en zones urbaine et périurbaine. Le projet exploratoire « CARIBOU » s'intéressait à la gestion et valorisation des rebuts et invendus de pain (RIP) aux étapes de production et de distribution. Pour accompagner le développement des filières de valorisation des RIP, CARIBOU réunissait à la fois de l'évaluation environnementale et des technologues et des sciences humaines et sociales, répartis sur trois départements INRAE.

Avancées et résultats

CARIBOU visait à mieux caractériser les flux de ces RIP, leurs filières de gestion et valorisation (celles sollicitées sur le terrain par les producteurs de RIP et dans la littérature scientifique), leur dépendance au contexte (typologie de producteur de RIP et caractéristiques du territoire), et leur adéquation à la réglementation (loi AGECE, loi GAROT). Il visait aussi à explorer des valorisations par fermentation en milieu liquide et solide, par voie fongique ou mixte.

1. Une analyse de la littérature sur 2016-2022 a montré que pour cette bioressource, les articles couvrent l'ensemble des valorisations envisageables et listées dans la hiérarchie réglementaire. Un travail de formalisation de la revue de littérature scientifique sur la valorisation des RIP sur la période 2016-2023 a été nouvellement soumis à Journal of Industrial Ecology en Octobre 2024. Ce travail a confirmé de manière quantitative que si l'effort de recherche était porté sur l'ensemble des voies de valorisation pour ce substrat, il était déséquilibré par rapport à la hiérarchie recommandée par la réglementation (chiffage sur la base d'une proportion d'articles par type de valorisation sur la période). CARIBOU a permis de s'interroger sur les critères qui devaient nourrir le choix du décideur vers une valorisation. De manière tranchée par rapport à la période précédente, il a été constaté un effort de recherche en lien avec l'intention initiale du produit étudié (prévention et recyclage pour l'alimentation humaine). Ce dernier résultat a été déterminant dans l'orientation prise pour le dépôt ANR AAPG 2023 (μCosmos). Enfin, CARIBOU a souligné que l'étape de prévention pouvait cacher une partie de l'impact (cas où le producteur de RIP ne s'en défait pas et mobilise sur site des actions basses de la hiérarchie) et que le rendement de l'opération de valorisation était trop souvent éludé dans les recherches publiées jusqu'ici (bioraffineries en particulier). Cette réflexion a orienté le positionnement de la tâche 2 avec par exemple l'exploration d'une fermentation des RIP sans stérilisation et sans inoculation.

Voir en ligne



2. CARIBOU a aussi exploré les **voies de valorisation par voie fongique ou mixte** (levure/ bactérie), avec une réflexion de sobriété du procédé (sans stérilisation ou/et sans extraction). L'étude bibliographique avait mis en évidence que, la majorité des voies décrites dans la littérature sont mises en œuvre par des souches pures qui exigent le plus souvent de stériliser le milieu et de mettre en place une étape finale de purification souvent complexe pour extraire la molécule d'intérêt. L'ensemble de ces contraintes pénalise économiquement les filières et très peu de cas de production de molécules d'intérêt à l'échelle industrielle sont décrits. La consommation d'énergie pour la stérilisation des RIP, la complexité des technologies mises en œuvre, la gestion des résidus liés au faible rendement massique de la production limitent l'intérêt environnemental de l'utilisation de RIP pour la production de molécules d'intérêt. Les premiers essais menés à OPAALE-PANDOR ont montré que quel que soit le type de pain (pain complet, baguette de farine blanche ou pain de mie longue conservation) et les conditions de stockage, la fermentation butyrique domine dans 7 configurations sur 9. Dans les deux autres cas la fermentation s'est plutôt orientée vers la voie malolactique. Les molécules secondaires produites étant les acides acétiques et succiniques. L'acide butyrique a des propriétés anti-inflammatoires reconnues et de nombreux travaux sont en cours pour évaluer le bénéfice santé d'apport de cet acide. Trois souches de la collection du Centre International des Ressources Microbiennes –Banque de Ressources Fongiques de Marseille ont été ciblées, parmi des espèces réputées comestibles (*Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* et *Pleurotus ostreatus*). Sur la base d'observations macroscopiques des cultures (vitesse de colonisation et densité), la souche *Pleurotus ostreatus*, BRFM 1326 a été sélectionnée. Le profil des acides aminés et les analyses compositionnelles des fibres alimentaires totales de l'échantillon de pain colonisé par le champignon en comparaison au pain témoin ont montré un bénéfice nutritionnel apporté par la culture fongique. La quantité de fibres alimentaires insolubles et amidons résistants a notamment plus que doublée.

3. **Les flux de RIP, par voie de valorisation en local, et avec leurs déterminants** ont été étudiés par le biais d'enquêtes auprès des acteurs de la boulangerie (boulangerie artisanale (BA), boulangerie industrielle ou semi-industrielle) ou de la distribution (superettes et GMS) et des associations caritatives sur Rennes Métropole et sur Plaine Commune en région parisienne.

- La moyenne et grande distribution (GMS) s'est révélée difficile d'accès. Une vingtaine d'enquêtes au total sur les deux territoires ont été menées, auprès des responsables de rayon le plus souvent. Il a pu être constaté que la GMS cherche d'abord à prévenir la perte (promotion en lots car gestion financière à l'échelle des rayons), puis sollicite la collecte biodéchets (loi AGECE gros producteurs). Les résultats sur les acteurs de la distribution sont convergents sur les deux territoires.
- Sans surprise, **les supérettes**, souvent non concernées par la réglementation (obligation du tri des biodéchets, conventionnement du don alimentaire), jettent en quasi-totalité aux ordures ménagères (demain à une collecte biodéchets).
- Au vu des premières enquêtes auprès des **associations caritatives** et de manière marquée sur Plaine Commune, le pain ne semble pas un produit alimentaire central pour l'aide alimentaire, ce qui explique que ce soit une voie de valorisation mineure en GMS. Le pain à base de farine blanche n'est pas pris par l'aide alimentaire (« pain canard » car juste bon à donner aux canards) faisant écho à la sélection de pains spéciaux par les acteurs du recyclage alimentaire, que ce soit en microbrasserie (pain aux céréales) ou en biscuiterie (filière biologique). Ceci implique :
 - i. qu'il conviendrait de ne pas dissocier ces deux valorisations car possiblement « en compétition » pour la même matière,
 - ii. que le pain blanc pourrait être valorisé au travers d'une filière basse (alimentation animale, ou bioraffinerie ?) sans compétition pour la ressource avec l'alimentation humaine.
- La **production Boulangerie, Viennoiserie et Pâtisserie (BVP) semi-industrielle ou industrielle** (4 enquêtes sur Rennes Métropole) valorise de manière privilégiée vers l'aide alimentaire et l'alimentation animale ; la collecte biodéchets est mobilisée en alternative. Ces acteurs sont tous intéressés par le recyclage alimentaire (en boucle fermée ou pas), mais n'ont pas passé le pas (au stade de tests tout au plus). La différence avec la GMS pour l'aide alimentaire s'expliquerait par la nature de l'écart (écart de production disponible dès le matin du jour de production versus surplus de fin de journée disponible le lendemain).
- Un métabolisme territorial a été ébauché sur Rennes Métropole pour les **boulangeries artisanales** (Figure). Sous réserve de confirmation, un flux significatif lié à la prévention (~20% au total) a été révélé par cette analyse et le portefeuille de valorisation semble différent en zone rurale (peu de passage d'associations pour l'aide alimentaire et plus de « troc »). Il est envisagé de compléter ce travail dans le projet ANR « μ COSMOS ».

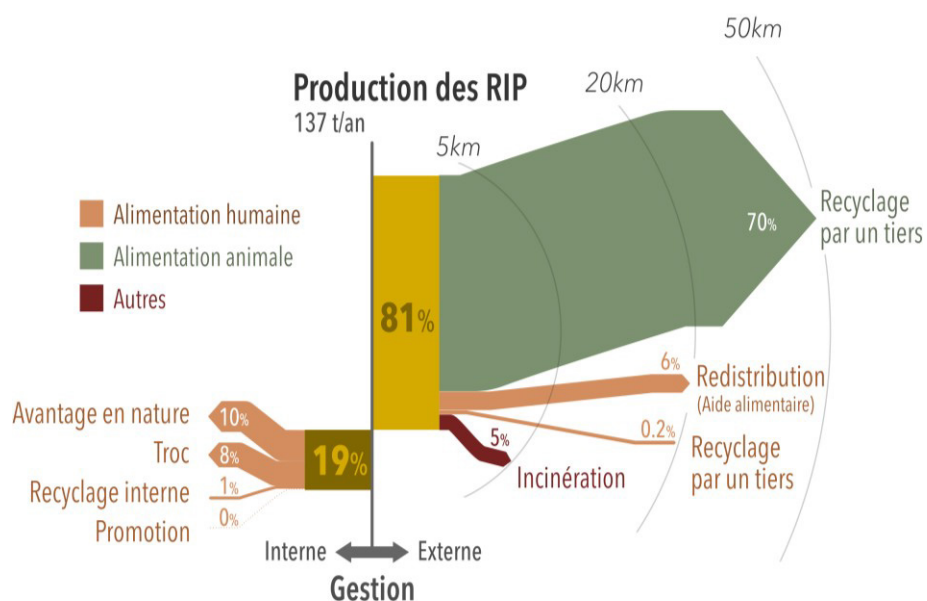


Figure : Diagramme Sanké du métabolisme des RIP des boulangeries artisanales à Rennes Métropole (ici ville de Rennes) (d'après la communication CIEC 2024)

Quelques publications

- Lucas, T., Thiriet, P., Redlingshöfer, B., Aissani, L. (2024). Valorisation des rebuts et invendus de pain – Exemple d'instrument d'une circularité territoriale existante mais fragile. CIEC, Montpellier.

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ACT	UMR SADAPT	Analyse interdisciplinaire du métabolisme territorial
MICA	UR UMR BBF	Souches et croissances fongiques
TRANSFORM	UR OPAAL	Génie des procédés, évaluation environnementale, estimation de flux à partir d'enquêtes, métabolisme territorial



Consortium
2020



© Freepik

Coordination

Clarisse Cazals (UR ETTIS)

clarisse.cazals@inrae.fr

Mots-clés

Économie circulaire

Ville

Flux

Déchet

Bioéconomie

Zone urbaine / péri-urbaine

Modèles

Départements INRAE

AQUA

ECOSOCIO

MATHNUM

TRANSFORM

CircuTeBio

Les modèles d'économie CIRCULAIRE dans les Territoires urbains : quelles transitions vers la BIOéconomie ?



Confronter et articuler une approche compréhensive de la transition bioéconomique observée sur le terrain avec celle envisagée par la modélisation

En 2018, l'Union Européenne a révisé sa stratégie bioéconomie en la recentrant sur le développement de l'économie circulaire (EC) qui est considérée comme une alternative à l'économie linéaire réduisant la dépendance aux ressources et les coûts de gestion des déchets. Étant donné les prévisions de croissance des systèmes urbains, celles des demandes de nourriture, énergie, eau et de la production de déchets qui leur sont associées, le développement de ces secteurs sur les principes de l'EC constitue un défi majeur mais aussi des perspectives de transition écologique pour les villes et leurs territoires d'influence. L'enjeu du développement de l'EC est que cette gestion des déchets entraîne une mutation des modèles productifs, notamment en faveur de l'usage des ressources secondaires. Il est essentiel d'identifier les différentes composantes techniques, économiques, sociales et politiques qui contribuent à la diversité de ces modèles et d'étudier si cette diversité se traduit par la confrontation, la concurrence ou la porosité, voire l'hybridation, entre les modèles.

Avancées et résultats

Le consortium Circutebio a bénéficié d'un soutien du MP BETTER, durant deux ans en 2021 et 2022. Initialement constitué d'environ 20 chercheurs, les activités du consortium ont reposé sur l'implication active d'une dizaine de chercheurs et la mobilisation ponctuelle et ciblée de la seconde composante du consortium. Ce consortium, particulièrement hétérogène en termes de compétences disciplinaires et thématiques, avec toutefois une composante importante en Sciences Humaines et Sociales (SHS), avait pour objectif de faire progresser l'interdisciplinarité entre les SHS mais aussi entre les SHS et les sciences biotechniques et les approches de modélisation. Les membres du consortium se sont engagés dans la rédaction d'un « position paper » en s'appuyant sur les deux problématiques transversales présentées ci-dessous et élaborées collectivement :

1. Les processus de transformation des déchets et des biodéchets en ressources sont complexes, interdépendants et s'inscrivent dans le temps long. En privilégiant la question des processus de qualification des déchets en ressource et inversement, la différenciation entre déchets et biodéchets tout en étant prise en compte devient secondaire.
2. A l'échelle d'un système urbain, ces processus croisent des dimensions réglementaires, techniques et socio-économiques constitutives de trajectoires physico-technologique et institutionnelle qu'il importe d'élucider. Quels sont les acteurs impliqués dans la définition / l'appropriation territoriale des réglementations ? Sont-ils porteurs d'une diversité de système de valeur à l'origine de confrontation, d'inégalités d'effort environnemental, de transformation ? Quel(s) rôle(s) joué(s) par l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), les infrastructures, dans la définition/valorisation des qualités support du développement d'une bioéconomie circulaire qui n'est pas uniforme.

Voir en ligne



Rédaction collective d'un position paper qui propose une grille lecture interdisciplinaire de la diversité et de l'hybridation des modèles d'économie circulaire. Tout en étant inspirée de l'analyse des modèles économiques en économie institutionnelle, l'ambition est de faire une proposition théorique interdisciplinaire qui met à jour la gamme des possibles, et qui dépasse les limites des approches individualistes ou holistes et des approches spécialisées sur un type de déchets et/ou de ressources.

Réalisation d'une enquête exploratoire interdisciplinaire (économie, science politique, modélisation) en lien avec la rédaction du position paper. Cette enquête a été menée sur le site de Gardanne, dont l'histoire industrielle conduit certains acteurs à qualifier ce territoire de zone intermédiaire, voire de territoire « poubelle ». Elle comprend un travail d'archive et des entretiens semi-directifs (15), menés auprès des acteurs socio-économiques de l'économie circulaire du territoire de Gardanne, mais aussi de la région PACA et de la communauté de commune Aix Marseille. Elle s'est déroulée entre juin 2022 et février 2023 et a bénéficié de l'appui d'un stagiaire de master 2 durant l'été 2022. Les résultats de l'enquête ont permis d'éprouver et d'affiner les hypothèses du collectif de travail, notamment sur les composantes structurantes et les trajectoires des modèles d'économie circulaire.

Avancement d'un travail interdisciplinaire plus spécifique entre économie politique et modélisation qui traite la question de la coexistence, de l'hybridation des différents modèles d'économie circulaire et de la contribution de cette dynamique aux transitions socio-écologiques. L'élaboration d'un projet de thèse croisant modélisation et économie institutionnelle viendra soutenir cet objectif de recherche.

Le consortium a bénéficié de l'appui de 4 stagiaires dont 2 financés par Circutebio.

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
AQUA	UR ETTIS	Sociologie, politique des déchets en ville
ECOSOCIO	UR ETTIS	Économie institutionnelle des filières bioéconomiques, Justice environnementale, Science politique, Économie politique de la forêt, Géographie, Analyse des systèmes socio-techniques, Analyse des réseaux, Sociologie, Politique des déchets en ville, Économie de la filière bois
MATHNUM	UR LISC	Simulation des systèmes sociaux
TRANSFORM	UR OPAALE	Optimisation technique, environnementale et spatiale des filières de valorisation des biomasses résiduelles
Partenaires	Equipe	Expertises et contributions
NEOMA BS	Chaire de Bioéconomie Industrielle	Economie, étude des transitions
Université Paris 8	Ladyss	Economie, bioéconomie
URCA	Regard	Economie, bioéconomie, sociologie



EDIFICE

Evaluation de bioraffineries pour la valorisation des déchets verts de maraîchage dans la région nantaise



Améliorer la création de bioraffineries non pas uniquement sur le plan technique mais aussi grâce à une meilleure inclusion dans le territoire et un meilleur approvisionnement

La gestion actuelle de déchets maraichers produits en périphérie de Nantes est coûteuse, génératrice de tensions (odeurs, stockages), de pollutions et elle contribue peu à la bioéconomie du territoire. Des bioraffineries ont potentiellement un rôle à jouer dans le recyclage de ces déchets, mais les incertitudes sur leur viabilité économique, sur les externalités et sur les contraintes technologiques et logistiques rendent difficile la prise de décision par les parties prenantes. Le projet EDIFICE proposait de progresser vers la prise en compte d'une composante « transformation » et plus spécifiquement des voies de valorisation des déchets verts issus du maraîchage en zone péri-urbaine.

Avancées et résultats

Le projet EDIFICE s'est appuyé sur les précédents travaux de FLEXIBI (cas d'étude les déchets verts issus des serres de tomate de la région nantaise) dont l'hypothèse initiale était la viabilité de l'extraction de protéines végétales à partir de feuilles et de tiges de tomate. EDIFICE

- a récolté les informations disponibles sur les différentes biomasses résiduelles disponibles sur le territoire nantais, (volumes, localisations, compositions (voire d'autres propriétés fonctionnelles), véritables « données d'entrées », indispensables pour évaluer la pertinence de voies de valorisation possible à l'échelle d'un territoire.
- a développé une méthode simple et rapide d'analyse quantitative de différentes fractions de la biomasse par FTIR (spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier).

1. Les premiers travaux réalisés en 2022 (la constitution et l'analyse d'une base SIG « Localisation et surfaces des serres tomate et concombre dans le département 44 ») ont montré que les informations sur les gisements de biomasse du territoire nantais sont à l'heure actuelle largement manquantes ou difficile à exploiter. Il s'agit en particulier des compositions des résidus de cultures dont les valeurs fournies dans la littérature varient significativement. La collecte des informations sur les gisements de biomasse du territoire considéré constituait un verrou fondamental pour construire des scénarios intégrant une valorisation par la bioraffinerie. Le projet a été réorienté en conséquence pour traiter plus spécifiquement ce verrou suivant deux axes de recherche :

- La mise au point d'une caractérisation rapide de la biomasse issue de déchets de maraîchage afin de guider une valorisation potentielle en bioraffinerie. La mise au point de la méthode par FTIR est en cours pour quantifier la fraction protéique de diverses biomasses : feuilles de concombre, feuille/tige de tomate, talons d'asperges, marc de pomme, résidus fibreux etc. Des travaux similaires devront être entrepris pour identifier les méthodes de screening et envisager à terme la construction d'une base de données.

Projet Exploratoire
2022 - 2023



© UR BIA, INRAE

Coordination

Kamal Kansou (UR BIA)
kamal.kansou@inrae.fr

Mots-clés

Bioéconomie
Evaluation de scénario
Scénario
Valorisation
What if

Départements INRAE

ACT
AGROECOSYSTEM
TRANSFORM

Voir en ligne



2. Par ailleurs un travail en commun avec Maelab (Biopole de Colmar émanant du LAE) a été initiée pour intégrer le volet logistique au module filière de l'outil MAELIA, plateforme de modélisation et de simulation dynamiques des territoriales.
- Un volet modélisation multi-acteurs, pour développer une approche de modélisation hybride, associant connaissances et données, pour modéliser la dynamique d'un système a aussi été abordé. Cette approche très exploratoire menée lors d'un travail post-doctoral a fait l'objet d'une communication dans le Qualitative Reasoning workshop associé à la conférence ECAI

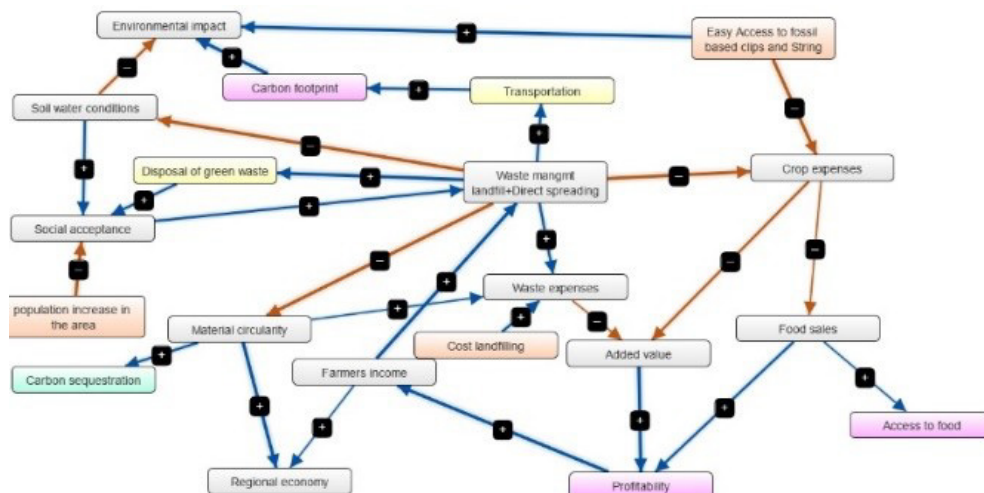


Figure : Fuzzy Cognitive Map construite sur la base des entretiens avec les producteurs de tomates sous-abri de la région nantaise.

Ce type de modélisation a pour but de faciliter la prise de décision informée par les diverses connaissances et les différents points de vue, notamment en permettant d'identifier les impacts de scénarios possibles pour améliorer un système bioéconomique. Un travail a porté sur l'application du cadre méthodologique VDA (Vision Design and Assessment) pour la vision partagée multi-acteurs sur le sujet : « gestion de déchets vert de serre ». Ce travail a permis de tester l'approche en allant jusqu'à la construction d'une « Fuzzy cognitive map » (FCM) à partir d'entretiens de producteurs de tomate, permettant de modéliser qualitativement des scénarios à partir de résultats de simulation (Figure).

Quelques publications

- Communication Orale. K. Kansou. 2023. RaFFUT : A bioReFinery for yoUr Territory. Journées de printemps du GDR Dumbio.23-25 Mai Saint-Rémy-lès-Chevreuse
- Communication sur Invitation. K Kansou, INRAE. 2023. Penser une bioraffinerie territoriale, prise en compte des gisements par une approche multicritère. Journée de lancement du programme RECYCOMP (PEPR recyclage, recyclabilité et réutilisation des composites). Maison de l'agriculture de Loire-Atlantique Nantes
- Mélanie Munch, Kamal Kansou, Bert Bredeweg, Cédric Baudrit, Pierre-Henri Willemin. 2023. Grounding Causality in Bayesian Networks Using Qualitative Reasoning. QR@ECAI23, Sep 2023, Krakow, Poland. {hal-04401966}
- Halbe, J., & Adamowski, J. (2019). Journal of Environmental Management, 231(September 2018), 1028–1047.

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ACT	UMR LAE	Choix des indicateurs, modélisation et Analyse de scénarios de systèmes bioéconomiques territoriaux
AGROECOSYSTEM	UMR LAE	Plateforme MAELIA
TRANSFORM	UR BIA	Analyse du territoire nantais, modélisation conceptuelle, évaluation multicritère, approche participative avec les parties prenantes Procédés de transformation de la biomasse, extraction et caractérisation de la fraction protéique Caractérisation de la biomasse lignocellulosique, Procédés de transformation de la biomasse



Consortium
2020 - 2022



© Freepik

Coordination

Caroline Pénicaud (UMR SayFood)

caroline.penicaud@inrae.fr

Violaine Athes (UMR SayFood)

violaine.athes-dutour@inrae.fr

Mots-clés

Biodéchets

Bioéconomie

Economie circulaire

Flux

Territoire

Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ACT

AGROECOSYSTEM

ECOSOCIO

TRANSFORM

Voir en ligne



PeriUrbanWasteEng

Vers une ingénierie des déchets agricoles et alimentaires sur un territoire péri-urbain à urbanisation croissante : comment les transformer (ou pas) pour quelle diversité d'usages ?



Favoriser la circularité des flux par la valorisation et la réduction des déchets

Les systèmes alimentaires (production agricole, transport, stockage, transformation, distribution, achat, consommation) génèrent des déchets à chaque étape et de manière différenciée selon les situations et les territoires, impliquant des acteurs différents : agriculteurs, professionnels de la transformation, associations, ménages, restaurateurs, et in fine les mangeurs. L'empreinte carbone correspondante est estimée à plus de 3 milliards de tonnes équivalent CO2 par an soit 6,7% de l'ensemble des émissions mondiales de gaz à effet de serre. L'objectif de notre consortium PeriUrbanWasteEngineering était de réfléchir à la co-conception de solutions et d'innovations pour la réduction, la gestion et la diversification des usages des biodéchets du territoire du plateau de Saclay et de la plaine de Versailles, territoire périurbain à urbanisation croissante.

Avancées et résultats

Des enquêtes menées auprès des parties prenantes du territoire, qu'il s'agisse des individus produisant des biodéchets, tels que les citoyens, ou des intervenants impliqués dans la collecte et le traitement de ces biodéchets ont permis la construction d'une vision partagée de l'organisation actuelle de la gestion des déchets et des enjeux territoriaux associés.

Une enquête consommateurs a permis de quantifier les déchets alimentaires dans les foyers, identifiant les épluchures comme la principale source de déchets évitables, suivies des légumes et des produits laitiers. De plus, une étude quantitative réalisée dans une cantine scolaire a révélé des taux de gaspillage plus élevés en maternelle qu'en primaire, avec les fruits, les légumes et le fromage comme produits les plus gaspillés.

Les enquêtes menées auprès d'autres acteurs ont mis en évidence une fragmentation des responsabilités en matière de collecte et de traitement des biodéchets, avec l'intervention de divers acteurs externes émergents. Diverses solutions de valorisation des biodéchets, y compris la méthanisation, le compostage et l'incinération, ont été explorées pour créer des synergies.

À partir de ces évaluations, deux ateliers selon la méthode KCP (K- partage de connaissances, -C- exploration de concepts d'innovations, -P- proposition) dans le but de stimuler l'émergence de questions de recherche et de projets interdisciplinaires ont abouti à la formulation de 26 questions de recherche et à l'élaboration de 5 projets de recherche interdisciplinaires.

Un dernier atelier a permis de sélectionner les projets suivis par PeriUrbanWasteEng : 2 projets en démarrage (projet TETRAE FAARC et projet chaire co-pack RECOVERI) et 1 projet issu du 2ème atelier KCP du consortium (Concevoir une restauration rapide 0 gaspi 0 déchet) ont été retenus.

Réflexion « Bioéconomie territoriale et Conception » en partenariat avec IDEAS.

Sur la base de quelques exemples, nous nous sommes interrogés sur l'apport de la conception pour traiter les questions de recherche posées par la bioéconomie territoriale ainsi que sur les questions spécifiques que la bioéconomie territoriale peut poser à la conception.

Les présentations ainsi que le compte-rendu du séminaire sont disponibles sur le site web d'IDEAS :

<https://ideas-agrifood.hub.inrae.fr/recherche/seminaires/bioeconomie-territoriale-conception2>

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ACT	UMR SADAPT	Gouvernance territoriale de l'économie circulaire, scénarisation des usages, socio-économie de l'environnement, sociologie du droit, métabolisme urbain, analyse des flux matière, diagnostic, déchets alimentaires
AGROECOSYSTEM	UMR AGRONOMIE	Agronomie, innovations couplées
	UMR ECOSYS	Agronomie, sciences du sol, effets du retour au sol des produits résiduels organiques (parcelles et territoire)
ECOSOCIO	UMR PSAE	Sciences de gestion (modèles de régulation, action publique, attentes consommateurs, prospective)
TRANSFORM	UMR SayFood	Procédés et bioprocédés de transformation (aliments /bioproduits), écoconception, génie des procédés – reterritorialisation des transformations alimentaires, écoconception
	UR PROSE	Ingénierie sensorielle, sciences des consommateurs, gaspillage alimentaire, biotechnologies environnementales, gestion et valorisation déchets



POPCORN

Réseau de recherche sur la POPulation et sa COnsommation Alimentaire dans les Territoires uRbainS



Caractériser la population d'un territoire et sa consommation alimentaire de façon à faire le lien avec les flux de matière

Les villes sont des acteurs majeurs du métabolisme alimentaire. Elles sont, de façon constitutive, des lieux de passage, d'attraction de populations et des lieux d'acheminement de divers produits. Elles structurent fondamentalement les flux de matières et d'énergie et avec eux, ressources, énergies et pollutions mis en jeu. En amont, le système alimentaire influence les territoires d'approvisionnement, à la fois en termes de volumes bruts à acheminer mais aussi sur la nature des produits concernés, les modes de vie urbains étant corrélés à des régimes alimentaires plus gras, sucrés, carnés et transformés. En aval, la population urbaine est une source majeure de rejets sous forme de matières organiques via l'excrétion humaine et les déchets alimentaires.

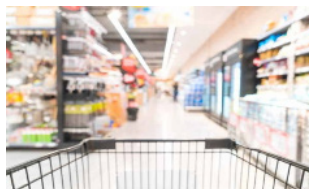
Les enjeux entourant le système alimentaire urbain sont multiples. Ils concernent des questions scientifiques portant sur l'identification des territoires d'approvisionnement, les modes de production et de transformation, l'empreinte alimentaire d'une ville, la relocalisation alimentaire, la gestion des déchets, la restitution des nutriments ou la gouvernance de l'hinterland. Sur le plan plus opérationnel, un nombre croissant de collectivités territoriales s'intéressent à la façon de relocaliser une partie de l'approvisionnement alimentaire et de réduire l'impact carbone et autres pollutions, dans le cadre de dispositifs de politiques publiques (par exemple les projets alimentaires territoriaux, politiques alimentaires de villes, plans économie circulaire, plans déchets etc.). Répondre à ces questions nécessite de définir précisément qui mange dans les territoires, sous quelles formes et dans quelles conditions.

Avancées et résultats

POPCORN s'est intéressé à deux angles morts : le premier concerne la quantification de la population qui mange, qui repose le plus souvent sur la seule population résidentielle, au travers des statistiques de recensement de la population de l'INSEE (population légale des communes). Or, il importe de considérer en plus, des populations additionnelles (par ex. touristes, navetteurs) et les temps de présence et d'absence de toutes les populations sur le territoire. Le second angle mort concerne la façon dont la consommation alimentaire est connectée aux autres maillons du système, à savoir en amont à la production agricole et en aval à la génération des déchets

POPCORN a travaillé sur ces deux dimensions complémentaires, la population qui mange et sa consommation alimentaire d'une part, et la transformation des matières alimentaires d'autre part, permettant ainsi une analyse quantitative plus fiable de la matérialité du système alimentaire d'un territoire en reliant les secteurs de la production agricole à la consommation et aux déchets, ces secteurs étant souvent traités de façon isolée.

Consortium
2021 - 2022



© Département SA- INRAE

Coordination

Caroline Petit (UMR SADAPT)

caroline.petit@inrae.fr

Barbara Redlingshöfer (UMR SADAPT)

barbara.redlingshofer@inrae.fr

Mots-clés

Bases de données

Bioéconomie

Consommation alimentaire

Diagnostic

Métabolisme territorial

Modes de vie

Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ACT

AGROECOSYSTEM

ECOSOCIO

MATHNUM

TRANSFORM

Voir en ligne



Deux résultats majeurs sont à l'actif du consortium :


1. Une identification des facteurs de conversion a été réalisée, en se concentrant sur la filière fruits et légumes, dans le cadre d'un consortium extérieur, Référentiel Flux, constitué d'instituts de recherche, tels que INRAe et INRIA, de bureaux d'études (Terriflux, le BASIC) et d'instituts techniques.
2. Un prototype d'outil numérique, prenant la forme d'une application pour opérationnaliser les estimations de population qui mange et de sa consommation alimentaire dans les territoires ; dans le cadre d'une poursuite des travaux, un développement de fonctionnalités complémentaires est en cours, pour une mise à disposition à terme à des usagers académiques et non académiques. L'outil du consortium POPCORN est présenté dans le dossier en page 17 réalisé par la DAPP d'INRAE sur le thème « Alimentation et territoires : les scientifiques d'INRAE en appui des projets alimentaires territoriaux »

<https://www.inrae.fr/actualites/alimentation-territoires-scientifiques-dinrae-appui-projets-%20alimentaires-territoriaux>.

Une sortie clé de POPCORN est le montage du projet exploratoire POP-Extend soutenu par BETTER et démarré début 2023. Ce projet vise à développer et mettre à l'épreuve un modèle intégré production- consommation-déchets, se basant sur la notion de population qui mange

au sein d'un territoire. L'intégration de l'outil POPCORN à plusieurs plateformes de modélisation permet son utilisation par des partenaires scientifiques ou issus de la société civile par le biais de collaboration et l'intégration des chercheurs de POPCORN dans ces réseaux et projets tel PLAT4TERFOOD (Plateforme de méthodes, données et dispositifs pour l'analyse et l'évaluation des systèmes alimentaires territorialisés), projet ciblé financé par le PEPR Systèmes alimentaires, Microbiom et Santé (SAMS).

Sélection du territoire



Sélectionner sur la carte ou rechercher le territoire

Choisir une année

Choisir une entité territoriale

Indiquer le code de département

Rechercher

Sélectionner le type d'assiette

Importer un territoire sous csv

Exporter le territoire en fichier csv

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ACT	UMR SADAPT	Agronomie des territoires, écologie territoriale, autonomie alimentaire, relocalisation de la production alimentaire, pertes et gaspillage, déchets alimentaires
AGROECOSYSTEM	UR ITAP	Evaluation environnementale, analyse de cycle de vie (ACV)
ECOSOCIO	USC CMH Centre Maurice Halbwachs	Sociologie de l'alimentation
MATHNUM	UR TSCF	Systèmes d'information
	UMR LISIS	Scénarisation des usages
TRANSFORM	UMR SayFood	Bioingénierie, ingénierie environnementale, évaluation environnementale, approche systémique (déchets et coproduits)
Partenaires	Equipe	Expertises et contributions
CNRS	UMR METIS	Biogéochimie, écologie territoriale, géomatique
	UMR Géographie-Cités	Urbaniste, écologie territoriale, techniques et environnements urbains





MOSAIC

MétabOlisme des Systèmes Agricoles et alimentaires dans le Continuum ville hinterland



Flux de matières et d'énergie qui transitent entre ville et campagne, remise en question des systèmes agri-alimentaires : relocalisation, valorisation non alimentaire des biomasses, lutte contre l'artificialisation des sols...

Les stratégies bioéconomiques consistent, via des innovations technologiques (*lato sensu*), à intensifier et diversifier les usages des biomasses, en particulier celles d'origine agricoles (produits et coproduits). Pour le chercheur, les ambitions de la bioéconomie posent la question de la capacité des systèmes écologiques et des ressources naturelles à soutenir l'activité économique et à se renouveler. Par ailleurs, elles invitent à révéler les arbitrages dans l'allocation des ressources (alimentation vs énergie ; feed vs food etc.), entre espaces, entre usages et entre usagers. L'enjeu est d'appréhender les interactions entre les activités qui produisent, transforment, valorisent et consomment des biomasses de façon systémique plutôt que sectorielle, et rendre compte de la dynamique des ressources hydriques, énergétiques et foncières qui sous-tendent ces activités.

Avancées et résultats

Le projet MOSAIC s'est intéressé aux flux de matières et d'énergie qui transitent entre ville et campagne, dans un contexte de remise en question des systèmes agri-alimentaires : relocalisation, valorisations non-alimentaire des biomasses, lutte contre l'artificialisation des sols, etc. Un cycle de 3 séminaires en distanciel a été organisé donnant à voir une diversité de travaux et d'approches et initiant une interconnaissance entre chercheurs

Puis, un travail de valorisation a été structuré autour d'un atelier d'écriture collective d'une semaine. L'article final "Flow approaches in agrifood systems research: Revealing blind spots to support social-ecological transformation" a été soumis. Partant du principe que les approches en termes de flux sont de plus en plus utilisées pour répondre aux défis de la crise écologique, il pointe des limites et biais de ces approches pour accompagner concrètement la transition des systèmes agri-alimentaires (effets de décontextualisation, mauvaise prise en compte de la complexité des systèmes de production, faible lien aux enjeux de gouvernance et de justice environnementale, entre autres). Ces faiblesses sont accompagnées d'exemples, dont une grande partie issue du cas bruxellois et plus largement de métropoles européennes. Quelques pistes de recherche sont mises en avant.

Les actions réalisées par le consortium MOSAIC ont mis au jour plusieurs modèles d'études des relations ville-hinterland et des fronts de recherche pour rendre les approches « flux » (métabolisme social, analyse de cycle de vie, empreintes) plus opérantes pour transformer les systèmes agri-alimentaires.

Consortium
2020 - 2022



© INRAE

Coordination

Sandrine Allain (UMR LESSEM)

sandrine.allain@inrae.fr

Mots-clés

Bioéconomie

Flux

Métabolisme urbain

Nexus WEFE⁽²⁾

Zone urbaine/péri-urbaine

Départements INRAE

ACT

AGROECOSYSTEM

AQUA

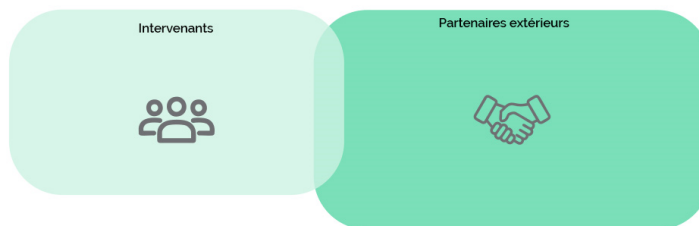
TRANSFORM

Voir en ligne



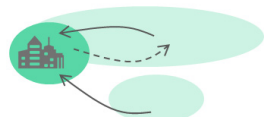
MOSAIC – Bilan des acquis 2021

Un consortium INRAE inter département avec des intervenants et partenaires extérieurs réunis lors de 3 séminaires

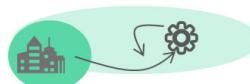


PLUSIEURS APPROCHES DES RELATIONS VILLES-HINTERLANDS

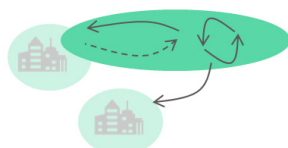
Par les systèmes d'approvisionnement et de consommation (aliments, eau)



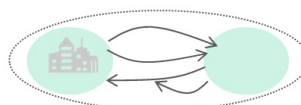
Par les systèmes sociotechniques de valorisation (de déchets organiques, d'eaux usées)



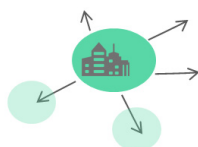
Par les systèmes de production (agricoles)



Par les formes d'interactions entre territoires



Par les empreintes et externalités (environnementales, vulnérabilités)



Légende :



DES MODÈLES D'ÉTUDES

Territoires insulaires
Grandes agglomérations européennes (Paris, Bruxelles)
Villes moyennes (Rennes, Nantes)
Bassins de production

DES FINALITÉS COMPLÉMENTAIRES

Caractériser et quantifier des flux et identifier leurs déterminants
Comprendre des dynamiques de sécurisation de ressources stratégiques et de création/déplacement de vulnérabilités
Mettre en lumière et modéliser des impacts et des empreintes
Concevoir, évaluer, mettre en œuvre des solutions innovantes
Equiper des imaginaires, piloter des transitions

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ACT	UR LESSEM	Economie écologique, agronomie système
	UR LAE	Modélisation intégrée
	UMR INNOVATION	Agronomie système (thématique : alimentaire)
AGROECOSYSTEM	UR LAE	Modélisation intégrée
AQUA	UMR G-EAU	Science de l'eau
TRANSFORM	UR OPAAL	Bio ingénierie, ingénierie environnementale, évaluation environnementale, approche systémique (déchets & coproduits)



NEWLINK

Projet exploratoire
2022 - 2023



© Jonathan Barba - Unsplash

Coordination

Hong-Minh Hoang (UR FRISE)

hong-minh.hoang@inrae.fr

Barbara Redlingshöfer (UMR
SADAPT)

barbara.redlingshofer@inrae.fr

Mots-clés

Bioéconomie

Chaîne du froid

Gaspillage alimentaire

Optimisation multicritère

Perte

Système alimentaire urbain

Territorialisation

Valorisation

Départements INRAE

ACT

MICA

TRANSFORM

Voir en ligne



Nouveau maillon de la chaîne du froid entre la restauration collective et les associations d'aide alimentaire : état des lieux, analyse coût bénéfice et stratégie d'optimisation



Optimiser la redistribution d'inventures de repas de la restauration collective vers des associations d'aide alimentaire et d'autres populations, dans un territoire urbain donné, tout en garantissant les qualités sanitaire et environnementale des aliments

Pour lutter contre le gaspillage alimentaire dans la restauration collective, la loi EGalim (2018) soumet les établissements qui servent plus de 3000 repas / jour à une obligation de s'engager dans une politique de partenariat de dons avec des associations d'aide alimentaire. Cette stratégie de dons aux associations intègre une démarche éthique et sociale (solidarité envers les plus démunis, lutte contre la précarité alimentaire) mais revêt également des enjeux environnementaux (réduction des impacts CO₂...) et économiques (optimisation de coûts).

Avancées et résultats

Cette politique implique de nouvelles étapes logistiques (conditionnement, collecte, transport, stockage et distribution des dons) à intégrer en termes de gestion de la chaîne du froid afin de garantir la qualité sanitaire des produits collectés par les associations jusqu'à leur consommation. De nouveaux types d'acteurs ont d'ores et déjà émergé. Très peu d'études ont été menées sur la caractérisation du nouveau maillon de la collecte et la redistribution des excédents de repas vers les associations. Le projet NEWLINK a visé à étudier les différents modes de fonctionnement que peut avoir de ce nouveau maillon afin d'identifier leur caractéristiques et les acteurs concernés.

1. Caractérisation de la chaîne du froid : Des capteurs installés dans la chambre froide et les camions frigorifiques de l'entreprise Excellents Excédents ont permis de réaliser des cartographies thermiques de ces équipements. Des mesures effectuées au laboratoire ont comparé les effets de protection thermique apportés par une boîte isotherme et un sac isotherme. En effet, la bibliographie a mis en lumière que plusieurs associations, par manque de moyens, utilisaient des glacières ou des sacs isothermes pour transporter les dons. Cela soulève la question du maintien de la chaîne du froid lors de ce nouveau maillon. Un modèle thermique empirique a été développé à partir des résultats obtenus et pourrait être utilisé afin de prédire l'évolution de température d'un produit lors du transport entre une cuisine centrale vers une association

2. Caractérisation du fonctionnement des acteurs : Leurs préoccupations se portent plus sur les questions d'organisation des activités et les liens entre les parties prenantes que sur les impacts énergétiques et environnementaux. Trois familles d'acteurs de ce nouveau maillon ont été étudiées (26 entretiens), les opérateurs des restaurations collectives (R-C), les associations d'aide alimentaire et les intermédiaires et un schéma de modes d'organisation a pu être réalisé (Figure).

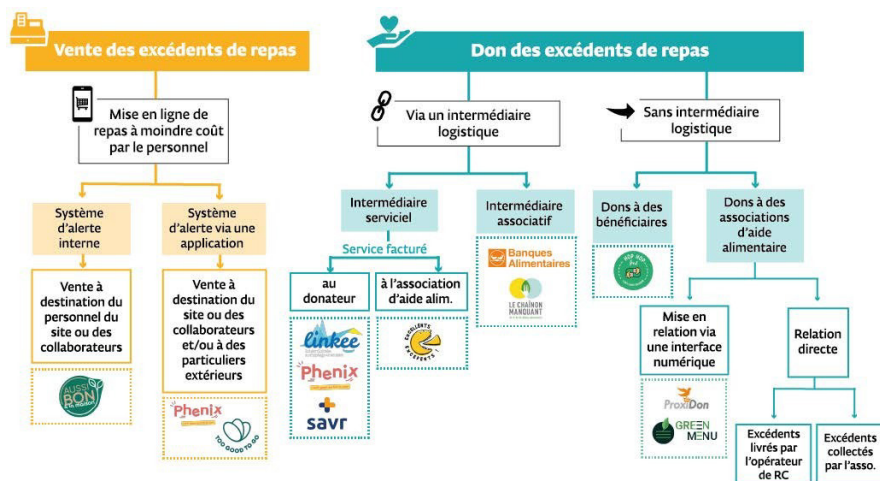


Figure : Modèles d'organisation du maillon (réalisation par C. Gaurichon, 2023)

3. Les deux grands types de valorisation des excédents sont la vente et le don. L'intervention des intermédiaires permet souvent de simplifier les processus. La performance des intermédiaires logistiques pour positionner dans les circuits complexes et urbains a été remarquée. Toutefois, les modes de fonctionnement et les modèles économiques des intermédiaires restent encore parfois opaques pour des cuisines centrales et des associations. Des efforts de communication et des appuis pour bien identifier des acteurs dans un territoire seront appréciés.

NEWLINK a montré la diversité dans des modes d'organisation de valorisation des excédents alimentaires. La recherche exploratoire et les entretiens menés nous ont conduits à découvrir le fonctionnement des systèmes de ventes et de dons, tantôt décrits comme complémentaires ou concurrents par les acteurs. Un atelier multi-acteurs organisé le 24 novembre 2023 à Paris a permis d'identifier les recommandations pour le développement et la pérennisation de ce nouveau maillon. Ces recommandations sont publiées sous forme d'un policy brief à destination des pouvoirs publics et des parties prenantes.

Quelques publications

- Policy brief 2023 : Redlingshöfer, B., Hoang, H.-M., Lochet, S. (2024) Comment optimiser le nouveau maillon de la lutte contre le gaspillage alimentaire ? Synthèse du projet de recherche NEWLINK, INRAE, 7 p.

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
ACT	UMR SADAPT	Écologie territoriale, estimation de flux à partir d'enquêtes ou d'analyse de base de données, analyse interdisciplinaire du métabolisme territorial
MICA	UMR SECALIM	Qualité sanitaire des aliments, durée de vie microbiologique, Microbiologie prévisionnelle, Évaluation risques – bénéfices / multicritères
TRANSFORM	UR FRISE	Analyse multicritère, impact énergétique et environnemental des équipements frigorifiques, chaîne du froid, qualité des aliments
Partenaires	Equipe	Expertises et contributions
Excellents Excédents (EE)	Entreprise	Valorisation des excédents de la restauration collective en Île-de-France
Cantines Responsables	Association	Structure dédiée aux services publics de restauration collective
Agence nouvelle des solidarités actives (Ansa)	Association	Lutte contre la pauvreté et pour l'inclusion en partenariat avec l'État, les collectivités territoriales, les institutions publiques, les entreprises, les fondations, les associations et les personnes concernées.



INRAE



Penser le circuit et la valorisation
des excretas urbains

METAPROGRAMME BETTER



TeValU

Territoires avec valorisation des urines



Production d'engrais azotés, retraitement des urines, flux circulaire

Projet exploratoire
2021 - 2023



© Freepik

Coordination

Mathieu Sperandio (UMR TBI)

mathieu.sperandio@insa-toulouse.fr

Mots-clés

Bioéconomie

Fertilisants

Récupération

Urine

Valorisation

Zone urbaine / péri-urbaine

Départements INRAE

AGROECOSYSTEM

ECOSOCIO

TRANSFORM

Voir en ligne



Le projet TeValU avait pour objectif d'étudier la valorisation territoriale de l'urine dans une optique de production de fertilisants. En effet, les urines sont riches en nutriments utiles pour la production agricole et qui proviennent de notre alimentation. La valorisation des urines s'inscrit donc dans une démarche d'économie circulaire des ressources puisque le phosphore est une ressource minière et que la production d'engrais azoté est très consommatrice d'énergie fossile.

Avancées et résultats

Il était proposé d'optimiser un procédé d'extraction de l'azote et du phosphore afin de remplir les critères des produits déjà commercialisés tout en évaluant l'impact de la filière via une analyse énergétique et à terme par une analyse de cycle de vie.

1. Les travaux menés au sein du projet TEVALU ont permis de déterminer les conditions optimales pour la récupération de l'ammoniac par absorption sur membrane perméable aux gaz. La faisabilité de l'extraction d'ammonium avec de l'urine réelle a été confirmée par des essais pilote. L'expérience sur pilote a permis de produire une solution fertilisante à 20gN/L. Les expériences et les travaux de modélisation démontrent l'effet des caractéristiques de l'effluent (rapport N ammoniacal : C minéral) pour déterminer les points de consigne de pH et de température, le prétraitement à appliquer pour minimiser la demande énergétique.
2. Une analyse territorialisée sur la communauté d'agglomération de Toulouse a été réalisée permettant de quantifier les gisements d'urine, et les puits potentiels par l'usage agricole de fertilisant. Cette analyse a été portée par un outil de type SIG. Il en ressort un équilibre global entre les gisements d'azote disponibles dans les urines (3555 tN/an) et les besoins en azote du territoire agricole (3107 t N/an) de la communauté Toulousaine (Toulouse métropole) et du sud-ouest toulousain (Labège, Sicoval).
3. De plus, une enquête auprès des utilisateurs potentiels a permis de faire ressortir que l'acceptabilité de produits de type urino-fertilisants était bonne, et que deux types de produits étaient très complémentaires : produit solide à partir du phosphore précipité sous forme de struvite, et solution liquide d'azote ammoniacal issu du procédé membranaire étudié.
4. Un scénario de déploiement a finalement été développé en 4 phases : expérimentation, développement, massification et harmonisation. Une mission technique a été réalisée en Suisse à Zurich pour échanger sur les résultats et visiter un site expérimental où la séparation de l'urine a été implémentée et d'autres technologies de traitement ont pu être comparées à celle de TEVALU (bâtiment de l'EAWAG).
5. L'analyse environnementale de la filière a été menée sur la base des informations acquises lors du fonctionnement des procédés. Une tentative d'analyse par monétarisation des impacts environnementaux a également été menée, celle-ci se heurtant encore à des difficultés de transposition des résultats de petite à grande échelle.

Le projet exploratoire TEVALU a permis de renforcer les synergies de travail entre les acteurs des unités INRAE de différentes compétences. Le projet a été restitué à un ensemble d’acteurs du territoire qui ont manifesté un très grand intérêt. L’un des stagiaires masters du projet a été embauché à SOLAGRO notamment pour poursuivre le suivi des projets de déploiement de séparation et valorisation de l’urine sur le territoire

Quelques publications

- Irene Gonzalez-Salgado, et al.. 2023. Influence of feed salinity on ammonia recovery from high-strength effluents in transmembrane chemical absorption process, Journal of Membrane Science, 687, 2023, 122086, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.122086>.
- Min Zheng et al. 2024. Pathways to advanced resource recovery from sewage. Nature Sustainability, sept 2024. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01423-6>

Partenaires

Département INRAE	Unités INRAE	Expertises et contributions
AGROECOSYSTEM	UMR ECOSYS	Analyse des pratiques culturelles d’insertion des urines dans la fertilisation des cultures
ECOSOCIO	UMR TSET-R	Economie de l’environnement, économie de l’eau, méthodes de monétarisation des impacts environnementaux
TRANSFORM	UMR TBI	Technologies de traitement de l’urine et récupération des nutriments
Partenaires		Expertises et contributions
SOLAGRO		Territorialisation, en économie circulaire et en agroécologie. Prestation de service (analyse des usages des produits issus des urines)





Metaprogramme BETTER

Tél. : +33 4 99 61 30 99

Rejoignez-nous sur :



better.hub.inrae.fr

**Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et l'environnement**



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE